ALCALDIA MAYOR
DE BOGOTA D.C.
GOBIERNO SEGURIDAD Y CONVIVENCIA
Fondo de prevención y
Atención a Emergencias

CLASIFICADO

ESTUDIO DE RIESGOS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN PARA LOS BARRIOS GRANADA SUR, GRANADA SUR III SECTOR, VILLA NATALY 20 DE JULIO, MONTEBELLO Y URBANIZACIONES SAN LUIS Y PADUA DE LA LOCALIDAD DE SAN CRISTÓBAL, EN BOGOTÁ D.C.

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

Diagonal 47 Nº 77B-09 Interior 11

PBX: 4297414

Bogotá D.C., Colombia

GIA - 064- 10

CONTRATO No. Cons. 619 - 2010

INFORME FINAL

PARTE X (pp. 1 – 200) DE X PARTES

ORIGINAL - TEXTO

JULIO DE 2011

De acuerdo con el artículo 20 de la Ley 23 de 1982, los Derechos de Autor pertenecen al FOPAE. La solicitud para reproducir este documento parcial o totalmente, se debe dirigir por escrito al Director del FOPAE.

GIA CONSULTORES LTDA.

Carrera 16 A No. 86 A – 02 Of. 202

Bogotá D.C., Colombia

FONDO PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS
FOPAE

TÍTULO Y SUBTÍTULO: Estudio de Riesgos por Remoción en Masa y Evaluación de Alternativas de Mitigación para los barrios Granada Sur, Granada Sur III Sector, Villa Nataly 20 de Julio, Montebello y Urbanización San Luis y Padua, de la localidad de San Cristóbal, en Bogotá D.C.

AUTOR: GIA Consultores Ltda.

RESUMEN:

Al sur del distrito capital, en uno de los más populosos y tradicionales sectores de Bogotá, los habitantes conviven desde hace más de cuatro décadas con dos deslizamientos complejos y activos, posiblemente dos de los más antiguos, reconocidos y estudiados en la ciudad, pero aún no resueltos. Uno de ellos, el menor, gestor de los daños en la urbanización San Luis, y el otro inmerso entre los barrios Granada Sur, Montebello y Villa Nataly. Su importancia es tal que no sólo cubre un poco más de seis hectáreas de extensión superficial, sino que ha provocado el reasentamiento de más de cuatro decenas de familias, el deterioro de cerca de un centenar de casas, la zozobra de los habitantes y el seguimiento permanente del FOPAE y de la institucionalidad distrital, patente en el generoso número de diagnósticos (superior a las dos decenas), en los monitoreos (por lo menos cinco en las dos últimas décadas), y en la media docena de estudios técnicos acometidos desde los años sesenta, algunos en manos de prestigiosas firmas de consultoría (v.g. Ingeniería y Geotecnia, Ingeniería e Hidrosistemas Ltda. – IEH) y otros en cabeza del Servicio Geológico Nacional (hoy día conocido bajo el nombre de Ingeominas).

GIA Consultores, a través del contrato cons-619 de 2010 ha sido designada por el ente oficial, para coadyuvar en la definición de la senda de recuperación a través del estudio de riesgos por remoción en masa; tarea que pretende, entre otros alcances dilucidar las causas de los deslizamientos, caracterizar geológica y geotécnicamente el escenario, deducir las condiciones hoy día de amenaza, vulnerabilidad y establecer las medidas de manejo a recomendar. El presente informe describe las actividades realizadas (reconocimiento geológico, geotécnico, inventario y caracterización de procesos morfodinámicos y exploración del subsuelo, inventario de viviendas, etc.), para deducir los estados de amenaza y riesgo, acorde con las directrices de la entidad contratante, y el planteamiento de alternativas que propenden por la mitigación de la amenaza.

PALABRAS CLAVES:
Amenaza socio natural por FRM, Análisis de vulnerabilidad y riesgo, Evaluación de riesgo, Remoción en masa, Mitigación, San Cristóbal, Granada Sur, Granada Sur III sector Urbanización San Luis, Montebello, Villa Nataly 20 de Julio, Urbanización Padua.

TÉRMINOS PARA GLOSARIO E ÍNDICE:
Evaluación de amenaza por FRM, Análisis de vulnerabilidad y riesgo.

CLASIFICACIÓN DE SEGURIDAD: Clasificado	CONTRATO: No. Cons-619 DE 2010	IDIOMA: Español	NÚMERO DE PÁGINAS: 1011	NÚMERO DE COPIAS: 2

TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO 20

SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS 22

1 CAPÍTULO 1 GENERALIDADES 25

1.1 INTRODUCCIÓN 26

1.2 LOCALIZACIÓN 26

1.3 DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO 27

1.4 ANTECEDENTES 28

1.5 ALCANCES 44

1.6 LIMITACIONES 44

1.7 METODOLOGÍA Y DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES 44

1.7.1 RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE 45

1.7.1.1 INFORMACIÓN ESPECÍFICA 45

1.7.2 INFORMACIÓN GEOLÓGICA 47

1.7.2.1 BIBLIOGRAFÍA 47

1.7.3 VISITA DE RECONOCIMIENTO 48

1.7.4 ELABORACIÓN DE CARTOGRAFÍA BASE Y TEMÁTICA 48

1.7.4.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO 48

1.7.4.2 ESTUDIOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS 48

1.7.5 ESTUDIO GEOTÉCNICO BÁSICO 48

1.7.5.1 INVENTARIO DE PROCESOS DE INESTABILIDAD 48

1.7.5.2 PROGRAMACIÓN DE EXPLORACIÓN DE SUBSUELO 49

1.7.6 ANÁLISIS GEOTÉCNICO 49

1.7.6.1 MODELO GEOTÉCNICO 49

1.7.6.2 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA 49

1.7.6.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD 49

1.7.7 ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA 50

1.7.8 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO 50

1.7.9 EVALUACIÓN DE MITIGABILIDAD 51

1.7.10 ORGANIZACIÓN DEL INFORME 51

LISTA DE TABLAS

TABLA 1.1 VÉRTICES DEL TERRENO 27

TABLA 1.2 DIAGNÓSTICOS 30

TABLA 1.3 DIAGNÓSTICOS (CONTINUACIÓN) 31

TABLA 1.4 DIAGNÓSTICOS (CONTINUACIÓN) 32

TABLA 1.5 DIAGNÓSTICOS (CONTINUACIÓN) 33

TABLA 1.6 DIAGNÓSTICOS (CONTINUACIÓN) 34

TABLA 1.7 DIAGNÓSTICOS (CONTINUACIÓN) 35

TABLA 1.8 DIAGNÓSTICOS (CONTINUACIÓN) 36

TABLA 1.9 DIAGNÓSTICOS (CONTINUACIÓN) 37

TABLA 1.10 DIAGNÓSTICOS (CONTINUACIÓN) 38

TABLA 1.11 DIAGNÓSTICOS (CONTINUACIÓN) 39

TABLA 1.12 DIAGNÓSTICOS (CONTINUACIÓN) 40

TABLA 1.13 DIAGNÓSTICOS (CONTINUACIÓN) 41

TABLA 1.14 DIAGNÓSTICOS (CONTINUACIÓN) 42

TABLA 1.15 DIAGNÓSTICOS (CONTINUACIÓN) 43

TABLA 1.16 DIAGNÓSTICOS (CONTINUACIÓN) 44

TABLA 1.16 CONTENIDO 52

TABLA 1.17 ANEXOS 53

TABLA 1.18 PLANOS 53

2 CAPITULO 2 – TOPOGRAFÍA 54

2.1 ALCANCE ESPECÍFICO DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO 55
2.2 PROCEDIMIENTO DE EJECUCIÓN 55
2.2.1 TRABAJO DE CAMPO 55
2.2.2 LOCALIZACIÓN CARTOGRÁFICA 56
2.2.3 DESCRIPCIÓN DE LA POLIGONAL DE AMARRE 57
2.2.4 AJUSTES DEL LEVANTAMIENTO 57
2.2.5 AMOJONAMIENTO DE REFERENCIA 59
2.2.6 CONDENSACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE CAMPO 59
2.2.7 TRABAJO DE OFICINA 59
2.3 EQUIPO 60

LISTA DE TABLAS

TABLA 2.1 POLÍGONO DEL ÁREA DE ESTUDIO 57
TABLA 2.2 MOJONES MATERIALIZADOS EN CAMPO 59
TABLA 2.3 RELACIÓN DE EQUIPO Y ELEMENTOS POR COMISIÓN 60

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 POLIGONAL DE AMARRE 58
FIGURA 2.2 POLIGONAL DE CIERRE 58

3 CAPÍTULO 3 – GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA 61
3.1 MÉTODO DE TRABAJO 62
3.2 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE 64
3.3 GEOLOGÍA GENERAL 66
3.3.1 MARCO GEOLÓGICO 66
3.3.2 ESTRATIGRAFÍA 67
3.3.2.1 CRETÁCEO 67

3.3.2.2 CRETÁCICO-TERCIARIO 68
3.3.3 TERCIARIO 69
3.3.3.1 CUATERNARIO 70
3.3.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL 71
3.4 GEOLOGÍA LOCAL 71
3.4.1 ESTRATIGRAFÍA 72
3.4.1.1 UNIDADES DE ROCA 72
3.4.1.1.1 Formación Bogotá Unidad lodosa (Tpb-L) 72
3.4.1.2 UNIDADES DE SUELO Y DEPÓSITOS NO LITIFICADOS 72
3.4.1.2.1 Suelos Residuales Arcillosos (QTpb-sr) 72
3.4.1.2.2 Suelos Transportados con Influencia Fluvioglaciar (Qfg) 73
3.4.1.2.3 Depósitos Antrópicos (Qda) 73
3.4.1.2.3.1 Depósitos Antrópicos Generados por Actividad Minera (Qdam) 74
3.4.1.2.3.2 Depósitos Antrópicos con Fines Urbanísticos (Qdau) 75
3.4.1.2.3.3 Depósitos Antrópicos de Acumulación (Qdab) 75
3.4.1.2.3.4 Depósitos Antrópicos Urbanísticos Seleccionados (Qdaus) 75
3.4.1.2.4 Depósito de Deslizamiento (Qmd) 76
3.4.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL 77
3.4.2.1 TECTÓNICA LOCAL 77
3.4.2.2 DISCONTINUIDADES 77
3.4.2.3 LINEAMIENTOS FOTOGEOLÓGICOS 78
3.5 GEOMORFOLOGIA 78
3.5.1 MORFOESTRUCTURAL (FORMAS) 79
3.5.1.1 UNIDAD DE LADERA DENUDACIONAL CON MODERADA INTERVENCIÓN: LDMI 80
3.5.1.2 UNIDAD DE LADERA DENUDACIONAL CON INTERVENCIÓN INTENSA POR ACTIVIDADES MINERA: LDIM 80
3.5.1.3 TALUDES DE EXCAVACIÓN MINERA: DLIMT 81
3.5.1.4 EXPLANACIONES POR ACTIVIDAD MINERA: DLIMU 82
3.5.1.5 UNIDAD DE LADERA DENUDACIONAL CON INTERVENCIÓN INTENSA POR URBANIZACIÓN: LDIU Y LDIUM 83
3.5.1.6 UNIDAD DE LADERA DENUDACIONAL CON INTERVENCIÓN MODERADA POR URBANIZACIÓN: LDIMU 83

3.5.1.7 UNIDAD DE CUERPOS DE AGUA Y CAUCES NATURALES BORRADOS (LDCR) 83
3.5.2 MORFODINÁMICA 84
3.5.2.1 METEORIZACIÓN 84
3.5.2.2 PROCESOS DE EROSIÓN 85
3.5.2.3 PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA (FRM) 85
3.6 ANTECEDENTES DE PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA PARA LA ZONA 91
3.6.1 AÑO 1936 (VUELO IGAC C-46) 92
3.6.2 AÑO 1940 (VUELO IGAC C-35) 93
3.6.3 AÑO 1943 (VUELO IGAC C-335) 95
3.6.4 AÑO 1943 (VUELO IGAC C-335) 97
3.6.5 AÑO 1956 (VUELO IGAC C-769) 98
3.6.6 AÑO 1967 (VUELO IGAC C-1194) 99
3.6.7 AÑO 1970 (VUELO IGAC C-1319) 101
3.6.8 AÑO 1977 (VUELO IGAC C-1737) 102
3.6.9 AÑO 1977 (VUELO IGAC C-1727) 104
3.6.10 AÑO 1984 (VUELO IGAC C-2161) 105
3.6.11 AÑO 1987 (VUELO IGAC C 2323) 106
3.6.12 AÑO 1991 (VUELO IGAC R-1131) 107
3.6.13 AÑO 1998 (VUELO IGAC SAV 415) 108
3.6.14 AÑO 2005 (IMAGEN SATELITAL GOOGLE EARTH) 108
3.6.15 AÑO 2009 (IMAGEN SATELITAL GOOGLE EARTH) 108
3.7 HIDROGEOLOGÍA 111
3.7.1 DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS 111
3.8 AMENAZA SÍSMICA 112
3.8.1 FUENTES SISMOGÉNICAS 112
3.8.2 CUALIFICACIÓN DE AMENAZA LOCAL 113
3.8.3 RESPUESTA DINÁMICA DEL SUELO 114

3.9 CONCLUSIONES 116

3.10 RECOMENDACIONES 117

LISTA DE TABLAS

TABLA 3.1 CLASIFICACIÓN DE LAS PENDIENTES 78

TABLA 3.2 AEROFOTOGRAFÍAS CONSULTADAS 92

TABLA 3.3 CLASIFICACIÓN DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS DE ACUERDO A SU COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO 111

TABLA 3.4 DESCRIPCIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LAS UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS 112

TABLA 3.5 FUENTES SISMOGÉNICAS PARA AMENAZA SÍSMICA EN BOGOTÁ Y SU ZONA RURAL 113

TABLA 3.6 FACTORES DE AMPLIFICACIÓN PARA DIFERENTES TIPOS DE SUELO (MEDVEDEV, 1965 Y NSR-10) 115

TABLA 3.7 ACELERACIONES MÁXIMAS EN SUPERFICIE Y DE DISEÑO 116

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 3.1 MARCO GEOLÓGICO DE LA SABANA DE BOGOTÁ 66

FIGURA 3.2 CENTROIDE DE DISCONTINUIDADES MEDIDO SOBRE MACIZOS ARENOSOS DE LA FORMACIÓN BOGOTÁ. SECTOR LADERA ARRIBA DE LA ZONA DE ESTUDIO, BARRIO SAN BLÁS. LA LÍNEA VERDE REPRESENTA LA ESTRATIFICACIÓN DE LAS CAPAS BUZANDO HACIA EL OESTE, LAS LÍNEAS ROJAS IDENTIFICAN CENTROIDES DE DOS FAMILIAS DE DIACLASAS SUBVERTICALES. 77

FIGURA 3.3 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LAS ZONAS INESTABLES SOBRE LA LADERA ACTUAL Y SU ÁREA DE INFLUENCIA 91

FIGURA 3.4 VUELO C-46 (1936), ESCALA 1:17.500 93

FIGURA 3.5 VUELO C 35, AÑO 1940, ESCALA: 1:22.000, FOTO 846 94

FIGURA 3.6 VUELO C-335 ESCALA 4:100 AÑO 1943 FOTO 704 96

FIGURA 3.7 VUELO C-335 ESCALA 4:100 AÑO 1943 FOTO 784 97

FIGURA 3.8 VUELO C769, AÑO 1956, ESCALA 1:9000, FOTO 099 99

FIGURA 3.9 VUELO C-1194, ESCALA 1:10.000, AÑO 1967, FOTO 237 100

FIGURA 3.10 VUELO C-1319, AÑO 1970, ESCALA 1: 5000, FOTO 22 101

FIGURA 3.11 VUELO C-1737, AÑO 1977, ESCALA 1: 7.700, FOTO 035 103
FIGURA 3.12 VUELO C-1727, AÑO 1977, ESCALA 1: 8.800, FOTO 164 104
FIGURA 3.13 VUELO C-2161 AÑO 1984 ESCALA 1:9000 FOTO 140 105
FIGURA 3.14 VUELO C-2323 AÑO 1987 ESCALA 1:21. 500 FOTO 125 106
FIGURA 3.15 VUELO R-1131 AÑO 1991 ESCALA 1:5000 FOTO 2015 107
FIGURA 3.16 VUELO SAV 415 AÑO 1998 ESCALA 1: 21.000 FOTO 147 109
FIGURA 3.17 IMAGEN SATELITAL DE LA ZONA DE ESTUDIO - AÑO 2005 110
FIGURA 3.18 IMAGEN SATELITAL DE LA ZONA DE ESTUDIO - AÑO 2009 110

4 CAPÍTULO 4 – ESTUDIO GEOTÉCNICO 119
4.1 INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO 120
4.1.1 MÉTODO DE TRABAJO 120
4.1.2 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO 121
4.1.2.1 MÉTODOS DIRECTOS 121
4.1.2.2 MÉTODOS INDIRECTOS: REFRACCIÓN SÍSMICA 123
4.1.2.3 ENSAYOS DE CAMPO 126
4.1.3 ENSAYOS DE LABORATORIO 133
4.2 CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA 137
4.2.1 SUELOS 137
4.2.1.1 MATERIAL 1: DEPÓSITOS DE DESLIZAMIENTOS RECIENTES, QMD 137
4.2.1.2 MATERIAL 2: DEPÓSITOS ANTRÓPICOS URBANÍSTICOS SELECCIONADOS, QDAUS 137
4.2.1.3 MATERIALES 3 Y 4: RELLENOS ANTRÓPICOS URBANÍSTICOS Y DE MINERÍA, QDAU Y QDAM 138
4.2.1.4 MATERIAL 5: DEPÓSITOS ANTRÓPICOS DE ACUMULACIÓN, QDAB 138
4.2.1.5 MATERIAL 6: DEPÓSITOS FLUVIOGLACIALES, QFG 138
4.2.1.6 MATERIAL 7: SUELOS RESIDUALES ARCILLOSOS, QTPB-SR 140
4.2.2 MACIZO ROCOSO 141
4.2.2.1 MATERIAL ROCOSO: LODOLITAS DE LA FORMACIÓN BOGOTÁ, TPB-L (MATERIAL 8) 141
4.2.2.2 DISCONTINUIDADES 142

4.2.2.3 CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO 143
4.2.2.4 PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DEL MACIZO ROCOSO 144
4.3 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA 145

LISTA DE TABLAS

TABLA 4.1 LOCALIZACIÓN DE LOS SITIOS DE EXPLORACIÓN DIRECTA DEL SUBSUELO 124
TABLA 4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES ESTRATIGRÁFICOS 125
TABLA 4.3 EXPRESIONES PARA CORRELACIONAR EL ÁNGULO DE FRICCIÓN A PARTIR DEL SPT 127
TABLA 4.4 RELACIÓN ENTRE LA DENSIDAD RELATIVA Y LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN 128
TABLA 4.5 RELACIÓN ENTRE LA CONSISTENCIA Y LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN 128
TABLA 4.6 RESUMEN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA EN CONDICIÓN DRENADA A PARTIR DEL SPT 128
TABLA 4.7 NORMALIZACIÓN DEL SPT 132
TABLA 4.8 RELACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO 133
TABLA 4.9 RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO 135
TABLA 4.10 RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO (CONTINUACIÓN) 136
TABLA 4.11 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 3: QDAU 139
TABLA 4.12 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 4: QDAM 139
TABLA 4.13 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 6: QFG 140
TABLA 4.14 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 7: QTPB-SR 141
TABLA 4.15 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 8: TPB-L 142
TABLA 4.16 CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO 144
TABLA 4.17 PARÁMETROS DE RESISTENCIA DEL MACIZO ROCOSO 145
TABLA 4.18 PARÁMETROS DE RESISTENCIA DEL MACIZO ROCOSO 146
TABLA 4.19 ZONAS HOMOGÉNEAS 148

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 4.1 ESQUEMA DE UNA LÍNEA SISMICA DE 12 GEÓFONOS 126
FIGURA 4.2 ENVOLVENTE Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA PROMEDIO PARA EL MATERIAL QDAU 129

FIGURA 4.3 ENVOLVENTE Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA PROMEDIO PARA EL MATERIAL QDAM ____129
FIGURA 4.4 ENVOLVENTE Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA PROMEDIO PARA EL MATERIAL QFG_____130
FIGURA 4.5 ENVOLVENTE Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA PROMEDIO PARA EL MATERIAL QTPB-SR__130
FIGURA 4.6 ENVOLVENTE Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA PROMEDIO PARA EL MATERIAL TPB-L ____131
FIGURA 4.7 ENVOLVENTE Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA PROMEDIO PARA LOS MATERIALES QDAU Y QDAM_____131
FIGURA 4.8 CARTA DE PLASTICIDAD PARA LOS MATERIALES DEL PROYECTO_____134

5 CAPÍTULO 5 – HIDROLOGÍA, COBERTURA Y USOS DEL SUELO _____ 149
5.1 ESTUDIOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS _____ 150
5.1.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO _____ 150
5.1.2 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA REGIONAL _____ 150
5.1.2.1 HUMEDAD RELATIVA_____ 151
5.1.2.2 BRILLO SOLAR _____ 152
5.1.2.3 EVAPORACIÓN _____ 152
5.1.2.4 PRECIPITACIÓN_____ 153
5.1.2.5 PRECIPITACIONES DE CORTA DURACIÓN_____ 153
5.1.2.6 DISTRIBUCIÓN MENSUAL DEL NÚMERO DE DÍAS CON LLUVIA _____ 155
5.1.2.7 PRECIPITACIÓN CRÍTICA – DURACIÓN _____ 155
5.1.3 RELACIÓN LLUVIA – DESLIZAMIENTO_____ 156
5.1.4 CONDICIONES NATURALES DEL DRENAJE_____ 157
5.1.5 CONDICIONES ARTIFICIALES DEL DRENAJE_____ 157
5.2 COBERTURA Y USOS DEL SUELO _____ 159
5.2.1 MÉTODO DE TRABAJO _____ 160
5.2.2 CLASIFICACIÓN DEL USO Y COBERTURA DEL SUELO _____ 160

LISTA DE TABLAS

TABLA 5.1 ESTACIONES HIDROMETEREOLÓGICAS _____151

TABLA 5.2 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LAS CUNETAS EXISTENTES 159
TABLA 5.3 LEYENDA Y CLASIFICACIÓN DE USO Y COBERTURA DE LA TIERRA 162

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 5.1 HUMEDAD RELATIVA: ESTACIÓN VITELMA 151
FIGURA 5.2 BRILLO SOLAR: ESTACIÓN VITELMA 152
FIGURA 5.3 EVAPORACIÓN: ESTACIÓN VITELMA 153
FIGURA 5.4 PRECIPITACIÓN – ESTACIONES VITELMA Y EL DELIRIO 154
FIGURA 5.5 CURVAS GENERALIZADAS IDF ZONA 2 154

6 CAPÍTULO 6 – EVALUACIÓN DE AMENAZA 163
6.1 ANÁLISIS CINEMÁTICO 164
6.2 ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE ESTABILIDAD 167
6.2.1 HIPÓTESIS DE TRABAJO 167
6.2.1.1 PARÁMETROS DE RESISTENCIA 168
6.2.1.2 MECANISMOS DE FALLA 174
6.2.1.3 EVENTOS DETONANTES 176
6.2.1.3.1 Agua 176
6.2.1.3.2 Sismo 177
6.2.1.4 MODELACIÓN DE ESTABILIDAD 178
6.2.2 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA 178
6.2.2.1 CONSIDERACIONES 178
6.2.2.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS 178
6.2.3 ZONIFICACIÓN DE AMENAZA 180

LISTA DE TABLAS

TABLA 6.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS TALUDES - ESTADO ACTUAL 165

TABLA 6.2 RESUMEN DEL ANÁLISIS CINEMÁTICO 165
TABLA 6.3 PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE LOS MATERIALES 175
TABLA 6.4 PROBABILIDADES DE AGENTES EXÓGENOS 177
TABLA 6.5 ESPERANZAS DEL FACTOR DE SEGURIDAD 181
TABLA 6.6 ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD (CONTINUACIÓN) 182
TABLA 6.7 ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD (CONTINUACIÓN) 183
TABLA 6.8 ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD (CONTINUACIÓN) 184
TABLA 6.9 ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD (CONTINUACIÓN) 185
TABLA 6.10 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL 186
TABLA 6.11 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL (CONTINUACIÓN) 187
TABLA 6.12 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL (CONTINUACIÓN) 188
TABLA 6.13 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL (CONTINUACIÓN) 189
TABLA 6.14 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL (CONTINUACIÓN) 190
TABLA 6.15 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL (CONTINUACIÓN) 191
TABLA 6.16 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL (CONTINUACIÓN) 192
TABLA 6.17 CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA (ADAPTADO DE GONZÁLEZ Y MILLÁN, 1999) 193

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 6.1 ANÁLISIS CINEMÁTICO 166
FIGURA 6.2 ENVOLVENTE DE LARSON, QDAU 169
FIGURA 6.3 ENVOLVENTE DE LARSON, QDAM 169
FIGURA 6.4 ENVOLVENTE DE LARSON, QDAU-QDAM 170
FIGURA 6.5 ENVOLVENTE DE LARSON, TPB-L 170

FIGURA 6.6 RETROANÁLISIS: DESLIZAMIENTO PRINCIPAL SECCIÓN 1-1') 172
FIGURA 6.7 RETROANÁLISIS: DESLIZAMIENTO DT-003-AA (SECCIÓN 6-6') 172

7 CAPÍTULO 7 – EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD Y RIESGO 195
7.1 VULNERABILIDAD 196
7.1.1 METODOLOGÍA 196
7.1.1.1 CRITERIOS APLICADOS 196
7.1.1.2 INFORMACIÓN PRIMARIA 199
7.1.2 VULNERABILIDAD SOCIAL 199
7.1.3 VULNERABILIDAD FÍSICA 205
7.1.3.1 TIPOLOGÍA DE LAS EDIFICACIONES POR BARRIO 206
7.1.4 ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD 209
7.1.5 ZONIFICACIÓN DE RIESGO 210

LISTA DE TABLAS

TABLA 7.1 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE RESPUESTA DE LA EDIFICACIÓN 197
TABLA 7.2 CALIFICACIÓN PARA VARIABLE: SISTEMA ESTRUCTURAL 197
TABLA 7.3 CALIFICACIÓN PARA VARIABLE: CALIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN 197
TABLA 7.4 CALIFICACIÓN PARA VARIABLE: PARTES ESTRUCTURALES 197
TABLA 7.5 CALIFICACIÓN PARA VARIABLE: DAÑO EN LA CONSTRUCCIÓN (TOMADO Y ADAPTADO DE DAY, 1999) 198
TABLA 7.6 CALIFICACIÓN PARA VARIABLE: SISTEMA DE CIMENTACIÓN 198
TABLA 7.7 EDIFICACIONES QUE CARECEN DE SERVICIOS PÚBLICOS 202
TABLA 7.8 DAÑOS GENERALES EN LAS CONSTRUCCIONES 204
TABLA 7.9 CAPACIDAD DE ENDEUDAMIENTO 204
TABLA 7.10 PORCENTAJE DE PÉRDIDAS 205
TABLA 7.11. MATRIZ DE INTENSIDAD DE DAÑO 207
TABLA 7.12 TABLA DE CLASIFICACIÓN DE DAÑOS PROPUESTA POR DRM 208

TABLA 7.13 ÁREA DE AFECTACIÓN SEGÚN ÁREA DE EXPOSICIÓN 208
TABLA 7.14 CATEGORIZACIÓN DE LOS NIVELES DE VULNERABILIDAD (IVF) 210
TABLA 7.15 MATRIZ DE RIESGO 210
TABLA 7.16 EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD Y RIESGO – CONDICIÓN ACTUAL 211

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 7.1 NIVEL DE INGRESOS POR FAMILIA 201
FIGURA 7.2 VALOR DE LAS VIVIENDAS – COMERCIAL FRENTE A CATASTRO 202
FIGURA 7.3 RECUPERACIÓN ECONÓMICA 205

8 CAPÍTULO 8 – PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS 212
8.1 INTRODUCCIÓN 213
8.1.1 ALTERNATIVAS 213
8.2 AMENAZA Y RIESGO FUTUROS (AMENAZA Y RIESGO CON OBRAS) 216
8.3 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA 228
8.4 PLAN DE ACCIÓN 236

LISTA DE TABLAS

TABLA 8.1 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD CONDICIONAL DE FALLA - ALTERNATIVA 2 (SUBDRENAJE INEFICIENTE) 229
TABLA 8.2 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD CONDICIONAL DE FALLA - ALTERNATIVA 2 (SUBDRENAJE INEFICIENTE) 230
TABLA 8.3 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD CONDICIONAL DE FALLA - ALTERNATIVA 2 (SUBDRENAJE INEFICIENTE) 231
TABLA 8.4 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD CONDICIONAL DE FALLA - ALTERNATIVA 2 (DRENAJE EFICIENTE) 232
TABLA 8.5 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD CONDICIONAL DE FALLA - ALTERNATIVA 2 (DRENAJE EFICIENTE) 233

TABLA 8.6 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD CONDICIONAL DE FALLA - ALTERNATIVA 3 234

TABLA 8.7 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD CONDICIONAL DE FALLA - ALTERNATIVA 3 235

TABLA 8.8 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO COMPARATIVO ENTRE LAS ALTERNATIVAS 240

TABLA 8.9 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO COMPARATIVO ENTRE LAS ALTERNATIVAS (CONTINUACIÓN) 241

TABLA 8.10 PRESUPUESTO ESTIMADO DEL PLAN DE ACCIÓN 246

TABLA 8.11 FASES DE REASENTAMIENTO 247

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 8.1 REASENTAMIENTO PARCIAL 217

FIGURA 8.2 DRENAJE, SUBDRENAJE Y RECONFORMACIÓN MOROFOLÓGICA 218

FIGURA 8.3A DETALLES ALTERNATIVA 2 219

FIGURA 8.3B DETALLES ALTERNATIVA 2 220

FIGURA 8.4A PILAS, DESCARGA Y DRENAJE 221

FIGURA 8.4B PILAS, DESCARGA Y DRENAJE 222

FIGURA 8.5A DETALLES ALTERNATIVA 3 223

FIGURA 8.5B DETALLES ALTERNATIVA 3 224

FIGURA 8.6 ELUSIÓN: PÉRDIDAS ESPERADAS 225

FIGURA 8.7 AMENAZA CON OBRAS: ALTERNATIVA 2 227

FIGURA 8.8 AMENAZA CON OBRAS: ALTERNATIVA 3 228

FIGURA 8.9 AMENAZA CON OBRAS CONDICIÓN EXTREMA: ALTERNATIVAS 2 Y 3 242

FIGURA 8.10 ÁRBOL DE DECISIÓN – CONDICIÓN ACTUALDESLIZAMIENTO PRINCIPAL (SECCIÓN 1-1´) 243

FIGURA 8.11 ÁRBOL DE DECISIÓN CONDICIÓN ACTUAL, DESLIZAMIENTO SAN LUIS (SECCIONES 2-2, 3-3´Y 5-5´) 243

FIGURA 8.12 ÁRBOL DE DECISIÓN CONDICIÓN FUTURA, DESLIZAMIENTO PRINCIPAL (SECCIÓN 1-1´) 244

FIGURA 8.13 ÁRBOL DE DECISIÓN CONDICIÓN FUTURA, DESLIZAMIENTO SAN LUIS (SECCIONES 2-2, 3-3´Y 5-5´) 244

FIGURA 8.14 PLAN DE ACCIÓN _____ 245

9 CAPÍTULO 9 – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES _____ 248

BIBLIOGRAFÍA _____ 252

LISTA DE PLANOS

PLANO 1 _____ LOCALIZACIÓN
PLANO 2 _____ MAPA BASE
PLANO 3 _____ GEOLOGÍA REGIONAL
PLANO 4 _____ GEOLOGÍA LOCAL
PLANO 4A _____ MODELOS GEOLÓGICOS – GEOTÉCNICOS
PLANO 4B _____ MODELOS GEOLÓGICOS – GEOTÉCNICOS
PLANO 5 _____ GEOMORFOLOGÍA
PLANO 6 _____ COBERTURA Y USOS DEL SUELO
PLANO 7 _____ ZONAS HOMOGÉNEAS
PLANO 8A _____ ZONIFICACIÓN DE AMENAZA ACTUAL
PLANO 8B _____ ZONIFICACIÓN DE AMENAZA FUTURA
PLANO 9 _____ VULNERABILIDAD POR FRM
PLANO 10A _____ RIESGO POR FRM
PLANO 10B _____ RIESGO FUTURO POR FRM

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A _____ CORRESPONDENCIA
ANEXO B _____ TOPOGRAFÍA
ANEXO B.1 _____ CERTIFICADO DE COORDENADAS - IGAC

ANEXO B.2 _____ MOJONES DE REFERENCIA
ANEXO B.3 _____ CARTERA ELECTRÓNICA
ANEXO B.3.1 _____ POLIGONAL DE CIERRE
ANEXO B.3.2 _____ DATOS CRUDOS
ANEXO B.4 _____ CERTIFICADOS DE CALIBRACIÓN DE LOS EQUIPOS
ANEXO C _____ GEOLOGÍA
ANEXO C.1 _____ COLUMNAS ESTRATIGRÁFICAS
ANEXO C.2 _____ LEVANTAMIENTO ESTRUCTURAL
ANEXO C.3 _____ FOTOINTERPRETACIÓN
ANEXO C.4 _____ INVENTARIO DE PROCESOS
ANEXO D _____ GEOTECNIA
ANEXO D.1 _____ EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO
ANEXO D.1.1 _____ EXPLORACIÓN REALIZADA POR GIA C.L.
ANEXO D.1.2 _____ EXPLORACIÓN REALIZADA POR OTROS CONSULTORES.
ANEXO D.2 _____ ENSAYOS DE LABORATORIO
ANEXO D.3 _____ ENSAYOS DE LABORATORIO (OTROS CONSULTORES)
ANEXO E _____ AMENAZA
ANEXO E.1 _____ ANÁLISIS CINEMÁTICO
ANEXO E.2 _____ ANÁLISIS MULTITEMPORAL
ANEXO E.3 _____ ANÁLISIS PARAMÉTRICO
ANEXO E.4 _____ PROGRAMAS DE MONITOREO E INSTRUMENTACIÓN
ANEXO E.5 _____ MODELOS GEOLÓGICOS IEH (1988, 1997)
ANEXO E.6 _____ SUPERFICIES CRÍTICAS SLIDE
ANEXO E.7 _____ DISTANCIA DE VIAJES DE SUELOS
ANEXO F _____ VULNERABILIDAD Y RIESGO
ANEXO F.1 _____ INSTRUCTIVO FORMATO DE INVENTARIO
ANEXO F.2 _____ INVENTARIO DE VIVIENDAS

ANEXO F.2.1 __ FORMULARIOS PARA LA EVALUACIÓN DE DAÑOS Y ESTADO EN EDIFICACIONES POR FRM
ANEXO F.2.2 _____ REGISTRO FOTOGRÁFICO
ANEXO F.3 _____ PONDERACIÓN DEL VALOR COMERCIAL DE LAS EDIFICACIONES
ANEXO G _____ PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS
ANEXO G.1 _____ PREDISEÑO DE ALTERNATIVAS
ANEXO G.2 _____ RESULTADOS DE LA MODELACIÓN CON OBRAS
ANEXO G.3 _____ SUPERFICIES CRÍTICAS CON OBRAS – SLIDE
ANEXO G.4 _____ANÁLISIS DE PRECIOS Y COSTOS DE REFERENCIA
ANEXO G.5 _____ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO FUTUROS
ANEXO H _____ FICHA DE REASENTAMIENTO

GLOSARIO, SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

GLOSARIO

AMENAZA: Probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente destructor, en un área específica dentro de un determinado período de tiempo. (Suárez J., 1998).
ARCILLOLITA: Roca sedimentaria de origen detrítico. Es una roca compacta, sin fisilidad que está formada por partículas del tamaño de la arcilla.
BASE TOPOGRÁFICA: Mapa base que contiene información topográfica, utilizable para referenciar localizaciones de otros elementos, y la elaboración de mapas temáticos (mapas geológicos, estructurales, de uso de tierras, entre otros).
BUZAMIENTO: Ángulo de inclinación que forma un filón, estructura o capa rocosa con un plano horizontal, medido perpendicularmente a la dirección o rumbo del filón.
CAUCE: Canal por donde normalmente discurren las aguas de un río. El cauce es continuamente modificado por el caudal, la velocidad, la pendiente, la carga de sedimentos y el nivel de base local del río.
COBERTURA: Conjunto de datos asociados temáticamente y considerados como una unidad. Una cobertura usualmente representa un tema único, o corresponde a una capa de información tal como suelos, ríos, caminos, uso de la tierra, entre otros.
CUENCAS HÍDRICAS: Es el espacio delimitado por la unión de todas las cabeceras que forman el río principal o el territorio drenado por un único sistema de drenaje natural, es decir, que drena sus aguas al mar a través de un único río, o que vierte sus aguas a un único lago endorreico.
DESASTRE: Alteración intensa en las personas, los bienes, los servicios, y el ambiente, causados por un suceso natural o generado por la actividad humana, que exceden la capacidad de respuesta de la comunidad afectada. (Millán J., 1999).
DESLIZAMIENTOS: Movimiento consistente en un desplazamiento de corte a lo largo de una o varias superficies, que pueden detectarse fácilmente o dentro de una zona relativamente delgada. El movimiento puede ser progresivo, o sea, que no se inicia simultáneamente a lo larga de toda, la que sería, la superficie de falla. Los deslizamientos pueden ser de una sola masa que se mueve o pueden comprender varias unidades o masas semi-independientes. Los deslizamientos pueden obedecer a procesos naturales o desestabilización de masas de tierra por el efecto de cortes, rellenos, deforestación, etc. (Suárez J., 1998).
DESLIZAMIENTO ROTACIONAL: En un deslizamiento rotacional la superficie de falla es formada por una curva cuyo centro de giro se encuentra por encima del centro de gravedad del cuerpo del movimiento. (Suárez J., 1998).
DESLIZAMIENTO TRASLACIONAL: En el deslizamiento trasnacional el movimiento de la masa se desplaza hacia fuera o hacia abajo, a lo largo de una superficie más o menos plana o ligeramente ondulada y tiene muy poco o nada de movimiento de rotación o volteo. (Suárez J., 1998).
ESCARPE PRINCIPAL: Superficie muy inclinada a lo largo de la periferia posterior del área en movimiento, causado por el desplazamiento del material. La continuación de la superficie del escarpe dentro del material conforma la superficie de la falla. (Suárez J., 2009).
ESTABILIDAD (GEOTECNIA): Resistencia de una estructura, talud o muro de contención a la falla por deslizamiento o colapso bajo condiciones normales, para las que fue diseñado.
ESTADO DE ACTIVIDAD: Hace referencia a una condición temporal de la masa en movimiento, asociado con un número de formas de la zona de rotura en desarrollo y de la masa que se moviliza (grado de desarrollo).
ESTRATO: Capa de roca caracterizada por sus propiedades litológicas particulares y los atributos que la distinguen de las capas adyacentes.

FACTOR DE RIESGO: Cualquier elemento o fenómeno del ambiente de trabajo o acción que pueda causar un daño.
FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA (FRM): Junto con la erosión hacen parte de los procesos naturales de denudación de la corteza terrestre, como tales no se consideran susceptibles de manejo total y se definen como movimientos en masa de traslocación por acción de la gravedad, la cual no es un medio de transporte. (González, 1990).
FLANCO: Un lado (perfil lateral) del movimiento. Se debe diferenciar el flanco derecho y el izquierdo. (Suárez J., 2009).
GEOLOGÍA: Ciencia que estudia la composición y la disposición de los materiales que constituyen la litosfera terrestre, su naturaleza, su situación y las causas o fenómenos que originan esa disposición y de los efectos de los agentes que la alteran.
GEOMORFOLOGÍA: Ciencia que tiene por objeto el estudio y la explicación de las formas del relieve terrestre.
LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO: Descripción y delineamiento de un terreno en su configuración superficial.
NIVEL FREÁTICO: Superficie en la zona de saturación de un acuífero libre sometido a la presión atmosférica.
PERFIL: Es la secuencia y conjunto de horizontes de un suelo; corte vertical hecho en el suelo a fin de hacer un estudio.
REPTACIÓN: Es el movimiento lento e imperceptible del material
RIESGO: Se considera como la existencia o contingencia espacio temporal de que se suscite un daño a partir de la manifestación de un fenómeno natural. Es el valor esperado de daños, destrucción o pérdida de un grupo particular de elementos expuestos a la ocurrencia de un evento, potencialmente catastrófico.
SONDEO: Operación que se efectúa con el fin de perforar el suelo, mediante la apertura de orificios de diámetro pequeño para la exploración.
SUSCEPTIBILIDAD: Expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno.
SUPERFICIE DE FALLA: Área por debajo del movimiento y que delimita el volumen del material desplazado. El suelo por debajo de la superficie de la falla no se mueve, mientras que el que se encuentra por encima de ésta, se desplaza. En algunos movimientos no hay superficie de falla. (Suárez J., 2009).
TALUD: Superficie inclinada del terreno en la base de un cerro o de una colina, donde se encuentra un depósito de detritos.
VULNERABILIDAD: Grado de debilidad o resistencia que presentan las personas, sus bienes y el mismo ambiente natural, frente a la ocurrencia de un fenómeno peligroso.
VULNERABILIDAD FÍSICA: Se expresa como una medida porcentual de los costos de las averías originadas por un agente destructor.

SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

m: Metros.
Ha: Hectárea
Tc: Es el tiempo de concentración en horas
T: Período de retorno
n: Período de análisis o exposición.
SPT: Ensayos de penetración estándar
W %: Humedad natural.
γ_d (T/m^3): Peso unitario seco.
γt (T/m^3): Peso unitario total.

L_L: Límite Líquido.
L_P: Límite Plástico.
IL: Índice de Liquidez
q_u(S): Compresión inconfinada en suelo.
q_u(R): Compresión inconfinada en roca.
Gs: Gravedad específica.
PT200: Pasa Tamiz No. 200.
C_C : Coeficiente de Consolidación.
C_R: Coeficiente de Reconsolidación.
C_D: Corte Directo.
C_P: Carga Puntual.
N'_i: Número de golpes corregido para un esfuerzo de confinamiento de 1 Kg/cm^2.
ϕ_{eq}(°): Ángulo de fricción equivalente.
c'(Kg/cm^2): Cohesión.
ϕ'(°): Ángulo de fricción.
σ_C(Kg/cm^2): Resistencia a la compresión simple.
ϕ_R: Ángulo de fricción residual.
P+: Probabilidad de ocurrencia del evento crítico
P-: Probabilidad de no ocurrencia del evento crítico
a_h: Coeficiente de aceleración horizontal del terreno
pn: Probabilidad para exposición de n años
p: Probabilidad anual (= 1/475)
RE: Recuperación económica en años
%*Pérdidas:* Fracción del patrimonio.
CE: Capacidad de endeudamiento
P_f*:* Probabilidad de falla
C_f*:* Costo de falla
P_f*:* Probabilidad de falla
IVF: Índice de vulnerabilidad física.
TD: Tasa de daño.
FS: Factor de seguridad.
RQD: Rock Quality Designation.
η1: Factor de corrección por caída del martillo.
η 2: Factor de corrección por longitud del sistema de varillas.
η 3: Factor de corrección por presencia de revestimiento interno.
η 4: Factor de corrección por diámetro de la perforación.

CAPÍTULOS

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Al sur del distrito capital, en uno de los más populosos y tradicionales sectores de Bogotá, los habitantes conviven desde hace más de cuatro décadas con dos deslizamientos complejos y activos, posiblemente dos de los más antiguos, reconocidos y estudiados en la ciudad, pero aún no resueltos. Uno de ellos, el menor, gestor de los daños en la urbanización San Luis, y el otro inmerso entre los barrios Granada Sur, Montebello y Villa Nataly. Su importancia es tal que no sólo cubre un poco más de seis hectáreas de extensión superficial, sino que ha provocado el reasentamiento de más de cuatro decenas de familias, el deterioro de cerca de un centenar de casas, la zozobra de sus habitantes y el seguimiento permanente del FOPAE y de la institucionalidad distrital, patente en el generoso número de diagnósticos (superior a las dos decenas), en los monitoreos (por lo menos cinco en las dos últimas décadas), y en la media docena de estudios técnicos acometidos desde los años sesenta, algunos en manos de prestigiosas firmas de consultoría (v.g. Ingeniería y Geotecnia, Ingeniería e Hidrosistemas Ltda. – IEH) y otros en cabeza del Servicio Geológico Nacional (hoy día conocido bajo el nombre de Ingeominas).

GIA Consultores, a través del contrato Cons-619 de 2010 ha sido designada por el ente oficial, para coadyuvar en la definición de la senda de recuperación a través del estudio de riesgos por remoción en masa; tarea que pretende, entre otros alcances dilucidar las causas de los deslizamientos, caracterizar geológica y geotécnicamente el escenario, deducir las condiciones hoy día de amenaza, vulnerabilidad y establecer las medidas de manejo a recomendar. De manera que en los resultados del estudio, alrededor de 7000 personas habitantes de la zona, encuentren una respuesta concreta a las inquietudes, que durante años las han aquejado. El presente informe describe las actividades realizadas (reconocimiento geológico, geotécnico, inventario y caracterización de procesos morfodinámicos y exploración del subsuelo), para deducir los estados de amenaza y riesgo, acorde con las directrices de la entidad contratante.

1.2 LOCALIZACIÓN

Los barrios Granada Sur, Granada Sur III Sector, San Luis, Montebello, Padua y Villa Nataly, piezas constitutivas del área de estudio, están adosadas al flanco suroeste de los cerros orientales del Distrito Capital, en jurisdicción político-administrativa de la localidad San Cristóbal (véase el *Plano 1*). Tiene asiento en la vertiente sur del Río San Cristóbal, entre las calles 20A Sur y 27A Sur, y entre la Carrera 6 y la

Transversal 3 (al NW y W, respectivamente) y la Carrera 1 Bis y la Transversal 1 Este. Su extensión superficial comprende un poco más de 27 hectáreas de una sucesión de pendientes estructurales, intensamente retrabajadas por la actividad minera, con elevaciones entre los 2599 msnm y los 2660 msnm. El polígono definido por las coordenadas planas relacionadas en la *Tabla 1.1* circunscribe el área de estudio.

TABLA 1.1 VÉRTICES DEL TERRENO

NORTE	ESTE
95717.3	99411.2
95573.2	99526.2
95559.6	99552.9
95561.2	99597.0
95570.3	99634.9
95576.3	99639.7
95599.1	99639.0
95602.9	99638.7
95628.3	99635.6
95661.3	99626.8
95739.1	99616.7
95794.9	99602.1
95807.2	99566.5
95812.5	99523.1
95812.2	99516.4
95787.8	99474.1
95760.0	99452.1
95758.0	99450.8
95753.6	99449.4
95717.3	99411.2

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

1.3 DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO

De acuerdo con la recopilación hecha por A. Engativá el deslizamiento mayor de los barrios Granada Sur y Montebello ha sido estudiado desde hace más de treinta años. "Un primer reconocimiento fue realizado por los Geólogos Diezemann y López en 1955, orientados a evaluar las condiciones de estabilidad de las explotaciones existentes desde principios del siglo, sin que registraran peligros inminentes de inestabilidad que amenazan zonas urbanas, por lo demás bastante alejadas de los frentes de explotación. Un segundo reconocimiento fue realizado por el Geólogo Marino Arce Herrera para el Servicio Geológico Nacional en enero de 1968, con motivo de movimientos que amenazaban la estabilidad de las viviendas del costado norte

del barrio Montebello y como resultado del cual fueron suspendidas las explotaciones de arcilla, recomendado el perfilado de todos los taludes de explotación, con medidas complementarias de drenaje y arborización, obras que se implementaron con relativo éxito" [sic] (relato tomado del "Estudio de los Problemas de Inestabilidad de Taludes en la Urbanización San Luis", elaborado por IGL, 1997).

Hoy día y después de más de cinco décadas y de más de media docena de estudios particulares de detalle, incluidos los monitoreos estructurales, y de cuantiosas inversiones económicas, poco parece lo avanzado. Los tres deslizamientos, el mayor (nombre asignado al de los barrios Granada Sur y Montebello) y el intermedio (apodado así al de la urbanización San Luis) y el menor, rector en el pasado de los daños en las viviendas de Granada Sur III Sector, aún permanecen activos, y sin posibilidad de estabilización; las masas movidas, superiores en volumen a los 240.000 m^3, a los100.000 m^3 y a los 40.000 m^3, respectivamente, mantienen intactos sus factores condicionantes y detonantes, e incluso algunos de ellos como el aporte de las aguas residuales se han exacerbado; y el problema en lugar de mejorar parece haber empeorado, los antaño deslizamientos individuales han transfigurado en complejos, ampliados y múltiples, y las secuelas han aumentado. El replanteamiento general, es decir borrón y cuenta nueva, pero sin dejar de lado lo hecho parece el camino más sensato. Comencemos entonces.

1.4 ANTECEDENTES

Los barrios Montebello y Granada Sur (nombre de los barrios oficiales en los que se erigen las urbanizaciones San Luis, Portal Real y Villa Nataly, y los barrios Padua, Granada Sur III Sector, San Miguel y S.C. Granada Sur) consiste en cerca de un millar (en sentido estricto 934) viviendas de dos (2), tres (3) y cuatro (4) niveles con sistema estructural en pórticos (incompletos), muros portantes no confinados y mampostería semiconfinada en algunos edificaciones, losas de entrepiso y de cubierta en concreto. El emplazamiento de las urbanizaciones recae en espesas masas de fluvioglaciar y de relleno, estas últimas creadas durante los años 60 y 70 del siglo pasado (deducción salida de la comparación de las aerofotografías de los años 1956, 1970 y 1977) reconfiguradas al final de los sesenta, a medidos de los ochenta y a comienzos de los dos mil, a la par con los pulsos de actividad.



FOTO 1.1 PANORÁMICA DEL BARRIO MONTEBELLO Y DEL DESLIZAMIENTO, VISTA DESDE LA ESQUINA NOROCCIDENTAL

Tal y como lo plantea IEH (1988) la zona de estudio ha sido evaluada en diversas oportunidades en los últimos cincuenta años. "Los primeros reconocimientos estuvieron orientados e evaluar las condiciones de estabilidad de las explotaciones de arcilla, chircales, que desde principios del presente siglo se adelantaban

en el área. En un primer reconocimiento realizado por los Geólogos Diezeman y López (1955), éstos no registran peligros inminentes de estabilidad que amenacen zonas urbanas vecinas, por lo demás bastante alejadas de los frentes de explotación" [sic]. "Un segundo reconocimiento fue realizado por el Geólogo Marino Arce Herrera para el Servicio Geológico Nacional en 1968, con motivo de movimientos que amenazaban la estabilidad de las viviendas del costado norte del barrio Montebello y como resultado del cual fueron suspendidas las explotaciones de arcilla, recomendando el perfilado de todos los taludes de explotación, con medidas complementarias de drenaje y arborización, obras que se implementaron con relativo éxito" [sic] (narración tomada de IGL, 1997).

"A comienzo de 1984, el Ingeniero Luis A. Mancilla G. realizó para la Secretaría de Obras Públicas, un estudio de estabilidad de dos sitios en los Barrios Granada Sur y Montebello; el primero de ellos ubicado en el sector Nor-Oriental del barrio Granada Sur, el cual está limitado por las Carreras 1A y 2A y las Calles 20 y 21 Sur. El segundo sitio hacia el Sur-Occidente del área corresponde a una zona de botadero, que llena un gran socavón dejado por las explotaciones de arcilla y cuya estabilidad podría afectar las viviendas del costado occidental de la Transversal 2A. Como resultado de sus análisis recomendó terraceos y medidas de drenaje superficial; los terraceos fueron realizados pero las obras de drenaje no… Estas medidas no fueron del todo afortunadas y por el contrario la inestabilidad se incrementó en los siguientes tres años" [sic]

"En 1987 y 1998 l firma IEH realizó para la SOP, sendos estudios detallados en los que se recopiló y revisó la información existente, complementándola con la implementación de un sistema de instrumentación (basado en inclinómetros y piezómetros) apiques y sondeos profundos con recuperación continua de muestras. Esto llevo a una sectorización de dos zonas: una inestable conformada por tres movimientos independientes y a la identificación de sus mecanismos de falla, y otra relativamente estable, delimitada por la calle 24 Sur. Dentro de las principales obras correctivas están la reconstrucción y sustitución de inmediata de los sistemas de acueducto y alcantarillado; la instalación de tres baterías de subdrenes horizontales, la disposición de un muro de contención (en gavión) adosado al extremo suroriental de la urbanización Villa Nataly; y la reconformación morfológica del talud externo a la urbanización San Luis"[sic]. Lastimosamente ninguna de las recomendaciones fue puesta en marcha.

Finalmente, durante los años 2000 Geoingeniería Ltda. acometió tres campañas de monitoreo en la urbanización San Luis. Campañas que condujeron al perfilado de las superficies libres, y a la construcción de estructuras de evacuación del agua superficial. Unas y otras con .relativo éxito: la tasa de movimiento se redujo.

Los diagnósticos técnicos, cincuenta y siete en total, emitidos exclusivamente por la DPAE, son baluartes documentales gráficamente enriquecidos, que ilustran la transformación o evolución de los escenarios de vulnerabilidad y riesgo (reflejados en las edificaciones), y por consiguiente del deslizamiento, y que realzan su importancia por ser salvaguardas de la vida de los residentes, en otras palabras por ser instrumentos de decisiones oportunas. Son la muestra patente de las bondades del seguimiento. Hacen énfasis en la alta susceptibilidad al colapso de las edificaciones en los barrios San Luis, Granada Sur y Montebello; presunción emanada de la pérdida de verticalidad, del empuje entre las viviendas y de las sobrecargas. Resaltan, además, serios daños en los sistemas estructurales generados por el deslizamiento mayor de Granada sur, Montebello, Villa Nataly, y Padua. Proponen diversas medidas que van desde la evacuación temporal hasta el reasentamiento, pasando por la formulación de obras de mitigación, por el reemplazo parcial o total de elementos estructurales y por las reparaciones de algunas propiedades. Y enfatizan la prohibición del uso del suelo para la construcción residencial, y sugieren su destino para recreación. Las *Tablas 1.2* a *1.16* compilan los apartes más relevantes de los diagnósticos.

TABLA 1.2 DIAGNÓSTICOS

DOCUMENTO	FECHA	ELABORÓ	DESCRIPCIÓN	CONCLUSIONES /RECOMENDACIONES
DI-4581	Julio de 2010	Ing. Fredy Vanegas; Ing. Marco Amaya; Ing. Diego Plazas; Ing. Víctor Hewitt; Ing. Nelly Céspedes; Ing. Jairo Torres; Ing. Mabel Lesmes; Ing. Álvaro Bravo.	Hace un recuento de la información bibliográfica generada para la zona (estudios y conceptos técnicos emitidos por el DPAE-FOPAE) y de las obras, tendientes a la mitigación del riesgo, desarrolladas en el sector; relaciona los predios indemnizados al 07 de noviembre de 2003; lista los predios que se encuentran en proceso de reasentamiento; incluye el inventario de los daños en las viviendas y en los elementos de infraestructura presentes en el área en estudio.	- Se determina que las viviendas de la urbanización San Luis que se relacionan a continuación se encuentran en zona de alto riesgo no mitigable, por lo que se recomienda incluir a las familias que las habitan en el programa de reasentamiento con prioridad técnica 1, y realizar un monitoreo frecuente a las 95 viviendas restantes. Los predios que se recomienda reasentar se relacionan a continuación: Manzana 55 – Predios 1 al 20; Manzana 56 – Predios 1 al 16 y 33 al 48; Manzana 57 – Predios 36 al 41. - Se recomienda incluir en el proyecto de reasentamiento, con las prioridades que se acotan, a las familias que habitan los predios que siguen, y que pertenecen al barrio Montebello: Prioridad Técnica 1: Manzana 06 – Predio 07; Manzana 17 - Predios 11, 12 y 15; Manzana 60 – Predio 10. Prioridad Técnica 2: Manzana 06 – Predios 01 al 06, 09 y 19 al 24; Manzana 07 – Predios 01 al 11 y 19 al 29; Manzana 17 – Predios 07 al 10, 13, 14 y 16; Manzana 60 – Predios 07, 08, 09 y 11 al 15. - Mantener vigentes las recomendaciones del DI-4375. - Se recomienda a la caja de vivienda popular agilizar el proceso de reasentamiento de los predios sugeridos en este diagnóstico, con el fin de realizar la demolición inmediata de las viviendas. - Se sugiere incluir el sector evaluado en la Base de Datos de Sitios para Intervención por Fenómenos de remoción en Masa de la DPAE, para que se gestione la realización de un estudio de zonificación de riesgo por remoción en masa. - Se solicita continuar con las labores de monitoreo adelantadas por la DPAE en el área evaluada. - Se resalta que el estudio de riesgos del proyecto urbanístico adelantado en la Calle 25B Sur Nº 5-87, al costado occidental de la Urbanización San Luis, definió un proceso constructivo y de manejo de taludes y excavaciones a desarrollarse por etapas, para afectar en la menor medida a las zonas aledañas. (Continúa)

FUENTE: SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ – SIRE (2011)

TABLA 1.3 DIAGNÓSTICOS (CONTINUACIÓN)

DOCUMENTO	FECHA	ELABORÓ	DESCRIPCIÓN	CONCLUSIONES /RECOMENDACIONES
DI-4581 (continuación)	Julio de 2010	Ing. Fredy Vanegas; Ing. Marco Amaya; Ing. Diego Plazas; Ing. Víctor Hewitt; Ing. Nelly Céspedes; Ing. Jairo Torres; Ing. Mabel Lesmes; Ing. Álvaro Bravo.	Hace un recuento de la información bibliográfica generada para la zona (estudios y conceptos técnicos emitidos por el DPAE-FOPAE) y de las obras, tendientes a la mitigación del riesgo, desarrolladas en el sector; relaciona los predios indemnizados al 07 de noviembre de 2003; lista los predios que se encuentran en proceso de reasentamiento; incluye el inventario de los daños en las viviendas y en los elementos de infraestructura presentes en el área en estudio.	Este proceso, al parecer, no se adelantó de la forma en que se estableció, por lo que se pide a la Alcaldía Local de San Cristóbal verificar el cumplimiento de lo indicado en la licencia de construcción del Centro Comercial El 20, que se construye, hoy dia, en el predio especificado. - Por ser de su competencia, se solicita a la Alcaldía de la localidad adelantar acciones jurídicas o administrativas para que el responsable de las obras de excavación ejecutadas en la construcción del Centro Comercial El 20, realice, de manera inmediata, un estudio geotécnico (o la actualización del ejecutado para la obtención de la licencia) donde se contemplen las obras de emergencia o las medidas de estabilización inmediatas de todos los taludes de corte realizados en el desarrollo de este proyecto. - A los responsables de la construcción del Centro Comercial El 20, se les recomienda que durante la implementación de las obras de emergencia o medidas de estabilización, se implemente un monitoreo y/o un control topográfico de verticalidad y horizontalidad, tanto en las viviendas adyacentes como en los taludes de excavación del proyecto durante las distintas etapas constructivas, con una periodicidad que garantice un margen de tiempo suficiente para una operación adecuada y oportuna en caso de observarse movimientos en éstos. - Se informa a los responsables del proyecto Centro Comercial El 20 que dado que la ejecución de las obras de construcción adelantadas en el predio en mención, posiblemente generen afectación en el sector evaluado, se debe tener en cuenta lo estipulado en los artículos 15 y 16 del Decreto 332 de 2004. - Se recomienda al Acueducto, a Codensa, a Gas Natural y a la Alcaldía Local de San Cristóbal realizar el mantenimiento periódico, suficiente y preventivo de las redes a su cargo. - A los habitantes del sector, a las empresas de servicios públicos, y a la Alcaldía Local, realizar un seguimiento permanente de las condiciones de estabilidad del terreno, e informar a la DPAE si se presentan cambios importantes que alteren o modifiquen su estabilidad. (Continúa)

FUENTE: SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ – SIRE (2011)

TABLA 1.4 DIAGNÓSTICOS (CONTINUACIÓN)

DOCUMENTO	FECHA	ELABORÓ	DESCRIPCIÓN	CONCLUSIONES /RECOMENDACIONES
DI-4581 (continuación)	Julio de 2010	Ing. Fredy Vanegas; Ing. Marco Amaya; Ing. Diego Plazas; Ing. Víctor Hewitt; Ing. Nelly Céspedes; Ing. Jairo Torres; Ing. Mabel Lesmes; Ing. Álvaro Bravo.	Hace un recuento de la información bibliográfica generada para la zona (estudios y conceptos técnicos emitidos por el DPAE-FOPAE) y de las obras, tendientes a la mitigación del riesgo, desarrolladas en el sector; relaciona los predios indemnizados al 07 de noviembre de 2003; lista los predios que se encuentran en proceso de reasentamiento; incluye el inventario de los daños en las viviendas y en los elementos de infraestructura presentes en el área en estudio.	- Se recomienda a la Alcaldía Local de San Cristóbal adelantar un control urbanístico en el sector en estudio, a fin de posponer las nuevas construcciones contenidas en él, hasta tanto se conozcan los resultados definitivos del estudio de riesgo (sugerido en los apartes anteriores) que definirá y soportará los condicionamientos o restricciones al uso del suelo que se puedan generar para esta área.
RO-34853	Febrero de 2009	Ing. Alvaro Camilo Bravo López	Información a secretaría General acerca de los antecedentes técnicos y de gestión del barrio. documentos generados con base en visitas de campo que involucran la evaluación estructural y geotécnica del sector de la referencia	
RO-33850	Diciembre de 2008	Ing. Juan Fernando Palacio P.	Información a la Fundación Internacional San Jorge acerca de los antecedentes técnicos y de gestión del barrio.	Se le informó que en el 2002, se desarrolló el Contrato No. 024-02 cuyo objeto fue Realizar la construcción de obras de emergencia en el talud localizado en la transversal 2B con calle 26 A Sur, adyacente a la Urbanización San Luis, Barrio Montebello, localidad San Cristóbal, consistentes en el retiro de derrumbes, el perfilamiento del talud y la construcción de obras de drenaje.
CR-2243	Junio de 2007	Ing. Luz Mary Salcedo M., Ing. Freddy Vanegas Carreño	Personal de la DPAE realizó visita técnica a la zona verde referenciada, evidenciando en el momento de la verificación de campo adelantada, la presencia de procesos de remoción en masa activos tipo reptación hacia el costado norte, reflejados en la inclinación de la cerca de lindero y ondulación del terreno con presencia de grietas de tracción; hacia el costado sur de la zona verde a media ladera se llevó a cabo una intervención de carácter informal para la adecuación de una cancha de fútbol. Este sector forma parte de una gran área inestable que involucra los barrios: Granada Sur, Montebello, Padua, Villa Nataly y San Luis.	
CR-1597	Febrero 2007	Ing. Oscar Armando Bravo Niño	Remisión DI-3108 a la Dra. Sandra Patricia Remolina Secretaria Juzgado Sexto Administrativo del circuito de Bogotá Sección Primera.	

FUENTE: SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ – SIRE (2011)

TABLA 1.5 DIAGNÓSTICOS (CONTINUACIÓN)

DOCUMENTO	FECHA	ELABORÓ	DESCRIPCIÓN	CONCLUSIONES /RECOMENDACIONES
DI-3108	Febrero de 2007	Oscar Armando Bravo Niño	En el diagnóstico técnico DI-3108 se presenta de manera general los antecedentes relacionados con estudios que han involucrado la zona, la dinámica de los procesos de inestabilidad que han ocurrido y las acciones que han emprendido la comunidad y el Distrito.	
DI-3108	Febrero de 2007		Frente a este último aspecto cabe mencionar que el Tribunal Administrativo de Cundinamarca profirió el fallo de la Acción de Tutela 99-698, mediante el cual ordenó al Distrito Capital la adopción de las medidas conducentes y eficaces para preservar la vida de los habitantes de la Urbanización San Luis, en tal sentido, la DPAE, a través del FOPAE, adelantó los estudios y monitoreos ya mencionados, así como la evacuación y pago de ayuda para el canon de arrendamiento a 16 familias que ocupaban las viviendas en riesgo de colapso. El 25 de Octubre de 2001 el Consejo de Estado emitió el fallo de segunda instancia dentro del proceso de la Acción de Grupo interpuesta por 104 habitantes de la Urbanización, ordenando declarar solidariamente responsable al Distrito Capital, Alcaldía Mayor de Bogotá, Alcaldía Local de San Cristóbal y la Sociedad Constructora Transequipos y Construcciones, en Liquidación, de los hechos ocurridos en la Urbanización San Luis y en consecuencia ordenó el pago de una indemnización colectiva por los perjuicios materiales a los 104 demandantes, consistente en los valores pagados por estos a la constructora como cuota inicial y las sumas canceladas a las corporaciones financieras como abonos a capital e intereses. En reunión realizada en la Secretaría de Gobierno el día 22 de Julio de 2005, la Subdirección de Gestión Judicial informó que cursaba otra Acción de Grupo interpuesta por 23 habitantes de la Urbanización que no hicieron parte de la Acción de Grupo fallada en el 2001. Al parecer el problema fundamental que se presenta es que a pesar de haber cancelado las indemnizaciones a los demandantes, algunas de las 104 viviendas continúan habitadas, lo que el Concejo de Bogotá entiende como un riesgo para la vida de esas personas.	Como alternativas de actuación inmediata, se acordó lo siguiente: - La DPAE revisará el estado actual de las viviendas identificadas en riesgo medio de acuerdo con el último monitoreo. - La Alcaldía Local iniciará las querellas de amenaza de ruina en los casos en que de acuerdo con los monitoreos de la DPAE, se identifican como en riesgo alto. En concordancia con lo anterior, la DPAE adelantó la evaluación de la situación de riesgo e inspección técnica de 17 predios de la Urbanización San Luis, verificándose la habitabilidad de las viviendas. Dentro de las recomendaciones formuladas, se precisó mantener evacuada la vivienda que se encuentra subscrita a nombre del señor Álvaro Antonio González González localizada en la Calle 24 A Sur # 4 A - 40 puesto que su habitabilidad se encuentra comprometida en el corto plazo

FUENTE: SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ – SIRE (2011)

TABLA 1.6 DIAGNÓSTICOS (CONTINUACIÓN)

DOCUMENTO	FECHA	ELABORÓ	DESCRIPCIÓN	CONCLUSIONES /RECOMENDACIONES
RO-21485	Febrero de 2007	Ing. Oscar Armando Bravo Niño	El día 07 de febrero de 2007 personal de la Coordinación de Asistencia Técnica de la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias, DPAE, realizó una visita técnica al sitio de la referencia, emitiendo el Diagnóstico Técnico № DI-3108 del cual se anexa copia para su conocimiento y fines pertinentes.	Mantener evacuada la vivienda que se encuentra subscrita a nombre del señor Álvaro Antonio González González localizada en la Calle 24 A Sur # 4 A - 40 puesto que su habitabilidad se encuentra comprometida en el corto plazo. A los habitantes de la Urbanización San Luis, realizar un seguimiento permanente de las condiciones de estabilidad de la ladera en general y de sus viviendas en particular, e informar a esta entidad si se presentan cambios importantes que alteren o modifiquen esa estabilidad.
RO-19547	Septiembre de 2006	Ing Fredy Vanegas	Información al Presidente Junta Acción Comunal Urbanización Montebello acerca de los antecedentes técnicos y de gestión del Barrio Montebello, Granada Sur y áreas aledañas (Incluida la urbanización San luis).	
RO-15334	Agosto de 2005	Ing Luis Jairo Pérez	Remisión del RO-14968 a la Secretaría de gobierno.	
RO-14968	Junio de 2005	Ing Luis Jairo Pérez	Información a la subdirección de Gestión Judicial de la Secretaría General Los estudios con que cuenta la DPAE para la zona corresponden a los elaborados en los años 1997 (2) y 2000 (1) De otra parte y desde el año de 1999, la DPAE a través de diferentes contratistas ha venido realizando diversas campañas de Instrumentación y Monitoreo en la Urbanización San Luis y Monitoreo estructural buscando establecer en primera instancia la evolución del fenómeno de inestabilidad y las deformaciones presentadas en las viviendas del barrio San Luis y su área de influencia.	En virtud de los resultados de los estudios así como de la evolución del movimiento, la DPAE está determinando la zonificación de amenaza y riesgo por remoción en masa, con base en lo cual se procederá a elaborar los correspondientes conceptos técnicos, y poder realizar el trámite administrativo derivado, a efectos de declarar la zona como de alto riesgo. Remitir el concepto técnico al DAPD para la expedición de la resolución que contenga la declaratoria de suelos de protección por riesgo y su incorporación en el plano normativo N° 6 "Suelo de protección por riesgo de remoción en masa e inundación" y en el anexo Nº 2 "Zonas sujetas a amenazas y riesgos" en cumplimiento de lo dispuesto en los artículos 134 y 138 y parágrafo 2 del artículo 146 del Decreto Distrital 190 de 2004 (compilación del POT), así como en el marco del programa de Regularización y Manejo si así lo estima el DAPD.
RO-14735	Junio de 2005	Ing. Juan Fernando Palacio P.	Relación a la alcaldía local de san Cristóbal de los estudios elaborados.	

FUENTE: SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ – SIRE (2011)

TABLA 1.7 DIAGNÓSTICOS (CONTINUACIÓN)

DOCUMENTO	FECHA	ELABORÓ	DESCRIPCIÓN	CONCLUSIONES /RECOMENDACIONES
RO-9981	Septiembre de 2003	Javier Pava Sánchez	La Dirección de Prevención y Atención de Emergencias DPAE, adelanta durante los últimos años el "monitoreo y seguimiento a las viviendas de la urbanización San Luis de la localidad de San Cristóbal". De acuerdo con el último informe, elaborado por el ingeniero Harold Eduardo Sanmiguel Ahumada en el mes de abril de 2003, la vivienda ubicada en la calle 24 A sur No. 4 A-31 presenta condiciones estables y por lo tanto no está comprometida su habitabilidad.	Para continuar con el seguimiento periódico de la evolución de los daños en las viviendas, identificando las que presenten el mayor grado de deterioro y que requieran el traslado de las familias, de acuerdo con las condiciones de seguridad estructural y habitabilidad, la DPAE contrató con la firma Geotecnia y Cimentaciones S.A. el monitoreo de las viviendas de la urbanización San Luis. Por lo anterior, una vez identificados cambios en las condiciones de su vivienda que comprometan la habitabilidad, se tomaran las medidas pertinentes para garantizar la vida de sus ocupantes.
DI-1340	Diciembre de 2001	Juan Pablo Gaona Gómez	Con base en los fenómenos de remoción en masa que han sucedido en diferentes ocasiones en la Urbanización San Luis y teniendo en cuenta la importancia de realizar un seguimiento de los mismos, a la fecha se han emitido seis informes. El primer informe de deslizamiento se originó por el aporte de agua lluvia y de escorrentía desde la zanja de coronación al talud; esta zanja no posee una estructura de entrega, además carece de mantenimiento.	La obstrucción de la cuneta en el segundo nivel de terraceo, ocasionó el encharcamiento en esta zona, contribuyendo así, a la erosión y pérdida de soporte del talud superior, por tanto se genero un nuevo deslizamiento. El material deslizado obstruyó la cuneta en otro tramo aguas arriba de la misma y generó un nuevo encharcamiento el cual denotó el flujo de lodos hacia la parte inferior del talud, desconfinando el bloque de arenisca. En medio de los deslizamientos ocurridos se presenta un empozamiento que podría incurrir a la activación de nuevos fenómenos, por lo tanto se recomienda el retito de material de la cuneta lo antes posible. Se recomienda remover el material que obstruye la cuneta en dos tramos de la misma y contribuir a una obra de entrega o la continuación de la zanja de coronación, con el fin de manejar el drenaje superficial de esta zona. Igualmente, se recomienda el retiro parcial del bloque de arenisca expuesto por el flujo de lodos, esto significa quitarle volumen mediante un perfilado.
RO-6712	Noviembre de 2001	Javier Pava Sánchez	Remisión DI-1298 a la alcaldesa Local de San Cristóbal.	

FUENTE: SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ – SIRE (2011)

TABLA 1.8 DIAGNÓSTICOS (CONTINUACIÓN)

DOCUMENTO	FECHA	ELABORÓ	DESCRIPCIÓN	CONCLUSIONES /RECOMENDACIONES
RO-11579	Julio de 2004	Diana Arévalo Sánchez	Información que de acuerdo con los informes de monitoreo y seguimiento a las viviendas de la Urbanización San Luis de la localidad de San Cristóbal realizados durante el lapso de tiempo comprendido entre agosto de 1999 y febrero de 2004.	En visita realizada por personal de la Coordinación Técnica de la DPAE el día 28 de abril de 2004, se pudo establecer que la condición de riesgo y por consiguiente la habitabilidad de las viviendas de la Urbanización San Luis no han cambiado con respecto a los resultados de los monitoreos
DI-1298	Noviembre de 2001	Diana Arévalo Sánchez	Según el diagnóstico técnico y de acuerdo con información suministrada por la comunidad, el 2 y 3 de noviembre se presentaron lluvias en el sector de la urbanización y el domingo 4 de noviembre ocurrió un desprendimiento de material en el talud ubicado al suroriente del edificio de administración y otro en el talud oriental de la urbanización.	
DI-1298	Noviembre de 2001	Diana Arévalo Sánchez	Se observó que los deslizamientos ocurrieron en los taludes correspondientes al nivel superior de las terrazas conformadas durante la obra del año 2000. En el talud ubicado al sur del edificio de administración se observó la formación de una grieta semicircular conformando la corona del proceso de inestabilidad, el hundimiento del terreno y su desplazamiento hacia el norte, de tal manera que el material deslizado descansa sobre la berma de la terraza. En cuanto al talud oriental, se observó el deslizamiento de pequeños volúmenes de material superficial ocasionando una pérdida de material de soporte de dos cuñas de roca que sobresalen en el talud reconformado.	Dentro de las recomendaciones formuladas se consideró realizar la reconformación de los taludes afectados por deslizamientos superficiales y su protección, con el fin de evitar la infiltración de agua por la exposición del material a la acción de la lluvia y continuar con el monitoreo del sector, con el fin de evaluar el avance de los procesos y poder así tomar las acciones pertinentes.
DI-1297	Octubre de 2001	Diana Arévalo Sánchez	Corresponde a un complemento del DI-1246. Se realizaron visitas a nuevas viviendas, encontrando que presentan un nivel de daño bajo y en general, se consideró que la velocidad de propagación de los daños en las viviendas debido al desplazamiento del terreno es baja, por lo que la evolución de los daños será perceptible en la medida que la acumulación de dichos daños supere los niveles de resistencia de las estructuras.	De igual manera que en los diagnósticos anteriores se continua con la recomendación de continuar con el monitoreo.

FUENTE: SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ – SIRE (2011)

TABLA 1.9 DIAGNÓSTICOS (CONTINUACIÓN)

DOCUMENTO	FECHA	ELABORÓ	DESCRIPCIÓN	CONCLUSIONES /RECOMENDACIONES
DI-585	Febrero de 1999	Carlos Alberto Chavarro M.	En la inspección realizada, con el fin de determinar el grado de deterioro que presentan algunas viviendas de la Urbanización, se pudo establecer que no todas las casas se encuentran en iguales condiciones físicas, sino que las afectaciones individuales son diversas. Las casas con afectación alta no son seguras como sitio de habitación, y presentan una alta vulnerabilidad pues en este caso los muros son la estructura de la casa y se encuentran agrietados y desplazados, su comportamiento ante un evento sísmico no sería satisfactorio. Las casas con afectación media son relativamente seguras, no presentan igual nivel de desarrollo del proceso de deterioro, no se esperan que de inmediato colapsen teniendo en cuenta que el movimiento es muy lento, ante un evento sísmico si comportamiento estaría en entredicho. Las casas con afectación baja, son seguras en el momento, pues solo presentan pocas fisuras.	No utilizar las casa con daño estructural severo, que están a punto de colapsar y actualmente se encuentran desocupadas. Las viviendas de la Calle 25 no. 4ª-12/14, que presentan afectación Alta se deben evacuar. Las viviendas con afectación media pueden permanecer ocupadas hasta tanto las condiciones no cambien considerablemente, se deben mantener en observación permanente por parte de los propietarios para detectar a tiempo las aceleraciones del proceso. Ninguna de las viviendas se debe demoler hasta tanto no se decida acometer las recomendaciones de los estudios, se debe restringir el acceso a las viviendas desocupadas y que presentan daño severo. Mantener un monitoreo del fenómeno de remoción y de su velocidad del movimiento, y adecuar un sistema de alerta, hasta tanto no se ejecuten las recomendaciones del estudio.
DI-889	FEB – 2000	Germán Darío Tapia Muñoz	Se presenta un flujo de lodos de carácter lento y retrogresivo en la parte posterior del predio con dirección Transversal 2A No. 25-51 Sur, causando la pérdida de suelo de cimentación y consecuente colapso del muro de cerramiento perimetral en dicha zona de la vivienda.	Incluir en el Programa de Reasentamiento de Familias Localizadas en Zonas de Alto Riesgo No Mitigadle el predio de la Transversal 2A No. 25-51 Sur.
DI-1686	SEP – 2002	Contrato de Consultoría No. CONS-272/02, suscrito entre el FOPAE y la Empresa Consultora “Moya y García Ltda.”.	Se observa que en el talud del Barrio Montebello se han adelantado obras de protección, básicamente terraceo, contención, drenaje y coberturas vegetales, las cuales están trabajando en forma adecuada, pero debido a la presencia de fenómenos de remoción en masa puntuales, se evidencia la obstrucción parcial de cunetas y la ruptura de estructuras para la canalización de aguas.	

FUENTE: SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ – SIRE (2011)

TABLA 1.10 DIAGNÓSTICOS (CONTINUACIÓN)

DOCUMENTO	FECHA	ELABORÓ	DESCRIPCIÓN	CONCLUSIONES /RECOMENDACIONES
DI-1296	Septiembre de 2001	Diana Arévalo Sánchez	El diagnóstico DI-1296 corresponde a un complemento del DI-1246.	en el cual se indica que las viviendas clasificadas en proceso de colapso mantienen las condiciones presentadas en los reportes de monitoreo anteriores y en general se observa una evolución lenta de los daños en las viviendas, lo cual se asocia a las pocas lluvias que se han presentado en el sector, adicionalmente se observa desprendimiento del terreno a nivel superficial del talud correspondiente a la terraza superior conformada en el talud oriental y se recomienda continuar con el monitoreo haciendo énfasis en el control del avance de afectación estructural, con el fin de mantener actualizado el conocimiento del sector.
DI-1246	Agosto de 2001	Diana Arévalo Sánchez		En el diagnóstico DI-1246, basado en la inspección visual realizada a la zona visitada y los resultados de los monitoreos efectuados hasta la fecha, se presentan recomendaciones de habitabilidad de las viviendas y de transitabilidad de zonas.
DI-674	Junio de 1999	Carlos Alberto Chavarro M.	Se deben trasladar provisionalmente a las familias cuyas viviendas presenta afectación grave, tal que se pueda esperar su evolución hacia un fallo estructural o colapso. Las viviendas que presentan tales características se identificaron a partir de las inspecciones técnicas ejecutadas por Ingenieros del Área de análisis de Riesgos de esta Dirección y se encuentran dentro de la zona de riesgo establecida en el estudio de Ingeniería e Hidrosistemas Ltda.	Trasladar temporalmente a las familias de accionantes que residen dentro de la zona de Alto Riesgo, cuyas viviendas corresponden a las siguientes: Calle 25 A Sur 4A-20 y 4A-24, Calle 25 Sur 4 A-06 y 4 A-30, Calle 24 A Sur 4A-19, 4 A-25, 4 A-29, 4 A-16 y 4 A-28. Trasladar temporalmente a las familias no accionantes de las viviendas correspondientes a la Calle 25 Sur 4 A-12 y 4 A-14 y de la Calle 24 A Sur 4 A-24. Estas se ubican en la zona de alto riesgo y su vivienda no ofrece completa seguridad de habitabilidad. En todas las viviendas de los accionantes y las del resto de la urbanización se realizará el monitoreo topográfico y estructural, que aportará los datos necesarios para establecer cuales viviendas evolucionan hacia un estado de riesgo para sus habitantes y de esta manera incluirlas en el traslado provisional.

FUENTE: SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ – SIRE (2011)

TABLA 1.11 DIAGNÓSTICOS (CONTINUACIÓN)

DOCUMENTO	FECHA	ELABORÓ	DESCRIPCIÓN	CONCLUSIONES /RECOMENDACIONES
CT-3210	Octubre de 1998	Pilar del Rocío García	La masa que se mueve es un coluvión que suprayace a arcillolitas de la Formación Bogotá u cuya falla se estima que ocurre por el contacto entre estas dos unidades. El movimiento es de tipo activo y retrogresivo, por lo tanto la zona inestable seguirá extendiéndose especialmente hacia el Sur y Suroriente, a menos que se implementen las obras correctivas necesarias.	El presente concepto técnico está basado en el estudio de actualización de estudios geológicos y geotécnicos de los barrios Montebello, Granada Sur, San Luis, Padua y Villa Nataly, realizado por la firma IEH Ingeniería e Hidrosistemas Ltda., bajo el trabajo de consultoria No. 1314-33-97; en e concepto realizado por Ingeominas en abril de 1997 para la UPES y, en observaciones de los profesionales del Área de Análisis de Riesgos de esta Unidad.
RO-11924 RO-12068 RO-15026 RO-15449 RO-15517 RO-15742 RO-16457 RO-16461 RO-16465 RO-16468 RO-37018	AGO – 2004 a JUL - 2009	Juan Fernando Palacio P.	En los documentos relacionados se describe que las viviendas emplazadas en los siguientes predios: Calle 25 sur No. 2-23, Calle 24A Sur No. 1A-94, Calle 26 Sur No. 2-81, Transversal 2A No. 26-15 Sur, Calle 25 Sur No. 2-24, Calle 25 Sur No. 2-10, Calle 24A Sur No. 2-01, Calle 25 Sur No. 2-55, Transversal 2A No. 26-27, Calle 24 A Sur No. 2-21, presentan deficiencias constructivas y afectaciones evidenciadas por la presencia de fisuras y grietas en muros y pisos, afectaciones que no comprometen ni la habitabilidad ni la estabilidad de las mismas en el corto plazo y que no se encuentran asociadas al los fenómenos de remoción en masa identificados en el sector del costado norte en el Barrio Montebello.	Los documentos relacionados recomiendan al los responsables de los predios, el monitoreo de las estructuras y del sector en general e informar a la DPAE en el caso de que se presenten cambios significativos en dichas condiciones.

FUENTE: SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ – SIRE (2011)

TABLA 1.12 DIAGNÓSTICOS (CONTINUACIÓN)

DOCUMENTO	FECHA	ELABORÓ	DESCRIPCIÓN	CONCLUSIONES /RECOMENDACIONES
RO-6288	Septiembre de 2001	Javier Pava Sánchez	La DPAE de Bogotá adelantó el "Monitoreo y seguimiento a las viviendas de la Urbanización San Luis de la localidad de San Cristóbal, afectadas por fenómenos de remoción en masa". De acuerdo con dicho monitoreo, el sector occidental de la Urbanización, presenta los siguientes resultados: Los puntos de control localizados sobre el muro en gaviones existente en el extremo sur de la Transversal 2C presentan desplazamientos entre 2.5 y 3.8cm y levantamientos entre 8 y 4mm. Los puntos de control en viviendas ubicados sobre la Transversal 2C, identificados como puntos 6 y 10, muestran tendencia de desplazamiento de 1.7cm y levantamientos entre 0.8 y 1.2cm.	En el informe se concluye que estos movimientos son pequeños y no han dado lugar a movimientos relativos que causen daños en las estructuras, sin embargo indican la extensión del movimiento regional. De acuerdo con lo anterior, hasta el momento no se han presentado daños en las viviendas; sin embargo debe continuarse con la observación del comportamiento del sector para determinar la evolución de los procesos activos en la zona
RO-22937 RO-25975 RO-34182 RO-35027	ABR – 2007 a FEB – 2009	Ing. Oscar Armando Bravo Niño Ing. Tulio Ismael Villamil Vega Ing. Fredy Alonso Vanegas Carreño	En los documentos relacionados se describe que las viviendas emplazadas en los siguientes predios: Calle 24 Sur No. 1A-86, Calle 26A Sur No. 2-36, Calle 24A No. 2-15 Sur, Calle 24A No. 2-15 Sur, presentan deficiencias constructivas y afectaciones evidenciadas por la presencia de fisuras y grietas en muros y pisos, afectaciones que no comprometen ni la habitabilidad ni la estabilidad de las mismas en el corto plazo y que no se encuentran asociadas al los fenómenos de remoción en masa identificados en el sector del costado norte en el Barrio Montebello.	Los documentos relacionados recomiendan al los responsables de los predios, previa verificación de la normatividad vigente para el barrio, implementar, con el apoyo de personal idóneo las acciones tendientes al mantenimiento y reparación de los inmuebles, así como también implementar un monitoreo de las estructuras y del sector en general e informar a la DPAE en el caso de que se presenten cambios significativos en dichas condiciones.

FUENTE: SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ – SIRE (2011)

TABLA 1.13 DIAGNÓSTICOS (CONTINUACIÓN)

DOCUMENTO	FECHA	ELABORÓ	DESCRIPCIÓN	CONCLUSIONES /RECOMENDACIONES
DI-1551 DI-1809 DI-2343 DI-2370 DI-2959	JUL – 2002 a JUL - 2006	Lida Constanza García Gómez; Edson Orlando Hoyos Cerón, Juan Fernando Palacio P.,	En los documentos relacionados se describe que las viviendas emplazadas en los siguientes predios: Calle 24A Sur No. 2-06, Calle 24A Sur No. 2-12, Calle 25 Sur No. 2-54, Calle 26 Sur No. 2-98, Calle 26 Sur No. 2-94, Transversal 2A No. 25-57 Sur, Calle 25 Sur No. 2-98, Transversal 2A No. 26-27 Sur, Calle 25 Sur No 2-72 , presentan compromiso en su estabilidad y habitabilidad, compromiso evidenciado por afectaciones de tipo estructural que involucran fisuras y grietas en muros y pisos, así como también pérdida de verticalidad en los mismos, afectaciones que se encuentran asociadas directamente a la presencia de fenómenos de remoción en masa en el sector, los cuales han sido identificados en el estudio "Actualización de Estudios Geológicos y Geotécnicos en los Barrios Granada Sur – Montebello – Padua – Villa Nataly y San Luis".	Los documentos relacionados recomiendan la inclusión de los predios mencionados en el Programa de Reasentamiento de Familias Localizadas en Zonas de Alto Riesgo No Mitigable.
DI-3394	OCT - 2007	Luis Alejandro Vanegas Guerrero	Describe un avance significativo en el detrimento de las condiciones de habitabilidad y estabilidad de la vivienda emplazada en el predio con dirección Calle 26 Sur No. 2-98, en relación con las descritas en el Diagnóstico Técnico No. DI-2370.	Se recomienda evacuar el predio en mención y cambiar de prioridad técnica dos (2) a prioridad técnica uno (1) en el Programa de Reasentamiento de Familias ubicadas en Zonas de Alto Riesgo No Mitigable.

FUENTE: SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ – SIRE (2011)

TABLA 1.14 DIAGNÓSTICOS (CONTINUACIÓN)

DOCUMENTO	FECHA	ELABORÓ	DESCRIPCIÓN	CONCLUSIONES /RECOMENDACIONES
RO-36217	ABR - 2009	Ing. Fredy Alonso Vanegas Carreño	En el sector comprendido por la Transversal 2A entre la Calle 24 Sur y Calle 26 Sur, se observa el hundimiento de la capa de rodadura de la vía conformada en asfalto, afectación que generó el colapso de la misma, situación evidenciada por un hueco de aproximadamente 50cm de diámetro; dicha situación posiblemente se encuentre relacionada a fallas de las capas de base y súbase de la vía local y no a procesos de remoción en masa de carácter general o local.	Al Instituto de Desarrollo Urbano (IDU), la Alcaldía Local de San Cristóbal y la Secretaria de Movilidad implementar una señalización apropiada en la vía con el animo de mitigar el avance del deterioro del sector afectado, dado el transito de vehículos pesados y de servicio público, así como también adelantar las acciones para recuperar la estructura de las capas de base, sub-base y de rodadura del sector afectado de la Transversal 2 A.
CT - 2755		Ing Juan Pablo Gaona Gómez	Registro de movimientos de remoción en masa que ha causado el colapso y desplazamiento de muros. Deslizamiento rápido sobre un escarpe fuerte conformado sobre una zona antigua de chircales. Las construcciones presentan una alta susceptibilidad al colapso o pérdida de verticalidad, daños serios amenaza a movimientos de remoción en masa que es acelerado con el sobrepeso de las viviendas.	Reubicación de las familias ubicadas en las direcciones de la referencia. Reconformación del talud, revegetalización y arborización.
CT - 3748	Diciembre de 2002	Ing Juan Pablo Gaona Gómez	En la zona se presenta un fenómeno de remoción en masa de aproximadamente 13 metros de espesor, con una superficie de falla cuyo espesor calculado, de acuerdo al estudio E-211, es de 4 metros. La masa inestable se extiende desde la parte central del barrio Granada Sur, afectando los barrios Padua y Villa Nataly, hasta la Urbanización San Luis al nor-occidente de la Urbanización Montebello. En la Urbanización Montebello se presenta un deslizamiento traslacional que involucra una masa de suelo con un espesor que varía entre 10 y 15 metros, y que afecta las viviendas localizadas sobre la corona del talud hacia el noroeste de la Urbanización generando desplazamientos en las viviendas las cuales se han visto afectadas lentamente.	Para reducir las condiciones de riesgo o evitarlas en otros sectores, se recomendó la reubicación de los predios en Riesgo Alto. Complementariamente, se deben demoler y retirar los escombros , establecer cercados y aislamiento de las zonas para evitar futuras invasiones, asi como la identificación mediante el uso de vallas informativas. Implementar obras de drenaje superficial mediante cunetas y subsuperficial mediante drenes horizontales, así como el perfilado y descarga del talud, sellado de grietas y fisuras. Continuar con la instrumentación y monitoreo de deslizamiento, concientizando a la comunidad afectada sobre la importancia de conservar los pozos de inspección, inclinómetros y mojones para el control topográfico.

FUENTE: SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ – SIRE (2011)

TABLA 1.15 DIAGNÓSTICOS (CONTINUACIÓN)

DOCUMENTO	FECHA	ELABORÓ	DESCRIPCIÓN	CONCLUSIONES /RECOMENDACIONES
CT-1964	Agosto de 1996	Oficina para la Prevención de Emergencias - OPES	Solicitado por la empresa Gas Natural. Remoción en masa tipo reptación, el avance es retrogresivo en dirección Norte-Noroccidente. Daños severos en estructuras y muros de las edificaciones, agrietamiento, asentamientos diferenciales desplazamiento de muros y viviendas, en el barrio Montebello.	Reubicación de viviendas que presentan daños severos en sus estructuras. Impedir el desarrollo urbano en este sector, tipo residencial. Construcción de drenes y subdrenes sobre la masa desestabilizada. Implementación de un programa de estabilización mediante labores de terraceo y conformación de taludes.
DI-612	Marzo de 1998	Geoingeniería Ltda	El sector visitado corresponde a un talud de aproximadamente 30 grados de pendiente y 480 metros de longitud, ubicado en el costado sur de la avenida Primero de Mayo y en cuya pata se encuentra una obra de contención que corresponde a un muro de gaviones construido a lo largo del talud.	Construcción de un muro en gaviones de un nivel (1x1x1) y longitud de 20 metros, en el sitio del camino peatonal, el cual tiene como funciones servir como filtro, como obra de contención durante el proceso de descarga y como berma entre el talud a descargar y la parte del talud entre el camino peatonal y la avenida Primero de Mayo. Perfilar los taludes donde se presenten los deslizamientos. Construcción de obras de drenaje
DI-1015	Septiembre de 2000	Geoingeniería Ltda	Al lado oriental de la vivienda demarcada como Calle 21 B Sur No. 4-03, en el barrio Padua, el muros se encuentra interrumpido, en un tramo de 9.80 m. En terreno no se encuentran evidencias de falla del muro o del terreno, ni los restos del tramo de muro destruido. Durante la visita no se observó ninguna estructura para manejo de aguas sub-superficiales, ni tampoco flujo en el talud adyacente a la vivienda mencionada.	Excavación para la construcción del muro. Demolición de un tramo de muro existente. Se debe construir un muro en gavión que tenga dos funciones: la más importante que sirva como impedimento a los fenómenos de arrastre de materiales, y la segunda que sirva de contención al terreno previniendo la ocurrencia de movimientos leves del terreno.
CT-5562	Junio de 2009	Luis Alfredo González Morantes	En el momento de la visita técnica se identifican rellenos heterogéneos de espesor y características desconocidas, conformando un relieve con alta inclinación en una zona de transición de pendientes, conformados posiblemente por subproductos de las actividades de explotación de material que se desarrollaron en el área; presentan una superficie ondulada e irregular, asociada posiblemente a procesos de reptación, relacionado con bajas tasas de desplazamiento, que ante condiciones extremas de agua y/o sismo pueden ser susceptibles a la ocurrencia de procesos de inestabilidad a mayor escala.	Se considera que para la construcción del proyecto ubicado en la Calle 25B No. 5-87 Sur del barrio Granada Sur, de la localidad de San Cristóbal, SE REQUIERE adelantar la FASE II del estudio detallado de amenaza y riesgo por remoción en masa, con el fin de que se garantice la seguridad, habitabilidad, funcionalidad y estabilidad de las nuevas edificaciones y las cercanas, así como lo concerniente a la infraestructura existente y proyectada.

FUENTE: SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ – SIRE (2011)

TABLA 1.16 DIAGNÓSTICOS (CONTINUACIÓN)

DOCUMENTO	FECHA	ELABORÓ	DESCRIPCIÓN	CONCLUSIONES /RECOMENDACIONES
DI-1259	Octubre de 2001	Edson Orlando Hoyos Cerón	En la carrera 2 Este No. 24ª-20 Sur, se ubica el Centro Educativo Distrital Montebello, en un área total de 7600 m2 y un área construida de 1700 m2, aproximadamente y data de hace 40 años. Geológicamente en el área de influencia del deslizamiento existen rocas arcillosas y suelos residuales de la misma naturaleza, como evidencia el hecho de la existencia de antiguos chircales. El límite de la zona inestable según el estudio y contrastado con la revisión de la afectación de las viviendas ladera arriba del escarpe del deslizamiento, se mantiene en la calle 24 sur con carrera 1ª, por lo tanto el CED no está expuesto a este fenómeno.	No se encontraron evidencias de afectación actual en el CED por efecto del fenómeno de remoción en masa regional que compromete los barrios Granada Sur, Montebello, Padua, Villa Nataly y San Luis. La inspección se centró en la revisión estructural de las instalaciones del CED. Teniendo en cuenta la vida útil de las casetas prefabricadas, los problemas de las reparaciones recientemente realizadas y la función de la construcción, se deben realizar los estudios y diseños de nuevas aulas para la sustitución del as existentes.
CT-2744	Marzo de 1997	Javier Pava Sánchez	Existen antecedentes de movimientos de remoción en masa sobre una zona de explotación antigua de arcillas, registrados en diferentes estudios Geológicos del INGEOMINAS y Geotécnicos desde 1955. La principal cusa del hundimiento y agrietamiento en la ladera se debe a la explotación antitécnica realizada durante varios años que modificó las condiciones geomorfológicas e hidrogeológicas naturales dejando la zona en condiciones precarias de estabilidad; incrementado por el sobrepeso generado por los asentamientos de las viviendas de los barrios Montebello y Granada Sur urbanizaciones adelantadas desde 1968.	Actualizar el estudio de todo el sector debido a la complejidad del fenómeno y el carácter regional que alcanzo dicho fenómeno. El cual esta encaminada ha evaluar las diferentes alternativas para el tratamiento, y manejo de los agentes detonantes del problema. Suspensión en desarrollo, de toda actividad de construcción, excavación, obras de infraestructura y urbanismo que puedan aumentar el problema con modificación de las condiciones normales e incrementar los elementos bajo riesgo dentro del área comprendida entre la Calle 21 Sur y 26 B Sur y las carreras 2 este y carrera 6.
CT-2503	Noviembre de 1996	Oficina para la Prevención de Emergencias - OPES	Solicitado por la empresa Gas Natural. Riesgo medio por deslizamiento en el barrio Montebello. Construido sobre materiales arcillosos y fragmentos de roca según información geológica. Zona de estabilidad moderada próxima al área de alto riesgo por deslizamiento.	Estabilización de la zona mediante el mejoramiento del suelo Protección de la estación mediante obras de contención Instalar un mecanismo de control para determinar el comportamiento del movimiento de remoción en masa que afecta desde la calle 26 Sur.

FUENTE: SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS DE BOGOTÁ – SIRE (2011)

1.5 ALCANCES

A continuación se relacionan las actividades mínimas que requiere el estudio, y que constituyen sus principales componentes:

- Recopilación y análisis de la información secundaria disponible de: fotografías aéreas, cartografía oficial, planchas geológicas, estudios geotécnicos, registros pluviométricos, y todo tipo de información que aporte al proyecto.
- Levantamiento topográfico detallado de la zona objeto: altimetría y planimetría a escala 1:500, amarrados sistema de referencia (MAGNA-SIRGAS), con curvas de nivel cada 0.50 m, que registren la morfometría del predio y los signos morfodinámicos relevantes, así como: obras de arte, senderos peatonales, vías, etc.
- Recopilación de información primaria: reconocimiento geológico, Inventario y caracterización de los procesos morfodinámicos, investigación del subsuelo y programa de ensayos de laboratorio.
- Agrupación y síntesis de la información hidrológica, hidrogeológica e hidráulica.
- Análisis geotécnico; identificación de sitios inestables; estimación de estabilidad global y local para condiciones estáticas y dinámicas, Evaluación y zonificación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo.
- Auscultación y evaluación estructural de las viviendas
- Comparación y selección de alternativas para diseño de las obras requeridas para la mitigación del riesgo.

1.6 LIMITACIONES

La labor con mayores traumatismos ha sido el inventario de viviendas. La reticencia de la comunidad, causada por preguntas como el valor del inmueble y los ingresos del núcleo familiar, y su renuencia a participar en el inventario de viviendas, fueron los más claros signos de la participación comunitaria. Participación que sólo adquirió dinámica (parcialmente) luego de reuniones entre las partes (consultor y comunidad) y de la participación de los presidentes de la juntas de acción comunal.

Por otra parte, cabe resaltar que dentro del análisis en desarrollo se asumirán características geotécnicas similares, de acuerdo con los resultados de campo y laboratorio, y condiciones de homogeneidad para los diferentes materiales presentes en el área de interés.

1.7 METODOLOGÍA Y DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES

El estudio se estructura con base en un procedimiento metodológico evolutivo que inicia con la consulta de la información secundaria y con la recopilación de la primaria. Éstas se examinan, procesan y evalúan, con el fin de establecer similitudes y discrepancias entre sí, de tal forma que faciliten el diagnóstico del problema y conduzcan a la construcción de los modelos geotécnicos, al análisis de estabilidad y al planteamiento de las medidas alternativas de mitigación, dentro de los marcos técnico, social, ambiental y económico.

Para tal fin, GIA dispone de un equipo multidisciplinario de profesionales, que a lo largo del proyecto establecen coordinadamente con la interventoría los lineamientos metodológicos, conceptuales y técnicos para el cumplimiento de los objetivos y el logro de las metas propuestas de acuerdo con los términos de

referencia exigidos por la DPAE. Bajo esta perspectiva, el contenido técnico, se estructura lógica y consecuentemente, y se enmarcan sus alcances dentro de las directrices de la institución y las políticas distritales. Los pasos que conciernen la realización del estudio se exponen a continuación:

1.7.1 RECOPILACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE

Se refiere a la obtención de información secundaria: fotografías aéreas, así como cartografía y estudios previos de topografía, geología, geomorfología, geotecnia, hidrología, climatología, usos del suelo, sismología, etc., disponibles en entidades como el IGAC, la DPAE y el Ingeominas, así como el análisis y evaluación del estado obras existentes.

Esta etapa permitió en primer lugar, la asimilación de las características morfológicas del terreno de la geología, y de la geomorfología regional, y un acercamiento a la comprensión de los fenómenos existentes en área de estudio. En segundo lugar, fue la base de la programación de las labores requeridas para la complementación y profundización de la información y del ajuste de las fases de desarrollo del proyecto. En adelante se precisan algunas de las referencias empleadas, ordenadas y discriminadas de manera alguna:

1.7.1.1 INFORMACIÓN ESPECÍFICA

- AMÓRTEGUI G, JOSÉ (2002). "Diagnóstico Técnico No. 1686, Barrio Montebello, Localidad de San Cristóbal" FOPAE-DPAE. Bogotá D.C.
- BRAVO N, OSCAR A. (2007). "Diagnóstico Técnico DI-3108, Urbanización San Luis, Localidad de San Cristóbal". FOPAE-DPAE. Bogotá D. C.
- FONDO PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS (2011), "Monitoreo Estructural en el Sector comprendido por los barrios Montebello, Granada Sur III Sector, Granada Sur, Villa Nataly, Padua y la Urbanización San Luis, en la localidad de San Cristóbal". FOPAE. Bogotá D.C.
- GAONA G, JUAN P. (1997). "Concepto Técnico CT-2755, Barrio Montebello, Localidad de San Cristóbal". FOPAE-DPAE. Bogotá D.C.
- GAONA G, JUAN P. (2002). "Concepto Técnico CT-3748, Urbanización Montebello, Localidad de San Cristóbal". FOPAE-DPAE. Bogotá D.C.
- GARCÍA G. LIDA C. (2006). "Diagnóstico Técnico DI-2959, Barrio Montebello, Localidad de San Cristóbal". FOPAE-DPAE. Bogotá D.C.
- GARCÍA G. PILAR (1998). "Concepto Técnico No. 3210, Barrio Padua, Localidad de San Cristóbal" UPES. Santa Fe de Bogotá D.C.
- GEOINGENIERÍA LTDA. (1999a). "Diagnóstico Técnico No. 612, Barrio Granada Sur, Localidad de San Cristóbal". FOPAE-DPAE. Santa Fe de Bogotá D.C.
- GEOINGENIERÍA LTDA. (1999b). "Instrumentación y Monitoreo para la Urbanización San Luis, en Santa Fe de Bogotá D.C."
- GEOINGENIERÍA LTDA. (2000a). "Diagnóstico Técnico No. 1015, Barrio Padua, Localidad de San Cristóbal". FOPAE-DPAE. Santa Fe de Bogotá D.C.
- GEOINGENIERÍA LTDA. (2000b). "Estudio de Amenaza y Riesgos por Remoción en Masa, y Evaluación de Alternativas de Mitigación para la Urbanización Villa de los Alpes, en la Localidad de San Cristóbal, en Santa Fe de Bogotá D.C."
- GEOINGENIERÍA LTDA. (2002). "Monitoreo y Seguimiento a las Viviendas de la Urbanización San Luis Etapa 3, en la localidad de San Cristóbal, en Santa Fe de Bogotá D.C."
- GONZÁLEZ M., LUIS A. (2009). "Concepto Técnico CT-5562, Barrio Granada Sur, Localidad de San Cristóbal". FOPAE-DPAE. Bogotá D.C.

- HIDROGEOLOGÍA Y GEOTECNIA AMBIENTAL LTDA. (2000A). "Estudio de Zonificación de Riesgos por Fenómenos de Remoción en Masa en los barrios El Triángulo, Triángulo Alto y Corinto, en la Localidad de San Cristóbal, Santa Fe de Bogotá D.C."
- HIDROGEOLOGÍA Y GEOTECNIA AMBIENTAL LTDA. (2000B). "Estudio de Riesgos por Fenómenos de Remoción en Masa y Diseños Detallados de las Obras de Control, Protección y Estabilización en el barrio San Cristóbal Sur, en la Localidad de San Cristóbal, Santa Fe de Bogotá D.C."
- HOYOS C., ORLANDO (2001). "Diagnóstico Técnico DI-1259, Barrio Montebello, Localidad de San Cristóbal" FOPAE-DPAE. Bogotá D.C.
- HOYOS C., ORLANDO (2002). "Diagnóstico Técnico DI-1551, Barrio Montebello, Localidad de San Cristóbal" FOPAE-DPAE. Bogotá D.C.
- HOYOS C., ORLANDO (2003). "Diagnóstico Técnico DI-1809, Barrio Montebello, Localidad de San Cristóbal" FOPAE-DPAE. Bogotá D.C.
- INGENIERÍA E HIDROSISTEMAS, IEH (1988). "Estudios Geológicos y Geotécnicos para los Barrios Granada Sur y Montebello, de la Localidad de San Cristóbal, en Santa Fe de Bogotá D.C."
- INGENIERÍA E HIDROSISTEMAS, IEH (1997). "Actualización de los Estudios Geológicos y Geotécnicos para los Barrios Granada Sur, Montebello, Padua, Villa Nataly y San Luis, de la localidad de San Cristóbal, en Santa Fe de Bogotá D.C."
- INGENIERÍA Y GEORRIESGOS, IGR (2005). "Estudio de Riesgos por Remoción en Masa y de Compresibilidad del Terreno, Evaluación de Alternativas de Mitigación del Riesgo y Diseños Detallados de las Medidas Recomendadas para su Implementación en el Corto Plazo en un Sector del Barrio Atenas de la localidad de San Cristóbal, en Bogotá D.C."
- INGENIERÍA Y GEOTECNIA LTDA., IGL (1997). "Estudio de los Problemas de Inestabilidad de Taludes en la Urbanización San Luis, Barrio 20 de Julio, Santa Fe de Bogotá D.C."
- INGEOCIM LTDA. (1998). "Zonificación por Inestabilidad del Terreno para Diferentes Localidades en la Ciudad de Santafé de Bogotá D. C." Mapa Geológico. UPES–FOPAE. Bogotá D. C.
- MORA D., BERNARDO (1993). "Estudio de Suelos para la Urbanización San Luis, en Bogotá D.C." Bogotá D. C.
- OFICINA PARA LA PREVENCIÓN DE EMERGENCIAS (1996). "Concepto Técnico CT-1964, Barrio Montebello, Localidad de San Cristóbal" OPES-FOPAE. Bogotá D.C.
- OFICINA PARA LA PREVENCIÓN DE EMERGENCIAS (1996). "Concepto Técnico CT-2503, Barrio Montebello, Localidad de San Cristóbal" OPES-FOPAE. Bogotá D.C.
- ORTIZ G. DARWIN (2004). "Diagnóstico Técnico DI-2128, La Joyita Bello Horizonte, Localidad de San Cristóbal" FOPAE-DPAE. Bogotá D.C.
- PALACIO P. JUAN F. (2005). "Diagnóstico Técnico DI-2370, Montebello, Localidad de San Cristóbal" FOPAE-DPAE. Bogotá D.C.
- PALACIO P. JUAN F. (2005). "Diagnóstico Técnico DI-2343, Montebello, Localidad de San Cristóbal" FOPAE-DPAE. Bogotá D.C.
- SÁNCHEZ P. JAVIER (1997). "Concepto Técnico CT-2744, Montebello, Granada Sur, Padua, Villa Nataly, San Luis y Portón Real, Localidad de San Cristóbal" UPES-FOPAE. Bogotá D.C.
- SANMIGUEL, HAROLD (2002). "Monitoreo y Seguimiento a las Viviendas de la Urbanización San Luis, Localidad de San Cristóbal, Bogotá D.C."
- TAPIA M., GERMÁN D. (2000). "Diagnóstico Técnico DI-889, Urbanización San Luis, 20 de Julio, Localidad de San Cristóbal" FOPAE-DPAE. Bogotá D.C.
- TORRES C, OSCAR A (1989). "Determinación de un Acuífero Superficial en el Parque del Barrio Montebello, Santa Fe de Bogotá D.C."

Los diagnósticos técnicos, diecisiete en total, emitidos exclusivamente por la DPAE, son baluartes documentales gráficamente enriquecidos, que ilustran la transformación o evolución de los escenarios de vulnerabilidad y riesgo (reflejados en las edificaciones), y por consiguiente del deslizamiento, y que realzan su importancia por ser salvaguardas de la vida de los residentes, en otras palabras por ser instrumentos de decisiones oportunas. Son la muestra patente de las bondades del seguimiento. Hacen énfasis en la alta

susceptibilidad al colapso de las edificaciones en los barrios San Luis, Granada Sur y Montebello; presunción emanada de la pérdida de verticalidad, del empuje entre las viviendas y de las sobrecargas. Resaltan, además, serios daños en los sistemas estructurales generados por el deslizamiento mayor de Granada sur, Montebello, Villa Nataly, y Padua. Proponen diversas medidas que van desde la evacuación temporal hasta el reasentamiento, pasando por la formulación de obras de mitigación, por el reemplazo parcial o total de elementos estructurales y por las reparaciones de algunas propiedades. Y enfatizan la prohibición del uso del suelo para la construcción residencial, y sugieren su destino para recreación.

1.7.2 INFORMACIÓN GEOLÓGICA

- Mapa Geológico de Bogotá. Ingeominas, 1988.
- Mapa Geológico de Bogotá, escala 1:10000. Ingeocim, 1998.

1.7.2.1 BIBLIOGRAFÍA

- Bowles J. (1988). "Foundation Analysis and Design". McGraw-Hill International Editions.
- Coduto Donald P. (2001). "Foundation Design, Principles and Practices". Second edition. Prentice Hall, New Jersey.
- Cornforth D H (2005). "Landslide in Practice – Investigation, Analysis, and Remedial/preventative Option in Soil". John Wiley and Sons.
- Das Braja M. (1999). "Principios de Ingeniería de Fundaciones". Cuarta Edición. California State University. Thomson Editores.
- Das Braja M (2004). "Principles of Foundation Engineering". 5E. California. Thomson Learning Inc.
- Duncan J. M. and Wright S. G. (2005). "Soil Strength and Slope Stability". Wiley and Sons Inc. New Jersey.
- González G. A. (1987). "Analysis of Infiltration Test". VIII Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Sociedad Colombiana de Geotecnia.
- Hoek E (1995). "Support of Underground Excavation in Hard Rock". January, 1995. AA. Balkema Publisher.
- INGEOMINAS (1999). "Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá". Bogotá.
- INGEOMINAS, (2003). "Aspectos Geoambientales de la Sabana de Bogotá". Publicación Ingeominas. Bogotá.
- Julivert, M. (1961). "Observaciones sobre el Cuaternario de la Sabana de Bogotá". Boletín de Geología No. 7:5-36, Bucaramanga.
- Julivert, M. (1968). Lexique Estratigraphique Internationale. Vol. V Fasc. 4ª. Paris.
- Lee M. E, and Jones D. K C, (2004). "Landslide Risk Assesment". Thomas Telford.
- Suárez D., Jaime (2009). "Deslizamientos – Técnicas de Remediación". Volumen 2. Primera Edición. División de Publicaciones UIS. Bucaramanga (Colombia).
- Suárez D., Jaime (1998). "Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales". Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga (Colombia).
- Turner A. K. And Schuster L R. (1996). "Landslides Investigation and Mitigation". Special Report 247. Transportation Research Borrad. Nacional Research Council. USA.

1.7.3 VISITA DE RECONOCIMIENTO

Una vez examinada la información disponible se efectuó una visita al sitio del estudio con el equipo técnico de GIA, que persiguió, como primera medida, corroborar las acepciones inferidas en la etapa inmediatamente anterior, formular a priori un modelo hipotético de los problemas de inestabilidad y de la secuencia estratigráfica, organizar el inventario de viviendas, proponer los puntos de exploración del subsuelo, identificar los agentes detonantes de los procesos morfodinámicos y plantear de forma preliminar alternativas de mitigación de la amenaza.

1.7.4 ELABORACIÓN DE CARTOGRAFÍA BASE Y TEMÁTICA

1.7.4.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Con el objeto de conseguir el mapa base para las diferentes etapas del proyecto, contrastar el levantamiento catastral de que dispone el distrito; registrar la morfometría de la ladera, los signos de inestabilidad, las viviendas, las vías, y todo tipo de estructura física existente, como postes, pozos de inspección etc.; se realizó el levantamiento topográfico del sector a escala de trabajo 1:500 (pero expuesto gráficamente a escala 1:500), con curvas de nivel cada 0.5 metros. Éste fue amarrado a placas del IGAC (MAGNA-SIRGAS) que sirvieron de soporte para la definición de la poligonal de trabajo. El barrido altimétrico y planimétrico se ejecutó con la ayuda de una estación total, mediante un procedimiento mixto, que involucró tanto la toma de secciones transversales como la captura de una nube de puntos.

La interpretación cartográfica se efectuó con el empleo del software SURFACE MODELING bajo la aplicación de un modelo de interpretación dirigida. Es decir, se definieron y respetaron las barreras físicas actuales y se condicionó la interpretación a éstas, sin permitir el desempeño del Software a su libre esquema de triangulación.

1.7.4.2 ESTUDIOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS

A partir de la información existente, de la interpretación de las fotografías aéreas de años anteriores, de los levantamientos topográficos, y de campo; se establecieron los niveles litológicos en términos de unidades de roca y suelo tanto locales como regionales con su ubicación espacial; se identificaron los principales rasgos tectónicos, en especial fallas y lineamientos fotogeológicos; se diagrama la morfodinámica, las formas estructurales, etc. De igual forma, se determinó la geología estructural del macizo rocoso (específicamente orientación de la estratificación o influencia de los planos de discontinuidad o falla), los espesores y grados de alteración de los materiales depositados, la presencia de suelos residuales, y la actividad y desarrollo de los movimientos en masa. Como resultado de este trabajo, se presentan los planos geológico y geomorfológico, realizados en escala de trabajo 1:5000 el general y 1:500 el local.

1.7.5 ESTUDIO GEOTÉCNICO BÁSICO

1.7.5.1 INVENTARIO DE PROCESOS DE INESTABILIDAD

Se identificaron y delimitaron los diferentes procesos de inestabilidad, activos o potenciales. Cada proceso se registra en una ficha técnica y cartográfica, en la que se consigna toda la información concerniente al mismo: clasificación del proceso, magnitud, eventos detonantes y contribuyentes, frecuencia del movimiento,

actividad, tendencia a la propagación, daños producidos, geología estructural, morfometría del talud, etc. Esta información junto con el plano geomorfológico, constituyen el producto final del Inventario de procesos de inestabilidad y son la base para contrastar la amenaza a corto y mediano plazo, y para calibrar el plano de zonificación.

1.7.5.2 PROGRAMACIÓN DE EXPLORACIÓN DE SUBSUELO

Este capítulo se abordó mediante la ejecución de seis (6) perforaciones mecánicas con avance de percusión y lavado y rotación, nueve (9) apiques, tres (3) trincheras, dos (2) líneas de refracción sísmica, dos (2) Remi y la toma de datos estructurales. Lo anterior permitió una buena aproximación al modelo geológico y geotécnico en el área. El programa de ensayos de laboratorio se dirigió a la estimación de la resistencia al corte de los horizontes comprometidos: los llenos antrópicos, el depósito fluvioglaciar, los suelos residuales y los paquetes de arcillolita. Las muestras se sometieron a pruebas índice como: humedad natural, peso unitario, límites de Atterberg, granulometría, entre otras; y de comportamiento esfuerzo deformación, acordes con el nivel de esfuerzos existente en campo, como corte directo, expansiones, consolidaciones y compresiones inconfinadas.

1.7.6 ANÁLISIS GEOTÉCNICO

1.7.6.1 MODELO GEOTÉCNICO

Con base en la investigación de campo, en los ensayos de laboratorio y en algunos principios básicos de la geología estructural se elabora un modelo (aproximado) del subsuelo, en el que destaca la secuencia estratigráfica, la disposición estructural del macizo y los parámetros geomecánicos que se obtienen para cada horizonte de suelo o roca.

Se emplea durante la elaboración de este ejercicio la base cartográfica obtenida del levantamiento topográfico, escala 1:500. Las secciones estratigráficas (o geotécnicas) se levantan en la dirección probable de movilización de las unidades de ladera, que a priori concuerda con el azimut del buzamiento de la estratificación promedio. Así se diagraman los espesores de cada uno de los materiales, su disposición estructural, los parámetros geomecánicos y la posición probable de la superficie de falla. Este modelo es de gran importancia para el desarrollo del análisis paramétrico y de estabilidad.

1.7.6.2 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

La definición de las zonas homogéneas contempla variables como: material (unidad de roca y tipo de suelo), condición estructural, propiedades físico-mecánicas, y drenaje. Esta tarea implica la convolución de los estudios básicos: geología – estratigrafía (en unidades de roca y suelo) y estructural-, geomorfología – unidades morfológicas, morfométricas y procesos-, la hidrogeología, la investigación del subsuelo y la caracterización geotécnica de los materiales. Para el desarrollo de este tema se da uso a técnicas heurísticas o de cruce cualitativo de mapas.

1.7.6.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Se emplean para la evaluación local y general de estabilidad, métodos de análisis estático (equilibrio límite, Jambu o Bishop, y análisis paramétricos, Mora - 1992) de acuerdo con los mecanismos de falla probables o

presentes en los barrios. En este último caso, se modelan en las unidades de suelo y roca alterada: deslizamientos traslacionales o rotacionales por saturación, reblandecimiento, y presurización, entre otros.

Los análisis de estabilidad se efectúan para las diferentes condiciones, variando los parámetros de resistencia entre los valores mínimo y máximo esperados (funciones de densidad de probabilidad), teniendo en cuenta la ocurrencia o no de lluvias y sismos, y para las obras de mitigación planteadas.

1.7.7 ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA

La amenaza, entendida como la probabilidad de excedencia de un parámetro específico durante un tiempo de exposición determinado, se describe mediante la evaluación del Factor de Seguridad *FS* como parámetro específico de estabilidad (Sánchez, 2000). La relación existente entre estas dos variables (F.S. y Pf) y la obtención de las mismas, se hace aquí con base en los lineamientos metodológicos de los Estimativos Puntuales, PEM (Rosenblueth, 1975 y Harr, 1987). Por lo tanto, la probabilidad de ocurrencia de un evento particular (*FRM*) se evalúa en términos de sus eventos condicionantes a través de la ley de probabilidades totales.

Tal probabilidad, es función de las probabilidades condicionales de que se presente el deslizamiento para todas las posibles combinaciones de lluvia y sismo. Bajo el marco teórico expuesto, la evaluación de amenaza requiere entonces como insumos: los mecanismos de falla; y las funciones de probabilidad de las variables involucradas cohesión y fricción. Estos elementos, coligados con los resultados del análisis de estabilidad para las distintas combinaciones permiten determinar las curvas de probabilidad de falla de los taludes en estudio. Si bien el análisis se efectúa para casos individuales, la probabilidad condicional de falla obtenida en cada uno de ellos es fundamental en la definición de la curva de probabilidad de falla de la zona de estudio, gráfica que se constituirá el último eslabón para la elaboración del Mapa de Amenaza Actual (escala de trabajo1:500).

1.7.8 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO

A partir de los resultados del análisis de amenaza y de las observaciones de campo, se identifican y localizan los elementos en riesgo (unidades constructivas.). Una vez identificados los elementos en riesgo, se deduce su grado de vulnerabilidad, entendido este último como una función de las pérdidas esperadas ante la ocurrencia de un evento determinado. La evaluación de la vulnerabilidad se realiza teniendo como soporte los inventarios general y detallado de las edificaciones. Aspectos como el tipo de sistema estructural, el tipo de mampostería, la cubierta y la calidad de la construcción, son baluartes para estimar el índice de vulnerabilidad física.

La deducción del índice de vulnerabilidad física por remoción en masa se basa en una modificación a la propuesta realizada por Léone (1996). En este sentido se determina con base en la composición orgánica y estructural de las edificaciones y en la longitud potencial de viaje de la masa inestable, las zonas de afectación directa o indirecta para cada mecanismo de inestabilidad, los índices de daño y el grado de amenaza ($\propto$). Estos elementos serán el soporte para la determinación del índice de vulnerabilidad física.

Finalmente, analizada tanto la amenaza como la vulnerabilidad, se llevará a cabo la convolución de estas dos variables para definir el riesgo. Para ello se determinan los costos probables de falla a partir de los escenarios de afectación, del índice de vulnerabilidad física y de los costos iniciales de los elementos expuestos

(entendidos, por ejemplo, para el caso de las viviendas como la suma del costo comercial de la vivienda y del valor de los enseres). El riesgo se obtiene; entonces, como el producto de la probabilidad de falla, por el costo de falla que no es otra cosa que la sumatoria del índice de vulnerabilidad física por el costo inicial del elemento expuesto.

1.7.9 EVALUACIÓN DE MITIGABILIDAD

La identificación y clasificación de las medidas de reducción del riesgo, es un proceso evolutivo en el tiempo y que se perfecciona en la medida que se alcancen los diferentes objetivos del estudio o se desarrollen las diferentes etapas del mismo. La selección de las mejores alternativas técnicas, sociales y económicas se lleva a cabo con base en un análisis de costo/beneficio, que involucra aspectos como la vida útil, el mantenimiento y el uso del lugar.

Lo anterior permite concluir sobre dónde es conveniente reducir el nivel de amenaza, es decir llevar a cabo obras de contención o mitigación y cuál es la mejor alternativa, y en donde se requiere evadir el problema o sea reducir el nivel de vulnerabilidad.

1.7.10 ORGANIZACIÓN DEL INFORME

El informe técnico contiene siete (8) capítulos, ocho (8) anexos y trece (13) planos, discriminados como se detalla en la *Tabla 1.17*, en la *Tabla 1.18* y en la *Tabla 1.19*.

TABLA 1.17 CONTENIDO

CAPÍTULO	CONTENIDO
CAPÍTULO 1	GENERALIDADES
CAPÍTULO 2	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO
CAPÍTULO 3	GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA
CAPÍTULO 4	ESTUDIO GEOTÉCNICO
CAPÍTULO 5	HIDROLOGÍA, COBERTURA Y USOS DEL SUELO
CAPÍTULO 6	EVALUACIÓN DE AMENAZA (PARTE DEL INFORME 3)
CAPÍTULO 7	EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD Y RIESGO
CAPÍTULO 8	PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS
CAPÍTULO 9	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 1.18 ANEXOS

ANEXO	CONTENIDO
ANEXO A	CORRESPONDENCIA
ANEXO B	TOPOGRAFÍA
ANEXO C	GEOLOGÍA
ANEXO D	GEOTECNIA
ANEXO E	INVENTARIO DE VIVIENDAS
ANEXO F	VULNERABILIDAD Y RIESGO
ANEXO G	PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS
ANEXO H	FICHA DE REASENTAMIENTO

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 1.19 PLANOS

PLANO	CONTENIDO
PLANO 1	LOCALIZACIÓN
PLANO 2	MAPA BASE
PLANO 3	GEOLOGÍA GENERAL
PLANO 4	GEOLOGÍA LOCAL
PLANO 4A	SECCIONES GEOLÓGICAS
PLANO 4B	SECCIONES GEOLÓGICAS
PLANO 5	GEOMORFOLOGÍA
PLANO 6	HIDROLOGÍA Y USOS DEL SUELO
PLANO 7	ZONAS HOMOGÉNEAS
PLANO 8	ZONIFICACIÓN DE AMENAZA ACTUAL
PLANO 8A	ZONIFICACIÓN DE AMENAZA FUTURA
PLANO 9	ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD POR FRM Y SISMO
PLANO 10	ZONIFICACIÓN DE RIESGO – ESCENARIO ACTUAL

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

CAPÍTULO 2

TOPOGRAFÍA

CAPÍTULO 2

TOPOGRAFÍA

Como insumo esencial para la elaboración de la cartografía geológica, geomorfológica, geotécnica, de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, se realiza el levantamiento topográfico detallado, a escala 1:500, en el área designada para el estudio. En este trabajo se identifica y registra: la morfometría de las laderas, los rastros de inestabilidad, las viviendas, las vías, y todo tipo de estructura física, como postes, pasos peatonales, pozos, hidrantes, válvulas, cajas, estructuras de contención, paramentos, cercas y escaleras, entre otras. A continuación se describen las labores comprendidas para tal fin y se exponen sus resultados.

2.1 ALCANCE ESPECÍFICO DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

Acometer el levantamiento topográfico (planimétrico y altimétrico), a escala de trabajo 1:500, en coordenadas reales y el amojonamiento de cuatro (4) vértices, acorde con los siguientes parámetros básicos:

- Amarre a coordenadas reales: Sistema de Referenciación Magna-Sirgas.
- Captura de información topográfica en las tres dimensiones: X (Este), Y (Norte), Z (Cota).
- Registro detallado del sitio, i.e. postes, hidrantes, válvulas, cajas, pozos, vías, paramentos, cercas, evidencias geomorfológicas y morfodinámicas (escarpes, cuerpos de deslizamiento, etc.), entre otros.

2.2 PROCEDIMIENTO DE EJECUCIÓN

Luego de realizar la inspección visual en campo de los barrios Granada Sur, Montebello, Villa Nataly y las Urbanizaciones San Luis y Padua, y una vez evaluada la información disponible, se procedió a hacer el levantamiento topográfico (planimétrico y altimétrico), teniendo en cuenta la obtención de curvas de nivel cada 0.50 metros, mediante la aplicación de un procedimiento mixto que incluyó tanto la realización de secciones transversales como la captura de una nube de puntos.

2.2.1 TRABAJO DE CAMPO

El levantamiento topográfico involucró la captura de 16965 puntos, y tuvo una duración de veintisiete (27) días, marcados entre el 15 de febrero y el 13 de marzo de 2011. Se llevó a cabo en tres etapas. La primera encerró el geoposicionamiento, y el diseño y tendido de las poligonales de amarre y cierre. La segunda comprendió el espacio abierto; allí se tomó la información necesaria para la obtención de las curvas de nivel

cada metro, los prismas se dispusieron en los cambios de pendiente hasta obtener un cubrimiento total del área. Y la tercera fase abarcó el registro de la infraestructura como lo es: los paramentos, los andenes, las construcciones, los postes, los pozos, las estructuras de contención (i.e. las pilas y los muros en gavión) y los árboles; el barrido se llevó a cabo con una nube de puntos, como se ilustra en la *Foto 2.1*, en la *Foto 2.2* en la *Foto 2.3* y en la *Foto 2.4*.



FOTO 2.1 CAPTURA DE INFORMACIÓN EN LA URBANIZACIÓN SAN LUIS



FOTO 2.2 CAPTURA DE INFORMACIÓN EN EL BARRIO MONTEBELLO



FOTO 2.3 TOMA DE PUNTOS EN LA INTERSECCIÓN DE LA CARRERA 1A Y LA CALLE 24A SUR



FOTO 2.4 TRABAJO DE CAMPO ADELANTADO EN LA URBANIZACIÓN PORTÓN REAL

2.2.2 LOCALIZACIÓN CARTOGRÁFICA

Los barrios Granada Sur, Montebello, Villa Nataly y las Urbanizaciones San Luis y Padua, son jurisdicción político-administrativa de la localidad de San Cristóbal; yacen en el flanco suroeste de los cerros orientales, ocupan parte de la microcuenca de la Quebrada Ramajal y de la vertiente sur del Río San Cristóbal o Río Fucha y tienen asiento entre la Avenida Primero de Mayo y la calle 27 A Sur; limitan al occidente con los barrios 20 de Julio y Suramerica, al norte con la Avenida Primero de Mayo, al sur con el barrio Córdoba y al oriente con el barrio Granada Sur. Se enmarcan en el polígono definido por las coordenadas planas

contenidas en la *Tabla 2.1*, y a lo largo de sus 27 Has, cambia altimétricamente entre 2599 m.s.n.m y los 2659.5 m.s.n.m.

TABLA 2.1 POLÍGONO DEL ÁREA DE ESTUDIO

NORTE (M)	ESTE (M)
97087.2	98795.4
97320.6	98397.2
97159.8	98224.2
97059.1	98198.5
96948.3	98217.6
96816	98194.3
96694.1	98463.9
96743.4	98472.3
96667	98626.3
96729.8	98664
96866.1	98657.5

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

2.2.3 DESCRIPCIÓN DE LA POLIGONAL DE AMARRE

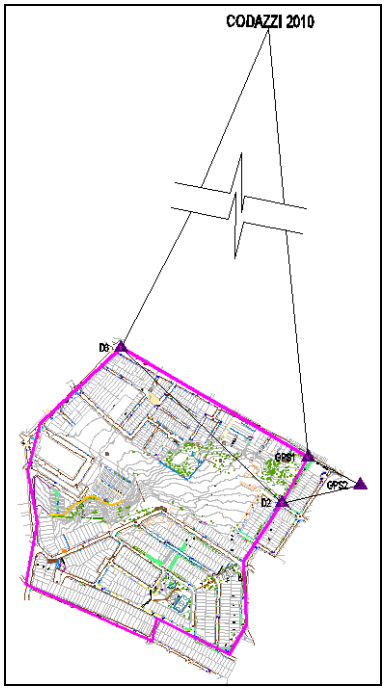
El punto de partida es la placa CODAZZI-2010, cimentado al interior de las instalaciones del IGAC, a la que se le atribuye como proyección: 104696.284 m.N. y 99732.359 m.E., y elevación 2588.6 m.s.n.m.; de ella se hace el traslado de coordenadas a los puntos GPS1 y GPS2, fincados en la zona del proyecto. La *Figura 2.1* ilustra la poligonal, y el *Anexo A.1* contiene la certificación del punto de amarre, expedida por el IGAC.

2.2.4 AJUSTES DEL LEVANTAMIENTO

Una vez surtidas las etapas previas se da curso al ajuste y cierre de la poligonal del levantamiento topográfico, que arroja los siguientes resultados:

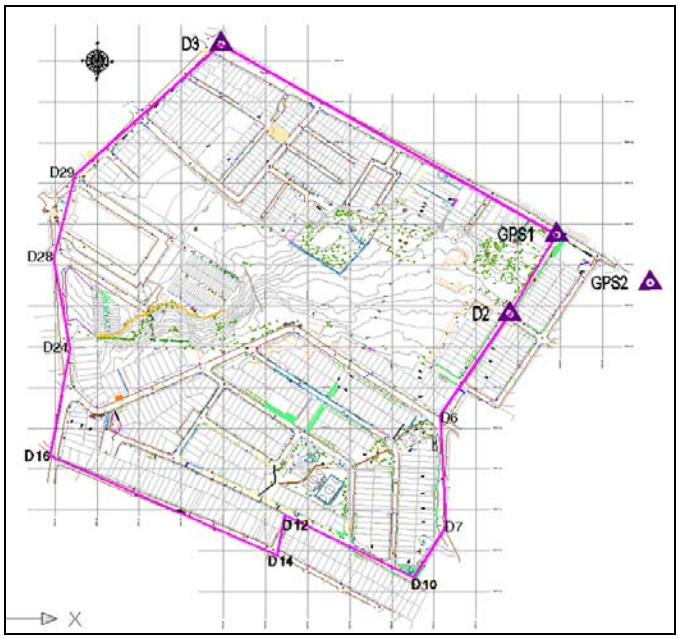
- Error de cierre en coordenadas Norte = 0.020 m
- Error de cierre en coordenadas E = -0.025 m.
- Error de cierre en ángulo = 9”
- Precisión = 1:63934.6

FIGURA 2.1 POLIGONAL DE AMARRE



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA 2.2 POLIGONAL DE CIERRE



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

2.2.5 AMOJONAMIENTO DE REFERENCIA

Se materializa con cuatro (4) placas fijadas y marcadas como GPS1, GPS2, D2 y D3. El GPS1 está cimentado en el andén occidental de la intersección entre la Carrera 1A y la Calle 20A Sur; el GPS2 reposa sobre el anden norte de la Calle 20A Sur, entre las Carreras 1 Sur y 1 Este, al costado suroccidental de la cancha; el D2 en la esquina nororiental del empalme de la Calle 21 Sur con la Carrera 1 A 6.23 metros al suroccidente del predio 03 de la manzana 21 del barrio Granada Sur; y el D3 en la intersección nororiental de la confluencia de la Carrera 6 y de la Calle 20 A Sur, a 17 metros del borde noroccidental de la manzana 36 del barrio Padua. Los detalles de los mojones de referencia, sus coordenadas y elevación se relacionan en la *Tabla 2.2* su nivelación geométrica se plasma en el *Anexo A.2* y su posición espacial se expone en el *Plano 2*.

TABLA 2.2 MOJONES MATERIALIZADOS EN CAMPO

MOJÓN	NORTE (M)	ESTE (M)	COTA (MSNM)
GPS1	97087.20	98795.41	2610.6
GPS2	97028.32	98906.39	2622.5
D2	96989.82	98739.49	2626.8
D3	97320.66	98397.17	2599.8

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

2.2.6 CONDENSACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE CAMPO

La información tomada en la estación total se consignó, a través de un colector de datos interno, y el programa de computadora CRC (Comunication Reduction and Conversion Program), permitió procesar tal información.

2.2.7 TRABAJO DE OFICINA

Reside en la georeferenciación los puntos topográficos tomados en campo, con el uso del programa Transit versión No. 2.11. El procesamiento cartográfico del levantamiento se ejecuta con el módulo Surface Modeling del programa Eagle-Point Versión No. 14, bajo un modelo de interpolación dirigida en tres dimensiones, lo que conllevó a definir y respetar las barreras físicas actuales, en especial las estructuras de contención, los taludes, los escarpes (de reconformación y de deslizamiento) y los cuerpos de deslizamiento, y a condicionar la interpretación a éstas, sin permitir el desempeño del programa a su libre esquema de triangulación; en este sentido jugaron un papel importante las secciones transversales.

El proceso así desarrollado puede entenderse como una conceptualización de un submodelo para un SIG, pues primero se elaboran las diferentes capas de información y posteriormente se hace la interpolación. De esta manera, entonces, se seleccionan los postes de alumbrado, los pozos de inspección y demás elementos del amoblamiento urbano, se delinean las vías y se delimitan las laderas y las expresiones morfológicas más relevantes. Para una mejor aplicación del programa se procesan parcialmente en tres dimensiones los diferentes elementos topográficos levantados, lo que da como resultado una mayor precisión y calibración de los límites y contornos. Finalmente, para terminar la generación del mapa base, se realiza la integración e

interpretación final de todo el conjunto. Como resultado de la actividad anterior, se definió la salida gráfica del plano topográfico, *Plano 2*, escala 1:500 con curvas de nivel cada 0.50 metro, y la cartera electrónica (condensada en el *Anexo A3*).

2.3 EQUIPO

El equipo utilizado involucró una Estación Total TOPCON GTS-235W de precisión angular al segundo y alcance de lectura con prisma sencillo de 2400 m de distancia, y capacidad para almacenar hasta 8000 puntos topográficos y lectura vertical cenital; y dos (2) GPS TRIMBLE 4000 SSE de alta precisión, georeferenciados con la información suministrada por el IGAC del vértice CODAZZI 2010. Estos dos últimos de trascendencia para el traslado de coordenadas. El equipo y los recursos empleados se relacionan en la *Tabla 2.3* y los certificados de calibración de la estación, del nivel y de los GPS exponen en el *Anexo A.4*.

TABLA 2.3 RELACIÓN DE EQUIPO Y ELEMENTOS POR COMISIÓN

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (UN)
ESTACIÓN TOPCON GTS-235W	1
GPS TRIMBLE 4000 SSE	2
RADIOS DE ONDA CORTA	4
NIVEL SOKKIA C-30	1
VEHÍCULO	1

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

CAPÍTULO 3

GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

CAPÍTULO 3

GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

La geología para ingeniería es una disciplina que involucra gran parte de las ramas del conocimiento de las ciencias de la tierra, su aplicación está orientada, principalmente, hacia la obtención de un modelo geológico estratigráfico y estructural que permita optimizar la exploración geotécnica, interpretar las condiciones de estabilidad, y estructurar las recomendaciones de mitigación de los escenarios de riesgo. En su tratamiento son necesarias minuciosas descripciones de los materiales (suelos y rocas), levantamientos estratigráficos y estructurales, el reconocimiento de los aspectos hidrogeológicos generales, la comprensión de los procesos esfuerzo-deformación tectónicos y de los aspectos de la dinámica exógena, y la abstracción de su relación con factores micro como la composición de las rocas y de los suelos, su porosidad y su permeabilidad, con factores meso como el fracturamiento, los diferenciales de permeabilidad en los estratos, la meteorización, etc., y con factores macro como el fallamiento, las glaciaciones pretéritas y el régimen climático. Todo para acercarse de manera holística y sistémica al comportamiento de los materiales.

La mirada, amplia, de los enfoques integrativos y sistémicos requiere del estudio en diferentes escalas, espaciales y temporales, de imágenes remotas (fotografías aéreas e imágenes de satélite y de radar), de afloramientos (mediciones), y de muestras representativas (micro). En la escala temporal el manejo del tiempo geológico es ineludible; para el caso de Granada Sur y Montebello es importante la comprensión de los procesos que iniciaron hace cerca de 100 millones de años con la sedimentación en el mar cretácico, de los procesos de trasgresión-regresión marinos que marcaron los 50 millones de años siguientes, del levantamiento de los Andes, ocurrido de manera lenta entre los últimos 50 y 10 millones de años, y de pulsos fuertes forjados en esta parte de la corteza hace poco menos de 10 millones de años. El período más reciente contiene los cambios de mayor trascendencia en la configuración actual del relieve; las glaciaciones-deglaciaciones con tasas de recurrencia próximas a los 100.000 años, y la intervención humana, circunscrita en los últimos 10.000 años y de manera particular los últimos 500 años, integran los más sustanciales.

3.1 MÉTODO DE TRABAJO

Fase I. Revisión de Información Existente

Involucra la revisión de libre consulta en entidades como INGEOMINAS, el IDU, el Acueducto y el FOPAE; así como de mapas antiguos de Bogotá. Hace énfasis en aspectos de cartografía geológica, en cursos antiguos

de agua, en datos estructurales y en procesos morfodinámicos. Detalles adicionales se precisan en el numeral 3.2 de este capítulo.

Fase II: Reconocimiento del Terreno

Compila diferentes visitas de campo adelantadas con el fin de reconocer accesos, de idealizar la estratigrafía del predio y de planear la fase de campo. Permitió la construcción de una base fotográfica que ilustra las características más relevantes.

Fase III: Fotointerpretación

Tiene tres objetivos principales; el primero aportar a la cartografía geológica y al conocimiento de relaciones litológicas regionales, el segundo facilitar el trasegar (y porque no el conocimiento) de las cargas a las que ha sido sometida la porción de la vertiente en la historia reciente (revelado por cortes, llenos, deslizamientos, etc.), y el tercero reconocer la evolución morfodinámica y los cambios morfológicos, cometidos alcanzados gracias al análisis multitemporal. Permite articular la información, producir los mapas geológico y geomorfológico locales, enlazar los elementos particulares medidos directamente y determinar grandes rasgos del estilo estructural que opera en la cuenca y que ha sido el responsable tanto de la geomorfología actual como de los procesos denudativos.

Está fundada en fotografías aéreas desde la década de los 30 (siglo XX) hasta la década de los noventa. Y se centra en la delimitación tanto de los procesos morfodinámicos como de la transformación llevada a cabo por las actividades humanas sobre la morfología primaria (rellenos, extracciones, excavaciones, etc.).

Las fotografías aéreas usadas fueron escogidas o por su escala, o por su calidad en mostrar rasgos morfoestructurales y morfodinámicos o por contener información sobre momentos en el tiempo que pudieran ser representativos de hechos que expliquen la respuesta actual de las laderas. En esta tarea se usan estereoscopios de espejos y de bolsillo (de 2 y 4 aumentos), que permiten detallar los puntos de interés.

Fase IV: Trabajo de Campo

Ocupa poco más de semana y media. Dado el amplio cubrimiento del urbanismo, incluye observaciones en las vías, en los andenes y en las viviendas con el fin de comprobar aspectos pre-definidos en la fotointerpretación. En el marco geomorfológico, las unidades de trabajo cobijan formas y procesos cartografiables, en planta y perfil, en escala 1:500 (en la que los espesores de 10 metros son apenas 2 cm).

Fase V: Análisis de Oficina, Informes y Mapas

Consiste por una parte en la generación de los planos geológico regional y local, con énfasis en la delimitación de los depósitos recientes –de ladera –; así como de las unidades líticas aflorantes, y por otra parte en la diagramación de las unidades y de los procesos geomorfológicos; para tales fines, se aprovechan los escarpes y los cortes forjados para la explotación de los Chircales y para la construcción de reservorios y vías.

Los planos geológicos plasman las relaciones estratigráficas y estructurales, a fe de facilitar la elaboración de un modelo coherente de la corteza en las laderas. Para lograr este objetivo es necesario asumir hipótesis y descartar mediciones u observaciones no concordantes con las tendencias generales. De esta manera, se

obtiene una representación de la realidad con incertidumbre y con la carga de prejuicios que llevan al cartógrafo a darle peso relativo a las variables en un proceso epistemológico no independiente del valorador y del proceso del conocimiento.

Y el plano geomorfológico detalla las geoformas, y valora y cuantifica (expresado en la morfiología y la morfometría), los ambientes de modelación (morfogénesis), y los procesos dinámicos (morfodinámica) que se desarrollan en las laderas.

3.2 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE

A fe de estructurar el marco de referencia, se adelanta la revisión bibliográfica, empleando como fuentes documentos o trabajos publicados por el Ingeominas, el IDU, el Acueducto y la DPAE (hoy FOPAE); referencias listadas a continuación, de manera cronológica de los más antiguos a los más recientes y dividiéndolas acorde con el aporte al componente geológicos o al componente geomorfológico, así:

Componente geológico

- Clements, T. (1927). "La Falla de Bogotá". Servicio Geológico Nacional de Colombia. Publicado en la Compilación de estudios geológicos oficiales de Colombia (CEGOC) por Ingeominas. Bogotá.

  Postula, con base en criterios geológicos generales (inversión de estratos) y geomorfológicos, la existencia de una falla a lo largo del pie de los Cerros Orientales de Bogotá.

- Hettner, A. (1935). "La Cordillera de Bogotá". Informe 143. Ingeominas.

  Realiza una magnifica documentación de la historia del descubrimiento y de los primeros documentos sobre la geografía colombiana, especialmente de la sabana (desde el siglo XIX) y de la cordillera oriental (en este texto referida como Cordillera de Bogotá). Para Granada y Montebello se refiere a la secuencia estratigráfica que constituye la sierra conocida como Cerros Orientales de Bogotá, define las secuencias estratigráficas de las formaciones Guaduas y Bogotá y la disposición estructural e inversiones de las capas de los cerros orientales.

- Julivert, M. (1963). "Los rasgos Tectónicos de la Región de la Sabana de Bogotá y los Mecanismos de Formación de las Estructuras". Boletín de Geología Universidad Industrial de Santander No. 13 y 14. Bucaramanga, Colombia.

  Este trabajo se constituye en la base de la caracterización de las formaciones Cacho y Bogotá, y sus descripciones son el soporte para la diferenciación de esta unidad en la fase de campo.

- Ingeominas, (1988). "Zonificación geotécnica del distrito Especial de Bogotá". Bogotá.

  Modifica a partir de la información sobre la tectónica de la Sabana de Bogotá, el marco tectónico para la cuenca alta del Río San Cristóbal (espacio en el que están inmersos los barrios Granada y Montebello).

- Villota, H. (1991). "Geomorfología Aplicada a Levantamientos Edafológicos y Zonificación Física de Tierras". Publicación IGAC. Bogotá.

  En esta publicación se basa la metodología seguida para la propuesta de clasificación morfoestructural.

- Van der Hammen, T. (1995). "Plioceno y Pleistoceno del Altiplano de Bogotá". Análisis Geográfico No. 24. Publicación IGAC. Bogotá.

Define con amplio y profundo soporte técnico las formaciones post-orogenia andina. En sus definiciones se basó la existencia de la Formación Tilatá y la comparación con lo propuesto para la Fm. Tunjuelo.

- Ingeocim, (1998). "Zonificación por Inestabilidad del Terreno para Diferentes Localidades en la Ciudad de Santafé de Bogota". Mapa Geológico. UPES–FOPAE. Bogotá D. C.

  Es la fuente básica para la diagramación de la cartografía geológica general. Tiene como escala de trabajo (y gráfica) 1:10.000, y emplaza los Barrios y urbanizaciones sobre extensos depósitos coluviales y aluviales (éstos los de menor trascendencia), que cubren los amplios dominios de la Formación Bogotá, expuesta exclusivamente al suroccidente, en un ápice del barrio Montebello. El conjunto delinea sucesiones de laderas estructurales con rumbo NE-SW y buzamiento hacia el NW, con gradientes de hasta 30°. El papel estructural, salvo por el de la Falla de Bogotá, dista de tener relevancia: las fallas de rumbo y los pliegues, y ni que decir de los micropliegues, brillan por su ausencia.

- Dimaté, C., Taboada, A., Rivera, L. y D. Giardini. Seismotectonics on the Central Region of the Colombian Eastern Cordillera. www.chile.ird.fr/pdf/isagPDF/dimate.pdf

  Describe aspectos regionales acerca de los dominios estructurales y enfatiza en la porción de la Cordillera Oriental entre el Páramo de Sumapaz y Tunja. Hace parte de la información presentada en el aparte de Geología estructural (Tectónica) de este capítulo.

Otros documentos consultados son:

- Hubach E. (1937). "Provisión de Agua para la Capital". Informe 164. Servicio geológico nacional.
- Da Porta, J. (1974). "Léxico Estratigráfico Internacional – Terciario y Cuaternario".
- Loboguerrero A. (2005). "La Falla de Bogotá. Memorias X Congreso Colombiano de Geología. Bogotá.

Componente geomorfológico y de antecedentes de remoción en masa

- Arce H., M. (1968). "Deslizamientos en el Barrio Montebello". Informe Geológico 15356. Ingeominas. Bogotá.

  Hace una evaluación del deterioro morfodinámico (es decir las inestabilidades) generado por la actividad mineras de la fábrica de ladrillos SIDA; reporta movimientos en masa con dirección S-N que afectan las viviendas del barrio Montebello, y una hondonada de 20 m de profundidad.

- Diezemann W. (1956). "Deslizamientos al SE de Bogotá". Informe Geológico 1146. Ingeominas. Bogotá.

  Compila, repasa y caracteriza las inestabilidades provocadas por la explotación de los materiales arcillosos de la Formación Bogotá en sectores aledaños al río San Cristóbal, al SE de Bogotá.

- Caro P., Ávila G., y Ojeda J. (1997). "Concepto Técnico Sobre Terrenos Inestables en los Barrios Montebello, Granada Sur y San Luís de Santa fe de Bogotá". Abril de 1997. Ingeominas. Santa fe de Bogotá.

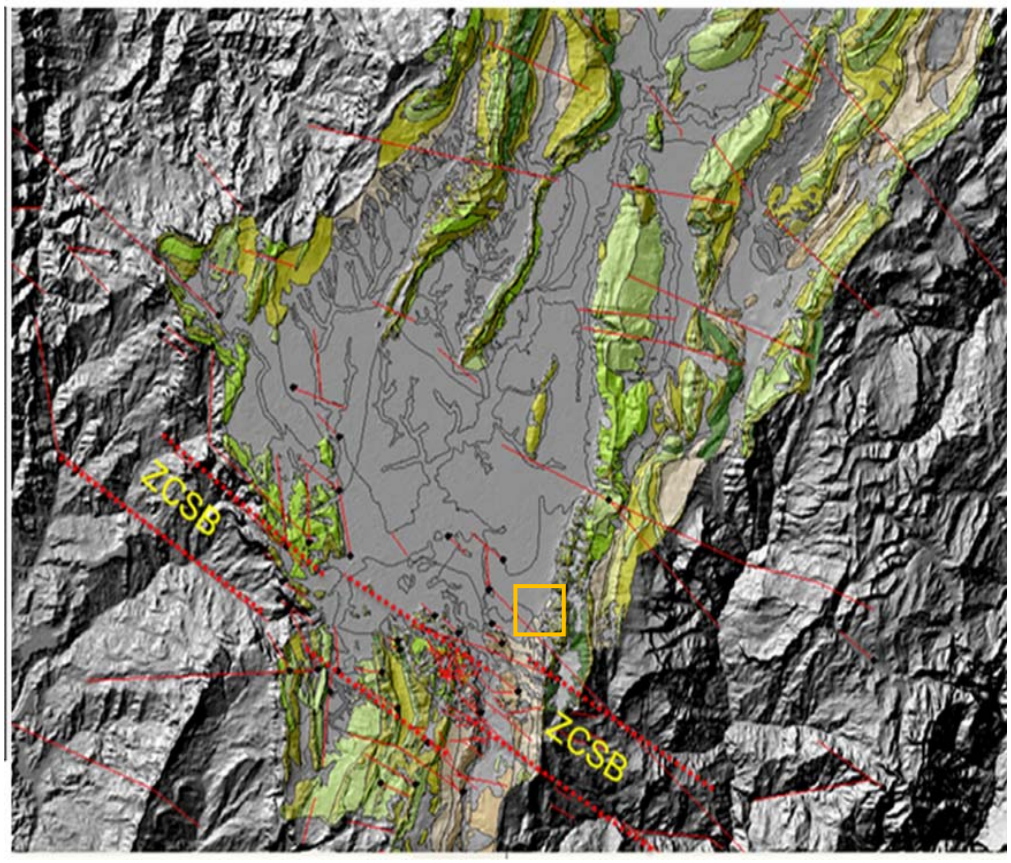
  Este concepto, solicitado por la UPES, surge del deterioro y colapso inminente de las viviendas que componen los barrios Montebello, Granada Sur y San Luís; acoge apreciaciones de Ingeniería e Hidrosistemas Ltda. (1988) y Báteman (1989), y define dos movimientos en masa antiguos sobre materiales coluviales y desechos de escombros.

3.3 GEOLOGÍA GENERAL

3.3.1 MARCO GEOLÓGICO

El corredor de la Cordillera Oriental, inmerso en la cuenca del Río Fucha (o San Cristóbal), contexto particular de este proyecto, se enmarca en el bloque estructural sur de la Sabana de Bogotá sobre dos provincias geomorfológicas: los Cerros Orientales y la Sabana de Bogotá. El marco de trabajo general, definido por el cuadrángulo, cuyos vértices opuestos responden a las coordenadas: 95835 m N y 97300 m E, si se trata de la esquina suroccidental, y 97835 m N y 100300 m E, en lo que respecta a la esquina nororiental, tiene influencia de la secuencia de rocas sedimentarias que van desde el Cretáceo Superior (Grupo Guadalupe) pasando por alternancias terciarias (Formación Guaduas, Formación Cacho y Formación Bogotá), hasta depósitos del Terciario tardío y del Cuaternario no litificados, posteriores al levantamiento de la Cordillera Oriental, como las formaciones Tilatá, Río Tunjuelo y Sabana. Espectro ilustrado por la *Figura 3.1* y en el *Plano 3*.

FIGURA 3.1 MARCO GEOLÓGICO DE LA SABANA DE BOGOTÁ



CON COLOR VERDE Y NARANJA SE ILUSTRAN LAS GEOFORMAS ASOCIADAS CON ROCAS DEL CRETÁCEO Y TERCIARIO QUE ENMARCAN LA SABANA. CON LÍNEA ROJA SE IDENTIFICAN LOS SISTEMAS DE FALLAS PREDOMINANTES Y LA ZONA DE CIZALLA DEL SUR DE BOGOTÁ. Y EL RECUADRO REPRESENTA LOS PREDIOS OCUPADOS POR LOS BARRIOS MONTEBELLO Y GRANADA SUR (MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN DEM 90 METROS).

En particular, los barrios Montebello, Granada Sur, Padua, San Luis y Villa Nataly yacen sobre la Formación Bogotá y sobre materiales fluviales con influencia glacial, baste repasar el *Plano 3*. El dominio de los depósitos de la Formación Río Tunjuelo, cuya expresión morfológica son abanicos y conos del río Fucha, poco o nada alcanza a cobijarlos. También tienen lugar coberturas de suelos residuales, producidos por la meteorización de las rocas preexistentes (particularmente las lodolitas), depósitos de ladera y suelos negros orgánicos que incuban una fuerte influencia del vulcanismo ocurrido durante los últimos 3 Ma. Producto de la fuerte intervención antrópica abundan multitud de rellenos, emplazados para adecuación urbanística. No obstante lo anterior, se levantaron datos estratigráficos y estructurales de las unidades geológicas aflorantes en las partes altas de la ladera con el objeto de soportar los modelos geológicos.

Con respecto a la tectónica, se observa un sistema de fallamiento principal con dirección aproximada Norte – Sur, que define la dirección de la principal estructura geológica de la zona: el Anticlinal de Bogotá – Usaquén. Esta estructura está limitada en su flanco oriental por la Falla de Bogotá. Adicional a los pliegues y fallas con dirección predominante Norte – Sur, se encuentra un sistema de fallamiento superpuesto, con dirección predominante NW con deformación principal de tipo sinestral.

A continuación se expone la totalidad de las unidades geológicas cartografiadas en el marco del presente trabajo, y diagramadas en el *Plano 3*.

3.3.2 ESTRATIGRAFÍA

En este numeral se tienen como referencias el Léxico Estratigráfico Internacional (Da Porta, 1974) y el estudio del DAMA sobre los aspectos geotécnicos de la actividad extractiva en el Distrito Capital (DAMA – Fierro, 2004). Las formaciones Cretácicas y Cretácicas-Terciarias si bien carecen de representación en el cuadrángulo de estudio (véase el *Plano 3*), son tenidas en cuenta por su importancia en el marco regional, por ser parte integral de los cerros orientales. La caracterización litológica responde a la información tomada en campo, o abstraída de las exposiciones de los macizos y los depósitos, de las trincheras, de los apiques y de las perforaciones en el marco de este trabajo.

3.3.2.1 CRETÁCEO

Grupo Guadalupe (Ksg)

Nombre: lo sugiere Hettner (1892) como Guadalupe-Schichten, y lo redefine Hubach (1957); Renzoni (1968) y Pérez y Salazar (1973) lo subdividieron en Arenisca Dura (Ksgd), Plaeners (Ksgp), Labor (Ksgl) y Tierna (Ksgt). Su nombre procede del Cerro de Guadalupe, que conforma la Sierra de Bogotá.

Edad: Campaniano - Maastrichtiano Superior.

Área tipo y límites: según Hubach (1957), el Grupo Guadalupe está comprendida entre las lutitas de la Formación Chipaque en la base, y el miembro inferior arcilloso de la Formación Guaduas en la parte superior. La localidad tipo se encuentra en los cerros orientales de Bogotá.

Características físicas de la roca en el área tipo:

- Arenisca Dura (Ksgd): Integra areniscas cuarzosas, blancas a amarillentas por alteración, de grano fino a muy fino, con estratificación muy delgada a gruesa, intercaladas esporádicamente con limolitas silíceas y arcillolitas de color gris claro.

- Plaeners (Ksgp): Responde a areniscas blancas a amarillentas cuando están alteradas, cuarzosas, de grano fino a muy fino, intercaladas con limolitas silíceas y arcillolitas fisibles de colores grises a amarillentos. Es típica la fractura en forma de "panelitas" de las limolitas silíceas.
- Labor y Tierna (Ksglt): Está configurada por areniscas blancas a grises claras, de grano fino a grueso, con estratificación gruesa a muy gruesa. La parte superior del conjunto encierra areniscas cuarzosas y feldespáticas, de grano medio a conglomerático, ligeramente duras a friables, con estratificación cruzada, intercaladas con capas delgadas de arcillolitas grises claras.

Distribución en el área de estudio: las rocas duras del Grupo, por su mayor competencia, forman la parte alta de los Cerros Orientales. En general, desarrollan pendientes abruptas, y dibujan relieves estructurales.

Características geotécnicas y procesos morfodinámicos típicos: los macizos rocosos se caracterizan por su variabilidad. Se puede generalizar un comportamiento de macizo rocoso en los miembros Labor - Tierna y Dura, en los que predominan areniscas de regular a buena cementación, con intensidad de fracturamiento variable. Sin embargo, los macizos rocosos explotados (bancos de areniscas) tienen delgadas intercalaciones de lodolitas grises, que dan vida a los planos a lo largo de los que se han presentado deslizamientos planares de grandes magnitudes.

3.3.2.2 CRETÁCICO-TERCIARIO

Formación Guaduas (Tkg)

Nombre: es planteado por Hettner (1892) como Guaduas-Schichten y redefinido por Hubach (1957) como Formación Guaduas. Su nombre proviene de la población de Guaduas (Cundinamarca) situada en el borde occidental de la Cordillera Oriental sobre la carretera Bogotá-Honda.

Edad: Maastrichtiano Superior a Paleoceno Inferior (65 a 60 Ma antes del presente).

Área tipo y límites: Hubach (1957) sitúa la Formación Guaduas entre la Arenisca Tierna del Guadalupe superior, en la base, y la Arenisca del Cacho en la parte superior. La Arenisca del Cacho, para la mayor parte de los autores representa la base de la Formación Bogotá. El mismo autor, precisa la localidad tipo para la Formación en Guatavita, tal y como lo confirman su escrito: "La mejor exposición del Guaduas de la Sabana se halla en Guatavita entre la Arenisca Tierna del Guadalupe que forma el domo del Montecillo y el filo prominente al Sur constituido de la Arenisca del Cacho"[sic..]. No obstante, Van der Hammen (1957) da como localidad típica la sucesión entre el Boquerón de Lenguazaque y el Boquerón de Guachetá en el Departamento de Cundinamarca.

Características físicas de la roca en el área tipo:

- Conjunto Inferior: consta esencialmente de arcillas gris oscuras con algunos fósiles en la base.
- Conjunto Medio: está determinado por dos niveles de areniscas. En la base la Arenisca Guía y hacia el tope la Arenisca Lajosa. Entre ambas areniscas se encuentra una masa de arcillas gris-oscuras, compactas, a veces carbonáceas, que contienen mantos de carbón explotables. Constituye en general la parte productiva de la Formación Guaduas.
- Conjunto Superior: consta de "gredas rojizas, azulosas, verdosas y moradas entre las que localmente hay mantos inexplotables de carbón y bancos de areniscas no estables de grano más o menos grueso".

Características geotécnicas y procesos morfodinámicos típicos: esta unidad talla macizos rocosos regulares cuando predominan areniscas. Las lodolitas se comportan en general como roca blanda en los horizontes superiores. En el piedemonte los principales procesos son deslizamientos, de pequeña y mediana magnitud, ocasionados en gran proporción por la extracción minera en los dominios de las lodolitas; y procesos erosivos menores en las zonas denudadadas.

3.3.3 TERCIARIO

Formación Cacho (Tpc)

Nombre: es propuesto por Scheibe (1918) como Arenisca del Cacho. Está ligado al Pico del Cacho, ubicado al SW de Zipaquirá (Cundinamarca).

Edad: paleoceno medio a superior (60a 55 Ma antes del presente).

Área tipo y límites: reposa entre las arcillolitas del miembro superior de la Fm. Guaduas, y las arcillolitas de la Fm. Bogotá (Hubach, 1957). Hubach (1957) estudió la formación al sur de la Sabana, a la que le da como afloramiento típico la Quebrada de San Cristóbal, escenario por fuera del barrido cartográfico del *Plano 3*.

Características físicas de la roca en el área tipo: las arenisca son de color pardo a blanco, su espesor bordea los 100 m de espesor, su tamaño de grano va desde fino hasta grueso, aunque es más grueso en la base, y exhibe estratificación cruzada; y están intercaladas con lodolitas amarillentas a blancuzcas. La arenisca destaca en el relieve formando crestones.

Formación Bogotá (Tpb)

Nombre: es sugerido por Hubach (1933), y está ligado a la ciudad de Bogotá.

Edad: Paleoceno superior - Eoceno medio (55 a 50 Ma antes del presente).

Área tipo y límites: yace entre las areniscas de la Formación Cacho en la parte inferior y las de la Formación Regadera en la parte superior. Julivert le asigna como sección tipo el flanco oeste del sinclinal de Usme (en el Valle del Tunjuelo) a lo largo de la Quebrada Zo Grande y del filo al norte de la quebrada.

Características físicas de la roca en el área tipo: las arcillolitas son abigarradas, predominantemente rojas, y las intercalaciones son de arenitas de hasta unos metros de espesor, pero con gran predominio de las arcillolitas.

Características físicas de la roca en el área de estudio: predomina la arcillolita gris a verdosa, con variaciones a areniscas lodosas con vetas de oxidación; la estratificación no es bien marcada y la fisibilidad es moderada. La permeabilidad es baja y la humedad suele ser alta. Expone intercalaciones de areniscas lodosas de color gris con vetas de oxidación. Hacia la parte superior se abre paso una capa de arenisca gris oscura que oscila entre 0,5 a 1,0 m, que quizá puede ayudar con la correlación de las perforaciones. Este conjunto litológico se formó a partir de sedimentos depositados en ambientes continentales de tipo fluvial.

Distribución en el área de estudio: moldea el entramado noroccidental y norte de los barrios de estudio, en un corredor que se extiende desde un pequeño parche (para nada cartografiable) en el sótano del centro

comercial El 20 (en construcción) hasta la Urbanización Portón Real, y es el sustrato rocoso en el que reposa el cuaternario, concepción planteada en el *Plano 3*. Su posición espacial se delinea a 5.5 m bajo el conjunto residencial San Luis y a 25 m bajo el fluvioglacial, y su geometría y su espesor varían a lo largo de la ladera (tal como lo ratifican los sondeos S-5 y S-2, véase el *Anexo D.1*).

Características geotécnicas y procesos morfodinámicos típicos: la Formación Bogotá presenta comportamiento de roca blanda o suelo residual arcilloso, ratificado por la presencia de deslizamientos rotacionales y traslacionales generalmente de tamaños pequeños (menos de 500m2), flujos de tierra y reptación (movimientos lentos) que aumentan su velocidad gracias en parte a los cambios marcados de humedad (inducidos por causas naturales como precipitaciones por encima de lo normal o por causas antrópicas como desempate de tuberías de acueducto o alcantarillado).

3.3.3.1 CUATERNARIO

Terraza alta de la Formación Sabana (Qta)

Se denomina formación Sabana a los depósitos lacustres depositados en los amplios espacios intramontanos de las cuencas (véase el *Plano 3*). Para Helmes y Van der Hammen (1995), la formación está constituida principalmente por arcillas, aunque hacia las márgenes de la cuenca yacen arcillas orgánicas, arenas y turba-lignita. Carvajal et al. (2005), plantea que el depósito es resultado de un antiguo lago que dejó planicies y deltas lacustrinos, extensos, de aspecto aterrazado y con morfología ondulada a suavemente inclinada, limitadas hacia los cauces por el escarpe.

Helmes y Van der Hammen (1995), fijan el espesor de la formación en 320 m (registro abstraído del pozo Funza II). La Formación suprayace los sedimentos de la Formación Subachoque, y por datos de huellas de fisión, y Carbono catorce, data del Pleistoceno medio y tardío (Helmes y Van der Hammen, 1995). Es el recinto en el que descansan los barrios San Cristóbal, Sosiego, 20 de Julio, Suramérica, San Isidro, Santa Ana, y Villa de los Alpes; contexto corroborable en el *Plano 3*.

Terrazas Bajas de la Formación Sabana (Qtb)

Encierran, hacia la parte alta de la cuenca, capas gruesas de gravas, y hacia el centro y el sur del valle dominan horizontes gruesos de arenas arcillosas con gravas, que se alternan con arcillas arenosas, arcillas orgánicas o ricas en turba y algunos niveles de ceniza volcánica, (Helmens y Van der Hammen, 1995). Modelan los predios hoy día ocupados por el barrio San José, Sosiego Sur y la Carrera Décima (véase el *Plano 3*).

Depósitos Fluvioglaciales (Qfg)

Engloba arcillas, arcillas arenosas y limosos formadas por la acción glacial durante las temporadas frías del Pleistoceno y por eventos aluviales y coluviales en los periodos inter-glaciales. Eventos que actuaron predominantemente en los materiales arcillosos de la Formación Bogotá, pero que sumaron aportes de areniscas de los cordones estructurales más resistentes, v.g. la Formación Cacho y el Grupo Guadalupe. En esta unidad toman cuerpo los barrios Santa Ines y Vitelma, y parches de los barrios Montebello y Granada Sur.

Depósitos Aluviales (Qal)

Se designan así a los cuerpos recreados por el transporte de los diferentes tributarios del Río San Cristóbal, configurados por paquetes limo-arenosos intercalados con niveles de gravas y arcillas-limosas; conjunto que refleja el comportamiento y los niveles de energía de transporte de los cuerpos de agua. Su muestra más representativa modela las márgenes de la quebrada Las Lajas, accidente hidrográfico que se abre paso al suroccidente de Santa Rosa de Lima y entre los barrios Girardot, Las Cruces, Las Brisas y Ramírez, tal y como se ratifica en el *Plano 3*.

Depósitos Antrópicos (Qda)

Son cuerpos heterogéneos de color pardo oscuro a rojizo. La matriz es arcillosa o arcillo-arenosa, y en ella descansan fragmentos (con tamaños desde cantos hasta gravas gruesas) de areniscas, desechos de construcción, basuras y maderas. Fueron depositados en distintas etapas de intervención, bien durante la actividad minera o bien en el curso del proceso urbanístico. Junto con el fluvioglacial integran el sustrato en el que se erigen los barrios Granada Sur y Montebello.

3.3.4 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La cuenca alta del Río Fucha, espacio preferente de estudio, se entalla en el flanco occidental del Anticlinal de Bogotá, estructura erosionada constituida por rocas Cretácicas, Terciarias y Cuaternarias: la Formación Chipaque del Grupo Villeta en su núcleo y las rocas del Grupo Guadalupe, y las Formaciones Guaduas, Cacho, y Bogotá en sus flancos. Estos últimos encierran inversiones en la secuencia estratigráfica debido a que el pliegue se inclina hacia el occidente, reparo de importancia en el flanco occidental y ejemplificado en el Cerro El Zuque; contrario a este derrotero el flanco oriental es normal y apunta en dirección al Páramo de Cruz Verde. La ausencia de la secuencia estratigráfica en el flanco occidental es producto de la Falla de Bogotá, fractura de cabalgamiento con dirección NE y buzamiento hacia el este, y con asociaciones de fallas de rumbo con tendencia NW. Montebello, Granada Sur y San Luís, están cimentados en el flanco occidental del anticlinal, en una ladera monoclinal con entallamiento suave, gestado por procesos glaciales que buzan hacia el occidente con inclinaciones entre 16° y 30°. La ladera se marca en el borde entre los bloques tectónicos central y sur que dividen la Sabana de Bogotá, el límite entre ellos es la Falla San Cristóbal-Zipaquirá cuya expresión es el valle del río Fucha.

3.4 GEOLOGÍA LOCAL

Este numeral contiene la descripción de la geología, en el espacio exclusivo de los Barrios San Luis, Montebello, Granada Sur, Vila Nataly, Portón Real y Padua con énfasis en la estratigrafía y en el patrón estructural, forjados bajo los principios, directrices y preceptos de la geología para ingeniería; su tratamiento, está ligado a las descripciones de las unidades de roca y suelo (conceptos básicos fijados por la escala de trabajo 1:500), en orden cronoestratigráfico de la más antigua a la más joven. Para dar cumplimiento a este cometido, se aúna la base cartográfica obtenida del levantamiento topográfico (Mapa Base), a escala 1:500, y la exploración del subsuelo, que conjuga seis (6) sondeos, nueve (9) apiques, tres (3) trincheras, dos (2) líneas de refracción sísmica, dos (2) ensayos REMI, y diversas estaciones de control litológico y estructural. Los resultados de la exploración del subsuelo se describen explícitamente en el *Capítulo 4*, junto con sus memorias de cálculo y los registros de exploración, y la localización de los componentes de la investigación geotécnica se plasman en el *Plano 4* y en el *Anexo D*.

3.4.1 ESTRATIGRAFÍA

3.4.1.1 UNIDADES DE ROCA

3.4.1.1.1 Formación Bogotá Unidad lodosa (Tpb-L)

Conforma el sustrato rocoso de las laderas; consiste en una secuencia de arcillolitas y lodolitas (rocas blandas con mezcla textural de limo y arcilla) de colores variados preferencialmente rojizos a pardos (véase la *Foto 3.1*) con moteamientos de limos claros y esporádicos amarillos ocre; eventualmente encierran delgadas capas de areniscas lodosas de grano muy fino con comportamiento geomecánico similar al de las lodolitas. En los horizontes superiores desarrolla suelos residuales con espesores variables (de hasta 3 m), posiblemente resultado de variaciones del nivel freático. Es evidente la ausencia de laminación interna y fisilidad. Sus exposiciones se circunscriben a la esquina suroccidental del Centro Comercial el 20, a la Plaza de Mercado del 20 de Julio, a buena parte del barrio S. C. Granda Sur (manzanas 22, 36 y 46) y de las urbanizaciones Portón Real y Padua, y bajo la Urbanización San Luís a pocos metros de profundidad (véase la perforación S-5 en el *Anexo D.1*). En los topes de las laderas se posiciona a más de 20 m de profundidad.



FOTO 3.1 EXPOSICIÓN DE LAS ARCILLOLITAS DE LA FORMACIÓN BOGOTÁ, EN LOS CORTES ALEDAÑOS A LA AVENIDA PRIMERO DE MAYO, BARRIO GRANADA SUR PRIMER SECTOR (VISUAL S-N).

3.4.1.2 UNIDADES DE SUELO Y DEPÓSITOS NO LITIFICADOS

3.4.1.2.1 Suelos Residuales Arcillosos (QTpb-sr)

Responden a horizontes lodosos (arcillo-limosos), de coloración rojiza a pardo intenso. Poseen alta plasticidad, consistencia desde blanda hasta media, y eventualmente firme; describen trazas amarillas a rojizas de oxidación. Son producto de la alteración de las arcillolitas y lodolitas de la Formación Bogotá por los agentes de intemperismo o por la acción de cauces subsuperficiales; infrayacen los sedimentos fluvioglaciales que moldean la ladera natural. Carecen de exposición alguna en superficie, motivo que los hace no cartografiables (baste repasar el *Plano 4*), y su espesor en el mejor caso alcanza los 3.0 m (véase el *Anexo D.1*).

3.4.1.2.2 Suelos Transportados con Influencia Fluvioglaciar (Qfg)

Consisten en depósitos transportados, matriz soportados con relación matriz-armazón 70-30%, aunque dibujan variaciones locales a clastosoportados en proporción de matriz armazón 40-60% a 20-80%. Engloban bloques angulares a subredondeados, guijos y cantos de areniscas cuarzosas cementadas, de grano muy fino a fino, friables, y fragmentos subangulares de lodolitas silíceas, embebidos en arcillas y arcillas-arenosa. La matriz ostenta coloraciones entre pardas y rojizas oscuras, con moteamientos por oxidación y parches grises claros de arcillas. Estos materiales suelen contener humedad alta, la plasticidad es alta aunque en los niveles en los que predomina el limo o la fracción clástica recae en areniscas friables, la plasticidad se reduce (véase la *Foto 3.2*).



FOTO 3.2 DEPÓSITOS FLUVIOGLACIALES MATRIZ SOPORTADOS, NÓTESE LA COLORACIÓN ROJIZA DE LA MATRIZ LODOSA Y EL DESARROLLO DE PROCESOS DE EROSIÓN CONCENTRADA (SURCOS) Y LA ALTERACIÓN DEL MATERIAL SUPERFICIAL (MOTEAMIENTOS).



FOTO 3.3 DEPÓSITO FLUVIOGLACIAR CON MATRIZ LIMOARENOSA, CONTIENE GUIJOS Y CANTOS DE ARENISCA. NÓTESE QUE SUBYACEN RELLENOS ANTRÓPICOS. IMAGEN TOMADA EN EL BALDÍO AL E DE LA URBANIZACIÓN SAN LUIS (VISUAL NW-SE).

Cubren las arcillolitas de la Formación Bogotá y los suelos residuales, a lo largo y ancho de las vertientes, y se revelan al sur de la Urbanización Portal Real y en el barrio Montebello. En su gran mayoría han sido remoldeados por transporte, su área de aporte opera ladera arriba en los macizos competentes del Grupo Guadalupe (Areniscas de las Formaciones Dura y Labor-Tierna y lodolitas silíceas de la Formación Plaeners y areniscas de la Formación Cacho). La mutación de clasto soportado a matriz-soportado, así como el pulimiento de algunos de los fragmentos rocosos son indicadores del cambio entre ambientes fluviales y glaciales; así, las masas matriz-soportado en las que los clastos tiene predominio de geometrías redondeadas son reflejo de la influencia fluvial, y los horizontes clasto soportados, con predominio de geometrías angulares en la fracción gruesa son marcados por la influencia glacial, de ahí su origen fluvio-glacial. Se estima su edad en el Pleistoceno – Holoceno, teniendo en cuenta que la última influencia fluvial en los materiales transportados es posterior al último retroceso glacial de la Sabana de Bogotá (Fuquense de acuerdo con Van der Hammen, 1995). Su espesor es variable y oscila entre 3 y 15 metros (tal y como se abstrae de las perforaciones S-1, S-4 y S-6, y de las correlaciones estratigráficas, véase la *Foto 3.3* y el *Anexo D.1*).

3.4.1.2.3 Depósitos Antrópicos (Qda)

Son heterogéneos de color pardo oscuro a rojizo, con matrices lodosas y arcillosas que contiene fragmentos de areniscas, desechos de materiales de construcción, tubos en gres, basuras, maderas etc.; panorama ilustrado en la *Foto 3.4*. Fueron depositados en distintos escenarios lo que ha permitido hacer precisiones sobre su origen y objetivo.



FOTO 3.4 DEPÓSITOS ANTRÓPICOS, NÓTESE LA HETEROGENEIDAD DE LOS MATERIALES; SOBRESALEN LOS DESECHOS DE CANTERA, LOS ESCOMBROS DE CONSTRUCCIÓN Y DE PAVIMENTO FLEXIBLE. SE EXPONEN CERCA A LA TRINCHERA T-2..

3.4.1.2.3.1 Depósitos Antrópicos Generados por Actividad Minera (Qdam)

Encierran desde bloques hasta guijos de areniscas de grano muy fino a fino (véase la *Foto 3.5*), con pobre selección, resultado de la intensa actividad minera que afectó la ladera natural a lo largo de los años 30, 40, 50 y 60 del siglo pasado. Son heterométricos. La fracción gruesa está embebida en una matriz arcillosa (o lodosa) semejante a la de los depósitos coluviales; contiene residuos cerámicos, (ladrillos, tubería) así como basuras y madera, que inicialmente tallaban los antiguos patios de cantera y luego se conviertieron en botaderos. Son de consistencia media (y ocasionalmente firme), su humedad natural es baja, son poco permeables y su plasticidad cambia entre baja y alta. Su espesor oscila entre los 5.75 m y los 26,75 m. Sus mejores ejemplos toman lugar en los taludes al sur, suroriente y suroccidente de la urbanización San Luis, tal y como se delinea en el *Plano 4*.



FOTO 3.5 DEPÓSITOS ANTRÓPICOS POR MINERÍA, EN LA IMAGEN EL ARMAZÓN DEL DEPÓSITO ES CLASTOSOPORTADO, PERO INVOLUCRA ALGO DE MATRIZ ARENOLIMOSA. LOS DEPÓSITOS SON REMANENTES DE ANTIGUOS MOVIMIENTOS DE TIERRA PROMOVIDOS EN DESECHOS MINEROS; HOY DÍA OCUPAN TERRENOS BALDÍOS AL SUR Y SURORIENTE DE LA URBANIZACIÓN SAN LUIS (VISUAL SE-NW).

3.4.1.2.3.2 Depósitos Antrópicos con Fines Urbanísticos (Qdau)

Son matriz soportados, producto de la generación de cortes y rellenos en y sobre las laderas naturales, y destinados a la cimentación de las viviendas y los accesos viales (i.e caminos y carreteras). La matriz es arcillosa o arcillo-arenosa, su plasticidad es en el mejor de los casos media, su consistencia migra de blanda a firme, y aunque parecen compactados por acción humana, poseen permeabilidad baja y humedad natural entre media y baja. Contiene bloques subangulares de areniscas y escombros de bloques y cerámicos (i.e ladrillos), fragmentos de concreto y de pavimento flexible (estructura transcrita por la *Foto 3.6*). Desarrollan horizontes entre los 1.5 m y los 13.7m (perforación S-3), y reposan sobre el fluvioglacial o las lodolitas de la Formación Bogotá (véase el *Anexo C.1*). Son evidentes en las franjas, hoy día, urbanizadas (*Plano 4*), configuran la cubierta superficial en los barrios Granada Sur, Granada Sur III Sector, San Miguel (universo constitutivo del deslizamiento principal), y al occidente de Montebello; espacio último en el que su espesor migra desde las décimas de centímetro hasta los 4.7 m (máximo obtenido sólo en el sondeo S-6), y en el que carecen de importancia en la incubación o desarrollo de los procesos de remoción en masa.

3.4.1.2.3.3 Depósitos Antrópicos de Acumulación (Qdab)

Son cuerpos clastosoportados, carentes de matriz, configurados por bloques de más de un metro de diámetro, acumulados como residuos de los desechos de actividades emergidas de la urbanización o la minería, y que por lo incómodo de su desplazamiento, fueron apilados en espacios específicos (véase la *Foto 3.7*). Aparecen en los parques de los barrios Granada Sur y Montebello (véase el *Plano 4*).



FOTO 3.6 DEPÓSITOS ANTRÓPICOS PRODUCTOS DE LA URBANIZACIÓN: ANTIGUO FRENTE DE EXTRACCIÓN ESCULPIDO EN EL BORDE SUR DE LA URBANIZACIÓN SAN LUIS (TOMA EN SENTIDO NW-SE).



FOTO 3.7 DEPÓSITOS ANTRÓPICOS DE ACUMULACIÓN: SON BLOQUES MÉTRICOS DE ARENISCAS, DEPOSITADOS INTENCIONALMENTE, YA SEA COMO REMANENTES DE ACTIVIDAD MINERA O COMO ESCOMBROS POR URBANIZACIÓN.

3.4.1.2.3.4 Depósitos Antrópicos Urbanísticos Seleccionados (Qdaus)

Bajo esta designación se conjugan las acumulaciones de material seleccionado, compactado al 90% del proctor modificado, pero cubiertas por una capa de concreto asfáltico o neumático. Su espesor es inferior a los 0.50m. La matriz es arenosa y las partículas más gruesas son de tamaño grava media a gruesa, su humedad es baja a media. Sus evidencias son notorias a lo largo de la red vial que enmarcan las 39 manzanas que dan vida el área de estudio, v.g. la Transversal 2 A, la Calle 24 A sur, la Carrera 1 Bis, la Calle 27 Sur, la Calle 20 A sur, tal y como lo confirma el *Plano 4*.

3.4.1.2.4 Depósito de Deslizamiento (Qmd)

Son el producto de los procesos hidrogravitacionales (i.e los deslizamientos) recientes y actuales, y enmarcan superficialmente las laderas. Son por naturaleza heterogéneos; engloban depósitos fluvioglaciales, o suelos residuales o rellenos antrópicos, traslocados, o una entremezcla de ellos (panorama observable en la *Foto 3.8*). Exhiben altos contenidos de humedad, son altamente plásticos, su matriz es arcillosa o arcillo-arenosa, su consistencia es blanda a muy blanda y son poco permeables.

Están vinculados con estados máximos de saturación, llegando en ocasiones a convertirse en flujos viscosos que pueden transportar bloque de areniscas. Particularidad que los convierte en altamente peligrosos, máxime si se precisa que las obras de mitigación han sido insuficientes como lo ilustran las viviendas que lindan con la avenida Primero de Mayo y con la urbanización San Luis (véanse el *Plano 4* y la *Foto 3.9*).



FOTO 3.8 MATERIAL DE DESLIZAMIENTO: ES PARTE DEL CUERPO DEL DESLIZAMIENTO QUE AFECTÓ RECIENTEMENTE LAS VIVIENDAS DE LA URBANIZACIÓN SAN LUIS. NÓTENSE LOS ÁRBOLES CAÍDOS Y LA PATA DEL MOVIMIENTO CONTIGUA A LAS EDIFICACIONES



FOTO 3.9 FLUJO DE TIERRAS INCUBADO EN LOS TALUDES LIMÍTROFES ENTRE EL BARRIO GRANADA SUR ETAPA Y LA AVENIDA PRIMERO DE MAYO. EL MATERIAL DESLIZADO RESPONDE A ESCOMBROS DE CONSTRUCCIÓN (VISUAL E-W).

3.4.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

3.4.2.1 TECTÓNICA LOCAL

El Piedemonte central de los Cerros Orientales, dominio en el que están dispuestos Granada Sur y Montebello, hace parte del límite oriental de la Sabana de Bogotá. Está conformado por elevaciones abruptas (por encima de los 3000 msnm), y es intervenido por un sistema de fallamiento principal con dirección aproximada Norte – Sur, que define la dirección de la principal estructura geológica de la subcuenca: el Anticlinal de Bogotá – Usaquén. La estructura está limitada al oriente por el Sinclinal de Teusacá y al occidente por el Sinclinal de Usme; su flanco occidental está influenciado por la Falla de Bogotá; y el pliegue discurre entre fallas inversas de bajo ángulo (Falla de Bogotá), resultantes del pulso de levantamiento principal de la Cordillera Oriental (Orogenia Andina). Fracturas que distan de ser las únicas que juegan papel en su comportamiento; a ellas se le suman sistemas conjugados, orientados N45°E y N55°W, gestados por un segundo evento de deformación más reciente, caracterizado por la conformación de zonas de transferencia o desgarre con predominio de desplazamiento lateral izquierdo, de carácter regional y en la que están involucradas las rocas cretáceas y cenozoicas.

3.4.2.2 DISCONTINUIDADES

Son los rasgos estructurales primarios más abundantes, se trata de superficies de fractura en las que el movimiento es imperceptible; se generan a partir de esfuerzos deformacionales propios de la geodinámica terrestre, y ejercen control mecánico en las principales exposiciones de los macizos rocosos, tema que se tratará con algún detalle en el capítulo 5. Montebello y Granada Sur se yerguen en una sucesión de pendientes estructurales, ligeramente inclinadas, sin traslocaciones o cambios de polaridad relevantes. Las capas reposan con orientación en el dominio [262 - 288] (medido en azimut de buzamiento) e inclinación media de 21° grados hacia el oeste, pero con variaciones locales que discurren desde los 16 grados hasta los 27 grados (véase el *Plano 4*). Lo anterior remarca que Montebello y Granada Sur operan bajo un solo dominio estructural.

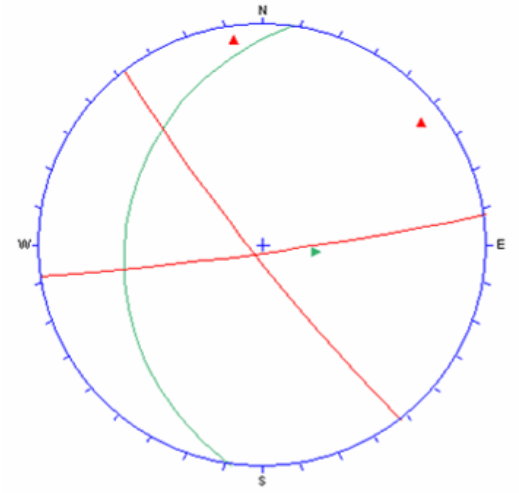


FIGURA 3.2 CENTROIDE DE DISCONTINUIDADES MEDIDO SOBRE MACIZOS ARENOSOS DE LA FORMACIÓN BOGOTÁ. SECTOR LADERA ARRIBA DE LA ZONA DE ESTUDIO, BARRIO SAN BLÁS. LA LÍNEA VERDE REPRESENTA LA ESTRATIFICACIÓN DE LAS CAPAS BUZANDO HACIA EL OESTE, LAS LÍNEAS ROJAS IDENTIFICAN CENTROIDES DE DOS FAMILIAS DE DIACLASAS SUBVERTICALES.

La estratificación es plana-rugosa a plana-suave, continua y cerrada, y los macizos están transgredidos por tres familias de diaclasas la D_2=[172/88 - 220/84], la D_3=078/84 y la D_4=[210/26 -236/88]; ellas son planas-rugosas y planas-suaves cerradas o ligeramente abiertas, y de persistencia poco continua. El *Anexo C.2* condensa el conjunto de datos estructurales levantados, tanto en el marco general como en el local, divididos por estaciones y el *Plano 3* y el *Plano 4* su ubicación geográfica. Los registros, en medida alguna, se extrapolan de 60 datos estructurales tomados en la secuencia basal de la Formación Bogotá (areniscas arcillosas de grano medio intercaladas con lodolitas abigarradas), aguas arriba de los barrios y próximo al contacto con la formación Cacho, y de una decena capturada en la base de la excavación del Centro Comercial "El 20". La *Figura 3.2* diagrama una aproximación al resultado del análisis de las discontinuidades.

3.4.2.3 LINEAMIENTOS FOTOGEOLÓGICOS

Se deducen exclusivamente de la evaluación fotogeológica regional, en dicho análisis se identificaron lineamientos con dirección promedio NE y WNW, los cuales evidencian un sistema de debilidad conjugado. Estos lineamientos son muy evidentes cuando atraviesan unidades competentes (Grupo Guadalupe, Formación Cacho); por el contrario, los cambios geológicos de las unidades blandas (Formación Chipaque, Guaduas y Bogotá) hacen que el rasgo lineal se pierda. Otro lineamiento fuertemente marcado es el que marca el límite del bloque al sur de la Falla de San Cristóbal definida por el cauce del río Fucha.

3.5 GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología es una disciplina que analiza los paisajes y los factores que los producen y modifican, especialmente para buscar soluciones a problemas generados en zonas donde cambian las condiciones de equilibrio. El desarrollo de surcos y cárcavas por el cambio en las coberturas vegetales, cortes y posteriores rellenos sobre las laderas con fines urbanísticos, son ejemplo del desequilibrio mencionado.

La inclinación y forma de las laderas depende en gran medida del material que las constituye (i.e de la litología), esto es en materiales competentes las pendientes son fuertes, mientras que en materiales blandos, como es el caso de los suelos, las pendientes son suaves (Vargas, 1999, véase la *Tabla 3.1*).

TABLA 3.1 CLASIFICACIÓN DE LAS PENDIENTES

PARÁMETRO	UNIDAD CARTOGRÁFICA DE PARÁMETRO	INCLINACIÓN (GRADOS)
INCLINACIÓN DE LA PENDIENTE	PLANA	MENOR DE 1
	SUAVEMENTE INCLINADA	1 – 5
	MODERADAMENTE INCLINADA	5 – 10
	INCLINADA	10 – 15
	ABRUPTA	15 – 30
	ESCARPADA	30 – 45
	MUY ESCARPADA	> 45

FUENTE: VARGAS, 1999

El paisaje de la zona de estudio es el producto, principal, de la combinación de procesos tectónicos, relacionados con el levantamiento de la Cordillera Oriental, y procesos erosivos recientes, que han dado lugar a vertientes montañosas, con laderas escarpadas que contrastan con las laderas moderadamente inclinadas a abruptas generadas por la secuencia de finales del plioceno y del cuaternario.

Un aspecto importante en el modelamiento de las laderas actuales donde se localiza la zona de estudio son las glaciaciones y los procesos relacionados especialmente en los últimos dos millones de años; se estiman períodos de recurrencia cada 100.000 años entre glaciación y deglaciación en los cuales la erosión es muy intensa (debido al arranque y movilización de un volumen considerable de materiales pétreos) por las lenguas glaciares. En el caso de litologías arcillosas como es el caso de la Formación Bogotá, se generan remoldeos de grandes espesores del material, incorporación de fracciones clásticas a la matriz arcillosa y posteriormente con los procesos de deshielo, el desarrollo de flujos y movimientos en masa con contenidos importantes de agua.

3.5.1 MORFOESTRUCTURAL (FORMAS)

Consiste en la descripción de las formas del relieve acorde con variables como: la morfometría y parámetros cuantificables de caracterización (forma de ladera, pendiente de ladera, diferencia de relieve, patrones de drenaje), la erodabilidad relativa (competencia de los materiales ante la meteorización), la disposición estructural de los macizos rocosos y la morfogénesis (ambientes de formación de la geoforma). Parámetros que siguen una metodología preestablecida en la clasificación geomorfológica, según sea la escala de trabajo, y que van desde formas regionales (provincias morfológicas) hasta la unidad geomorfológica básica (geoforma). En este orden de ideas se hace una caracterización morfológica desde una escala regional hasta una particular que contiene la zona de estudio.

Van der Hammen, 1995 define al altiplano denominado Sabana de Bogotá como una gran cuenca tecto-sedimentaria situada, aproximadamente, entre los 2550 msnm y los 2600 msnm, en la Cordillera Oriental de Colombia. Cuenca rellenada por cientos de metros de espesor de sedimentos, principalmente lacustres de edad Plioceno Tardío y Pleistoceno, y rodeada en su totalidad por montañas que alcanzan localmente altitudes de casi 4000 m.

En general, la disposición litológica en los Cerros Orientales está determinada por estructuras alargadas (crestas) en sentido NS a NNE-SSW, cortadas por la mayor parte de los cauces en drenaje de tipo antecedente o drenajes controlados tectónicamente. El sistema de fallamiento principal, relacionado con el ascenso cordillerano controla la disposición estructural mencionada, y el fallamiento de rumbo posterior se refleja morfológicamente mediante alineamientos de cursos de agua y de lomos. La Falla de Bogotá y sus fallas satélites separan dos provincias geomorfológicas (dominios) diferentes: la Cordillera y el Piedemonte; la separación entre el Piedemonte y la Sabana está relacionada con el relleno lacustre original del denominado Lago Humboldt.

Según Van der Hammen (2002), durante las glaciaciones, que se presentaron muchas veces durante los últimos 2,5 millones de años (al menos 10 en el último millón de años), con un periodo regular de glaciación de aproximadamente 100.000 años, los glaciares se extendieron (y se formaron donde antes no existían), cubriendo todas las actuales áreas de páramo, bajando hasta unos 3.000 m de altitud. Durante periodos que podían durar muchos miles de años, los glaciares reptaban sobre la superficie de las laderas, generando valles, hondonadas y depósitos de materiales, estos últimos resultado de la dinámica de transporte. Es

posible que la subcuenca del San Cristóbal, y por consiguiente la zona de estudio, ubicada aproximadamente a 2700 msnm, también pudieron ser influenciados por los glaciares, influencia que en Bogotá pudo llegar, en su límite bajo a esta altura (Van der Hammen, 1995). Al final de cada glaciación los glaciares se retiraron, como resultado se generaron paisajes con relieve cada vez más pronunciado de valles y de hondonadas, que se llenaron con agua, expresiones identificadas para los barrios Granada y Montebello, en las fotos más antiguas, como remoldeos y depresiones topográficas constituidas por suelos con bajos parámetros de resistencia.

Montebello, Granada Sur y San Luis descansan en la parte media - baja de una ladera denudacional, monoclinal, con buzamiento hacia el occidente, tallada en su arreglo morfológico primario por procesos fluviales y de glaciación, relacionados con el retroceso de las masas de hielo. La ladera natural tenía una inclinación promedio de 12°, superior en cuatro grados a la actual, diferencia explicada por la intervención antrópica a manera de cortes y rellenos para urbanización, y minería en los materiales de cobertura y en el substrato rocoso.

Posteriormente, el proceso de urbanización relleno parcialmente los vallecitos con residuos provenientes de las proximidades, es decir, con arcillas remoldeadas por cortes, dispuestos en las laderas sin compactación ni tratamiento de estabilización o confinamiento alguno. Se reitera que los vallecitos principales eran zonas naturales de acumulación de agua con las implicaciones que esto conlleva para la resistencia en materiales de media y alta plasticidad, sin considerar las acumulaciones hídricas generadas en la producción de materiales de construcción cerámicos. Sobre estos materiales se dispusieron a su vez, rellenos antrópicos, en las zonas más bajas (las que más concentran humedad) con el fin de lograr bajas pendientes y mantener el nivel de las vías y adecuar los terrenos para la construcción de viviendas.

3.5.1.1 UNIDAD DE LADERA DENUDACIONAL CON MODERADA INTERVENCIÓN: LDMI

Comprende partes de la ladera natural en las que los depósitos fluvioglaciales se mantienen en superficie sin subyacer depósitos antrópicos de espesor considerable. Ocupa una reducida área al nororiente del conjunto residencial San Luís, limitado por depósitos antrópicos mineros y de urbanización. En la unidad la actividad antrópica fue mínima, razón suficiente para suponer que la pendiente modelada (de ocho grados), responde a la de la ladera natural; propiedad que la clasificada como moderadamente inclinada (Vargas, 1999).

Entrelaza bloques de areniscas cementadas de grano fino con bordes subangulares a redondeados, embebidos en una matriz lodosa. Descansa sobre el macizo arcilloso de la Formación Bogotá, y está moldeada en superficie por rellenos antrópicos delgados, que generan montículos de no más de 0,50 m. de altura. Hoy por hoy la cobertura del suelo está compuesta por pastos plantados, y las evidencias de inestabilidad son imperceptibles, en su lugar se dibujan escalonamientos, y deformaciones aisladas. La *Foto 3.10* entrega una muestra de lo expuesto.

3.5.1.2 UNIDAD DE LADERA DENUDACIONAL CON INTERVENCIÓN INTENSA POR ACTIVIDADES MINERA: LDIM

Agrupa las partes de la ladera sometidas, como parte de la explotación de arcillas, a los cortes y rellenos de mayor envergadura. Si bien la actividad minera fue trascendental en el pasado, pocas evidencias quedan de su accionar, con excepción del escarpe al sur y oriente del conjunto residencial San Luis (véase la *Foto 3.11*). La explotación antaño en nada fue tecnificada y se limitó a la extracción desordenada de arcilla donde así se pudiera; plan de trabajo responsable de la formación de cortes cuasiverticales, y de la incubación de los más

importantes procesos de inestabilidad en los barrios, uno de ellos el de Granada Sur (que involucra parte de los barrios San Miguel Granada Sur y S. C. Granada Sur, tal y como se ilustra en el *Plano 5*).



FOTO 3.10 LADERA DENUDACIONAL CON INTERVENCIÓN MODERADA, NÓTESE QUE LA VEGETACIÓN Y LOS RELLENOS ANTRÓPICOS POCO AFECTAN LA MORFOLOGÍA ORIGINAL. SE ENMARCA EN UNA REDUCIDA ÁREA ENTRE LAS URBANIZACIONES VILLA NATALY PORTAL REAL. AL FONDO SE MARCA LA AVENIDA PRIMERO DE MAYO (PERSPECTIVA EN SENTIDO SW-NE)



FOTO 3.11 LADERA DENUDACIONAL CON INTERVENCIÓN INTENSA POR ACTIVIDADES MINERAS, ENTALLADA AL SURORIENTE DE LA URBANIZACIÓN SAN LUIS.

3.5.1.3 TALUDES DE EXCAVACIÓN MINERA: DLIMT

Se designa así a los cortes de hasta 20 m de altura, labrados en la ladera natural, durante la extracción de arcillas, retrollenados y reconfigurados hasta pendientes entre 35° y 45° (abruptas a escarpadas), con los residuos de la misma explotación (véase la *Foto 3.12*). Son superficies denudadas, parcialmente cubiertas con basuras recientes, susceptibles a desarrollar procesos erosivos y de remoción en masa, y receptoras de su accionar. Cuando las condiciones de humedad son altas, se producen flujos de tierra o de escombros, y deslizamientos traslacionales. En ellos tienen lugar los más recientes pulsos de actividad, seis deslizamientos traslacionales, activos-avanzados, delgados (de no más de dos metros de profundidad) y con distribución de actividad retrogresiva y alargándose (véase el *Plano 5*); procesos residentes en el cuerpo de un deslizamiento antiguo, también activo (particularidad que lo clasifica como complejo), pero con velocidad de milímetros (o centímetros) por años, y con carácter retrogresivo, responsable de los daños en la urbanización San Luis.



FOTO 3.12 VESTIGIOS DE ANTIGUOS TALUDES MINEROS, FRENTE A LA URBANIZACIÓN SAN LUIS. EN ELLOS SE GESTAN DESLIZAMIENTOS TRASLACIONALES ACTIVOS-AVANZADOS.

3.5.1.4 EXPLANACIONES POR ACTIVIDAD MINERA: DLIMU

Son explanaciones a manera de terrazas, reconformadas por compactación del material allanado o por llenado y nivelación de las depresiones topográficas con llenos (seleccionados o no) delgados; lucen pendientes entre 2° y 5° (suavemente inclinada a moderadamente inclinada), y coinciden con antiguos patios de operación de canteras o de fabricas de ladrillo, a posteriori convertidos en plataformas de acopio, y finalmente preparados (o alistados) para ser urbanizados (baste repasar el *Plano 5*). Están modeladas en rellenos antrópicos y escombros de minería, y por su baja pendiente desarrollan procesos erosivos laminares. En sus dominios tienen asiento la urbanización San Luis, La plaza de mercado 20 de Julio y buena parte del barrrio S. C. Granada Sur, escenario ilustrado en la *Foto 3.13*, y en el *Plano 5*.



FOTO 3.13 EXPLANACIONES POR ACTIVIDAD MINERA PROMOVIDOS EN EL ESPACIO OCUPADO POR LA URBANIZACIÓN SAN LUIS. HACEN PARTE DE ANTIGUOS PATIOS DE CANTERA QUE FUERON RECONFORMADOS PARA LA EXPANSIÓN DE LA FRONTERA URBANA.

3.5.1.5 UNIDAD DE LADERA DENUDACIONAL CON INTERVENCIÓN INTENSA POR URBANIZACIÓN: LDIU Y LDIUM

Es producto de cortes y rellenos antrópicos reconformados con fines de urbanización, generalmente ejecutados en los corredores remanentes de la actividad minera previa (véase la *Foto 3.14*). Delinean pendientes entre suavemente inclinadas a inclinadas, es decir entre 1° y 15°grados (Vargas, 1999). Abarca los predios en los que se yerguen los barrios Granada Sur, las urbanizaciones Padua y Portón Real (*Plano 5*). Puede recibir el halo transformador de deslizamientos sencillos o compuestos, o de flujos de tierra locales o generales. Actividad morfodinámica de especial trascendencia en el corredor oriental del barrio Montebello, matizado en superficie por rellenos antrópicos delgados (de menos de tres metros), en el que la unidad litológica de mayor potencial de movilización es el fluvioglacial, y designado bajo el símbolo LDIUm.

3.5.1.6 UNIDAD DE LADERA DENUDACIONAL CON INTERVENCIÓN MODERADA POR URBANIZACIÓN: LDIMU

Esta unidad congrega intervenciones a manera de cortes, explanaciones y rellenos como actividad urbanizadora de manera menos intensa. Las modificaciones afectaron de manera poco significativa la morfología y la pendiente natural de la ladera, los cortes y los rellenos antrópicos realizados para la implantación de viviendas, si bien comprendieron una amplia zona de la parte urbanizada, no representan en profundidad espesores considerables (panorama observable en la *Foto 3.15*). Sus pendientes típicas varían entre moderadamente inclinadas a inclinadas; los depósitos antrópicos dibujan espesores que exceden los 3 m. aunque en los bordes de las vías puede duplicarse; los depósitos fluvioglaciales controlan la estabilidad de esta unidad. Actualmente esta subunidad morfológica se encuentra afectada por el deslizamiento desarrollado en el barrio Granada Sur, condición que tiende a permanecer debido a los desempates en las redes de acueducto y alcantarillado y al aporte del patrón hidrogeológico.



FOTO 3.14 LADERA DENUDACIONAL CON INTERVENCIÓN INTENSA POR URBANIZACIÓN, FRANJAS DE LA LADERA NATURAL QUE HA SIDO SOMETIDA A CORTES Y EXPLANACIONES EN LA ADECUACIÓN DE PREDIOS Y URBANIZACIONES



FOTO 3.15 LADERA DENUDACIONAL CON INTERVENCIÓN MODERADA POR URBANIZACIÓN AL NW DEL BARRIO MONTEBELLO. NÓTESE EL CAMBIO DE PENDIENTE EN LA VÍA, APROXIMADAMENTE EN LA VIVIENDA A LA DERECHA DE LA IMAGEN, LA QUE MUESTRA SEPARACIÓN EN LAS JUNTAS ESTRUCTURALES.

3.5.1.7 UNIDAD DE CUERPOS DE AGUA Y CAUCES NATURALES BORRADOS (LDCR)

Comprende las depresiones naturales producto del entallamiento generado por lenguas glaciales y corrientes fluviales, fuertemente modificadas por actividad antrópica, especialmente urbanística. Se entallan al oriente a y en el parque central del barrio Montebello, y en las zonas de morfología rugosa que permitían la acumulación de agua (véase el *Plano 5*). Sus pendientes oscilaban entre los 5° y los 15°, y sólo son

identificables en fotografías aéreas y por los cambios morfométricos en las calles. Un claro ejemplo de estos escenarios se plasma en la *Foto 3.16*.

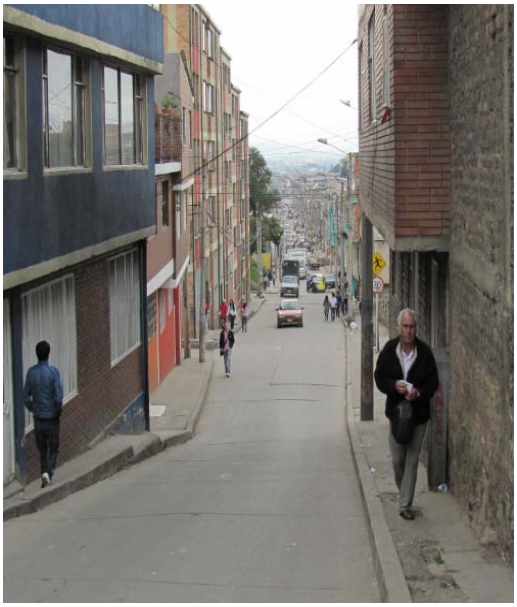


FOTO 3.16 UNIDAD DE CUERPOS DE AGUA Y CAUCES NATURALES RELLENADOS; LA CALLE 20A SUR ES TAL VEZ UNO DE LOS MEJORES EJEMPLOS, EN SU BANCA DISCURRÍA UN CAUCE PERMANENTE BORRADO Y REEMPLAZADO, EN PRIMERA INSTANCIA POR UN FRENTE MINERO, POSTERIORMENTE POR FÁBRICAS DE LADRILLOS Y FINALMENTE POR LA ESTRUCTURA DE LA BARRIADA.

3.5.2 MORFODINÁMICA

En este aparte se describen los procesos que modifican el relieve y los agentes que inciden en estos cambios, principalmente aquellos que tienen algún grado de importancia para los barrios. Cada unidad posee rasgos morfológicos particulares que dependen, entre otros elementos, de los procesos denudativos que en ella se desarrollan. Tales rasgos permiten dilucidar el tipo de fenómeno esperado, las causas intrínsecas y extrínsecas (detonantes), y su estado y desarrollo, variables y características definidas acorde con los derroteros fijados Varnes (1978) y Vargas (1999). Entre los más relevantes procesos se tienen:

3.5.2.1 METEORIZACIÓN

La meteorización es el conjunto de procesos externos (físico-químicos) que causa la alteración y desintegración de la roca in situ. Para el área de estudio el factor principal de meteorización química es de tipo hídrico. Estos procesos modifican las propiedades físicas y químicas originales de cada litología, creando condiciones que facilitan la incisión del agua en los materiales que pierden cementantes, lavado de minerales y concentración de otros, y que por lo tanto las hace más susceptibles a la erosión y a los procesos de remoción en masa; cuando es muy avanzada lleva al cambio de los macizos rocosos a suelos residuales. El perfil de meteorización se traduce, entonces, en una costra de fragmentos líticos embebidos en matriz lodosa para el caso de la Formación Bogotá, que alcanza espesores diversos: desde los pocos centímetros hasta los dos metros, escenario preferencial para la formación de deslizamientos traslacionales, y flujos de detritos que se movilizan toda vez que los horizontes de suelo se saturan o se reblandecen, especialmente en las temporadas de lluvias intensas.

3.5.2.2 PROCESOS DE EROSIÓN

Es el grupo de eventos por medio de los que el material rocoso o los suelos son desprendidos y removidos con influencia de agentes externos a lo largo de un eje lineal. La erosión Hídrica es un fenómeno ocasionado por acción de fuerzas hidráulicas, que actúan sobre las partículas del terreno produciendo su desprendimiento, transporte (flujo superficial) y posterior depositación (Varnes 1978).

El flujo superficial sucede cuando la precipitación excede la capacidad de infiltración, generándose un excedente de agua en la superficie que corre ladera abajo a lo largo de la máxima pendiente. Los surcos delinean profundidades hasta de 0.10 m, son el resultado combinado de la acción del golpeteo de la lluvia sobre el terreno, y del flujo de agua generado en la dirección principal de la pendiente, que forma inicialmente microsurcos de erosión que paulatinamente se transforma en surcos de erosión, dentro de los que se transporta el material. La erosión en cárcavas, es la continuidad de la erosión en surcos, que al profundizarse y ampliarse, se convierten en canales de arrastre (microcanales).

La mayor parte de los procesos erosivos se desarrollan en materiales denudados, y en cortes generados para urbanización o para frentes de canteras, los materiales tienden a desarrollar surcos y cárcavas con entallamientos mayores a 1 m y formas características en V, cuando interrumpen algún flujo superficial de escorrentía; en pendientes suavemente inclinadas el arrastre genera erosión difusa y flujos laminares. Para la zona de estudio, la actividad extractiva ha dejado frentes libres denudados en los que la erosión tiene asidero por la ausencia o la deficiencia en el manejo de aguas superficiales y por la ausencia o deficiencia en la cobertura vegetal, lo que provoca la incisión preferencial en las superficies expuestas, sean éstas taludes o patios. Así, entonces, la erosión se marca en casi todas las laderas retrabajadas por la actividad extractiva, y en los taludes temporales inherentes al accionar minero.

3.5.2.3 PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA (FRM)

Reptación

Es el movimiento lento e imperceptible del material (roca o suelo) pendiente abajo, bajo la influencia de la gravedad. Incluye el movimiento de suelos como fluido viscoso o plástico (Chorley et al., 1984). En este proceso, no hay una superficie de falla definida y su influencia es tal que puede actuar en toda una ladera.



FOTO 3.17 PROCESOS LENTOS DE LADERA A MANERA DE REPTACIONES, FORJADOS EN MATERIALES SUPERFICIALES. DISPUESTOS EN EL CORREDOR NE DE LA URBANIZACIÓN SAN LUIS. VISUAL NW-SE

Este fenómeno debió tomar lugar en las partes de las laderas forjadas en litologías arcillosas cubiertas por pastos (lo anterior se infiere de la apariencia actual de los espacios no urbanizados, próximos al área de trabajo (véase la *Foto 3.17*). Hoy día el cambio en el uso del suelo y el control de aguas superficiales y subterráneas relacionado con el cubrimiento urbanístico hacen inviable su percepción.

Flujos de tierra

Se caracterizan por la relativamente baja velocidad y por desarrollarse en materiales que pierden su estabilidad estructural por efecto del agua, originando desplazamientos con formas alargadas, lobuladas en su extremo inferior". Son de actividad y desarrollo estabilizados o activos; su detonación está asociada con la saturación de los horizontes móviles en épocas de aguas o por aportes instantáneos provocados por la rotura de las líneas de agua lluvia o aguas residuales; el material movido responde a los paquetes arcillosos transportados por acción fluvioglacial; son pequeños y se gestan en las laderas encausadas por valles fluviogaciales o en entallamientos dejados por los cauces intermitentes, los mejores ejemplos se transcriben en el talud norte de la calle 20 A sur (por fuera del cuadrángulo de trabajo) y en la esquina suroccidental de la Urbanización Villa Nataly (contiguo a la manzana 53, véase el *Plano 5*).

Deslizamientos

El movimiento consiste de deformación por corte y desplazamiento, a lo largo de una o varias superficies que son visibles o pueden inferirse razonablemente, o dentro de una zona más o menos estrecha. La rotura no siempre es simultánea en todos los puntos de la superficie de falla, en muchos casos puede propagarse desde una de falla local. La masa afectada puede deslizarse más allá de la superficie original de rotura (Invías, 1998). Afirmaciones con asidero en escenarios como el que se expone en la *Foto 3.18*.



FOTO 3.18 DESLIZAMIENTOS TRASLACIONALES DETONADOS POR SATURACIÓN EN EL BORDE SUR DE LA URBANIZACIÓN SAN LUIS. EL MATERIAL DESLIZADO INVOLUCRA DEPÓSITOS ANTRÓPICOS DE ORIGEN MINERO.

Los antecedentes de inestabilidad en Granada Sur y Montebello, se remontan a la década del 40 del siglo pasado, su origen está vinculado con las deficientes prácticas mineras para la explotación de arcilla que se ejercían desde principios de siglo (afirmación apoyada en estudios anteriores, realizados por firmas consultoras y por entidades institucionales). En la década del 50, concurrente con los primeros tejidos urbanos improvisados aparecen los primeros reportes de daños en las viviendas; para 1968 el Servicio Geológico Nacional dicta una serie de recomendaciones que incluyen la suspensión de la minería de materiales arcillosos y sugiere medidas de estabilización de las zonas afectadas. Desde esa época son

numerosos los estudios, diagnósticos y conceptos técnicos atan el origen de los deslizamientos con la minería irresponsable, y peor aún, con la permisividad en la expansión urbana.

Pero esto no siempre fue así. La ladera natural, previo a la llegada de las industrias Chircaleras (o las fabricas de ladrillo), lucía homogeneidad morfológica, y buena parte de los cauces fluían con una única dirección: SE-NW; sin embargo las transformaciones en el relieve natural fruto de la minería y de la urbanización, revelaron parcelación de la ladera, cambios en la orientación de las unidades de ladera, y signos de inestabilidad en cada parcela. Signos que esculpen tres nichos de deslizamiento.

El primer nicho inestable recorre los taludes al sur y al sureste de la urbanización San Luis. El deslizamiento principal es complejo y la superficie de despegue compuesta (es decir encierra trechos rotacionales, en la base y el cuerpo, y traslacionales en la cabeza), la corona es de 80 m de longitud, aproximadamente, el escarpe principal alcanza los 3 m de altura y los escarpes secundarios bordean los 2 m de altura, unos y otros relacionados con los antiguos frentes de excavación. La profundidad del deslizamiento, parece acercarse a los veinte metros, e involucra el espesor del cuaternario, y el material deslizado está forjado en rellenos mineros arcillosos pero con abundante carga de bloques y cantos de areniscas. La distribución de actividad, también llamada secuencia de repetición (Suárez, 1998), es retrogresiva y ampliándose (Varnes, 1978) y la velocidad es muy baja (mm por año, Morgenster, 1985, citado por Cruden y Varnes, 1996).

En 1967, el talud principal limitaba prácticamente con la transversal 2A lo que explica que el material involucrado es removido, y responde, principalmente, a desechos de cantera y mezclas de escombros de construcción de los barrios Granada Sur y Montebello. Tras la corona del movimiento se calcan agrietamientos más o menos paralelos al escarpe principal, que ratifican la capacidad de retrogresión y el potencial de daño de la masa; agrietamientos que se extienden a través de un buen número de viviendas de las manzanas 6 y 7, y que desencadenaron la demolición de algunas de ellas, de la Transversal 2 A y de las calles 24 A sur y 25.

En gracia con la clasificación del movimiento, el cuerpo del deslizamiento está moldeado por seis deslizamientos locales, activos-avanzados, de poca profundidad (inferior a los tres metros): el DT-001AA, el DT-002AA, el DT-003AA, el DT-004AA, el DT-005AA y el DT-006AA (representados en el *Plano 5* y descritos en el *Anexo C.4*). Las coronas poseen longitudes 10 my 12 m; los escarpes principales marcan alturas máximas de dos (2) metros y el material deslizado se circunscribe exclusivamente en los desechos mineros (o depósitos antrópicos mineros) y en basuras locales. Los depósitos son arcillosos y contienen bloques y cantos de areniscas de dimensiones centimétricas, decimétricas y métricas, que le otorgan condimento adicional al impacto y la trascendencia de los desprendimientos en los habitantes y las viviendas de la urbanización. La detonación recae en la saturación y el reblandecimiento de las masas del suelo, una y otro emergida de la intensa temporada invernal; empero no se descarta el aporte de las redes de acueducto y alcantarillado: el intenso olor del suelo traslocado así parece confirmarlo.

La patología patente en la transversal 2A y en las calles 25 sur y 26 sur, manifiesta en grietas transversales y ahuellamientos (deformaciones) en el pavimento, y el deterioro total o parcial de algunas edificaciones, además de descifrar la secuencia de repetición del deslizamiento principal (muestra visible en la *Foto 3.19*), marca clara diferencia con el antiguo movimiento minero (expuesto en las aerofotos de 1977), inmerso exclusivamente en los predios de la urbanización San Luis; el deslizamiento generado desde 1996, ahora cobija los depósitos fluvioglaciales sobre los que descansan los rellenos antrópicos.

El daño en trece (13) de las residencias de la manzana 55, y en cerca de media docena de las del bloque 56, abocetan la posición de la pata y la extensión del deslizamiento "San Luis", y descorren su capacidad de destrucción. Los daños en las viviendas comprenden inclinación de los muros, basculamientos y hundimientos de los pisos, deformación de los marcos de puertas y ventanas, separación de las juntas de construcción y agrietamientos en pisos y paredes; averías que no sólo comprometen el arreglo estructural sino su habitabilidad. No obstante, contrario al deficiente estado estructural de las casas, y a las advertencias elevadas por el Fondo de Prevención de Desastres y Atención de Emergencias, las casas aún permanecen habitadas.

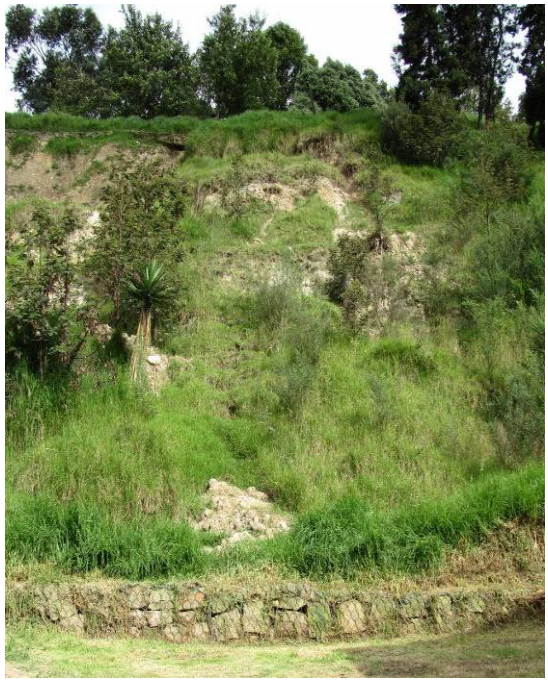


FOTO 3.19 SECTOR POSTERIOR A LA URBANIZACIÓN SAN LUIS DONDE SE OBSERVA UN DESLIZAMIENTO DE TIPO COMPLEJO QUE AFECTÓ PREDIOS, NÓTENSE LOS ESCARPES Y LA CORONA PRINCIPAL QUE LINDA CON LA TRANSVERSAL 2A

Las obras de contención y los planes de tratamiento hasta hoy implantados, y que incluyen muros de gavión, caissons de hasta once metros de profundidad, cunetas, descoles, filtros y terraceo (recomendación última emitida por Geoingeniería, 2000), si bien han reducido la tasa de movimiento, si se trata de los caissons, y mitigado el impacto de los movimientos superficiales, poco han influido en la estabilización del deslizamiento principal, por demás profundo (de más de 20 m).

De acuerdo con los antecedentes de las fotografías aéreas de las décadas de los 60 y 70, la urbanización fue cimentada parte en un antiguo patio de cantera y parte en rellenos antrópicos de origen minero, terraceados y compactados, como parte de la adecuación urbana; si bien los depósitos no son de espesor considerable en esta parte de la urbanización, si se encuentran directamente sobre el miembro lodoso de la Formación Bogotá, condición que puede explicar el alcance del movimiento (véanse las fotografías aéreas de los año 1967 y 1977 en el *Anexo C.3*).

El segundo nicho de inestabilidad se desarrolla entre las calles 24 Sur y 20A Sur, y al noroccidente de la carrera 1B Sur. Allí un deslizamiento traslacional lento (que bien puede clasificarse como un flujo de tierras,

pues las expresiones en superficie son aún erráticas) y un flujo de tierras moldean las laderas. El primero, el deslizamiento, dibuja un área de influencia aproximada de poco más de 150 metros de ancho y 180 de largo; su dirección de desplazamiento es SE-NW; su secuencia de repetición es retrogresiva; su actividad y desarrollo es potencial-avanzado, y es el causante de grietas y graves daños estructurales en las viviendas de la calle 21 Sur y de la manzana 17 del barrio Montebello (véase la *Foto 3.20*).

Y el segundo, el flujo, es simple e inactivo. La masa deslizada oscila entre los cuatro y los siete metros y compromete (en apariencia) la totalidad de los llenos. La dirección de movimiento es N-NE, y en los cerca de cien (100) metros de ancho esculpe en las partes altas, escalonamientos de cerca de 20 m de ancho por 1 m de altura, más o menos paralelos entre sí (*Foto 3.21*). Antaño fue el responsable del reasentamiento de más de media docena de familias, decisión de la que solo quedan los cerramientos de los predios.



FOTO 3.20 ZONA AFECTADA EN LA PARTE MEDIA DE LA LADERA. LAS MAYORÍA DE VIVIENDAS QUE FUERON AFECTADAS ESTRUCTURALMENTE. A LA DERECHA SE LOCALIZAN LAS TRINCHERAS Y APIQUES QUE PERMITIERON IDENTIFICAR RELLENOS ANTRÓPICOS HASTA DE 4 M.



FOTO 3.21 ZONA AFECTADA POR UN MOVIMIENTO EN MASA, LA LADERA DE LA IMAGEN ESTÁ CONFORMADA EN SU GRAN MAYORÍA POR DEPÓSITOS ANTRÓPICOS POR URBANIZACIÓN QUE RELLENARON ANTIGUOS FRENTES MINEROS DE EXCAVACIÓN. VISUAL SE-NW

En el pasado cuando la ladera estaba libre de las cicatrices de la intervención minera (véase la fotografía de los años 40 en el *Anexo C.3*), los signos morfodinámicos se circunscribían a pequeños flujos de tierras. Movimientos al parecer superficiales, labrados en suelos arcillosos reblandecidos, pero sin relación de causalidad directa y contundente con el deslizamiento vigente hoy día. A partir de la década del 60, el espacio que ocupa el cuerpo del deslizamiento fue altamente impactado por la extracción de arcillas, las que constituían la matriz de los depósitos fluvioglaciales, componentes esenciales de la ladera, premisa corroborada por los apilamientos de bloques decimétricos de areniscas, semejantes a un talus pero de génesis antrópica, en las partes bajas de Granada Sur I Sector. Más tarde las excavaciones fueron tapadas con botados (i.e escombros) de las mismas canteras y rellenos para urbanización, condición que en medida alguna explica la formación de flujos y deslizamientos locales en las superficies reconformadas.

Tres de estos procesos, un flujo, el FT-007EC, y dos desprendimientos, el DP-008EC y el DP-009EC, simples, estabilizados colapsados, delgados (de menos de un metro de profundidad) y de pequeña envergadura, configuran el ramillete de huellas morfodinámicas hoy día. El *Anexo C.4*, contiene sus características geométricas y estratigráficas, y sus factores contribuyentes y detonantes, y el *Plano 5* delinea su apariencia.

Y el tercer nicho entalla las proximidades a la Avenida Primero de mayo, por lo que no son cartografiables ni son parte del estudio. Los flujos de tierra y los deslizamientos traslacionales, de aproximadamente 20 m de ancho, condicionados por la pérdida de confinamiento de los cortes armados en el antiguo lomo que contenía la antigua avenida (cuadro perceptible en la *Foto 3.22*), y detonados por saturación (y en medida alguna reblandecimiento) ocupan los sitiales de importancia. Los movimientos son simples, sucesivos y reactivados. Los materiales deslizados engloban llenos antrópicos por urbanización arcillosos, delgados (a menos de 3 metros de profundidad operan los macizos rocosos de la Formación Bogotá) y la superficie de falla se posiciona en el contacto suelo-roca.



FOTO 3.22 FLUJOS DE ESCOMBROS Y DE DETRITOS GESTADOS EN LOS TALUDES QUE LIMITAN AL BARRIO GRANADA SUR CON LA AVENIDA PRIMERO DE MAYO, NÓTESE EL MURO EN GAVIÓN BASCULADO A LA DERECHA DE LA IMAGEN. VISUAL E-W.

En general, los nichos de deslizamiento, sugieren relativa independencia entre sí (aproximación gráfica plasmada en la *Figura 3.3*, sin embargo es posible que conformen, en el futuro próximo, una gran masa inestable, compleja, compuesta y de difícil tratamiento. Sus direcciones de movimiento y sus velocidades parecen no haber variado significativamente en los últimos veinte años; empero sus velocidades pueden acrecentarse gracias a aportes inusuales de agua.

FIGURA 3.3 REPRESENTACIÓN ESQUEMÁTICA DE LAS ZONAS INESTABLES SOBRE LA LADERA ACTUAL Y SU ÁREA DE INFLUENCIA



FUENTE: GOOGLE EARTH (2011)

3.6 ANTECEDENTES DE PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA PARA LA ZONA

Con el fin de realizar la descripción de los antecedentes históricos de los procesos denudativos en el sector de interés, se recurrió a la consulta e interpretación de fotografías aéreas de los años 36, 56, 70, 77, 84 y 90, registro condensado en la *Tabla 3.2* y en el *Anexo C.3*. Esta tarea se centra en la ubicación y diagramación de los procesos erosivos y de remoción en masa, y en la esquematización de la acción humana en las laderas, trabajo tangible en la extracción de materiales, en la creación de escarpes y en la conformación de rellenos para construcción de viviendas, etc. (véase el *Anexo C.3*).

La morfodinámica en la totalidad del área de estudio se incuba en la extracción desordenada y no tecnificada de materiales arcillosos. Las fotografías aéreas previas a la intervención minera exponen laderas estables, moldeadas por deslizamientos incipientes que reflejan el sensible equilibrio geodinámico. De acuerdo con la imagen más antigua (la de 1936), para la época ya existían cortes en las laderas con vocación minera, y para 1940 el impacto en la cuenca media del río San Cristóbal y en los drenajes que tributaban al río, incluso los que discurrían por los predios de estudio, es intenso

TABLA 3.2 AEROFOTOGRAFÍAS CONSULTADAS

VUELO	ESCALA	FECHA	SOBRE	FOTOS
C46	17500	1936	29	190-191
C35	22000	1940		845-846
C335	4100	1943	1376	703-704
C769	9000	1956	2915	98-100
C1194	10000	1967		237-238
C1319	5000	1970		20-23
C1737	7700	1977		35-36
C1727	8800	1977	28668	163-165
C2161	9000	1984		140-141
C2323	21500	1987		125-126
R1131	5600	1990	8557	2014-2015
SAV 415	21000	1998		146-147

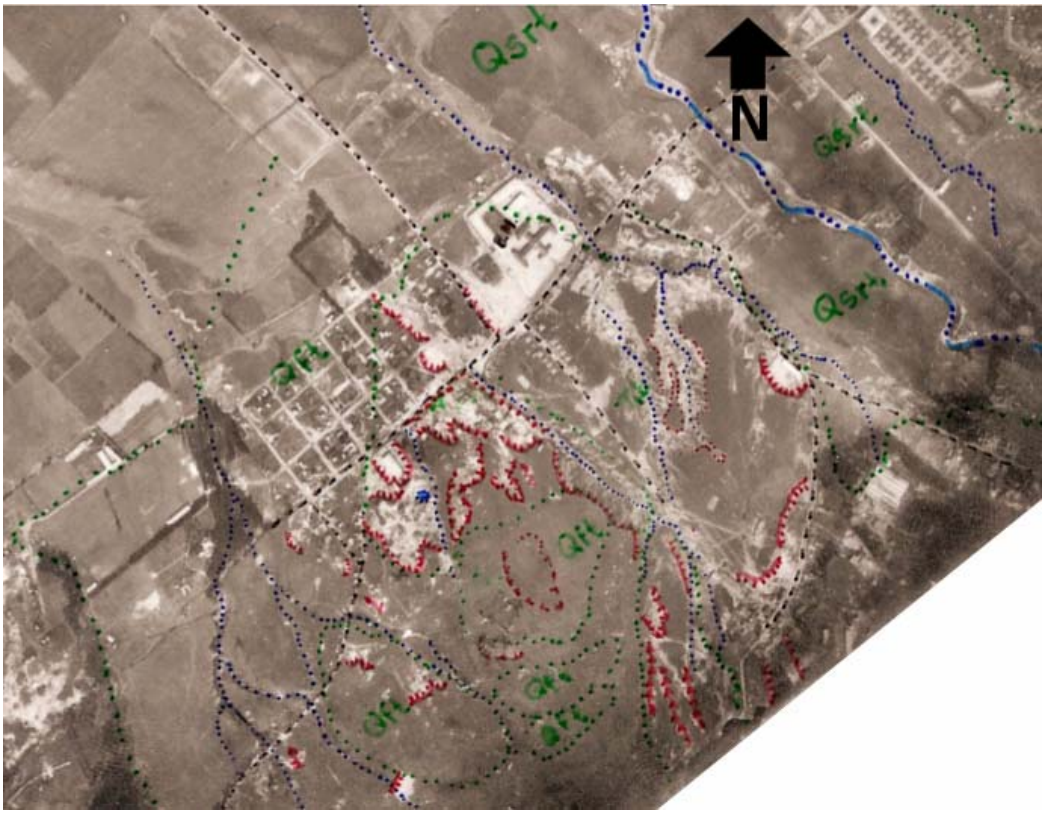
3.6.1 AÑO 1936 (VUELO IGAC C-46)

Responde al antecedente fotográfico más antiguo de la subcuenca del Río San Cristóbal. Esboza la parte media y baja de una ladera agradacional, limitada por las amplias manchas de materiales lacustres que componen gran parte de la amplia planicie, conocida como Sabana de Bogotá (véase la *Figura 3.4*). En la franja media de la ladera, la intervención antrópica por urbanización y actividades mineras es escasa; la cobertura vegetal recae en pastos para las superficies menos inclinadas y en rastrojos para las muy inclinadas o abruptas. Las laderas encierran tres tipos de materiales, los más competentes, rotulados con la sigla *Qft* modelan geoformas alomadas con pendientes entre moderadamente inclinadas y abruptas, y responden a cuerpos fluvioglaciales; y los menos competentes se identifican con el símbolo *Qsrt* y son propios de suelos residuales de rocas arcillosas.

En la vecindad a la Carrera 6 se tallan frentes de extracción, generados como parte de la construcción de las facilidades de la fábrica de ladrillos. Los rastros mineros carecen de un frente único o principal, en su lugar progresan extracciones dispersas que forjan parches denudados (línea naranja). El costado norte del cuadrángulo expone minería errática, chircales, hornos de baja altura y algunas edificaciones; conjunto limitado por un cauce permanente con dirección SE-NW, que limita con un lomo, en cuya cima se asienta la prolongación de la Primero de Mayo. Más tarde este lomo será redefinido por la minería, a través de cortes subverticales, practicados para la extracción de las arcillolitas de la Formación Bogotá.

Algunos drenajes menores al norte del lomo, fluyen hacia la Carrera 6 A y son captados por una quebrada, tributaría del río San Cristóbal, sometida al accionar de la minería aluvial. Las geoformas alomadas, propias de ambientes fluvioglaciales (delimitados en línea punteada verde, véase la *Figura 3.4*), y los pequeños cauces que drenan ladera abajo (marcados con línea discontinua azul) entre los valles generados por estas geoformas, toman lugar protagónico.

FIGURA 3.4 VUELO C-46 (1936), ESCALA 1:17.500



CONVENCIONES					
	RUMBO Y BUZAMIENTO SUAVE		RUMBO Y BUZAMIENTO MODERADO		CORTE PARA ADECUACIÓN DE VÍA O VIVIENDA
	CORTE MINERO ACTIVO		QUEBRADA		RÍO
	CONCENTRACIÓN DE AGUA (LAGO, LAGUNA, POZO, ETC)		ESCARPE		LÓBULO FLUVIOGLACIAL
		Qda	RELLENO		

3.6.2 AÑO 1940 (VUELO IGAC C-35)

Las laderas conservan los rasgos de la influencia antrópica; la frontera minera (errática y amorfa), dedicada a la extracción de arcillas, se circunscribe a los flancos norte y occidente, aunque con cambios poco significativos, salvo por los retrocesos en el borde norte. La morfología delinea formas alomadas, que se enmarcan en pendientes entre los 10° y los 12°; sobresalen dos lomos (línea punteada en color morado), entre los que surca un cauce permanente, que genera entallamientos de varios metros de profundidad. Las corrientes naturales de agua discurren en dirección SE-NW, algunas han sido interrumpidas por las incisiones mineras, circundantes a la antigua Avenida Primero de Mayo, y otras en menor proporción drenan (línea punteada azul) intermitentes al oeste (antigua Carrera 6) a través de los primeros vestigios del barrio 20 de Julio, principal polo urbanístico de la zona, y desaparecen al llegar a él (véase la *Figura 3.5*).

FIGURA 3.5 VUELO C 35, AÑO 1940, ESCALA: 1:22.000, FOTO 846



CONVENCIONES					
	RUMBO Y BUZAMIENTO SUAVE		RUMBO Y BUZAMIENTO MODERADO		CORTE PARA ADECUACIÓN DE VÍA O VIVIENDA
	CORTE MINERO ACTIVO		QUEBRADA		RÍO
	CONCENTRACIÓN DE AGUA (LAGO, LAGUNA, POZO, ETC)		ESCARPE	Lfg	LÓBULO FLUVIOGLACIAL
		Qda	RELLENO		

La red vial tiene como ejes principales a la Carrera 6 A y a la antigua Avenida Primero de Mayo, la que finaliza en el límite con el antiguo Batallón de Mantenimiento de la Fuerza Aérea; ladera arriba la Avenida se desvía hacia el sur bordeando un lomo retrabajado en sus costados sur y norte por la minería. Al norte y noreste del recuadro se asientan frentes de extracción de arcilla y viviendas, que más tarde darán paso al barrio Primero de Mayo; y al sur el lomo norte limita con una quebrada que discurre paralela al derecho de vía de la Avenida

Primero de Mayo. La quebrada reviste especial importancia, pues en ella vierten sus aguas pequeños tributarios que fluyen hacia el norte; y es la receptora del deterioro minero, al punto de desaparecerla aguas arriba. Hoy día en el cauce principal mayor opera la Calle 20A sur (corredor principal del barrio Granada Sur).

En el dominio de los barrios (Granada Sur y Montebello) se levanta una estructura similar a la actual plaza del barrió 20 de Julio, circundada en su cara posterior por un corte minero de altura similar a la edificación (5 metros aproximadamente). Ladera arriba, el avance minero es desordenado sin un frente definido. Los cortes son, en medida alguna, superficiales, puesto que aún se mantiene la morfología natural de la falda; no obstante, en los terrenos hoy ocupados por el barrio Granada Sur, ya existen frentes activos y hornos destinados a la cocción de los ladrillos y los cerámicos arcillosos.

3.6.3 AÑO 1943 (VUELO IGAC C-335)

Es la imagen con la mejor escala para la identificación del accionar antrópico y morfodinámico, lo que la convierte en herramienta de primera mano en el análisis multitemporal. Los frentes de explotación (marcados con línea naranja) se expanden al sur y sureste de las fabricas de ladrillos, son activos y evolucionan por niveles, y dejan a su paso terrazas de, aproximadamente, 5 m de altura, evidencias de los espesores de los rellenos antrópicos por minería (que conforman las laderas) hoy día. El patio de la fábrica SIAL (delimitado por los predios ocupados hoy por la Urbanización San Luis y por la Plaza de Mercado del 20 de Julio, y delineado con línea punteada púrpura en la *Figura 3.6*) alcanza aproximadamente 5000 m^2; los taludes mineros son asimétricos, en el cinturón norte se forjan en dos terrazas y en el corredor sur se entallan en un solo corte, sus altura oscilan entre los 12 m y 15 m y su inclinación se aproxima a los 70°. A lo largo de la Transversal 3 tiene asidero una poceta (en tierra), escurrimientos (o acequias) y cortes, formas artificiales (o de explotación) que le servirán de asiento geomorfológico décadas después al edificio del centro comercial 20 de Julio. Hacia el extremo norte, en límites con la avenida Primero de Mayo, el avance minero es menor frente al de la fábrica SIAL: los cortes son aleatorios y de hasta 4 m de altura, sin embargo los patios de cantera son de mayor extensión y las explanaciones para el alojamiento de hornos y edificaciones de una planta tienen mayor área, algunos terraceos son usados para acopio y almacenamiento de ladrillos.

La ladera media está libre de la estela minera, aunque son notorias las explanaciones para urbanización. Junto a ellas se descifra en una depresión topográfica (representada en la *Figura 3.6* por un ovoide o semicírculo) con textura distinta al de las vertientes, que responde a una concentración hídrica, posiblemente los vestigios de un lago. Esta y otras acumulaciones de agua, reflejan por una parte el carácter impermeable de los sustratos subyacentes y por otra la conformación de parcelas geomecánicamente inestables, promovidas por el reblandecimiento de los materiales de cobertera, y propias de la influencia fluvioglaciar (véase la *Figura 3.6*).

A lo largo y ancho de las vertientes, y a manera de huella digital, se exponen pequeños lomos y montículos de origen glaciar, (geoformas demarcadas con línea morada e identificados con la abreviatura ***Ifg***, véase la *Figura 3.6*), que configuran vallecitos y depresiones topográficas en los que se acumula agua y por los que, eventualmente, discurren cauces permanentes e intermitentes (línea punteada azul oscuro). Algunos de estos cauces son naturales y otros son tallados por la mano del hombre. En los valles y entallamientos generados por los lomos fluvioglaciales, asoman coronas y pequeños escarpes propios de cicatrices de antiguos procesos de inestabilidad (rasgos delineados con línea punteada roja), y flujos, probablemente, de detritos (estos últimos esbozados con líneas de color azul claro). Señales ineludibles del tenue equilibrio de las superficies libres (i.e. las laderas).

FIGURA 3.6 VUELO C-335 ESCALA 4:100 AÑO 1943 FOTO 704

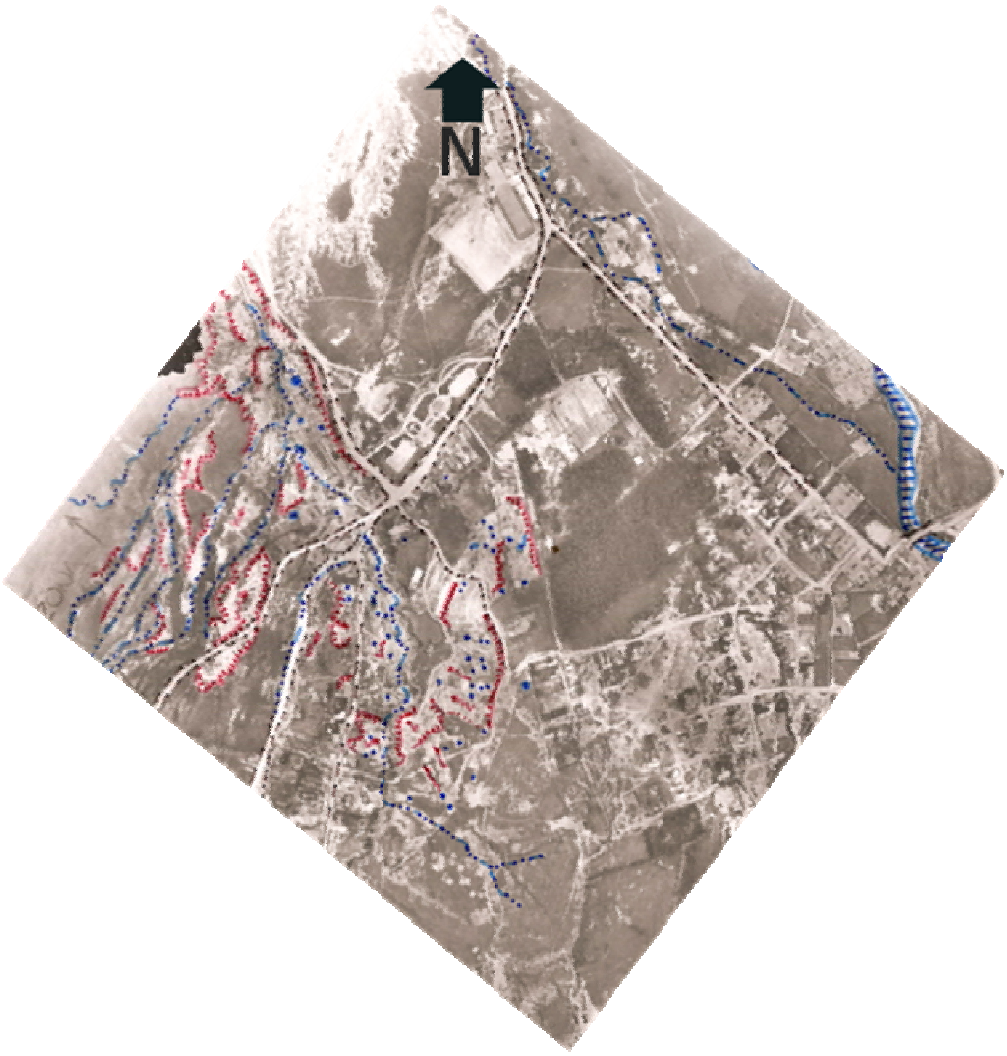


CONVENCIONES					
	RUMBO Y BUZAMIENTO SUAVE		RUMBO Y BUZAMIENTO MODERADO		CORTE PARA ADECUACIÓN DE VÍA O VIVIENDA
	CORTE MINERO ACTIVO		QUEBRADA		RÍO
	CONCENTRACIÓN DE AGUA (LAGO, LAGUNA, POZO, ETC)		ESCARPE		LÓBULO FLUVIOGLACIAL
			RELLENO		

La Transversal 3 Sur, límite del barrio Montebello, posee cuerpo completo, su trazo llega hasta la actual calle 27 A sur; al norte de ésta son recurrentes los rellenos antrópicos (cuerpos diagramados con línea punteada negra), algunos de ellos asociados con los procesos constructivos de la malla vial y de las componentes del barrio. Y los otrora cauces reinantes en la década del 30, y que fluían por la ladera, carecen de huella alguna, la expansión urbana los ha borrado, universo observable en la *Figura 3.6*.

3.6.4 AÑO 1943 (VUELO IGAC C-335)

FIGURA 3.7 VUELO C-335 ESCALA 4:100 AÑO 1943 FOTO 784



CONVENCIONES					
	RUMBO Y BUZAMIENTO SUAVE		RUMBO Y BUZAMIENTO MODERADO		CORTE PARA ADECUACIÓN DE VÍA O VIVIENDA
	CORTE MINERO ACTIVO		QUEBRADA		RÍO
	CONCENTRACIÓN DE AGUA (LAGO, LAGUNA, POZO, ETC)		ESCARPE		LÓBULO FLUVIOGLACIAL
			RELLENO		

La imagen expone el corredor oriental del polígono de estudio, es decir la parte media de la ladera a la altura de la carrera 2B este, espacio en el que la Avenida Primero de Mayo finaliza. Es uno de los sectores más

impactados por la minería; allí los cuerpos de agua que desaguaban han sido decapitados por la adecuación y ampliación (i.e. la construcción) de la infraestructura vial (i.e por la Primero de Mayo), el cauce paralelo se mantiene aunque su trazo es errático, en respuesta a la intervención. Los chircales y los estanques artificiales de agua (diagramados con puntos azules) y la erosión difusa (marcada en la línea roja), favorecida por la remoción de la cubierta vegetal, que desencadena la formación de surcos y cárcavas, son los cambios y procesos más relevantes. Al extremo norte, el río San Cristóbal y el velódromo reciben el incontrolado, errático y marcado accionar minero (véase la *Figura 3.7*).

3.6.5 AÑO 1956 (VUELO IGAC C-769)

La frontera urbana avanza con rapidez y se extiende desde todos los puntos cardinales hasta las proximidades de la calle 27 sur, de la Tranversal 3 y de la Carrera 6, sin penetrar en el polígono. La actividad minera se calca con desenfreno cerca de la avenida Primero de Mayo y al occidente en los predios hoy ocupados por la Urbanización San Luis, los cortes y los frentes de extracción (de materiales arcillosos) son irregulares, amorfos y configurados con buzamientos pronunciados únicos (véase la *Figura 3.8*).

La ladera natural, agradacional por naturaleza y con pendiente media de cerca de 10°, está cubierta por pastos y arbustos de baja altura, y por un pequeño bosque (aboceteado con línea punteada verde) que contrasta con los erráticos y limitados frentes mineros que le amenazan. A lo largo de la vertiente se dibujan cicatrices de flujos antiguos y lóbulos fluvioglaciales (color morado), siempre acompañados por tenues cuerpos de agua entallados en los valles de los lóbulos (véase la línea punteada color azul en la *Figura 3.8*), los que a su vez son alimentados por acequias y caños superficiales intermitentes y permanentes que fluyen hacia el NW. La mayoría de los cauces se pierden en los boquetes abiertos por la minería. Tres (3) torrentes permanentes y cuatro (4) intermitentes, además de uno de aproximadamente 100 m^2 de microcuenca y que ocupa una depresión con cierto grado de intervención antropogénica a manera de "vallecito" colgado, constituyen la red hidríca.

En comparación con los años cuarenta (Foto de 1943), la intervención minera se circunscribe en la base de las laderas, (identificada con línea punteada color naranja) y delinea dos frentes de trabajo principales: el primero, el más profundo, se yergue en la cara anterior a la antigua plaza del barrio 20 de Julio, está adosado a otro corte (menos profundo) tallado en dos niveles de trabajo, que alcanzan alturas, aproximadas, de hasta 10 m, y a un amplio patio de cantera de cerca de 160 m de longitud por 100 m de ancho. El segundo frente se forja en la base de la ladera natural, paralelo al trazo de la Avenida Primero de Mayo, los taludes que bordean la vía superan los 12 metros de altura, y tienen asidero en patios abandonados y desnudos (sin cubierta vegetal) labrados minuciosamente por surcos y cárcavas.

El otrora cauce permanente de agua que discurría paralelo a la avenida Primero de Mayo ya fue borrado, en su reemplazo se erige un acceso vial (la actual calle 20ª sur), algunas viviendas, hornos y chircales, todos construidos al amparo de la industria minera. El corredor con la mayor dinámica urbanística coincide con la parte más plana, región actualmente ocupada por el barrio Granada Sur III Sector. Los estanques artificiales (calcados con línea achurada azul) poseen áreas de hasta de 100 m^2 y se posan en los frentes mineros activos; el más grande se funda al sur de la antigua plaza del 20 de Julio. Los escarpes y los procesos de inestabilidad (dibujados en línea roja), seguramente gestados por las descargas mineras, tienen lugar en Granada Sur (en buena parte de lo que se conocerá como el movimiento principal) y en los terrenos que más tarde ocuparán la manzana 06 (específicamente la esquina occidental), y el barrio San Miguel Granada Sur.

FIGURA 3.8 VUELO C769, AÑO 1956, ESCALA 1:9000, FOTO 099



CONVENCIONES					
	RUMBO Y BUZAMIENTO SUAVE		RUMBO Y BUZAMIENTO MODERADO		CORTE PARA ADECUACIÓN DE VÍA O VIVIENDA
	CORTE MINERO ACTIVO		QUEBRADA		RÍO
	CONCENTRACIÓN DE AGUA (LAGO, LAGUNA, POZO, ETC)		ESCARPE	Lfg	LÓBULO FLUVIOGLACIAL
		Qda	RELLENO		

3.6.6 AÑO 1967 (VUELO IGAC C-1194)

Para este año y como sucede en la década del 60 del siglo pasado, la intervención minera es más intensa. El más importante frente de explotación se emplaza en la cara posterior (i.e SE) de las instalaciones de la ladrilla SAIL (una década después reemplazada por la plaza de mercado del 20 de Julio). Los taludes de excavación (línea continua roja), de hasta 15 m de altura y 80° de buzamiento, bordean la transversal 3 y se prolongan hasta el límite occidental del barrio Montebello (la hoy Transversal 2A). En el patio han desaparecido las explanaciones y parte de las facilidades, y son remplazadas por escombreras y apilamientos mineros, que alcanzan, incluso, los predios hoy día ocupados por la plaza de Mercado.

FIGURA 3.9 VUELO C-1194, ESCALA 1:10.000, AÑO 1967, FOTO 237



CONVENCIONES					
	RUMBO Y BUZAMIENTO SUAVE		RUMBO Y BUZAMIENTO MODERADO		CORTE PARA ADECUACIÓN DE VÍA O VIVIENDA
	CORTE MINERO ACTIVO		QUEBRADA		RÍO
	CONCENTRACIÓN DE AGUA (LAGO, LAGUNA, POZO, ETC)		ESCARPE		LÓBULO FLUVIOGLACIAL
			RELLENO		

Por otra parte, el frente minero adosado al norte de la avenida Primero de Mayo (trazo que coincide con la actual avenida), ha penetrado completamente en este flanco de la ladera; una delgada fracción de la geoforma, que da vida al último vestigio de la morfología natural (identificada sobre la imagen con línea punteada verde), es el encargado de separar los dos frentes mineros. Las aglomeraciones de bloques coluviales y suelos arcillo-arenosos, reinantes en las laderas, son en realidad mezclas de materiales removidos provenientes de la construcción de los accesos viales que intercomunican al frente activo de

extracción (hoy predios de la urbanización San Luis) con las áreas de producción, integradas por las fábricas de ladrillos, los hornos, las zonas de acopio y almacenamiento de las materias primas (i.e las arcillas) y algunas viviendas, constituyentes del barrio S. C. Granada Sur. Los cauces naturales han desaparecido por completo, y el barrio Montebello se encuentra plenamente establecido. Hacia el borde norte de la transversal 2A sobresalen extensos botaderos de basuras y de escombros, fruto de la actividad urbanizadora. La *Figura 3.9* ilustra el panorama reseñado.

3.6.7 AÑO 1970 (VUELO IGAC C-1319)

FIGURA 3.10 VUELO C-1319, AÑO 1970, ESCALA 1: 5000, FOTO 22



CONVENCIONES					
	RUMBO Y BUZAMIENTO SUAVE		RUMBO Y BUZAMIENTO MODERADO		CORTE PARA ADECUACIÓN DE VÍA O VIVIENDA
	CORTE MINERO ACTIVO		QUEBRADA		RÍO
	CONCENTRACIÓN DE AGUA (LAGO, LAGUNA, POZO, ETC)		ESCARPE		LÓBULO FLUVIOGLACIAL
			RELLENO		

En este periodo continúa el agresivo avance de la minería, el espacio ocupado por la bodega principal de la Ladrillera SAIL, es ahora parte de una escombrera, en la que emergen estanques mineros; el frente principal de extracción expone un talud único con cortes en su parte media. En el escarpe dejado en el pasado por el corte yacen rellenos antrópicos explanados, que sirven de suelo de fundación a las primeras edificaciones que bordearán la transversal 3A (véase la *Figura 3.10*). Las fábricas de ladrillos (específicamente la Alamos), recreadas por extensas manchas de ladrillos y materiales cerámicos arcillosos, se enmarcan entre las carreras 5 Bis y 1, y desde la Calle 20 A sur hasta la Calle 21 B Sur. Al norte de la Calle 20 A sur, único acceso al barrio Granada, en la servidumbre de la Avenida Primero de Mayo, se marcan cortes importantes y parches de denudación, promotores del desarrollo de frentes erosivos concentrados. El vértice acordonado por la avenida Primero de Mayo y por la Carrera 6, esculpido por un terraceo con fines urbanísticos, limita hacia el interior del barrio por un escarpe vertical; este escarpe marca la evidencia de la extracción de arcillas reinante en la década del 40, en la que la fuente básica fue la Formación Bogotá.

Al interior de los barrios los cortes mineros se abren paso sin un plan formal de explotación; los más notorios contrastes se fijan al sureste de la Urbanización Padua (en el cuerpo del deslizamiento principal), al sur del barrio Granada Sur III Sector (dominio del tercer nicho de deslizamiento), a lo largo y ancho del barrio S. C. Granada Sur y en los linderos de la Fabrica SIAL, dando lugar a cambios en los buzamientos de las laderas. Entre los taludes discurre aún una acequia con dirección SE-NW, interrumpida aguas abajo entre las fábricas, y se calcan pequeños segmentos del trazo de la quebrada principal (la que transitaba por la calle 20 A sur).

Los procesos de urbanización avanzan por el sur, el oriente y el norte (este último poco evidente en la fotografía). Sin embargo, en su consolidación coexisten puntos de extracción con taludes que no superan los 5 m (marcados con líneas verdes oscuras). Montebello, pues S. C. Granada Sur se forjo en la década anterior, encierra el mayor crecimiento. La Transversal 2A y las Calles 24A sur, 27 sur y 27A sur poseen cuerpo cierto; su trazado horizontal es más o menos evidente y su estructura recae en el afirmado. Las dos primeras arterias han sido construidas cerca o sobre los flujos y deslizamientos, y requirieron la configuración de terraplenes. En ellas los focos de humedad son frecuentes, lo que indica la presencia de alcantarillas.

3.6.8 AÑO 1977 (VUELO IGAC C-1737)

Para este año la plaza del 20 de Julio es una realidad, y la explotación en su parte posterior se ha detenido, al punto que rastrojos y arbustos de baja altura enmascaran los rellenos mineros. Los cortes subverticales en la margen derecha de la transversal 3 permanecen vigentes, éstos posteriormente serán rellenados (con depósitos antrópicos de vertido libre) y nuevamente cortados para dar lugar a la construcción del centro comercial; cabe anotar que el corte surgió como parte de la explotación pero respetó el trazado de la vía, lo que sugiere la presencia de la secuencia arcillosa de la Formación Bogotá.

La fracción de la ladera que dividía los dos frentes mineros ha desaparecido, y ha dado paso a una explanación incipiente, retrabajada por cortes viales (línea negra interrumpida), que a su vez intervienen el remanente de la superficie natural (cortes marcados con líneas rojas continuas). Los predios al occidente de la transversal 2 A, cubiertos por escombros y algunas basuras, han sido explanados, rellenados y dispuestos para la conformación de viviendas. Contiguo a ellos tiene asidero la más importante expresión morfodinámica, un deslizamiento rotacional activo; el proceso dibuja un ancho cercano a los 65 metros, su distancia de viaje alcanza los 80 metros, y la masa deslizada ocupa buena parte de lo que luego serán las manzanas 56 y 57; la masa deslizada parece recaer exclusivamente en los rellenos mineros y la profundidad del movimiento toca la decena de metros (conclusión abstraída de la forma de la pata). El frente de

extracción del barrio Granada Sur ha cesado, en su lugar la estructura urbanística del barrio y una reactivación del deslizamiento de 1970, toman lugar. Aguas arriba en la avenida Primero de Mayo sobreviven aún cortes mineros y un débil cauce que se abre paso entre los desechos mineros y los rellenos de urbanización. Espectro visible en la *Figura 3.11*.

FIGURA 3.11 VUELO C-1737, AÑO 1977, ESCALA 1: 7.700, FOTO 035



CONVENCIONES					
	RUMBO Y BUZAMIENTO SUAVE		RUMBO Y BUZAMIENTO MODERADO		CORTE PARA ADECUACIÓN DE VÍA O VIVIENDA
	CORTE MINERO ACTIVO		QUEBRADA		RÍO
	CONCENTRACIÓN DE AGUA (LAGO, LAGUNA, POZO, ETC)		ESCARPE	Lg	LÓBULO FLUVIOGLACIAL
		Qda	RELLENO		

3.6.9 AÑO 1977 (VUELO IGAC C-1727)

En esta imagen (y amanera de completo del vuelo 1737) los procesos morfodinámicos, en especial el escarpe del movimiento principal y el deslizamiento en San Luis (diagramado con línea continua roja) se revelan con mayor claridad; el escarpe principal (de hasta tres metros), el sobre empinamiento en la pata (indicio que lo clasifica como rotacional), el material deslizado (rellenos en esencia) y las características geométricas no sólo se ratifican sino que adquieren especial dimensión. Con excepción del débil cauce que discurre al sur no se identifican otros cuerpos de agua que sobrevivan a la actividad minera. Al norte de la Avenida Primero de Mayo, en vecindad al velódromo, los grandes taludes de extracción y las explanaciones contrastan con la construcción de edificios multifamiliares (Urbanización San Isidro), huellas que sugieren la presencia de las arcillolitas de la Formación Bogotá muy cerca de la superficie (véase la *Figura 3.12*).

FIGURA 3.12 VUELO C-1727, AÑO 1977, ESCALA 1: 8.800, FOTO 164



CONVENCIONES					
	RUMBO Y BUZAMIENTO SUAVE		RUMBO Y BUZAMIENTO MODERADO		CORTE PARA ADECUACIÓN DE VÍA O VIVIENDA
	CORTE MINERO ACTIVO		QUEBRADA		RÍO
	CONCENTRACIÓN DE AGUA (LAGO, LAGUNA, POZO, ETC)		ESCARPE		LÓBULO FLUVIOGLACIAL
		Qda	RELLENO		

3.6.10 AÑO 1984 (VUELO IGAC C-2161)

Para esta época la actividad minería ya ha concluido; los antiguos frentes mineros, modificadores del relieve natural, están matizados y reconformados con espesos llenos, y la cobertura vegetal recubre gran parte de sus impresiones (i.e de los rastros). En el antiguo frente de extracción próximo a la plaza de mercado del Veinte de Julio, mantiene vigencia el deslizamiento de San Luis, y su corona, de cerca de 30 m de ancho, aboceta un alineamiento similar al escarpe de deslizamiento actual (véase la *Figura 3.13*).

FIGURA 3.13 VUELO C-2161 AÑO 1984 ESCALA 1:9000 FOTO 140



CONVENCIONES					
	RUMBO Y BUZAMIENTO SUAVE		RUMBO Y BUZAMIENTO MODERADO		CORTE PARA ADECUACIÓN DE VÍA O VIVIENDA
	CORTE MINERO ACTIVO		QUEBRADA		RÍO
	CONCENTRACIÓN DE AGUA (LAGO, LAGUNA, POZO, ETC)		ESCARPE	LG	LÓBULO FLUVIOGLACIAL
		Qda	RELLENO		

El cinturón de comunicación entre los antiguos frentes mineros ha sido allanada, y el borde que delimita con la Cra 6, rellenado con escombros de construcción y de minería (línea punteada verde). Las superficies pobladas por la antigua fábrica de ladrillos Álamos están moldeadas por un corte semicircular de 100 m (aproximadamente), posiblemente como parte del proceso urbanístico que ha de seguir aquí hasta alcanzar la estructura actual del barrio Granada Sur. En el borde norte del barrio Granada los cortes alcanzan, aproximadamente, los 4 m de altura, y están parcialmente cubiertos por pastos. Los rellenos antrópicos tienen lugar como parte de la adecuación del terreno para la construcción de las viviendas, cerca de las actuales Cra 1 A y 1 B, espacios hoy aquejados por los procesos de inestabilidad.

3.6.11 AÑO 1987 (VUELO IGAC C 2323)

FIGURA 3.14 VUELO C-2323 AÑO 1987 ESCALA 1:21. 500 FOTO 125



CONVENCIONES					
	RUMBO Y BUZAMIENTO SUAVE		RUMBO Y BUZAMIENTO MODERADO		CORTE PARA ADECUACIÓN DE VÍA O VIVIENDA
	CORTE MINERO ACTIVO		QUEBRADA		RÍO
	CONCENTRACIÓN DE AGUA (LAGO, LAGUNA, POZO, ETC)		ESCARPE		LÓBULO FLUVIOGLACIAL
		Qda	RELLENO		

La configuración de las superficies libres (i.e las laderas) es similar a la vigente en el 2011; sin embargo, el talud principal al sur de la Plaza de Mercado se encuentra retrabajado por cárcavas, y son notables los rellenos antrópicos en la Transversal 3. Los trazos de las fábricas, en Granada Sur, han desaparecido, dejando los terraceos y las explanaciones como únicas evidencias de las construcciones. Estas modificaciones generaron una depresión topográfica basculada ladera adentro, que coincide con la disposición reinante en el presente en y a los alrededores de la urbanización Padua. Y a lo largo de la Avenida Primera de Mayo y como resultado de su construcción y de la presión ejercida por la minería en los linderos del hoy barrio Granada, emerge una sucesión de taludes de aproximadamente 4 m de altura, con pendientes próximas a los 45° (véase la *Figura 3.14*).

3.6.12 AÑO 1991 (VUELO IGAC R-1131)

FIGURA 3.15 VUELO R-1131 AÑO 1991 ESCALA 1:5000 FOTO 2015



CONVENCIONES					
	RUMBO Y BUZAMIENTO SUAVE		RUMBO Y BUZAMIENTO MODERADO		CORTE PARA ADECUACIÓN DE VÍA O VIVIENDA
	CORTE MINERO ACTIVO		QUEBRADA		RÍO
	CONCENTRACIÓN DE AGUA (LAGO, LAGUNA, POZO, ETC)		ESCARPE	Llg	LÓBULO FLUVIOGLACIAL
		Qda	RELLENO		

Los cortes mineros están ahora enmascarados por rellenos y capas vegetales que reviste las laderas reconformadas; el antiguo frente minero, imperante en las vecindades a la plaza del 20 de Julio, conjuga cicatrices de movimiento, la corona y el cuerpo de la reactivación del deslizamiento de San Luis (línea continua roja, visible en la *Figura 3.15*), y procesos de erosión hídrica concentrada, transcritos bien como surcos o como cárcavas (flechas rojas). El flanco derecho de la transversal 2A ha sido poblado por viviendas, cimentadas en terrazas labradas en los rellenos antrópicos que lo ocupan; y la parte central del predio está realzado por un escarpe (bosquejado en línea continua roja) que si bien sugiere una reciente intervención en la ladera, no es sino una marca del pasado que enmarcaba la fábrica de ladrillo. Al este, en el tercio superior del barrio Granada Sur, permanecen algunos escarpes de extracción de no más de 3 metros de altura; escarpes que fueron paulatinamente terraceados para facilitar el avance de la extracción, y que son el entorno receptor hoy día de las evidencias de inestabilidad. Por último, los drenajes, naturales y artificiales, carecen de protagonismo.

3.6.13 AÑO 1998 (VUELO IGAC SAV 415)

Es, por su amplia cobertura, una de las piezas más importantes para la estructuración del marco geológico regional (basta repasar en la *Figura 3.16* el universo de estudio, perfilado en línea continua café). En la aerofoto son evidentes los paisajes montañosos y su contraste con el piedemonte y con los ambientes lacustres. El Río San Cristóbal (repisado con línea azul) y el valle que genera entre los Cerros Aguanoso y Zuque, constituidos por secuencias cretácicas del Grupo Guadalupe, se exponen en primer plano como los accidentes geográficos más relevantes. Los contactos entre las Formaciones del Cretáceo Superior y Terciario Inferior: Guaduas y Cacho; la delgada faja de rocas competentes que sobresalen entre las unidades lodosas que la limitan al techo y a la base a la formación Cacho; y el amplio dominio de la Formación Bogotá, de la que forma parte el área de interés y en la que el rasgo morfológico dominante es la estructura monoclinal cuyas capas buzan suavemente hacia el occidente, en el mismo sentido de la ladera piedemontana, completan los elementos geológicos de primer orden.

3.6.14 AÑO 2005 (IMAGEN SATELITAL GOOGLE EARTH)

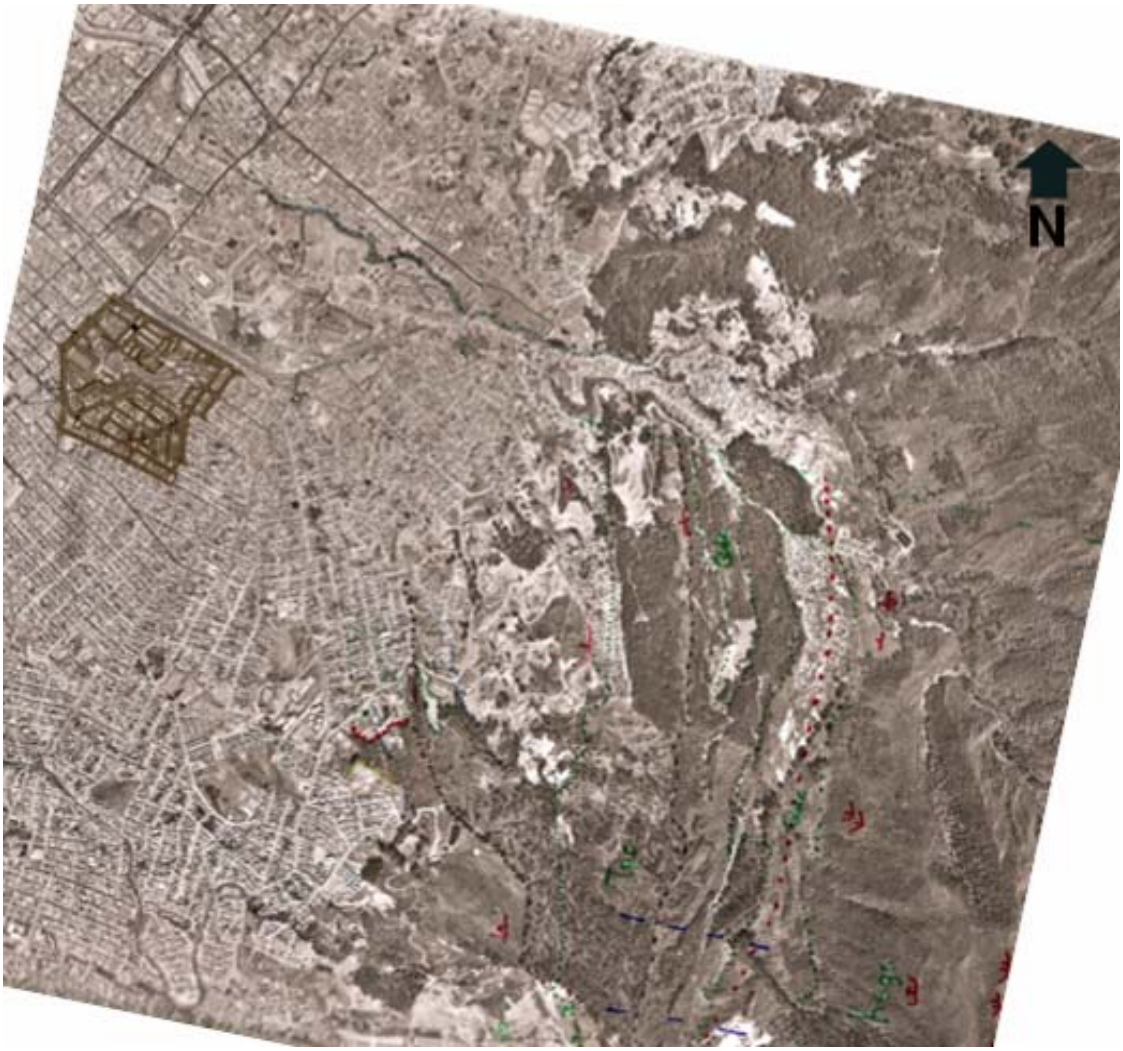
La apariencia (morfológica y morfométrica) de la ladera para ese momento es similar a la del año en curso (el 2011). La urbanización San Luis y la repavimentación de la Carrera 6 son las más novedosas incorporaciones urbanísticas; la primera está completamente terminada y la segunda está en construcción. Al igual que en la década previa, los rellenos mantienen ocultos los rastros de la minería, pero a diferencia de ese decenio la intervención humana, a través de los perfilados, enmascara los signos y los cuerpos de inestabilidad en San Luis. En contraposición, los reasentamientos en Granada Sur sugieren, en el borde noreste, bien la incubación de un movimiento o bien la reactivación de uno antiguo. Los otrora patios de cantera, al norte y al oeste, son ahora recinto de barrios y urbanizaciones consolidadas; y los escarpes y grietas de antiguos deslizamientos (incluido el principal) fungen silenciosos o por lo menos tapizados por espesas manchas de pastos, que los hace imperceptibles.

3.6.15 AÑO 2009 (IMAGEN SATELITAL GOOGLE EARTH)

Las diferencias frente a la imagen del 2005 son poco trascendentes; los procesos denudativos en las laderas activas distan de exponer nuevos indicios; el relleno a lo largo de la transversal 3ª y la densidad de la cubierta vegetal en los baldíos han aumentado; las trazas de la más reciente intervención en los taludes de San Luis,

sintetizada en el perfilado y el drenaje, mantienen vigencia; y la estructura urbana en el contorno, salvo por el reasentamiento o la desaparición de unas muy pocas viviendas en la manzana 17, permanece inmodificable. Y las evidencias de reactivación en San Luis, señaladas en los diagnósticos técnicos de la DPAE pasan inadvertidas, en parte por las limitaciones de la resolución de la imagen (véase la *Figura 3.18*).

FIGURA 3.16 VUELO SAV 415 AÑO 1998 ESCALA 1: 21.000 FOTO 147



CONVENCIONES					
	RUMBO Y BUZAMIENTO SUAVE		RUMBO Y BUZAMIENTO MODERADO		CORTE PARA ADECUACIÓN DE VÍA O VIVIENDA
	CORTE MINERO ACTIVO		QUEBRADA		RÍO
	CONCENTRACIÓN DE AGUA (LAGO, LAGUNA, POZO, ETC)		ESCARPE	Lg	LÓBULO FLUVIOGLACIAL
		Qda	RELLENO		

FIGURA 3.17 IMAGEN SATELITAL DE LA ZONA DE ESTUDIO - AÑO 2005



FUENTE: GOOGLE EARTH (2005)

FIGURA 3.18 IMAGEN SATELITAL DE LA ZONA DE ESTUDIO - AÑO 2009



FUENTE GOOGLE EARTH (2009)

3.7 HIDROGEOLOGÍA

3.7.1 DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

Para comprender completamente el comportamiento del agua en el subsuelo, debe establecerse la relación de cada unidad geológica con el agua subterránea, esto implica conocer la capacidad de los macizos y de los depósitos a dejar pasar flujos de agua dentro de sus poros o fisuras y la posibilidad de retenerla o cederla con facilidad. Para ello la hidrogeología ha clasificado los materiales en 4 grupos: acuíferos, acuitardos, acuicludos y acuifugos (conjunto descrito en la *Tabla 3.3*). Este comportamiento también depende de ciertos factores hidrogeológicos que determinan el movimiento del agua subterránea tales como la permeabilidad o conductividad hidráulica, K (constante de proporcionalidad lineal entre el caudal y el gradiente hidráulico), y la transmisividad (factibilidad del agua para circular horizontalmente por una Formación geológica teniendo en cuenta la permeabilidad y el espesor).

TABLA 3.3 CLASIFICACIÓN DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS DE ACUERDO A SU COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO

ACUÍFERO
(Del latín *fero*, llevar). Formación geológica que contiene agua y que permite que circule a través de ella con facilidad.
Ej. Arenas, gravas, bloques, rocas duras muy fracturadas o diaclasadas.
ACUITARDO
(Del latín *tardo*, retardar, impedir). Formación geológica que contiene agua pero que circula a través de ella con cierta dificultad. Es un concepto intermedio entre acuífero y acuícludo.
Ej. Arenas arcillosas, areniscas, limos.
ACUICLUDO
(Del latín *cludo*, encerrar). Formación geológica que continúe agua en cantidad apreciable pero que no permite que el agua circule a través de ella.
Ej. Arcillolitas, limos muy finos. Un metro cúbico de arcillas contiene más agua que el mismo volumen de arena, pero el agua está atrapada y no puede salir por gravedad y por lo tanto no puede circular por el subsuelo.
ACUÍFUGO
(Del latín *fugo*, rechazar, ahuyentar). Formación geológica que no contiene agua porque no tiene espacio poroso donde albergarla.
Ej. Rocas duras no fracturadas.

Con base en las propiedades de las unidades litológicas descritas en el numeral 3.4.1, estratigrafía local, se plantea una caracterización hidrogeológica de cada material.

Desde el punto de vista hidrogeológico, la secuencia litoestratigráfica en las vertientes (zona de estudio) dista mucho de ser uniforme, el empaquetamiento y espesor de los depósitos ratifican la variabilidad en el comportamiento geotécnico. Por una parte el nivel lodoso sano de la Formación Bogotá (i.e carente de intemperismo), enmarcado por arcillolitas no fisiles, desempeñan el rol de acuitardos. Las rocas desarrollan cierta cohesión que se traduce en estabilidad. Su estructura hace que puedan contener varias veces su peso en agua, pero esa agua no puede ser extraída con facilidad, debido a la baja conductividad hidráulica que poseen, lo que dificulta la circulación del fluido a su través.

Papel similar al de la roca desempeñan los suelos suelos residuales, su origen y su composición arcillosa los definen como acuitardos. Caso contrario exhiben los depósitos fluvioglaciales; el remoldeo, por una parte modifica su empaquetamiento y genera inestabilidad geotécnica, y por otra parte su textura, su estructura (que involucra diversidad de tamaños) y su participación en los procesos de inestabilidad, promotores de la generación de grietas internas, facilitan el flujo de las aguas subusuperficiales provenientes de los drenajes naturales y de las zonas de concentración de humedad, propias de ambientes fluviales y glaciales. A lo anterior se suma, la posible recarga artificial con agua proveniente de los drenajes de vías y viviendas, así como la presencia de alcantarillas y tuberías de conducción de agua (potable, residual y lluvia) en deficiente estado.

En este sentido estos depósitos se comportan como acuiferos de tipo freático pues el agua que almacena en su interior se encuentra a presión atmosférica, condición que se traduce en aumento o disminución del nivel freático ante un cambio en la superficie del terreno. Los acuíferos freáticos son muy lábiles a las condiciones superficiales, así a mayor lluvia los niveles suben y se acercan a la superficie. Una pequeña variación de la presión atmosférica se traduce en un cambio de posición en la freática. Esta eficiencia barométrica es menos importante que la variación que se produce a expensas de la mayor precipitación, pero es pertinente tenerla en cuenta y considerarla, pues ayuda a dilucidar el grado de afectación que poseen los acuíferos a los cambios externos. El compendio de las características hidrogeológicas para las unidades litológicas circunscritas en el área de estudio se expresa en la *Tabla 3.4*.

TABLA 3.4 DESCRIPCIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LAS UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

UNIDAD	DESCRIPCIÓN LITOLÓGICA RESUMIDA	COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO
Secuencia Lodosa Formación Bogotá. (Tpb-L)	Lodolitas de colores variados, no fisibles y de consistencia variable. Rocas blandas con mezcla de texturas arcilla y limo. Sin ningún rasgo de fisibilidad o laminación interna.	ACUITARDO
Suelos residuales arcillosos de la Formación Bogotá (QTpb-sr)	Materiales lodosos, con comportamiento de suelos arcillosos de alta plasticidad. Se formaron por la meteorización de las lodolitas de la Fm. Bogotá luego de su ascenso tectónico.	ACUITARDO
Depósitos Fluvioglaciales (Qfg)	Materiales arcillosos con alta humedad natural, de textura lodosa (arcillosa – limosa), con alta plasticidad aparente, de colores predominantemente rojizos, moteados con óxidos de hierro y con parches de colores claros de limo y arcilla.	ACUÍFERO FREÁTICO
Rellenos antrópicos (Qdam y Qdau)	Predominan los lodos y arcillas. Son depósitos de color café a rojizo, con fragmentos de areniscas, concreto, carbón vegetal, materiales de construcción, basuras, maderas, embebidos en una matriz arcillosa.	ACUITARDO

3.8 AMENAZA SÍSMICA

3.8.1 FUENTES SISMOGÉNICAS

El desarrollo de este numeral y la cuantificación de la amenaza sísmica se fundan, exclusivamente, en la recopilación y análisis de la información secundaria, es decir en estudios regionales y locales que involucran el distrito capital. La Información consolidada y consultada para el desarrollo de este apartado se presenta a continuación:

Estudio General de Amenaza Sísmica (AIS – Ingeominas – Uniandes, 1996)

Este documento, incorporado a la norma NSR-10, califica la amenaza sísmica de Bogotá, idealizándola como un punto. Enmarca a la ciudad capital en la región 5, catalogada como de Amenaza Sísmica Intermedia, y le fija como aceleración máxima horizontal a nivel de roca, Aa, 0.18g, para eventos con periodos de retorno de 475 años. Una y otra provocadas según la AIS (1996) por tres fuentes sismogénicas intraplacas, la frontal de la cordillera oriental, salmas y otras fallas, tal y como se refieren y describen en la *Tabla 3.5*. Con esta perspectiva la condición de amenaza para los barrios (Granada Sur y Montebello) es ineludiblemente media, igual a la asignada para todo el distrito capital, a pesar de encontrarse muy cerca a una falla de importancia regional, como lo es la Falla de Bogotá.

TABLA 3.5 FUENTES SISMOGÉNICAS PARA AMENAZA SÍSMICA EN BOGOTÁ Y SU ZONA RURAL

NOMBRE DE FUENTE ACTIVA	CARÁCTER DEL EVENTO	APORTE A LA AMENAZA
FRONTAL CORDILLERA ORIENTAL	INTRAPLACA	67.60%
SALINAS	INTRAPLACA	27.70%
OTRAS FALLAS	INTRAPLACA E INTERPLACA	4.70%

Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá (Ingeominas y Uniandes, 1997 y Decreto 523 de 2010)

Define dieciséis zonas de comportamiento homogéneo en el Distrito capital (modificación emergida del decreto 523, que se distancia del trabajo inicial que involucraba solo cinco zonas), caracterizadas por parámetros sísmicos y espectros de respuesta, es decir especifica las aceleraciones pico efectiva Ag y la mínima Ad, con sus períodos de retorno y recurrencia, útiles para el diseño y construcción de líneas vitales. Tales zonas y sus parámetros hacen parte de la Norma de Construcciones Sismorresistentes de la Ciudad.

Acorde con el estudio el universo espacial al que pertenecen los Barrios Montebello y Granada Sur, (incluidas las urbanizaciones San Luis, Padua y Villa Nataly), está inmerso dentro de la Zona de Depósitos de Ladera, y su aceleración pico es 0.22g para un período de retorno de 475 años. De las secciones de análisis se abstrajo por similitud morfológica, que la aceleración máxima en roca utilizada en los análisis pseudos estáticos es equivalente a la aceleración pico.

3.8.2 CUALIFICACIÓN DE AMENAZA LOCAL

Con base en los estudios mencionados para Montebello y Granada Sur, y sus aéreas circunvecinas se tienen tres sistemas sismogénicos principales:

Fuente Local

Responde a un evento en el dominio del Campo Cercano proveniente de alguna de las fallas que trasiegan al suroriente de la ciudad como son las Fallas de: Bogotá, San Cristóbal, Ruque, La Fiscala, Alto del Cabo y Yerbabuena, circunscritas en un radio de acción de 15 Km alrededor de los barrios, con foco de poca profundidad y Magnitud máxima probable, Ms, entre 6.0 y 6.5. La aceleración máxima horizontal a nivel de roca es de 0.18g. Los acelerogramas típicos esperados son de corta duración y su periodo fundamental es pequeño: T<0.30 seg.

Fuente Intermedia

Agrupa a los eventos sísmicos generados por el Sistema de la Falla Frontal de la Cordillera Oriental, también denominado sistema de Guaicaramo, a una distancia de 60 Km. Su profundidad oscila entre los 15 Km y los 60 Km. Esta fuente contribuye con el 67.6% de la amenaza sísmica para el campo intermedio y sus eventos tienen una magnitud máxima probable, Ms, de 7.5; la aceleración máxima horizontal esperada en roca es de 0.20g.

Fuente Lejana

Designa a los eventos producidos en la Zona de Subducción del Pacífico, a una distancia entre 350 Km y 400 Km del área de estudio y con una aceleración horizontal en roca de 0.04g.

3.8.3 RESPUESTA DINÁMICA DEL SUELO

Si bien los modelos de respuesta de sitio que se esbozan en adelante son a todas luces una simplificación gruesa, pues implican exclusivamente la mayoración cualitativa del coeficiente de aceleración horizontal en roca en función del tipo de material y de su espesor, y del escenario de aceleración máxima horizontal, i.e. de la fuente sismogénica, no se ignora que el desarrollo riguroso del tema implica el tratamiento de temas tan diversos y complejos como: a) la definición de los acelerogramas típicos para cada fuente sismogénica, b) la determinación de los parámetros estáticos y dinámicos de las unidades de suelo y roca, i.e. la relación de poisson, la velocidad de corte y el Módulo de corte máximo, Gmax, y las curvas de amortiguamiento por material, entre otros, y c) la modelación; derroteros a todas luces por fuera de los alcances del estudio.

En gracia de estas consideraciones, los factores de amplificación, Fv y Fa, son tomados de fuentes secundarias: bien de Medvedev (1965), o bien de la NSR (2010). La discriminación del conjunto de coeficientes (Fa y Fv) se ilustra en la *Tabla 3.6*.

Si la herramienta técnica recae en la NSR, es pertinente el tratamiento de los siguientes elementos básicos: a) el periodo fundamental de la fuente sismogénica; b) el perfil típico en la ladera; c) los coeficientes de amplificación: Fa y Fv según el periodo de análisis, y d) el espectro de diseño, así:

Fuente Sismogénica:

Si es local el periodo de vibración fundamental es inferior a 0.30 seg, registro extraído del acelerograma de Loma Prieta – Corralitos (1989); y si es frontal o lejana el periodo oscila entre 0.90 seg y 1.0 seg, el primero tomado del sismo de México (1985 – Fuente lejana) y el segundo del de Riviera.

Perfil Típico:

Está constituido en esencia por módulos cuaternarios fluvioglaciales, Qfg, o antrópicos mineros, Qdam, urbanísticos, Qdau y Qdaur, o de acumulación, Qdab, y de suelos residuales de lodolitas (o arcillolitas) de la Formación Bogotá (QTpb-sr), con espesores no mayores a 2 metros, que descansan, espacialmente, sobre potentes bancos de lodolitas o arcillolitas, lo que indefectiblemente los clasifica dentro de perfiles de Depósito de Ladera y Cerros (véase la Tabla.2 del Decreto 523 del 16 de diciembre de 2010, por el cual de adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá). La secuencia indiferenciada se describe a continuación:

- Suelos Arcillosos con Influencia glaciar (Qfg): Son masas transportadas, constituidas por bloques angulares a subredondeados de areniscas cuarzosas bien cementadas, de grano fino, y en menor proporción fragmentos subangulares de lodolitas siliceas, embebidos en arcillas y arcillas – arenosas.
- Depósitos antrópicos (Qarm, Qdau, Qdam, Qdab y Qmd): Son cuerpos heterogéneos con matriz arcillosa o arcillo arenosa, que contienen restos de concreto, escombros y basuras producto de actividad minera y urbanística. Sus espesores tocan los veintiséis (26) metros como lo sugiere el sondeo S-2) si se trata del Qdam.
- Suelos residuales (QTpb-sr): Son arcillas limosas, producto de la alteración del nivel lodoso de la Formación Bogotá. Su espesor migra entre 1 m y 2,3 m.
- Formación Bogotá (Tpb-L): Secuencia de arcillolitas y lodolitas, ocacionalmente interrumpidos por delgadas capas de areniscas líticas, de grano fino a medio. Se exponen en la vecindad a la avenida Primera de Mayo y a la carrera 6ª.

Los Coeficientes de Amplificación, Fa y Fv

Hacen referencia a los valores fijados en la Microzonificación Sísmica de Bogotá y en la *Tabla 3.6*. Acorde con los perfiles referidos atrás los coeficientes son:

Para el tipo de suelo según Medvedev (1965)

- Fa = Fv = 0.7, para el perfil tipo B, y
- Fa = 1.20 o 1.70 y Fv = 1.60 a 2.0, en lo que atañe al Perfil Tipo D, según el coeficiente de aceleración máximo sea de 0.22g.

TABLA 3.6 FACTORES DE AMPLIFICACIÓN PARA DIFERENTES TIPOS DE SUELO (MEDVEDEV, 1965 Y NSR-10)

NO	GRUPO DE ROCAS	SUELO TIPO	FACTOR DE AMPLIFICACIÓN, FA
1	ROCAS DURAS	A	0.1 - 0.8
2	ROCAS ALTERADAS	B	0.7 - 1.1
3	DEPÓSITOS GRANULARES NO COHESIVOS: BLOQUES, GRAVAS, ARENAS.	C	0.9 - 1.5
			1.2 - 1.8
4	DEPÓSITOS BLANDOS COHESIVOS: ARCILLAS, LIMOS.	D	1.2 - 1.6
			1.3 - 1.8
5	ANTRÓPICOS: ESCOMBRERAS, SUELOS ORGÁNICOS.	E	2.3 - 2.6
			2.6 - 3.0
6	DEPÓSITOS SATURADOS: BLOQUES, GRAVAS, ARENOSOS, ARCILLOSOS ANTRÓPICOS.	F	1.6 - 2.0
			2.0 - 2.4
			2.4 - 2.8
			3.3 - 3.9

Para el Decreto 523 del 16 de diciembre de 2010:

- Fa = 1,35 y Fv = 1.30, para Cerros, y

- Fa = 1.65 y Fv = 1.70, si se trata de los Depósitos de Ladera.

Espectro de Diseño

Como el periodo fundamental de los sismos de referencia es próximo al segundo, se adopta como espectro fundamental:

Sa = 1.20*Aa*Fv*I/T

donde:
Aa: es la aceleración máxima horizontal en roca
Fv: Coeficiente de amplificación tomado de la Tabla A.2.4-4 (NSR, 2010)
I: Coeficiente de importancia, equivalente a uno.
T: periodo del sismo, en este caso 1 segundo.

De la conjunción de las variables anteriores, para uno u otro procedimiento (o fuente técnica), las aceleraciones a nivel de superficie oscilan entre 0.18g y 0.22g. El primer coeficiente toda vez que la secuencia sea exclusivamente rocosa, y el segundo en el irrestricto escenario del Cuaternario: llenos y depósitos traslocados o fluvioglaciales. La *Tabla 3.7* agrupa las aceleraciones máximas en superficie y las aceleraciones para diseño que se adoptan al amparo de este proyecto.

TABLA 3.7 ACELERACIONES MÁXIMAS EN SUPERFICIE Y DE DISEÑO

MATERIAL	TIPO DE SUELO MICROZ SÍSMICA	FACTORES DE AMPLIFICACIÓN				ACELERACIÓN EN SUPERFICIES SA		ACELERACIÓN DE DISEÑO
		MEDVEDEV		MICROZ - 2010		MEDVEDEV (1965)	MICROZ (2010)	
		FV	FA	FA	FV			2/3 *SA
QFG	DEPÓSITO DE LADERA	1,6	1,2	1,65	1,70	0,345	0,367	0,182
QDAM, QDAU, QDAUS, QDAB.								
QMD								
QTPB-SR, TPB-L	CERROS	0,7	0,7	1,35	1,30	0,151	0,280	0,153

3.9 CONCLUSIONES

Las vertientes de estudio, asiento de los barrios Granada Sur y Montebello, han sido y están afectadas por un conjunto de procesos de inestabilidad, del que se tiene evidencia desde hace más de 60 años. Estos movimientos son producto de la explotación no tecnificada de materiales arcillosos, durante la que se generaron excavaciones con frentes de alturas importantes y terraceos para la conformación de los patios de cantera y para el montaje de las fábricas de ladrillo; posteriormente los predios fueron adecuados con cortes y explanaciones a fe de permitir el avance urbanizador desarrollado desde la década del 60 del siglo pasado.

Los movimientos en masa son diversos, se exponen en forma de flujos, deslizamientos, reptaciones, e involucran materiales recientes de génesis fluvioglaciar y depósitos antrópicos. Los deslizamientos son las

manifestaciones morfodinámicas más representativas, son activos-avanzados, suspendido, retrogresivos, con capacidad de amplirse, complejos (y posiblemente compuestos) y con profundidades de más de quince (15) metros, patrones que sugieren aumento en la inestabilidad de las laderas y propagación de los daños.

Las laderas, receptoras de los barrios Granada Sur y Montebello, encierran amplia variedad de materiales; incluye depósitos fluviales, glaciares, suelos residuales, predominantemente arcillosos, y paquetes arcillolíticos blandos. Las rocas duras y los macizos de buena calidad brillan por su ausencia.

Las formas del terreno están fuertemente intervenidas por la acción antrópica, en particular por cortes y llenos provocados por la minería y por la expansión urbana; los primeros alcanzaron los 20 m. de altura, y en ocasiones se terracearon para facilitarles su uso en la adecuación urbana, y los segundos se configuraron con los residuos de excavación o con los remanentes de escombros, dan vida a buena parte de la cubierta superficial y enmascaran las huellas, morfodinámicas, morfométricas y morfológicas, dejadas por la minería.

En respuesta a las modificaciones promovidas por la sobreexpotación y el urbanismo desaparecieron tanto los cursos permanentes de agua como los afluentes intermitentes que los alimentaban. En este sentido no se descarta que los humedecimientos estacionales y los niveles freáticos superficiales altos estén atados (y condicionados) al régimen hidrogeológico que envolvía las antiguas quebradas.

De acuerdo con la intervención y modificación histórica, el impacto generado por los cortes y las explanaciones demarca dos grandes espacios: Uno intensamente intervenido por urbanismo y minería que comprende la urbanización San Luis y los barrios Granada Sur y Granada Sur III Sector, en el que se gestan los más relevantes procesos de inestabilidad; y otro de moderada intervención en el que si bien la minería y el proceso urbanizador modificaron la ladera, sus efectos carecen de repercusión morfodinámica grave, en él se fundan las Urbanizaciones Padua y Villa Nataly, y parte del conjunto Portón Real y del barrio Montebello.

3.10 RECOMENDACIONES

Es conveniente hacer seguimiento minucioso a las edificaciones que se están levantando en la actualidad, tal es el caso del Centro Comercial El 20, y a las licencias de construcción que se otorguen, unas y otras en sus procesos constructivos pueden activar nuevos focos de inestabilidad y ampliar o modificar las franjas de amenaza. En esta misma dirección es pertinente revaluar la decisión de seguir urbanizando predios muy intervenidos en el pasado y que han mostrado evidencias de inestabilidad: derroteros ineludibles en Granada Sur y Montebelllo.

Se requiere, con la participación activa del Acueducto, rastrear y subsanar los desempates y rompimientos en las redes de acueducto y alcantarillado. Ellos empeoran la condición de inestabilidad en las laderas, de por sí bastante menguada. Tareas de inaplazable vigencia en el tiempo, indistinto de la estación climática.

REFERENCIAS

- DA PORTA, J. (1973). LÉXIQUE ESTRATIGRAPHIQUE INTERNATIONAL, COLOMBIE, AMERIQUE LATINE VOL. 4B. CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE. PARIS
- ESPINOZA ARMANDO (1994). CONTRIBUCIONES AL CATALOGO COLOMBIANO DE SISMICIDAD HISTÓRICA; EL TERREMOTO

DE TUNJUELO (1644, MARZO 16) Y SUS EFECTOS GEOTÉCNICOS EN LA ZONA EPICENTRAL. REVISTA INGEOMINAS Nº 4.

- FIERRO H, J Y ANGEL A, J. (2008) TECTÓNICA ACTIVA Y SISMICIDAD EN LA SABANA DE BOGOTÁ (COLOMBIA – SUR AMÉRICA). -6P. XIII CONGRESO LATINOAMERICANO DE GEOLOGÍA. BOGOTÁ. D.C.
- FIERRO H, J Y BERNAL R, J A. (2008) "ANÁLISIS MORFOTECTÓNICO DE LA SABANA DE BOGOTÁ A PARTIR DE SENSORES REMOTOS". COLOMBIA-SUR AMÉRICA. -6P. XIII CONGRESO LATINOAMERICANO DE GEOLOGÍA. BOGOTÁ. D.C.
- HELMENS, K. F. Y VAN DER HAMMEN, T. (1995). "MEMORIA EXPLICATIVA PARA LOS MAPAS DEL NEÓGENO – CUATERNARIO DE LA SABANA DE BOGOTÁ – CUENCA ALTA DEL RIO BOGOTÁ (CORDILLERA ORIENTAL, COLOMBIA). EN: PLIOCENO Y CUATERNARIO DEL ALTIPLANO DE BOGOTÁ Y ALREDEDORES". INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, BOGOTÁ, ANÁLISIS GEOGRÁFICOS 24, PP. 90 - 138.
- HELMENS, K. F. (1990). "NEOGENE – QUATERNARY GEOLOGY OF THE HIGH PLAIN OF BOGOTÁ, EASTERN CORDILLERA, COLOMBIA. STRATIGRAPHY, PALEOENVIRONMENTS AND LANDSCAPE EVOLUTION". TÉSIS UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.
- INGEOMINAS (2005A). "MAPA GEOLÓGICO DE LA SABANA DE BOGOTÁ". ESCALA 1: 100.000. COMPILADO POR MONTOYA, D. AND G. REYES. BOGOTÁ-COLOMBIA.
- INGEOMINAS (2005B). " INFORME GEOLOGÍA DE LA SABANA DE BOGOTÁ". COMPILADO POR MONTOYA, D. AND G. REYES. BOGOTÁ-COLOMBIA.
- INGEOMINAS, UPES. (1996). "MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE BOGOTÁ".
- JULIVERT, M., (1963). "LOS RASGOS TECTÓNICOS DE LA REGIÓN DE LA SABANA DE BOGOTÁ Y LOS MECANISMOS DE FORMACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS". PLANO 4- ESCALA 1:25,000 – BOLETÍN DE GEOLOGÍA UIS, NOS. 13-14 – 104PP-ANEXO: 4 PLANOS Y 2 FIGURAS- UIS BUCARAMANGA,1963.
  JULIVERT, M. (1968). "LÉXIQUE ESTRATIGRAPHIQUE INTERNATIONAL". COLOMBIE, AMERIQUE LATINE VOL. 4A. CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE. PARIS
- UPES – INGEOCIM (1998). "ZONIFICACIÓN POR INESTABILIDAD DEL TERRENO PARA DIFERENTES LOCALIDADES EN LA CIUDAD DE SANTAFÉ DE BOGOTÁ". BOGOTÁ
- VARGAS C. G. (1999). "GUÍA TÉCNICA PARA LA ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD Y LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA". COOPERACIÓN COLOMBO-ALEMANA. PROYECTO RÍO GUATIQUÍA (PRG).
- VARNES, D. J. (1978). "SLOPE MOVEMENT AND TYPES AND PROCESSES IN LANDSLIDES: ANALYSIS AND CONTROL". EDITED BY RL. SCHUSTER AND R.J.KRISEK. TRANSPORTATION RESEARCH BOARD, NATIONAL ACADEMY OF SCIENCE, WASHINGTON, SPECIAL REPORT 176:11-33.
- VAN DER HAMMEN, T. Y HOOGHIEMSTRA, H. (1995). "CRONO-ESTRATIGRAFÍA Y CORRELACIÓN DEL PLIOCENO Y CUATERNARIO DE COLOMBIA".
- VAN DER HAMMEN, T. (1995). "LA ÚLTIMA GLACIACIÓN EN COLOMBIA (GLACIACIÓN COCUY; FUQUENSE)". EN: PLIOCENO Y CUATERNARIO DEL ALTIPLANO DE BOGOTÁ Y ALREDEDORES. INSTITUTO GEOGRÁFICO AGUSTÍN CODAZZI, BOGOTÁ, ANÁLISIS GEOGRÁFICOS 24, PP. 69-89.
- VERSTAPPEN H, TH. Y VAN ZUIDAM R, A. (1991). "EL SISTEMA ITC PARA LEVANTAMIENTOS GEOMORFOLÓGICOS". 437P., ITC, PUBLICATION NO. 10. THE NETHERLANDS.
- VILLOTA, H. (2005). "GEOMORFOLOGÍA APLICADA A LEVANTAMIENTOS EDAFOLÓGICOS Y ZONIFICACIÓN FÍSICA DE TIERRAS". PUBLICACIÓN IGAC. BOGOTÁ.

CAPÍTULO 4

ESTUDIO GEOTÉCNICO

CAPÍTULO 4

ESTUDIO GEOTÉCNICO

En este capítulo se develan los resultados de las actividades de campo, laboratorio y oficina conducentes a la caracterización geomecánica de los materiales térreos, naturales y antrópicos, constitutivos de las laderas en las que se erige los barrios Granada Sur, Montebello y Padua, y las urbanizaciones San Luis, Villa Nataly. Todas las actividades se retroalimentaron para obtener un modelo geotécnico representativo del subsuelo útil para la evaluación de estabilidad.

4.1 INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO

4.1.1 MÉTODO DE TRABAJO

Algunos de los escenarios con mayor dificultad para la investigación geotécnica son los urbanos, tanto más cuanto mayor sean la intervención del hombre y la consolidación, es decir cuanto más densamente poblado estén o cuanto más generosas son las marcas del urbanismo. El yerto paisaje de la ciudad enmascara las escasas evidencias del orbe geológico (tanto estratigráficas como estructurales), promueve la formación de masas antropogénicas (llenos) bajo las construcciones, redefine el arreglo litológico, y deja libre los espacios con las mayores exigencias topográficas o morfodinámicas: condicionantes del procedimiento de exploración, incluida la selección de la maquina (restricciones reinantes en este caso). Granada y Montebello (acepción dada aquí al conjunto de barrios y urbanizaciones que integran el marco de estudio), son sin lugar a dudas, un buen ejemplo de tales obstáculos. La compleja, diversa y amplia imagen hoy día revelada por las laderas y la actividad morfodinámica en la que se debaten los barrios, es solo comparable con el acervo de interrogantes que envuelve su formación. Acervo que justifica el programa de exploración y que deja en evidencia sus pretensiones. Propósitos que involucran: a) reconocer, describir, contrastar y completar, o en el peor escenario idealizar, más allá de lo evidente, la cobertura espacial (en extensión superficial y profundidad) y el papel del cuaternario, en especial de las masas coluviales -si las hay- (escenario idealizado por IEH Ltda., 1988 y 1997, pero en nada compartido por GIA C. L), de los depósitos fluvioglaciares (imagen desprendida de la fotointerpretación) y de los rellenos antrópicos, mineros y de urbanismo (revelados a primera vista a lo largo y ancho de los baldíos), en el comportamiento de las unidades de ladera y de las edificaciones (i.e. de las viviendas); b) dilucidar el papel de los planos de discontinuidad, específicamente el de la estratificación, en la gestación, actividad y desarrollo de las masas inestables: Granada, San Luis y Montebello, yacen en laderas estructurales, en las que el buzamiento de los planos oscila entre los 20 y los 30 grados (hipótesis formulada por GIA); c) validar o replantear el patrón estructural y su función en las vertientes (receptora de los barrios y urbanizaciones), es decir en el comportamiento de los materiales y en la estabilidad de las superficies libres; las fuentes secundarias, entre ellas IEH (1988 y 1997), Geoingeniería Ltda. (2000) e Ingeocim (1998),

destacan la limpieza estructural; d) corroborar o replantear la posición de la posición de la tabla de agua o de la cabeza de presión, marco esbozado generosamente por IEH (1997) gracias a la implantación de piezómetros, elemento trascendente para la deducción de la respuesta esperada y para el pronóstico de la amenaza; y e) facilitar y coadyuvar en la exploración geológica.

En este sentido y a fe de dar respuesta a tan generoso esquema de preguntas, el programa de investigación del subsuelo se define con base en la exploración adelantada en los estudios predios (i.e. en su localización y descripción estratigráfica), en la coincidencia entre los cuerpos de deslizamiento y los terrenos baldíos, y en las facilidades y limitaciones otorgadas por la zona de estudio; Cortapisas resultado del desenfrenado abuso de los recursos no renovables (promovido desde la década de los cuarenta) y de la exacerbada y errática ocupación del territorio (a través de la urbanización), traducida en el escaso número y extensión de los cortes o frentes expuestos, casi exclusivamente aglutinados en la periferia a los barrios. Y se soporta en la hipótesis de que (a priori) morfoestructuralmente Granada y San Luis se erigen en espesas masas de llenos, de más de 20 m de espesor, forjadas por la actividad minera y por las reconformaciones urbanísticas, y dispuestas sobre laderas estructurales, sin traslocaciones, repliegues, saltos y cambios bruscos en el azimut de buzamiento. Los sitios para la realización de las labores de exploración se seleccionaron cuidadosamente, y buscan la mayor calidad en la información.

El panorama descrito revela la necesidad de emplear como bastión los métodos directos y de diagramar un plan de acción por etapas. Su máxima utilidad: surtir del mayor número de elementos de juicio a los contextos geológico y geotécnico. Los sitios para la realización de las labores de exploración se seleccionaron cuidadosamente, y buscaron la mayor calidad en la información, y la posibilidad de contrastar y potenciar las investigaciones previas, básicamente las de IEH (1988 y 1997), gracias a su generosa riqueza en la exploración del subsuelo.

Los métodos indirectos, v.g. la refracción y la reflexión sísmica, las tomografías y los sondeos Remi (o MASW), en principio subvalorados, puesto que las expresiones morfométricas son escarpadas y, las variaciones estructurales y estratigráficas se idealizaban inocuas, poco a poco ganaron espacio como la mejor herramienta técnica (y económica) para complementar el arreglo estratigráfico (en profundidad) y descifrar la prevalencia de la sistemática de fallas. La síntesis del conjunto de información se consolidó en resúmenes gráficos que facilitaron la caracterización de los materiales y su comprensión mediante secciones de análisis geológico-geotécnicas.

4.1.2 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

4.1.2.1 MÉTODOS DIRECTOS

La exploración se aborda en tres etapas. La primera etapa está dirigida a la identificación y descripción básica de las unidades superficiales y a la ubicación y detección de la continuidad lateral y longitudinal de los horizontes de roca y suelo. Está solventada mediante la toma de columnas estratigráficas, tres (3) en total; el levantamiento de datos estructurales; la ejecución de nueve (9) apiques (de no más de 1.30 m de profundidad), nomenclados desde el A-1 hasta el A-9, distribuidos al azar alrededor de las viviendas y en los cuerpos de los deslizamientos; y el inventario de procesos.

Los levantamientos estructurales se concentrarán en la toma de los datos representativos para las familias de discontinuidades en las exposiciones de los macizos rocosos fuera del polígono de trabajo, es decir en los

escarpes al suroriente y suroccidente, forjados en los dominios de los barrios Buenavista Suroriental, Ramajal, San Pedro, Bello Horizonte y Las Mercedes. Tales datos incluirán entre otros elementos, información sobre las tendencias generales de orientación: rumbo y buzamiento, y características físicas como abertura, espaciamiento, rugosidad y persistencia.

La segunda fase está basada en tres (3) trincheras, y seis (6) sondeos mecánicos. Las tres primeras (las trincheras) se circunscriben a los escarpes de los deslizamientos mayor y menor, gestores de los daños en las urbanizaciones Montebello, Granada Sur y Granada Sur III Sector. Y los segundos, apodados desde S-1 hasta S-6 y tallados bien con avances de percusión y lavado o bien con rotación; están dispuestos en pares o en tríos, en cada una de las unidades litoestratigráficas básicas primarias definidas por IEH (1997): los flujos de lodo en arcillas, el depósito coluvial y los depósitos de materiales de excavación, y en concordancia con los cuerpos de deslizamiento (en principio, de acuerdo con la información secundaria, definidos como tres) y con su posible dirección de movilización; el primero, el S-1, aledaño a las perforaciones PF-2, P-1 y PF-4 (ejecutadas por IEH, 1988 y 1997) y rector de la corroboración o del replanteamiento de sus registros estratigráficos; el segundo, el S-2, dispuesto en el ecuador del deslizamiento intermedio (responsable de los daños en la urbanización San Luis) y entre el S-6, adosado en el borde nororiental de la manzana 6 de Montebello, y el S-5, internado en la urbanización San Luis; y el S-3 y el S-4 alineados con el deterioro de la masa al nororiente, en el corredor de las grietas más recientes y entre los vestigios de la manzana 25 de Granada Sur III Sector. Sus intenciones abstraer capas guías y si es posible fijarlas (las unidades de roca en principio son casi exclusivamente arcillosas), es decir concluir sobre la continuidad longitudinal (SE-NW) de la secuencia litoestratigráfica; facilitar la construcción de los modelos geológicos-geotécnico en los ejes de los deslizamientos mayor y menor; dilucidar o abstraer la posición de las superficies de deslizamiento, tarea que se atenderá gracias al empleo del ensayo de penetración estándar (SPT); deducir los cambios en la polaridad (si los hay) de los planos de estratificación; dilucidar la continuidad de las tendencias de falla -en especial las de rumbo-; confirmar los espesores y el origen del cuaternario (a priori llenos y suelos residuales) y la posición de la tabla de agua, esta última tarea gracias a la reinterpretación de la instrumentación instalada por IEH (1997) y la DPAE. Su ubicación planimétrica y altimétrica se abstrae de un análisis de sensibilidad en el que se toma como variable relevante el buzamiento de los planos de estratificación, y se fija como puntos de partida los niveles estratigráficos expuestos en los modelos y en los registros de las perforaciones de los estudios de IEH (1988 y 1997), entendidos éstos como condiciones y elementos de borde (véase el *Anexo D.1*). Es por lo tanto iterativo y de ajuste permanente (por lo menos hasta que se concluyan las tres primeras perforaciones). Aunque este análisis, en principio, desprecia los saltos provenientes de las fracturas, v.g. las fallas de rumbo, y asume que el plano de estratificación es homogéneo y constante (premisa que puede no ser completamente cierta), intenta su corrección al fijar franjas de traslapo entre los extremos de las perforaciones.

La tercera etapa encierra únicamente la participación de la geofísica, constituida por dos líneas de refracción sísmica y dos Remi. Las primeras (las líneas de refracción) surcan los predios baldíos inmersos en los mismos cuerpos de deslizamiento, en dirección paralela al azimut de buzamiento de la estratificación, una entre las perforaciones S-1 e I-2, y otra en el entramado de las manzanas 58 y 60 (al suroccidente). Y los segundos (los Remi) a los extremos del deslizamiento principal (el de Granada) pero contiguos a la pata y a la cabeza del movimiento. Con estos elementos se pretende completar los puntos ciegos dejados por las etapas previas, y redondear la investigación sobre el modelo estructural, i.e. las fracturas; sin embargo, debido a la generosa longitud de las superficies libres (i.e. las laderas) y pronunciado ángulo de buzamiento de la estratificación, algunos vacíos permanecen.

Así las cosas, el trabajo de exploración deja entrever que la secuencia estratigráfica es normal, heterogénea, discordante y atípica; con escasas o inocuas variaciones laterales asociadas con los ambientes de depositación pero con interrupciones y cambios bruscos, en especial en los taludes circunvecinos (al sur y al sureste) a las urbanizaciones San Luis, Villa Nataly y Portón Real, promovidos y articulados por la errática actividad minera, sin alternancia en el crecimiento del grano ni en el grado de litificación; sin dislocaciones relevantes ligadas a trazas de falla; y con disposiciones multicapa, entretejidas por bancos espesos de arcillolitas (v.g. la Tpb-L) de la formación Bogotá, esporádicamente cubiertas por delgados suelos residuales (inferiores a los dos metros de talle), y por masas de llenos antrópicos (Qdam y Qdau) y de depósitos fluvioglaciares, matriz soportados, que alcanzan los veinte (20) metros de espesor máximo (talle revelado por los sondajes S-2, S-1 y S-6), compuestos por cantos y bloques de areniscas cuarzosas duras inmersos en arcillas y arcillas-arenosas, diseminados irregularmente a lo largo y ancho de los barrios, como resultado del accionar de los deshielos, del agua, y de la desmedida extracción de materiales y rellenado durante las décadas de los 30, de los 40, de los 50, de los 60 y de los 70 (véase el *Plano 4*, el *Plano 4A* y el *Plano 4B*).

Los paquetes lodolíticos (o arcillolíticos) y los suelos residuales (arcillosos en esencia) recorren la secuencia a profundidades variables, y parecen acarrear parte de la responsabilidad en la generación de los deslizamientos, debido en parte a la configuración geométrica del patrón estructural, cercano a los veinte grados, y en parte al rápido reblandecimiento del material rocoso, favorecido por el bajo grado de litificación del material rocoso.

Cabe reseñar que en las unidades de investigación: apiques, trincheras y columnas, no se detectó el nivel freático, pero en ellas como en los cortes libres son recurrentes las emanaciones o vertimientos de agua en las caras expuestas, provenientes bien del flujo subsuperficial del agua lluvia o bien de las filtraciones de los sistemas de suministro de agua o de alcantarillado, tanto a nivel de redes principales como a nivel de domiciliarias (IEH, 1988); particularidad que sumada a los reportes en las perforaciones (S-1 a S-6) acometidas por GIA, y a las lecturas de los piezómetros PF-1, PF-3, PF-4, P-1, P-2 y P-3 instalados por IEH (1988 y 1997, compilados en el *Anexo D.1*), indican que el patrón hidrogeológico puede estar ligado a la variación estacional de las lluvias, aunque matizado por una posición casi superficial de la napa freática (o de la cabeza piezométrica) en los cuerpos antrópicos.

En el *Plano 4* se ilustra la distribución en planta de las trincheras, los sondeos, las columnas, los apiques, las estaciones de levantamiento estructural, los afloramientos y las líneas de refracción sísmica, superpuesta a la geología de superficie, y en el *Anexos D.1* se disponen los registros obtenidos representados en forma gráfica. De igual manera, en la *Tabla 4.1* se citan las coordenadas y profundidades de los sondeos, los apiques y las trincheras ejecutados, y en la *Tabla 4.2* la descripción de los horizontes detectados.

4.1.2.2 MÉTODOS INDIRECTOS: REFRACCIÓN SÍSMICA

Esta herramienta se utiliza para estimar la profundidad del contacto suelo-roca y entre unidades litológicas diferentes; su continuidad y su disposición; y los parámetros sísmicos básicos de los materiales rocosos como son las velocidades compresionales y de corte. Abarca la ejecución de dos (2) líneas de refracción sísmica, con longitudes de 110 m cada una; trazadas perpendiculares al rumbo de los estratos, y dos (2) ensayos REMI.

Las líneas de refracción sísmica se emplazan al noreste del barrio. La primera (la LRS1) contigua al eje del deslizamiento principal y entre las perforaciones S-1 e I-3; y la segunda (la LRS2) al interior de Montebello, en

los dominios del parque delimitado por las manzanas 08, 09, 11, 12 y 13. Y los ensayos REMI (análisis sísmico de ondas superficiales), están ubicados al norte y suroccidente de la Urbanización San Luis, el primero (REMI-1) al occidente de la pata del deslizamiento mayor (i.e. el de Granada Sur) y a la mitad entre las manzanas 41 y 55, y el segundo (el REMI-2) en el antiguo botadero de la Ladrillera SAIL, en el alto relieve limitado por las manzanas 60 y 58 (véase el *Plano 4*).

TABLA 4.1 LOCALIZACIÓN DE LOS SITIOS DE EXPLORACIÓN DIRECTA DEL SUBSUELO

PUNTO DE EXPLORACIÓN	COORDENADAS		PROFUNDIDAD (M)	NIVEL FREÁTICO (M)
	NORTE (M)	ESTE (M)		
SONDEO 1	96956.3	98598.0	21.75	2.80
SONDEO 2	96978.2	98434.4	30.00	4.30
SONDEO 3	97048.6	98727.8	20.00	2.20
SONDEO 4	97063.5	98766.3	12.70	3.00
SONDEO 5	97018.11	98409.5	10.27	3.80
SONDEO 6	96953.6	98490.7	17.12	1.70
APIQUE 1	97110.7	98376.0	1.30	N.E.
APIQUE 2	97109.5	98542.9	1.30	N.E.
APIQUE 3	97089.8	98656.9	1.50	N.E.
APIQUE 4	97021.7	98651.2	1.50	N.E.
APIQUE 5	97036.0	98539.2	1.50	N.E.
APIQUE 6	97006.4	98478.5	1.60	N.E.
APIQUE 7	96992.6	98446.3	1.60	N.E.
APIQUE 8	97025.0	98428.8	1.30	N.E.
APIQUE 9	97043.3	98608.0	1.50	N.E.
*TRINCHERA 1	96969.2	98539.0	2.0	N.E.
*TRINCHERA 2	97091.3	98632.6	1.5	N.E.
*TRINCHERA 3	97004.9	98467.8	2.5	N.E.
REMI 1	97105.5	98375.5	30	-
REMI 2	96952.0	98256.0	30	-
*LRS 1	96771.4	98438.5	52 (PROF. MEDIA)	-
*LRS 2	97097.0	98536.0	32 (PROF. MEDIA)	-

N.E: NO ENCONTRADO

*LAS COORDENADAS REPORTADAS SON DE LA CABEZA DEL ELEMENTO

TABLA 4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES ESTRATIGRÁFICOS

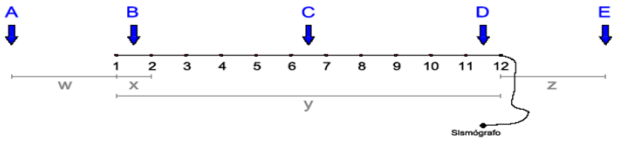
NIVEL	SÍMBOLO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	Qso	Suelo Orgánico	Limos y limos-arenosos de color negro. Yacen cubiertos por pastos. Poseen abundantes raicillas (bioturbaciones). Su humedad oscila entre baja y media, su consistencia es media, aunque eventualmente opera en firme, y su plasticidad es media.
2	Qdau	Relleno Antrópico de Actividad Urbanística	Entrelaza residuos de construcción, basuras (inferiores al 20%) y cantos y guijos angulares y anhedrales de areniscas cuarzosas de grano fino, con suelos areno-arcillosos y arcillo-arenosos, que fungen como matriz. Su color es pardo claro a oscuro, con manchas cafés y rojas, su humedad recorre los intervalos de baja a media, la consistencia permuta de media a muy firme, y su plasticidad varía de baja a alta.
3	Qdaus	Depósitos Antrópicos Urbanísticos Seleccionados	Conjuga las acumulaciones de material seleccionado, compactado al 90% del proctor modificado, pero cubiertas por una capa de asfalto por concreto en su parte superior y cuyo espesor no alcanza los 0.50m. La matriz es arenosa y las partículas mas gruesas son de tamaño grava media a gruesa, su humedad es baja a media. Sus evidencias son notorias a lo largo de las vías que enmarcan las 39 manzanas que conforman el área de estudio.
4	Qdab	Depósito Antrópico de Acumulación	Aglutina residuos orgánicos (basuras y raices) e inorgánicos (Vg. plásticos, vidrios, etc.) y cantos y gravas de areniscas de grano fino a medio, en una matriz arcillo-arenosa, limo-arenosa o arcillosa. Son matriz soportados. Su color, transita del café grisáceo al pardo oscuro. Su consistencia es media y su humedad llega a ser alta.
5	Qdam	Rellenos Antrópicos Generados por Minería	Acumulaciones traslocadas de fragmentos decimétricos y gravas de areniscas de grano fino, de color blanco o gris, y de formas subredondeadas y subangulares; y arcillas, arcillas-arenosas y eventualmente arenas, de colores pardo oscuro, marrón, gris claro y violáceo. Son mal gradados y matriz soportados, su humedad es media a alta, su compresibilidad y plasticidad son medias, y su consistencia trasiega de blanda a media. Su espesor supera los diez metros (10) metros.
6	Qfg	Depósitos Fluvioglaciares	Engloba fragmentos de diferente tamaño: cantos, guijos y bloques, de areniscas cuarzosas, blancas y bien cementadas, areniscas de grano fino y medio, bien litificadas y lodolitas silíceas, con formas subangulares a subredondeados, embebidos en matriz limo-arenosa, arcillosa-arenosa o arcillosa. Son matriz soportados; exhiben tonalidades amarillas y pardas claro con manchas rojizas y grises; su humedad y su plasticidad son medias, y su consistencia trasiega los niveles desde blanda hasta firme.
7	QTpb-sr	Suelos Residuales de las Lodolitas de la Formación Bogotá	Son arcillas y limos-arcillosos. Poseen plasticidad entre media y alta, su consistencia es media y eventualmente firme. Su humedad cambia de baja a alta. Albergan micas (muscovita), y algunos minerales ferrígenos asociados con la degradación de los feldespatos, de las plagioclasas y de los líticos. Sus espesores son irregulares y yacen parcialmente cubiertos por suelos fluvioglaciares.
8	Tpb-L	Formación Bogotá – Niveles de Lodolitas	Son arcillolitas y lodolitas de color rojo, con moteamientos y trazas de limos arcillosos amarillo ocre. Los cambios de coloración parecen no estar relacionados con los grados de alteración. Su plasticidad es baja y su humedad divaga entre baja y media. Su resistencia es blanda; y se exponen en capas gruesas, desde los 2m hasta los 10m.

La adquisición de los datos sísmicos se hace utilizando un sismógrafo marca Geometrics modelo GEODE con 12 canales y computador portátil externo, geófonos, cables y demás elementos. El equipo está dotado con un software de recepción de datos, control de calidad e interpretación. Ésta última se hace gracias el empleo del el paquete SEISIMAGER-SW, que se compone de varios programas de computador para aplicaciones específicas dentro del proceso de interpretación (Oyo Geophysics, 2005).

Los métodos interpretativos empleados para la línea de refracción sísmica son los conocidos como tiempos de retraso o “Delay Times” y Tomografía sísmica. Los resultados se develan en primera instancia como

modelos simples de refracción con sus correspondientes hojas de cálculo, en las que se incluyen las velocidades de corte, las densidades, la deformación volumétrica (k), la relación de poisson (γ) y los módulos elásticos, E, y de corte, Go; y en segundo lugar como tomografías. La *Figura 4.1* ilustra a continuación un esquema de la distribución y organización en campo para una línea de 12 geófonos.

FIGURA 4.1 ESQUEMA DE UNA LÍNEA SISMICA DE 12 GEÓFONOS



- Puntos de disparo (Shotpoints, SP): A,B,C,D,E
- Geófonos: 1,2,3, ... 12 .
- Geófono 1: abscisa 0
- Geófono 12: abscisa y=55 metros.
- W: Distancia entre el disparo lejano y el geófono 1.
- X: Distancia de separación entre geófonos. Para la línea de 55 metros es 5 metros.
- Y: Distancia total de la línea. De acuerdo a la separación entre los geófonos, igual a 55 metros.
- Z: Distancia entre el disparo lejano y el geófono 12.

De lo anterior se diferencian tres estratos, a saber:
Conjunto de estratos A: responde a velocidades compresionales de hasta 822 m/s (y velocidad de corte 335 m/s) y se correlaciona con rellenos antrópicos forjados por actividad minera o producto de la acumulación bien durante procesos urbanísticos o del vertido rutinario.

Conjunto de estratos B: encierra velocidades compresionales de hasta 1508 m/s (velocidad de corte 718 m/s); se correlaciona con los depósitos fluvioglaciares.

Conjunto basal C: involucra velocidades compresionales de hasta 3643 m/s (velocidad de corte 1735 m/s) está asociado con las arcillolitas y las lodolitas de la formación Bogotá.

Los arreglos, los modelos simples de refracción y las tomografías para las dos líneas de refracción sísmica y para los ensayos REMI reposan en el *Anexo D.1*

4.1.2.3 ENSAYOS DE CAMPO

El avance en los sondeos, particularmente en los horizontes dominantes de suelo, se llevó a cabo parcialmente mediante el ensayo de penetración estándar, SPT, éste se consideró adecuado dado el carácter heterogéneo de los depósitos encontrados, dominantemente matriz soportados y de carácter arcillosos y arcilloso-arenosos, y la premisa de que el muestreo inalterado en este tipo de materiales se dificulta, máxime por la generosa presencia de cantos y bloques y los erráticos y, por espacios delgadas alternancias (o apariciones) de la matriz. Asimismo, con el desarrollo del ensayo se consigue en simultáneo, muestras alteradas para clasificación, y para la deducción (o abstracción indirecta) de la resistencia del material a fe de constatar los contactos litológicos. El perfil y la variación de los ensayos de penetración (i.e. el SPT) para cada uno de los sondeos aparecen graficados en los registros de perforación, conjunto dispuesto en el *Anexo D.1*.

El ensayo se practicó con equipo mecánico y pesa de 140 lb, el número de golpes registrado en campo (N_{45}) es normalizado con el objeto de tener en cuenta el confinamiento del material y la relación de energía promedio aplicada, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$N_i' = C_N * N * \eta_1 * \eta_2 * \eta_3 * \eta_4 \qquad \text{Ec. 4.1}$$

En la que:

- N'_i : NÚMERO DE GOLPES CORREGIDO PARA UN DETERMINADO NIVEL DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA
- C_N : FACTOR DE AJUSTE PARA TENER EN CUENTA EL ESFUERZO GEOSTÁTICO, σ'_v. SE EVALUÓ CON BASE EN LAS PROPUESTAS DE PECK, SEED, MEYERHOFF-ISHIHARA, LIAO-WHITMAN, SKEMPTON, SEDD-ISDRISS, SCHMERTMANN Y GONZÁLEZ, CUIDANDO SIEMPRE QUE ESTE FACTOR NO RESULTARA MAYOR QUE 2. ESTOS VALORES POSTERIORMENTE SE PROMEDIARON
- η_1 : FACTOR DE CORRECCIÓN POR EFICIENCIA DE ENERGÍA TRANSMITIDA DEL MARTILLO AL VARILLAJE Y AL TOMAR MUESTRAS. SE OBTIENE COMO LA RELACIÓN ENTRE LAS EFICIENCIAS MEDIAS DE CADA PAÍS ASÍ, PARA JAPÓN LA EFICIENCIA ES DEL 72%, PARA USA DEL 60% Y PARA COLOMBIA DEL ORDEN DE 45%.
- η_2 : FACTOR DE CORRECCIÓN POR LONGITUD DEL VARILLAJE.
- η_3 : FACTOR DE CORRECCIÓN POR PRESENCIA DE REVESTIMIENTO. DEBIDO A QUE NO SE UTILIZÓ REVESTIMIENTO, EL FACTOR DE CORRECCIÓN ES 1.0.
- η_4 : FACTOR DE CORRECCIÓN POR DIÁMETRO DE LA PERFORACIÓN. LOS DIÁMETROS DE LAS PERFORACIONES FUERON INFERIORES A 12 CM, POR LO QUE EL FACTOR DE CORRECCIÓN ES 1.0

Con el fin de estimar los valores del ángulo de fricción equivalente, ϕ_{eq}, se promedian los resultados obtenidos de las siguientes expresiones (véase la *Tabla 4.3*):

TABLA 4.3 EXPRESIONES PARA CORRELACIONAR EL ÁNGULO DE FRICCIÓN A PARTIR DEL SPT

KISHIDA	$\phi = 15 + \sqrt{(20*N72)}$	EC. 4.2
JRB	$\phi = 15 + \sqrt{(15*N72)}$	EC 4.3
SHIOU & FUKUI	$\phi = 27 + 0.36 * N72$	EC. 4.4
JNR	$\phi = 27 + 0.30 * N72$	EC. 4.5

Adicionalmente, y con el ánimo de evaluar cualitativamente los resultados del ensayo de penetración, en la *Tabla 4.4* y en *Tabla 4.5* se reseñan algunos criterios propuestos por Terzaghi y Peck (1967), que relacionan la resistencia a la penetración con la compacidad relativa en arenas y con la consistencia en suelos finos, respectivamente. La valoración de estas propiedades en los materiales encontrados también se relaciona en la *Tabla 4.7*. Nótese que el relleno antrópico de actividad urbanística (Qdau) y los depósitos antrópicos generados por minería (Qdam) se caracterizan por consistencias medias a duras; el suelo residual de la formación Bogotá posee consistencia entre firme y dura, y la arcillolita se posiciona en dura.

Para terminar, se estiman los parámetros c' y ϕ' por tipo de material a partir de la propuesta de González, A.J. (1999) que consiste en graficar puntos (σ_v', τ) en planos Mohr-Coulomb, en los que los coeficientes de una regresión lineal representan los parámetros geomecánicos efectivos. El esfuerzo efectivo vertical se calcula como la diferencia entre el esfuerzo geostático total y la presión de poros y, el esfuerzo cortante a la profundidad del ensayo, se obtiene como el producto del esfuerzo efectivo vertical por la tangente del ángulo de fricción equivalente estimado antes.

TABLA 4.4 RELACIÓN ENTRE LA DENSIDAD RELATIVA Y LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN

RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN, N (GOLPES/PIE)	COMPACIDAD RELATIVA
0 – 4	MUY SUELTA
4 – 10	SUELTA
10 – 30	MEDIA
30 – 50	COMPACTA
>50	MUY COMPACTA

TABLA 4.5 RELACIÓN ENTRE LA CONSISTENCIA Y LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN

RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN, N (GOLPES/PIE)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (KG/CM^2)	CONSISTENCIA
<2	<0.25	MUY BLANDA
2 – 4	0.25 – 0.50	BLANDA
4 – 8	0.50 – 1.00	MEDIA
8 – 15	1.00 – 2.00	FIRME
15 – 30	2.00 – 4.00	MUY FIRME
>30	>4.00	DURA

Así, entonces, la ecuación de la envolvente de cada material se expone en la *Figura 4.2*, en la *Figura 4.3*, en la *Figura 4.4*, en la *Figura 4.5* y en la *Figura 4.6*, junto con los parámetros de resistencia, los que se resumen en la *Tabla 4.6*. Los grupos de materiales aparecen diferenciados por colores en ella y fueron obtenidos mediante la interpretación simultánea y retroalimentada de la información geológica (plano y secciones), de los registros de exploración del subsuelo y de las propiedades físicas y geomecánicas resultantes de este mismo proceso. Adicionalmente, el procedimiento descrito se puede constatar en la *Tabla 4.7* que incluye la normalización del ensayo (SPT). Ensamblaje que deja en evidencia la estrecha relación geomecánica entre los depósitos antrópicos, el Qdau y el Qdam, basta repasar sus parámetros de resistencia (véase la *Tabla 4.6*), al punto de describir la misma envolvente como lo ilustra la *Figura 4.7* y de abrir la posibilidad de tratarse como un solo material.

TABLA 4.6 RESUMEN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA EN CONDICIÓN DRENADA A PARTIR DEL SPT

NO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	γ (TON/M^3)	COHESIÓN (TON/M^2)	ϕ (°)
1	QDAU	RELLENOS ANTRÓPICOS DE ACTIVIDAD URBANÍSTICA	2,03	0,00	30.70
2	QDAM	DEPÓSITOS ANTRÓPICOS MINEROS	2,06	0,00	31,40
3	QFG	DEPÓSITO FLUVIOGLACIAL	2,10	0,05	30,4
4	QTPB-SR	SUELOS RESIDUALES DE LA FORMACIÓN BOGOTÁ	1,98	1,44	26,60
5	TPB-L	FORMACIÓN BOGOTÁ – LODOLITAS	2,06	0,00	44,0

FIGURA 4.2 ENVOLVENTE Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA PROMEDIO PARA EL MATERIAL QDAU

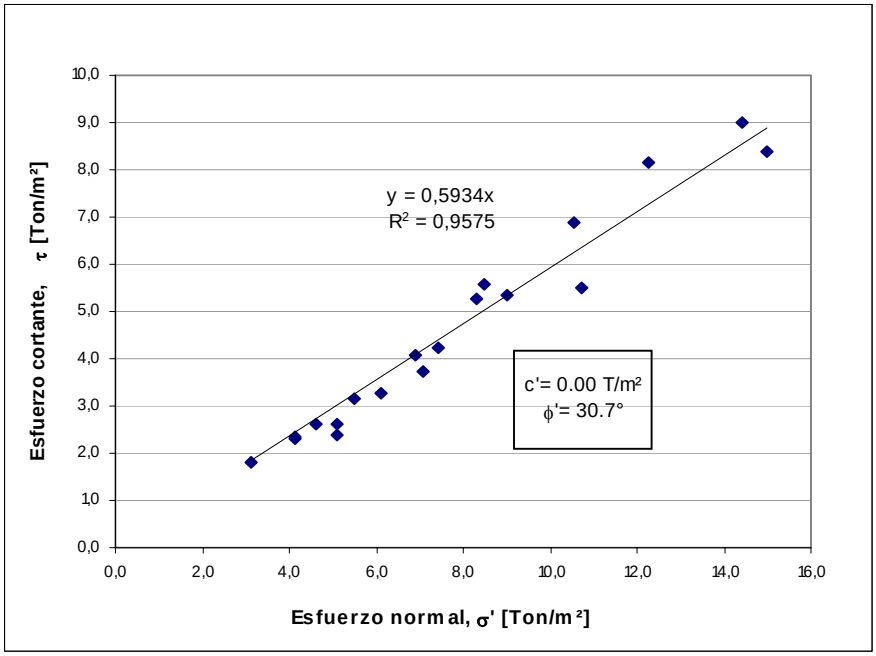


FIGURA 4.3 ENVOLVENTE Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA PROMEDIO PARA EL MATERIAL QDAM

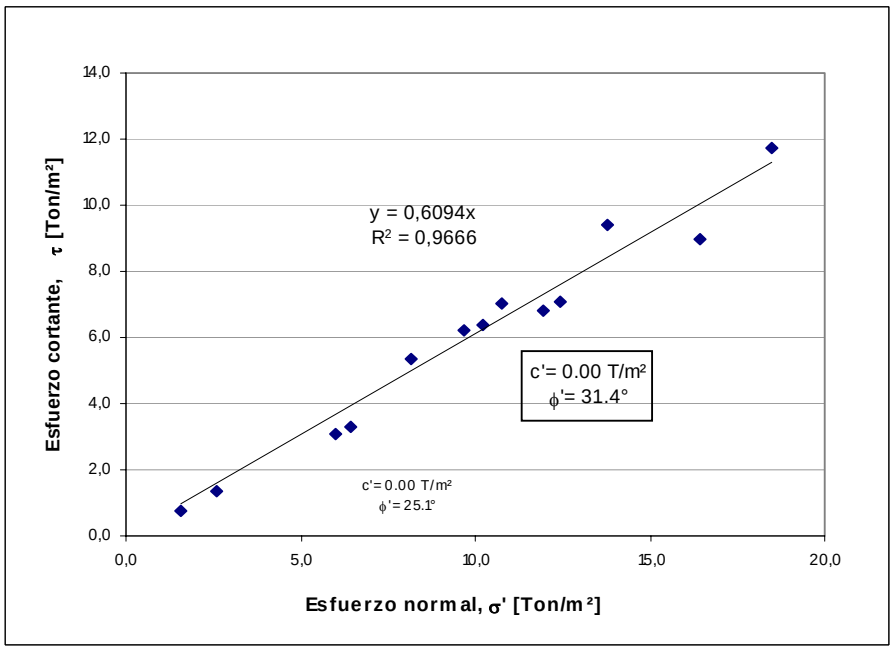


FIGURA 4.4 ENVOLVENTE Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA PROMEDIO PARA EL MATERIAL QFG

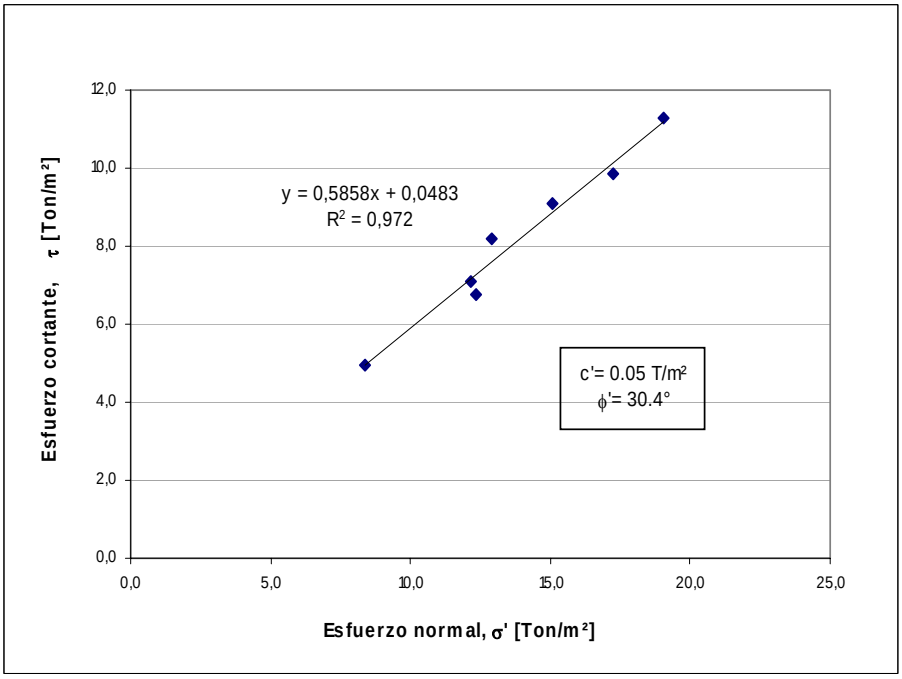


FIGURA 4.5 ENVOLVENTE Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA PROMEDIO PARA EL MATERIAL QTPB-SR

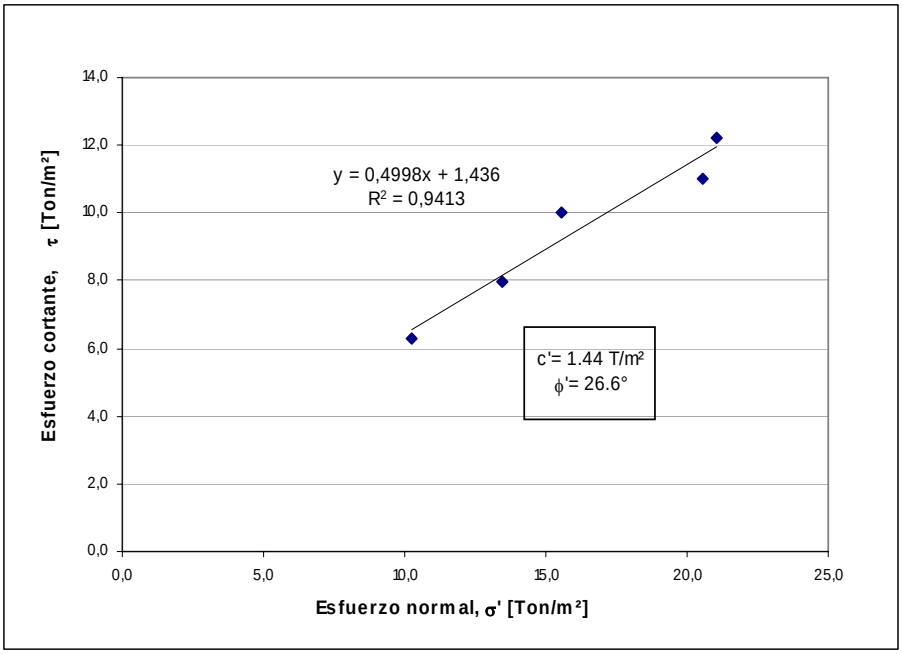


FIGURA 4.6 ENVOLVENTE Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA PROMEDIO PARA EL MATERIAL TPB-L

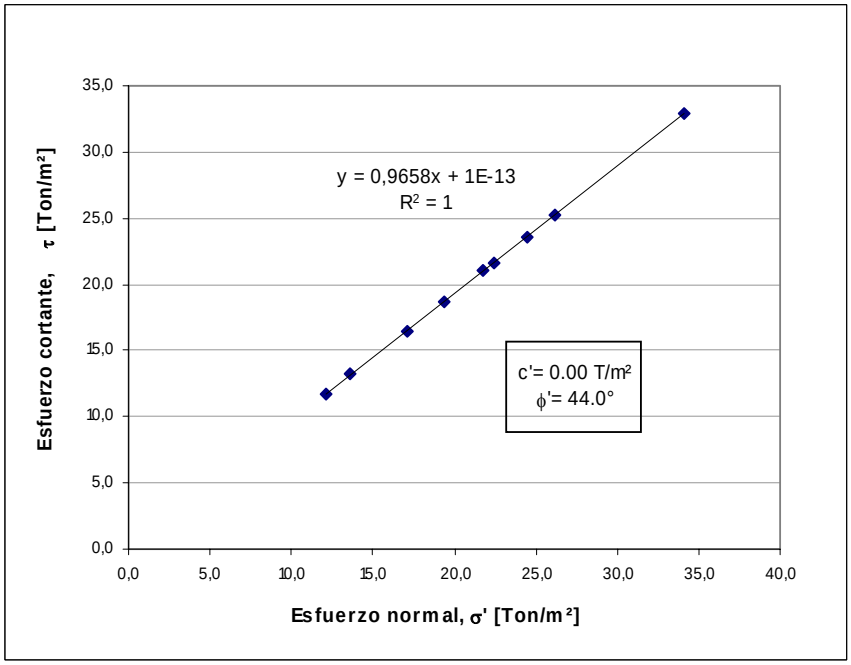


FIGURA 4.7 ENVOLVENTE Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA PROMEDIO PARA LOS MATERIALES QDAU Y QDAM

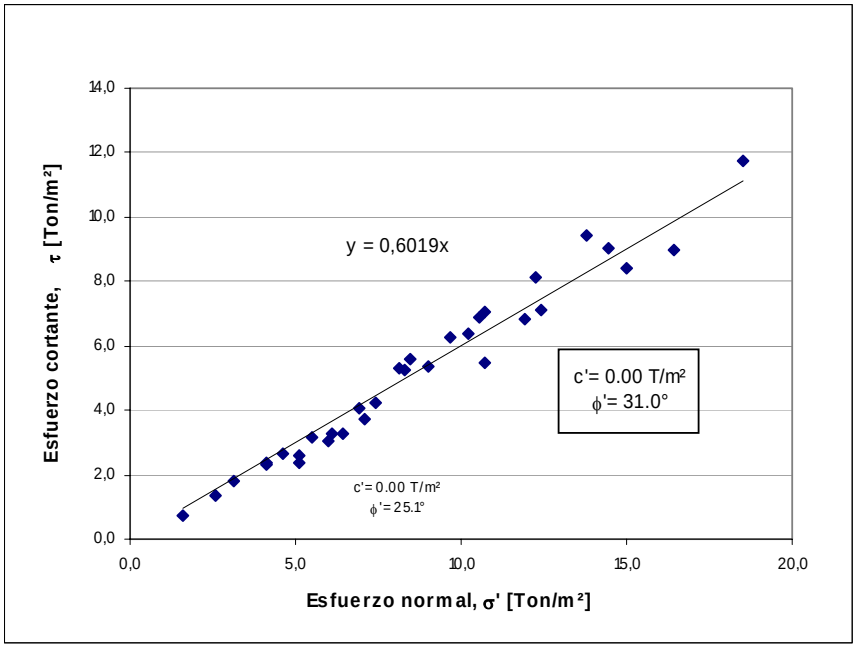


TABLA 4.7 NORMALIZACIÓN DEL SPT

Perf.	Muestra	Profundidad (m) de	a	Media	Golpes/pie 1	2	3	N_{45}	NF	Tipo	γ (Ton/m³)	σ_v (Ton/m²)	σ_v' (Ton/m²)	R_s
												7,80	**6,85**	
	5	3,75	4,20	3,975	12	6	7	13	2,8	2	2,08	8,27	7,09	0,71
	6	4,25	4,50	4,375	4		>50	>50	2,8	2	2,04	9,09	7,52	0,75
	8	5,45	5,90	5,675	17	14	10	24	2,8	2	2,15	11,87	9,00	0,90
	9	7,05	7,50	7,275	5	8	4	12	2,8	2	2,07	15,20	10,73	1,07
	11	8,55	9,00	8,775	8	8	9	17	2,8	6	2,08	18,32	12,35	1,23
	12	9,05	9,50	9,275	9	16	17	33	2,8	6	2,08	19,36	12,89	1,29
	14	11,05	11,50	11,275	16	4	24	28	2,8	6	2,09	23,54	15,06	1,51
1	16	12,95	13,40	13,175	15	9	15	24	2,8	6	2,16	27,63	17,25	1,73
	18	14,55	15,00	14,775	19	8	22	30	2,8	6	2,12	31,03	19,05	1,91
	20	16,05	16,50	16,275	9	8	12	20	2,8	7	1,97	34,02	20,54	2,05
	21	16,55	17,00	16,775	10	14	17	31	2,8	7	1,97	35,00	21,03	2,10
	23	17,90	18,35	18,125	19	25	30	>50	2,8	8	2,07	37,77	22,45	2,24
	25	19,80	20,22	20,010	18	28	>50	>50	2,8	8	2,05	41,64	24,43	2,44
	27	21,50	21,75	21,625	29		>50	>50	2,8	8	2,05	44,95	26,13	2,61
												1,12	**1,12**	
	1	0,55	1,00	0,775	2	3	2	5	4,3	5	2,03	1,57	1,57	0,16
	2	1,05	1,50	1,275	2	3	6	9	4,3	5	2,03	2,59	2,59	0,26
	4	2,65	3,10	2,875	4	6	5	11	4,3	5	2,14	5,99	5,99	0,60
	6	4,75	5,20	4,975	8	14	20	34	4,3	5	2,07	10,35	9,68	0,97
	7	5,25	5,70	5,475	16	15	17	32	4,3	5	2,06	11,38	10,21	1,02
	8	5,75	6,20	5,975	20	23	15	38	4,3	5	2,06	12,41	10,74	1,07
	9	7,05	7,50	7,275	8	10	11	21	4,3	5	1,90	14,92	11,94	1,19
	10	7,55	8,10	7,825	11	10	12	22	4,3	5	1,90	15,96	12,44	1,24
2	12	9,05	9,50	9,275	13	16	28	44	4,3	5	1,92	18,74	13,77	1,38
	13	9,55	10,00	9,775	19	32	30	>50	4,3	5	2,07	19,74	14,27	1,43
	15	11,55	12,00	11,775	8	9	11	20	4,3	5	2,07	23,88	16,41	1,64
	17	13,55	14,00	13,775	10	13	27	40	4,3	5	2,04	27,97	18,50	1,85
	19	15,55	15,80	15,675	20		>50	>50	4,3	5	2,17	32,06	20,69	2,07
	21	17,50	17,60	17,550			>50	>50	4,3	5	2,19	36,17	22,92	2,29
	23	19,55	19,80	19,675	22		>50	>50	4,3	5	2,19	40,82	25,45	2,54
	26	23,05	23,30	23,175	25		>50	>50	4,3	5	2,20	48,52	29,65	2,96
	29	27,00	27,07	27,035			>50	>50	4,3	8	2,16	56,86	34,13	3,41
												4,22	**4,22**	
	3	2,05	2,50	2,275	6	5	12	17	2,2	2	2,06	4,69	4,61	0,46
	4	2,55	3,00	2,775	7	6	4	10	2,2	2	1,97	5,69	5,12	0,51
	7	5,75	6,20	5,975	8	12	21	33	2,2	2	2,06	12,26	8,49	0,85
	8	7,75	8,20	7,975	12	15	18	33	2,2	2	2,02	16,31	10,54	1,05
	10	9,55	10,00	9,775	13	17	21	38	2,2	2	1,95	19,84	12,26	1,23
3	12	11,55	12,00	11,775	12	14	17	31	2,2	2	2,10	24,00	14,43	1,44
	13	12,05	12,50	12,275	11	15	6	21	2,2	2	2,10	25,05	14,98	1,50
	14	12,55	12,80	12,675	12		>50	>50	2,2	2	2,10	25,89	15,42	1,54
	16	14,05	14,45	14,250	13	18	>50	>50	2,2	7	2,05	29,13	17,08	1,71
	18	16,30	16,57	16,435	16		>50	>50	2,2	7	2,03	33,57	19,33	1,93
	20	18,35	18,60	18,475	25		>50	>50	2,2	8	2,19	38,02	21,74	2,17
												2,69	**2,69**	
	2	1,35	1,80	1,575	6	6	9	15	3	2	1,99	3,13	3,13	0,31
	3	1,85	2,30	2,075	16	6	11	17	3	2	1,99	4,13	4,13	0,41
	4	2,35	2,80	2,575	6	3	3	6	3	2	1,94	5,11	5,11	0,51
	6	3,75	4,20	3,975	14	10	13	23	3	2	1,98	7,87	6,90	0,69
4	7	4,25	4,70	4,475	8	11	7	18	3	2	2,06	8,89	7,41	0,74
	8	5,05	5,50	5,275	9	14	16	30	3	2	2,14	10,58	8,30	0,83
	10	6,75	7,15	6,950	10	18	>50	>50	3	2	2,07	14,06	10,11	1,01
	12	8,65	9,10	8,875	8	10	14	24	3	6	2,06	18,03	12,16	1,22
	14	10,35	10,80	10,575	10	12	13	25	3	8	1,73	21,05	13,47	1,35
	16	12,25	12,70	12,475	10	14	24	38	3	8	2,15	25,04	15,56	1,56
												2,58	**2,58**	
	3	1,40	1,45	1,425			>50	>50	3,8	5	1,84	2,62	2,62	0,26
	5	3,05	3,50	3,275	5	7	4	11	3,8	5	2,06	6,43	6,43	0,64
	6	4,05	4,50	4,275	10	16	17	33	3,8	5	2,22	8,61	8,14	0,81
5	8	6,05	6,50	6,275	8	9	17	26	3,8	7	2,05	12,75	10,27	1,03
	10	8,25	8,65	8,450	15	25	>50	>50	3,8	7	1,81	16,74	12,09	1,21
	12	10,00	10,27	10,135	25		>50	>50	3,8	8	1,94	19,98	13,65	1,36
												4,58	**4,58**	
	3	2,35	2,80	2,575	5	7	8	15	1,7	2	1,95	5,02	4,15	0,41
	4	3,55	4,00	3,775	7	11	8	19	1,7	2	2,18	7,59	5,51	0,55
	5	4,05	4,50	4,275	6	6	7	13	1,7	2	2,15	8,67	6,09	0,61
	7	6,05	6,50	6,275	16	8	12	20	1,7	6	2,14	12,95	8,37	0,84
	9	8,05	8,32	8,185	20		>50	>50	1,7	6	2,14	17,04	10,55	1,06
6	11	10,00	10,05	10,025			>50	>50	1,7	6	2,20	21,08	12,75	1,28
	13	11,50	11,72	11,610	22		>50	>50	1,7	6	2,20	24,56	14,65	1,47
	15	13,20	13,30	13,250			>50	>50	1,7	6	2,04	27,93	16,38	1,64
	17	15,00	15,27	15,135	26		>50	>50	1,7	6	2,02	31,74	18,30	1,83
	19	17,00	17,12	17,060			>50	>50	1,7	6	2,09	35,75	20,39	2,04

Perf.	Muestra	C_N Peck	Seed	Meyerhoff-Ishihara	Liao-Whitman	Skempton	Seed-Idriss	Schmertmann	González	C_N promedio	η_1 U.S.A.	Japón	η_2	η_3	η_4	$N_{normalizado}$ U.S.A.	Japón	$\phi_{equivalente}$ Kishida	Schmertmann	JRB	Shiou & Fukui	JNR	ϕ_{prom} (°)	Consistencia o Compacidad	Sondeo-Muestra	Consecutivo	σ_v' (Ton/m²)	γ (Ton/m³)
	5	1,115	1,186	1,206	1,187	1,170	1,210	1,321	1,149	1,193	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	8	7	26,83	31,84	25,25	29,52	29,10	28	Media	S-1 M-5	2	7,09	3,72
	6	1,095	1,155	1,171	1,153	1,142	1,175	1,276	1,124	1,161	0,75	0,63	0,85	1,00	1,00	50	50	46,62	49,18	42,39	45,00	42,00	44	Dura	S-1 M-6	2	7,52	7,26
	8	1,035	1,057	1,063	1,054	1,053	1,065	1,142	1,046	1,064	0,75	0,63	0,85	1,00	1,00	16	13	31,12	38,16	28,96	31,68	30,90	31	Firme	S-1 M-8	2	9,00	5,34
	9	0,977	0,962	0,959	0,965	0,965	0,972	1,016	0,969	0,973	0,75	0,63	0,95	1,00	1,00	8	6	25,95	31,84	24,49	29,16	28,80	27	Media	S-1 M-9	2	10,73	5,49
	11	0,930	0,886	0,879	0,900	0,895	0,916	0,922	0,908	0,904	0,75	0,63	0,95	1,00	1,00	10	9	28,42	33,82	26,62	30,24	29,70	29	Firme	S-1 M-11	6	12,35	6,77
	12	0,915	0,862	0,855	0,881	0,874	0,899	0,894	0,890	0,884	0,75	0,63	0,95	1,00	1,00	20	17	33,44	40,29	30,97	33,12	32,10	32	Muy Firme	S-1 M-12	6	12,89	8,18
	14	0,863	0,778	0,770	0,815	0,798	0,836	0,797	0,822	0,810	0,75	0,63	1,00	1,00	1,00	17	14	31,73	38,74	29,49	32,04	31,20	31	Firme	S-1 M-14	6	15,06	9,09
1	16	0,818	0,704	0,701	0,761	0,734	0,782	0,719	0,763	0,748	0,75	0,63	1,00	1,00	1,00	13	11	29,83	36,22	27,85	30,96	30,30	30	Firme	S-1 M-16	6	17,25	9,85
	18	0,785	0,650	0,652	0,724	0,688	0,742	0,665	0,720	0,703	0,75	0,63	1,00	1,00	1,00	15	13	31,12	37,55	28,96	31,68	30,90	31	Firme	S-1 M-18	6	19,05	11,30
	20	0,760	0,609	0,617	0,698	0,655	0,712	0,626	0,687	0,671	0,75	0,63	1,00	1,00	1,00	10	8	27,65	33,82	25,95	29,88	29,40	28	Media	S-1 M-20	7	20,54	11,02
	21	0,752	0,597	0,607	0,690	0,645	0,703	0,615	0,677	0,660	0,75	0,63	1,00	1,00	1,00	15	12	30,49	37,55	28,42	31,32	30,60	30	Firme	S-1 M-21	7	21,03	12,24
	23	0,730	0,561	0,577	0,667	0,616	0,677	0,583	0,649	0,633	0,75	0,63	1,00	1,00	1,00	50	50	46,62	49,18	42,39	45,00	42,00	44	Dura	S-1 M-23	8	22,45	21,68
	25	0,702	0,515	0,541	0,640	0,581	0,643	0,543	0,612	0,597	0,75	0,63	1,00	1,00	1,00	50	50	46,62	49,18	42,39	45,00	42,00	44	Dura	S-1 M-25	8	24,43	23,60
	27	0,679	0,479	0,513	0,619	0,554	0,616	0,514	0,583	0,570	0,75	0,63	1,00	1,00	1,00	50	50	46,62	49,18	42,39	45,00	42,00	44	Dura	S-1 M-27	8	26,13	25,23
		1,12	**1,12**																									
	1	1,617	2,000	1,983	2,000	1,728	2,000	2,000	1,803	1,891	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	5	4	23,94	27,89	22,75	28,44	28,20	26	Blanda	S-2 M-1	5	1,57	0,76
	2	1,451	1,734	1,773	1,966	1,589	1,828	2,000	1,587	1,741	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	8	7	26,83	31,84	25,25	29,52	29,10	28	Media	S-2 M-2	5	2,59	1,36
	4	1,171	1,278	1,309	1,292	1,251	1,314	1,454	1,223	1,287	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	7	6	25,95	30,68	24,49	29,16	28,80	27	Media	S-2 M-4	5	5,99	3,06
	6	1,011	1,018	1,019	1,017	1,017	1,020	1,089	1,014	1,026	0,75	0,63	0,85	1,00	1,00	22	18	33,97	41,21	31,43	33,48	32,40	33	Muy Firme	S-2 M-6	5	9,68	6,24
	7	0,993	0,989	0,988	0,990	0,990	0,992	1,051	0,991	0,998	0,75	0,63	0,85	1,00	1,00	20	16	32,89	40,29	30,49	32,76	31,80	32	Muy Firme	S-2 M-7	5	10,21	6,37
	8	0,976	0,961	0,958	0,965	0,964	0,972	1,016	0,969	0,973	0,75	0,63	0,85	1,00	1,00	23	19	34,49	41,64	31,88	33,84	32,70	33	Muy Firme	S-2 M-8	5	10,74	7,03
	9	0,941	0,904	0,897	0,915	0,911	0,929	0,944	0,923	0,920	0,75	0,63	0,95	1,00	1,00	13	11	29,83	36,22	27,85	30,96	30,30	30	Firme	S-2 M-9	5	11,94	6,82
	10	0,927	0,882	0,875	0,897	0,891	0,913	0,917	0,905	0,901	0,75	0,63	0,95	1,00	1,00	14	11	29,83	36,91	27,85	30,96	30,30	30	Firme	S-2 M-10	5	12,44	7,10
2	12	0,893	0,826	0,819	0,852	0,842	0,872	0,852	0,861	0,852	0,75	0,63	0,95	1,00	1,00	26	22	35,98	42,83	33,17	34,92	33,60	34	Muy Firme	S-2 M-12	5	13,77	9,43
	13	0,881	0,807	0,799	0,837	0,824	0,858	0,830	0,846	0,835	0,75	0,63	0,95	1,00	1,00	50	50	46,62	49,18	42,39	45,00	42,00	44	Dura	S-2 M-13	5	14,27	13,78
	15	0,835	0,731	0,726	0,781	0,757	0,802	0,747	0,785	0,771	0,75	0,63	1,00	1,00	1,00	11	9	28,42	34,68	26,62	30,24	29,70	29	Firme	S-2 M-15	5	16,41	9,00
	17	0,795	0,666	0,667	0,735	0,702	0,754	0,681	0,733	0,717	0,75	0,63	1,00	1,00	1,00	21	17	33,44	40,76	30,97	33,12	32,10	32	Muy Firme	S-2 M-17	5	18,50	11,74
	19	0,757	0,605	0,614	0,695	0,652	0,710	0,623	0,684	0,667	0,75	0,63	1,00	1,00	1,00	50	50	46,62	49,18	42,39	45,00	42,00	44	Dura	S-2 M-19	5	20,69	19,98
	21	0,723	0,550	0,568	0,661	0,608	0,669	0,573	0,640	0,624	0,75	0,63	1,00	1,00	1,00	50	50	46,62	49,18	42,39	45,00	42,00	44	Dura	S-2 M-21	5	22,92	22,13
	23	0,688	0,493	0,524	0,627	0,564	0,627	0,525	0,594	0,580	0,75	0,63	1,00	1,00	1,00	50	50	46,62	49,18	42,39	45,00	42,00	44	Dura	S-2 M-23	5	25,45	24,58
	26	0,637	0,410	0,464	0,581	0,504	0,566	0,462	0,528	0,519	0,75	0,63	1,00	1,00	1,00	50	50	46,62	49,18	42,39	45,00	42,00	44	Dura	S-2 M-26	5	29,65	28,63
	29	0,590	0,334	0,413	0,541	0,453	0,510	0,409	0,467	0,465	0,75	0,63	1,00	1,00	1,00	50	50	46,62	49,18	42,39	45,00	42,00	44	Dura	S-2 M-29	8	34,13	32,96
	3	1,258	1,420	1,464	1,473	1,369	1,474	1,661	1,336	1,432	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	13	11	29,83	36,22	27,85	30,96	30,30	30	Firme	S-3 M-3	2	4,61	2,63
	4	1,224	1,364	1,403	1,398	1,323	1,410	1,579	1,291	1,374	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	7	6	25,95	30,68	24,49	29,16	28,80	27	Media	S-3 M-4	2	5,12	2,62
	7	1,055	1,089	1,098	1,085	1,082	1,100	1,185	1,071	1,096	0,75	0,63	0,85	1,00	1,00	23	19	34,49	41,64	31,88	33,84	32,70	33	Muy Firme	S-3 M-7	2	8,49	5,56
	8	0,983	0,972	0,969	0,974	0,974	0,979	1,029	0,977	0,982	0,75	0,63	0,95	1,00	1,00	23	19	34,49	41,64	31,88	33,84	32,70	33	Muy Firme	S-3 M-8	2	10,54	6,90
	10	0,932	0,889	0,883	0,903	0,898	0,918	0,926	0,911	0,908	0,75	0,63	0,95	1,00	1,00	24	20	35,00	42,05	32,32	34,20	33,00	34	Muy Firme	S-3 M-10	2	12,26	8,16
3	12	0,878	0,801	0,793	0,832	0,819	0,853	0,823	0,841	0,830	0,75	0,63	1,00	1,00	1,00	19	16	32,89	39,80	30,49	32,76	31,80	32	Muy Firme	S-3 M-12	2	14,43	9,01
	13	0,865	0,781	0,773	0,817	0,801	0,839	0,800	0,825	0,813	0,75	0,63	1,00	1,00	1,00	12	10	29,14	35,48	27,25	30,60	30,00	29	Firme	S-3 M-13	2	14,98	8,39
	14	0,855	0,765	0,758	0,805	0,787	0,827	0,783	0,812	0,799	0,75	0,63	1,00	1,00	1,00	50	50	46,62	49,18	42,39	45,00	42,00	44	Dura	S-3 M-14	2	15,42	14,89
	16	0,821	0,709	0,706	0,765	0,739	0,786	0,724	0,768	0,752	0,75	0,63	1,00	1,00	1,00	50	50	46,62	49,18	42,39	45,00	42,00	44	Dura	S-3 M-16	7	17,08	16,49
	18	0,780	0,642	0,646	0,719	0,682	0,737	0,657	0,714	0,697	0,75	0,63	1,00	1,00	1,00	50	50	46,62	49,18	42,39	45,00	42,00	44	Dura	S-3 M-18	7	19,33	18,67
	20	0,741	0,578	0,592	0,678	0,630	0,690	0,598	0,663	0,646	0,75	0,63	1,00	1,00	1,00	50	50	46,62	49,18	42,39	45,00	42,00	44	Dura	S-3 M-20	8	21,74	21,00
	2	1,387	1,630	1,677	1,786	1,523	1,710	1,962	1,504	1,648	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	13	11	29,83	36,22	27,85	30,96	30,30	30	Firme	S-4 M-2	2	3,13	1,79
	3	1,295	1,480	1,528	1,556	1,416	1,542	1,749	1,384	1,494	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	14	11	29,83	36,91	27,85	30,96	30,30	30	Firme	S-4 M-3	2	4,13	2,36
	4	1,224	1,364	1,404	1,399	1,324	1,411	1,580	1,292	1,375	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	4	3	22,75	26,13	21,71	29,08	27,90	25	Blanda	S-4 M-4	2	5,11	2,39
	6	1,124	1,202	1,223	1,204	1,184	1,227	1,343	1,161	1,208	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	15	13	31,12	37,55	28,96	31,68	30,90	31	Firme	S-4 M-6	2	6,90	4,09
4	7	1,100	1,163	1,180	1,162	1,149	1,184	1,287	1,130	1,169	0,75	0,63	0,85	1,00	1,00	13	11	29,83	36,22	27,85	30,96	30,30	30	Firme	S-4 M-7	2	7,41	4,23
	8	1,062	1,101	1,111	1,097	1,093	1,114	1,201	1,081	1,107	0,75	0,63	0,85	1,00	1,00	21	17	33,44	40,76	30,97	33,12	32,10	32	Muy Firme	S-4 M-8	2	8,30	5,27
	10	0,996	0,994	0,993	0,994	0,994	0,996	1,058	0,995	1,003	0,75	0,63	0,95	1,00	1,00	50	50	46,62	49,18	42,39	45,00	42,00	44	Dura	S-4 M-10	2	10,11	9,77
	12	0,935	0,894	0,887	0,907	0,903	0,922	0,932	0,915	0,912	0,75	0,63	0,95	1,00	1,00	15	12	30,49	37,55	28,42	31,32	30,60	30	Firme	S-4 M-12	6	12,16	7,08
	14	0,901	0,838	0,830	0,862	0,852	0,881	0,866	0,871	0,863	0,75	0,63	1,00	1,00	1,00	16	13	31,12	38,16	28,96	31,68	30,90	31	Firme	S-4 M-14	8	13,47	7,99
	16	0,852	0,760	0,754	0,802	0,782	0,823	0,778	0,808	0,795	0,75	0,63	1,00	1,00	1,00	22	18	33,97	41,21	31,43	33,48	32,40	33	Muy Firme	S-4 M-16	8	15,56	10,04
	3	1,447	1,727	1,767	1,953	1,585	1,820	2,000	1,581	1,735	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	50	50	46,62	49,18	42,39	45,00	42,00	44	Dura	S-5 M-3	5	2,62	2,53
	5	1,148	1,240	1,266	1,247	1,217	1,271	1,398	1,192	1,247	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	7	6	25,95	30,68	24,49	29,16	28,80	27	Media	S-5 M-5	5	6,43	3,29
	6	1,069	1,112	1,123	1,109	1,103	1,126	1,216	1,090	1,118	0,75	0,63	0,85	1,00	1,00	23	19	34,49	41,64	31,88	33,84	32,70	33	Muy Firme	S-5 M-6	5	8,14	5,33
5	8	0,991	0,985	0,984	0,987	0,986	0,989	1,046	0,988	0,995	0,75	0,63	0,95	1,00	1,00	18	15	32,32	39,28	30,00	32,40	31,50	32	Firme	S-5 M-8	7	10,27	6,31
	10	0,937	0,897	0,890	0,909	0,905	0,924	0,935	0,918	0,915	0,75	0,63	0,95	1,00	1,00	50	50	46,62	49,18	42,39	45,00	42,00	44	Dura	S-5 M-10	7	12,09	11,68
	12	0,896	0,831	0,823	0,856	0,846	0,876	0,857	0,865	0,856	0,75	0,63	1,00	1,00	1,00	50	50	46,62	49,18	42,39	45,00	42,00	44	Dura	S-5 M-12	8	13,65	13,18
																										0		
	3	1,294	1,478	1,525	1,553	1,414	1,539	1,746	1,382	1,491	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	12	10	29,14	35,48	27,25	30,60	30,00	29	Firme	S-6 M-3	2	4,15	2,32
	4	1,199	1,324	1,359	1,347	1,289	1,365	1,520	1,259	1,333	0,75	0,63	0,75	1,00	1,00	11	9	29,83	36,91	27,85	30,96	30,30	30	Firme	S-6 M-4	2	5,51	3,15
	5	1,165	1,269	1,298	1,281	1,243	1,303	1,440	1,215	1,277	0,75	0,63	0,85	1,00	1,00	10	8	27,65	33,82	25,95	29,88	29,40	28	Media	S-6 M-5	2	6,09	3,27
	7	1,059	1,096	1,106	1,093	1,088	1,109	1,195	1,077	1,103	0,75	0,63	0,95	1,00

4.1.3 ENSAYOS DE LABORATORIO

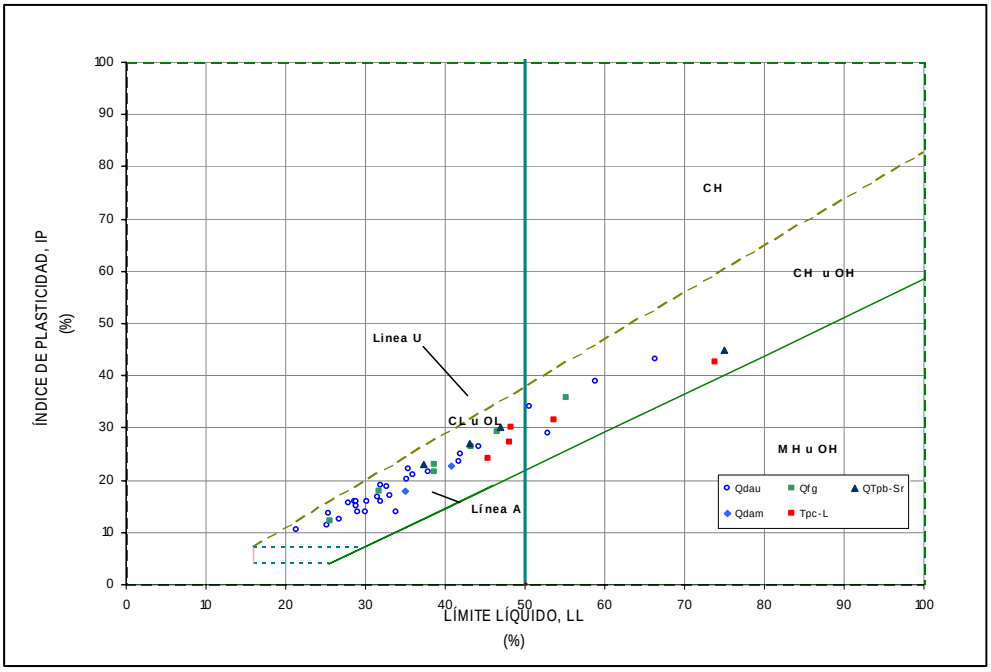
Para la obtención de las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de roca, de los rellenos antrópicos y de los suelos residuales, potenciales escenarios de movilización, se llevó a cabo un programa discreto de muestreo, en el que prevaleciese el barrido continuo, para la posterior caracterización en laboratorio de los especímenes extraídos: inalterados, tipo shelby (con diámetros entre 3 y 4 pulgadas y longitudes de hasta 0.35 m) y bloque (prismáticos e irregulares con aristas medias de 0.20 m y 0.40 m) y alterados split spoon. En la *Tabla 4.8* se discrimina la cantidad y el tipo de ensayos de clasificación y resistencia ejecutados y solicitados.

TABLA 4.8 RELACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ENSAYO			CANTIDAD (UN)
WN	:	CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL	70
LL Y LP.	:	LÍMITES DE CONSISTENCIA	47
GRANULOMETRÍA	:	GRANULOMETRÍA	24
PT200	:	PASA TAMIZ NO. 200	28
GS	:	GRAVEDAD ESPECÍFICA	6
γ_T	:	PESO UNITARIO TOTAL	68
γ_D	:	PESO UNITARIO SECO	68
	:	EXPANSIÓN LAMBE	3
CD	:	CORTE DIRECTO	13
$q_u(S)$	:	COMPRESIÓN INCONFINADA EN SUELO	12
$q_u(R)$	:	COMPRESIÓN INCONFINADA EN ROCA	7
CP	:	CARGA PUNTUAL	1
BD		BLOQUE DESLIZANTE	-

Se hizo especial hincapié en la toma de muestras en los paquetes arcillolíticos de la Formación Bogotá, con el propósito de establecer tanto las propiedades físicas como mecánicas de los materiales, y de los planos de discontinuidad (básicamente el de la estratificación), máxime si se considera que estos últimos pueden gobernar la estabilidad de la mayor parte de laderas. En cuanto al cuaternario reciente se le dio mayor importancia a los rellenos antrópicos mineros y de acumulación, y al depósito fluvioglaciar, puesto que presiden gran parte de las superficies libres y son los escenarios móviles, y por consiguiente los de mayor condición de amenaza. La selección de los testigos, buscó cotejar (o corroborar) la premisa sustancial de la prevalencia de un único escenario de llenos (por lo menos desde su respuesta geomecánica, es decir desde sus parámetros de resistencia), así como la caracterización de los suelos residuales (arcillosos en esencia) en el entendido que su respuesta geomecánica es homogénea e indiferente de su expresión geomorfológica hoy día. Supuesto validado por los parámetros efectivos: c', ø', obtenidos y por su consistente representación en la carta de plasticidad (*Figura 4.8*).

FIGURA 4.8 CARTA DE PLASTICIDAD PARA LOS MATERIALES DEL PROYECTO



Los cortes directos se llevaron a cabo en condición inundada, a los niveles de esfuerzo a los que estaban sometidas las unidades de suelo o roca en campo, y a muy baja velocidad a fe de simular estados drenados, es decir de manera tal que los coeficientes de resistencia se aproximen lo más posible a los efectivos. Las muestras de roca, por excelencia cilíndricas: la S-1 M-26; la S-2 M-30 y la S-3 M-19, fueron ensayadas precortadas de manera tal que el ensayo simulará el papel del plano de estratificación. Y algunos ejemplares (i.e. testigos) del cuaternario, particularmente de los depósitos mineros, Qdam, se escogieron o por su reblandecimiento o por su remoldeo a fe de dilucidar la respuesta esperada en estas condiciones, en otras palabras a fe de abstraer los parámetros de resistencia mínimos; estadios reinantes en las superficies de deslizamiento, hipótesis en medida alguna confirmada por IEH(1988) al afirmar: "Aun cuando en la aceleración del fenómeno, contribuyen indudablemente las aguas lluvias que son retenidas por la masa inestable, y más recientemente los vertimientos de agua de las casas del costado occidental de la Carrera 2 A, que por el movimiento de la zona en cuestión se han basculado en la misma dirección, se considera que tal contribución se manifiesta principalmente en el reblandecimiento y pérdida de resistencia de los materiales involucrados…"[sic].

Ante la dificultad de descifrar cabalmente las funciones de distribución, y por ende el promedio y la desviación estándar, de los parámetros de resistencia para cada material (y en particularmente para los depósitos fluvioglacial, Qfg, y minero, Qdam), elementos trascendentes para la evaluación de amenaza, se acopiaron los resultados de laboratorio de áreas circunvecinas, gracias a que los materiales constitutivos son comunes en todas, y de estudios previos. Su importancia recae en mejorar la información estadística. En este sentido se recurre a los trabajos de Geoingeniería (2000), HGA (2000), IEH (1988 y 1997), y GIA C. L (2009). Estos últimos son empleados en la determinación del espectro probable de los parámetros de resistencia; tema que se trata en el capítulo 6.

TABLA 4.9 RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

SONDEO	MUESTRA	TIPO DE MUESTRA	MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)			USCS	w_n (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IL	%G	%A	%F	γ_t (Ton/m³)	γ_d (Ton/m³)	Gs	$q_{u\ suelo}$ (Kg/cm²)	c' (Kg/cm²)	ϕ' (°)	c'residual (Kg/cm²)	ϕ residual (°)	EXPANSIÓN LAMBE	
				de	a	media																		Esfuerzo (Kg/cm²)	Estado
S1	1	SH	Qdau	1,00	1,20	1,10	CL	13,90	36,00	15,10	20,90	-0,06				2,13	1,87	2,64							
	2	SH	Qdau	2,00	2,30	2,15	CL	30,10	33,90	20,00	13,90	0,73				1,95	1,50		3,77						
	3	SH	Qdau	2,50	2,90	2,70	CH	21,70	52,90	23,90	29,00	-0,08				1,94	1,60		2,81	0,39	23,3			0,47	No Crítico
	5	SPT	Qdau	3,75	4,20	3,98	CL	19,10	30,20	14,30	15,90	0,30	4,40	35,40	60,20	2,08	1,75								
	6	SPT	Qdau	4,25	4,50	4,38		16,40								2,04	1,75								
	8	SPT	Qdau	5,45	5,90	5,68	CL	14,20	21,30	10,80	10,50	0,33				2,15	1,88								
	9	SPT	Qdau	7,05	7,50	7,28		21,10								2,07	1,71								
	11	SPT	Qfg	8,55	9,00	8,78	CL	25,40	31,80	13,90	17,90	0,64				2,08	1,66		1,08						
	12	SPT	Qfg	9,05	9,50	9,28							12,60	33,00	54,40										
	14	SPT	Qfg	11,05	11,50	11,28	SC o SM	15,10					30,60	34,60	34,80	2,09	1,82								
	16	SPT	Qfg	12,95	13,40	13,18		17,40					9,70	34,90	55,40	2,16	1,84		1,7						
	18	SPT	Qfg	14,55	15,00	14,78	CL	28,10	38,60	16,90	21,60	51,80	0,00	5,90	94,10	2,12	1,65								
	20	SPT	Qtpb-sr	16,05	16,5	16,275	CL	39,7	47	16,8	30,2	0,76				1,97	1,41		2,00						
	23	SPT	Tpb-L	17,90	18,35	18,13	CL	22,70	48,20	18,00	30,20	0,16				2,07	1,69								
	25	SPT	Tpb-L	19,80	20,22	20,01		24,00								2,05	1,65								
	26	NQ	Tpb-L	20,22	21,50	20,86		14,20								2,05	1,79			0,12	26,6				
S2	2	SPT	Qdam	1,05	1,50	1,28	SC	17,50	30,00	16,10	13,90	0,10				2,03	1,73								
	4	SPT	Qdam	2,65	3,10	2,88	CL	17,00	28,70	12,80	15,90	0,27	2,20	33,30	64,50	2,14	1,83								
	5	SH	Qdam	4,20	4,70	4,45	CL	22,20	41,70	18,20	23,50	0,17	1,80	17,60	80,60	2,07	1,70	2,64	3,21	0,42	30,2				
	7	SPT	Qdam	5,25	5,70	5,48	CL	27,20	41,90	16,90	25,00	0,41				2,06	1,62								
	10	SPT	Qdam	7,55	8,10	7,83	CH	26,70	66,30	23,10	43,20	0,08				1,90	1,50								
	11	SH	Qdam	8,50	8,90	8,70	CH	33,30	58,90	20,10	38,80	0,34				1,92	1,44	2,68	0,62	0,30	17,4				
	13	SPT	Qdam	9,55	10,00	9,78	CL	18,20	27,90	12,40	15,50	0,38	11,70	37,50	50,80	2,07	1,75								
	15	SPT	Qdam	11,55	12,00	11,78	CL	18,30	31,90	13,00	18,90	0,28				2,07	1,75								
	17	SPT	Qdam	13,55	14,00	13,78	CH	20,20	50,60	16,60	34,10	0,11				2,04	1,70								
	19	SPT	Qdam	15,55	15,80	15,68	SC	9,60	28,90	13,10	15,80	-0,22	19,10	35,40	45,50	2,17	1,98								
	21	SPT	Qdam	17,50	17,60	17,55		18,30								2,19	1,85								
	26	SPT	Qdam	23,05	23,30	23,18	CL	15,90	25,10	13,70	11,40	0,19	0,00	40,20	59,80	2,20	1,90								
	30	NQ	Tpb-L	27,07	28,50	27,79		3,10								2,16	2,09			0,17	27,2				
	31	NQ	Tpb-L	28,50	30,00	29,25		16,80								2,09	1,79								
S3	2	SH	Qdau	1,50	1,75	1,63		18,70								1,77	1,49			0,36	23,5	0,04	17,60		
																				0,05	17,7				
	3	SPT	Qdau	2,05	2,50	2,28		29,10								2,06	1,59								
	4	SPT	Qdau	2,55	3,00	2,78	SC	24,20					29,80	30,00	40,20	1,97	1,59								
	5	SH	Qdau	3,5	3,9	3,7	CL-OL	19,5	33	16	17	0,21				1,85	1,55	2,57		0,08	26,6				
																				0,06	24,0				
	7	SPT	Qdau	5,75	6,20	5,98	CL	23,30	32,60	13,90	18,70	0,50	0,00	24,10	75,90	2,06	1,67		2,72						
	8	SPT	Qdau	7,75	8,20	7,98	CL	17,90	31,60	14,90	16,70	0,18				2,02	1,71								
	10	SPT	Qdau	9,55	10,00	9,78	CL	25,20	35,40	13,30	22,10	0,54	0,00	10,50	89,50	1,95	1,56		3,25						
	12	SPT	Qdau	11,55	12,00	11,78	CL	26,70	44,20	17,90	26,30	0,33				2,10	1,66								
	14	SPT	Qdau	12,55	12,80	12,68		19,60																	
	16	SPT	Qtpb-sr	14,05	14,45	14,25		18,30								2,05	1,73								
	17	NQ	Qtpb-sr	14,45	16,30	15,38	CL	11,50	37,40	14,20	23,10	-0,12				2,03	1,82								
	19	NQ	Tpb-L	16,57	18,35	17,46	CL	14,30	48,00	20,70	27,30	-0,23				2,19	1,91			0,22	27,8				
	21	NQ	Tpb-L	18,60	20,00	19,30	CL	14,30	45,40	21,20	24,20	-0,29	0,90	6,70	92,30	2,14	1,88	2,74		0,37	23,6				

TABLA 4.10 RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO (CONTINUACIÓN)

SONDEO	MUESTRA	TIPO DE MUESTRA	MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)			USCS	w_n (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IL	%G	%A	%F	γ_t (Ton/m³)	γ_d (Ton/m³)	Gs	$q_{u\ suelo}$ (Kg/cm²)	c' (Kg/cm²)	ϕ' (°)	c'residual (Kg/cm²)	ϕ residual (°)	EXPANSIÓN LAMBE	
				de	a	media																		Esfuerzo (Kg/cm²)	Estado
S4	1	SH	Qdau	0,80	1,30	1,05	CL	17,40	35,10	15,00	20,10	0,12				2,11	1,79		1,53						
	2	SPT	Qdau	1,35	1,80	1,58																			
	3	SPT	Qdau	1,85	2,30	2,08		24,30								1,99	1,60								
	4	SPT	Qdau	2,35	2,80	2,58		22,00					32,90	35,20	31,90	1,94	1,59								
	5	SH	Qdau	3,50	3,70	3,60		17,90								2,08	1,77	2,63	2,01	0,32	28,0				
	6	SPT	Qdau	3,75	4,20	3,98		20,30					28,20	33,60	38,30	1,98	1,65								
	7	SPT	Qdau	4,25	4,70	4,48	CL	18,80	26,70	14,40	12,40	0,36				2,06	1,73								
	8	SPT	Qdau	5,05	5,50	5,28		16,00					38,90	26,10	35,00	2,14	1,84								
	9	NQ	Qdau	5,50	6,70	6,10																			
	10	SPT	Qdau	6,75	7,15	6,95	CL	24,10	28,80	13,70	15,10	0,69				2,07	1,67								
	11	NQ	Qfg	7,15	8,60	7,88																			
	12	SPT	Qfg	8,65	9,10	8,88	CH	27,80	55,10	19,40	35,80	0,24				2,06	1,61								
	13	NQ	Qfg	9,10	10,30	9,70																			
	14	SPT	Tpb-L	10,35	10,80	10,58		21,30								1,73	1,43								
	15	NQ	Tpb-L	10,80	12,20	11,50	CH	15,00	53,70	22,10	31,60	-0,22	2,70	23,50	73,80	2,15	1,87			0,18	23,2			2,54	Muy crítico
	16	SPT	Tpb-L	12,25	12,70	12,48																			
S5	1	SH	Qdam	0,70	1,00	0,85		21,50								2,00	1,65		0,9					0,07	No Crítica
	2	SH	Qdam	1,10	1,40	1,25	CL-OL	20,63	35,00	17,00	18,00	0,19				1,84	1,53			0,15	28,4				
																				0,26	19,7				
	3	SPT	Qdam	1,40	1,45	1,43																			
	4	NQ	Qdam	1,45	3,00	2,23																			
	5	SPT	Qdam	3,05	3,50	3,28	CL	23,60	40,70	17,90	22,70	0,25	3,60	16,10	80,30	2,06	1,67								
	6	SPT	Qdam	4,05	4,50	4,28		18,00								2,22	1,88								
	7	NQ	Qdam	4,50	6,00	5,25																			
	8	SPT	QTpb-sr	6,05	6,50	6,28	CL	21,30	43,00	16,20	26,90	0,19				2,05	1,69								
	9	NQ	QTpb-sr	6,50	8,20	7,35	CH-OH	33,05	75,00	31,00	45,00	0,05	5,60	37,70	56,70	1,81	1,36			0,36	23,5	0,12	17,90		
	10	SPT	QTpb-sr	8,25	8,65	8,45																			
	11	NQ	Tpb-L	8,65	10,00	9,33	CH	24,40	73,80	31,20	42,60	-0,16	0,00	28,70	71,30	1,94	1,56								
	12	SPT	Tpb-L	10,00	10,27	10,14																			
S6	1	SH	Qdau	1,00	1,40	1,20	CL-OL	18,13	32,00	16,00	16,00	0,11				1,92	1,63								
	2	SH	Qdau	2,00	2,30	2,15	CL-OL	21,50	29,00	15,00	14,00	0,44				1,95	1,60								
	3	SPT	Qdau	2,35	2,80	2,58																			
	4	SPT	Qdau	3,55	4,00	3,78	CL	15,60	37,80	16,10	21,60	-0,03	13,80	34,90	51,30	2,18	1,89								
	5	SPT	Qdau	4,05	4,50	4,28	CL	16,20	25,30	11,80	13,50	0,33				2,15	1,85								
	6	NQ	Qfg	4,80	6,00	5,40																			
	7	SPT	Qfg	6,05	6,50	6,28	SC	18,70	25,50	13,20	12,30	0,45	24,30	39,20	36,50	2,14	1,80								
	8	NQ	Qfg	6,50	8,00	7,25																			
	9	SPT	Qfg	8,05	8,32	8,19		13,29	NL	NP															
	10	NQ	Qfg	8,32	10,00	9,16																			
	11	SPT	Qfg	10,00	10,05	10,03																			
	12	NQ	Qfg	10,05	11,50	10,78																			
	13	SPT	Qfg	11,50	11,72	11,61	CL	18,50	38,60	15,70	22,90	0,12	6,30	39,10	54,60	2,20	1,86								
	14	NQ	Qfg	11,72	13,20	12,46																			
	15	SPT	Qfg	13,20	13,30	13,25		16,50								2,04	1,75								
	16	NQ	Qfg	13,30	15,00	14,15																			
	17	SPT	Qfg	15,00	15,27	15,14	CL	25,30	46,60	17,40	29,20	0,27				2,02	1,61								
	18	NQ	Qfg	15,27	17,00	16,14																			
	19	SPT	Qfg	17,00	17,12	17,06	CL	16,10	43,30	16,80	26,50	-0,03				2,09	1,80								

Las memorias de cálculo de los ensayos (geomecánicos) ordenadas por GIA C. L. se recopilan en el *Anexo D.2*, y los resultados de las pruebas de contenidos de humedad natural, límites de consistencia, pesos unitarios totales, tamizado, gravedad específica, compresión inconfinada, cortes directos, consolidación y expansión, entre otros, se sintetizan en la *Tabla 4.9* y en la *Tabla 4.10*. Y los ensayos de laboratorio ordenados por otros consultores, y que incluyen los de la formación Bogotá se compilan en el *Anexo D.3*.

4.2 CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA

4.2.1 SUELOS

En este capítulo se relacionan las principales propiedades físicas y mecánicas de los paquetes de menor consolidación diagenética, que entallan las laderas en las que tienen asiento los barrios San Luis, Granada Sur y Montebello, y que fueron detectados en los sondeos, en las trincheras, en los apiques y en la sísmica. En resumen se tienen los siguientes tipos de materiales

Material 1: Depósitos de deslizamientos Recientes (Qmd)
Material 2: Depósitos Antrópicos Urbanísticos Seleccionados (Qdaus)
Material 3: Rellenos Antrópicos de Actividad Urbanística (Qdau)
Material 4 Rellenos Antrópicos Mineros (Qdam)
Material 5: Depósitos Antrópicos de Acumulación (Qdab)
Material 6: Depósitos Fluvioglaciales (Qfg)
Material 7: Suelos Residuales Arcillosos ($Q_{Tpb\text{-}sr}$)

4.2.1.1 MATERIAL 1: DEPÓSITOS DE DESLIZAMIENTOS RECIENTES, QMD

Integran los cuerpos de los principales deslizamientos, v.g. el DT-001AA, el DT-002AA, el DT-003 AA, el DT-004AA, el DT-005AA y el DT-006AA (unidades diagramadas en el *Plano 5*). Residen y moldean los taludes al sur y sureste de la Urbanización San Luis. Son matriz soportados, mal gradados, arcillosos e idénticos en su composición y en sus propiedades índice al Qdam, pero difieren de él en los parámetros de resistencia, los que están más ligados a los residuales. Su espesor hoy día toca los pocos centímetros, aunque la masa movilizada máxima alcanzó los 2.00 metros, circunstancia que hizo inviable su muestreo; su color dominante es el pardo, pero encierra diversidad de matices (idealizados en vetas y manchas) negros, rojos, grises y violetas; su consistencia oscila entre media y muy firme, su compresibilidad es modalmente baja, su plasticidad muta de baja a alta, y se clasifican como CL, CH y eventualmente SC. Por su conexión genética con el Qdam, y ante la dificultad de investigarlos geotécnicamente, se adoptan las propiedades geomecánicas de éste como propias; en gracia de esta consideración sus propiedades se repasan en la *Tabla 4.12*.

4.2.1.2 MATERIAL 2: DEPÓSITOS ANTRÓPICOS URBANÍSTICOS SELECCIONADOS, QDAUS

Conjugan las acumulaciones de material seleccionado, compactado al 90% del proctor modificado, que dan vida a la estructura de pavimento (base y subbase) de la red vial en los barrios. Descansan en rampas de

hasta 11% de pendiente y sus mejores expresiones se marcan en la Transversal 2A, en las Calles 24A sur, 20A sur, 25 sur, 26 sur y 27 sur, y en las Carreras 5 y 6. Yacen cubiertos por una capa de concreto, neumático o asfáltico, y su espesor es inferior a los 0.60 m, pormenor que inhibió su investigación geotécnica. Son areno-gravosos, bien gradados, su humedad es baja a media, y su compacidad es densa. Su peso unitario es cercano a los 1.80 Ton/m^3 y sus coeficientes de resistencia pueden fijarse en: c'= 1 Ton/m^2 y ϕ'= 32º (datos asumidos). Carecen protagonismo en la gestación o desarrollo de los procesos de inestabilidad.

4.2.1.3 MATERIALES 3 Y 4: RELLENOS ANTRÓPICOS URBANÍSTICOS Y DE MINERÍA, QDAU Y QDAM

Aunque en textura, composición y genética son disímiles, pues responden bien a arcillas o arcillas-arenosas, de plasticidad y humedad entre baja y media, y de consistencia firme (pero con umbrales de muy firme), que entrelazan residuos sólidos de origen doméstico y urbanístico (ladrillos, basuras y escombros) y cantos subangulares de areniscas cuarzosas y lodolitas, provenientes de las construcciones aledañas y acopiados por vertido libre, si se trata del Qdau; o bien a fragmentos (i.e. cantos, bloques y gravas) de areniscas cuarzosas de grano fino, bien cementadas, lodolitas y ocasionales cerámicos (ladrillos, baldosines, vestigios de tubos, etc.) de tamaños cantos, bloques y gravas gruesas, embebidos en arcillas-arenosas o arcillas, pero con dominio de estas últimas de consistencia media y ocasionalmente firme, de entre baja y alta plasticidad, y de baja a media humedad, dispuestos y conformados mecánicamente para el cierre de los frentes de explotación, en lo que atañe al Qdam; su comportamiento geomecánico está gobernado por la matriz, similar en los dos tanto física como mecánicamente. En tal sentido y a fe de llevar a cabo la evaluación de estabilidad se tratarán en adelante como un solo material, rotulado indiferenciadamente como Qdam o Qdau.

Su espesor alcanza los 26.75 m en lo que se refiere al Qdam, tal como lo confirman las perforaciones: S-2, S-5, I-1 (tomada de IEH,1988) y P-2 (abstraída de IEH, 1997), el Remi-1, los apiques AP-1, AP-5, AP-6 y AP-7, y la trinchera T-3; o varía entre el metro y medio (deducido del sondaje PF-1, ejecutado por IEH,1988), y los trece (13) metros, si se trata del Qdau. Son junto con el Qfg y el QTpb-sr el universo de materiales de mayor susceptibilidad, y las fuentes de incubación de los procesos de inestabilidad pasados (los más importantes por su tamaño y actividad ocurridos en los años 1977 y 1991) y presentes, devenir morfodinámico que los marca como traslocados y hace que sus parámetros de resistencia tiendan a los residuales. En la *Tabla 4.11* y en la *Tabla 4.12* se compilan algunas de sus características geomecánicas.

4.2.1.4 MATERIAL 5: DEPÓSITOS ANTRÓPICOS DE ACUMULACIÓN, QDAB

Responden a las acumulaciones de roca (Vg. areniscas) de origen antrópico, hechas durante o posterior a las fases de explotación de las ladrilleras Están dispuestos en el borde noreste del cuadrángulo de estudio, en la vecindad a las manzanas 25 y 53, del barrio Granada Sur y de la Urbanización Villa Nataly, respectivamente, adosados a la base de las laderas. Debido a su disposición morfológica (diagramados en superficies con muy bajo ángulo de inclinación), y a su escasa participación espacial, poco o ningún papel juegan como forjadores de los procesos de remoción en masa, razón por la que no se caracterizaron física ni geomecánicamente.

4.2.1.5 MATERIAL 6: DEPÓSITOS FLUVIOGLACIALES, QFG

Son en su matriz arcillosos (CL o CH) o areno-arcillosos (SC o SM), y en su estructura reúne fragmentos líticos, con tamaños desde bloques métricos y decimétricos hasta gravas, de formas subangulares, subesféricas y tabulares de liditas y de areniscas cuarzosas, de grano fino a muy fino, blancas o amarillo claro, muy cementadas y de resistencia media a moderadamente dura.

TABLA 4.11 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 3: QDAU

PROPIEDAD		VALOR	CALIFICACIÓN
Clasificación (USCS)		CL, CH o SC	
Contenido de Humedad, w (%)		13.90 – 30.10	Bajo a Medio*
Límite Líquido, LL (%)		21.30 - 52.90	Medio a Alto*
Índice de Plasticidad, IP (%)		10.50 – 29.00	Bajo a Medio**
Gravedad Específica, Gs		2.57 – 2.64	
Peso Unitario Húmedo (Ton/m^3)		1.77 – 2.18	
Peso Unitario Seco (Ton/m^3)		1.49 – 1.89	
Granulometría	G (%)	0 – 38.90	
	A (%)	10.50 – 35.40	
	F (%)	31.90 – 89.50	
Resistencia a la Compresión Simple, q_u (Kg/cm^2)		1.53 – 3.77	Firme a Muy firme**
Esfuerzo de Expansión (Kg/cm^2)		0.47 (S1M3)	No crítico
Cohesión, c (Kg/cm^2)		0.00 (CD, S3M2) – 0.39 (CD, S1M3)	
Angulo de Fricción, ϕ (°)		14.00 (CD, S3M5) – 30.68 (CD, S3M2)	

*FUENTE: GÓMEZ N. JOSÉ (2008). "NOTAS DE CLASE". **FUENTE: SOWERS G. F. (1979), CITADO POR KULHAWY AND MAYNE (1990)

TABLA 4.12 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 4: QDAM

PROPIEDAD		VALOR	CALIFICACIÓN
Clasificación (USCS)		CH, CL, o SC	
Contenido de Humedad, w (%)		9.60 – 33.30	Bajo a Medio*
Límite Líquido, LL (%)		25.10 – 66.30	Bajo a Alto*
Índice de Plasticidad, IP (%)		11.40 - 43.20	Bajo a Alto**
Gravedad Específica, Gs		2.64 - 2.68	
Peso Unitario Húmedo (Ton/m^3)		1.84 – 2.22	
Peso Unitario Seco (Ton/m^3)		1.44 – 1.98	
Granulometría	G (%)	0 – 19.10	
	A (%)	16.10 – 40.20	
	F (%)	45.50 – 80.60	
Resistencia a la Compresión Simple, q_u (Kg/cm^2)		0.62 – 3.21	Media a Muy firme*
Esfuerzo de Expansión (Kg/cm^2)		0.07 (S5M1)	No crítico
Cohesión, c (Kg/cm^2)		0.00 (SPT) – 0.42 (CD, S2M5)	
Angulo de Fricción, ϕ (°)		17.40 (CD, S2M11) – 30.20 (CD, S2M5)	

*FUENTE: GÓMEZ N. JOSÉ (2008). "NOTAS DE CLASE". **FUENTE: SOWERS G. F. (1979), CITADO POR KULHAWY AND MAYNE (1990)

Ostentan humedad, plasticidad y compresibilidad entre baja y alta, y consistencia marcadamente firme. Exhiben colores pardo (10YR 676, 10YR 7/4) amarillo claro, amarillo ocre, y gris, con manchas de colores rojizo y con alto contenido de óxido de hierro. Son los transmisores hidrogeológicos por excelencia de las laderas, capacidad que sumada a las filtraciones de las redes de servicios, provocadas por la deformación de las masas de suelo redunda, por espacios, en el reblandecimiento de la matriz. Configuran la cubierta superficial de las laderas y fueron, gracias a las casuales concentraciones de la matriz (que los convertía en una fuente de arcilla), producto de la variación en los pulsos de depositación y por consiguiente de los cambios de energía, y a sus generosos espesores (del orden de los quince metros como lo confirman los sondeo S-1, S-3 y S-6,compilados en el *Anexo D.1*), la fuente principal de explotación durante las décadas de los 40, 50 y 60 del siglo pasado, pormenor que forjó las interrupciones en su continuidad y su reemplazo por espesos horizontes de llenos. Exponen como principales atributos mecánicos los señalados en la *Tabla 4.13*.

TABLA 4.13 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 6: QFG

PROPIEDAD		VALOR	CALIFICACIÓN
Clasificación (USCS)		CL, CH, SC o SM	
Contenido de Humedad, w (%)		13.29 – 28.10	Baja a Media*
Límite Líquido, LL (%)		25.50 – 55.10	Bajo a Alto*
Índice de Plasticidad, IP (%)		12.30 – 35.80	Bajo a Alto**
Peso Unitario Húmedo (Ton/m^3)		2.02 – 2.20	
Peso Unitario Seco (Ton/m^3)		1.61 – 1.86	
Granulometría	G (%)	0 – 30.60	
	A (%)	5.90 – 39.20	
	F (%)	34.80 – 94.10	
Resistencia a la Compresión Simple, q_u (Kg/cm^2)		1.08 – 1.70	Firme*
Cohesión, c (Kg/cm^2)		0.00 (IEH, 1987) – 0.04 (IEH,1987)	
Angulo de Fricción, ϕ (°)		10.75 (IEH, 1987) – 18.50 (IEH, 1987)	

*FUENTE: GÓMEZ N. JOSÉ (2008). "NOTAS DE CLASE". **FUENTE: SOWERS G. F. (1979), CITADO POR KULHAWY AND MAYNE (1990)

4.2.1.6 MATERIAL 7: SUELOS RESIDUALES ARCILLOSOS, QTPB-SR

Como su nombre lo precisa son suelos arcillosos, propios del horizonte IC y IIA de Deer y Patton (1971), que contienen fragmentos de roca del tamaño gravas, provenientes de la arcillolita. Subyacen a los depósitos fluvioglaciales y a los rellenos mineros, en capas desde los pocos centímetros y los tres metros, según se abstrae de los registros de perforación de los sondeos S-1, S-3, S-5 (véase el *Anexo D.1*). Exponen colores desde rojo hasta pardo con manchas habanas y grises. Tienen humedades desde bajas hasta altas; la plasticidad y la compresibilidad fluctúan entre media y alta, y la consistencia recorre los intervalos de muy firme y duro. Se clasifican como CL o CH (según la USCS, 1942) y gozan de grandes similitudes con la fracción fina del fluvioglacial, peculiaridad que hace difícil (y por momentos compleja) su diferenciación, máxime si hay ausencia de vestigios de la roca parental (es decir si se carece de rastros de los minerales constitutivos). En la *Tabla 4.14* se definen sus parámetros relevantes.

TABLA 4.14 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 7: QTPB-SR

PROPIEDAD		VALOR	CALIFICACIÓN
Clasificación (USCS)		CL o CH	
Contenido de Humedad, w (%)		11.50 – 39.70	Media*
Límite Líquido, LL (%)		37.40 – 75.00	Medio a Alto**
Índice de Plasticidad, IP (%)		23.10 – 45.00	Medio a Alto**
Peso Unitario Húmedo (Ton/m^3)		1.81 – 2.05	
Peso Unitario Seco (Ton/m^3)		1.36 – 1.82	
Granulometría	G (%)	5.60 (S5M9)	
	A (%)	37.70 (S5M9)	
	F (%)	56.70 (S5M9)	
Resistencia a la Compresión Simple, q_u (Kg/cm^2)		2.00 – 13.57	Muy firme a Dura**
Cohesión, c (Kg/cm^2)		0,144 (SPT) – 0.23 (CD, S5M9)	
Angulo de Fricción, ϕ (°)		14 (CD, S5M9) – 23.20 (CD-S4M15)	

*FUENTE: GÓMEZ N. JOSÉ (2008). "NOTAS DE CLASE". **FUENTE: SOWERS G. F. (1979), CITADO POR KULHAWY AND MAYNE (1990)

4.2.2 MACIZO ROCOSO

Está integrado por las unidades líticas de la Formación Bogotá, principalmente por los potentes paquetes de lodolitas diseminadas a lo largo y ancho de la vertiente algunas veces en superficie o próxima a ella (caso de las exposiciones en el centro Comercial el 20, y en la Urbanizaciones Portón Real y Padua) y otras veces a profundidades variables, pero siempre superiores a los diez metros. Sus espesores son inciertos pero se cree (premisa fijada por la interpretación de la refracción sísmica, véase el *Anexo D.1*) superan los veinte (20) metros. A continuación se reseñan las propiedades de las unidades de roca, de los planos de discontinuidad y del macizo rocoso.

4.2.2.1 MATERIAL ROCOSO: LODOLITAS DE LA FORMACIÓN BOGOTÁ, T_{PB-L} (MATERIAL 8)

En esta denominación se integran grandes horizontes de arcillolitas y lodolitas de colores rojizos, grises y pardos. Son de humedad media, aunque con umbrales mínimos de baja, y de resistencia muy blanda. Enmarcan la base de la columna estratigráfica y de los sondeos S-1 a S-5. Son elementos constitutivos de las laderas vertientes, y los cuerpos de mayor potencial de degradación, particularidad que facilita la profundización y el alargamiento de los deslizamientos; su ángulo de fricción básico bordea los veinticinco grados y su respuesta mecánica está regida por los planos de discontinuidad, especialmente por la estratificación. Carecen hoy día de participación en los procesos de inestabilidad, pero sirven de receptoras de parte de las superficies de deslizamiento.

A pesar de las diferencias constitutivas, sus propiedades mecánicas y algunas físicas como el color y el tipo de matriz, las hace parte de un mismo universo, salvo por sutiles cambios en el ángulo de fricción. La *Tabla 4.15* condensa algunas de las más importantes.

TABLA 4.15 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 8: TPB-L

PROPIEDAD		VALOR	CALIFICACIÓN
Clasificación (USCS)		CL, CH	
Contenido de Humedad, w (%)		3.10 – 24.40	Baja a Media*
Límite Líquido, LL (%)		45.40 – 73.80	Medio a Alto*
Índice de Plasticidad, IP (%)		24.20 – 42.60	Medio a Alto**
Gravedad Específica, Gs		2.74 (S3M21)	
Peso Unitario Húmedo (Ton/m^3)		1.73 – 2.19	
Peso Unitario Seco (Ton/m^3)		1.43 – 2.09	
Granulometría	G (%)	0 – 2.70	
	A (%)	6.70 – 28.70	
	F (%)	71.30 – 92.30	
Resistencia a la Compresión Simple, q_u (Kg/cm^2)		3.64 – 13.57	Muy Blanda***
Esfuerzo de Expansión (Kg/cm^2)		2.54 (S4M15)	Muy crítico
Cohesión, c (Kg/cm^2)		0.12 (CD, S1M26) – 0.37 (CD, S3M21)	
Angulo de Fricción, ϕ (°)		23.20 (CD, S4M15) – 27.80 (CD, S3M19)	

*FUENTE: GÓMEZ N. JOSÉ (2008). "NOTAS DE CLASE". **FUENTE: SOWERS G. F. (1979), CITADO POR KULHAWY AND MAYNE (1990).
*** FUENTE: ISRM (1981), CITADO POR GONZÁLEZ DE VALLEJO (2004).

4.2.2.2 DISCONTINUIDADES

Descripción Geométrica y física

Las discontinuidades fueron descritas a partir de la información obtenida de los afloramientos, y de las columnas estratigráficas (denominados aquí estaciones de levantamiento estructural) dentro y fuera del área de estudio, para dar cumplimiento a este objetivo se tomó como base los procedimientos sugeridos por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas, ISRM (1981). Las mediciones en campo alcanzan la decena de datos estructurales (orientación y buzamiento de estratificación y diaclasas) con una cobertura de una (01) estación en el ámbito local (i.e. en los barrios) y de ciento veinticinco (125) en el orbe general. El inventario de los datos obtenidos y las características de las discontinuidades asociadas con ellos, están compilados en el *Anexo C.2*.

De los registros es posible precisar la tendencia general de las familias de discontinuidad y concluir que las laderas vertientes (Granada y Montebello) pertenecen a una única región estructural o subdominio, constituido por cuatro familias de discontinuidades, incluida la estratificación, representadas por sus promedios así: E_1= 265/16, D_2= 220/84, D_3= 78/84, D_4= 210/26, D_5= 16/56, D_6= 250/86.

Los cambios de polaridad en la estratificación no son significativos. El azimut de buzamiento se enmarca en el dominio [260-325] y el buzamiento en ningún caso supera los 45 o es inferior a los 16, estos dos propios de registros aislados, uno de estos tomado en la Urbanización Buenavista Suroriental III Sector. Respuesta disímil recae en las familias de diaclasas, la dispersión es mayor al punto de tener una alta diseminación

estereográfica característica que da pie a suponer una clara influencia tectónica, hipótesis de ninguna manera demostrable, pero latente.

Las familias de discontinuidades exhiben espaciamientos (S) entre bastante próximas a separadas; persistencia (P) poco continua continuidad media, abertura de cerrada a ligeramente abierta; relleno indeterminado. La rugosidad de las paredes en términos descriptivos puede clasificarse, de acuerdo con la ISRM (1981), como tipo VII y VIII, es decir, plana-rugosa a plana-suave, con valores del JRC entre 2 y 6 si se trata de la estratificación, o v; ondulado rugoso (con JRCs entre 10 y 12) en lo que atañe a las diaclasas. Se caracterizan por estar secas. El *Anexo C.2* contiene las características de las familias de discontinuidades cuyo levantamiento fue posible en campo.

Características Geomecánicas

Al considerar que las características físicas son similares en todas las discontinuidades, se toman todos los ensayos de corte realizados para las muestras de roca (se reitera que las muestras fueron precortadas). En este sentido los parámetros de resistencia se fijan en el intervalo [0.12 Kg/cm^2 -0.37 Kg/cm^2] para la cohesión y en el dominio [17.9° - 27.8°] para el ángulo de fricción.

4.2.2.3 CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

Una vez caracterizados el material rocoso y las discontinuidades, se procedió a la clasificación del macizo rocoso. El cumplimiento de esta tarea se lleva a cabo con base en el Geological Stregth Index, GSI (Hoek, 1996). Sin embargo dada la directa correlación entre el Rock Mass Rating, RMR (Bieniawski, 1976) y el GSI, se planteó el primero como sistema de calibración. Los índices de compresión inconfinada y del espaciamiento son recapitulados de los ensayos de laboratorio y de la caracterización geométrica de las discontinuidades, el primero compilado en las *Tablas 4.9* y *4.10*, y el segundo ilustrado en el *Anexo C.2*. El RQD se estima bien de los registros de perforación (con valores entre el 21% y el 64%) de los afloramientos con base en correlaciones empíricas como la de Palmstrom, 1975 (en ISMR, 1981, citado por González de Vallejo L.I, 2004 y Salcedo A. D, 1996) y de González de Vallejo L.I (2004) y que versan, respectivamente, así:

$$RQD = 115 - 3.3Jv \quad \text{para } Jv > 4.5 \quad \text{Ec. 4.6}$$

$$RQD = 100 \quad \text{para } Jv \leq 4.5 \quad \text{Ec. 4.7}$$

En las que Jv: Índice de control volumétrico (No. De diaclasas/metro)

ó

$$RQD \approx 100e^{-0.1\lambda}(0.1\lambda+1) \quad \text{Ec. 4.8}$$

donde λ: Inverso del espaciamiento medio de diaclasas.

En la *Tabla 4.16*, se compilan los extremos de la calificación y clasificación del macizo para ambos sistemas y en la *Tabla 4.19* su distribución espacial y la zonificación del macizo rocoso. Así del ejercicio se desprende que el macizo posee índices de resistencia y RMRs en el dominio [35–50], lo que permite clasificarlo de pobre a regular.

TABLA 4.16 CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

Región estructural / Criterio de evaluación		Dominio I		Dominio I	
σ'_c (Kg/cm^2)	Valor	3,6	13,6	3,6	13,6
	Calificación/15	0	0	0	0
RQD (%)	Valor	21	64	21	64
	Calificación/20	3	13	3	13
S (m)	Valor	0,3	1	0,3	2
	Calificación/30	20	25	20	25
Estado de las Discontinuidades	Descripción	Espejo de falla o abertura < 5 mm. o aberturas menores en diaclasas continuas	Espejo de falla o abertura < 5 mm. o aberturas menores en diaclasas continuas	Medianamente rugosas, separación < 1 mm., la pared es débil	Medianamente rugosas, separación < 1 mm., la pared es débil
	Calificación/25	6	6	12	12
Agua	Descripción	Húmedo	Húmedo	Húmedo	Húmedo
	Calificación/10	0	0	0	0
RMR	Calificación/100	29	44	35	50
	Descripción	Macizo pobre	Macizo regular	Macizo pobre	Macizo regular
GSI		35	45	40	50

4.2.2.4 PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DEL MACIZO ROCOSO

Con base en la clasificación del macizo y las propiedades del material rocoso y de las discontinuidades, se establecieron las propiedades mecánicas del macizo con ayuda de la formulación propuesta por Hoek (1996). El método trata la masa como un material isotrópico, homogéneo y elástico (Salcedo, 1996) y utiliza como variables de entrada, el GSI, referido en el numeral 4.2.2.3 la resistencia a la compresión inconfinada (3.64 Kg/cm2 $\leq \sigma_c \leq$ 13.57 Kg/cm2), y una constante mi (equivalente a 9 si son intercalaciones de areniscas y arcillolitas), que depende de las propiedades del material rocoso.

A manera de ejemplo se presenta la deducción de los parámetros de resistencia en la *Tabla 4.17* y en la *Tabla 4.18*. Sin embargo, los parámetros geomecánicos así obtenidos son significativamente superiores a los del universo muestral. Resulta, entonces, más lógico asumir que la respuesta del macizo está gobernada por las discontinuidades y adoptar los parámetros de resistencia de ellas como propios del macizo. De esta forma, con miras en los análisis de estabilidad, los parámetros empleados son los consignados para los ambientes arcillosos citados en el numeral 4.2.2.2.

TABLA 4.17 PARÁMETROS DE RESISTENCIA DEL MACIZO ROCOSO

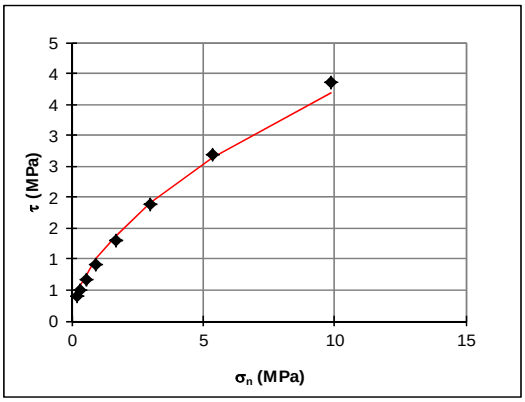
ENVOLVENTE DE RESISTENCIA DEL MACIZO ROCOSO

Datos:

GSI = 50 σ_{ci} (MPa) = 13,57 mi= 4 Material: Lodolitas

Resultados

m_b/m_i = 0,17
m_b = 0,671
s = 0,00387
a = 0,50
σ_t = -0,078
A = 1,0
B = 0,55
E = 3684



Ángulo de fricción y cohesión para diferentes esfuerzos normales :

σ_n = 0,2 MPa
τ = 0,33 MPa
ϕ = 49,8 Grados
c = 0,09 MPa

σ_n = 0,5 MPa
τ = 0,65 MPa
ϕ = 38,1 Grados
c = 0,25 MPa

σ_3	σ_1	$\delta\sigma_1 / \delta\sigma_3$	σ_n	$\sigma_n + \sigma_t$	τ	X	Y	XY	X^2	$\tau_{calculado}$
0,05	1,15	5,16	0,23	0,15	0,40	-0,82	-0,39	0,32	0,67	0,46
0,11	1,40	4,51	0,34	0,26	0,50	-0,58	-0,30	0,18	0,34	0,58
0,21	1,84	3,80	0,55	0,47	0,66	-0,33	-0,18	0,06	0,11	0,75
0,42	2,56	3,13	0,94	0,86	0,92	-0,06	-0,04	0,00	0,00	1,01
0,85	3,75	2,57	1,66	1,58	1,30	0,20	0,12	0,02	0,04	1,38
1,70	5,71	2,13	2,98	2,90	1,87	0,46	0,27	0,13	0,21	1,90
3,39	9,01	1,81	5,39	5,31	2,69	0,73	0,43	0,31	0,53	2,64
6,79	14,69	1,58	9,85	9,78	3,85	0,99	0,59	0,58	0,98	3,69
						Σ=	0,59	0,49	1,60	2,88

Adaptado de Hoek, 1994

4.3 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

Previo a los análisis de estabilidad y con el fin de facilitar la labor de asignación de la probabilidad de falla, se establecen zonas de comportamiento geotécnico similar tanto en la conformación como en la dinámica de las laderas, lo que se logra una vez sintetizada la información geológica, geomorfológica, y geotécnica. Los criterios de zonificación responde a: la forma, la génesis, la litología, la pendiente, la condición estructural, el estado del macizo rocoso (gracias al empleo del GSI) y las microcuencas.

TABLA 4.18 PARÁMETROS DE RESISTENCIA DEL MACIZO ROCOSO

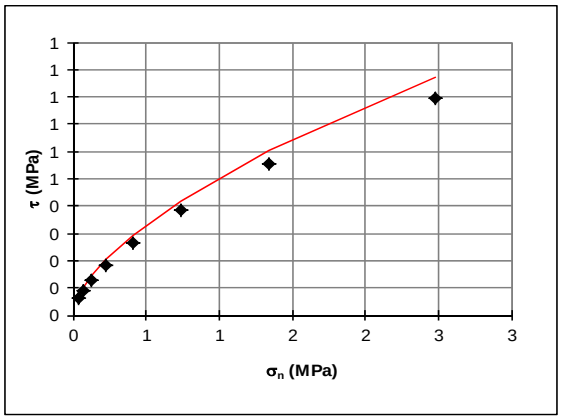
ENVOLVENTE DE RESISTENCIA DEL MACIZO ROCOSO

Datos:

GSI = 35 σ_{ci} (MPa) = 3,64 mi= 4 Material: Lodolitas

Resultados

m_b/m_i =	0,10
m_b =	0,393
s =	0,00073
a =	0,50
σ_t =	-0,007
A =	0,5
B =	0,60
E =	805



Ángulo de fricción y cohesión para diferentes esfuerzos normales :

σ_n =	0,2	MPa
τ =	0,19	MPa
ϕ =	29,9	Grados
c =	0,07	MPa
σ_n =	0,5	MPa
τ =	0,33	MPa
ϕ =	21,8	Grados
c =	0,13	MPa

σ_3	σ_1	$\delta\sigma_1 / \delta\sigma_3$	σ_n	$\sigma_n + \sigma_t$	τ	X	Y	XY	X^2	$\tau_{calculado}$
0,01	0,19	5,13	0,04	0,04	0,06	-1,45	-1,19	1,73	2,09	0,08
0,03	0,25	4,19	0,07	0,06	0,09	-1,19	-1,05	1,25	1,41	0,10
0,06	0,36	3,37	0,13	0,12	0,13	-0,92	-0,90	0,83	0,85	0,15
0,11	0,53	2,72	0,23	0,22	0,18	-0,66	-0,74	0,49	0,44	0,21
0,23	0,81	2,23	0,41	0,40	0,27	-0,40	-0,57	0,23	0,16	0,29
0,46	1,27	1,88	0,74	0,73	0,39	-0,14	-0,41	0,06	0,02	0,42
0,91	2,05	1,62	1,35	1,34	0,56	0,13	-0,26	-0,03	0,02	0,60
1,82	3,44	1,44	2,48	2,47	0,79	0,39	-0,10	-0,04	0,15	0,87
						Σ=	-4,23	-5,22	4,51	5,14

Adaptado de Hoek, 1994

Las cuatro primeras variables están contempladas en las unidades geomorfológicas, que condensan unidades de ladera con morfología, morfogenética, materiales y morfometría similares. La quinta y la sexta variables (condición estructural y estado del macizo rocoso) poseen poca incidencia debido al amplio dominio de los cuaternarios y a sus generosos espesores, y a que el comportamiento geométrico y mecánico de las familias de discontinuidades es homogéneo y los mecanismos de deslizamiento distan de estar gobernados o condicionados por ellas o por el macizo rocoso. Y la séptima variable, las microcuencas, discrimina y simplifica las direcciones de movilización, es junto con los cuatro primeros parámetros los discriminantes por esencia y los rectores de la zonificación. Bajo este marco, las unidades geomorfológicas sufrieron fraccionamientos o unificaciones de acuerdo con su respuesta geotécnica (incluida la dirección potencial de movilización), con su posición espacial, o con el material constitutivo de la cubierta superficial

(condicionamiento de especial importancia para los escenarios configurados en los rellenos antrópicos urbanísticos: Qdau). La codificación de las zonas conservó la nomenclatura de la unidad geomorfológica original, y se le añadió a cada subdivisión un identificador alfanumérico compuesto por un número romano y por uno arábigo: el primero (número romano o letras) reseña el subdominio estructural al que hace parte, y el segundo –arábigo ascendente- en consonancia con la ubicación geográfica, es decir con la microcuenca a la que pertenece, o con los cambios topográficos, v. gr. la unidad "Unidad de Laderas Denudacional con Intervención Moderada por Urbanización": LDIMU, se discretiza en LDMU -I-1 y LDMU-I-2, en la que cada una agrupa unidades con mecanismos de falla similar y están separadas espacialmente.

Mención particular merece la unidad "Taludes de Excavación Minera", DLIMT, que engloba dos subunidades: la DLIMT-I-1 y la DLIMT-I-2, claramente diferenciadas morfológica y morfodinámicamente y distanciadas geográficamente, y en las que ha tenido lugar no sólo la más intensa actividad denudacional sino las repercusiones físicas más relevantes, es decir el mayor número de daños en la urbanización San Luis y en el barrio Granada Sur; los cuerpos de deslizamiento (actuales y potenciales) se gestan y desarrollan en la cubierta de los llenos o en entre estos y el depósito fluvioglacial, indiferentemente del material subyacente, y el estado del macizo carece de repercusión alguna en la gestación de las masas inestables.

La conjunción de los elementos anteriores dio como resultado la división de las vertientes en veinte (20) zonas homogéneas, que fueron estudiadas por lo menos con una sección de análisis sí y sólo sí existiese la posibilidad de gestación de procesos de inestabilidad. En este sentido las subunidades DLIMU- I-1 y DLIMU-I-2, por sus bondades geométricas, traducidas en planicies con buzamientos inferiores a los tres grados, talladas en roca o cubiertas con delgados horizontes de lleno (inferiores a los tres metros), son abstraídas. La sinopsis del trabajo de zonificación se encuentra en la *Tabla 4.19* y en el *Plano 7*. Contienen para cada zona homogénea, la unidad y origen geomorfológico, la secuencia litológica, el patrón estructural, el GSI y el o los mecanismos de falla.

TABLA 4.19 ZONAS HOMOGÉNEAS

Símbolo de la Zona Homogénea	Unidad Geomorfológica	Morfología	Origen	Secuencia Litológica	Discontinuidades	Región Estructural	GSI	Mecanismo de Falla
LDIM-I-1 LDIM-I-2	LDIM	Ligeramente inclinada a Moderadamente empinada (Van Zuidam 1985) (4° - 22°)	Denudacional Atrópico	Qdaus Qdau Qdam Qfg QTpb-sr Tpb-L	E1=265/16 D2=220/84 D3=78/84 D4=210/26	I	35-45	Deslizamientos rotacionales y compuestos en rellenos y depósitos fluvioglaciales
DLIMU-I-1 DLIMU-I-2	DLIMU	Ligeramente inclinada a Moderadamente empinada. (Van Zuidam 1985) (3° - 13°)	Antrópico Denudacional	Qdaus Qdam QTpb-sr Tpb-L				-
DLIMT-I-1 DLIMT-I-2	DLIMT	Muy empinada. (Van Zuidam 1985) (23° - 49°)	Antrópico Denudacional	Qdau Qdam Qfg QTpb-sr Tpb-L				Deslizamientos rotacionales y compuestos en rellenos y depósitos flucioglaciales
LDIMU-I-1 LDIMU-I-2	LDIMU	Inclinada a moderadamente inclinada. (Van Zuidam 1985) (9° - 15°)	Denudacional Atrópico	Qdaus Qdau Qfg QTpb-sr Tpb-L				Deslizamientos rotacionales y compuestos en rellenos y depósitos flucioglaciales
LDIU-I-1 LDIU-I-2	LDIU	Inclinada a empinada. (Van Zuidam 1985) (7° - 29°)	Denudacional Atrópico	Qdaus Qdau Qdam Qfg QTpb-sr Tpb-L				Flujos de tierra, deslaves y deslizamientos rotacionales y compuestos en rellenos y depósitos fluvioglaciales.
LDCR-I-1	LDCR	Ligeramente inclinada. (Van Zuidam 1985) (2° - 3°)	Antrópico					Deslizamientos rotacionales y compuestos en rellenos antrópicos.
LDMI-I-2	LDMI	Inclinada a moderadamente empinada. (Van Zuidam 1985) (4° - 10°)	Denudacional Atrópico	Qdau Qfg QTpb-sr Tpb-L				

CAPÍTULO 5

HIDROLOGÍA, COBERTURA Y USOS DEL SUELO

CAPÍTULO 5

HIDROLOGÍA, COBERTURA Y USOS DEL SUELO

El agua es el factor más comúnmente asociado con la movilización de los taludes y de las laderas, debido a que la mayor parte de los deslizamientos ocurre después de lluvias fuertes o durante periodos lluviosos como consecuencia del aumento en las presiones de poros, de la reducción de la succión o del como reblandecimiento del material. El agua también produce alteración y cambios en la estructura de los materiales, erosión y pérdida de la cobertura vegetal, efectos precedentes o subsecuentes a los deslizamientos que subrayan la importancia de conocer el régimen temporal y espacial de la precipitación, su influencia como agente detonante o contribuyente de los fenómenos de remoción en masa, y de dilucidar la participación de la cobertura vegetal y del uso del suelo como condicionantes en las expresiones morfodinámicas.

5.1 ESTUDIOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS

5.1.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO

A fe de conocer el patrón de respuesta de la precipitación en la porción de la vertiente y de aportar elementos de juicio a la investigación de la relación predictiva lluvia-deslizamiento, se llevan a cabo las siguientes actividades:

- Consulta de la cartografía disponible en el IGAC.
- Consulta en el IDEAM y en el Acueducto de la información hidrológica de la subcuenca.
- Análisis hidrológico e hidráulico.

En el instituto Geográfico se obtuvieron las planchas L-29, L-30, L39 y L40 a escala 1:2000, que cubren las laderas vertientes receptoras de la zona en estudio; sobre las planchas se delimitaron las microcuencas, de las corrientes principales. La información cartográfica se complementó con visitas de campo y con el levantamiento topográfico. En la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogota EAAB-ESP y en el instituto de hidrología, meteorología y estudios ambientales (IDEAM), se recolectó la información hidrometeorológica.

5.1.2 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA REGIONAL

Con el objetivo de establecer el comportamiento climático en los barrios Granada Sur, Granada Sur III Sector,

Padua, Montebello y la urbanizaciones Villa Nataly y San Luis, se tomó la información del "Estudio de la Caracterización Climática de Bogotá y Cuenca Alta del Río Tunjuelo" elaborado por el IDEAM en el año 2007, en este estudio se seleccionaron 26 estaciones meteorológicas a lo largo y ancho de la sabana de Bogotá; para la localidad de San Cristóbal las estaciones incorporadas son: La Vitelma, Tipo CP (Climatológica Principal), y El Delirio, Tipo PG (Pluviográfica), operadas por EAAB-ESP, las características de las estaciones se delinean en la *Tabla 5.1*.

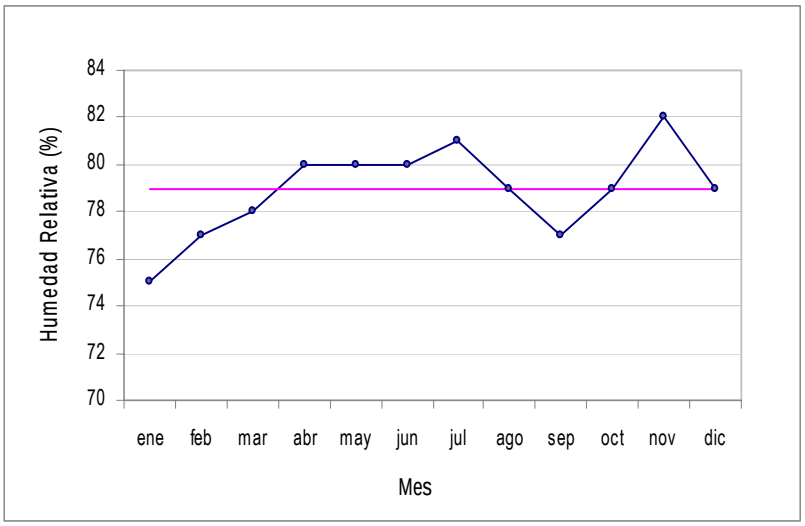
TABLA 5.1 ESTACIONES HIDROMETEREOLÓGICAS

ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	CATEGORIA	ELEVACIÓN	CÓDIGO
EL DELIRIO	04° 33' 9.7" N	74° 03' 33.4 W	PG	2946 MSNM	2120013
VITELMA	04° 34' 31.0" N	74° 04' 18.8 W	CP	2802 MSNM	2120524

5.1.2.1 HUMEDAD RELATIVA

El vapor de agua: humedad, es uno de los componentes de la atmósfera, que tiene relación estrecha con la estabilidad atmosférica, y por consiguiente con la ocurrencia y distribución de la precipitación.

FIGURA 5.1 HUMEDAD RELATIVA: ESTACIÓN VITELMA



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Su comportamiento temporal en Granada Sur y Montebello (designación de los barrios oficiales: UAPD, 2010) dibuja los más elevados valores medios durante en los meses de lluvias altas, i.e. en abril, en mayo, junio, julio y noviembre (si el escenario de trabajo se circunscribe al corredor oriental de los cerros, dominio descrito por la estación El Delirio), los menores ocurren en los meses relativamente secos o de bajas lluvias como son

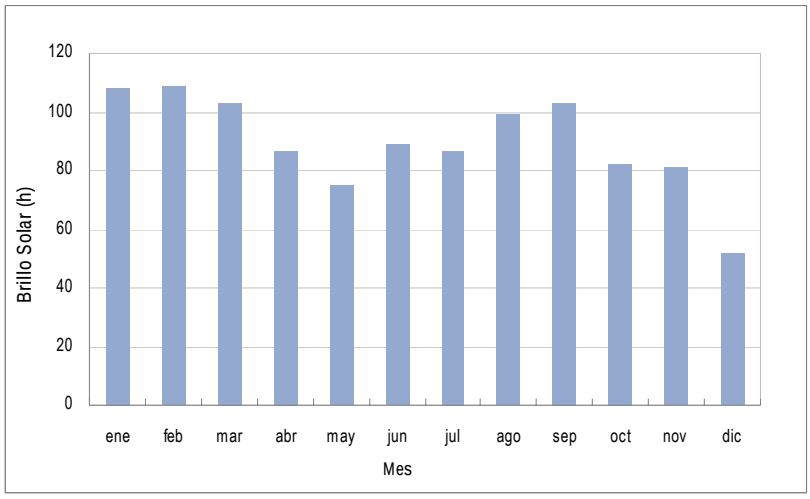
enero, febrero, marzo y septiembre. En los meses restantes la humedad se considera de transición (puesto que se conjugan de masas húmedas y secas), confirmación expresa en la *Figura 5.1*, construida gracias a los registros medios mensuales multianuales.

5.1.2.2 BRILLO SOLAR

La cantidad de insolación que se recibe es uno de los factores más importantes en la caracterización climática. Los valores de insolación o brillo solar están relacionados en forma inversa con otros elementos como la nubosidad y la precipitación, conclusión remarcada en la *Figura 5.2*.

El primer rasgo notorio en los barrios es el carácter bimodal no acentuado de la distribución temporal, carácter inversamente proporcional al de los periodos lluviosos. Los mayores valores tienen lugar en los meses de enero, febrero y marzo para el primer semestre del año, y en agosto y septiembre para el segundo semestre. En Bogotá, los más bajos valores de brillo solar, se ciñen a en la parte baja de los cerros orientales; la estación Vitelma registra el mínimo absoluto con 52 horas en el mes de diciembre, lo que indica tanto la influencia del relieve y como la mayor presencia de nubosidad.

FIGURA 5.2 BRILLO SOLAR: ESTACIÓN VITELMA



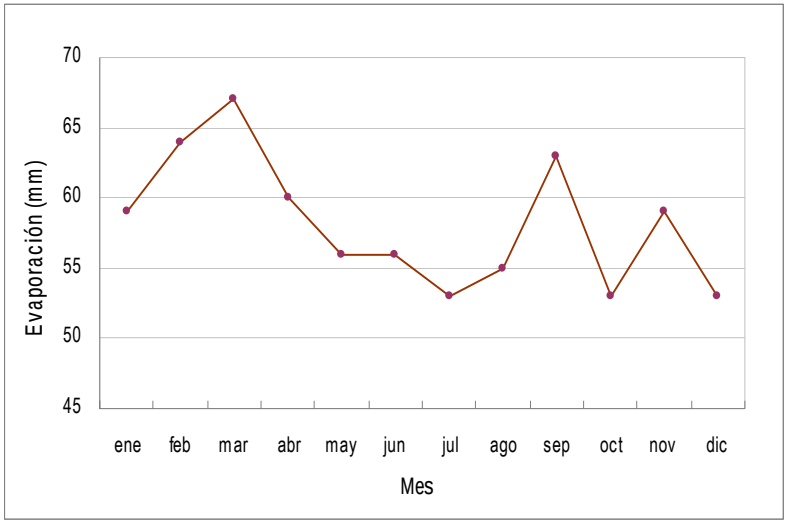
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

5.1.2.3 EVAPORACIÓN

La evaporación es un proceso físico por el que el agua líquida de una superficie húmeda o de agua libre, ingresa al aire en forma de vapor a una temperatura por debajo del punto de ebullición. Se define como la cantidad de agua perdida por unidad de superficie en unidad de tiempo, y se mide en milímetros (mm) de agua evaporada. Sus picos (máximos) a lo largo del año, en Granada Sur Y Montebello tienen lugar durante los meses de enero, febrero, marzo, en concordancia con los máximos de la radiación solar, y en relación

inversa con la precipitación y la humedad relativa. Los mínimos toman lugar en: abril, mayo, octubre y noviembre, considerados lluviosos y por tanto de menor evaporación (IDEAM, 2007). La *Figura 5.3*, transcribe el patrón descrito y enfatiza la importancia de la primera temporada de agua.

FIGURA 5.3 EVAPORACIÓN: ESTACIÓN VITELMA



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

5.1.2.4 PRECIPITACIÓN

La precipitación en los cerros orientales, espacio preferente que alberga a los barrios: Granada Sur y Montebello dibuja dos modelos claramente diferenciables; el primero cobija el cinturón alto del relieve, es monomodal, está condicionado por las lluvias de los llanos orientales y es transcrito por la estación El Delirio (*Figura 5.4*). El mes más lluvioso es julio, en el que los registros alcanzan hasta los 168 mm., y el periodo seco se extiende desde diciembre hasta febrero, aunque el valor histórico más bajo, es de 59 mm., es propio de enero.

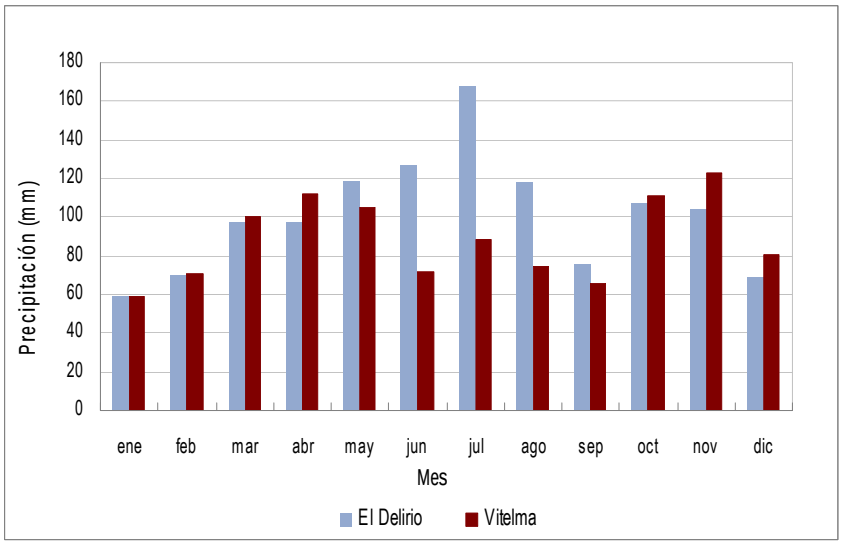
El segundo recorre la base de los cerros, es bimodal no acentuado, esta influenciado por la zona de confluencia intertropical y es reproducido por la estación Vitelma (véase la *Figura 5.4*). Los periodos lluviosos tienen lugar de marzo a mayo y de octubre a noviembre, con precipitaciones que oscilan desde los 105 m.m. hasta los 112 mm para el primer periodo y desde los 111 m.m. hasta los 123 mm para el segundo. La temporada seca más acentuada cobija a los meses de enero y febrero, y las lluvias medias se posicionan en 59 m.m. y 71 mm respectivamente.

5.1.2.5 PRECIPITACIONES DE CORTA DURACIÓN

La determinación de las características de la precipitación en el diseño de obras hidráulicas, parte de la utilización de una tormenta o evento extremo (descrita por la lluvia máxima en 24 horas), que involucre la

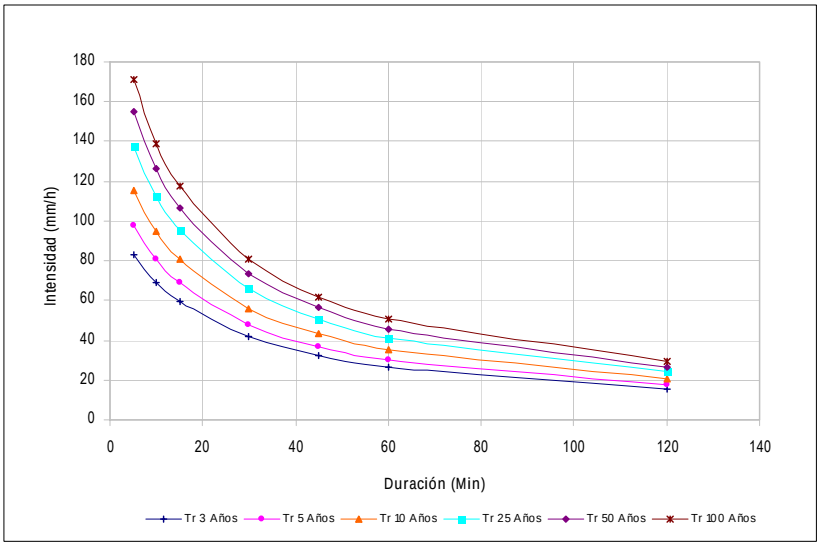
relación entre su intensidad, en un intervalo de tiempo, su duración y las frecuencias o periodos de retorno para la obra o el sitio. En ese sentido, las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) son representaciones de un evento máximo (definido acorde con el período de retorno) para un sitio o localidad; con ellas el diseñador, apoyado en criterios técnicos y económicos, establece las secciones hidráulicas para el control y manejo del drenaje.

FIGURA 5.4 PRECIPITACIÓN – ESTACIONES VITELMA Y EL DELIRIO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA 5.5 CURVAS GENERALIZADAS IDF ZONA 2



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Ahora bien, y a pesar de tener a disposición los registros de lluvias máximas en 24 horas, la curva generalizada IDF se abstrajo del Estudio "Análisis y Caracterización de Tormentas en la Sabana de Bogotá;"por la firma consultora Ingeniería y Recursos Hídricos Ltda. (1995) y de las procesadas por el Acueducto (2007), para la zona 2; estas últimas empleadas como contrastación. Decisión soportada en que una y otra son emitidas por la fuente oficial. En los documentos se divide la sabana de Bogotá en 7 zonas, y a cada una se le confiere una curva IDF; Granada Sur y Montebello hacen parte de la zona 2, lo que redunda en la curva característica transcrita en la ***Figura 5.5***.

5.1.2.6 DISTRIBUCIÓN MENSUAL DEL NÚMERO DE DÍAS CON LLUVIA

De acuerdo con el IDEAM (2007), en los cerros orientales, los meses con mayor número de días de lluvia son mayo, junio, julio y agosto (baste repasar la ***Figura 5.4***, estación El Delirio), todos con un promedio de 25 días, y los meses con el menor número de días pasados por agua son enero y febrero: su promedio es inferior a los 10 días.

5.1.2.7 PRECIPITACIÓN CRÍTICA – DURACIÓN

Para determinar la relación precipitación crítica – duración que disparan movimientos en masa, se utilizó el "Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Inestabilidad del Terreno para Varias Localidades de Santafé de Bogotá", autoría de la firma INGEOCIM Ltda. (1988), para la Unidad de Atención y Prevención de Desastres (UPES) de Santafé de Bogotá. El estudio a partir de la lluvia crítica y de su duración particiona a Bogotá en dos zonas:

La Suroccidental

$$Llcrit=0.3609*Llan$$

$$D=3.2829*LL_{CRIT}^{0.4157}$$

Y la de los Cerros Orientales

$$LI_{CRIT}=12.6326+0.1418*LI_{AN}$$

$$D=0.04923*LI_{CRIT}$$

en la que:

D = Duración en días
Llcrit = Lluvia crítica en mm
Llan = Lluvia anual en mm

La vertiente objeto de estudio hace parte de los cerros orientales, por lo tanto la precipitación crítica es de 200 mm y su duración es de 10 días. Debido a la importancia de estos dos parámetros para la evaluación de amenaza, serán retomados al interior del capítulo 6 (parte constitutiva del informe 3).

5.1.3 RELACIÓN LLUVIA – DESLIZAMIENTO

Los fenómenos de remoción en masa están asociados con los periodos lluviosos; la precipitación es uno de los factores detonantes de los deslizamientos. La intensidad y la duración de la precipitación, pertinentes para disparar un movimiento, dependen de las condiciones iniciales de humedad y de la posición del nivel freático; de la cabeza piezométrica estas variables guardan una estrecha relación con la precipitación precedente a que ha estado sometido el talud o la ladera.

El aumento de la humedad del suelo y la posición del nivel freático está influenciado por el factor antrópico. En el proceso de urbanización se elimina la cobertura vegetal y se propenden por el control, no siempre exitoso, del agua superficial y subterránea. Lo anterior repercute en que la erosión hídrica y la infiltración, dan lugar a la formación de frentes erosivos y fenómenos de remoción en masa en laderas intervenidas.

Uno de los procedimientos para encontrar la relación lluvia deslizamiento es: conocidas la frecuencia y las fechas de los eventos, se vinculan con la precipitación antecedente y se deducen las ecuaciones de regresión que describen, aproximadamente, la acción del agua en las superficies libres.

En los barrios se conocen reportes de actividad desde 1955 (IEH, 1988), y de daños en las viviendas desde el año 1986, los daños menores consistían en fisuras en muros y placas de piso, sin embargo para esta época no era claro el tamaño del área comprometida. Con el transcurrir del tiempo, las fisuras y el número de viviendas implicadas aumentaron paulatinamente. Hay tras varias décadas de evolución, de ocho de familias indemnizadas, y cerca de medio centenar de viviendas reasentadas (DPAE, 2011), las fechas de detonación y de reactivación son aún inciertas, y la deducción de la precipitación crítica y de la duración de la lluvia acumulada es improcedente y de compleja solución.

En este orden de ideas se optó por utilizar las ecuaciones de regresión generales para Bogotá, obtenidas por González y otros (1999), que vinculan la precipitación crítica con la precipitación media anual, y la duración de la lluvia acumulada en días con la precipitación critica, para obtener una relación preliminar de Lluvia – Deslizamiento.

Al aplicar el procedimiento referido en las estaciones seleccionadas se obtuvo:

- Estación Vitelma:

Precipitación crítica = 163.5 mm,
Duración = 8 días, y
Periodo de retorno aproximado Tr =30 años

- Estación El Delirio:

Precipitación crítica = 184.5 mm,
Duración = 9 días, y
Período de retorno aproximado Tr = 30 años

Los valores indican que la posibilidad de que ocurra un fenómeno de remoción en masa en la zona es latente si la precipitación acumulada es superior igual a los 163.5 mm en 8 días. Respuesta que es similar en el tiempo y en el espacio en las dos estaciones.

5.1.4 CONDICIONES NATURALES DEL DRENAJE

Hoy día, los barrios Granada Sur, Granada Sur III Sector, Padua, Villa Nataly, San Luis y Montebello carecen de corrientes superficiales permanentes. Los drenajes naturales: tres en total, uno discurría a lo largo de la calle 20 A sur, otro marcado al sur oriente de la manzana 53 (i.e. del barrio Villa Nataly) y otro tallado al noroeste del bloque 17 (en el espacio de san Miguel, Granada Sur) fueron borrados por el devastador paso de la actividad minera durante las décadas de los cincuenta y los sesenta. Los vestigios de los cuerpos de agua surcan al norte del predio, y el drenaje se compone de escorrentías superficiales.

5.1.5 CONDICIONES ARTIFICIALES DEL DRENAJE

Este numeral cubre el diagnóstico e investigación de las redes de acueducto y alcantarillado, agentes detonantes o contribuyentes de los fenómenos de remoción en masa. Las deficiencias en la construcción de las acometidas domiciliarias, las fugas, las conexiones erradas y la mala calidad de los materiales utilizados, pueden ser algunas de las razones que sopesan su papel como partícipe o activador. Estos elementos ligados al predominio de los llenos, cuerpos lábiles de agua, y al basamento rocoso trabajado en alternancia de arcillolitas y de areniscas favorecen la formación de procesos de inestabilidad.

El silencio institucional, hasta la fecha, marca el derrotero en el desarrollo de este numeral. Pese a los ingentes esfuerzos adelantados (entre los que se cuenta la solicitud directa del FOPAE, véase el *Anexo E*) para obtener los entramados de las redes principales y secundarias de acueducto y alcantarillado de la zona, y los registros de las emergencias en las que se hayan visto involucradas, aún se sigue a la espera de la entrega de esta información por parte del acueducto. Aún así, en lo que sigue, se plasma la perspectiva que ofrece la información recopilada en campo y los datos compilados de otras fuentes (FOPAE, 2011).

Sistema de Acueducto

La malla del acueducto, forjada en concreto, asbesto-cemento y PVC, diverge entre las 3” y las 24” de diámetro. Su tendido y construcción data de mediados de los años 70 y 80 (FOPAE, 2011), y aunque no se cuenta con información detallada de las emergencias que la hayan involucrado, es evidente la posibilidad de fugas y roturas: los ejemplos redundan en la actividad reseñada en el área. La disposición de la red es observable en el *Plano 6*.

Sistema de Aguas Residuales

El entramado oficial, que soporta al sistema de recolección de aguas negras de los barrios Granada Sur, Granada Sur III Sector, Padua, Villa Nataly, San Luis y Montebello está constituido por líneas talladas en gres y concreto con diámetros que varían entre las 8” y las 30”, y pozos de inspección tallados en ladrillo y en concreto. El *Plano 6* ilustra la distribución de la red.

Sistema de Aguas Lluvias

Está conformado por cunetas en concreto perimetrales a los corredores peatonales y vehiculares, que permiten el desagüe de las aguas de escorrentía; su entrega se lleva a cabo a través de sumideros y colectores en gres y concreto, que van desde las 12” hasta las 16” de diámetro. El sistema de recolección es

de tipo mixto, en su mayoría, la excepción la hace un tramo que conduce de manera exclusiva las aguas lluvias de la urbanización Padua.

Diseño de las Obras Propuestas

Cunetas

Son obras de canalización y evacuación rápida de la escorrentía superficial hacia los sumideros. Se proyectan para satisfacer una o varias de las siguientes finalidades:

- Recoger las aguas de escorrentía procedentes de la calzada y de la cuenca aferente.
- Recoger las agua filtradas en la base, sub-base y terrenos adyacentes a la vía.
- Controlar el nivel freático.

El diseño hidráulico de una cuneta involucra, como tareas básicas, determinar su sección transversal, su pendiente longitudinal, su tipo de material de revestimiento y sus puntos de desagüe. La velocidad en la cuneta debe controlarse en función del tipo de material, a fe de evitar por una parte que el material en suspensión entrelazado en la escorrentía superficial, se deposite en el fondo del canal y disminuya su capacidad hidráulica y por otra parte que produzca erosión.

Las dimensiones de la estructura se deducen a través de la fórmula de Manning, así::

$$Q = \frac{1}{n} \frac{A^{\frac{5}{3}} So^{\frac{1}{2}}}{P^{\frac{2}{3}}}$$

donde:

Q = Caudal en el canal.
n = Coeficiente de rugosidad de Manning que depende del tipo de revestimiento.
A = Área de la sección transversal perpendicular al flujo.
P = Perímetro mojado.
So = Pendiente longitudinal de la cuneta.

Acorde con el marco teórico expuesto se proponen en el caso de la vía Granada – San Luis, como valores de ingreso o frontera para las variables los siguientes:

Frecuencia (Tr):	10 años
Tiempo de concentración:	10 minutos
Intensidad máxima:	149.2 mm/h
Área aferente por 150 m de longitud vial:	0.088 km^2
Coeficiente de diseño:	0.12 m^3/s por cada 150 m
Pendiente longitudinal (mínima):	1%

De esta manera se obtiene, como lo refrenda la *Tabla 5.2*, que las velocidades esperadas en los canales divagan entre los 0.78 m/s y los 1.97 m/s, y las láminas de agua son inferiores a los 30 centímetros de alto.

Las velocidades del flujo son altas, especialmente para las pendientes de 7 y 11% en la sección triangular. Por tanto las mejoras en las especificaciones del suelo son tareas básicas, además se debe tener en cuenta: el mantenimiento en los canales, la limpieza; la unificación de la sección, y las reparaciones por deterioro estructural o por agotamiento de la vida útil. Hoy por hoy estas dos últimas labores brillan por su ausencia.

TABLA 5.2 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DE LAS CUNETAS EXISTENTES

SECCIÓN	DIMENSIÓN (M)	PENDIENTE (%)	PROFUNDIDAD (M)	VELOCIDAD (M/S)
TRIANGULAR	TALUDES 1/2:1 – 2:1	1	0.30	0.78
		5	0.23	1.42
		7	0.21	1.62
		11	0.19	1.97

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Estructura de Caída

Estas estructuras son canales (abiertos) con gradas o escalones que se construyen desde la corona hasta el pie del talud o la ladera. Se diseñan con el objetivo de conducir las aguas de escorrentía que llegan de cunetas o canales interceptores, y su buen funcionamiento depende de la correcta selección, combinación y ubicación de éstas. Adicionalmente esta estructura funciona como disipador de energía cinética del flujo por impacto con los escalones, llegando el agua al pie de la rápida con energía disipada, por lo que no se hace necesaria alguna estructura adicional (véase el *Anexo G.1*).

Para el diseño de la estructura de caída se deben seguir los siguientes pasos:

- Estimar el caudal de diseño.
- Evaluar la geometría del canal (pendiente, altura y ancho).
- Seleccionar la altura óptima del escalón, para obtener el régimen de flujo seleccionado.
- Calcular las características hidráulicas del flujo.
- Calcular el contenido de aire disuelto aguas abajo de la estructura.
- Diseñar la cresta de la rápida.
- Calcular la altura de las paredes del canal considerando un borde libre, para

Drenes Horizontales

Los drenes horizontales consisten de tubos de PVC, recubiertos con geotextil, ranurados o con agujeros circulares a determinadas distancias; estos tubos se introducen en perforaciones practicadas en el terreno con pendiente y longitud establecidas en el diseño.

5.2 COBERTURA Y USOS DEL SUELO

El levantamiento de la cobertura y uso del suelo puede definirse como el análisis y la clasificación de los diferentes componentes del medio en superficie y de los usos asociados que el hombre practica en un espacio determinado. La COBERTURA es un elemento integrante del paisaje y junto con la geoforma

constituyen su expresión visible, y el USO es el empleo que el hombre da a los diferentes tipos de cobertura, ya sea de forma cíclica o permanente, para satisfacer sus necesidades. Es evidente que las características del uso del suelo son el resultado de la interrelación entre los factores físicos o naturales y los factores culturales o humanos.

5.2.1 MÉTODO DE TRABAJO

Existen diferentes sistemas de clasificación, preparados con el fin de estudiar coberturas locales con objetivos particulares. La mayoría de los sistemas toman como punto de partida las nueve (9) clases del sistema de clasificación de la Unión Geográfica Internacional, cuyo propósito fue unificar criterios sobre los diversos usos del suelo.

En el presente estudio se utiliza el sistema de clasificación de uso y cobertura del suelo CIAF, éste sistema es análogo al propuesto por el ITC, pero se diferencia de él en que fija criterios de jerarquización de clases correspondientes a categorías menores de manera que sean congruentes con las escalas de trabajo (IGAC, 1992). El método establece una clara distinción entre los conceptos de uso y cobertura, y los clasifica en grupos diferentes de clases, puede ser ejecutado mediante la interpretación de imágenes de sensores remotos de diversas fuentes y escalas. La clasificación involucra cuatro niveles de jerarquización que van de lo general a lo detallado así:

- Nivel 1: Exploratorio
- Nivel 2: Reconocimiento
- Nivel 3: Semi-detalle
- Nivel 4: Detalle

Para cada uno de los niveles aplica la clasificación expuesta en la *Tabla 5.3*. Acorde con la escala de trabajo y con los requerimientos del estudio, el tratamiento de la cobertura y el uso es menester acometerlo desde el cuarto nivel exploratorio: de detalle.

5.2.2 CLASIFICACIÓN DEL USO Y COBERTURA DEL SUELO

La morfología natural en Granada Sur, Granada Sur III Sector, Padua, Villa Nataly, San Luis y Montebello ha sido alterada por la intervención del hombre; la explotación indiscriminada de fuentes de material, específicamente de arcillas, y el poblamiento de antiguas canteras retrollenadas y deficientemente reconformadas, transcriben los rasgos más relevantes de la configuración paisajística hoy día.

La cobertura, entendida como los atributos de la superficie del terreno, está integrada por cuatro componentes: bosques plantados (latifoliados y coníferos), parches de vegetación corta -rastrojo bajo-, tierras eriales, propias del suelo desnudo, de afloramientos rocosos y de procesos de inestabilidad, y obras humanas, estas últimas como elementos trascendentes. El uso es esencialmente urbano; calles vehiculares pavimentadas en concreto y asfalto, accesos peatonales, construcciones unifamiliares, multifamiliares (v.g. la urbanización Portón Real) y comerciales de todo tipo (panaderías, plazas de mercado, supermercados, licoreras, bancos, almacenes, etc.), asentadas desde hace cerca de cuarenta años, y zonas de recreación, diagramadas por canchas de juegos múltiples y espacios para juegos infantiles, dan el matiz dominante a la mayor parte de los barrios y los lotes baldíos con cobertura vegetal corta, no edificables, por ser parte de

masas inestables activas – avanzadas, dormidas y suspendidas, y rotuladas como zonas de alto riesgo no mitigable, (alerta emitida por el FOPAE), encarnan la llamativa muestra de la problemática en el sector.

El uso que se le da a la cobertura vegetal como recurso es nulo: no existen cultivos de pan coger o plantas medicinales, en su lugar la mayoría es de protección y conforma áreas deshabitadas. La cobertura vegetal está a cargo de pastizales, que se mantienen podados y en su mayor parte libres de basuras y desechos, con excepción de algunos casos aislados en lo que se asientan indigentes.

El Conflicto de uso, resultado de la diferencia entre el uso que el hombre da al medio natural y el que debería tener es patente e ineludible en Granada Sur y San Luis. Al punto que cerca de nueve hectáreas, que debieron conservarse bien para recreación pasiva o bien para recuperación, se destinaron a la formalización de la urbanización San Luis; el predio 11 de la manzana 06, los predios 08, 09, 10, 11, 18 y 19 de la manzana 07, y la manzana 60 del barrio Montebello; las manzanas 17 y 20 de Granada Sur los predios, y de las edificaciones ya reasentadas (01, 02, 03, 04, 05, 06 y 10 de la manzana 60, los predios 08, 12, 13, 14, 15, 16, 17 y 18 de la manzana 06, y los predios 12, 13, 14, 15, 16 y 17 de la manzana 07, en el barrio Montebello, el predio 11 de la manzana 44 en el barrio Granada Sur, y las viviendas demolidas de las manzanas 25 y 26 del barrio Granada Sur III Sector). A lo anterior se le suma el generoso tramado de redes de aguas blancas, negras y grises, deterioradas por las fuerzas de corte de los deslizamientos y que se suman como factores contribuyentes o detonantes de ellos al aumentar la cabeza de presión y al reblandecer los materiales. Componentes, al igual que la participación de las edificaciones, que se incorporan en la evaluación de la amenaza, o como cargas, o en los parámetros de resistencia de los materiales (i. e. en la cohesión y en el ángulo de fricción), o en la tabla de agua, o en el periodo de recurrencia de la lluvia crítica. Todo esto es consecuencia de diversas causas, entre las que sobresalen la desigualdad en la distribución de las tierras, el predominio de intereses particulares sobre intereses colectivos y el uso inadecuado y no racional del suelo.

TABLA 5.3 LEYENDA Y CLASIFICACIÓN DE USO Y COBERTURA DE LA TIERRA

1ER NIVEL EXPLORATORIO	2DO NIVEL EXPLORATORIO	3ER NIVEL EXPLORATORIO	4TO NIVEL EXPLORATORIO
I. CONSTRUCCIONES	A. URBANO	1.RESIDENCIAL	UNIFAMILIARES, MULTIFAMILIARES.
		2. INDUSTRIAL	TEXTIL, ALIMENTICIA.
		3.EDUCATIVOS	COLEGIOS, ESCUELAS, JARDINES INFANTILES, HOGARES DE ICBF, GUARDERÍAS.
		4. COMERCIAL	TIENDAS, ALMACENES (MUEBLES, ROPA, ZAPATOS), CENTROS COMERCIALES, FERRETERÍAS, PANADERÍAS, RESTAURANTES, VENTAS DE COMIDAS RÁPIDAS, FRUTERÍAS, DEPÓSITOS (BODEGAS), PLAZAS DE MERCADO, MARQUETERÍAS, MISCELÁNEAS, PAPELERÍAS.
		5.RECREATIVO	PARQUES, CANCHAS DEPORTIVAS, ÁREAS DE RECREACIÓN PASIVA.
		6. DOTACIONAL	SALONES COMUNALES, PUNTOS DE INTEGRACIÓN SOCIAL, IGLESIAS CRISTIANAS.
		7. SERVICIOS	SUCURSALES BANCARIAS, CENTROS DE SERVICIO AUTOMOTRIZ (TALLERES DE MECÁNICA, LATONERÍA Y PINTURA), PARQUEADEROS PÚBLICOS.
		8.TRANSPORTE COMUNICACIÓN, SERVICIOS PÚBLICOS	VÍAS, CENTRALES DE SERVICIOS PÚBLICOS, TORRES DE ENERGÍA, GAVIONES.
		9. PREDIO CON DIAGNÓSTICO	COMPILA LOS LUGARES EN LOS QUE SE HAN REGISTRADO EMERGENCIAS PROVOCADAS POR PROCESOS DE INESTABILIDAD. LOS CONCEPTOS TÉCNICOS SON EMITIDOS POR LA DPAE.
		10. ZONA DE ALTO RIESGO NO MITIGABLE	AGRUPA EDIFICACIONES, HOY DÍA, DEMOLIDAS QUE FUERON HABITADAS POR FAMILIAS QUE HAN SIDO REASENTADAS POR HABERSE ESTABLECIDO ESTA CONDICIÓN A LAS ÁREAS QUE OCUPABAN.
II. VEGETACIÓN HERBÁCEA	A. PASTIZALES	1. HERBÁCEOS	RASTROJO BAJO, Y PASTOS NATURALES Y SEMBRADOS.
		2. ARBUSTIVOS	MÚLTIPLES VARIEDADES DE ARBUSTOS ENTRE LOS QUE SE CUENTAN EL ESPINO Y ALGUNAS MIRTÁCEAS CUBREN ESTAS ZONAS.
	B. POTREROS O DEHESAS	1. NO IRRIGADOS	MEZCLA.
III. BOSQUES	A. PLANTADO	1. LATIFOLIADAS	URAPÁN, SANGREGADO, EUCALIPTO, ROMERÓN.
		2. CONÍFERAS	ESPECIES EXÓTICAS ENTRE LAS QUE SE CUENTAN EL CIPRÉS Y ALGUNAS VARIEDADES DE PINOS.
IV. TIERRAS ERIALES	A. SUELO DESNUDO	1. EROSIÓN PROVOCADA (EN CANTERAS ABANDONADAS)	SURCOS, CÁRCAVAS Y MOVIMIENTOS EN MASA.
		2. EROSIÓN NATURAL	MOVIMIENTOS EN MASA.

CAPÍTULO 6

EVALUACIÓN DE AMENAZA

CAPÍTULO 6

EVALUACIÓN DE AMENAZA

La primera etapa del análisis de estabilidad se enfoca al estudio direccional de los modos y posibilidades de deslizamiento de las masas activas y potenciales de deslizamiento, a la deducción de los parámetros de resistencia operativos en cada uno de los materiales, a la recreación de los mecanismos de falla, y a la determinación de la influencia de las superficies de discontinuidad en los mecanismos de movilización de los depósitos cuaternarios recientes (rellenos antrópicos), todo ello a partir de la aplicación del retroanalisis (González, 1989), del análisis paramétrico (Mora, 1993 y Larson, 1995), y de la revisión de los antecedentes.

En una segunda etapa se modelan con ayuda de los métodos de equilibrio límite, la respuesta seudoestática de los modos probables de movilización (según el tipo de material y su disposición estratigráfica) en los principales cuerpos del cuaternario, únicos escenarios potencialmente móviles, mediante deslizamientos rotacionales y trasnacionales; y se deduce a partir de los factores de seguridad el potencial de movilización (amenaza) de los diferentes horizontes no sólo para el estado actual sino futuro.

6.1 ANÁLISIS CINEMÁTICO

En este numeral se evalúa el papel de los planos de discontinuidad como catalizador o condicionante de las más amplias y espesas masas de lleno, estadios en los que el buzamiento de la unidad de análisis responde al del contacto suelo-roca (y la definición del talud, habida cuenta de las limitaciones cartográficas, se expresa ambiguamente en los cuerpos del cuaternario), contrastándolos con los posibles planos de movilización. La relación geométrica entre las discontinuidades, su ángulo de fricción básico –asumido en esencia igual para todos los planos, con valores entre 17° y 26º-, y la orientación de los cortes determina su posibilidad cinemática. En la *Tabla 6.1* se listan las características de los cortes estudiados, entre las que se citan: rumbo, pendiente, altura y subdominio estructural; mientras que su ubicación espacial se reseña en la *Figura 6.1*.

El resumen de las memorias del análisis cinemático (cobijado bajo el nombre de *Anexo E.1.A*), tanto para las familias de discontinuidades analizadas, como para el conjunto completo de mecanismos se condensa en la *Tabla 6.2*. En ella se evidencia que bajo las condiciones geométricas para los taludes, los que representan las superficies libres de movilización, y del patrón estructural reseñado en el *Capítulo 4*, *Numeral 4.2.2.2*, la movilización de los cuaternarios dista mucho de estar controlada o condicionada por el patrón estructural; los contactos suelo-roca, representados por las unidades de ladera: T7, T8, T10, T11 y T15 coartan cualquier predisposición cinemática; los planos de diaclasamiento en ningún caso son receptores o sirven de superficie

de reposo o de despegue de los cuerpos antrópicos; y la estratificación, aunque desfavorable, juega papel poco trascendente, su buzamiento es igual o superior al del contacto depósito-roca.

TABLA 6.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS TALUDES - ESTADO ACTUAL

LADERA		BUZAMIENTO (º)	ALTURA (m)	SUBDOMINIO
ID	ORIENTACIÓN*			
T1	N42W/14NE	14	3.5	I
T2	N48W/14NE	14	4.5	
T3	N80E/14NW	14	15.5	
T4	N77E/14NW	14	15.5	
T5	N71E/14NW	14	5.0	
T6	N41E/08NW	08	11.5	
T7	N53E/08NW	08	10.5	
T8	N67E/09NW	09	7.5	
T9	N84W/08NE	08	6.0	
T10	N58E/09NW	09	9.0	
T11	N58E/09NW	09	6.5	
T12	N61W/09NE	09	5.5	
T13	N87E/15NW	15	4.5	

* Orientación expresada en Rumbo / Buzamiento

TABLA 6.2 RESUMEN DEL ANÁLISIS CINEMÁTICO

LADERA		REGIÓN ESTRUCTURAL	FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES		POSIBILIDAD CINEMÁTICA		
ID	ORIENTACIÓN*		PLANOS**	CUÑAS**	PLANAR	CUÑA	VOLTEO
T 1	N42W/14NE	I	E1=265/16 D2=220/84 D3=78/84 D4=210/26 D5=16/56 D6=250/86	E1D2=309/12 E1D3=348/02 E1D4=264/16 E1D5=296/14 E1D6=340/04 D2D3=149/72 D2D4=131/05 D2D5=307/28 D2D6=198/84	N.A.	N.A.	N.A.
T 2	N48W/14NE				N.A.	N.A.	N.A.
T 3	N80E/14NW				N.A.	N.A.	N.A.
T 4	N77E/14NW				N.A.	N.A.	N.A.
T 5	N71E/14NW				N.A.	N.A.	N.A.
T 6	N41E/08NW				N.A.	N.A.	N.A.
T 7	N53E/08NW				N.A.	N.A.	N.A.
T 8	N67E/09NW				N.A.	N.A.	N.A.
T 9	N84W/08NE				N.A.	N.A.	N.A.
T 10	N58E/09NW				N.A.	N.A.	N.A.
T 11	N58E/09NW				N.A.	N.A.	N.A.
T 12	N61W/09NE				N.A.	N.A.	N.A.
T 13	N87E/15NW				N.A.	N.A.	N.A.

* Orientación expresada en Rumbo / Buzamiento
** Planos reportados en Azimut de Buzamiento / Buzamiento
N.A.: Sin posibilidad cinemática

FIGURA 6.1 ANÁLISIS CINEMÁTICO

ESTA FIGURA SE ENTREGA EN FÍSICO Y EN MEDIO MAGNÉTICO ADJUNTO

Este fenómeno tiene explicación por tres fundamentos básicos:

- Las laderas no son en su totalidad, direccionalmente, paralelas a las familias promedio de discontinuidades involucradas.
- El buzamiento del contacto depósito-roca es inferior a los de los planos estructurales desfavorablemente orientados, es decir los de rumbo paralelo al de las laderas.
- El ángulo de fricción básico de los planos estructurales es superior (o en el peor escenario igual) tanto al buzamiento de la mayoría de las superficies de movilización.

6.2 ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE ESTABILIDAD

6.2.1 HIPÓTESIS DE TRABAJO

Con este apartado se pretende más que obtener valores absolutos del factor de seguridad para condiciones unitemporales (base de los modelos determinísticos), es ilustrar el espectro de posibilidades para el que los cortes (o laderas) pueden mantenerse estables o fallar. El análisis de estabilidad alcanza, entonces, mayor representatividad cuando se expresa en términos de probabilidad de falla, que cuando reporta un factor de seguridad, el que no es sino el simbolismo numérico de uno de los múltiples eventos factibles; su objetivo principal es servir de insumo para la estimación de la probabilidad condicional de falla, mediante la evaluación del factor de seguridad F.S. como parámetro específico de estabilidad (Sánchez, 2.000). Pero la deducción de la probabilidad de falla implica conocer la distribución estadística del factor de seguridad (González, 2.001), específicamente la de sus dos primeros momentos: μ_{FS} y σ_{FS}, i.e el promedio y la desviación estándar.

La solución a la relación predictiva entre estas dos variables (Pf y Fs) y la obtención de ellas, se plantea aquí con el empleo de métodos aproximados, es decir, gracias al soporte de los lineamientos metodológicos de los Estimativos Puntuales, PEM (Rosenblueth, 1.975 y Harr, 1.987). El PEM evalúa la función de interés en puntos estratégicos (extremos), conocidas las distribuciones estadísticas de los n parámetros que intervienen en el problema, combinados en un algoritmo que resulta en un factor de seguridad, y utiliza esta información para obtener el promedio y la desviación estándar del FS y por consiguiente, la probabilidad condicional.

En consecuencia, la probabilidad de ocurrencia de un evento particular (FRM) se evalúa en términos de sus eventos condicionantes, a través de la ley de probabilidades totales; de tal manera la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento está definida por la siguiente ecuación:

$$p(D) = P(D/LS)p(LS) + P(D/L\overline{S})p(L\overline{S}) + P(D/\overline{L}\,S)p(\overline{L}S) + P(D/\overline{LS})p(\overline{LS})$$

Tal probabilidad, como lo expresan sus términos, es función de las probabilidades condicionales de presentarse el deslizamiento para todas las posibles combinaciones de lluvia y sismo, así:

$p(D)$: Es la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento.

$P(D/LS)$: Es la probabilidad condicional de que acaezca el deslizamiento dado que haya lluvia y sismo.

$p(LS)$: Es la probabilidad de que se presenten la lluvia y el sismo simultáneamente.

$P(D/L\bar{S})$: Es la probabilidad condicional de que se genere el deslizamiento dado que haya lluvia y no se geste el sismo.

$p(L\bar{S})$: Es la probabilidad de que haya lluvia y no se produzca el sismo.

$P(D/\bar{L}S)$: Es la probabilidad condicional de que ocurra el deslizamiento dado que se presente el sismo y que no tenga lugar la lluvia.

$p(\bar{L}S)$: Es la probabilidad de que haya lugar al sismo, pero no la lluvia.

$P(D/\bar{L}\bar{S})$: Es la probabilidad condicional de que ocurra el deslizamiento dado que no haya lluvia ni sismo.

$p(\bar{L}\bar{S})$: Es la probabilidad de que no tenga lugar ni el sismo ni la lluvia.

En este orden de ideas, es más convincente y representativo estudiar toda la gama de los estados de trabajo a los que podrían estar sometidas las laderas. Pero el desarrollo de este tema requiere el tratamiento previo de cuatro hipótesis: 1) el o los mecanismos de falla; 2) el procedimiento de evaluación -método de análisis-; 3) los parámetros efectivos de resistencia de cada material; y 4) los eventos detonantes. Las dos primeras hipótesis se entrelazan como unidades determinísticas, es decir, se consideran invariables, expeditas y conocidas; en tanto que las dos últimas están regidas por los principios de la incertidumbre, i.e. son aleatorias, bien sea por la variabilidad espacial de los parámetros de resistencia o bien por la variabilidad temporal de los agentes detonantes, por lo que se les asignan distribuciones de probabilidad. A continuación se aborda una a una las llamadas hipótesis de trabajo.

6.2.1.1 PARÁMETROS DE RESISTENCIA

Se obtuvieron de cinco fuentes básicas: 1) ensayos de campo y de laboratorio del marco de este proyecto, y que están consignados en las *Tablas 4.6, 4.8, 4.9 y 4.10*, en las *Figuras 4.2 a 4.7* y en el *Anexo D.2*) información secundaria: ensayos de clasificación, cortes directos y sondajes (spt) en arcillolitas y suelos residuales de la Formación Bogotá, y en los llenos o depósitos fluvioglaciales adosadas a ellas, seleccionados por similitud o coincidencia litológica y geomorfológica, y adoptada de los estudios de riesgo para Villa de los Alpes (Geoingeniería, 2000 y Geocing, 2007), para la urbanización Buenavista Sur Oriental III Sector (GIA C. L., 2009), y para un sector del barrio Atenas, (Ingeniería y Geotecnia Ltda., 2005, Geocing Ltda. (2007), y de los Estudios Geológicos y Geotécnicos para los barrios Granada Sur, Montebello, Padua, Villa Nataly y San Luis (IEH Ltda., 1988 y 1997); 3) Método de Larson: conjuga una parte del universo muestral, pues es excluyente al admitir únicamente los ensayos de corte directo, con ellos se toman las relaciones τ/σ máximos y se incorporan en una gráfica τ' vs σ', los coeficientes (c´, ϕ´) de las regresiones lineales superior e inferior representan los parámetros geomecánicos efectivos buscados; la *Figura 6.2*, la *Figura 6.3*, la *Figura 6.4* y la *Figura 6.5* sintetizan los resultados encontrados en los llenos antrópicos, Qdau, y mineros, Qdam, y en la arcillolita Tpb-L, materiales con el más amplio universo muestral; 4) retroalimentación iterativa de los propios análisis de estabilidad en los cuerpos potencialmente inestables, para los que se adoptó como criterio que la combinación de parámetros geomecánicos mínimos en estados de no lluvia sin sismo, condujera a una condición de equilibrio último (FS ≤ 1.00), tal como lo evidencia la configuración hoy día del terreno; supuesto de trascendencia en la definición de los coeficientes operativos mínimos en los depósitos de minería (Qdam) y de los depósitos fluvioglaciales (Qfg), representados por las superficies libres 2-2´, 3-3´, 5-5´ y 6-6´, y 1-1¨y 4-4´, respectivamente; y 5) análisis retrospectivo: pilar para la deducción de los parámetros mínimos operativos en la falla en los depósitos antrópicos de minería y en el fluvioglacial, promotores de los daños en la urbanización San Luis (inmersa en el nicho de deslizamiento 1) y en el barrio granada sur, respectivamente.

FIGURA 6.2 ENVOLVENTE DE LARSON, QDAU

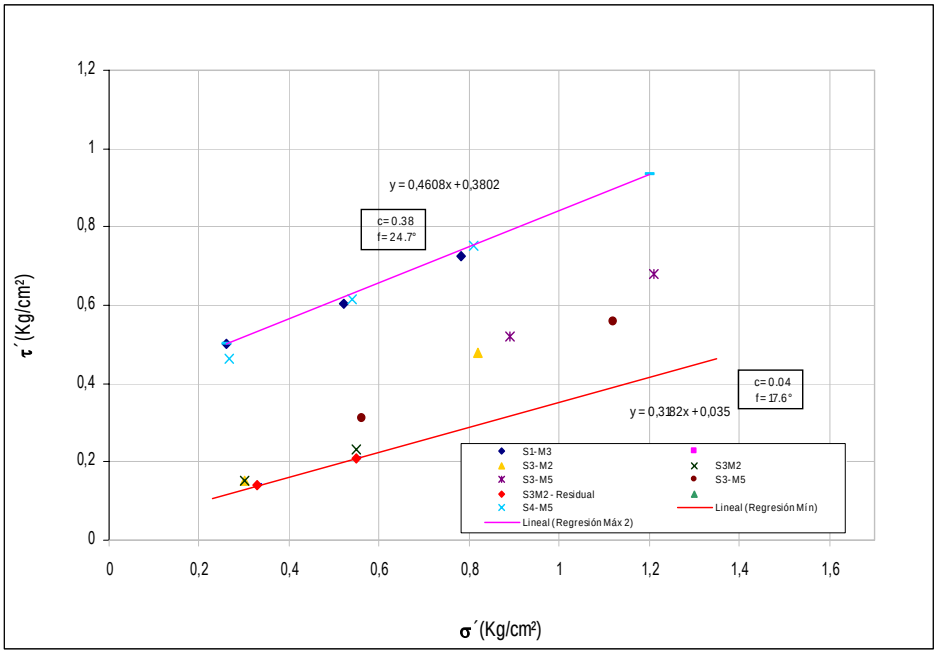


FIGURA 6.3 ENVOLVENTE DE LARSON, QDAM

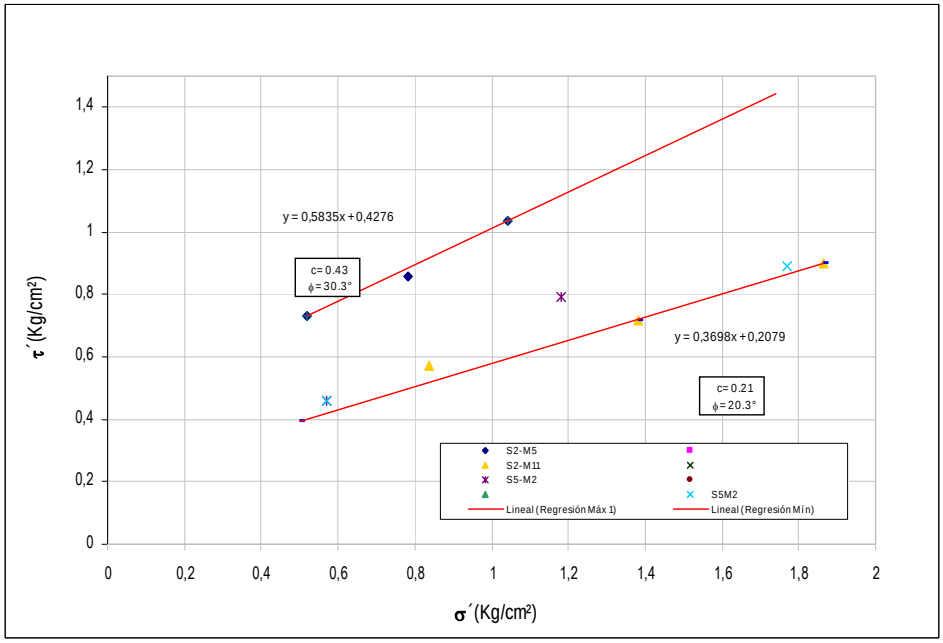


FIGURA 6.4 ENVOLVENTE DE LARSON, QDAU-QDAM

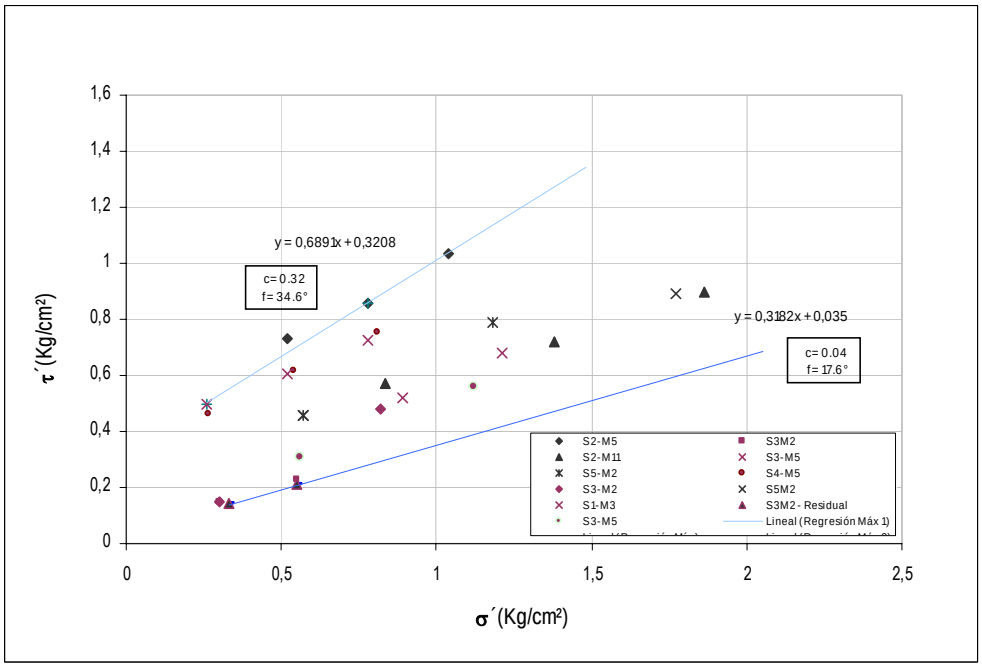
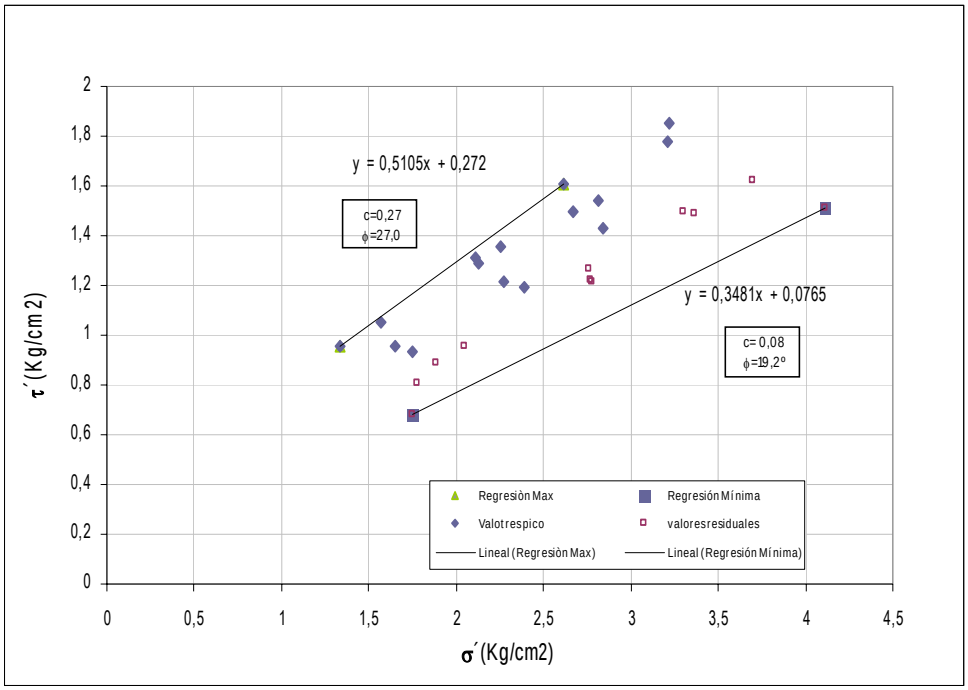


FIGURA 6.5 ENVOLVENTE DE LARSON, TPB-L



Pero la aplicación y extrapolación de las dos últimas fuentes entre zonas homogéneas y secciones (consecutivas), y por ende la deducción de la relación predictiva de los parámetros, no podría tener cabida sin el empleo del criterio de similitud geomorfológica propuesta por Hoek y Bray (1.974). Los autores sostienen que es posible obtener los parámetros movilizados en la falla de un talud, a partir de otros, siempre y cuando su litología y mecanismo de falla sean similares, aunque su geometría no lo sea. De esta forma, las curvas c' vs. ϕ' de los taludes, teóricamente deben interceptarse en un sólo punto; sin embargo, las variaciones no identificables en la litología o en el grado de meteorización, y las imprecisiones en el nivel de agua ocasionan dispersiones en los resultados, razón por la que se demarca un intervalo de dominio de los parámetros, que a su vez coadyuva a precisar los coeficientes máximos y mínimos para los materiales involucrados.

Al amparo de estas premisas, en el retroanálisis se emplearon el deslizamiento principal o "mayor" (circunscrito en el nicho de deslizamiento 2, véase el numeral 3.5.2.3 del capítulo 3) y uno menor, el DT003AA, recreado en la urbanización en San Luis, esquematizados como ensayos a escala natural, para deducir los parámetros movilizados en la falla. Esto último mediante el conocimiento de la geometría antes y después del movimiento, del mecanismo de falla y de la condición de agua. Este conjunto evaluado para factores de seguridad igual a la unidad establece el marco de referencia para este propósito.

La geometría antes y después de los movimientos se abstrajo con base en la contrastación de las cartografías actual (puntualmente la de GIA, 2011, esbozada en el *Plano 2*) y precedentes, particularmente la del IGAC (1969) y la de IEH (1988 y 1997): idealización plasmada en el *Plano 4A*, Sección 1-1, en lo que se refiere al deslizamiento principal, y en el *Plano 4B*, Sección 6-6, si se trata del movimiento menor (el DT-003AA). El mecanismo de falla: rotacional, o compuesto (rotacional-traslacional) se infiere de las expresiones morfológicas, de los registros de perforación, en específico de las variaciones en el número de golpes del SPT, del monitoreo en épocas pasadas, tarea resumida en los inclinómetros I-2 e I-3 (IEH, 1997, registros integrados al *Anexo D.1.2*), y de las evidencias de campo, reunidas en el inventario de procesos y en el análisis multitemporal, y de las que emergen los escarpes de deslizamiento de los años 1977 y 1970 si se trata del deslizamiento principal, y la morfología y la superficie de despegue en cuanto al DT-003AA, marco último sintetizado en el *Plano 5*. Y la condición de agua se abstrajo de la instrumentación dispuesta en los años 1988 y 1977, i.e. de los piezómetros PF-1, PF-2, PF-3, PF-4, P-1, P-2 y P-3, y de los sondeos del 2011 (el S-1 y el S-3), traducida en la casi saturación (nivel denominado w_1 y representado en el *Plano 4A* y en el *Plano 4B* y tabulado en el *Anexo E.3*), en concomitancia con la probabilidad condicional de falla.

El trabajo así descrito se expresa en la *Figura 6.6* y en la *Figura 6.7*. Sin embargo, la conceptualización y la deducción predictiva de los parámetros operativos en la falla condujeron a resultados disímiles (por momentos erráticos) y al empleo de elementos de juicio adicionales. Los parámetros abstraídos de los ensayos de laboratorio y abreviados por el dominio: $c_{mín}$ =0.60 Ton/m², $\phi_{mín}$=17.40° y $c_{máx}$= 4.2 Ton/m², $\phi_{máx}$= 30.20°, para el relleno minero (Qdam), y $c_{mín}$ =0.00 Ton/m², $\phi_{mín}$=10.75° y $c_{máx}$= 0.5 Ton/m², $\phi_{máx}$= 18.50° (fronteras obtenidas de la reinterpretación de los ensayos de corte y Triaxial de IEH, 1988, dispuestos en el *Anexo E.2*), en cuanto al fluvioglacial se refiere, tienen aplicabilidad limitada; ellos son sólo concordantes con las envolventes c vs. tg ϕ (FS=1.0) y reproducen parcialmente los estados de falla (en el entendido de que no transcriben fidedignamente las superficies de despegue), toda vez que el foco de análisis recaiga en el movimiento principal y éste sea retrogresivo, característica poco o nada documentada hasta ahora. La reconstrucción de la superficie restante, la del DT-003AA está ligada a factores de seguridad superiores a 1.30, premisa que mina todo sustento a los parámetros inicialmente deducidos. La participación de los más críticos estados de presurización y de los menores coeficientes de fricción (tomados de los cortes directos) definen como intervalo probable operativo $c_{mín}$=0.00 Kg/cm2, $c_{máx}$=0.22 kg/cm2, $\phi'_{mín}$=17.60 y $\phi'_{máx}$=28.40, y

$c_{mín}$ =0.00 Ton/m², $\phi_{mín}$=10.75° y $c_{máx}$= 0.5 Ton/m², $\phi_{máx}$= 18.50°, para uno y otro material, y como coeficientes movilizados en la falla c'=0.08 kg/cm2 y ϕ'=17.60°, en el relleno, y c'=0.00 kg/cm2 y ϕ'=10.75° en el fluvioglacial. Parejas casi reproducida por las pruebas de corte de la muestra 11 del sondeo S-2 (S-2 M11) y de la muestra 3 de la perforación PF-4 (IEH, 1988).

FIGURA 6.6 RETROANÁLISIS: DESLIZAMIENTO PRINCIPAL SECCIÓN 1-1')

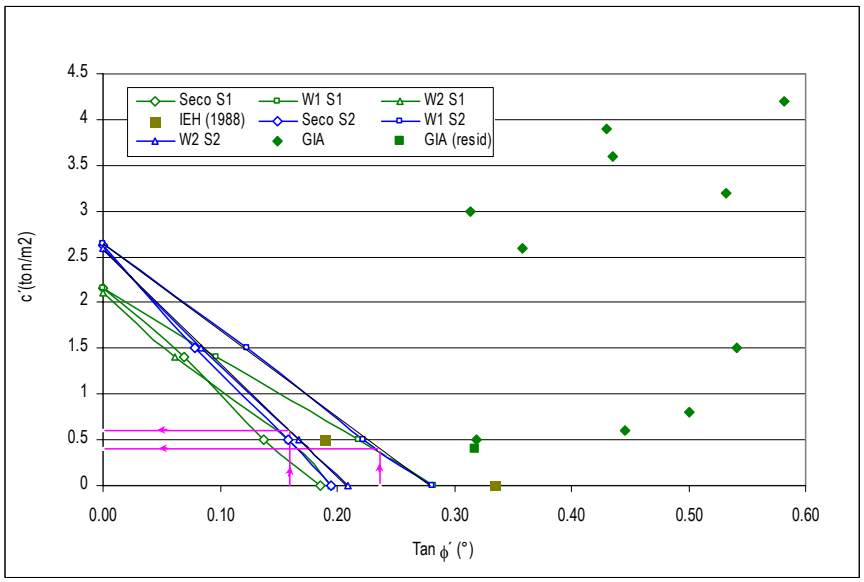
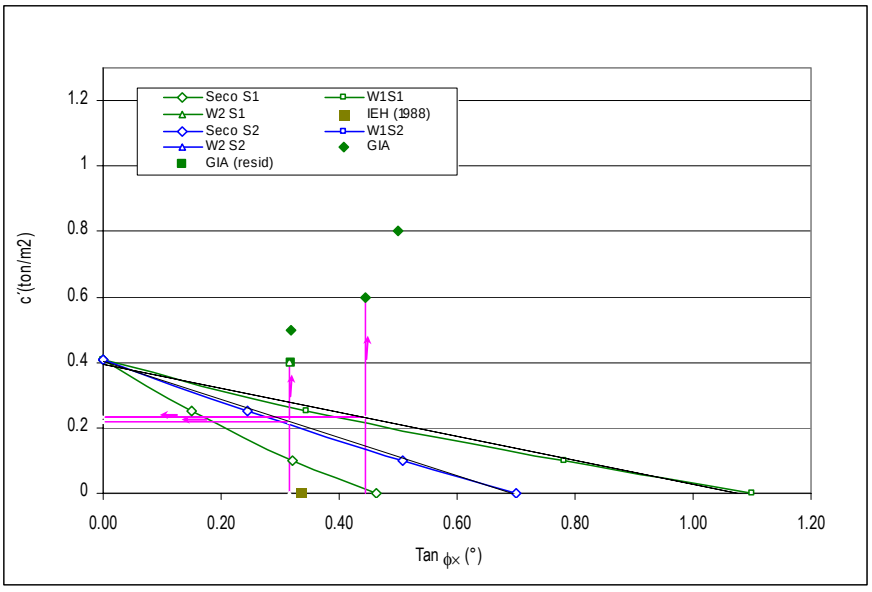


FIGURA 6.7 RETROANÁLISIS: DESLIZAMIENTO DT-003-AA (SECCIÓN 6-6')



Ahora bien, el progresivo deterioro de la masa deslizada, representada en la transformación de los cortes contiguos a la urbanización San Luis, y la coexistencia del movimiento principal por lo menos en los últimos veinte años (tal y como lo sugieren los reportes de emergencia e IEH, 1988) permiten suponer un universo distintivo para las masas traslocadas Qdam y Qfg, concepto denominado por Cornforth, 2005, "Resistencia residual" y acotado para grandes deformaciones. Hipótesis ratificada por la probabilidad condicional de falla, Pf (gracias a la retroalimentación iterativa); su umbral máximo, es de 0.04 para el fluvioglacial (es decir para la el corte 1-1´) e inferiores a 0,20 en el relleno minero, toda vez que los parámetros del retro cálculo funjan como los mínimos y apliquen los máximos de los primeros dominios, estadio que raya con la respuesta hoy, o de 0.37, si se trata del Qfg y 0.32, en lo que hace referencia al Qdam, si los parámetros operativos en la falla, se fijan bien como el $c'_{mín}$ y el $\phi'_{mín}$, resultados más a tono con el comportamiento de las laderas. Tema que se retoma en el numeral *6.2.2.2*.

Finalmente, los límites de los intervalos de las variables endógenas, se definieron con ayuda del criterio propuesto por la DPAE (2.000). Así, los parámetros promedio por material se obtienen como la media aritmética de la información fuente disponible (primaria y secundaria), y los valores máximos y mínimos esperados, se calculan mediante la suma y sustracción de los coeficientes de variación (cv) para c' y para $tg\phi'$; empero, justificados los extremos del dominio con partes del espacio muestral, es decir, con parejas c', ϕ' (provenientes de los cortes directos), esquema valido tanto para los llenos antrópicos: Qdam y Qdau, como para la lodolita y el suelo residual, o bien con las envolventes superior e inferior de Larson en lo que atañe al Qdau. Tal procedimiento implicó trabajar, en ocasiones, las endógenas como variables independientes (supuesto no siempre válido), así:

$$c'_{\max} = c'_{prom} + c.v_c * c'_{prom} \qquad tg\phi'_{\max} = tg\phi'_{prom} + c.v_t \cdot tg\phi'_{prom}$$

$$c'_{\min} = c'_{prom} - c.v_c * c'_{prom} \qquad tg\phi'_{\min} = tg\phi'_{prom} - c.v_t \cdot tg\phi'_{prom}$$

o lo que es lo mismo:

$$c'_{prom} = \frac{c'_{\max}}{(1 + c.v_c)} \qquad c'_{prom} = \frac{c'_{\min}}{(1 - c.v_c)}$$

$$tg\phi'_{prom} = \frac{tg\phi'_{\max}}{(1 + c.v_t)} \qquad tg\phi'_{prom} = \frac{tg\phi'_{\min}}{(1 - c.v_t)}$$

La tarea así expuesta, involucró estudiar el modelo de falla de los posibles deslizamientos (véase el Numeral 6.2.1.2) enmarcados en las secciones de análisis que se ilustran en los *Plano 4A* y *4B*, mediante el ensayo de varios juegos de parámetros. Procedimiento de gran valor para fijar el borde inferior ($c'_{mín}$, $\phi'_{mín}$) en el Qdam. Las combinaciones propias de cada uno se condensan en las memorias de cálculo del *Anexo E.2*.

La suma de las líneas descritas y del marco teórico desarrollado se recapitula y expresa en la *Tabla 6.3*. Allí se listan los valores promedio y los intervalos de dominio de los parámetros de resistencia, según el tipo de material, y su fuente deductiva. Otros espectros de parámetros estudiados se condensan en las tablas del *Anexo E*, ellos fueron rechazados puesto que no satisfacían el criterio de retroalimentación.

Aunque los dominios de parámetros seleccionados y por consiguiente las envolventes para el material rocoso y el suelo residual no difieren entre sí en magnitud considerable. Esta disyuntiva abrió el espacio para diferenciar y discriminar las funciones de distribución de los coeficientes de resistencia en el macizo

(equivalente al de la lodolita), representado por los horizontes de meteorización IIA y IIB del perfil de Deer y Patton (1.971) y en el suelo residual propiamente dicho, horizontes IA y IB. En este sentido y como último escalón de la cadena predictiva, la deducción de los parámetros operativos en el suelo residual se apoyó en la pérdida de la cohesión sin detrimento del ángulo de fricción (se reitera que las muestras fueron precortadas, lo que involucra el estado más desfavorable), al punto de considerar la mínima despreciable ($c'_{mín}$=0.00 Ton/m^2), planteamiento válido para suelos normalmente consolidados como el que nos ocupa, y la máxima equivalente a la menor de las cohesiones obtenidas en los cortes, de su aplicación se obtiene: $c'_{mín}$=0.00 Ton/m^2, $\phi'_{mín}$=17.90º y $c'_{máx}$=1.20 Ton/m^2, $\phi'_{máx}$.=27.80 (véase el *Anexo E.2*), una y otra frontera ligada a los coeficientes mínimos y medios esperados de resistencia, pero justificadas (en especial la inferior) y validadas por los criterios de retroalimentación iterativa y de similitud geomorfológica.

6.2.1.2 MECANISMOS DE FALLA

Se dedujeron de la evolución morfodinámica de las laderas (véase los *numerales 3.5.2* y *3.6* del *Capítulo 3*), de los antecedentes históricos, del monitoreo y de su predisposición cinemática, entre ellos se cuentan:

a) Deslizamientos rotacionales o compuestos, locales y generales (con o sin grieta de tracción), en los llenos antrópicos: Qdam, Qdau, y en el fluvioglacial: Qfg, gestados por reblandecimiento, por saturación súbita, por presurización (i.e por cambios drásticos en el régimen de aguas) o por combinación de ellos. Tienen cabida en casi todas las laderas y rigen, por consiguiente, el comportamiento esperado (modelación) de la totalidad de las secciones de análisis.

   A este conjunto hace parte la retrogresión de los cuerpos de los deslizamientos principal e intermedio (el de San Luis). Modelamiento adelantado al conservar la expresión morfológica hoy día y someter al suelo a la pérdida progresiva o instantánea de resistencia, representada en la extrapolación de los coeficientes de resistencia (efectivos) del Qfg de la sección1-1 a las laderas restantes, idealizadas por los cortes 4-4´´y 2-2´ a 6-6´.

b) Flujos de tierra y fallas planares infinitas en los depósitos mineros y urbanísticos y en el fluvioglacial; la superficie de movilización está controlada por el ángulo de fricción mínimo o básico o por debilidades inherentes provocadas antaño por la actividad minera y hoy por los corredores de infiltración o de evacuación de las aguas servidas (y facilitada por la rotura de las redes de servicios); se forja paralela a la superficie libre, y su espesor en caso alguno supera los dos (2) metros. Tienen cabida en las regiones DLIMT-I-1, LDIM-I-1 y LDIM-I-2, y su activación recae en la saturación o en la presurización del manto potencial, provocada por el movimiento descendente del agua lluvia.

El modelo de falla progresiva, fue descartado puesto que las laderas mantienen sus expresiones morfológicas en los últimos años, en particular en los predios ocupados por el movimiento principal (el de Granada Sur), según lo ratifica la contrastación morfológica entre las cartografías del IGAC (1969 y 1984), IEH (1997) y la del estudio (GIA, 2009); y los deslizamientos responden a la progresión y retrogresión o a la reactivación de procesos antiguos, el de San Luis, por ejemplo, se gesta entre 1970 y 1977, como se desprende de la revisión del vuelo 1737 de 1977 (véase el numeral 3.6.8 del Capítulo 3), y con un pulso de reactivación en 1991 (baste repasar la imagen 2015 del vuelo 1131), y el de Granada Sur se manifiesta por primera vez en 1968, como lo confirma el Geólogo Arce Herrera, y se calca nuevamente en los años 1970 y 1977 (véase el *Plano 5* y el *Anexo C.3*). En la *Tabla 4.25* se señalan para las distintas zonas homogéneas del escenario hoy día, los mecanismos de falla y los materiales involucrados en la secuencia estratigráfica.

TABLA 6.3 PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE LOS MATERIALES

					SPT		CORTE DIRECTO		VALOR PROMEDIO Estáticos		VALOR MÍNIMO Estáticos		VALOR MÁXIMO Estáticos		OBSERVACIONES
No.	Nombre	DESCRIPCIÓN	γ (Ton/m³)	γ Sat (Ton/m³)	Cohesión (Ton/m²)	ϕ (°)	Cohesión (Ton/m²)	ϕ (°)	Cohesión (Ton/m²)	ϕ (°)	Cohesión (Ton/m²)	ϕ (°)	Cohesión (Ton/m²)	ϕ (°)	
2 y 5	Qdau - Qdam	Relleno Antrópico Urbanistico y Relleno Antrópico Minero	2,01	Qdau 2.16 Qdam 2.05 Qdau - Qdam 2.20	0,00	31,0	0,50	17,70	1,15	20,9	0,80	17,6	1,50	24,0	Los extremos están justificados por esnsayos de corte. El ϕ' min responde al ensayo de corte directo de la muestra S2-M 11 y el Cmin y el Φ' máx al ensayo de corte directo del testigo S3-M5. Los universos muestrales poseen un Cvc= 0,30 y un Cvt= 0,17.
					0,00	25,1	3,00	17,40							
							2,60	19,70							
							0,80	26,60							
							0,60	24,00							
3	Qdaus	Relleno Antrópico Urbanistico Seleccionado	1,90	2,08					1,00	32,0	_	_	_	_	Valores asumidos con base en la experiencia del consultor en este tipo de materiales.
6	Qfg	Depósitos Fluvioglacial	2,00	2,10	0,05	30,4	0,00	18,50	0,05 (0,025)	12,9	0,00	10,8	0,1 (0,05)	15,7	Los parámetros son deducidos a partir del retroanálisis, de la aplicación del criterio de retroalimentación iterativa en los cuerpos de deslizamiento, y de la reinterpretación de ensayos adelantados por IEH (1988).
							1,00	7,20							
							0,00	10,00							
7	QTpb-sr	Suelos residuales de la Formación Bogotá	1,98	2,20	1,44	26,6	2,30	14,00	0,60	23,0	0,00	17,9	1,20	27,8	Los máximos y mínimos responden a resultados de corte directo tanto de fuentes primarias como de secundarias, no obstante, se aplica un Cvc= 1.00 y un Cvt=0,24. El Φ max responde al ensayo de corte directo del S3M19.
8	Tpb-L	Formación Bogotá Niveles arcillosos	2,09	2,19	0,00	44,0	1,20	26,60	2,00	24,6	1,20	17,9	3,60	27,8	Se deduce el promedio del universo muestral disponible que incluye fuentes como: GIA (2009), GIA(2011) y HGA(2000). Los máximos se toman de los cortes de las muestras S3M19 (para el Φ max) y S3M20 (para el cmáx); y los mínimos provienen del ensayo en la muestra S5M9.
							3,70	23,60							
							1,80	23,20							
							1,70	27,20							
	Tpb-L Reblandecido		2,25	2,28			2,20	27,80	0,60	23,0	0,00	17,9	1,20	27,8	Se toman equivalentes a los del suelo residual.

6.2.1.3 EVENTOS DETONANTES

Los agentes detonantes, definidos como variables aleatorias o fuentes de incertidumbre se establecen como condiciones asociadas a la ocurrencia de lluvia (Ll) y sismo (Eq). Estas variables, denominadas exógenas o eventos condicionantes, recibieron tratamientos basados en los registros históricos disponibles.

6.2.1.3.1 Agua

En la definición de los agentes exógenos la mayor incertidumbre radica en la relación entre la ocurrencia de las lluvias y la presencia del agua al interior del talud. En este sentido, y a fe de dar respuesta o en el peor escenario delinear un modelo predictivo del comportamiento de la tabla de agua (representada de manera alguna por la cabeza de presión), se retomó, reinterpreto y adapto el monitoreo ordenado en estudios previos, v.g IEH, 1988 y 1997, constituido por la lectura de siete piezómetros abiertos (el PF-1, el PF-2, el PF-3, el PF-4, el P-1, el P-2 y el P-3, información acopiada en el *Anexo E.3*) durante los meses de diciembre de 1987, enero, febrero y marzo de 1987, y octubre y noviembre de 1997, los dos últimos meses en un periodo invernal con ausencia de lluvias intensas (particularidad señalada por IEH, 1997…"Es importante tener en cuenta que la falta de un periodo de lluvias en el presente año y muy especialmente en los meses de octubre y noviembre no han permitido observar cómo responden los niveles de agua a los periodos de lluvias prolongados…." [sic]), y se concateno con los hallazgos en los sondeos acometidos por GIA C. L (2011).

Labor que deja al descubierto la casi saturación de las laderas, baste repasar en los modelos geotécnicos (*Planos 4A* y *4B*) las posiciones extremas medidas y reinterpretadas de la tabla de agua: la $W_{máx}$ y la $W_{mín}$; la cabeza máxima de presión, $W_{máx}$, reposa entre los cinco (5) metros (lectura en el piezómetro P-1) y los pocos centímetros bajo la superficie (marco expuesto por los piezómetros PF-1 y PF-3, véase el *Anexo E.3*). En este sentido se fijan como hipótesis de trabajo las siguientes:

a) La saturación de las capas del fluvioglacial y de los horizontes de suelo residual, tal y como lo expresan las líneas piezométricas, $W_{máx}$ y $W_{mín}$, en las secciones 1-1 y 4-4 (véase el *Plano 4A*), y los resultados del retroanálisis, pero bajo condiciones de flujo libre, gestada por el aporte de los efluentes provenientes de la rotura de las redes de servicio, de las conexiones erradas, del patrón hidrogeológico (componente trascendente), o de la migración descendente del agua lluvia en períodos invernales, contextos últimos aplicables a las zonas homogéneas: DLIMT-I-1 y DLIMT-I-2. Hipótesis favorecida por la residencia del cuaternario sobre el sello hidrogeológico por excelencia en las vertientes de Granada y San Luis: las lodolitas y las arcillolitas de la formación Bogotá, y por la composición de los depósitos.

   Planteamiento último esgrimido por IEH (1997) y compartido por GIA: "el coluvión (apelativo con el que se refiere al fluvioglacial) es una masa relativamente permeable, condición que se ve incrementada por el agrietamiento y fisuración que presenta en su superficie. En estas condiciones y dado su grado de saturación previo, resulta aparente un relativo rápido ascenso de los niveles de agua en épocas de lluvias intensas y/o prolongadas, modificando el estado de esfuerzos y produciendo inestabilidad" [sic].

b) El desempeño parcialmente saturado, pero próximo a la saturación, de los llenos antrópicos mineros (Qdam) y de urbanismo (Qdau). Premisa fijada de la extrapolación de los estadios de presurización

en la vertiente del barrio Granada Sur (receptora del deslizamiento principal y simulada por los cortes 1-1´y 4-4´), a través de la deducción del coeficiente crítico (o máximo) de presión de poros, ru (valorado en 0.40) y de su reconversión en cabeza piezométrica en otros espacios de las microcuencas (o del área de trabajo). Esquema irradiado a las secciones 2-2, 3-3´, 5-5´y 7-7´.

Los estadios mínimos se fijan siempre secos. Proposición avalada por la ausencia de afloramientos de agua en las superficies libres durante los tiempos secos, y por los juicios emitidos por IEH(1997) al afirmar "esta consultoría ha planteado que en condiciones normales el depósito coluvial tiende a permanecer seco, con excepción de la parte más alta en inmediaciones de la calle 24 Sur y la Transversal 2A, donde como resultado de la rotura de las tuberías de alcantarillado y suministro de agua se tiende a mantener una condición de agua permanente." [sic].

6.2.1.3.2 Sismo

En cuanto a la variable sismo, se tomaron como bastiones: a) El Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia EGASC, que fija para Bogotá un am de 0.20 g para un período de retorno Tr= 475 (para una probabilidad de ocurrencia del 10% en 50 años); y b) "la Microzonificación Sísmica de Bogotá", modificada por el Decreto 523 de 2010, en la que se evaluaron para las diferentes partes de la ciudad los espectros probables de respuesta, es decir se definió la aceleración pico efectiva Ag y la aceleración mínima Ad, con sus períodos de retorno y recurrencia. Para la Zona 1 – Cerros (Ingeominas, 1999) y los Depósitos de Ladera (Decreto 523 de 2010), universo espacial al que pertenece los barrios y las Urbanizaciones, el estudio reporta valores de aceleración pico en roca de 0.18g y aceleraciones máximas en superficie (en los depósitos) de 0.22g, tal como se explica en el numeral 3.8 del Capítulo 3.

Finalmente, la probabilidad de ocurrencia y de no ocurrencia de todas las combinaciones de sismo y lluvia críticas se calculó con base en su periodo de retorno (Tr=30 años, para la lluvia, tomado del artículo "Relaciones de Precipitación Crítica-Duración de Lluvias que Disparan Movimientos en Masa en Santa Fe de Bogotá – Colombia", González y otros, 1.998, véase el *numeral 5.1.3* del capítulo 5), al tener en cuenta tres escenarios: corto plazo (un año), mediano plazo (10 años) y largo plazo (50 años) según las expresiones que aparecen a continuación. Los resultados de la formulación se muestran en la *Tabla 6.4*.

$$P^{+} = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^{n}$$

$$P^{-} = 1 - P^{+}$$

donde:

P+= probabilidad de ocurrencia del evento crítico
P- = probabilidad de no ocurrencia del evento crítico
T = período de retorno
n = período de análisis

TABLA 6.4 PROBABILIDADES DE AGENTES EXÓGENOS

PERÍODO DE ANÁLISIS	ACTUAL (1AÑO)		MEDIANO PLAZO (10 AÑOS)		LARGO PLAZO (50 AÑOS)	
AGENTE EXÓGENO	OCURRENCIA	NO OCURRENCIA	OCURRENCIA	NO OCURRENCIA	OCURRENCIA	NO OCURRENCIA
Agua, T = 30 años	0.033	0.967	0.287	0.712	0.816	0.184
Sismo, T= 475 años	0.002	0.998	0.021	0.979	0.051	0.9479

6.2.1.4 MODELACIÓN DE ESTABILIDAD

Se plantea gracias a los métodos de equilibrio límite, basados en el criterio de resistencia de Mohr – Coulomb, pero como función de los mecanismos evaluados; así para los deslizamientos rotacionales y rotacionales-traslacionales en suelo, la técnica de las dovelas de Jambu (1954 y 1973, citado por Duncan and Wright, 2005) y Bishop (1955, citado por Duncan and Wright, 2005). Y emplea como herramientas de trabajo el programa Slide V5 para los mecanismos de falla rotacional y traslacional en los llenos y en el fluvioglacial.

Bajo los lineamientos anteriores, y con el fin de adelantar la evaluación de estabilidad, se establecen siete (7) secciones de trabajo para la condición actual (bautizadas desde la S1 hasta la S7), que se ilustran en planta en el *Plano 4* y en perfil en los *Planos 4A y 4B*. Las secciones se subdividen acorde con las zonas homogéneas y con los materiales susceptibles; sobre los tramos resultantes se evaluaron los cuerpos potencialmente inestables según su dirección probable de movilización. Se asume, entonces, que el grado de estabilidad de cada sección (o sus partes) es atribuible a la región homogénea a la que pertenece.

A los análisis con PCStable se les asigna un código alfa numérico entrelazado al escenario analizado; éste diferencia sucesivamente el universo de trabajo (Granada San Luis), la sección de análisis, el modelo de falla y el número consecutivo de superficie analizada; v.g., el archivo GS1_2R condensa el escenario actual, en la sección de análisis 1; retrabajada por fallas rotacionales: R, específicamente la segunda superficie crítica: 2R.

6.2.2 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA

6.2.2.1 CONSIDERACIONES

Fijos los comportamientos de las fuentes de incertidumbre, las funciones de probabilidad de las variables se constituyen en elementos fundamentales para la determinación de la función de la probabilidad de falla. En este sentido se determina el FS para múltiples casos: dieciséis (16) producto de las cuatro (4) condiciones de eventos detonantes para las cuatro posibles combinaciones de parámetros. Todas las valoraciones se efectúan para tres escenarios de exposición: a corto plazo (1 año), mediano plazo (10 años) y a largo plazo (50 años), a fe de establecer la sensibilidad con respecto a esta variable. Con los factores de seguridad (F.S) se calculan las curvas de densidad, a partir de las que se obtiene la probabilidad de falla como el área bajo la curva para niveles del F.S. menores a la unidad.

6.2.2.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El compendio completo de los factores de seguridad y de las probabilidades de falla FS-P_f, agrupados en la *Tabla 6.5*, en la *Tabla 6.6*, en la *Tabla 6.7*, en la *Tabla 6.8*, en la *Tabla 6.9* en la *Tabla 6.10*, en la *Tabla 6.11*, en la *Tabla 6.12*, en la *Tabla 6.13*, en la *Tabla 6.14*, en la *Tabla 6.15* y en la *Tabla 6.16* permite definir las condiciones que mejor develan el comportamiento de las laderas hoy día. De éstas se extrae que los taludes S1, S2, S5 y S6, propios de los cuerpos de deslizamiento mayor e intermedio, poseen probabilidades de falla en un año, superiores al 23%; su progresión (movilización) se produce cualquiera sea el agente exógeno que participe, y en estado seco sin sismo si operan los parámetros de resistencia mínimos. La esperanza del factor de seguridad (Fs) en ninguna condición de trabajo (combinaciones de agentes detonantes y parámetros) es superior a 1.36, umbral obtenido en el Qfg (superficie GS1_2R), sí y solo sí el sismo y el agua estén ausentes (véase la *Tabla 6.5*). Respuesta apenas lógica: los movimientos hoy día son activos, aunque sus tazas de deformación son disímiles, particularidad que justifica las variaciones en la cohesión efectiva y

en los parámetros máximos. Corolario ratificado por las probabilidades de falla en la *Tabla 6.10* (superficies: GS1_1R y GS1_2R), en la *Tabla 6.11* (superficies GS2_1R y GS2_2R), en la *Tabla 6.13* (superficie GS5_1R), en la *Tabla 6.14* (superficies GS6_1R y GS6_2R), y en el *Anexo E.6*.

La retrogresión, parece innegable, las superficies de movilización GS1_3R, GS2_3R, GS2_4R, GS5_2R, GS5_3R, GS5_3R y GS1_4R, que trasiegan al respaldo de los escarpes de deslizamiento vigentes hoy día, se extienden hasta la vecindad de la manzana 17 del Barrio Montebello, en el caso del cuerpo principal, o hasta la parte posterior de la Transversal 2A, si se trata del movimiento intermedio (el de San Luis). Ellas exponen estados de falla aún sin la participación de los agentes detonantes (agua y sismo); las probabilidades condicionales superan el 6% en el primer año, y el 22% en cuanto al período de trabajo (i.e. la exposición) se acerca a los 10 años (véase la *Tabla 6.10*, la *Tabla 6.11*, la *Tabla 6.13* y la *Tabla 6.14*). Dictamen ligado a la generalización de los parámetros del Qdam y del Qfg, y avalado y sustentado por el reblandecimiento de los materiales, o por el desconfinamiento y la deformación (rápida o paulatina) de los depósitos; eventos en otrora antecesores a la detonación de los deslizamientos.

Réplica en menor escala, pero no menos trascendente, se enmarca en la zona homogénea LDIMU-I-1 (asiento del tercer nicho de deslizamiento), tipificada por la sección S-4. Los antrópicos (depósitos) diagraman precarios estadios de trabajo; los taludes esbozan condiciones seguras en ausencia de los agentes detonantes o del agua, las esperanzas del factor de seguridad se circunscriben entre el 0.47 y el 1.46 (*Tabla 6.6*); la activación tiene asidero toda vez que participen los coeficientes de resistencia mínimos y el agua (véase la *Tabla 6.13* y la *Tabla 6.14*, superficie GS4_1R, GS4_2R y GS4_3R), o el detonante sea el sismo. La probabilidad de falla alcanza el 10% a los 10 años (estado actual) o supera el 27% si la vida útil se extiende hasta los 50 años. Panorama que sumado a la irregular calidad constructiva, transcriben (e incuban) los daños de las viviendas en los barrios Granada Sur y Granada Sur III Sector, viviendas por demás reubicadas en la década pasada.

El comportamiento de las demás masas antrópicas, ejemplificadas por las superficies libres S-3 (GS3_1R, GS3_2R y GS3_3R) y S-7 (GS7_1R, GS7_2R, GS7_3R y GS7_4R), si bien es más halagüeño, no es suficientemente tranquilizador. El cuaternario permanece estable toda vez que no haya sismo ni lluvia, o se movilicen la cohesión máxima o los parámetros máximos: $c_{máx}$, $\phi'_{máx}$, simultáneamente; los factores de seguridad recorren el intervalo [1.00 - 1.57], y las probabilidades de falla oscilan entre el 6% y el 24%, si el escenario de estudio es a un año, contexto acotado en la *Tabla 6.6*, en la *Tabla 6.12* y en la *Tabla 6.15*. Valores que describen (por lo menos desde la perspectiva del razonamiento aproximado y del sentido común) con objetividad el comportamiento de las laderas; durante los quince años de vida de San Luis, son los ambientes antrópicos más estables, sin que esto signifique que son excepcionales o muy seguros: su estabilidad ha estado siempre en el umbral de lo marginal y su activación tiene lugar en inviernos prolongados o durante lluvias intensas.

El panorama es aún más crítico, si la exposición toca los 10 años, las probabilidades condicionales trasiegan del 26.9% (GS3_3R) al 86% (GS7_2R); y son sencillamente catastróficas a los cincuenta años, la movilización de los depósitos sería inminente, las probabilidades de falla superarían el 69% y su máximo alcanzaría el 96% (véase la *Tabla 6.12* y la *Tabla 6.15*).

Esquema que pone de relieve que su movilización, al igual que lo fue la de los cuerpos de deslizamiento principales (el de Granda Sur y el de San Luis, tratados en el numeral 3.5.2.3 del capítulo 3), es asunto de tiempo. Los factores condicionantes en unos y otros, antes y ahora, permanecen vigentes. En otras

palabras, salvo que se hubiesen tomado correctivos importantes como la despresurización de los depósitos (bien con subdrenes horizontales o pozos de alivio, o bien con una combinación de éstos), la reducción de la masa activa (traducida en la descarga en la cabeza o el perfilado), y la puesta en marcha de sistemas de contención eficientes (y bien diseñados), las emergencias de 1996, casi a la par de la inauguración de la Urbanización San Luis, y la de abril de este año (el 2011) eran inevitables. La pregunta es, entonces, a que tasa de velocidad y cuando serán las próximas replicas.

6.2.3 ZONIFICACIÓN DE AMENAZA

Conocidas la composición geotécnica de cada ladera y las probabilidades condicionales, el último paso para obtener el mapa de Zonificación de Amenaza consiste en determinar las zonas de afectación esperadas por los procesos. Tales áreas fueron limitadas una vez estimadas las distancias probables de viaje de las masas: a) en los llenos, a través de la implementación del modelo establecido por P.J. Finlay et al (1.998), sus variables de entrada son: la morfometría del talud, la altura y la pendiente, y la profundidad de la masa involucrada, todas en función de coeficientes promedios o máximos (promedios más una desviación estándar) y que responden a la siguiente ecuación:

$$LogL = C0 + C1xI1 + C2xI2$$

Donde

C0, C1 y C2: Constantes del análisis estadístico (P.J. Finlay et al)

I1: Log H (altura del talud)

I2: Log (tan A) (inclinación de la cara del talud)

En el *Anexo E.6* se condensan las longitudes calculadas (tanto para los coeficientes promedios, reconocidos como los más apropiados, como para los máximos) para todos los cuerpos potencialmente inestables discriminados por sección. Conjugados los datos obtenidos del PEM y de los modelos para distancias de viaje, se dividió la zona de estudio, según la categorización de Amenaza propuesta por González y Millán (1.999), demarcada en el "Estudio de Zonificación de Santa Fe de Bogotá" y adaptada al área en estudio (véase la *Tabla 6.17*).

El *Plano 8* ilustra los resultados de la zonificación de amenaza a 10 años, definida en delante como actual, rótulo otorgado dado que la vida de las superficies libres, salvo por las de las secciones S2, S3, y S5, reconfiguradas por los cuerpos de deslizamiento en los primeros años de la década del 2000, se acerca a este contexto temporal, y a los 30 años. En la configuración actual, los escenarios de amenaza alta, se concentran en los dos principales nichos de deslizamiento, representados por parte o la totalidad de las zonas homogéneas DLIMT-I-1 (en lo que atañe al primer nicho), LDIM-I-2 y LDMI-I-2 (si del segundo nicho se trata), causantes de los daños de las viviendas de la urbanización San Luis y de la manzana 17 de Montebello (véase el *Plano 8*); y en estelas (corredores) de las explanaciones receptoras de su movilización, adosadas a las unidades DLIMU-I-1 y LDIU- I-2. Le siguen en importancia las regiones LDIUm-I-1, LDIMU-I-2, LDIM-I-1 y DLIMU-I-1, pero sólo parcialmente, por su papel como captadoras de la retrogresión o de la movilización de los fenómenos, todas con categoría de amenaza media. Las fajas de terreno restantes, entre las que sobresalen extensos dominios de las zonas LDIU-I-1, DLIMU-I-2, LDIMU-I-2 y LDCR, obedecen a niveles de amenaza baja; categoría justificada por la preponderante morfología plana de las unidades.

TABLA 6.5 ESPERANZAS DEL FACTOR DE SEGURIDAD

SECCIÓN	SUPERFICIE DE FALLA	MATERIAL	VARIABLES DE ANÁLISIS				FS_{prom} (ESPERADOS)
			f'_{prom}	c (T/m²)	LLUVIA	SISMO	
1	GS1_1R	Qfg	12,9	0,05	No	No	1,25
					No	Si	0,54
					Si	No	0,82
					Si	Si	0,34
	GS1_2R				No	No	1,36
					No	Si	0,57
					Si	No	0,87
					Si	Si	0,34
	GS1_3R				No	No	1,44
					No	Si	0,60
					Si	No	0,95
					Si	Si	0,37
	GS1_4R				No	No	1,46
					No	Si	0,61
					Si	No	0,98
					Si	Si	0,38
	GS1_5R				No	No	1,50
					No	Si	0,61
					Si	No	0,99
					Si	Si	0,37
	GS1_6R				No	No	1,57
					No	Si	0,62
					Si	No	1,04
					Si	Si	0,38
	GS1_7R				No	No	1,56
					No	Si	0,60
					Si	No	1,02
					Si	Si	0,37
2	GS2_1R	Qdam	20,9	1,15	No	No	1,08
					No	Si	0,72
					Si	No	0,76
					Si	Si	0,49
	GS1_2R				No	No	1,13
					No	Si	0,72
					Si	No	0,79
					Si	Si	0,47
	GS2_3R				No	No	1,23
					No	Si	0,71
					Si	No	0,84
					Si	Si	0,47
	GS2_4R				No	No	1,24
					No	Si	0,65
					Si	No	0,89
					Si	Si	0,45
	GS2_5R				No	No	1,33
					No	Si	0,66
					Si	No	0,94
					Si	Si	0,44
	GS2_6R				No	No	1,18
					No	Si	0,64
					Si	No	0,85
					Si	Si	0,44
	GS2_7R				No	No	1,63
					No	Si	0,74
					Si	No	1,08
					Si	Si	0,47
	GS2_4R	Qfg	12,9	0,05	No	No	1,25
					No	Si	0,66
					Si	No	0,89
					Si	Si	0,45
	GS2_5R				No	No	1,34
					No	Si	0,66
					Si	No	0,95
					Si	Si	0,448
	GS2_6R				No	No	1,19
					No	Si	0,644
					Si	No	0,85
					Si	Si	0,446

TABLA 6.6 ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD (CONTINUACIÓN)

SECCIÓN	SUPERFICIE DE FALLA	MATERIAL	VARIABLES DE ANÁLISIS				FS_{prom} (ESPERADOS)
			f'_{prom}	c (T/m²)	LLUVIA	SISMO	
3	GS3-1R	Qdam	20,9	1,15	No	No	1,13
					No	Si	0,74
					Si	No	0,80
					Si	Si	0,50
	GS3-2R				No	No	1,24
					No	Si	0,63
					Si	No	0,82
					Si	Si	0,45
	GS3-3R				No	No	1,34
					No	Si	0,60
					Si	No	0,91
					Si	Si	0,41
	GS3-4R				No	No	1,72
					No	Si	0,70
					Si	No	1,13
					Si	Si	0,44
	GS3-3R	Qfg	12,9	0,05	No	No	1,37
					No	Si	0,65
					Si	No	0,92
					Si	Si	0,41
	GS3-6R				No	No	1,76
					No	Si	0,71
					Si	No	1,15
					Si	Si	0,44
4	GS4-1R	Qdau	20,9	1,15	No	No	1,64
					No	Si	0,77
					Si	No	1,24
					Si	Si	0,56
	GS4-1R*				No	No	1,54
					No	Si	0,72
					Si	No	1,14
					Si	Si	0,51
	GS4-2R				No	No	1,46
					No	Si	0,83
					Si	No	1,10
					Si	Si	0,49
	GS4-3R				No	No	1,44
					No	Si	0,63
					Si	No	1,12
					Si	Si	0,47
	GS4-4R				No	No	1,37
					No	Si	0,79
					Si	No	1,12
					Si	Si	0,44
	GS4-5R	Qfg	12,9	0,05	No	No	2,92
					No	Si	1,09
					Si	No	2,15
					Si	Si	0,77
	GS4-6R				No	No	3,18
					No	Si	1,14
					Si	No	2,32
					Si	Si	0,81
	GS4-2R*	Qdau	20,9	1,15	No	No	1,40
					No	Si	0,85
					Si	No	0,94
					Si	Si	0,46
	GS4-3R*				No	No	1,39
					No	Si	0,61
					Si	No	1,06
					Si	Si	0,45

TABLA 6.7 ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD (CONTINUACIÓN)

SECCIÓN	SUPERFICIE DE FALLA	MATERIAL	VARIABLES DE ANÁLISIS				FS_{prom} (ESPERADOS)
			f'_{prom}	c (T/m²)	LLUVIA	SISMO	
5	GS5-1R	Qdam	20,9	1,15	No	No	1,11
					No	Si	0,73
					Si	No	0,74
					Si	Si	0,46
	GS5-2R				No	No	1,00
					No	Si	0,64
					Si	No	0,68
					Si	Si	0,41
	GS5-3R				No	No	1,10
					No	Si	0,64
					Si	No	0,71
					Si	Si	0,39
	GS5-4R				No	No	1,32
					No	Si	0,66
					Si	No	0,86
					Si	Si	0,41
	GS5-5R				No	No	1,55
					No	Si	0,70
					Si	No	1,01
					Si	Si	0,43
	GS5-6R				No	No	1,75
					No	Si	0,71
					Si	No	1,15
					Si	Si	0,44
	GS5-7R				No	No	2,02
					No	Si	0,75
					Si	No	1,34
					Si	Si	0,47
	GS5-3R	Qfg	12,9	0,05	No	No	1,11
					No	Si	0,64
					Si	No	0,72
					Si	Si	0,39
	GS5-4R				No	No	1,34
					No	Si	0,67
					Si	No	0,87
					Si	Si	0,41
	GS5-5R				No	No	1,58
					No	Si	0,71
					Si	No	1,03
					Si	Si	0,35
	GS5-6R				No	No	1,67
					No	Si	0,68
					Si	No	1,21
					Si	Si	0,47
	GS5-7R				No	No	2,06
					No	Si	0,76
					Si	No	1,37
					Si	Si	0,38

TABLA 6.8 ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD (CONTINUACIÓN)

SECCIÓN	SUPERFICIE DE FALLA	MATERIAL	VARIABLES DE ANÁLISIS				FS_{prom} (ESPERADOS)
			f'_{prom}	c (T/m²)	LLUVIA	SISMO	
6	GS6-1R	Qdam	20,9	1,15	No	No	1,17
					No	Si	0,75
					Si	No	0,78
					Si	Si	0,47
	GS6-2R				No	No	1,12
					No	Si	0,69
					Si	No	0,72
					Si	Si	0,42
	GS6-3R				No	No	1,23
					No	Si	0,68
					Si	No	0,78
					Si	Si	0,41
	GS6-4R				No	No	1,52
					No	Si	0,71
					Si	No	1,01
					Si	Si	0,43
	GS6-5R				No	No	1,82
					No	Si	0,72
					Si	No	1,19
					Si	Si	0,45
	GS6-6R				No	No	2,06
					No	Si	0,75
					Si	No	1,35
					Si	Si	0,46
	GS6-2R	Qfg	12,9	0,05	No	No	1,14
					No	Si	0,71
					Si	No	0,74
					Si	Si	0,43
	GS5-4R				No	No	1,59
					No	Si	0,75
					Si	No	1,08
					Si	Si	0,48
	GS5-5R				No	No	1,93
					No	Si	0,77
					Si	No	1,29
					Si	Si	0,49
	GS5-6R				No	No	2,10
					No	Si	0,76
					Si	No	1,37
					Si	Si	0,47

TABLA 6.9 ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD (CONTINUACIÓN)

SECCIÓN	SUPERFICIE DE FALLA	MATERIAL	VARIABLES DE ANÁLISIS				FS $_{prom}$ (ESPERADOS)
			f´ $_{prom}$	c (T/m²)	LLUVIA	SISMO	
7	GS7-1R	Qdam	20,9	1,15	No	No	1,12
					No	Si	0,76
					Si	No	0,71
					Si	Si	0,45
	GS7-2R				No	No	0,91
					No	Si	0,60
					Si	No	0,56
					Si	Si	0,35
	GS7-3R				No	No	0,92
					No	Si	0,54
					Si	No	0,60
					Si	Si	0,33
	GS7-4R				No	No	1,23
					No	Si	0,60
					Si	No	0,82
					Si	Si	0,38
	GS7-5R				No	No	1,49
					No	Si	0,66
					Si	No	0,99
					Si	Si	0,41
	GS7-6R				No	No	1,63
					No	Si	0,68
					Si	No	1,07
					Si	Si	0,43
	GS7-7R				No	No	1,73
					No	Si	0,71
					Si	No	0,27
					Si	Si	0,44
	GS7-2R	Qfg	12,9	0,05	No	No	0,71
					No	Si	0,69
					Si	No	0,58
					Si	Si	0,36
	GS7-3R				No	No	1,00
					No	Si	0,58
					Si	No	0,65
					Si	Si	0,35
	GS7-4R				No	No	1,13
					No	Si	0,66
					Si	No	0,92
					Si	Si	0,42
	GS7-5R				No	No	1,52
					No	Si	0,67
					Si	No	1,01
					Si	Si	0,42
	GS7-6R				No	No	1,67
					No	Si	0,69
					Si	No	1,12
					Si	Si	0,44
	GS7-7R				No	No	1,97
					No	Si	0,73
					Si	No	1,30
					Si	Si	0,45

TABLA 6.10 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL

VARIABLES DE ANÁLISIS				CON GRIETA DE TRACCIÓN (G), ROTACIONAL (R) Y BLOQUE (B)											
				DISTRIBUCIÓN NORMAL											
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS											
Sección				S-1	S-1	S-1	S-1	S-1	S-1	S-1	S-1	S-1	S-1	S-1	S-1
Superficie de Falla				GS1-1R	GS1-1BG	GS1-2R	GS1-2BG	GS1-3R	GS1-3BG	GS1-4R	GS1-4BG	GS1-5R	GS1-6R	GS1-7R	GS1-8RG
Fricción	Cohesion (T/m^2)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.
ϕ_{max}	c_{max}	Sin	Sin	1.494	1.514	1.625	1.731	1.693	1.805	1.703	1.791	1.764	1.835	1.878	1.856
ϕ_{min}	c_{max}	Sin	Sin	1.026	1.042	1.120	1.215	1.200	1.275	1.233	1.261	1.258	1.319	1.286	1.318
ϕ_{max}	c_{min}	Sin	Sin	1.468	1.471	1.601	1.697	1.671	1.780	1.697	1.697	1.750	1.821	1.848	1.829
ϕ_{min}	c_{min}	Sin	Sin	1.000	0.999	1.096	1.181	1.178	1.250	1.217	1.181	1.243	1.305	1.256	1.291
ϕ_{max}	c_{max}	Sin	Con	0.649	0.677	0.679	0.713	0.709	0.719	0.709	0.717	0.714	0.730	0.722	0.712
ϕ_{min}	c_{max}	Sin	Con	0.446	0.466	0.469	0.501	0.501	0.507	0.508	0.503	0.507	0.522	0.495	0.504
ϕ_{max}	c_{min}	Sin	Con	0.636	0.655	0.667	0.698	0.698	0.708	0.702	0.698	0.707	0.723	0.709	0.700
ϕ_{min}	c_{min}	Sin	Con	0.434	0.445	0.457	0.485	0.490	0.496	0.501	0.485	0.500	0.516	0.482	0.492
ϕ_{max}	c_{max}	Con	Sin	0.991	0.947	1.044	1.095	1.113	1.161	1.140	1.139	1.157	1.205	1.234	1.212
ϕ_{min}	c_{max}	Con	Sin	0.684	0.657	0.726	0.782	0.804	0.836	0.838	0.817	0.838	0.881	0.849	0.879
ϕ_{max}	c_{min}	Con	Sin	0.965	0.904	1.019	1.061	1.091	1.136	1.124	1.061	1.142	1.191	1.204	1.185
ϕ_{min}	c_{min}	Con	Sin	0.658	0.613	0.701	0.748	0.782	0.811	0.822	0.748	0.823	0.867	0.819	0.852
ϕ_{max}	c_{max}	Con	Con	0.403	0.394	0.407	0.421	0.436	0.432	0.441	0.424	0.437	0.448	0.445	0.434
ϕ_{min}	c_{max}	Con	Con	0.280	0.275	0.284	0.301	0.313	0.310	0.322	0.303	0.314	0.325	0.307	0.314
ϕ_{max}	c_{min}	Con	Con	0.391	0.372	0.396	0.406	0.425	0.420	0.433	0.406	0.430	0.441	0.432	0.423
ϕ_{min}	c_{min}	Con	Con	0.267	0.253	0.273	0.286	0.303	0.299	0.314	0.286	0.307	0.319	0.294	0.302
				0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g
			w	W_1 max	W_1 max	W_1 max	W_1 max	W_1 max	W_1 max	W_1 max	W_1 max	W_1 max	W_1 max	W_1 max	W_1 max
Material				Qfg	Qfg	Qfg	Qfg	Qfg	Qfg	Qfg	Qfg	Qfg	Qfg	Qfg	Qfg
Valores paramétricos empleados en cada sección	ϕ_{max}			15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7
	ϕ_{min}			10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8
	c_{max} (ton/m²)			0.05	0.10	0.05	0.10	0.05	0.10	0.05	0.10	0.05	0.05	0.10	0.10
	c_{min} (ton/m²)			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método PEM			N	0.1709	0.1663	0.1017	0.0618	0.0599	0.0419	0.0448	0.0553	0.0417	0.0286	0.0433	0.0318
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM			N	0.3653	0.3772	0.2934	0.2399	0.2235	0.1854	0.1915	0.2225	0.1829	0.1446	0.1637	0.1499
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM			N	0.5798	0.6094	0.5060	0.4383	0.4067	0.3474	0.3569	0.4097	0.3425	0.2778	0.3014	0.2853
Probabilidad de falla (Pf) a 50 años Método PEM			N	0.7625	0.8054	0.6889	0.6116	0.5687	0.4940	0.5059	0.5747	0.4872	0.4030	0.4296	0.4121

TABLA 6.11 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL (CONTINUACIÓN)

VARIABLES DE ANÁLISIS				CON GRIETA DE TRACCIÓN (G), ROTACIONAL (R) Y BLOQUE (B)											
				DISTRIBUCIÓN NORMAL											
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS											
Sección				S-1	S-1	S-2	S-2	S-2	S-2	S-2	S-2	S-2	S-2	S-2	S-2
Superficie de Falla				GS1-9RG	GS1-10RG	GS2-1R	GS2-2R	GS2-3R	GS2-4R	GS2-4R	GS2-5R	GS2-5R	GS2-6R	GS2-6R	GS2-7R
Fricción	Cohesion (T/m^2)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.
ϕ_{max}	c_{max}	Sin	Sin	1.699	1.641	1.284	1.341	1.430	1.367	1.322	1.454	1.419	1.321	1.228	1.790
ϕ_{min}	c_{max}	Sin	Sin	1.194	1.162	0.990	1.025	1.099	1.164	1.191	1.241	1.263	1.091	1.155	1.526
ϕ_{max}	c_{min}	Sin	Sin	1.661	1.588	1.162	1.229	1.355	1.322	1.316	1.410	1.413	1.275	1.224	1.724
ϕ_{min}	c_{min}	Sin	Sin	1.156	1.109	0.869	0.914	1.024	1.118	1.186	1.196	1.257	1.044	1.151	1.464
ϕ_{max}	c_{max}	Sin	Con	0.692	0.680	0.864	0.857	0.834	0.721	0.690	0.723	0.700	0.718	0.663	0.813
ϕ_{min}	c_{max}	Sin	Con	0.486	0.482	0.672	0.661	0.643	0.611	0.627	0.615	0.627	0.593	0.627	0.692
ϕ_{max}	c_{min}	Sin	Con	0.674	0.656	0.771	0.775	0.784	0.692	0.687	0.697	0.697	0.688	0.661	0.779
ϕ_{min}	c_{min}	Sin	Con	0.468	0.457	0.580	0.580	0.593	0.583	0.624	0.589	0.624	0.564	0.625	0.660
ϕ_{max}	c_{max}	Con	Sin	1.096	1.101	0.918	0.944	0.984	0.975	0.936	1.028	0.998	0.944	0.879	1.196
ϕ_{min}	c_{max}	Con	Sin	0.784	0.795	0.729	0.743	0.780	0.846	0.857	0.894	0.901	0.802	0.833	1.028
ϕ_{max}	c_{min}	Con	Sin	1.058	1.049	0.796	0.833	0.908	0.928	0.931	0.983	0.991	0.898	0.876	1.130
ϕ_{min}	c_{min}	Con	Sin	0.745	0.742	0.608	0.631	0.704	0.800	0.851	0.849	0.895	0.756	0.829	0.964
ϕ_{max}	c_{max}	Con	Con	0.416	0.430	0.588	0.572	0.546	0.498	0.470	0.490	0.470	0.495	0.457	0.518
ϕ_{min}	c_{max}	Con	Con	0.298	0.311	0.475	0.458	0.436	0.430	0.436	0.426	0.429	0.422	0.437	0.445
ϕ_{max}	c_{min}	Con	Con	0.399	0.406	0.497	0.491	0.495	0.469	0.468	0.464	0.467	0.466	0.455	0.485
ϕ_{min}	c_{min}	Con	Con	0.280	0.286	0.384	0.377	0.384	0.401	0.434	0.399	0.426	0.393	0.435	0.412
			w	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g
				W_1 max	W_1 max	W_1 max	W_1 max	W_1 max	W_1 max	W_1 max	W_1 max	W_1 max	W_1 max	W_1 max	W_1 max
Material				Qfg	Qfg	Qdam	Qdam	Qdam	Qdam	Qfg	Qdam	Qfg	Qdam	Qfg	Qdam
Valores paramétricos empleados en cada sección	ϕ_{max}			15.7	15.7	24.0	24.0	24.0	24.0	15.7	24.0	15.7	24.0	15.7	24.0
	ϕ_{min}			10.8	10.8	17.6	17.6	17.6	17.6	10.8	17.6	10.8	17.6	10.8	17.6
	c_{max} (ton/m²)			0.10	0.10	1.50	1.50	1.50	1.50	0.10	1.50	0.10	1.50	0.10	1.50
	c_{min} (ton/m²)			0.00	0.00	0.80	0.80	0.80	0.80	0.00	0.80	0.00	0.80	0.00	0.80
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método PEM			N	0.0683	0.0816	0.3360	0.2460	0.1175	0.0423	0.0347	0.0299	0.0305	0.0903	0.0348	0.0081
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM			N	0.2450	0.2547	0.5134	0.4443	0.3401	0.2919	0.2974	0.2470	0.2617	0.3335	0.2984	0.0717
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM			N	0.4420	0.4478	0.7083	0.6622	0.5851	0.5664	0.5857	0.4871	0.5167	0.6006	0.5877	0.1497
Probabilidad de falla (Pf) a 50 años Método PEM			N	0.6140	0.6160	0.8720	0.8455	0.7920	0.7975	0.8273	0.6926	0.7334	0.8248	0.8300	0.2338

TABLA 6.12 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL (CONTINUACIÓN)

VARIABLES DE ANÁLISIS				CON GRIETA DE TRACCIÓN (G), ROTACIONAL (R) Y BLOQUE (B) DISTRIBUCIÓN NORMAL CONDICIÓN DE ANÁLISIS											
Sección				S-2	S-2	S-2	S-2	S-3	S-3	S-3	S-3	S-3	S-3	S-4	S-4
Superficie de Falla				GS2-8RG	GS2-8RG2	GS2-9B	GS2-9B2	GS3-1R	GS3-2R	GS3-3R	GS3-3R	GS3-4R	GS3-4R	GS4-1R	GS4-2R
Fricción	Cohesion (T/m^2)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.
ϕ_{max}	c_{max}	Sin	Sin	1.675	1.756	1.036	1.168	1.351	1.422	1.519	1.574	1.834	1.981	1.893	1.665
ϕ_{min}	c_{max}	Sin	Sin	1.388	1.426	0.872	0.948	1.039	1.123	1.324	1.095	1.655	1.546	1.550	1.359
ϕ_{max}	c_{min}	Sin	Sin	1.610	1.682	0.997	1.128	1.225	1.351	1.476	1.563	1.789	1.966	1.528	1.436
ϕ_{min}	c_{min}	Sin	Sin	1.322	1.357	0.826	0.894	0.915	1.052	1.025	1.271	1.610	1.531	1.187	1.130
ϕ_{max}	c_{max}	Sin	Con	0.817	0.867	0.619	0.643	0.887	0.823	0.594	0.747	0.748	0.805	0.888	0.776
ϕ_{min}	c_{max}	Sin	Con	0.677	0.704	0.520	0.521	0.689	0.351	0.630	0.512	0.674	0.630	0.737	1.057
ϕ_{max}	c_{min}	Sin	Con	0.780	0.826	0.587	0.611	0.794	0.776	0.702	0.741	0.727	0.798	0.695	1.015
ϕ_{min}	c_{min}	Sin	Con	0.640	0.663	0.486	0.491	0.597	0.604	0.475	0.607	0.653	0.623	0.545	0.516
ϕ_{max}	c_{max}	Con	Sin	1.151	1.150	0.795	0.853	0.966	0.948	0.993	1.017	1.214	1.296	1.426	1.243
ϕ_{min}	c_{max}	Con	Sin	0.974	0.947	0.688	0.715	0.766	0.761	0.867	0.838	1.094	1.025	1.218	1.057
ϕ_{max}	c_{min}	Con	Sin	1.085	1.076	0.784	0.803	0.840	0.876	0.949	1.006	1.168	1.280	1.067	0.654
ϕ_{min}	c_{min}	Con	Sin	0.908	0.872	0.638	0.666	0.640	0.689	0.822	0.827	1.049	1.009	0.859	0.829
ϕ_{max}	c_{max}	Con	Con	0.538	0.540	0.473	0.463	0.603	0.521	0.450	0.454	0.469	0.497	0.647	0.558
ϕ_{min}	c_{max}	Con	Con	0.457	0.445	0.409	0.388	0.487	0.421	0.391	0.379	0.422	0.396	0.565	0.481
ϕ_{max}	c_{min}	Con	Con	0.501	0.499	0.441	0.430	0.511	0.473	0.425	0.448	0.448	0.490	0.461	0.439
ϕ_{min}	c_{min}	Con	Con	0.420	0.404	0.375	0.365	0.395	0.373	0.366	0.374	0.401	0.389	0.380	0.361
			w	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max
Material				Qdam	Qdam	Qdam	Qdam	Qdam	Qdam	Qfg	Qdam	Qdam	Qfg	Qdau	Qdau
Valores paramétricos empleados en cada sección		ϕ_{max}		24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	15.70	24.0	24.00	15.7	24.0	24.0
		ϕ_{min}		17.6	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6	10.80	17.6	17.60	10.8	17.6	17.6
		c_{max} (ton/m^2)		1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	0.10	1.50	1.50	0.10	1.50	1.50
		c_{min} (ton/m^2)		0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.00	0.80	0.80	0.00	0.00	0.00
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método PEM			N	0.0147	0.0175	0.7917	0.4028	0.2366	0.0910	0.0613	0.0680	0.0027	0.0066	0.0229	0.0373
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM			N	0.1253	0.1482	0.8486	0.5658	0.4338	0.3306	0.2691	0.3019	0.0259	0.0571	0.0970	0.1964
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM			N	0.2528	0.2970	0.9110	0.7447	0.6507	0.5941	0.4990	0.5595	0.0611	0.1210	0.1860	0.3766
Probabilidad de falla (Pf) a 50 años Método PEM			N	0.3740	0.4343	0.9636	0.8945	0.8335	0.8157	0.6960	0.7771	0.1139	0.1948	0.2781	0.5390

TABLA 6.13 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL (CONTINUACIÓN)

VARIABLES DE ANÁLISIS				CON GRIETA DE TRACCIÓN (G), ROTACIONAL (R) Y BLOQUE (B)											
				DISTRIBUCIÓN NORMAL											
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS											
Sección				S-4	S-4	S-4	S-4	S-4	S-4	S-4	S-4	S-4	S-5	S-5	S-5
Superficie de Falla				GS4-3R	GS4-1R*	GS4-2R*	GS4-3R*	GS4-4R*	GS4-5R*	GS4-6R*	GS4-7RG	GS4-8RG	GS5-1R	GS5-2R	GS5-3R
Fricción	Cohesion (T/m^2)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.
ϕ_{max}	c_{max}	Sin	Sin	1.625	1.301	1.261	1.357	1.476	2.410	3.428	1.625	1.652	1.329	1.181	1.245
ϕ_{min}	c_{max}	Sin	Sin	1.348	0.981	0.904	1.081	1.302	2.276	3.321	1.115	1.138	1.023	0.922	1.021
ϕ_{max}	c_{min}	Sin	Sin	1.429	1.277	1.209	1.344	1.466	2.399	3.419	1.585	1.599	1.190	1.087	1.182
ϕ_{min}	c_{min}	Sin	Sin	1.152	0.897	0.820	1.042	1.277	2.265	3.311	1.075	1.085	0.894	0.828	0.959
ϕ_{max}	c_{max}	Sin	Con	0.715	0.621	0.594	0.600	0.609	0.903	1.225	0.681	0.713	0.862	0.755	0.723
ϕ_{min}	c_{max}	Sin	Con	0.594	0.505	0.434	0.475	0.525	0.851	1.185	0.468	0.492	0.692	0.593	0.594
ϕ_{max}	c_{min}	Sin	Con	0.618	0.608	0.572	0.591	0.604	0.899	1.221	0.662	0.687	0.768	0.685	0.682
ϕ_{min}	c_{min}	Sin	Con	0.496	0.458	0.388	0.456	0.514	0.846	1.181	0.449	0.466	0.588	0.524	0.552
ϕ_{max}	c_{max}	Con	Sin	1.247	1.011	0.994	0.846	0.913	1.617	2.306	1.097	1.160	0.899	0.805	0.810
ϕ_{min}	c_{max}	Con	Sin	1.078	0.859	0.715	0.723	0.817	1.530	2.236	0.758	0.804	0.725	0.653	0.678
ϕ_{max}	c_{min}	Con	Sin	1.052	0.988	0.930	0.833	0.903	1.606	2.297	1.057	1.106	0.761	0.710	0.746
ϕ_{min}	c_{min}	Con	Sin	0.882	0.835	0.631	0.710	0.807	1.520	2.226	0.718	0.751	0.588	0.557	0.614
ϕ_{max}	c_{max}	Con	Con	0.530	0.473	0.455	0.349	0.351	0.574	0.781	0.434	0.479	0.563	0.485	0.444
ϕ_{min}	c_{max}	Con	Con	0.461	0.410	0.331	0.297	0.311	0.542	0.756	0.301	0.333	0.465	0.399	0.373
ϕ_{max}	c_{min}	Con	Con	0.433	0.461	0.422	0.342	0.346	0.570	0.778	0.415	0.453	0.462	0.416	0.400
ϕ_{min}	c_{min}	Con	Con	0.362	0.398	0.286	0.290	0.307	0.537	0.752	0.282	0.307	0.363	0.329	0.329
			w	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max
Material				Qdau	Qdau*	Qdau*	Qdau*	Qdau*	Qdau*	Qdau*	Qdau*	Qdau*	Qdam	Qdam	Qdam
Valores paramétricos empleados en cada sección	ϕ_{max}			24.0	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	24.0	24.0	24.0
	ϕ_{min}			17.6	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	17.6	17.6	17.6
	c_{max} (ton/m^2)			1.50	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	1.50	1.50	1.50
	c_{min} (ton/m^2)			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.80	0.80
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método PEM			N	0.0212	0.2783	0.4149	0.1089	0.0348	0.0021	0.0001	0.1071	0.0943	0.2760	0.5046	0.2155
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM			N	0.1118	0.4353	0.5472	0.3522	0.2979	0.0208	0.0059	0.2766	0.2403	0.4715	0.6399	0.4297
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM			N	0.2182	0.6091	0.6935	0.6193	0.5867	0.0513	0.0290	0.4656	0.4039	0.6861	0.7883	0.6648
Probabilidad de falla (Pf) a 50 años Método PEM			N	0.3233	0.7584	0.8186	0.8429	0.8287	0.0999	0.0810	0.6306	0.5502	0.8661	0.9126	0.8618

*Se asumieron los mismos parametros de Qfg para Qdau .

TABLA 6.14 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL (CONTINUACIÓN)

VARIABLES DE ANÁLISIS				CON GRIETA DE TRACCIÓN (G), ROTACIONAL (R) Y BLOQUE (B)												
				DISTRIBUCIÓN NORMAL												
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS												
Sección				S-5	S-5	S-5	S-5	S-5	S-5	S-5	S-5	S-5	S-6	S-6	S-6
Superficie de Falla				GS5-3R	GS5-4R	GS5-4R	GS5-5R	GS5-5R	GS5-6R	GS5-6R	GS5-7R	GS5-7R	GS6-1R	GS6-2R	GS6-2R
Fricción	Cohesion (T/m^2)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.
ϕ_{max}	c_{max}	Sin	Sin	1.179	1.450	1.461	1.686	1.745	1.888	1.756	2.142	2.316	1.393	1.301	1.189
ϕ_{min}	c_{max}	Sin	Sin	1.051	1.244	1.224	1.479	1.423	1.681	1.584	1.939	1.816	1.084	1.020	1.138
ϕ_{max}	c_{min}	Sin	Sin	1.173	1.393	1.451	1.625	1.732	1.829	1.981	2.093	2.295	1.246	1.216	1.148
ϕ_{min}	c_{min}	Sin	Sin	1.045	1.187	1.215	1.417	1.410	1.622	1.334	1.890	1.794	0.938	0.935	1.095
ϕ_{max}	c_{max}	Sin	Con	0.680	0.733	0.733	0.761	0.783	0.770	0.715	0.794	0.857	0.902	0.809	0.736
ϕ_{min}	c_{max}	Sin	Con	0.611	0.628	0.618	0.666	0.642	0.686	0.645	0.719	0.673	0.710	0.637	0.708
ϕ_{max}	c_{min}	Sin	Con	0.677	0.700	0.728	0.730	0.767	0.743	0.805	0.774	0.848	0.794	0.748	0.709
ϕ_{min}	c_{min}	Sin	Con	0.607	0.595	0.613	0.635	0.635	0.659	0.533	0.699	0.664	0.602	0.576	0.679
ϕ_{max}	c_{max}	Con	Sin	0.762	0.950	0.951	1.111	1.147	1.245	1.153	1.430	1.542	0.943	0.842	0.776
ϕ_{min}	c_{max}	Con	Sin	0.681	0.825	0.800	0.965	0.937	1.118	1.343	1.305	1.216	0.764	0.681	0.744
ϕ_{max}	c_{min}	Con	Sin	0.756	0.892	0.941	1.050	1.130	1.186	1.296	1.381	1.521	0.796	0.756	0.737
ϕ_{min}	c_{min}	Con	Sin	0.675	0.767	0.790	0.923	0.924	1.059	1.033	1.256	1.194	0.616	0.594	0.702
ϕ_{max}	c_{max}	Con	Con	0.411	0.453	0.448	0.475	0.484	0.480	0.443	0.503	0.541	0.576	0.492	0.450
ϕ_{min}	c_{max}	Con	Con	0.372	0.394	0.381	0.421	0.400	0.432	0.537	0.460	0.428	0.477	0.402	0.435
ϕ_{max}	c_{min}	Con	Con	0.407	0.420	0.443	0.443	0.478	0.453	0.496	0.483	0.532	0.471	0.431	0.425
ϕ_{min}	c_{min}	Con	Con	0.368	0.360	0.376	0.389	0.394	0.405	0.397	0.440	0.419	0.371	0.340	0.408
			w	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max
Material				Qfg	Qdam	Qfg	Qdam	Qfg	Qdam	Qfg	Qdam	Qfg	Qdam	Qdam	Qfg
Valores paramétricos empleados en cada sección		ϕ_{max}		15.7	24.0	15.7	24.0	15.7	24.0	15.7	24.0	15.7	24.0	24.0	15.7
		ϕ_{min}		10.8	17.6	10.8	17.6	10.8	17.6	10.8	17.6	10.8	17.6	17.6	10.8
		c_{max} (ton/m²)		0.10	1.50	0.10	1.50	0.10	1.50	0.10	1.50	0.10	1.5	1.5	0.10
		c_{min} (ton/m²)		0.00	0.80	0.00	0.80	0.00	0.80	0.00	0.80	0.00	0.8	0.8	0.00
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método PEM			N	0.0733	0.0354	0.0355	0.0163	0.0144	0.0025	0.0057	0.0021	0.0025	0.1901	0.2350	0.0348
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM			N	0.3264	0.2943	0.2880	0.1412	0.1237	0.0246	0.0337	0.0208	0.0241	0.4046	0.4437	0.2984
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM			N	0.6041	0.5785	0.5655	0.2899	0.2499	0.0585	0.0741	0.0513	0.0576	0.6403	0.6728	0.5877
Probabilidad de falla (Pf) a 50 años Método PEM			N	0.8368	0.8170	0.7990	0.4165	0.3701	0.1097	0.1300	0.0999	0.1080	0.8384	0.8646	0.8348

TABLA 6.15 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL (CONTINUACIÓN)

VARIABLES DE ANÁLISIS				CON GRIETA DE TRACCIÓN (G), ROTACIONAL (R) Y BLOQUE (B)											
				DISTRIBUCIÓN NORMAL											
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS											
Sección				S-6	S-6	S-6	S-6	S-6	S-6	S-7	S-7	S-7	S-7	S-7	S-7
Superficie de Falla				GS6-3R	GS6-4R	GS6-4R	GS6-5R	GS6-5R	GS6-6R	GS7-1R	GS7-2R	GS7-2R	GS7-3R	GS7-3R	GS7-4R
Fricción	Cohesion (T/m^2)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.
ϕ_{max}	c_{max}	Sin	Sin	1.382	1.659	1.796	1.942	2.241	2.173	1.339	1.077	0,970'	1.037	1.077	1.326
ϕ_{min}	c_{max}	Sin	Sin	1.134	1.445	1.504	1.755	1.795	1.992	1.052	0.863	0.913	0.873	0.932	1.175
ϕ_{max}	c_{min}	Sin	Sin	1.318	1.590	1.681	1.892	2.073	2.126	1.191	1.005	0.966	0.971	1.069	1.275
ϕ_{min}	c_{min}	Sin	Sin	1.068	1.376	1.389	1.704	1.626	1.945	0.904	0.791	0.909	0.807	0.923	1.124
ϕ_{max}	c_{max}	Sin	Con	0.773	0.783	0.846	0.772	0.894	0.791	0.913	0.713	0.938	0.605	0.624	0.642
ϕ_{min}	c_{max}	Sin	Con	0.633	0.681	0.714	0.697	0.719	0.725	0.725	0.574	0.604	0.511	0.542	0.589
ϕ_{max}	c_{min}	Sin	Con	0.732	0.746	0.788	0.750	0.821	0.772	0.800	0.659	0.635	0.561	0.619	0.614
ϕ_{min}	c_{min}	Sin	Con	0.592	0.644	0.655	0.674	0.646	0.706	0.613	0.520	0.601	0.467	0.537	0.541
ϕ_{max}	c_{max}	Con	Sin	0.883	1.111	1.228	1.274	1.519	1.424	0.851	0.673	0.602	0.679	0.704	0.892
ϕ_{min}	c_{max}	Con	Sin	0.739	0.980	1.040	1.163	1.232	1.317	0.703	0.560	0.569	0.588	0.609	0.806
ϕ_{max}	c_{min}	Con	Sin	0.818	1.041	1.115	1.224	1.351	1.377	0.707	0.601	0.598	0.613	0.697	0.841
ϕ_{min}	c_{min}	Con	Sin	0.672	0.910	0.925	1.112	1.063	1.270	0.559	0.487	0.564	0.520	0.601	0.754
ϕ_{max}	c_{max}	Con	Con	0.467	0.500	0.552	0.480	0.577	0.491	0.546	0.417	0.369	0.370	0.379	0.408
ϕ_{min}	c_{max}	Con	Con	0.391	0.441	0.473	0.438	0.472	0.454	0.463	0.352	0.352	0.324	0.330	0.370
ϕ_{max}	c_{min}	Con	Con	0.424	0.463	0.495	0.457	0.504	0.472	0.442	0.364	0.367	0.326	0.374	0.380
ϕ_{min}	c_{min}	Con	Con	0.348	0.307	0.415	0.415	0.399	0.435	0.358	0.299	0.349	0.279	0.325	0.341
			w	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max
Material				Qdam	Qdam	Qfg	Qdam	Qfg	Qdam	Qdam	Qdam	Qfg	Qdam	Qfg	Qdam
Valores paramétricos empleados en cada sección		ϕ_{max}		24.0	24.0	15.7	24.0	15.7	24.0	24.0	24.0	15.7	24.0	15.7	24.0
		ϕ_{min}		17.6	17.6	10.8	17.6	10.8	17.6	17.6	17.6	10.8	17.6	10.8	17.6
		c_{max} (ton/m²)		1.5	1.5	0.10	1.5	0.10	1.5	1.5	1.5	0.10	1.5	0.10	1.5
		c_{min} (ton/m²)		0.8	0.8	0.00	0.8	0.00	0.8	0.8	0.8	0.00	0.8	0.00	0.8
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método PEM			N	0.0714	0.0166	0.0099	0.0021	0.0033	0.0021	0.2482	0.7330	0.7765	0.8219	0.5160	0.0368
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM			N	0.3244	0.1437	0.0868	0.0210	0.0310	0.0208	0.4529	0.8031	0.8374	0.8705	0.6482	0.2998
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM			N	0.6021	0.2887	0.1788	0.0516	0.0709	0.0513	0.6777	0.8860	0.9042	0.9239	0.7932	0.5884
Probabilidad de falla (Pf) a 50 años Método PEM			N	0.8300	0.4230	0.2734	0.1004	0.1268	0.0999	0.8661	0.9530	0.9604	0.9686	0.9148	0.8302

TABLA 6.16 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL (CONTINUACIÓN)

VARIABLES DE ANÁLISIS				CON GRIETA DE TRACCION (G), ROTACIONAL (R) Y BLOQUE (B)						
				DISTRIBUCIÓN NORMAL						
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS						
Sección				S-7	S-7	S-7	S-7	S-7	S-7	S-7
Superficie de Falla				GS7-4R	GS7-5R	GS7-5R	GS7-6R	GS7-6R	GS7-7R	GS7-7R
Fricción	Cohesion (T/m^2)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.
ϕ_{max}	c_{max}	Sin	Sin	1.515	1.574	1.716	1.715	1.049	1.195	2.261
ϕ_{min}	c_{max}	Sin	Sin	1.238	1.443	1.339	1.589	0.837	1.879	1.692
ϕ_{max}	c_{min}	Sin	Sin	1.504	1.539	1.700	1.679	0.978	1.964	2.239
ϕ_{min}	c_{min}	Sin	Sin	0.226	1.408	1.324	1.554	0.765	1.849	1.670
ϕ_{max}	c_{max}	Sin	Con	0.730	0.697	0.759	0.709	0.695	0.737	0.834
ϕ_{min}	c_{max}	Sin	Con	0.598	0.639	0.593	0.658	0.558	0.694	0.625
ϕ_{max}	c_{min}	Sin	Con	0.724	0.680	0.753	0.693	0.641	0.724	0.826
ϕ_{min}	c_{min}	Sin	Con	0.592	0.622	0.585	0.641	0.504	0.682	0.616
ϕ_{max}	c_{max}	Con	Sin	1.015	1.047	1.142	1.148	0.655	0.317	1.492
ϕ_{min}	c_{max}	Con	Sin	0.836	0.972	0.895	1.076	0.543	0.251	1.123
ϕ_{max}	c_{min}	Con	Sin	1.004	1.012	1.127	1.013	0.584	0.287	1.471
ϕ_{min}	c_{min}	Con	Sin	0.824	0.937	0.880	1.041	0.471	0.220	1.101
ϕ_{max}	c_{max}	Con	Con	0.461	0.437	0.475	0.448	0.406	0.460	0.521
ϕ_{min}	c_{max}	Con	Con	0.381	0.407	0.374	0.422	0.343	0.438	0.393
ϕ_{max}	c_{min}	Con	Con	0.455	0.419	0.468	0.432	0.354	0.448	0.512
ϕ_{min}	c_{min}	Con	Con	0.375	0.389	0.366	0.405	0.290	0.425	0.384
			w	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max	0,22 g W_1 max
Material				Qfg	Qdam	Qfg	Qdam	Qfg	Qdam	Qfg
Valores paramétricos empleados en cada sección		ϕ_{max}		15.7	24.0	15.7	24.0	15.7	24.0	15.7
		ϕ_{min}		10.8	17.6	10.8	17.6	10.8	17.6	10.8
		c_{max} (ton/m²)		0.10	1.5	0.10	1.5	0.10	1.5	0.10
		c_{min} (ton/m²)		0.00	0.8	0.00	0.8	0.00	0.8	0.00
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método PEM			N	0.4135	0.0210	0.0201	0.0049	0.0102	0.0021	0.0042
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM			N	0.5266	0.1813	0.1518	0.0448	0.0805	0.0208	0.0360
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM			N	0.6526	0.3614	0.3016	0.0996	0.1656	0.0513	0.0802
Probabilidad de falla (Pf) a 50 años Método PEM			N	0.7624	0.5220	0.4395	0.1629	0.2549	0.0990	0.1392

TABLA 6.17 CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA (ADAPTADO DE GONZÁLEZ Y MILLÁN, 1999)

FACTOR DE SEGURIDAD		PROBABILIDAD DE FALLA		NIVEL DE AMENAZA	
DE	A	DE	A		
0.1954	1.2000	0.9569	0.3894	Alta	A
1.2000	1.900	0.3894	0.1289	Media	M
1.900	4.8764	0.1289	0.0040	Baja	B

La imagen es más drástica hacia futuro: 50 años. Las regiones LDIUm-I-1, LDIMU-I-2, LDIM-I-1 y DLIMU-I-1, mutan de amenaza media a alta, los deslizamientos rotacionales en los llenos mineros y en la conjunción llenos mineros-fluvioglacial y llenos urbanísticos-fluvioglacial, y los flujos locales de tierra tendrían lugar protagónico. El uso residencial (o para construcción de viviendas) está y estaría, tajantemente, vedado; restricción que, a priori, es poco o nada recomendable levantar (tema que se retoma en el capítulo 8), aún para escenarios locales o muy reducidos; la puesta en marcha de *robustos* sistemas de estabilización, contención y mitigación, que comprometen *enormes inversiones*, p.e. caissons, pantallas ancladas, pantallas con pilotes, muros en tierra armada, y perfilados (reconformación morfológica), invariablemente acompañados por redes de subdrenaje y de drenaje superficial (cunetas, zanjas de coronación, descoles, etc), difícilmente pueden garantizar, más allá de cualquier duda razonable, estados permanentes (en el tiempo) de amenaza baja en toda la vertiente (i.e en el área de estudio). En su lugar la adecuación (y puesta en marcha) de un parque metropolitano parece el destino más acorde (planteamiento que de ninguna manera puede ni debe desconocer la incorporación de medidas de mitigación).

Sólo los espacios circunvecinos a la carretera sexta, i.e. la DLIMU-I-2, la LDIU-I-2, y algunos de la ladera denudacional LDIU-I-1 (véanse los *Planos 7* y *8A*), exhiben los mejores réditos; su condición de amenaza es baja. De este conjunto, la unidad LDIU-I-1 y alguna extensión de la de LDIU-I-2, en esencia el cinturón contiguo a los cuerpos de deslizamiento (en una franja de hasta 20 m de ancho), son las más sensibles; la ejecución de cortes o excavaciones abrirían el compás para la aparición de nuevos focos de inestabilidad o para el aumento en la velocidad de deformación y viaje de los cuerpos que hoy día operan, y por consiguiente para la creación de nuevos espacios de amenaza alta. Consecuencias que por una parte hacen razonable la conservación de la apariencia (en morfometría y morfología) vigente hoy día en las laderas, y que por otra parte le otorgan claros reparos a la viabilidad de proyectos urbanísticos venideros (ya sean de vivienda, uni o multifamiliar, de centros comerciales, de polideportivos, etc).

ALCALDIA MAYOR
DE BOGOTA D.C.
GOBIERNO SEGURIDAD Y CONVIVENCIA
Fondo de prevención y
Atención a Emergencias

CLASIFICADO

ESTUDIO DE RIESGOS POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN PARA LOS BARRIOS GRANADA SUR, GRANADA SUR III SECTOR, VILLA NATALY 20 DE JULIO, MONTEBELLO Y URBANIZACIONES SAN LUIS Y PADUA DE LA LOCALIDAD DE SAN CRISTÓBAL, EN BOGOTÁ D.C.

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

Diagonal 47 Nº 77B-09 Interior 11

PBX: 4297414

Bogotá D.C., Colombia

GIA - 064- 10

CONTRATO No. Cons. 619 - 2010

INFORME FINAL

PARTE 2 (pp. 197 – 397) DE X PARTES

ORIGINAL - TEXTO

JULIO DE 2011

De acuerdo con el artículo 20 de la Ley 23 de 1982, los Derechos de Autor pertenecen al FOPAE. La solicitud para reproducir este documento parcial o totalmente, se debe dirigir por escrito al Director del FOPAE.

GIA CONSULTORES LTDA

Carrera 16 A No. 86 A – 02 Of. 202

Bogotá D.C., Colombia

CAPÍTULO 7

EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD Y RIESGO

EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD Y RIESGO

7.1 VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad, entendida como la predisposición intrínseca de un sujeto o elemento a sufrir daño debido a posibles acciones externas (La Red, 2000), es función de la exposición y de la resistencia, variables dependientes a su vez de la solicitud v.g. un deslizamiento. Es medible al grado de severidad de las consecuencias esperadas. Su cuantificación está dada por dos connotaciones: una en términos de costos por el daño físico y otra por el peso específico de las variables que inciden en la función socioeconómica (Millán, J.A., 2000). Su evolución contribuye en forma fundamental al conocimiento del riesgo mediante interacciones del elemento susceptible con el ambiente peligroso; en otras palabras, tiene como objetivo analizar la respuesta de los elementos frente a los diferentes fenómenos de remoción en masa potenciales y actuales y, junto con la evaluación de amenaza, dilucidar el(los) tratamiento(s) por adelantar. Dentro del referido contexto, por ejemplo, si las viviendas no se localizan en la zona de influencia o se encuentran expuestos y gracias a su resistencia no sufren daño alguno, puede optarse por convivir con el problema; en caso contrario, y según sea la gravedad de las consecuencias, se debe recurrir a obras de estabilidad o a programas de reasentamiento.

7.1.1 METODOLOGÍA

7.1.1.1 CRITERIOS APLICADOS

A la luz de la concepción de vulnerabilidad adoptada en este proyecto, la determinación de un índice que permita evaluarla, involucra las variables: resistencia y solicitud. Su asignación trae consigo grados de incertidumbre que aunados con la ausencia de modelos objetivos, universales y de apropiado sustento teórico, hacen que esta tarea recaiga en los métodos de racionamiento aproximado, y por ende, encierre algún nivel de subjetividad. Sin embargo, y en aras de subsanar éstas limitaciones la metodología empleada en este estudio, está fundada en la propuesta de LEONE (1996) ajustada con algunas modificaciones del consultor. Este procedimiento expresa la vulnerabilidad en función de los posibles daños que pueden sufrir los elementos situados en la zona de afectación previsible por el fenómeno, y que se definen en formas teórica y porcentual, a partir de las intensidades de daño. Aunque LEONE categoriza los niveles de resistencia con base en los sistemas estructurales de las unidades residenciales, en este caso se tuvieron en cuenta otras variables como: la calidad de la construcción, los sistemas de cimentación, la estructura y el

recubrimiento de la cubierta y los daños en la construcción, tal vez la de mayor importancia. Las mencionadas variables son ponderadas (véanse las *Tabla 7.1*a *Tabla 7.6*).

TABLA 7.1 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE RESPUESTA DE LA EDIFICACIÓN

CALIFICACIÓN DEL NIVEL DE RESISTENCIA						
VARIABLE	SISTEMA ESTRUCTURAL	CALIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN	PARTES ESTRUCTURALES (ENTREPISO)	TIPO DE CIMENTACIÓN	DAÑO EN LA CONSTRUCCIÓN	CALIFICACIÓN
Peso Importancia (%)	20	20	20	20	20	A, B, C, D, E, F o G.

TABLA 7.2 CALIFICACIÓN PARA VARIABLE: SISTEMA ESTRUCTURAL

CATEGORIZACIÓN	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
Bueno	Pórtico, mampostería estructural, muros portantes confinados	20
Regular	Muros portantes no confinados o combinación de confinados y pórtico con muros no confinados	14
Malo	Vivienda de 3 pisos con muros portantes no confinados, estructuras en materiales de recuperación o viviendas prefabricadas.	6

TABLA 7.3 CALIFICACIÓN PARA VARIABLE: CALIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN

CATEGORIZACIÓN	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
Buena	Muros plomados, elementos estructurales definidos geométricamente.	15
Regular	Muros con desplome, con elementos estructurales y no estructurales no definidos, hormigueo, losas irregulares.	10
Mala	Hormigueo intenso, muros con inclinaciones severas, o con juntas totalmente irregulares.	5

TABLA 7.4 CALIFICACIÓN PARA VARIABLE: PARTES ESTRUCTURALES

CATEGORIZACIÓN	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
Bueno	Entrepisos y/o pisos en concreto, metal o madera y Placa como cimentación; y entrepiso y/o pisos en concreto y viga de amarre.	20
Regular	Entrepisos y/o pisos en concreto o metal y cimentación en concreto ciclópeo; y entrepisos y/o pisos en concreto y sistema de cimentación mixto (*).	15
Malo	Entrepisos y/o pisos en madera y sistema de cimentación mixto (*) o en concreto ciclópeo.	10
Pésimo	Entrepisos y/o pisos metálicos y sistema de cimentación mixto (*).	5

TABLA 7.5 CALIFICACIÓN PARA VARIABLE: DAÑO EN LA CONSTRUCCIÓN (TOMADO Y ADAPTADO DE DAY, 1999)

CATEGORIZACIÓN	DESCRIPCIÓN	ABERTURA DE LA GRIETA (AI)	CALIFICACIÓN
Ninguno	Sin fisuras, ni fractura alguna o con grietas muy delgadas	<0,1mm	20
Leve	Incluyen grietas delgadas (o esbeltas) que pueden ser fácilmente cubiertas y fácilmente tratadas, suelen aparecer en el interior de la construcción, son visibles externamente cerca a las puertas y a las ventanas. Grietas visibles con una inspección cercana.	0,1mm<ai<5mm	18
Moderado	Grietas con alguna abertura significativa, que pueden ser resanadas convenientemente, son visibles en los muros exteriores por lo que es posible que una pequeña parte requiera ser reemplazada	5mm<ai <15mm, o varias grietas leves	15
Alto parcial	Grietas grandes que requieren un extenso trabajo de reparación, que incluye la demolición y el reemplazo de secciones de paredes (sobretodo cerca a las puertas y a las ventanas), marcos deformados, pisos y paredes perceptiblemente inclinados, pero, percibidos en un sólo elemento estructural o no estructural	15mm<ai<25mm (depende del número de elementos involucrados)	10
Alto total	Grietas grandes que requieren un extenso trabajo de reparación que incluye la demolición y el reemplazo de secciones de paredes (sobretodo cerca a las puertas y a las ventanas). Los marcos se exponen deformados, los pisos y las paredes yacen perceptiblemente inclinados, hay protuberancias en muros, pérdida de soporte en vigas y tuberías de servicio interrumpidas; todo replicado en varios elementos de la estructura	15mm<ai<25mm (depende del número de elementos involucrados)	8
Severo parcial	Requiere trabajos de reparación mayor del elemento deteriorado (i.e. reconstrucción parcial o total). Es notoria la pérdida de soporte en las vigas, las paredes deben ser apuntaladas; las ventanas se exponen rotas por deformación, y existe peligro por inestabilidad estructural en un sólo elemento de la estructura	ai≥25mm (depende del número de elementos involucrados)	4
Severo total	Acoge trabajos de reparación mayor, reconstrucción parcial o completa de elementos estructurales y no estructurales. Es patente la pérdida de porte en las vigas; las paredes deben ser apuntaladas; las ventanas se exponen rotas por deformación; y el peligro por inestabilidad estructural es latente en un varios elementos de la estructura	ai≥25mm (depende del número de elementos involucrados)	1

TABLA 7.6 CALIFICACIÓN PARA VARIABLE: SISTEMA DE CIMENTACIÓN

CATEGORIZACIÓN	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
Bueno	Zapatas y vigas de amarre	17
Regular	Zapatas aisladas o vigas de amarre.	13
Malo	Placas de concreto, Concreto ciclópeo o sistema mixto.	9
Pésimo	No hay cimentación homologable con los anteriores sistemas o es inexistente	3

De esta forma, la capacidad de respuesta de la estructura o los niveles de "resistencia" se clasificaron como:

- NIVEL A: Integra viviendas que cumplen con parámetros mínimos de rigidez y solidez estructural, de tipo pórtico, mampostería estructural o de muros confinados, exenta de daños o con leves daños, buena calidad de la construcción y de cubierta, y con zapatas y vigas de amarre.
- NIVEL B: Unidades residenciales con parámetros mínimos de rigidez y solidez estructural, tipo pórtico, mampostería estructural o de muros portantes confinados, con calidad de la construcción de buena a regular, cubiertas en concreto, cimentación en zapatas y viga de amarre, con daños catalogados desde leves hasta moderados.
- NIVEL C: El sistema estructural es de muros portantes no confinados, o combinación de confinados y pórtico con muros no confinados, con daños no mayores a moderados y calidad regular de la construcción. La cubierta es en concreto, asbesto-cemento o zinc, y la cimentación es de zapatas aisladas o vigas de amarre, o de zapatas con vigas de amarre.
- NIVEL D: Encierra muros portantes no confinados o combinación de confinados y pórtico con muros no confinados, cubiertas en asbesto-cemento o zinc, con daños moderados y calidad de la construcción de regular a mala. La cimentación está compuesta por zapatas aisladas o vigas de amarre, o por placas de concreto simple o ciclópeo.
- NIVEL E: El sistema estructural es de muros portantes no confinados, o combinación de confinados y pórtico con muros no confinados, cubiertas en asbesto-cemento o zinc sobre estructuras de madera, con mala calidad de la construcción y daños hasta altos parciales. La cimentación es en placas de concreto simple o ciclópeo.
- NIVEL F: Viviendas de tres pisos en muros no confinados, casas prefabricadas o hechas con materiales de recuperación, las cubiertas son en cartón, zinc, madera, u otros menos resistentes. La cimentación es de placas de concreto simple o ciclópeo, o no es homologable con otros sistemas, o es inexistente.
- NIVEL G: Lo comprenden edificaciones en proceso de construcción y lotes vacíos.

7.1.1.2 INFORMACIÓN PRIMARIA

La recopilación de los datos que permiten evaluar la capacidad de respuesta de la estructura y determinar el nivel de daño, se solventa a través del inventario de las 934 edificaciones circunscritas en los barrios de Granada Sur III sector, Montebello, Villa Nataly y urbanizaciones San Luis y Padua. En tanto que la fijación de la solicitación se fundamenta en los resultados del análisis de amenaza descrito en el capítulo 6. Sin embargo, la cobertura de información, y en especial en el contexto social, es aceptable; sin acceso al interior de algunas viviendas, éstas fueron evaluadas desde el exterior, pues la colaboración de las familias fue directamente proporcional a la cercanía de los fenómenos. Reacción soportada, para unos casos, en el imaginario de que la información será usada para la declaración de los predios como zonas de alto riesgo no mitigable, que posteriormente serán ocupadas por nuevas urbanizaciones, y en otros, en oposición a la institucionalidad, i.e. Caja de Vivienda Popular y Fopae, y a las decisiones hasta hoy tomadas por el orden gubernamental. Dinámica traducida en la negativa de atención al inventario, en cerca de 100 viviendas.

Inventario de Viviendas

El formato de recolección de información de las edificaciones (véase el *Anexo F.1*) está conformado por 4 secciones: La primera de ellas denominada: Datos Generales, comprende información concerniente al propietario, el número de personas residentes, a la ubicación espacial y catastral de los predios y a las características orgánicas de las viviendas. La segunda: Condición Estructural, indaga acerca de las

características de fundación y de estructura de las construcciones así como de su calidad constructiva. La tercera titulada: Daños, se enfoca hacia la categorización de las averías o expresiones "patológicas" en elementos estructurales y no estructurales, a la auscultación sobre filtraciones, y al planteamiento de alguna medida a priori de acuerdo con lo observado. Luego, condensa datos enmarcados en el contexto social. Finalmente, contiene un espacio para observaciones, en las que se plasman comentarios de los habitantes o apreciaciones del aforador que en alguna medida contribuyen al estudio y un espacio para el inventario de grietas, en el que se hace la representación gráfica detallada (elemento afectado, longitud y abertura) de los daños. En el Anexo D, se dispone el formato de campo con el instructivo que sirve como guía para su utilización.

El Inventario entrelaza dos fases, en la primera, se inspeccionan 485 edificaciones ubicadas en el área de influencia de los deslizamientos, y que enmarcan las que registran algún diagnóstico, monitoreo o seguimiento efectuado por el Fopae, en los últimos años. Para éstas se aplica el formato de recolección completo en la búsqueda del comportamiento de las construcciones frente al fenómeno. Para la segunda; comprendida por 449 construcciones, se ejecutan las visitas en recolección de información básica de datos generales, antecedentes de daños por fenómenos de remoción en masa, inundación o sismos, daños generales en la construcción y la información del marco social. Ambas fases se soportan con un registro fotográfico.

El estudio de la vulnerabilidad de los elementos expuestos: novecientas treinta y cuatro (934) edificaciones, incluidas; la Plaza de mercado del 20 de Julio, establecimientos bancarios, salones comunales, jardines de Bienestar Familiar y comercio en general (restaurantes, venta de comidas rápidas, venta de zapatos, talleres automotrices, etc.) se materializa en el "Formulario para la evaluación de daños y estado en edificaciones por fenómenos de remoción en masa" (véase el *Anexo F.2*), en el que se exhibe una muestra y cuyos resultados pueden detallarse en la *Tabla 7.16*.

Definición del Tipo de Solicitud.

A partir de la evaluación de estabilidad descrita en el capítulo 6, de los resultados de amenaza y de la estimación del mecanismo de falla se determinaron los probables tipos de solicitaciones a los que están expuestas o se expondrían las unidades residenciales, resumidas en desplazamientos y empujes altos medios y bajos.

7.1.2 VULNERABILIDAD SOCIAL

La vulnerabilidad en este contexto, se define como la susceptibilidad de un grupo social ante la ocurrencia de un evento desastroso (fenómenos de remoción en masa) que ocasione daños físicos en las edificaciones, vías, elementos urbanísticos y pérdida de vidas o alteraciones permanentes en la estructura y el funcionamiento de la comunidad, considerando de manera indirecta su capacidad de respuesta. Su análisis parte del nivel de organización y participación que tiene una comunidad, para prevenir y responder ante situaciones de emergencia. La población organizada puede superar más fácilmente las consecuencias de un desastre, que las sociedades que no lo están, por lo tanto, su capacidad para prevenir y dar respuesta ante una situación inesperada y desastrosa es mucho más efectiva y rápida.

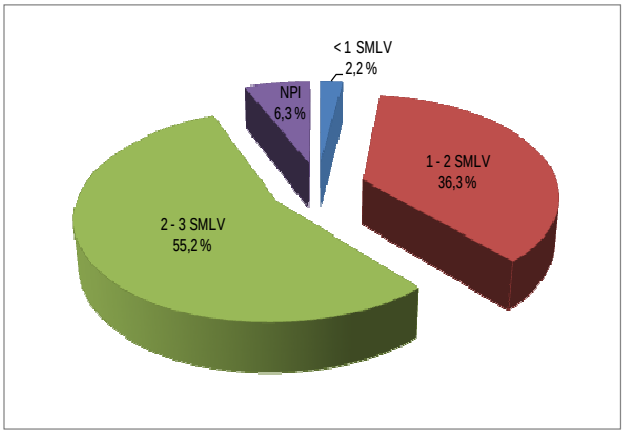
Para determinar la vulnerabilidad social se utilizará un método de razonamiento aproximado (cualitativo) que involucra incisos como: la capacidad económica de los pobladores, la cobertura de los servicios públicos, el acceso a redes de servicios (bienes y servicios), el nivel de escolaridad de los habitantes (factor determinante

en el desarrollo de la zona), las organizaciones cívicas, la tipología de las viviendas y, el nivel de conocimiento que los habitantes tienen del problema de inestabilidad, y de las actuales y potenciales repercusiones que éste ocasiona o puede ocasionar sobre sus viviendas. El referido abanico de variables permite, entonces, dilucidar y plantear la "línea base" del grupo social, si se desea estimar el tiempo de recuperación de los habitantes, y especificar la ayuda necesaria del estado.

Capacidad Económica de los Pobladores

El nivel de ingresos de la población para más de la mitad de los residentes se encuentra entre dos y tres salarios mínimos, en el peor de los escenarios sólo el 2.2% cuenta con un salario. Así las cosas los recursos que percibe la mayor parte de las familias son suficientes para la cobertura de los gastos básicos, y el acceso a los bienes y servicios de mayor valor que ofrece el capitalismo y el consumismo (véase la *Figura 7.1*). La zona de estudio se subdivide en cinco barrios, a saber: Montebello, Padua, Villa Nataly, Granada y San Luis; los primeros tres barrios residenciales, estrato tres, con buenas condiciones de vivienda y de vida, predominantemente residenciales (v.g. Montebello) con viviendas de gran área y con poco comercio, en las que habitan varias generaciones de las familias. Permanecen allí jefes de hogar de la primera generación, algunos ya pensionados y algunas amas de casa. De la segunda generación, los padres de familia (padre y madre) trabajan y los hijos se encuentran en el colegio o trabajan. La mayoría de viviendas son propias. San Luis es una urbanización nueva, estrato tres, rodeada de la zona comercial de Granada, con una condición social similar a la de Montebello, Padua y Villa Nataly. Por su parte Granada es una zona comercial, con viviendas en arriendo (inquilinatos) o viviendas en las que residen varias familias y los propietarios no moran allí, siempre se encuentran personas que ubican su lugar de trabajo en el mismo lugar de vivienda. En general, son barrios de clase media, y sus habitantes generación tras generación han logrado capacitarse para mejorar su calidad de vida, que suman a la fuerza motriz de la capital.

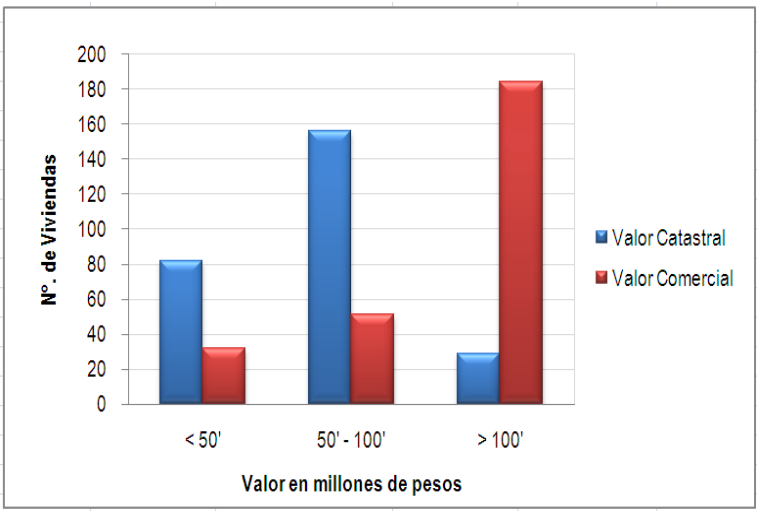
FIGURA 7.1 NIVEL DE INGRESOS POR FAMILIA



Un reflejo de la capacidad económica de los habitantes son sus viviendas, en su mayoría con problemas de diseño, de construcción y de ubicación; ellas representan una (o la) posesión (más) importante no sólo por su valor sino por su ubicación (justificada por la vista, y por la proximidad a las vías principales de los barrios y al centro de la ciudad), por su extensión y por su valor sentimental, en muchos casos arraigado al paso de generación en generación. Las enormes diferencias entre el valor comercial (o de venta) y el catastral

(abstraído del recibo de impuesto predial, véase la *Figura 7.2*) residen, entre otras, en el área construida: las edificaciones (unifamiliares) varían desde 1 hasta 5 niveles y en los rezagos de la institucionalidad. De la muestra de viviendas de las que se pudo obtener el valor catastral (del orden de 267 edificaciones), más del 50% se encuentra entre los 50 a los 100 millones de pesos, pero comercialmente superan los cien millones de pesos (monto abstraído si se asume que el valor del metro cuadrado promedio –tomado de fuentes reconocidas como metro cuadrado.com- es de $ 554.888). Esta divergencia, genera un agudo problema social y un abismo al momento de conciliar para las familias que requieren ser reubicadas o reasentadas, toda vez la formalización de cualquier acuerdo monetario es difícil y prolongado.

FIGURA 7.2 VALOR DE LAS VIVIENDAS – COMERCIAL FRENTE A CATASTRO



Cobertura de Servicios Públicos

La totalidad de los barrios posee redes de servicios públicos instaladas (acueducto, alcantarillado, energía, teléfonos, gas y aseo), sin embargo, por ingresos o por preferencias, algunos propietarios desecharon la prestación de alguno de ellos, tal y como se evidencia en la *Tabla 7.7*. Del total de predios, sólo uno, un lote en venta, cuenta con ninguno de los servicios, y cerca del ocho por ciento carece de gas o teléfono. No obstante, estos casos, aislados en esencia, parecen no incidir de manera significativa en la calidad de vida de los habitantes.

TABLA 7.7 EDIFICACIONES QUE CARECEN DE SERVICIOS PÚBLICOS

SERVICIOS	N°. DE VIVIENDAS
AGUA	3
ALCANTARILLADO	2
ENERGÍA ELÉCTRICA	1
GAS NATURAL	33
TELÉFONO	33

Organizaciones Cívicas

Cada uno de los barrios cuenta con su Junta de Acción Comunal, organizada, participativa y enterada de la problemática por FRM, en los barrios San Luis y Montebello, que actúa de manera proactiva con los diferentes entes externos (v.g. FOPAE; EAAB, Caja de Vivienda Popular), por su cercanía a las dificultades frente a los FRM. En general, son comunidades que se han fortalecido a raíz de los problemas presentados, que conocen los estudios realizados, son conscientes de la problemática con la que conviven, y se han enterado de la legislación que los cobija, se apropian de sus derechos y sus deberes, y son exigentes con las entidades u organizaciones. Con todo lo anterior, han logrado ser promotores de soluciones y de sembrar conciencia en sus barrios de las medidas preventivas que se deben tener presentes y de cómo actuar en caso de emergencias.

Tipología de las Viviendas

La tipología de las viviendas permite dilucidar la calidad de vida de sus habitantes, y de manera alguna su capacidad económica, de la que se derivan a su vez el proceso constructivo, los materiales, los acabados y por consiguiente la calidad total de la edificación. La integración del área de estudio en barrios comunes (cinco en total) explica y clasifica a su vez las tipologías constructivas. Tema que se retoma en el apartado de vulnerabilidad física, allí se describen las características propias de cada barrio, no obstante, vale destacar que Granada Sur, Villa Nataly, Padua y Montebello, encuentran elementos comunes en la autoconstrucción, evidenciados en la ausencia de asesoría técnica, en el desconocimiento de las normas constructivas y por ende en la carencia de un sistema estructural apropiado, en general insuficiente para resistir las fuerzas de tensión y los esfuerzos de compresión y cortante, que se derivan de los empujes de tierras. Por su lado, la Urbanización San Luis y el Conjunto residencial Portón Real, son muestras de la construcción formal, subordinados cada uno en su momento a la normativa sismorresistente en vigencia.

Percepción del Peligro

Son diferentes los niveles de preocupación por los FRM, así las cosas sólo el 4.17 % de los habitantes (39 viviendas) encuestados manifestó sentirse inseguro en su vivienda, en correspondencia con las viviendas que han tenido que afrontar el problema de manera más cercana. La percepción es directamente proporcional con la cercanía a los fenómenos más visibles y en muchas ocasiones se acostumbran a convivir con ellos.

Daños Generales de la Construcción

El nivel de daño en las viviendas se deduce con base en las características geométricas de las grietas en los elementos estructurales o no, en su ubicación, su cantidad, su extensión y abertura. Esta información obtenida de la auscultación de las 934 edificaciones complementada, a grandes rasgos, con los comentarios de los habitantes. Los criterios encaminados a establecer el nivel de daño general de las estructuras, se consignan en el instructivo del formato de recolección, dispuesto en el *Anexo F1* y los resultados en la tabla *Tabla 7.8*.

El 84.5% exhibe daños leves, que corresponden a fallas por la calidad en la construcción y por asentamientos normales, ocurridos hace muchos años y que no han sufrido variaciones considerables. La categoría 3 de daños moderados ostenta el 9.52%, describe los daños en los que ya se encuentra comprometida parte de la estructura y muros divisorios, pero con abertura y tamaños mínimos. Los daños categorizados como altos parciales y altos totales, 2.35% y 0.64% respectivamente, se presentan principalmente en las viviendas de la

Urbanización San Luis en las que las estructuras y muros divisorios se encuentran completamente comprometidas y requerirían el reemplazo de partes completas de la edificación.

TABLA 7.8 DAÑOS GENERALES EN LAS CONSTRUCCIONES

CATEGORIZACIÓN	DESCRIPCIÓN	N°. DE VIVIENDAS
1	NINGUNO	36
2	LEVE	785
3	MODERADO	95
4	ALTO PARCIAL	22
5	ALTO TOTAL	6
6	SEVERO PARCIAL	4
7	SEVERO TOTAL	0

Recuperación Económica

Se interpreta como el acceso que tiene la población de una determinada comunidad a los activos económicos (tierra, infraestructura, servicios y empleo asalariado, entre otros), que se refleja en la capacidad para hacer frente a un desastre. Está determinada, fundamentalmente, por el nivel de ingreso o la capacidad para satisfacer las necesidades básicas por parte de la población.

Con el fin de cuantificar la vulnerabilidad social se determina como unidad comparativa el tiempo, en años, que le tomaría a cada núcleo familiar la recuperación de su patrimonio actual (sus viviendas). La recuperación se hace efectiva en el momento en que, a través de un ahorro mensual, la acumulación monetaria iguale al monto patrimonial hoy día. La tasa de ahorro, es decir, la capacidad de endeudamiento, se define como una fracción del salario, y es función del ingreso mensual. Así entonces, para las familias con ingresos de hasta un (1) salario mínimo, la capacidad de ahorro no supera el 10%, los tiempos de recuperación fluctúan entre 1 año y 100 años. La *Tabla 7.9* muestra la capacidad de endeudamiento de acuerdo con la categoría de ingresos.

TABLA 7.9 CAPACIDAD DE ENDEUDAMIENTO

CATEGORÍA DE INGRESOS	CAPACIDAD DE ENDEUDAMIENTO	%° DE FAMILAS
1	0.1	2.24
2	0.2	37.79
3	0.3	61.77

La recuperación económica en años, se determina como:

$$RE = \frac{Patrimonio}{SalarioMensual} * \frac{\%Pérdidas}{1200} * CE^{-1}$$

en la que:

RE : Recuperación económica en años
$\%Pérdidas$: Fracción del patrimonio, véase la ***Tabla 7.16***.
CE : Capacidad de endeudamiento consignada en la ***Tabla 7.9.***

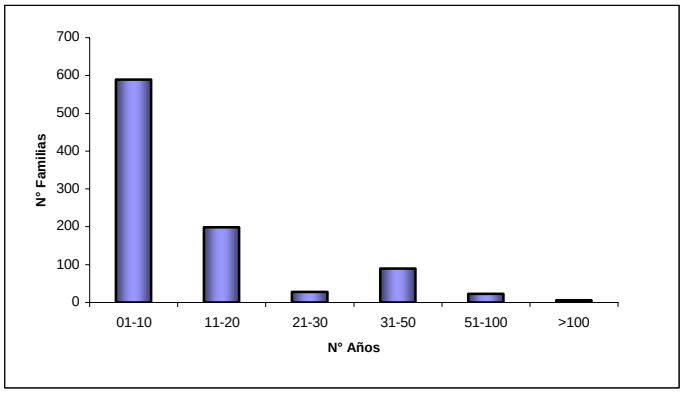
TABLA 7.10 PORCENTAJE DE PÉRDIDAS

INTENSIDAD DE DAÑO	PORCENTAJE DE PÉRDIDAS	N° DE VIVIENDAS
1	10%	43
2	20%	604
3	30%	157
4	100%	159

El 17% ostenta el nivel 4 con el 100% en pérdidas, vislumbradas en las viviendas de la Urbanización San Luis, algunas de las viviendas de las manzanas 37, 38, 39 y 40 de Padua y algunas edificaciones de las manzanas 6, 7, 17, y 60 de Montebello.

Tal como se ilustra en la ***Figura 7.3***, la recuperación económica de las familias, dependiente del nivel de ingresos (1, 2 o 3). En los resultados, predomina con el 63.03% y el 21.31%, con períodos de recuperación desde 10 y hasta 20 años, respectivamente. Seguido, el 9.64% que requiere 50 años y el 0.64%, aunque es el más bajo, requiere más de cien años. Los tiempos necesarios, sin embargo, son excesivos; la participación del estado y del distrito, en cabeza de sus entidades v.g. Caja de Vivienda Popular, es incuestionable.

FIGURA 7.3 RECUPERACIÓN ECONÓMICA



7.1.3 VULNERABILIDAD FÍSICA

La vulnerabilidad física–edificaciones-, se expresa como una medida porcentual de los costos de las averías originadas por un agente destructor, en este caso los Fenómenos de Remoción en Masa (FRM). La fracción

(expresado en partes por uno) del perjuicio sobre el inmueble, definido con ID, índice de daño, es proporcional a la exposición de los elementos e inversamente proporcional a su resistencia. El primer tópico se estudió con base en las posibles longitudes de viaje, y el segundo con la tipología de viviendas, detallada a continuación. Los datos que conllevan al hallazgo del índice de vulnerabilidad se explican en la *Tabla 7.16.*

7.1.3.1 TIPOLOGÍA DE LAS EDIFICACIONES POR BARRIO

A pesar de las coincidencias tipológicas de los cinco barrios se hace necesario describir las diferencias marcadas por: las edades de las edificaciones, su estado de conservación y en los sistemas estructurales hallados.

Montebello

Enmarca para este caso 422 viviendas, dispuestas en las manzanas 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 17 y 60, localizadas al sur oeste del área de estudio. Construido desde los finales de la década del 60, alcanzó su mayor proceso de consolidación, a mediados de la década de los 70. Las edades de las edificaciones por lo tanto alcanzan hasta los 50 años, circunstancia que deja entrever que no hubo lugar a la adopción de las normas de sismo resistencia, a pesar que han sido progresivamente ampliadas en altura. Aunque existen excepciones de remodelación por cambios recientes de propietario, en los que se ha logrado alguna mejora en el reforzamiento.

Las construcciones llegan hasta los cuatro pisos, con prevalencia de las de 2 y 3 pisos, aunque existe una de cinco pisos. El 66.9% del total de las edificaciones carece de sistema estructural, con muros portantes no confinados, en mampostería de arcilla y regular calidad de los materiales. La cimentación que en lo descrito por algunos de sus pobladores podría ser ciclópea, se acompaña en las variaciones de nivel con muros en piedra. El 67.7% se erigió con entrepisos en placa maciza y cubiertas (terrazas) en el mismo material, que prevalecen sobre las de estructura en madera y teja en asbesto cemento o zinc.

Granada Sur

El barrio se enmarca en las manzanas 18, 19, 20, 22, 25, 36 y 46 con 189 edificaciones. Las primeras, de la manzana 46, ya figuraban sobre la carrera 6 a finales de la década de los 60 y las más recientes se encuadran en los 80. El sistema estructural del 61.37%, corresponde a muros portantes no confinados, en mampostería de arcilla, el 97.88% de los entrepisos es en placa maciza al igual que las cubiertas, utilizadas en su mayoría como terrazas. El 32.27% de las construcciones cuenta con un sistema estructural aporticado, sin embargo, las fallas constructivas (hormigoneo de los elementos, refuerzos expuestos) y la regular calidad de los materiales, restringen su resistencia.

Padua

Con un total de 163 viviendas, Padua, es uno de los asentamientos más recientes de la zona. Sus edificaciones más antiguas alcanzan los 20 años. A pesar de esto, las fallas en sus características constructivas no distan mucho de lo descrito para los barrios más antiguos. La carencia de soporte técnico se exhibe con el 55.37%, que las erigió con muros portantes no confinados, de hasta dos pisos. Las viviendas de tres pisos en adelante cuentan con sistema aporticado completo.

Villa Nataly

Junto con Padua logra su mayor consolidación urbanística a mediados y finales de los 90. Enmarcado en las manzanas 52, 53 y 54, incluye 35 edificaciones con construcciones de dos y tres pisos, predominantemente. El 34.28% de ellas exhibe pórticos completos como sistema estructural, mientras el 60% se levanta con muros portantes no confinados, incluidas algunas de hasta cuatro pisos.

Urbanización San Luis

Encuadrada en las manzanas 55, 56, 57, 58 y 59, corresponde a 153 edificaciones tipo, de 3 pisos de altura, adquiridas por sus actuales propietarios, de manos de una constructora hacia mediados de los noventa. Su cimentación aunque difícil de determinar, se asume de acuerdo con las descripciones de algunos habitantes de la zona, como placas macizas. Su sistema estructural es mixto, acomodado por módulos de dos viviendas, con muros en concreto reforzado dispuestos longitudinalmente en casi la totalidad de la primera planta (excluye los muros del patio) y en la segunda planta, las dos terceras partes, la restante (muros de la alcoba sobre la fachada principal) al igual que el tercer piso es en mampostería reforzada. Los entrepisos son en placa maciza, y la cubierta en teja y estructura metálica. Sin embargo, estas condiciones no se repiten en todos los módulos estructurales, algunos en segundo y tercer piso corresponden a mampostería simple no confinada.

Cualificación de Daños.

Los perjuicios que se producirían sobre las unidades, están condicionados por dos grupos de variables: el de exposición y el de resistencia. El primero involucra el tipo de evento, la localización de las viviendas con respecto al mismo y la solicitación que el proceso ejerce sobre los componentes; el segundo, cubre la calidad, las propiedades y los atributos de las casas, que, como se ha expresado antes, se condensa en la tipología.
La contribución de las variables ya expuestas para este estudio se registra en la matriz de intensidad de daño (véase la *Tabla 7.11*). La asociación de la intensidad con una descripción cualitativa del perjuicio y con una tasa de daño, se hizo de acuerdo con la tabla propuesta por el DRM (DELEGATION AUX RISQUES MAJEURS) y presentada por LEONE, 1996 (véase la *Tabla 7.12*).

TABLA 7.11. MATRIZ DE INTENSIDAD DE DAÑO

SOLICITACIÓN	A	B	C	D	E	F	G
Desplazamiento vertical bajo (<1cm)	1	1	2	2	3	3	4
Desplazamiento vertical medio (1cm – 2cm)	1	2	2	3	4	4	5
Desplazamiento Vertical Alto (>2cm)	2	2	3	4	4	5	5
Empuje bajo (h*< 1/3)	2	2	2	3	3	4	4
Empuje medio (1/3 < h* < 2/3)	2	3	3	3	4	5	5
Empuje Alto (h*>2/3)	3	3	4	4	4	5	5

* H: ES LA ALTURA DEL ELEMENTO ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN QUE PUEDE SER CUBIERTO POR LA MASA ACTIVA.

TABLA 7.12 TABLA DE CLASIFICACIÓN DE DAÑOS PROPUESTA POR DRM

INTENSIDAD DE DAÑO	MODOS DE DAÑO	PORCENTAJE DE DAÑO
1	Daños ligeros no estructurales. Estabilización no afectada.	0.01 – 0.1
2	Fisuración de muros. Reparaciones no urgentes.	0.2 – 0.3
3	Deformaciones importantes. Fisuras en elementos estructurales.	0.4 – 0.6
4	Fracturación de la estructura. Evacuación inmediata.	0.7 – 0.8
5	Derrumbe parcial o total de la estructura	0.9 – 1.0

Los daños se evidencian principalmente en las manzanas 6, 7, 17 y 60 de Montebello, y en las manzanas 55, 56, 57 y 58 de la Urbanización San Luis. El 12.95% de las 934 viviendas involucradas en el estudio, ostenta daños. La mayoría, el 9.52%, se categoriza en el nivel 3 y los niveles más altos con el 2.35% y el 0.64% para los niveles nivel 4 y 5, respectivamente.

Área de Afectación

Es la medida de la zona averiada en la ocurrencia del evento, y es siempre mayor al área de exposición (véase la *Tabla 7.13*).

Tasa de daño

La tasa de daño (TD) representa el porcentaje de destrozos en la vivienda; y se obtiene al tomar el índice de daño -en términos de porcentaje de daño- multiplicado por el área de afectación.

$$TD = \%daño \times A_{afectación}$$

TABLA 7.13 ÁREA DE AFECTACIÓN SEGÚN ÁREA DE EXPOSICIÓN

ÁREA AFECTADA	
ÁREA EXPUESTA (EN TANTO POR UNO)	ÁREA AFECTADA (EN TANTO POR UNO)
1.00	0.1
1.00	0.2
1.00	0.3
1.00	0.4
1.00	0.5
1.00	0.6
1.00	0.8

Costo de daños o Costo de falla

El costo de los daños, C_f expresado en pesos, se totaliza al sintetizar el valor inicial del inmueble, VII (también en pesos) y la tasa de daño, TD, así:

$$C_f = VII \times TD$$

Índice de Vulnerabilidad Física: Ivf

Es entendido como el porcentaje de pérdida esperado, y se evalúa en función del valor inicial de la vivienda antes del evento y el valor final una vez que ocurre el daño.

$$IVF = \frac{C_f}{VII}$$

C_f : Costo de falla

VII : Valor inicial de inmueble

La *Tabla 7.16* muestra los diferentes componentes del análisis y el índice de vulnerabilidad para el abanico completo de edificaciones; por su parte la *Tabla 7.14* categoriza los niveles de vulnerabilidad desde Bajo hasta Alto.

Vulnerabilidad de las Redes de Servicios Públicos

Los sistemas de acueducto, de alcantarillado, de electricidad, de gas y de telecomunicaciones, son a todas luces altamente vulnerables; su alta exposición, en razón a su necesaria vinculación con el suelo, y su baja resistencia así lo explican (y argumentan). Por su interrelación con el medio (las laderas) las redes de acueducto y alcantarillado han estado, y están, vinculadas (a través de rupturas y desempates y escapes) sin poder aún precisar si como fuente generadora o como consecuencia, con los procesos de inestabilidad. Hoy día las redes más susceptibles y expuestas transitan por las calles 24 A sur y 25 sur, en las que se dibuja la corona del deslizamiento de San Luis (véase *el Plano 5*); la abertura y la persistencia de la corona y la altura del escarpe, hacen inevitable la formación de desempates y rupturas. Igual suerte recae en las líneas sentadas a lo largo de la transversal 2 A, al suroeste de la Urbanización San Luis y en la carrera 1A sur, sus trazados coexisten con los cuerpos de deslizamientos o con deformaciones y desplazamientos.

Las líneas de postación, circunscritas e inmersas en las masas inestables, y producto de su caída, se constituyen en amenaza adicional sobre bienes y personas. Las vías talladas en las pendientes de Montebello y Granada, no son ajenas a esta situación; su asentamiento sobre los llenos las hace aún más susceptibles al colapso.

7.1.4 ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD

A partir de los resultados arrojados en la *Tabla 7.16*, se infiere, que el 70.12% de las edificaciones manifiestan vulnerabilidad baja, éste fenómeno encuentra explicación en las exiguas tasas de daño: los sistemas estructurales aunque insuficientes, de escaso cumplimiento de las exigencias de la Norma Sismorresistente Colombiana (NSR-98), y de deficiente calidad de construcción, pasan en su gran mayoría sin exhibir patología de daño. Los niveles medios de vulnerabilidad, el 23.45%, coinciden con edificaciones de regular calidad de

construcción, con mayor exposición i.e. manzanas 60, 6 y 7. Las viviendas restantes, el 9.63%, se califican con vulnerabilidad alta, tal y como lo ilustra el *Plano 9.*

TABLA 7.14 CATEGORIZACIÓN DE LOS NIVELES DE VULNERABILIDAD (IVF)

NIVEL DE VULNERABILIDAD	INTERVALOS DEL IVF
Bajo	<= 0.25
Medio	0.25 – 0.50
Alto	> 0.50

7.1.5 ZONIFICACIÓN DE RIESGO

Como se deduce de la *Tabla 7.16*, el 72% de las viviendas (674) expone riesgo actual bajo, el 16.4% ostenta niveles de riesgo medio y el 14.5% restante muestra riesgo alto; distribución justificada en el escaso número de edificaciones con niveles altos de vulnerabilidad (totalizadas en 90 viviendas), y en el marcado estado de amenaza, esencialmente bajo; los niveles de riesgo aumentan, para los estados de la amenaza a 50 años, al punto de convertirse casi exclusivamente en bajo y alto, simbolismo diagramado en el *Plano 8A*.

TABLA 7.15 MATRIZ DE RIESGO

AMENAZA \ VULNERABILIDAD	ALTA	MEDIA	BAJA
ALTA	ALTO	ALTO	MEDIO
MEDIA	ALTO	MEDIO	BAJO
BAJA	MEDIO	BAJO	BAJO

En concordancia, las alternativas de solución estarán destinadas a evitar un aumento en los niveles de riesgo, y en el mejor de los casos darán lugar a una reducción sustancial en los escenarios de mayor condición y predisposición.

TABLA 7.16 EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD Y RIESGO – CONDICIÓN ACTUAL

ESTA TABLA SE ENTREGA EN FÍSICO Y EN MEDIO MAGNÉTICO ADJUNTO

CAPÍTULO 8

PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

CAPÍTULO 8

PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

8.1 INTRODUCCIÓN

Uno de los mayores beneficios del análisis de riesgo radica en la formulación de un plan de acción que permita atenuar o anular las consecuencias de los procesos de remoción en masa actuales y potenciales, y de esta manera poder mitigar, conservar, controlar o sustraer los niveles de amenaza, es decir, disminuir la influencia de los agentes detonantes y contribuyentes, o modificar los elementos y los escenarios expuestos. Es así como a lo largo del desarrollo de los capítulos anteriores algunas alternativas son bosquejadas (o por lo menos idealizadas), pero con capacidad de dar cumplimiento a la tarea (o a la premisa) básica: mitigar el riesgo. Surge entonces, la necesidad de evaluar el papel que juegan, para seleccionar la mejor. El proceso de decisión, se fundamenta en el análisis comparativo entre la condición actual y futura, para los diferentes escenarios con la implementación de las obras.

En gracia de estas consideraciones, la definición de la amenaza futura implica determinar la eficiencia de las alternativas en la reducción de los potenciales estados. No obstante, las primeras sensaciones, desprendidas de los escenarios de amenaza y vulnerabilidad actuales y futuros (a 50 años), describen una situación compleja, en la que los procesos (al parecer) continuaran su ola de daño en la urbanización San Luis y en algunos corredores de Montebello y de Granada Sur, en proximidad al deslizamiento principal, en la que las soluciones son por demás excesivas (por lo menos dentro del marco de las inversiones). A pesar de esto es imperativo incorporar diferentes programas de mitigación para crear escenarios en los que los valores bajos y medios, por lo menos, sean los calificativos preponderantes de la condición de amenaza

La función principal de las medidas es reducir, al menor costo, los estados de probabilidad condicional total actual, y los escenarios de vulnerabilidad. Cabe reseñar que las alternativas propuestas se enmarcan dentro de la capacidad operativa y económica, no sólo del FOPAE, sino de las demás entidades distritales que tienen injerencia activa en las condiciones de habitabilidad y seguridad en el Distrito: la Secretaría Distrital del Hábitat, la Secretaria Distrital de Ambiente, el FOPAE, el IDRD, el ACUEDUCTO y el IDU, entre otros.

8.1.1 ALTERNATIVAS

En el desarrollo de los capítulos anteriores se han perfilado las variables potenciales detonantes o condicionantes que alteran desfavorablemente las condiciones de amenaza, y se ha idealizado el estado actual y el desarrollo de los procesos de inestabilidad y de los escenarios de riesgo. A fe de controlar el

impacto de las primeras y el avance, retrogresión y (en medida alguna) actividad de los segundos, las alternativas consideradas aquí se enuncian a continuación:

Alternativa 1. Reasentamiento Parcial

Pretende la sustracción de los más altos estadios de vulnerabilidad y riesgo actual; cometido cumplido con la implantación de sistemas básicos de mitigación y con el reasentamiento de los predios desde el 07 hasta el 15 de la manzana 60, las casas 07 y la 09 de la manzana 06, y los predios 11 al 18 de la manzana 17, el predio 20 de la manzana 25, el predio 9 de la manzana 26, los predios 06, 07, 10 y 11 de la manzana 44 y la casi totalidad de la urbanización San Luis: 104 por riesgo alto por FRM, pero sin incluir las que hacen parte de módulos estructurales ya afectados. Panorama revelado por la *Figura 8.1*. Los inmuebles por adquirir ascienden a los 122 (con excepción del Salón Comunal de la Urbanización San Luis).

Los daños en las estructuras, en buena parte clasificados como severos parciales o severos totales, responsables de la pérdida de habitabilidad; la trascendencia de los deslizamientos, simbolizada en su potencial de daño, y desglosada en profundidades superiores a la decena de metros, longitudes de hasta ciento cincuenta metros (aproximadamente) y activación en estados primarios de presurización, y la coexistencia de las construcciones en los cuerpos de deslizamiento o en su área de exposición, acreditan y validan la decisión.

Los terrenos liberados y en manos del distrito, condición *sine qua non* para garantizar su efectividad, deberán recibir tratamiento adicional. En primera instancia cambiaran de uso, directriz ineludible e inaplazable, y se destinarán a la recreación pasiva, su objetivo evitar la reaparición de la problemática; y en segunda instancia engrosaran las zonas verde y se dotarán de de equipamiento, p.e. peatonales, silletas o bancas e iluminación, de manera tal que impida a toda costa se conviertan en focos de inseguridad, en los que se propicien actividades delictivas.

Complementa el derrotero descrito, el monitoreo permanente de las masas inestables; tarea encomendada a dieciséis piezómetros e inclinómetros y más de una treintena de mojones, todos con el propósito de corroborar las premisas planteadas en este documento, es decir con el ánimo de precisar la posición de las superficies de deslizamiento y de la cabeza piezométrica, dilucidar la tasa de velocidad, estructurar y formalizar sistemas y protocolos de alerta, y facilitar la puesta en marcha de medidas de manejo en el corto (días y semanas) y en el mediano plazo (meses).

Alternativa 2. Drenaje, Subdrenaje y Reconformación Morfológica

Retoma algunas de las directrices de la solución planteada por IEH (1997) y las ajusta a las condiciones de trabajo reinantes hoy día. Se enfoca en el manejo del principal agente detonante: el agua (y su secuela más relevante, el aumento en la cabeza piezométrica), y de dos de los más importantes condicionantes: los bloques (o masas) activo y pasivo. El primer cometido, de manera tal que se incremente la resistencia al corte en el cuaternario, específicamente en los depósitos fluvioglacial y minero, materiales por lo que transitan las superficies de deslizamiento actuales y potenciales; se surte a través de la implantación de cuatro baterías de subdrenes horizontales, dos en el deslizamiento principal y dos en el de San Luis, y de una generosa red de aguas lluvias, forjada por cunetas triangulares o trapezoidales (con pendiente longitudinal de hasta 0,4%), cajas de inspección, tuberías de hasta 12" de diámetro y descoles escalonados; universo ilustrado en la *Figura 8.2*. Cada batería de subdrenaje está dotada por tubos perforados de 2" de diámetro, con longitudes superiores entre los 40 y los 75 metros, espaciados 15 m entre centros y colocados con una inclinación de un

grado (1.7 %) con respecto a la horizontal; y sus efluentes se entregarán al sistema de drenaje (ya descrito), el que a su vez los conducirá hasta la red de agua lluvias de los barrios.

Y el segundo encargo, se circunscribe a la urbanización San Luis; está personificado por un perfilado y un contrapeso. El perfilado tendrá dos cortes con pendientes 2H:1V, separados por una berma de hasta once metros de ancho; y el contrapeso; y el contrapeso empata con los taludes reconformados, se moldea en el material removido por el perfilado, su altura oscila entre los siete y los ocho metros de altura, su cara exterior se esculpe con pendiente 1H:1V, y descansa parte del terreno ocupado por la urbanización. Todas las superficies libres se protegerán con cespedones, con el ánimo de minimizar la creación de frentes de erosión.

La construcción de las obras obliga por una parte a la compra de los baldíos en los que se recrean los deslizamientos y por otra el reasentamiento (y la adquisición) de una parte de la urbanización San Luis y de algunas viviendas del barrio Montebello. Dentro de los predios por ocupar están: desde el 01 hasta el 15 de la manzana 55, del 01 al 12 y del 33 al 48 del bloque 56, del 01 al 16 y del 34 al 41 de la manzana 57, el 01 y el 02 de las manzanas 58 y 59; del 07 al 15 de la cuadra 60, el 02 y el 03 de la manzana 52, el 09 del bloque 26 y el 20 de la manzana 25.

Alternativa 3. Pilas, Descarga y Drenaje

Pretende la contención de los deslizamientos o por lo menos la mitigación de sus efectos, la intercepción de las superficies de deslizamiento (fijadas cerca al contacto depósito-roca) y la reducción los empujes activos de las masas inestables; para ello se recurre a sistemas de estabilización pasivos y externos, y al drenaje y subdrenaje. Unos en cabeza de pantallas de pilas, dos cimentadas en el cuerpo del deslizamiento principal y dos en el deslizamiento de San Luis, y el otro a cargo de trincheras drenantes (o filtros) de hasta seis metros de profundidad y 1.00 m de ancho y cunetas triangulares y rectangulares. Cada pantalla encierra pilas de 2.50 m de diámetro, 0,50 m de espesor, y entre 15 m y 20 m de longitud, en lo que hace referencia al movimiento en el barrio Granada Sur, o de 25 m, toda vez que operen en San Luis. Caso último en el que se derivan dos esquemas diferenciados sólo en la posición altimétrica de las pantallas; uno matizado por la implantación de los individuos a los 2620 m.s.n.m, en la primera berma, prototipo compilado en la *Figura 8.4A*, y otro configurado por una línea casi en la misma posición de los muros en gaviones, y por la segunda pantalla entre los 2616 m.s.n.m y los 2618 m.s.n.m (*Figura 8.4B*). El número total de individuos (i.e de pilas), se aproxima a los 169, distribuidos 75 en Granada, 33 en Granada Sur III Sector y 95 en San Luis, y su implantación requiere de la conformación de rellenos de poca altura o del terraceo con pendientes 2.0H:1.0V, todos protegidos con cespedones, prototipos planteados en las secciones 1-1´, 2-2´, 3-3' y 5-5' de la *Figura 8.5A* y de la *Figura 8.5B*.

Obliga a la relocalización de 69 viviendas, ubicadas en su gran mayoría en San Luis y Montebello; decisión avalada bien por el alto deterioro estructural de las edificaciones (caso patente de las familias propietarias de las casas: 01 a 04 y de la 45 a la 48 de la manzana 56, y 01 a 03 y 36 a 41 del bloque 57 o por su alto grado de riesgo o porque son indispensables para acometer la obra (véase la *Figura 8.4A*).

Alternativa 4. Elusión

Obvia cualquier intervención de orden físico (con estructuras de contención, drenaje o subdrenaje) en los espacios público y privado, en su lugar marca como línea de acción preponderante los preparativos y la administración de las emergencias, y como instrumento la educación y la información pública, personificadas en campañas de cómo responder ante la ocurrencia de un fenómeno. Conserva las condiciones actuales de

amenaza, de vulnerabilidad y de riesgo (característica que hace que los *Planos 8A*, *8B*, *9* y *10A* mantengan vigencia), lo que conlleva significantes pérdidas tanto materiales como en vidas humanas, y las acentúa en el tiempo, al punto de marcar un poco más de 1/3 de la vertiente en amenaza alta y de incrementar las pérdidas esperadas en cerca de 297 viviendas, ambiente sintetizado en la *Figura 8.6*. Su mayor desventaja reside en la desatención social de la comunidad, lo que puede desencadenar focos de violencia, la depreciación de los predios y de los inmuebles, y el sometimiento a la pobreza de más de tres centenares de familias.

Cualquiera sea el camino a seguir (entendido como el esquema de mitigación) es pertinente acometer una serie de medidas no estructurales, que si bien no modifican los escenarios de amenaza, están en caminadas a hacer partícipe a la comunidad en la conservación del medio, en la reducción del riesgo ambiental, y en la creación de focos futuros de inestabilidad. Este paquete de acciones comprende, entre otros, la implementación de campañas de limpieza y retiro de los residuos sólidos (basuras y escombros) de los escarpes y laderas, el reconocimiento y caracterización de los cuerpos de deslizamiento activos en los terrenos en los que moran y sus alrededores, la supervisión de nuevas construcciones que se pretendan realizar en los barrios para evitar problemas futuros, el mantenimiento de las redes de servicio, muy particularmente la de acueducto y alcantarillado (participes de primera línea en la actividad de los procesos de inestabilidad), y la participación activa en el planteamiento de las soluciones en los barrios, de manera tal que se comprometa a la comunidad con la sostenibilidad del medio.

8.2 AMENAZA Y RIESGO FUTUROS (AMENAZA Y RIESGO CON OBRAS)

Las condiciones de amenaza futura, oscilantes entre alta y media, pero con preponderancia a alta (sentencia clara diagramada en el *Plano 8A* y en el *Plano 8B*), son el reflejo de las particulares condiciones topográficas, estructurales, estratigráficas y de uso del suelo. Las laderas están labradas en espesas masas de rellenos antrópicos, dispuestas en antiguos frentes de explotación, y potentes mantos fluvioglaciales, morfológicamente irregulares, depositados sobre potentes bancos de lodolitas (Tpb-L), que diagraman taludes con pendientes cercanas a los quince grados o superiores a los treinta grados, y con alguna consonancia geométrica con el patrón estructural, pero insuficiente para dar lugar a predisposición cinemática alguna. El irregular sistema de transporte de agua y las importantes recargas hidrogeológicas, son otros de los componentes que repercuten ampliamente en el nivel de riesgo.

Este especial matiz de la amenaza sumado a la susceptibilidad de los elementos expuestos, a los potenciales procesos de inestabilidad, y a las implicaciones de intervenir predios privados hacen del tratamiento del barrio un marco de relativa complejidad. Por una parte las obras tendientes a la reducción de la amenaza o de la exposición, como el retiro de material o perfilado y las pantallas (con pilas) deben ser de fácil mantenimiento y viables constructivamente, y por otra parte deben garantizar una reducción de la condición de riesgo con bajos presupuestos; inferiores al de relocalización.

Por lo tanto, la estimación de la probabilidad de falla implica la determinación de los factores de seguridad en las sección de análisis con la incorporación de la medida correctiva, tanto para los parámetros de resistencia y las variables ambientales esperadas (agua, rotulada como lluvia, y sismo) como para los extremos probables, acorde con el procedimiento referido en el numeral 6.2 del Capítulo 6. Bajo el marco teórico expuesto y el foco de las alternativas planteadas, la evaluación de amenaza futura se centra, unidireccionalmente, en la determinación de la respuesta esperada de las alternativas 2 y 3, es decir el Drenaje, Subdrenaje y reconformación Morfológica, y las Pilas, Drenaje y Descarga.

FIGURA 8.1 REASENTAMIENTO PARCIAL

ESTA FIGURA SE ENTREGA EN FÍSICO Y EN MEDIO MAGNÉTICO ADJUNTO

FIGURA 8.2 DRENAJE, SUBDRENAJE Y RECONFORMACIÓN MOROFOLÓGICA

ESTA FIGURA SE ENTREGA EN FÍSICO Y EN MEDIO MAGNÉTICO ADJUNTO

FIGURA 8.3A DETALLES ALTERNATIVA 2

ESTA FIGURA SE ENTREGA EN FÍSICO Y EN MEDIO MAGNÉTICO ADJUNTO

FIGURA 8.3B DETALLES ALTERNATIVA 2

ESTA FIGURA SE ENTREGA EN FÍSICO Y EN MEDIO MAGNÉTICO ADJUNTO

FIGURA 8.4A PILAS, DESCARGA Y DRENAJE

ESTA FIGURA SE ENTREGA EN FÍSICO Y EN MEDIO MAGNÉTICO ADJUNTO

FIGURA 8.4B PILAS, DESCARGA Y DRENAJE

ESTA FIGURA SE ENTREGA EN FÍSICO Y EN MEDIO MAGNÉTICO ADJUNTO

FIGURA 8.5A DETALLES ALTERNATIVA 3

ESTA FIGURA SE ENTREGA EN FÍSICO Y EN MEDIO MAGNÉTICO ADJUNTO

FIGURA 8.5B DETALLES ALTERNATIVA 3

ESTA FIGURA SE ENTREGA EN FÍSICO Y EN MEDIO MAGNÉTICO ADJUNTO

FIGURA 8.6 ELUSIÓN: PÉRDIDAS ESPERADAS

ESTA FIGURA SE ENTREGA EN FÍSICO Y EN MEDIO MAGNÉTICO ADJUNTO

La elusión (Alternativa 4) y la reubicación temporal (Alternativa 1), como sintetizan la convivencia con el problema, reviven el análisis de amenaza plasmado en el capítulo 6 y en los *Planos 8A y 8B* y lo mantienen vigente; la vulnerabilidad y el riesgo sufren cambios substanciales pero antagónicos, en la elusión, aumentan drásticamente al pasar de 290 predios de riesgo medio y alto a 371 (véase el *Anexo G.5* y el *Plano 10B*), y en la reubicación desaparecen los escenarios de riesgo alto y medio (actuales).

Los valores de probabilidad obtenidos permiten exponer de manera gráfica las condiciones de amenaza y de riesgo de las Alternativas 2 y 3 en la *Figura 8.7* y en la *Figura 8.8*, respectivamente. En las alternativas los elementos de mayor riesgo se sustraen y las distancias de viaje de las masas potencialmente inestables se controlan, gracias al amplio espectro de las medidas de contención, las que a su vez, reducen la probabilidad de deslizamiento y las pérdidas esperadas a bajas y medias, respectivamente, en el estadio crítico.

El drenaje, el subdrenaje y la reconformación morfológica, fundada en el retiro de parte de los cuaternarios, y en la implantación de un contrapeso en tierra (compactado al 95 del proctor modificado) en San Luis es sin lugar a dudas una medida generosa de estabilización, la probabilidad condicional divaga del 20% al 0.3% (véase la *Tabla 8.1*, la *Tabla 8.2*, la *Tabla 8.3*, la *Tabla 8.4* y la *Tabla 8.5*) indistinto de la zona homogénea, si el período de exposición alcanza los 10 años, los escenarios críticos se dibujan en las laderas S1, superficies GS1_1A2 y GS1_2A2, S2, superficie GS2_7A2, y S5, superficie, GS5_4A2, los factores de seguridad se posicionan entre el 1.838 (*Tabla 8.5*) y 0.967 (*Tabla 8.1*) en ausencia de cualquier agente exógeno; la activación tendría lugar bajo la participación del sismo, del agua, sí y sólo sí operen los parámetros de resistencia mínimos, o si se conjugan la lluvia y el sismo.

Los beneficios en las vertientes (es decir en todo el entorno) se reducen sustancialmente en el tiempo, la posibilidad de movilización se encaja entre el 5.1% y el 43%, si el escenario temporal de análisis toca los 50 años; las superficies GS1_1A2, GS1_2A2, GS1_3A2, GS2_7A2, GS3_3A2, GS3_7A2 y GS5_4A2 exhiben respuestas anómalas, su probabilidad condicional supera el 15% (según se expresa en la *Tabla 8.1*, en la *Tabla 8.2* y en la *Tabla 8.3*), suficiente para dar lugar a la reaparición de nuevos focos de inestabilidad o a la reactivación de los procesos estabilizados, pero insuficiente para garantizar la implantación de urbanizaciones, de viviendas aisladas o de cualquier proyecto de renovación urbanístico, excepto tal vez el de un parque (pero de recreación pasiva). A pesar de los resultados, queda claro que el principio de acción y la composición de la alternativa para nada son descabellados; el subdrenaje es una herramienta prioritaria si se pretende estabilizar o mitigar los efectos de los procesos. Prueba de ello reposa en la notable reducción en las probabilidades de falla, que se alcanza si operan sólo sistemas efectivos de subdrenaje y drenaje: panorama transcrito en el *Anexo G.2*; las posibilidades de movilización en ningún caso supera el 32.70% y el 46%, toda vez que el periodo de exposición sea de 10 años y 50 años, respectivamente.

La participación de las pantallas con pilas, elemento sustantivo de la Alternativa 3, se traduce en una notable mejoría en la estabilidad, en especial en los sectores DLIMT-I-1, LDIUm-I-1 y LDIM-I-2. Las posibilidades de movilización para los depósitos antrópicos descienden desde el 38% (sección 2-2', 3-3´, 5-5, véase las *Tablas 6.10* a *6.12*) y superiores hasta niveles por de bajo del 10% (superficies críticas: GS2_3A3, con el 7,50%, GS3_2A3, con el 9.96%, GS3_4A3, con el 10%, y GS5_3A3, con el 9.96%, de la *Tabla 8.6* y de la *Tabla 8.7*), en otras palabras la amenaza trasiega desde alta hasta baja para 10 años y 50 años. La falla puede tener cabida en las instancias más adversas, es decir toda vez que participe el sismo crítico ($a_{máx}$=0.22g) o los dos agentes exógenos, y cualesquiera sean los coeficientes efectivos de resistencia, tal y como lo sugiere la *Tabla 8.6* y la *Tabla 8.7*; el comportamiento esperado en condiciones de trabajo normales (i.e con la participación de la lluvia y sin agua y sin sismo) es siempre satisfactoria, las esperanzas del factor de seguridad oscilan entre 1.00 y 3.77 (véase la *Tabla 8.6*).

FIGURA 8.7 AMENAZA CON OBRAS: ALTERNATIVA 2

ESTA FIGURA SE ENTREGA EN FÍSICO Y EN MEDIO MAGNÉTICO ADJUNTO

FIGURA 8.8 AMENAZA CON OBRAS: ALTERNATIVA 3

ESTA FIGURA SE ENTREGA EN FÍSICO Y EN MEDIO MAGNÉTICO ADJUNTO

TABLA 8.1 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD CONDICIONAL DE FALLA - ALTERNATIVA 2 (SUBDRENAJE INEFICIENTE)

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL											
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS											
				Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2
Sección				S-1	S-1	S-1	S-1	S-1	S-1	S-1	S-2	S-2	S-2	S-2	S-2
Superficie de Falla				GS1-1A2	GS1-2A2	GS1-3A2	GS1-4A2	GS1-5A2	GS1-6A2	GS1-7A2	GS2-1A2	GS2-2A2	GS2-3A2	GS2-3A2	GS2-4A2
Fricción	Cohesion (T/m²)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Sin	1.493	1.562	1.687	1.732	1.769	1.840	1.927	2.919	2.572	1.980	1.756	1.778
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Sin	1.035	1.085	1.220	1.259	1.769	1.334	1.389	2.251	2.060	1.543	1.675	1.561
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Sin	1.425	1.498	1.635	1.696	1.736	1.810	1.893	2.640	2.204	1.867	1.751	1.728
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Sin	0.967	1.021	1.168	1.222	1.244	1.304	1.354	1.973	1.691	1.430	1.670	1.511
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Con	0.655	0.671	0.727	0.726	0.726	0.740	0.749	1.458	1.373	1.047	0.923	0.906
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Con	0.455	0.467	0.525	0.526	0.523	0.535	0.539	1.132	1.111	0.817	0.885	0.793
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Con	0.622	0.640	0.702	0.709	0.711	0.727	0.734	1.307	1.159	0.981	0.921	0.877
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Con	0.422	0.436	0.500	0.509	0.507	0.521	0.523	0.981	0.896	0.750	0.882	0.764
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Sin	1.395	1.462	1.499	1.510	1.522	1.556	1.683	2.212	2.488	1.354	1.192	1.352
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Sin	0.968	1.018	1.092	1.107	1.108	1.140	1.220	1.745	2.000	1.075	1.140	1.215
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Sin	1.327	1.398	1.448	1.474	1.489	1.525	1.648	1.938	2.120	1.242	1.187	1.302
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Sin	0.901	0.953	1.040	1.070	1.075	1.109	1.186	1.471	1.631	0.963	1.135	1.164
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Con	0.606	0.622	0.635	0.621	0.611	0.612	0.643	1.092	1.325	0.696	0.607	0.675
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Con	0.422	0.434	0.463	0.454	0.612	0.446	0.465	0.868	1.076	0.554	0.585	0.605
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Con	0.572	0.591	0.610	0.603	0.596	0.597	0.627	0.947	1.111	0.631	0.604	0.642
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Con	0.389	0.403	0.438	0.436	0.429	0.432	0.450	0.722	0.862	0.488	0.582	0.575
				0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g
			w	W_1max	W_1max	W_1max	W_1max	W_1max	W_1max	W_1max	W_1max	W_1max	W_1max	W_1max	W_1max
Material				Qfg	Qfg	Qfg	Qfg	Qfg	Qfg	Qfg	Qdam	Qdam	Qdam	Qfg	Qdam
Valores paramétricos empleados en cada sección	ϕ_{max}			15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	15,7	24.0	24.0	24.0	15,7	24.0
	ϕ_{min}			10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	10,8	17,6	17,6	17,6	10,8	17,6
	C_{max} (ton/m²)			0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	1,5	1,5	1,5	0,1	1,5
	C_{min} (ton/m²)			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0,8	0,8	0,8	0.00	0,8
Probabilidad de falla (Pf) a 1año Método PEM			N	0.1631	0.1153	0.0376	0.0256	0.0063	0.0153	0.0114	0.0003	0.0006	0.0071	0.0021	0.0021
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM			N	0.2001	0.1477	0.0703	0.0570	0.0428	0.0443	0.0352	0.0063	0.0049	0.0578	0.0208	0.0208
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM			N	0.2481	0.1914	0.1151	0.1005	0.0920	0.0855	0.0709	0.0248	0.0129	0.1232	0.0513	0.0513
Probabilidad de falla (Pf) a 50 años Método PEM			N	0.3059	0.2471	0.1736	0.1584	0.1546	0.1419	0.1233	0.0642	0.0267	0.1997	0.0999	0.1000

TABLA 8.2 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD CONDICIONAL DE FALLA - ALTERNATIVA 2 (SUBDRENAJE INEFICIENTE)

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL											
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS											
				Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2
Sección				S-2	S-2	S-2	S-2	S-2	S-2	S-2	S-3	S-3	S-3	S-5	S-5
Superficie de Falla				GS2-4A2	GS2-5A2	GS2-5A2	GS2-6A2	GS2-6A2	GS2-7A2	GS2-7A2	GS3-1A2	GS3-4A2	GS3-4A2	GS5-1A2	GS5-7A2
Fricción	Cohesion (T/m^2)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.
ϕ_{max}	c_{max}	Sin	Sin	1.733	1.748	1.731	1.767	1.686	1.794	1.810	2.957	1.877	2.031	2.371	2.777
ϕ_{min}	c_{max}	Sin	Sin	1.586	1.562	1.565	1.554	1.601	1.538	1.513	1.916	1.700	1.590	1.804	2.520
ϕ_{max}	c_{min}	Sin	Sin	1.727	1.701	1.725	1.714	1.682	1.726	1.799	2.704	1.837	2.016	2.184	2.705
ϕ_{min}	c_{min}	Sin	Sin	1.580	1.515	1.558	1.501	1.597	1.470	1.501	2.009	1.650	1.575	1.617	2.449
ϕ_{max}	c_{max}	Sin	Con	0.876	0.856	0.843	0.922	0.877	0.807	0.808	1.444	0.759	0.813	1.274	0.872
ϕ_{min}	c_{max}	Sin	Con	0.808	0.764	0.766	0.814	0.837	0.690	0.680	0.933	0.683	0.640	0.976	0.789
ϕ_{max}	c_{min}	Sin	Con	0.873	0.829	0.839	0.891	0.875	0.773	0.803	1.310	0.737	0.807	1.165	0.847
ϕ_{min}	c_{min}	Sin	Con	0.805	0.738	0.763	0.783	0.835	0.656	0.675	0.978	0.660	0.633	0.866	0.764
ϕ_{max}	c_{max}	Con	Sin	1.313	1.305	1.292	1.347	1.297	1.193	1.193	2.376	1.325	1.406	2.112	2.230
ϕ_{min}	c_{max}	Con	Sin	1.223	1.199	1.188	1.231	1.243	1.031	1.004	1.526	1.182	1.117	1.620	2.017
ϕ_{max}	c_{min}	Con	Sin	1.308	1.257	1.285	1.295	1.293	1.125	1.182	2.125	1.274	1.391	1.926	2.158
ϕ_{min}	c_{min}	Con	Sin	1.217	1.152	1.182	1.179	1.238	0.963	0.993	1.597	1.138	1.112	1.434	1.945
ϕ_{max}	c_{max}	Con	Con	0.649	0.621	0.610	0.688	0.660	0.512	0.505	1.144	0.511	0.538	1.124	0.685
ϕ_{min}	c_{max}	Con	Con	0.611	0.572	0.567	0.633	0.637	0.442	0.431	0.731	0.457	0.431	0.868	0.617
ϕ_{max}	c_{min}	Con	Con	0.646	0.595	0.607	0.658	0.658	0.477	0.500	1.013	0.489	0.531	1.016	0.660
ϕ_{min}	c_{min}	Con	Con	0.608	0.546	0.563	0.603	0.634	0.407	0.425	0.765	0.434	0.425	0.759	0.592
			w	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g
				W_1max	W_1max	W_1max	W_1max	W_1max	W_1max	W_1max	W_1max	W_1max	W_1max	W_1max	W_1max
Material				Qfg	Qdam	Qfg	Qdam	Qfg	Qdam	Qfg	Qdam	Qdam	Qfg	Qdam	Qdam
Valores paramétricos empleados en cada sección	ϕ_{max}			15.7	24.0	15.7	24.0	15.7	24.0	15.7	24.0	24.0	15.7	24.0	24.0
	ϕ_{min}			10.8	17.6	10.8	17.6	10.8	17.6	10.8	17.6	17.6	10.8	17.6	17.6
	c_{max} (ton/m^2)			0.10	1.50	0.10	1.50	0.10	1.50	0.10	1.50	1.50	0.10	1.50	1.50
	c_{min} (ton/m^2)			0.00	0.80	0.00	0.80	0.00	0.80	0.00	0.80	0.80	0.00	0.80	0.80
Probabilidad de falla (Pf) a 1año Método PEM			N	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0021	0.0081	0.0074	0.0015	0.0021	0.0034	0.0011	0.0021
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM			N	0.0208	0.0208	0.0208	0.0208	0.0208	0.0716	0.0659	0.0096	0.0210	0.0307	0.0094	0.0208
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM			N	0.0513	0.0513	0.0513	0.0512	0.0513	0.1494	0.1383	0.0285	0.0517	0.0703	0.0273	0.0513
Probabilidad de falla (Pf) a 50 años Método PEM			N	0.0999	0.0999	0.0999	0.0998	0.0999	0.2335	0.2184	0.0649	0.1005	0.1257	0.0611	0.0999

TABLA 8.3 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD CONDICIONAL DE FALLA - ALTERNATIVA 2 (SUBDRENAJE INEFICIENTE)

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL											
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS											
				Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2								
Sección				S-5	S-6	S-6	S-6								
Superficie de Falla				GS5-7A2	GS6-1A2	GS6-6A2	GS6-6A2								
Fricción	Cohesion (T/m^2)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.								
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Sin	3.012	2.728	2.766	2.295								
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Sin	2.345	2.100	2.214	2.295								
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Sin	2.985	2.371	2.372	2.295								
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Sin	2.318	1.819	1.819	2.295								
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Con	0.941	1.360	1.470	1.216								
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Con	0.736	1.054	1.187	1.216								
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Con	0.932	1.222	1.244	1.216								
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Con	0.727	0.916	0.961	1.216								
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Sin	2.396	2.076	2.589	2.144								
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Sin	1.886	1.635	2.088	2.144								
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Sin	2.369	1.826	2.196	2.144								
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Sin	1.859	1.383	1.694	2.144								
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Con	0.731	1.017	1.369	1.130								
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Con	0.579	0.808	1.115	1.130								
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Con	0.721	0.884	1.143	1.130								
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Con	0.570	0.673	0.889	1.130								
				0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g								
			w	W_1max	W_1max	W_1max	W_1max								
Material				Qfg	Qdam	Qdam	Qfg								
Valores paramétricos empleados en cada sección		ϕ_{max}		15.7	24.0	24.0	15.7								
		ϕ_{min}		10.8	17.6	17.6	10.8								
		C_{max} (ton/m²)		0.10	1.50	1.50	0.10								
		C_{min} (ton/m²)		0.00	0.80	0.80	0.00								
Probabilidad de falla (Pf) a 1año Método PEM			N	0.0020	0.0006	0.0003	0.0000								
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM			N	0.0201	0.0088	0.0030	0.0000								
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM			N	0.0501	0.0314	0.0089	0.0000								
Probabilidad de falla (Pf) a 50 años Método PEM			N	0.0989	0.0778	0.0199	0.0000								

TABLA 8.4 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD CONDICIONAL DE FALLA - ALTERNATIVA 2 (DRENAJE EFICIENTE)

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL											
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS											
				Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2
Sección				S-2	S-2	S-2	S-2	S-2	S-2	S-2	S-3	S-3	S-3	S-3	S-5
Superficie de Falla				GS2-1A2	GS2-2A2	GS2-3A2	GS2-4A2	GS2-5A2	GS2-6A2	GS2-7A2	GS3-1A2	GS3-2A2	GS3-3A2	GS3-4A2	GS5-1A2
Fricción	Cohesion (T/m^2)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Sin	2.932	2.572	1.940	1.860	1.748	1.812	1.660	3.003	1.891	1.663	1.697	2.371
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Sin	2.262	2.534	1.650	1.642	1.562	1.598	1.406	2.300	1.490	1.442	1.510	1.804
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Sin	2.652	2.060	1.827	1.810	1.701	1.759	1.593	2.743	1.791	1.609	1.646	2.185
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Sin	1.981	1.691	1.392	1.517	1.515	1.545	1.339	2.040	1.390	1.388	1.459	1.618
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Con	1.462	1.373	1.027	0.944	0.856	0.944	0.748	1.458	0.993	0.772	0.683	1.274
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Con	1.135	1.387	0.884	0.830	0.765	0.834	0.633	1.123	0.782	0.666	0.607	0.976
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Con	1.310	1.111	0.962	0.914	0.829	0.912	0.715	1.321	0.935	0.743	0.660	1.165
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Con	0.983	0.896	0.732	0.801	0.738	0.803	0.599	0.986	0.723	0.637	0.584	0.866
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Sin	2.349	2.488	1.442	1.428	1.334	1.415	1.129	2.644	1.547	1.297	1.316	2.138
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Sin	1.845	2.475	1.238	1.283	1.221	1.288	0.962	2.044	1.233	1.123	1.165	1.638
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Sin	2.072	2.000	1.275	1.377	1.286	1.363	1.061	2.385	1.448	1.243	1.265	1.952
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Sin	1.567	1.631	0.981	1.232	1.173	1.235	0.894	1.784	1.132	1.069	1.114	1.452
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Con	1.157	1.325	0.747	0.710	0.636	0.722	0.488	1.271	0.800	0.588	0.516	1.139
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Con	0.916	1.353	0.651	0.636	0.584	0.661	0.415	0.989	0.637	0.505	0.456	0.879
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Con	1.009	1.076	0.652	0.680	0.610	0.691	0.454	1.136	0.742	0.559	0.493	1.030
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Con	0.767	0.862	0.501	0.606	0.557	0.630	0.381	0.854	0.578	0.476	0.433	0.760
				0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g
			w	W_intermedia	W_intermedia	W_intermedia	W_intermedia	W_intermedia	W_intermedia	W_intermedia	W_intermedia	W_intermedia	W_intermedia	W_intermedia	W_intermedia
Material				Qdam	Qdam	Qdam	Qdam	Qdam	Qdam	Qdam	Qdam	Qdam	Qdam	Qdam	Qdam
Valores paramétricos empleados en cada sección	ϕ_{max}			24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
	ϕ_{min}			20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
	C_{max} (ton/m^2)			1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
	C_{min} (ton/m^2)			0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Probabilidad de falla (Pf) a 1año Método PEM			N	0.0003	0.0007	0.0043	0.0021	0.0021	0.0021	0.0168	0.0003	0.0033	0.0028	0.0022	0.0011
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM			N	0.0052	0.0041	0.0383	0.0206	0.0208	0.0207	0.1453	0.0036	0.0251	0.0266	0.0217	0.0092
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM			N	0.0201	0.0103	0.0860	0.0510	0.0513	0.0510	0.2918	0.0123	0.0594	0.0624	0.0529	0.0264
Probabilidad de falla (Pf) a 50 años Método PEM			N	0.0514	0.0996	0.1491	0.0997	0.0999	0.0997	0.4273	0.0297	0.1117	0.1151	0.1022	0.0584

TABLA 8.5 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD CONDICIONAL DE FALLA - ALTERNATIVA 2 (DRENAJE EFICIENTE)

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL											
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS											
				Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2	Alt 2
Sección				S-5	S-5	S-5	S-5	S-5	S-5	S-6	S-6	S-6	S-6	S-6	S-6
Superficie de Falla				GS5-2A2	GS5-3A2	GS5-4A2	GS5-5A2	GS5-6A2	GS5-7A2	GS6-1A2	GS6-2A2	GS6-3A2	GS6-4A2	GS6-5A2	GS6-6A2
Fricción	Cohesion (T/m²)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Sin	2.354	1.858	1.838	1.999	2.223	2.481	2.737	2.771	2.771	2.771	2.299	2.299
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Sin	1.795	1.477	1.581	1.707	1.936	2.225	2.118	2.918	2.219	2.219	2.299	2.299
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Sin	2.183	1.765	1.763	1.920	2.118	2.410	2.375	2.375	2.375	1.969	2.299	2.299
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Sin	1.623	1.383	1.456	1.627	1.830	2.154	1.822	1.822	1.822	1.416	2.299	2.299
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Con	1.203	0.948	0.852	0.848	0.870	0.780	1.362	1.472	1.472	1.472	1.218	1.218
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Con	0.922	0.752	0.708	0.723	0.758	0.698	1.056	1.557	1.189	1.189	1.218	1.218
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Con	1.106	0.895	0.813	0.810	0.824	0.756	1.224	1.245	1.245	1.013	1.218	1.218
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Con	0.825	0.699	0.669	0.685	0.720	0.673	0.918	0.962	0.962	0.729	1.218	1.218
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Sin	2.094	1.545	0.510	1.647	1.861	1.024	2.270	2.751	2.750	2.751	2.882	2.882
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Sin	1.608	1.235	1.261	1.408	1.622	1.809	1.774	2.898	2.204	2.204	2.882	2.882
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Sin	1.923	1.452	1.435	1.567	1.756	1.953	0.260	2.355	2.354	1.948	2.882	2.882
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Sin	1.437	1.142	1.185	1.328	1.516	1.737	1.520	1.808	1.807	1.401	2.882	2.882
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Con	1.059	0.775	0.687	0.684	0.715	0.625	1.116	1.460	1.460	1.460	1.208	1.208
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Con	0.810	0.619	0.571	0.584	0.623	0.556	0.879	1.545	1.181	1.181	1.208	1.208
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Con	0.964	0.723	0.648	1.467	0.669	0.600	0.980	1.233	1.233	1.001	1.208	1.208
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Con	0.723	0.566	0.532	1.546	0.557	0.531	0.743	0.954	0.953	0.721	1.208	1.208
				0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g
			w	W_intermedia	W_intermedia	W_intermedia	W_intermedia	W_intermedia	W_intermedia	W_intermedia	W_intermedia	W_intermedia	W_intermedia	W_intermedia	W_intermedia
Material				Qdam	Qdam	Qdam	Qdam	Qdam	Qdam	Qdam	Qdam	Qdam	Qdam	Qfg	Qfg
Valores paramétricos empleados en cada sección	ϕ_{max}			24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	15.7	15.7
	ϕ_{min}			17.6	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6	17.6	10.8	10.8
	C_{max} (ton/m²)			1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	0.10	0.10
	C_{min} (ton/m²)			0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.00	0.00
Probabilidad de falla (Pf) a 1año Método PEM			N	0.0013	0.0032	0.0022	0.0021	0.0021	0.0032	0.0005	0.0004	0.0003	0.0115	0.0000	0.0000
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM			N	0.0122	0.0251	0.0218	0.0175	0.0208	0.0305	0.0073	0.0020	0.0024	0.0182	0.0000	0.0000
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM			N	0.0345	0.0591	0.0531	0.0350	0.0513	0.0699	0.025	0.0047	0.0060	0.0291	0.0000	0.0000
Probabilidad de falla (Pf) a 50 años Método PEM			N	0.0950	0.1107	0.1024	0.0544	0.0990	0.1253	0.0609	0.0092	0.0118	0.0465	0.0000	0.0000

TABLA 8.6 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD CONDICIONAL DE FALLA - ALTERNATIVA 3

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL											
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS											
				Alt 3	Alt 3	Alt 3	Alt 3	Alt 3	Alt 3	Alt 3	Alt 3	Alt 3	Alt 3	Alt 3	Alt 3
Sección				S-1	S-1	S-1	S-1	S-1	S-1	S-2	S-2	S-2	S-2	S-2	S-2
Superficie de Falla				GS1-2A3	GS1-3A3	GS1-4A3	GS1-5A3	GS1-6A3	GS1-7A3	GS1-1A3	GS1-2A3	GS1-3A3	GS1-4A3	GS1-5A3	GS1-6A3
Fricción	Cohesion (T/m^2)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Sin	2.331	2,680	2.554	2.500	2.742	2.713	3.075	2.684	3.108	3.405	3.102	3.772
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Sin	2.036	2,028	2.078	2.005	2.213	2.062	2.726	2.376	2.789	3.029	2.741	3.418
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Sin	2.307	2,627	2.519	2.466	2.699	2.658	2.785	2.469	2.903	3.405	2.841	3.467
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Sin	2.012	1,975	2.043	1.970	2.170	2.007	2.436	2.161	2.584	2.742	2.479	3.113
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Con	1.019	0.894	0.955	0.930	0.986	0.901	1.572	1.350	1.401	1.801	1.657	1.848
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Con	0.893	0,675	0.778	0.747	0.797	0.683	1.401	1.200	1.262	1.610	1.472	1.683
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Con	1.007	0,874	0.941	0.916	0.969	0.881	1.414	1.233	1.302	1.801	1.509	1.691
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Con	0.882	0,655	0.763	0.732	0.780	0.663	1.242	1.083	1.162	1.451	1.324	1.525
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Sin	2.161	2,371	2.231	2.145	2.452	2.429	3.395	2.050	2.261	2.600	2.248	3.011
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Sin	1.920	1,819	1.858	1.763	2.016	1.868	2.170	1.857	2.070	2.370	2.041	2.789
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Sin	2.137	2,318	2.196	2.111	2.408	2.374	2.107	1.836	2.057	2.600	1.990	2.723
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Sin	1.896	1,765	1.823	1.729	1.972	1.813	1.881	1.643	1.866	2.085	1.782	2.500
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Con	0.938	0,78	0.823	0.785	0.872	0.796	1.206	1.012	0.999	1.359	1.181	1.462
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Con	0.838	0,597	0.687	0.647	0.719	0.611	1.100	0.923	0.919	1.248	1.081	1.373
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Con	0.927	0,760	0.808	0.771	0.855	0.776	1.049	0.960	0.900	1.369	1.039	1.315
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Con	0.826	0,577	0.673	0.633	0.702	0.591	0.943	0.807	0.820	1.091	0.938	1.215
				0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g
			w	W_1max	W_1max	W_1max	W_1max	W_1max	W_1max	W_1max	W_1max	W_1max	W_1max	W_1max	W_1max
Material				Qfg	Qfg	Qfg	Qfg	Qfg	Qfg	Qdam	Qdam	Qdam	Qdam	Qdam	Qdam
Valores paramétricos empleados en cada sección	ϕ_{max}			15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	15.7	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
	ϕ_{min}			10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	10.8	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
	C_{max} (ton/m²)			0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
	C_{min} (ton/m²)			0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método PEM			N	0.0017	0.0021	0.0020	0.0020	0.0019	0.0021	0.0003	0.0001	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM			N	0.0176	0.0206	0.0200	0.0203	0.0192	0.0205	0.0037	0.0051	0.0055	0.0000	0.0014	0.0000
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM			N	0.0462	0.0509	0.0500	0.0505	0.0488	0.0508	0.0108	0.0246	0.0269	0.0002	0.0070	0.0000
Probabilidad de falla (Pf) a 50 años Método PEM			N	0.0951	0.0996	0.0988	0.0993	0.0977	0.0995	0.0234	0.0684	0.0752	0.0006	0.0196	0.0000

TABLA 8.7 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD CONDICIONAL DE FALLA - ALTERNATIVA 3

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL											
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS											
				Alt 3	Alt 3	Alt 3	Alt 3	Alt 3	Alt 3	Alt 3	Alt 3	Alt 3	Alt 3	Alt 3	Alt 3
Sección				S-2	S-3	S-3	S-3	S-3	S-5	S-5	S-5	S-5	S-5	S-5	S-5
Superficie de Falla				GS1-7A3	GS3-1A3	GS3-2A3	GS3-3A3	GS3-4A3	GS5-1A3	GS5-2A3	GS5-3A3	GS5-4A3	GS5-5A3	GS5-6A3	GS5-7A3
Fricción	Cohesion (T/m^2)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Sin	2.540	1.446	2.273	1.626	1.950	2.201	1.601	2.055	1.816	1.820	1.357	1.972
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Sin	2.324	1.290	2.128	1.482	1.838	2.141	1.483	2.014	1.777	1.813	1.347	1.965
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Sin	2.416	1.168	1.582	1.235	1.903	2.160	1.401	2.034	1.796	1.812	1.345	1.962
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Sin	2.200	1.013	1.438	1.091	1.792	2.099	1.260	1.993	1.758	1.806	1.336	1.955
ϕ_{max}	C_{max}	Sin	Con	1.101	0.961	1.610	1.123	0.813	1.417	0.885	1.184	1.112	1.099	0.695	1.133
ϕ_{min}	C_{max}	Sin	Con	1.009	0.867	1.522	1.035	0.768	1.382	0.826	1.162	1.089	1.094	1.688	1.127
ϕ_{max}	C_{min}	Sin	Con	1.042	0.755	1.185	0.826	0.792	1.389	0.762	1.170	1.098	1.093	1.687	1.126
ϕ_{min}	C_{min}	Sin	Con	0.950	0.660	0.997	0.737	0.746	1.355	0.689	1.148	1.075	1.088	1.680	1.120
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Sin	1.781	1.391	2.273	1.593	1.381	2.057	1.501	1.914	1.683	1.744	1.279	1.897
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Sin	1.654	1.245	2.128	1.455	1.308	2.019	1.379	1.888	1.657	1.739	1.271	1.892
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Sin	1.657	1.113	1.582	1.202	1.334	2.017	1.280	1.893	1.664	1.736	1.268	1.887
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Sin	1.530	0.969	1.438	1.064	1.261	1.978	1.157	1.867	1.638	1.731	1.260	1.882
ϕ_{max}	C_{max}	Con	Con	0.742	0.920	1.610	1.097	0.559	1.326	0.824	1.101	1.029	1.052	0.652	1.087
ϕ_{min}	C_{max}	Con	Con	0.698	0.833	1.522	1.014	0.530	1.304	0.763	1.087	1.013	1.047	0.645	1.088
ϕ_{max}	C_{min}	Con	Con	0.691	0.714	1.085	1.800	0.574	1.299	0.689	1.087	1.015	1.046	0.644	1.080
ϕ_{min}	C_{min}	Con	Con	0.640	0.627	0.997	0.716	0.509	1.277	0.626	1.074	1.000	1.041	0.638	1.076
				0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g	0,22 g
			w	W_1max	W_1max	W_2max	W_2max	W_2max	W_2max	W_2max	W_2max	W_2max	W_2max	W_2max	W_2max
Material				Qfg	Qdam	Qdam	Qdam	Qdam	Qdam	Qdam	Qdam	Qdam	Qdam	Qdam	Qdam
Valores paramétricos empleados en cada sección	ϕ_{max}			15.7	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0	24.0
	ϕ_{min}			10.8	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0
	C_{max} (ton/m²)			0.10	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
	C_{min} (ton/m²)			0.00	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80
Probabilidad de falla (Pf) a 1año Método PEM			N	0.0007	0.0739	0.0073	0.0419	0.0021	0.0000	0.0024	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	0.0000
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM			N	0.0106	0.1029	0.0091	0.0551	0.0208	0.0000	0.0220	0.0000	0.0005	0.0000	0.0080	0.0000
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM			N	0.0360	0.1434	0.0124	0.0702	0.0513	0.0000	0.0534	0.0000	0.0023	0.0000	0.0322	0.0000
Probabilidad de falla (Pf) a 50 años Método PEM			N	0.0870	0.1974	0.0183	0.0860	0.0999	0.0000	0.0996	0.0000	0.0063	0.0000	0.0837	0.0000

Los menores réditos se circunscriben en la zona homogénea LDIM-I-1, sección 1-1, las probabilidades condicionales descienden del 38% (estado actual descrito en la *Tabla 6.9*) hasta el 10% (escenario representado en la superficie crítica GS1_2A3) en el mediano plazo (10 años), y del 76% (véase la superficie GS1_1R de la *Tabla 6.9*) al 19 %, umbral acotado por la superficie potencial GS2_1A3 en la *Tabla 8.6*.

De esta forma, las alternativas 1, 2 y 3, apuntan desde ya a ser las de mayor viabilidad técnica, empero insuficientes para viabilizar el uso urbanístico o para satisfacer a cabalidad las exigencias de la resolución 227 de 2006, pues en el mejor de los caso las condiciones de amenaza en estado extremo se posicionan en media (véase la *Figura 8.9*). Reparos que demarcan, sin atenuantes, el destino de los predios para conservación (en la forma de un parque). La selección de una de ellas como la propuesta recomendada es función exclusiva de su beneficio económico frente a las otras alternativas. El drenaje, subdrenaje y reconformación morfológica a pesar de no tener los mismos réditos en la reducción de los estados de amenaza de la pantalla con pilas, sus menores costos de inversión la hacen atractiva, máxime si el destino final de todo el conjunto es distinto al urbanístico; la elusión es sin lugar a dudas la medida de menor interés, la posibilidad de pérdida de 364 inmuebles y el reasentamiento en el tiempo de igual número de familias la hacen a priori insostenible, resta su confirmación desde la perspectiva de los costos de falla. Tema que se trata en adelante.

8.3 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA

El modelo de decisión probabilístico, es uno de los múltiples mecanismos que permite al diseñador seleccionar entre diversas alternativas de solución, sin caer en un marco subjetivo, en el que predomine el juicio del experto. Contiene como variables relevantes la probabilidad de falla y el costo de la solución, y está basado en un análisis comparativo entre el nivel de riesgo alcanzado por una medida de mitigación y el costo esperado en pesos para la misma.

Uno de los procedimientos de análisis de decisión más claros y simples es el conocido como "Árboles de decisión hipotéticos". Con el fin de adelantar este tipo de análisis se adopta como definición de riesgo la propuesta por Wu et al (1996), la que fija:

$R = P_f C_f$

en la que:
R = Riesgo Esperado
P_f = Amenaza o probabilidad de falla de un talud y,
C_f = Consecuencia o costo de falla

Para el caso en estudio, la evaluación de la probabilidad de falla, para cada tipo de fenómeno y solicitación, se encuentra compilada en los numerales 6.3, del capítulo 6 y 8.2, del capítulo 8. Por su parte, el costo de falla, se considera como:

$C_f = ID \times C_o$

en la que:
ID = Índice de daño de la unidad expuesta

C_0 = Valor inicial de la alternativa

El costo inicial responde al valor presente de la obra (incluida la compra de los predios para su emplazamiento), puesto que no existen otros elementos físicos que puedan incorporarse, estimativo sintetizado en la *Tabla 8.8* y en la *Tabla 8.9* (y calculado con base en los prediseños diagramados en los *Anexos G.1* y *G.2*, y en los estimativos compilados en el *Anexos G.4*; y las pérdidas potenciales (o costo de falla), en caso de deslizamiento, son iguales al presupuesto de cada alternativa, sumado al valor de la atención de la emergencia, es decir: a las obras de contingencia, y a los costos sociales y público-administrativos. El costo de falla se fija, entonces, igual a 1.20 veces el valor de la alternativa, con tal porcentaje se cubre el costo de la obra actual, el de las obras de contingencia (en caso de falla), y rubros adicionales que integran el mantenimiento, el rediseño, etc. En el caso de no deslizamiento (no falla) el monto de inversión se estima como un porcentaje del valor de la alternativa (cercano al 20%) por labores de mantenimiento.

La convolución de los elementos descritos, esquematizada en la *Figura 8.10*, en la *Figura 8.11*, en la *Figura 8.12*, y en la *Figura 8.13*, revela que el reasentar supone ser el camino más razonable a seguir, cualquiera sea la región o zona homogénea en consideración, a pesar de que obliga a la compra de los predios afectados para salvaguardar la vida de los habitantes. Las pantallas con pilas, contraria a sus notables dividendos en la estabilización de las laderas, entrelazan pérdidas esperadas ligeramente superiores al reasentamiento. Circunstancia similar acontece con el drenaje, el subdrenaje y la reconformación morfológica (Alternativa 2), pero en mayor escala: el riesgo esperado aumenta y la relación beneficio-costo disminuye, aunque permanece distante de la de elusión

Este particular contexto acotado por los costos de inversión, excesivos hoy día para casi todas las alternativas, máxime si se compara con el valor de los inmuebles, revela la necesidad de plantear una salida técnica que no caiga en la desatención a la comunidad por una parte, marco propio de la elusión, y que se distancie de los elevados presupuestos de las opciones 2 y 3, por otra. Salida estructurada alrededor del reasentamiento parcial (alternativa 1) pero robustecida con medidas de mitigación básicas dirigidas a consentir el uso futuro: un parque. Solución denominada *Plan de Acción*, eje central de los siguientes párrafos.

8.4 PLAN DE ACCIÓN

Está configurado por el reasentamiento básico, el tratamiento superficial de los cuerpos de inestabilidad, la compra de los predios baldíos y reasentados, y el monitoreo: *Figura* . Si bien el papel del *Plan de acción* como agente transformador de los escenarios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, rol desenmarañado en concordancia con los lineamientos planteados en los capítulos 6 y 7, es por momentos nimio, tal y como lo revela la *Tabla 8.1*, la *Tabla 8.3*, la *Tabla 8.4*, la *Tabla 8.5*, la *Tabla 8.6* y la *Tabla 8.7* adquiere especial trascendencia en el destino de uso de las laderas, en la reducción de la vulnerabilidad social y ambiental, y en la reafirmación de la comunidad, en especial la de la urbanización San Luis, a la dinámica institucional del distrito capital. Es, en esencia, un instrumento de planificación, a través del ajuste del POT, y derrotero para las decisiones de expansión de lo urbanizable en los barrios, en la alcaldía local y en el distrito capital.

Sus costos directos de inversión se aproximan a los veinticuatro mil millones de pesos (como lo ilustra la *Figura*), y su ejecución tendría cabida en un plazo cercano a los veinticuatro meses (tiempo medio empleado

en la negociación con los habitantes y esquematizado en la *Tabla 8.11*). Finalmente, el monitoreo de las laderas, forjadas en las masas de rellenos antrópicos o de fluvioglacial, a través de piezómetros abiertos, al menos dieciséis alineados en cinco secciones (sin dejar de lado los registros estratigráficos) e inclinómetros (en igual cantidad a los piezómetros), la deducción de las cabezas de presión máximas, y la contrastación de las respuestas mecánicas (pronósticos), es decir la revisión de los factores de seguridad a la luz del seguimiento de la instrumentación, son tareas inaplazables. El refinamiento de los estados operativos es el primer paso para disminuir el riesgo y para refinar las medidas de mitigación, en especial si se pretende reafirmar o redireccionar el destino de uso de los predios.

Dos de las tareas de mayor complejidad social y relevancia del plan de acción residen en la modificación del uso del suelo y en el reasentamiento. La primera requiere desestimar (y de alguna manera rechazar) y prohibir la incorporación de cualquier asomo de urbanización en las laderas intervenidas por la minería, pobremente recuperadas, y catalogadas como de amenaza alta y media para los escenarios actual y futuro (modelos simplificados en los *Planos 8A* y *8B*), contexto que incluye los terrenos baldíos y los hoy ocupados por la urbanización San Luis y por las demás viviendas que se reasienten. La opción: la recreación pasiva, la salida: un parque, el mecanismo: la compra de los lotes hoy día baldíos.

Por su parte, en el cinturón de protección (reseñado así en el *Plano 8B*) es indispensable a fe de dar viabilidad a cualquier proyecto urbanístico el cumplimiento a cabalidad de los estudios Fase II de la resolución 227 de 2006. Exigencia de ninguna manera subsanable o compensable; cualquier modificación en la morfología y morfometría de las laderas, producto de cualquier corte o relleno o de una defectuosa implantación de un proyecto, puede tener serias y adversas repercusiones en la estabilidad de las vertientes, al punto de acelerar la actividad y el desarrollo de los deslizamientos hoy reinantes, de ampliar sus áreas de influencia o de recrear nuevos focos de inestabilidad; cambios que de una u otra manera repercutirían en los estadios de amenaza, bien al posicionarlos en altos en el corto tiempo (menor inclusive al deducido en este proyecto) o bien al ensancharlos.

Y la segunda envuelve la adquisición de los inmuebles de mayor riesgo estructural, por remoción en masa o por ambos, sin considerar el riesgo sísmico (fenómeno que dejaría en entredicho, posiblemente, un mayor número de edificaciones de las que aquí se señala) y el reasentamiento de las familias. El valor estimado de compra por casa está tasado en cerca de 61 millones de pesos para San Luis y de 90 millones para los barrios y urbanizaciones restantes. El plan de reasentamiento podrá adelantarse en tres fases; la primera, de puesta en marcha al muy corto plazo (o inmediato), cubre las construcciones en las que la habitabilidad está altamente comprometida, tal es el caso de las viviendas 1 al 15 de la manzana 55, los predios desde el 01 hasta el 09 y del 40 al 48 del bloque 56, desde el 01 hasta el 17, el 39, el 40 y el 41 de la cuadra 57, desde el 07 hasta el 11 de la cuadra 06, el predio 12 de la manzana 07, y los predios 11 a 18 del bloque 17; la segunda fase, aplicable al mediano plazo, encierra las casas con índice de riesgo futuro alto y algunas , p.e. el grupo integrado por las edificaciones desde la 07 hasta la 15 de la cuadra 60, las viviendas restantes de los bloques 55, 56 y 57, y los módulos 58 y 59, entre otras; y la tercera fase, o de largo plazo, conjuga las casas 06, 07, 10 y 11 de la manzana 44, la 01 de la 54, la 09 del bloque 26 y la 20 de la cuadra 25. Procedimiento sintetizado en la *Tabla 8.11*.

Pero el reasentamiento trae consigo como (ocupaciones) complementarias la demolición de las construcciones y la adecuación de los lotes para su uso futuro (destino aclarado arriba). La demolición se adelantará en paralelo con el reasentamiento, y será ineludible (y de manera alguna de obligatorio cumplimiento) en la primera fase: el estado de daño o de ruina de las estructuras así lo amerita; su pretensión evitar el repoblamiento y la reafirmación de los escenarios de riesgos, en otras palabras evitar la pérdida de

vidas por ocupaciones irresponsables. Los trabajos deben promoverse manualmente a fe de controlar las afectaciones a las edificaciones aledañas, y los residuos de ninguna forma deberán disponerse en los predios circunvecinos ni en los cuerpos de deslizamiento. La adecuación de los lotes tendrá cumplimiento en la medida en que se ejecuten las obras de mitigación; no obstante, una forma de aprovechar las ventajas del desarrollo aterrazado de la urbanización San Luis, reside en la conformación de jardines y pasajes, galerías o miradores (concepción que tiene como puntos de atracción o ejes de diseño los jardines y como elementos dinámicos las bancas); los detalles de su implantación deben atenderse en el diseño del Plan de Acción.

Finalmente, pero no menos importante, es la reparación y mantenimiento de las redes de acueducto y alcantarillado y de la malla vial, en especial de la Transversal 2A y de la Calle 24A sur, cinturones de primer orden para la interconexión del barrio Montebello con el corredor comercial del 20 de Julio, con la Avenida Primero de Mayo y, en medida alguna, con la localidad. El primer quehacer será una constante en el tiempo, e involucrará la suspensión y el sellado de las líneas de alimentación de los predios que se reasienten, su responsable será El Acueducto; el segundo quehacer va de la mano del primero, pues sin el apropiado funcionamiento de las redes la vida del patrimonio vial sería escasa, tendrá como abanderados a la Alcaldía Local, a la UARMV y al IDU.

TABLA 8.8 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO COMPARATIVO ENTRE LAS ALTERNATIVAS

Nº	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT ALT 1	CANT ALT 2	CANT ALT 3	CANT ALT 4	V/UNIT	Alt 1	Alt 2	Alt3	Alt 4
								Reasentamiento de los Predios en Riesgo Inminente	Drenaje, Subdrenaje y Reconformación Morfológica	Pantallas con Pilas	Elusión
1	PRELIMINARES Y MOVIMIENTO DE TIERRA										
1-1	Localización y replanteo***	M2	0	13967	19525	19525	$ 860	$ -	$ 12,011,620	$ 16,791,500	$ 16,791,500
1-2	Campamento e Instalaciones Provisionales**	GLB	0	1	1	1	$ 2,158,757	$ -	$ 2,158,757	$ 2,158,757	$ 2,158,757
1-3	Aislamiento y proteccion de la zona a intervenir en poli sombra H= 2m *	M	0	1130	1254	0	$ 5,783	$ -	$ 6,534,790	$ 7,251,882	$ -
1-4	Compra de viviendas****	UN	0	65	92	0	N/A	$ -	$ 7,043,222,401	$ 7,726,992,000	$ -
1-5	Compra de lotes****	M2	0	34229.7	27103.51	0	$ 333,800	$ -	$ 11,425,873,860	$ 9,047,151,638	$ -
2	EXCAVACIONES Y DEMOLICIONES (OBRAS EN EL CUERPO PRINCIPAL)										
2-1	Demolición de edificaciones ***	M2	0	4881.4	10361.81	0	$ 14,757	$ -	$ 72,034,820	$ 152,909,230	$ -
2-2	Retiro y disposición de escombros/sobrantes a sitio autorizado (distancia inferior a 5 Km)*	M3	0	19723	0	0	$ 23,897	$ -	$ 471,320,531	$ -	$ -
2-3	Excavaciones a Maquina en coluvion **	M3	0	19723	0	0	$ 22,753	$ -	$ 448,747,558	$ -	$ -
2-4	Perfilado de taludes (incluye comision de topografia)	M2	0	24493.53	12969.18	0	$ 18,173	$ -	$ 445,111,521	$ 235,683,931	$ -
2-5	Trinchera Drenante con dren planar y tuberia PVC 0=4" ranurada 8 (incluye excavacion y rellenos, asi como suministro e instalacion del material a utilizar)*	ML	0	0	13	0	$ 103,343	$ -	$ -	$ 1,343,458	$ -
3	EXCAVACIONES Y DEMOLICIONES (OBRAS EN SAN LUIS)										
3-1	Demolición de casas 3 pisos, mamposteria y prelosa. *	M2	0	75	0	0	$ 14,757	$ -	$ 1,106,775	$ -	$ -
3-2	Retiro y disposición de escombros/sobrantes a sitio autorizado (distancia inferior a 5 Km)*	M3	0	3500	0	0	$ 23,897	$ -	$ 83,639,500	$ -	$ -
3-3	Excavaciones a Maquina en coluvion **	M3	0	3500	0	0	$ 22,753	$ -	$ 79,633,750	$ -	$ -
3-5	Trinchera Drenante con dren planar y tuberia PVC 0=4" ranurada 8 (incluye excavacion y rellenos, asi como suministro e instalacion del material a utilizar)*	ML	0	0	5	0	$ 103,343	$ -	$ -	$ 516,715	$ -
4	OBRAS DE ARTE (OBRAS EN EL CUERPO PRINCIPAL)										
4-1	Concreto para cunetas tipo I (0,4*0,45)**	ML	0	297	0	0	$ 79,826	$ -	$ 23,708,227	$ -	$ -
4-2	Concreto para cuneta tipo I (0,4*0,45 con disipadores) **	ML	0	102	0	0	$ 84,597	$ -	$ 8,628,943	$ -	$ -
4-3	Concreto para cunetas tipo II (0,5*0,45)**	ML	0	560	0	0	$ 84,597		$ 47,374,589	$ -	$ -
4-4	Concreto para cunetas tipo III (0,6*0,55 con disipadores) **	ML	0	45	0	0	$ 98,992		$ 4,454,644	$ -	$ -
4-5	Concreto para obras de entrega**	M3	0	3.5	0	0	$ 433,704	$ -	$ 1,517,964	$ -	$ -
4-6	Acero de refuerzo **	KG	0	290.5	1243	0	$ 1,972	$ -	$ 572,866	$ 2,451,196	$ -
4-7	Tuberia de entrega (concreto 27" incluye excavacion y rellenos) **	M	0	57.5	0	0	$ 332,320		$ 19,108,400	$ -	$ -

FUENTE V/UNIT MATERIAL PARA OBRAS: *UAERMV **IDU ***INVIAS ****INVENTARIOS GIA

TABLA 8.9 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO COMPARATIVO ENTRE LAS ALTERNATIVAS (CONTINUACIÓN)

Nº	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT ALT 1	CANT ALT 2	CANT ALT 3	CANT ALT 4	V/UNIT	Alt 1 Reasentamiento de los Predios en Riesgo Inminente	Alt 2 Drenaje, Subdrenaje y Reconformación Morfológica	Alt3 Pantallas con Pilas	Alt 4 Elusión
5	OBRAS DE ARTE (OBRAS EN SAN LUIS)										
5-1	Concreto para cunetas **	ML	0	255	0	0	$ 79,826	$ -	$ 20,355,548	$ -	
5-2	Concreto para obras de entrega**	M3	0	5	0	0	$ 433,704	$ -	$ 2,168,520	$ -	$ -
5-3	Acero de refuerzo **	KG	0	415	2229	0	$ 1,972	$ -	$ 818,380	$ 4,395,588	
5-4	Tuberia de entrega (concreto 27" incluye excavacion y rellenos) **	M	0	6	0	0	$ 136,539	$ -	$ 819,234	$ -	$ -
6	OBRAS DE DRENAJE										
6-1	Drenes Horizontales *	ML	0	4551	3138	0	$ 185,288	$ -	$ 843,245,688	$ 581,433,744	$ -
7	TERRACEO										
7-1	Excavaciones varias en material comun bajo agua (incluye transporte sobrantes)***	M3	0	84247.944		58973	$ 39,455	$ -	$ 3,324,002,631	$ 2,326,779,715	$ 2,326,779,715
8	RELLENO										
8-1	Relleno con material procedente de excavacion(Incluye compactacion)***	M3	0			87878.4	$ 5,798	$ -	$ -	$ 509,518,963	$ 509,518,963
9	OBRAS DE PROTECCION										
9-1	Suministro e instalación de muro en gavión (incluye piedra,malla, geotextil NT-1600 y recubrimiento)	M3	0	910	0	0	$ 89,418	$ -	$ 81,370,021	$ -	$ -
9-2	Suministro y colocación de concreto ciclópeo para cimentación de postes (incluye amarres con guaya de 1/4")	M3	0	1	0	0	$ 249,286	$ -	$ 249,286	$ 8,669,408,900	$ -
9-3	Pilotes preexcavados (caissons) concreto clase C fc=280 kg/cm2(diámetro 1,5 m, incluye excavaciones, formaleta (bien sea metálica o anillos de concreto) soporte temporal, concreto tremie bombeo, no incluye acero de refuerzo) caissons ***	M3	0	0	11906.64	0	$ 1,984,842	$ -	$ -	$ 23,632,795,810	$ -
9-4	Engramado de taludes **	M2	0	33106.24	34777.0	0	$ 6,197	$ -	$ 205,159,369	$ -	$ -
9-5	Siembra de arboles	UND	0	1200	0	0	$ 23,105	$ -	$ 27,726,000	$ -	$ -
10	MONITOREO										
10,1	Instalación de inclinómetros y piezómetros (incluye perforación, y retiro de escombros)	GLB	0	0	0	0	$ 96,168,000	$ -	$ -	$ -	$ -
11	REASENTAMIENTO DE LOS PREDIOS EN RIESGO INMINENTE										
11-1	VALOR DEL RIESGO	GLB	1	0	0	0	$ -	$ 17,077,120,174	$ -	$ -	$ -
12	ELUSIÓN										
12-1	VALOR DEL RIESGO	GLB	0	0	0	1	$ -	$ -	$ -	$ -	$ 48,630,622,478

COSTOS DIRECTOS	$ 17,077,120,174	$ 24,702,676,191	$ 52,917,583,026	$ 51,485,871,413
AIU (25%)		$ 6,175,669,048	$ 13,229,395,757	
ADMINISTRACION (7%)	$ 1,195,398,412			$ 3,604,010,999
COSTO TOTAL ALTERNATIVA	$ 17,077,120,174	$ 30,878,345,239	$ 66,146,978,783	$ 55,089,882,412

FUENTE V/UNIT MATERIAL PARA OBRAS: *UAERMV **IDU ***INVIAS ****INVENTARIOS GIA

FIGURA 8.9 AMENAZA CON OBRAS CONDICIÓN EXTREMA: ALTERNATIVAS 2 Y 3

ESTA FIGURA SE ENTREGA EN FÍSICO Y EN MEDIO MAGNÉTICO ADJUNTO

FIGURA 8.10 ÁRBOL DE DECISIÓN – CONDICIÓN ACTUALDESLIZAMIENTO PRINCIPAL (SECCIÓN 1-1´)

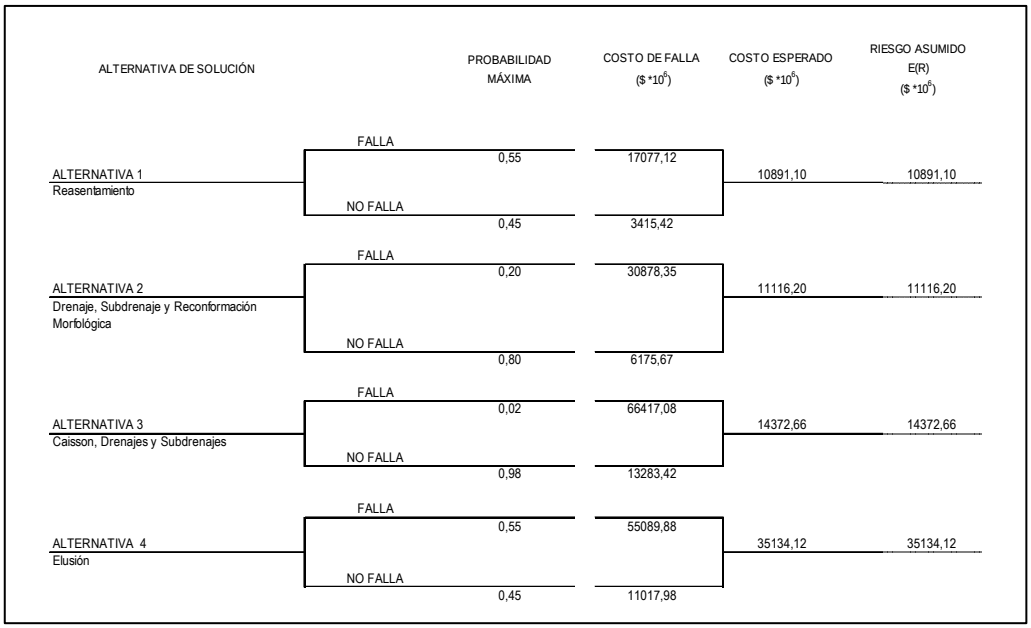


FIGURA 8.11 ÁRBOL DE DECISIÓN CONDICIÓN ACTUAL, DESLIZAMIENTO SAN LUIS (SECCIONES 2-2, 3-3´Y 5-5´)

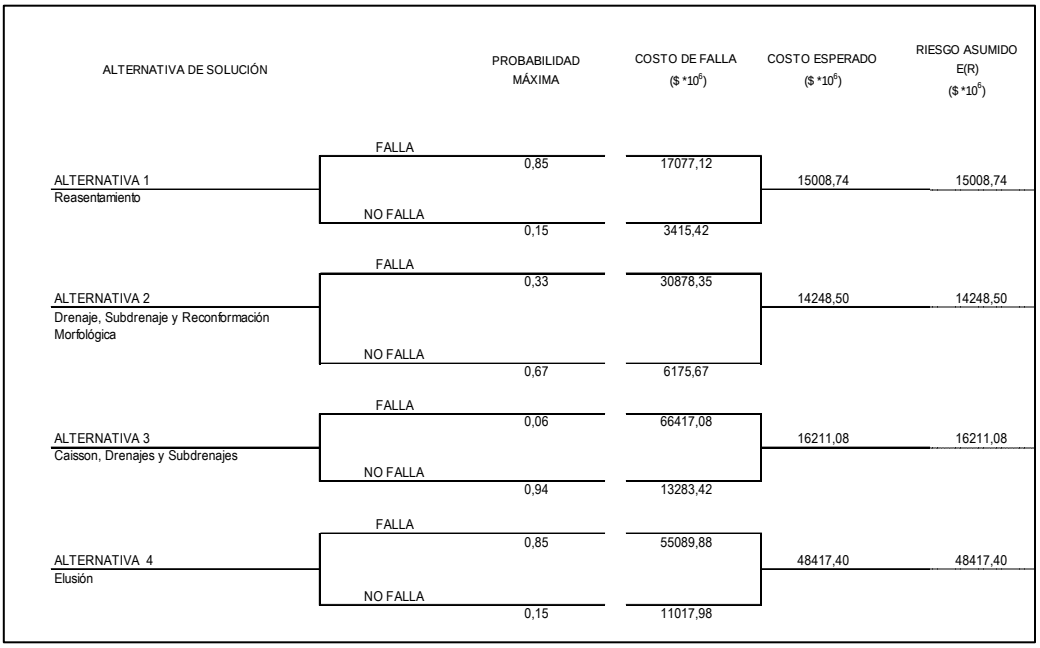


FIGURA 8.12 ÁRBOL DE DECISIÓN CONDICIÓN FUTURA, DESLIZAMIENTO PRINCIPAL (SECCIÓN 1-1´)

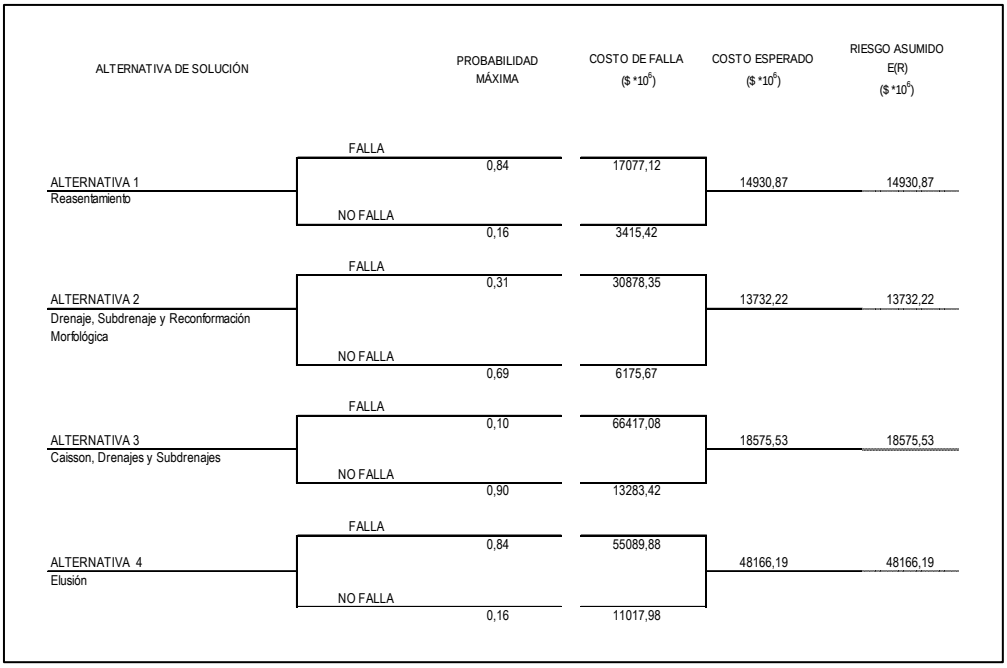


FIGURA 8.13 ÁRBOL DE DECISIÓN CONDICIÓN FUTURA, DESLIZAMIENTO SAN LUIS (SECCIONES 2-2, 3-3´Y 5-5´)

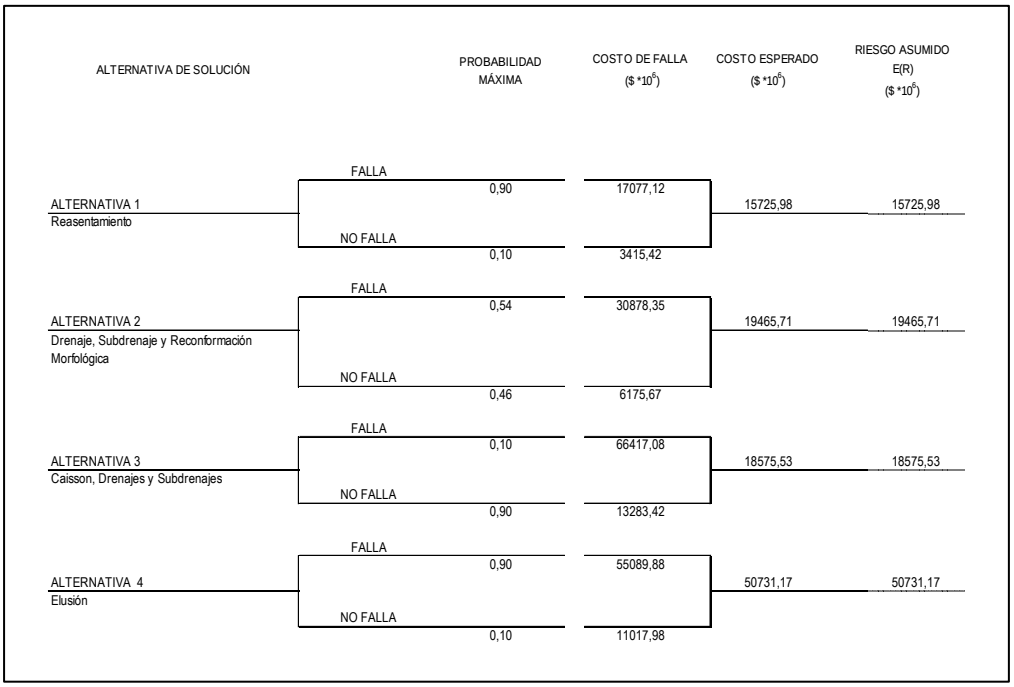


FIGURA 8.14 PLAN DE ACCIÓN

ESTA FIGURA SE ENTREGA EN FÍSICO Y EN MEDIO MAGNÉTICO ADJUNTO

TABLA 8.10 PRESUPUESTO ESTIMADO DEL PLAN DE ACCIÓN

Nº	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT PLAN DE ACCIÓN	V/UNIT	Plan de Acción: Reconformación Morfológica, Drenajes, Reasentamiento y Monitoreo
1	PRELIMINARES Y MOVIMIENTO DE TIERRA				
1-1	Localización y replanteo***	M2	11936,34	$ 860	$ 10.265.252
1-2	Campamento e Instalaciones Provisionales**	GLB	1	$ 2.158.757	$ 2.158.757
1-3	Aislamiento y proteccion de la zona a intervenir en poli sombra H= 2m *	M	523,44	$ 5.783	$ 3.027.054
1-4	Compra de viviendas****	UN	0	N/A	
1-5	Compra de lotes****	M2	0	$ 333.800	
2	EXCAVACIONES Y DEMOLICIONES (OBRAS EN EL CUERPO PRINCIPAL)				
2-1	Demolición de edificaciones ***	M2	0	$ 14.757	
2-2	Retiro y disposición de escombros/sobrantes a sitio autorizado (distancia inferior a 5 Km)*	M3	0	$ 23.897	
2-3	Excavaciones a Maquina en coluvion **	M3	0	$ 22.753	
2-4	Perfilado de taludes (incluye comision de topografia)	M2	7809,54	$ 18.173	$ 141.919.774
2-5	Trinchera Drenante con dren planar y tuberia PVC 0=4" ranurada 8 (incluye excavacion y rellenos, asi como suministro e instalacion del material a utilizar)*	ML	0	$ 103.343	
3	EXCAVACIONES Y DEMOLICIONES (OBRAS EN SAN LUIS)				
3-1	Demolición de casas 3 pisos, mamposteria y prelosa. *	M2	0	$ 14.757	
3-2	Retiro y disposición de escombros/sobrantes a sitio autorizado (distancia inferior a 5 Km)*	M3	0	$ 23.897	
3-3	Excavaciones a Maquina en coluvion **	M3	0	$ 22.753	
3-5	Trinchera Drenante con dren planar y tuberia PVC 0=4" ranurada 8 (incluye excavacion y rellenos, asi como suministro e instalacion del material a utilizar)*	ML	0	$ 103.343	
4	OBRAS DE ARTE (OBRAS EN EL CUERPO PRINCIPAL)				
4-1	Concreto para cunetas tipo I (0,4*0,45)**	ML	297	$ 79.826	$ 23.708.227
4-2	Concreto para cuneta tipo I (0,4*0,45 con disipadores) **	ML	102	$ 84.597	$ 8.628.943
4-3	Concreto para cunetas tipo II (0,5*0,45)**	ML	560	$ 84.597	$ 47.374.589
4-4	Concreto para cunetas tipo III (0,6*0,55 con disipadores) **	ML	45	$ 98.992	$ 4.454.644
4-5	Concreto para obras de entrega**	M3	3,5	$ 433.704	$ 1.517.964
4-6	Acero de refuerzo **	KG	290,5	$ 1.972	$ 572.866
4-7	Tuberia de entrega (concreto 27" incluye excavacion y rellenos) **	M	57,5	$ 332.320	$ 19.108.400
5	OBRAS DE ARTE (OBRAS EN SAN LUIS)				
5-1	Concreto para cunetas **	ML	255	$ 79.826	$ 20.355.548
5-2	Concreto para obras de entrega**	M3	5	$ 433.704	$ 2.168.520
5-3	Acero de refuerzo **	KG	415	$ 1.972	$ 818.380
5-4	Tuberia de entrega (concreto 27" incluye excavacion y rellenos) **	M	6	$ 136.539	$ 819.234
6	OBRAS DE DRENAJE				
6-1	Drenes Horizontales *	M	2252	$ 185.288	$ 417.268.576
7	TERRACEO				
7-1	Excavaciones varias en material comun bajo agua (incluye transporte sobrantes)***	M3	84247,944	$ 39.455	$ 3.324.002.631
8	RELLENO				
8-1	Relleno con material procedente de excavacion(Incluye compactacion)***	M3	0	$ 5.798	
9	OBRAS DE PROTECCION				
9-1	Suministro e instalación de muro en gavión (incluye piedra,malla, geotextil NT-1600 y recubrimiento)	M3	0	$ 89.418	
9-2	Suministro y colocación de concreto ciclópeo para cimentación de postes (incluye amarres con guaya de 1/4")	M3	0	$ 249.286	
9-3	Pilotes preexcavados (caissons) concreto clase C fc=280 kg/cm2(diámetro 1,5 m, incluye excavaciones, formaleta (bien sea metálica o anillos de concreto) soporte temporal, concreto tremie bombeo, no incluye acero de refuerzo) caissons ***	M3	0	$ 1.984.842	
9-4	Engramado de taludes **	M2	11885	$ 6.197	$ 73.651.345
9-5	Siembra de arboles	UND	0	$ 23.105	
10	Monitoreo				
10,1	Instalación de inclinómetros y piezómetros (incluye perforación, y retiro de escombros)	GLB	1	$ 96.168.000	
11	Reasentamiento de los Predios en Riesgo Inminente				
11-1	VALOR DEL RIESGO	GLB	0	$ -	$ 14.459.060.386
12	Elusión				
12-1	VALOR DEL RIESGO	GLB	0	$ -	

COSTOS DIRECTOS	$ 18.560.881.088
AIU (25%)	$ 4.640.220.272
ADMINISTRACION (7%)	$ 1.299.261.676
COSTO TOTAL ALTERNATIVA	$ 24.500.363.036

FUENTE V/UNIT MATERIAL PARA OBRAS: *UAERMV **IDU ***INVIAS ****INVENTARIOS

TABLA 8.11 FASES DE REASENTAMIENTO

PRIORIDAD	TIEMPO DE EJECUCIÓN	BARRIO	MANZANA	PREDIO	CONDICIÓN
1	CORTO PLAZO (INMEDIATO)	MONTEBELLO	6	07, 08, 09, 10, 11	ALTO NIVEL DE RIESGO Y DAÑO ESTRUCTURAL
			7	12	
			17	11*, 12*, 13, 14, 15*, 16, 17*, 18*	
		URBANIZACIÓN SAN LUIS	55	01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15	
			56	01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 40, 41, 42, 43, 44, 45, 46, 47, 48	
			57	01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 39, 40, 41	
2	MEDIANO PLAZO	MONTEBELLO	60	07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15	ÍNDICES DE RIESGO FUTUROS ALTOS
		URBANIZACIÓN SAN LUIS	55	DESDE EL 18 HASTA EL 29	
			56	DEL 10 AL 39	
			57	DESDE EL 18 HASTA EL 37	
			58	01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12,13, 17, 18, 19, 20, 21	
			59	01, 02, 03, 04, 05, 06, 07, 08, 09, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17	
3	LARGO PLAZO	GRANADA SUR	44	06, 07, 10, 11	
			54	01	
		GRANADA SUR III SECTOR	26	09	
			25	20	

* SE REAFIRMA LA DECISIÓN DE REASENTAMIENTO, NO OBSTANTE, SE EXCLUYEN DEL PRESUPUESTO PUES SEGÚN EL DI-4581 ESTÁN EN PROCESO DE REASENTAMIENTO

CAPÍTULO 9

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPÍTULO 9

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Granada Sur, San Luis y Montebello son una muestra fehaciente que los desastres son un continuo. Su incubación surge en el momento mismo en el que se da rienda suelta a la explotación minera (en laderas con evidencias de actividad morfodinámica); se ratifica en la medida en que los cortes son irregulares, con alturas superiores a los diez metros (y cercanas a los veinte metros) y buzamientos pronunciados (superiores a los 60 grados), y la red hídrica es borrada; se acrecienta al otorgarle uso urbano a predios retrollenados, sin una apropiada recuperación morfológica; y alcanza su umbral con la activación y reactivación de generosas masas inestables.

Las vertientes receptoras de los barrios Granada Sur y Montebello, están esculpidas en depósitos fluviglaciales y antrópicos (mineros y urbanísticos), subyacidos por suelos residuales arcillosos y arcillolitas blandas, propias de la formación Bogotá. Han sido y están afectadas por un generoso espectro de procesos de inestabilidad: nichos, del que se tiene evidencia desde hace más de medio siglo.

Los deslizamientos son inducidos y condicionados por la explotación no tecnificada y errática de los recursos minerales (i.e las arcillas), por el desenfrenado avance urbanizador desatado desde la década del 60, y por el aporte de las aguas sanitarias y blancas. Se manifiestan en forma de flujos, deslizamientos y reptaciones, e involucran materiales recientes de génesis fluvioglaciar y depósitos antrópicos. Son activos-avanzados, suspendidos, retrogresivos, con capacidad de ampliarse, complejos (y posiblemente compuestos) y con profundidades de más de quince (15) metros, patrones que sugieren aumento en los escenarios y estadios de amenaza y propagación de los daños.

En respuesta a las modificaciones promovidas por la acción antrópica se crean dos grandes espacios geomorfológicos: uno intensamente intervenido por el urbanismo y la minería, comprende la urbanización San Luis y los barrios Granada Sur, Granada III Sector, en él se gestan los más relevantes procesos de inestabilidad; y otro de moderada intervención en el que si bien la minería y el proceso urbanizador modificaron las laderas, sus efectos carecen de repercusión grave, allí tienen asiento los barrios Montebello, la urbanización Portón Real y Villa Nataly. De otra parte no se descarta que los humedecimientos estacionales y los niveles freáticos superficiales altos estén condicionados, además del aporte de las roturas de redes, por el régimen hidrogeológico que envolvía los antiguos cursos de agua.

En gracia de estas consideraciones, por una parte se revelan los escenarios de amenaza, y por otra se desprende una de las tareas más importante para la mitigación del riesgo: rastrear y subsanar los

desempates y rompimientos en las redes de acueducto y alcantarillado. Ellos deterioran la condición de inestabilidad en las laderas, de por sí bastante menguada. Tarea en la que El Acueducto tiene sitial de honor.

Los estadios críticos de amenaza actual (es decir los de categoría alta) se circunscriben casi irreparablemente a los cuerpos principales de deslizamiento, el de San Luis y el de Granada Sur, en una extensión de 3,3 ha; contexto apenas lógico: los movimientos hoy día son activos, aunque sus tazas de deformación son disímiles. Sin embargo, los escenarios sensibles son aún más extensos, ellos copan los lotes desocupados, catalogados como de amenaza media (ambiente de cerca de 9,5 ha); en otras palabras cubren las superficies restantes de los nichos de deslizamiento; los factores de seguridad esperados (también rotulados como esperanzas) oscilan entre 1,60 y 1,21, y las probabilidades de falla indican, sin atenuantes, rompimientos en su estado de equilibrio bien por la acción, continuada o aislada, del agua y del sismo o bien por modificaciones pequeñas en su condición morfológica.

La imagen es más drástica hacia futuro: 25 o 50 años. Las parcelas más comprometidas, o de amenaza alta, alcanzan las 10,5 ha; cubren la casi totalidad de los baldíos hoy día (predios donde la actividad minera tuvo su mayor arraigo e impacto), gran parte de la Urbanización San Luis, y fajas importantes de los barrios Montebello (en particular las manzanas 04, 06, 07, 08 y 10, o una fracción de ellas), Granada Sur, Granada Sur III Sector. Los deslizamientos rotacionales (con o sin grieta de tracción) en los llenos mineros y en la conjunción llenos mineros-fluvioglacial y llenos urbanísticos-fluvioglacial, y los flujos locales de tierra adquirirían lugar protagónico. Y el uso residencial (para construcción de viviendas) estaría (y está: naturaleza valida en el presente) vedado; restricción que es recomendable mantener, aún para escenarios reducidos; la puesta en marcha de *robustos* sistemas de estabilización, contención y mitigación, que comprometen *enormes inversiones* (superiores a los catorce mil millones de pesos), p.e. caissons, pantallas ancladas, pantallas con pilotes, muros en tierra simple o armada, y perfilados (reconformación morfológica), invariablemente acompañados por redes de subdrenaje y de drenaje superficial (cunetas, zanjas de coronación, descoles, etc), difícilmente pueden garantizar, más allá de cualquier duda razonable, estados permanentes (en el tiempo) de amenaza baja en toda la vertiente (i.e el área de estudio). En su lugar la adecuación (y puesta en marcha) de un parque metropolitano parece el destino más acorde (planteamiento que de ninguna manera puede ni debe desconocer la incorporación de medidas de mitigación).

Sólo los espacios circunvecinos a la carretera sexta y a las calles 20 A sur y 27 A sur (en particular las regiones DLIMU-I-2, la LDIU-I-2, y algunos de la ladera denudacional LDIU-I-1, véanse los *Planos 7* y *8A*) y en propiedad de los barrios S. C. Granada Sur y Montebello (en este caso las manzanas 05, 12, 13, 14, 15 y parte de los bloques 04 y 09) y las Padua, Villa Nataly (excepto por unas pocas viviendas) y Portón Real (parcialmente) exhiben los mejores réditos; su condición de amenaza es baja o media. De este conjunto, el corredor contiguo a los cuerpos de deslizamiento (en una franja de hasta 100 m de ancho), y en el recinto de los antiguos patios de maniobra y de los linderos ocupados por las plantas físicas de las ladrilleras, son las más sensibles; la ejecución de cortes o excavaciones abrirían el compás para la aparición de nuevos focos de inestabilidad o para el aumento en las velocidades de deformación y de viaje de los cuerpos que hoy día operan, y por consiguiente para la creación de nuevos espacios de amenaza alta. Consecuencias que por una parte hacen razonable la conservación de la apariencia (en morfometría y morfología) vigente hoy día en las laderas y que por otra parte le otorgan claros reparos a la viabilidad de proyectos urbanísticos (ya sean de vivienda, centros comerciales, etc).

Los escenarios de vulnerabilidad y riesgo son tan variados como los de amenaza. Su crecimiento es proporcional al tiempo de exposición, derrotero apenas lógico si las masas inestables carecen de intervención o estabilización. En el contexto actual 89 viviendas exhiben vulnerabilidad alta, 223 vulnerabilidad media;

132 hacen parte de riesgo alto, aunque más de la mitad coexisten bajo el rotulo de no mitigable (pues el proceso de destrucción estructural es irreparable) y 156 se catalogan como de riesgo medio; las cifras se multiplican para el escenario futuro, el de 50 años, el entorno de riesgo alto cubre 223 casas y los de medio 147 habitaciones.

Las dificultades de crear ambientes "seguros", por lo menos para los siguientes cincuenta años, bajo los principios del riesgo aceptable, baste señalar que el presupuesto de la Alcaldía Menor de San Cristóbal para el año 2004 era de $ 28.598.280.872 pesos y que la inversión para las alternativas con mayor beneficio técnico superan los $ 50.000.000.000 de pesos, dejan en claro que el camino a seguir, conocido bajo el nombre de "Plan de Acción", apunta a sustraer el mayor riesgo actual.

El plan conjuga el reasentamiento y la demolición de las viviendas de 147 familias, pues se exceptúan las que ya poseen diagnóstico de reasentamiento (v.g las viviendas 07 a la 18 de la manzana 17, 08 y 11 del bloque 6, 12 de la cuadra 7, 10 de la manzana 60 y 11 del bloque 44), la reconformación morfológica, por lo menos del deslizamiento de San Luis, el drenaje y el subdrenaje, la compra de los predios baldíos y reasentados (de amenaza alta futura) y la instrumentación y el monitoreo (gracias a la instalación de dieciséis piezómetros-inclinómetros). Su costo es cercano a los veinte cuatro mil millones de pesos, y requiere la restricción o modificación en el uso del suelo. En este sentido, es pertinente hacer seguimiento detallado a las edificaciones que se están levantando en la actualidad, tal es el caso del Centro Comercial El 20, y revaluar la premisa de seguir urbanizando predios muy intervenidos en el pasado y que ha mostrando evidencias de inestabilidad.

BIBLIOGRAFÍA

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA (1998). "Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente". Bogotá D.C.

- BIENIAWSKI, Z. T. (1976). Rock Mass classification in Rock Engineering. In Exploration for Rock Engineering. Cape Town.

- BOWLES J. (1988). "Foundation Analysis and Design". McGraw-Hill International Editions.

- CODUTO DONALD P. (2001). "Foundation Design, Principles and Practices". Second edition. Prentice Hall, New Jersey.

- COLOMBIA, ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. DECRETO 523 (16, DICIEMBRE, 2010) Por el cual se adopta la Microzonificación Sísmica de Bogotá D.C. Bogotá D.C. 2010.

- CORNFORTH D H (2005). "Landslide in Practice – Investigation, Analysis, and Remedial/preventative Option in Soil". John Wiley and Sons.

- DAS BRAJA M. (1999). "Principios de Ingeniería de Fundaciones". Cuarta Edición. California State University. Thomson Editores.

- DAS BRAJA M (2004). "Principles of Foundation Engineering". 5E. California. Thomson Learning Inc.

- DEERE, D. U., AND PATTON, F. D. (1971). Slope Stability in Residual Soils. In Proc., Fourth Pan American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Juan, Puerto Rico, American Society of Civil Engineers, New York.

- DUNCAN J. M. AND WRIGHT S. G. (2005). "Soil Strength and Slope Stability". Wiley and Sons Inc. New Jersey.

- FONDO PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS (2011), "Monitoreo Estructural en el Sector comprendido por los barrios Montebello, Granada Sur III Sector, Granada Sur, Villa Nataly, Padua y la Urbanización San Luis, en la localidad de San Cristóbal". FOPAE. Bogotá D.C.

- GEOCING LTDA. (2007). Monitoreo Geotécnico y Estructural en el Sector de la Urbanización de Villa de los Alpes Localidad de San Cristóbal.

- GEOINGENIERÍA LTDA. (2000). "Estudio de Amenaza y Riesgos por Remoción en Masa, y Evaluación de Alternativas de Mitigación para la Urbanización Villa de los Alpes, en la Localidad de San Cristóbal, en Santa Fe de Bogotá D.C."

- GEOINGENIERÍA LTDA. (2002). "Monitoreo y Seguimiento a las Viviendas de la Urbanización San Luis Etapa 3, en la localidad de San Cristóbal, en Santa Fe de Bogotá D.C."

- GIA C. L (2009) "Estudio de Riesgos por Remoción en Masa y Evaluación de Alternativas de Mitigación para la Urbanización Buena Vista Oriental III Etapa de la Localidad de San Cristóbal, en Bogotá D.C".

- GONZÁLEZ DE VALLEJO LUIS (2004) et al. "Ingeniería Geológica". Madrid : Pearson Prentice Hall, 2004

- GONZÁLEZ G. A. (1987). "Analysis of Infiltration Test". VIII Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Sociedad Colombiana de Geotecnia.

- HOEK E (1995). "Support of Underground Excavation in Hard Rock". January, 1995. AA. Balkema Publisher.

- INGENIERÍA E HIDROSISTEMAS, IEH (1988). "Estudios Geológicos y Geotécnicos para los Barrios Granada Sur y Montebello, de la Localidad de San Cristóbal, en Santa Fe de Bogotá D.C."
- INGENIERÍA E HIDROSISTEMAS, IEH (1997). "Actualización de los Estudios Geológicos y Geotécnicos para los Barrios Granada Sur, Montebello, Padua, Villa Nataly y San Luis, de la localidad de San Cristóbal, en Santa Fe de Bogotá D.C."

- INGENIERÍA Y GEORRIESGOS, IGR (2005). "Estudio de Riesgos por Remoción en Masa y de Compresibilidad del Terreno, Evaluación de Alternativas de Mitigación del Riesgo y Diseños Detallados de las Medidas Recomendadas para su Implementación en el Corto Plazo en un Sector del Barrio Atenas de la localidad de San Cristóbal, en Bogotá D.C."

- INGENIERÍA Y GEOTECNIA LTDA, IGL (1997). "Estudio de los Problemas de Inestabilidad de Taludes en la Urbanización San Luis, Barrio 20 de Julio, Santa Fe de Bogotá D.C."

- INGEOCIM LTDA. (1998). "Zonificación por inestabilidad del terreno para diferentes localidades en la Ciudad de Santafé de Bogotá D. C." Mapa Geológico. UPES–FOPAE. Bogotá D. C.

- INGEOMINAS (1999). "Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá". Bogotá.

- ISRM (1981). "Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas".

- INGEOMINAS, (2003). "Aspectos Geoambientales de la Sabana de Bogotá". Publicación Ingeominas. Bogotá.

- JULIVERT, M. (1961). "Observaciones sobre el Cuaternario de la Sabana de Bogotá". Boletín de Geología No. 7:5-36, Bucaramanga.

- JULIVERT, M. (1968). Lexique Estratigraphique Internationale. Vol. V Fasc. 4ª. Paris.

- LEE M. E, AND JONES D. K C, (2004). "Landslide Risk Assesment". Thomas Telford.

- MORA D., BERNARDO (1993). "Estudio de Suelos para la Urbanización San Luis, en Bogotá D.C." Bogotá D. C.

- SANMIGUEL, HAROLD (2002). "Monitoreo y Seguimiento a las Viviendas de la Urbanización San Luis, Localidad de San Cristóbal, Bogotá D.C."

- SUÁREZ D., JAIME (2009). "Deslizamientos – Técnicas de Remediación". Volumen 2. Primera Edición. División de Publicaciones UIS. Bucaramanga (Colombia).

- SUÁREZ D., JAIME (1998). "Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales". Instituto de Investigaciones sobre Erosión y Deslizamientos. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga (Colombia).

- TORRES C, OSCAR A (1989). "Determinación de un Acuífero Superficial en el Parque del Barrio Montebello, Santa Fe de Bogotá D.C."

- TURNER A. K. AND SCHUSTER L R. (1996). "Landslides Investigation and Mitigation". Special Report 247. Transportation Research Borrad. Nacional Research Council. USA.