



ESTUDIO DE ESTABILIDAD GEOTÉCNICA, DE EVALUACIÓN DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA PARA LA EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO PARA LA URBANIZACIÓN BUENAVISTA SUR ORIENTAL II, ETAPAS I Y II, EN LA LOCALIDAD DE SAN CRISTÓBAL, EN BOGOTÁ D.C.



## CLASIFICADO

**Estudio de estabilidad geotécnica, de evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa para la evaluación de alternativas de mitigación del riesgo para la urbanización Buenavista Sur Oriental II, Etapas I y II, en la localidad de San Cristóbal, en Bogotá D.C.**

**Fondo de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá  
FOPAE**

**Diagonal 47 No. 77B-09 Interior 11  
PBX 4297414  
www.fopae.gov.co y www.sire.gov.co  
Bogotá – Colombia**

**Director: Ing. Javier Pava Sánchez  
Subdirector: Geol. Duván Hernán López Meneses  
Responsable Actividades: Ing. David Valdés Cruz  
Líder de Área: Ing. David Valdés Cruz**

**Elaborado por:**

**GIA Consultores Ltda.**

**Contrato No. CC. 630-2012  
Parte 1 (pp. 1 – 268) de 4 Partes**

**TEXTO**

**ORIGINAL**

**Marzo de 2013**



**FONDO PARA LA PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS  
FOPAE**

**TÍTULO Y SUBTÍTULO:** Estudio de estabilidad geotécnica, de evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa para la evaluación de alternativas de mitigación del riesgo para la urbanización Buenavista Suroriental II, etapas I y II, en la localidad de San Cristóbal, en Bogotá D.C.

**AUTOR:** GIA CONSULTORES LTDA.

**RESUMEN:**

El invierno del segundo semestre del 2008, uno de los más crudos, intensos y prolongados de las dos últimas décadas en el distrito capital, dejó a su paso múltiples deslizamientos, viviendas destruidas, pérdidas de vida y desolación. Una de las emergencias más impactantes del año se vivió en las laderas surorientales, al interior de la III etapa de la urbanización Buenavista Suroriental, en la localidad de San Cristóbal.

Este acontecimiento alertó a las cerca de 260 familias de las etapas I y II y despertó su inquietud por conocer la suerte de sus vidas y propiedades más preciadas. Preocupación desatada desde los albores del 2002 por un flujo de lodos, del que se desprendió la recomendación de evacuar las casas 77 y 93 del bloque C y la 78 del bloque D (estrategia plasmada en el documento DI-1566, Hoyos, 2002); refrendada en el 2005 con la interposición de una acción popular, y realizada por un deslizamiento local, del orden de 275 m<sup>3</sup> (tal y como lo sugiere el diagnóstico DI-5541), forjado en los taludes sur de la urbanización, ocurrido durante la primera quincena de noviembre de 2010, afortunadamente sin consecuencias relevantes (ni en inmuebles ni en vidas humanas) pero del que se ordenó la evacuación de cuatro viviendas: la 144, la 162, la 105 y la 84 (medida desacatada). Y, en parte, subsanada con la resolución 533 del 15 de noviembre de 2011, en la que se ordena "las reparaciones, los controles y las demás medidas tendientes a evitar daños por la presencia del talud de tierra ubicado en el costado sur de la urbanización.

A Gia Consultores a través del contrato No. CC. 630-2012, se le ha encomendado la tarea de iluminar el panorama que se menciona, mediante el estudio de estabilidad geotécnica, la evaluación de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa para la evaluación de alternativas de mitigación del riesgo para la urbanización.

**PALABRAS CLAVE:**

Amenaza por FRM, Análisis de vulnerabilidad y riesgo, Evaluación de riesgo, Remoción en masa, Mitigación, San Cristóbal, Buenavista Suroriental I y II Etapas.

**TÉRMINOS PARA GLOSARIO E ÍNDICE:**

Evaluación de amenaza por FRM, Análisis de vulnerabilidad y riesgo.

<b>CLASIFICACIÓN DE SEGURIDAD:</b> Clasificado	<b>CONTRATO:</b> No. 630 DE 2012	<b>IDIOMA:</b> Español	<b>NÚMERO DE PÁGINAS:</b> 906	<b>NÚMERO DE COPIAS:</b> 2
---	-------------------------------------	---------------------------	----------------------------------	-------------------------------

## TABLA DE CONTENIDO

<b>GLOSARIO</b>	<b>17</b>
<b>SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS</b>	<b>19</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO</b>	<b>21</b>
<b>1 Capítulo 1</b>	<b>32</b>
1.1 INTRODUCCIÓN	32
1.2 LOCALIZACIÓN	33
1.3 DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO	34
1.4 ANTECEDENTES	35
1.5 ALCANCES	37
1.6 LIMITACIONES	37
1.7 MÉTODO Y DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	44
1.7.1 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE	44
1.7.1.1 INFORMACIÓN ESPECÍFICA	44
1.7.2 INFORMACIÓN GEOLÓGICA	46
1.7.2.1 BIBLIOGRAFÍA	46
1.7.3 VISITA DE RECONOCIMIENTO	46
1.7.4 ELABORACIÓN DE CARTOGRAFÍA BASE Y TEMÁTICA	47
1.7.4.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	47
1.7.4.2 ESTUDIOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS	47
1.7.5 ESTUDIO GEOTÉCNICO BÁSICO	47
1.7.5.1 INVENTARIO DE PROCESOS DE INESTABILIDAD	47
1.7.5.2 PROGRAMACIÓN DE EXPLORACIÓN DE SUBSUELO	48
1.7.6 ANÁLISIS GEOTÉCNICO	48
1.7.6.1 MODELO GEOTÉCNICO	48
1.7.6.2 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA	48
1.7.6.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	48
1.7.7 ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA	49

<b>1.7.8</b>	<b>ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO</b>	<b>49</b>
<b>1.7.9</b>	<b>EVALUACIÓN DE MITIGABILIDAD</b>	<b>50</b>
<b>1.7.10</b>	<b>ORGANIZACIÓN DEL INFORME</b>	<b>50</b>
<b>2</b>	<b>Capítulo 2</b>	<b>54</b>
<b>2.1</b>	<b>ALCANCE ESPECÍFICO DEL LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO</b>	<b>54</b>
<b>2.2</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE EJECUCIÓN</b>	<b>54</b>
<b>2.2.1</b>	<b>TRABAJO DE CAMPO</b>	<b>54</b>
<b>2.2.2</b>	<b>LOCALIZACIÓN CARTOGRÁFICA</b>	<b>55</b>
<b>2.2.3</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LA POLIGONAL DE AMARRE</b>	<b>55</b>
<b>2.2.4</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LA POLIGONAL DE CIERRE</b>	<b>57</b>
<b>2.2.5</b>	<b>AJUSTES DEL LEVANTAMIENTO</b>	<b>57</b>
<b>2.2.6</b>	<b>AMOJONAMIENTO DE REFERENCIA</b>	<b>57</b>
<b>2.2.7</b>	<b>CONDENSACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE CAMPO</b>	<b>58</b>
<b>2.2.8</b>	<b>TRABAJO DE OFICINA</b>	<b>58</b>
<b>2.3</b>	<b>EQUIPO</b>	<b>59</b>
<b>3</b>	<b>Capítulo 3</b>	<b>61</b>
<b>3.1</b>	<b>MÉTODO DE TRABAJO</b>	<b>61</b>
<b>3.2</b>	<b>ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE</b>	<b>62</b>
<b>3.3</b>	<b>GEOLOGÍA GENERAL</b>	<b>64</b>
<b>3.3.1</b>	<b>ESTRATIGRAFÍA</b>	<b>65</b>
3.3.1.1	CRETÁCICO	65
3.3.1.2	CRETÁCICO-TERCIARIO	66
3.3.1.3	TERCIARIO	67
3.3.1.4	CUATERNARIO	67
<b>3.3.2</b>	<b>GEOLOGÍA ESTRUCTURAL</b>	<b>68</b>
<b>3.4</b>	<b>GEOLOGÍA LOCAL</b>	<b>68</b>
<b>3.4.1</b>	<b>ESTRATIGRAFÍA</b>	<b>68</b>
3.4.1.1	UNIDADES DE SUELO	68
3.4.1.2	UNIDADES DE ROCA	70
<b>3.4.2</b>	<b>GEOLOGÍA ESTRUCTURAL</b>	<b>72</b>
3.4.2.1	DISCONTINUIDADES	72

3.4.2.2	LINEAMIENTOS FOTOGEOLOGICOS _____	73
<b>3.5</b>	<b>GEOMORFOLOGIA LOCAL _____</b>	<b>73</b>
<b>3.5.1</b>	<b>MORFOESTRUCTURAL (FORMAS) _____</b>	<b>73</b>
3.5.1.1	UNIDAD DE LADERAS NO INTERVENIDAS (LNI) _____	74
3.5.1.2	UNIDAD DE LADERA ESTRUCTURAL CON ALTA INTERVENCIÓN POR ACTIVIDADES EXTRACTIVAS (LEI) _____	74
<b>3.5.2</b>	<b>PROCESOS MORFODINÁMICOS _____</b>	<b>76</b>
3.5.2.1	METEORIZACIÓN _____	77
3.5.2.2	PROCESOS DE EROSIÓN _____	77
3.5.2.3	PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA (FRM) _____	78
<b>3.6</b>	<b>ANTECEDENTES DE PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA PARA LA ZONA _____</b>	<b>79</b>
<b>3.6.1</b>	<b>AÑO 1955 (VUELO IGAC C-743_9) _____</b>	<b>80</b>
<b>3.6.2</b>	<b>AÑO 1977 (VUELO IGAC C-1774_68) _____</b>	<b>80</b>
<b>3.6.3</b>	<b>AÑO 1984 (VUELO IGAC C-2128-150) _____</b>	<b>83</b>
<b>3.6.4</b>	<b>AÑO 1991 (VUELO IGAC R-1131-3659) _____</b>	<b>83</b>
<b>3.6.5</b>	<b>AÑO 2000 (FOTO SATELITAL GOOGLE EARTH) _____</b>	<b>85</b>
<b>3.6.6</b>	<b>AÑO 2002 (FOTO SATELITAL GOOGLE EARTH) _____</b>	<b>85</b>
<b>3.6.7</b>	<b>AÑOS 2005 Y 2010 (FOTOS SATELITALES GOOGLE EARTH) _____</b>	<b>86</b>
<b>3.7</b>	<b>HIDROGEOLOGÍA _____</b>	<b>88</b>
<b>3.7.1</b>	<b>DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES HIDROGEOLOGICAS _____</b>	<b>88</b>
<b>3.7.2</b>	<b>RELEVAMIENTO DE PUNTOS DE AGUA _____</b>	<b>89</b>
<b>3.7.3</b>	<b>MOVIMIENTO DEL AGUA _____</b>	<b>89</b>
<b>3.8</b>	<b>AMENAZA SÍSMICA _____</b>	<b>89</b>
<b>3.8.1</b>	<b>FUENTES SISMOGÉNICAS _____</b>	<b>89</b>
<b>3.8.2</b>	<b>CUALIFICACIÓN DE AMENAZA LOCAL _____</b>	<b>90</b>
<b>3.8.3</b>	<b>RESPUESTA DINÁMICA DEL SUELO _____</b>	<b>91</b>
<b>4</b>	<b>Capítulo 4 _____</b>	<b>96</b>
<b>4.1</b>	<b>INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO _____</b>	<b>96</b>
<b>4.1.1</b>	<b>EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO _____</b>	<b>96</b>
4.1.1.1	MÉTODO DE TRABAJO _____	96
4.1.1.2	MÉTODOS DIRECTOS _____	97
4.1.1.3	ENSAYOS DE CAMPO _____	100

4.1.1.4	ENSAYOS DE LABORATORIO	103
<b>4.2</b>	<b>CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA</b>	<b>109</b>
<b>4.2.1</b>	<b>SUELOS</b>	<b>109</b>
4.2.1.1	MATERIAL 1: RELLENOS ANTRÓPICOS DE RECONFORMACIÓN, $Q_{RA1}$ Y $Q_{RA2}$	109
4.2.1.2	MATERIAL 2: RELLENOS ANTRÓPICOS TRASLOCADOS, $Q_{D1}$ , $Q_{D2}$ Y $Q_{D3}$	115
4.2.1.3	MATERIAL 3: RELLENOS ANTRÓPICOS SELECCIONADOS, $Q_{RA3}$	115
4.2.1.4	MATERIAL 4: SUELOS RESIDUALES $Q_{TPB-L-SR}$	117
<b>4.2.2</b>	<b>MACIZO ROCOSO</b>	<b>117</b>
4.2.2.1	MATERIAL ROCOSO	117
4.2.2.1.1	Material 5: Lodolitas de la Formación Bogotá, $T_{PB-L}$	117
4.2.2.1.2	Material 6: Areniscas de la Formación Bogotá, $T_{PB-A1}$ , $T_{PB-A2}$ Y $T_{PB-A3}$	118
4.2.2.2	DISCONTINUIDADES	119
4.2.2.3	CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO	121
4.2.2.4	PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DEL MACIZO ROCOSO	122
<b>4.3</b>	<b>ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA</b>	<b>124</b>
<b>5</b>	<b>Capítulo 5</b>	<b>128</b>
<b>5.1</b>	<b>ESTUDIOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS</b>	<b>128</b>
<b>5.1.1</b>	<b>METODOLOGÍA DE TRABAJO</b>	<b>128</b>
<b>5.1.2</b>	<b>CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA REGIONAL</b>	<b>128</b>
5.1.2.1	HUMEDAD RELATIVA	129
5.1.2.2	BRILLO SOLAR	130
5.1.2.3	EVAPORACIÓN	130
5.1.2.4	PRECIPITACIÓN	131
5.1.2.5	PRECIPITACIONES DE CORTA DURACIÓN	131
5.1.2.6	DISTRIBUCIÓN MENSUAL DEL NÚMERO DE DÍAS CON LLUVIA	132
5.1.2.7	PRECIPITACIÓN CRÍTICA – DURACIÓN	133
<b>5.1.3</b>	<b>RELACIÓN LLUVIA – DESLIZAMIENTO</b>	<b>133</b>
<b>5.1.4</b>	<b>CONDICIONES NATURALES DEL DRENAJE</b>	<b>134</b>
<b>5.1.5</b>	<b>CONDICIONES ARTIFICIALES DEL DRENAJE</b>	<b>134</b>
5.1.5.1	SISTEMA DE ACUEDUCTO	135
5.1.5.2	SISTEMA DE AGUAS RESIDUALES	135
5.1.5.3	SISTEMA DE AGUAS LLUVIAS	135

<b>5.2</b>	<b>COBERTURA Y USOS DEL SUELO</b>	<b>135</b>
<b>5.2.1</b>	<b>METODOLOGÍA DE TRABAJO</b>	<b>135</b>
<b>5.2.2</b>	<b>CLASIFICACIÓN DEL USO Y COBERTURA DEL SUELO</b>	<b>136</b>
<b>6</b>	<b>Capítulo 6</b>	<b>139</b>
<b>6.1</b>	<b>ANÁLISIS CINEMÁTICO</b>	<b>139</b>
<b>6.2</b>	<b>ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE ESTABILIDAD</b>	<b>143</b>
<b>6.2.1</b>	<b>HIPÓTESIS DE TRABAJO</b>	<b>143</b>
6.2.1.1	PARÁMETROS DE RESISTENCIA	144
6.2.1.2	MECANISMOS DE FALLA	149
6.2.1.3	EVENTOS DETONANTES	151
6.2.1.3.1	Agua	151
6.2.1.3.2	Sismo	151
6.2.1.4	MODELACIÓN DE ESTABILIDAD	152
<b>6.2.2</b>	<b>EVALUACIÓN DE LA AMENAZA</b>	<b>153</b>
6.2.2.1	CONSIDERACIONES	153
6.2.2.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS	153
<b>6.2.3</b>	<b>ZONIFICACIÓN DE AMENAZA</b>	<b>171</b>
<b>7</b>	<b>Capítulo 7</b>	<b>174</b>
<b>7.1</b>	<b>VULNERABILIDAD FÍSICA EN EDIFICACIONES</b>	<b>174</b>
<b>7.1.1</b>	<b>MÉTODO DE EVALUACIÓN</b>	<b>174</b>
7.1.1.1	CRITERIOS APLICADOS	175
7.1.1.2	INFORMACIÓN PRIMARIA: INVENTARIO DE VIVIENDAS Y SOLICITACIONES	181
<b>7.1.2</b>	<b>ÍNDICE DE VULNERABILIDAD FÍSICA</b>	<b>182</b>
<b>7.1.3</b>	<b>ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EDIFICACIONES</b>	<b>186</b>
<b>7.2</b>	<b>VULNERABILIDAD DE LAS REDES DE SERVICIOS PÚBLICOS</b>	<b>189</b>
<b>7.3</b>	<b>VULNERABILIDAD FÍSICA EN PERSONAS</b>	<b>190</b>
<b>7.4</b>	<b>RIESGO</b>	<b>194</b>
<b>7.4.1</b>	<b>PROCEDIMIENTO DE EJECUCIÓN</b>	<b>194</b>
<b>7.4.2</b>	<b>ZONIFICACIÓN DEL RIESGO</b>	<b>195</b>
<b>8</b>	<b>Capítulo 8</b>	<b>197</b>
<b>8.1</b>	<b>GENERALIDADES</b>	<b>197</b>

<b>8.1.1</b>	<b>MÉTODO DE EVALUACIÓN</b>	<b>197</b>
<b>8.1.2</b>	<b>INDICADORES DE IMPACTO: PARÁMETROS DE EVALUACIÓN</b>	<b>199</b>
8.1.2.1	DE CAPITAL FÍSICO	199
8.1.2.2	DEL CAPITAL SOCIAL	201
8.1.2.3	DEL CAPITAL HUMANO	203
<b>8.1.3</b>	<b>ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SOCIAL</b>	<b>207</b>
<b>8.1.4</b>	<b>ANÁLISIS DE RESULTADOS</b>	<b>207</b>
<b>9</b>	<b>Capítulo 9</b>	<b>212</b>
9.1	INTRODUCCIÓN	212
9.2	DIAGNÓSTICO Y PROSPECCIÓN URBANÍSTICA	213
9.3	ALTERNATIVAS	214
9.3.1	ALTERNATIVA 1: REASENTAMIENTO	214
9.3.2	ALTERNATIVA 2: DRENAJE, SUBDRENAJE Y CONTENCIÓN	214
9.3.3	ALTERNATIVA 3: RECONFORMACIÓN MORFOLÓGICA, PERFILADO	215
9.3.4	ALTERNATIVA 4: REFORZAMIENTO Y RETIRO	215
9.3.5	ALTERNATIVA 5: ELUSIÓN (NO HACER NADA)	216
9.4	AMENAZA Y RIESGO CON OBRAS	230
9.5	SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA: DECISIÓN BAJO INCERTIDUMBRE	232
9.6	PLAN DE ACCIÓN	252
9.6.1	PERSPECTIVA: DIRECTRIZ Y ESTRUCTURA	252
9.6.2	DIAGNÓSTICO PREDIAL	253
<b>10</b>	<b>Capítulo 10</b>	<b>262</b>

#### LISTA DE TABLAS

TABLA 1.1	VÉRTICES DEL TERRENO	33
TABLA 1.2	DIAGNÓSTICOS	38
TABLA 1.3	DIAGNÓSTICOS (CONTINUACIÓN)	39
TABLA 1.4	DIAGNÓSTICOS (CONTINUACIÓN)	40
TABLA 1.5	DIAGNÓSTICOS (CONTINUACIÓN)	41
TABLA 1.6	DIAGNÓSTICOS (CONTINUACIÓN)	42



TABLA 1.7 DIAGNÓSTICOS (CONTINUACIÓN)	43
TABLA 1.8 CONTENIDO	50
TABLA 1.9 CONTENIDO (CONTINUACIÓN)	51
TABLA 1.10 ANEXOS	51
TABLA 1.11 PLANOS	51
TABLA 1.12 PLANOS	52
TABLA 2.1 POLÍGONO DEL ÁREA DE ESTUDIO	56
TABLA 2.2 MOJONES MATERIALIZADOS EN CAMPO	58
TABLA 2.3 RELACIÓN DE EQUIPO Y ELEMENTOS POR COMISIÓN	59
TABLA 3.1 POLÍGONO DEL ÁREA DE ESTUDIO	65
TABLA 3.2 VUELOS FOTOINTERPRETADOS	65
TABLA 3.3 DESCRIPCIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LAS UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS	88
TABLA 3.4 FUENTES SISMOGÉNICAS PARA AMENAZA SÍSMICA EN BOGOTÁ	90
TABLA 3.5 FACTORES DE AMPLIFICACIÓN PARA DIFERENTES TIPOS DE SUELO (MEDVEDEV, 1965)	91
TABLA 3.6 ACELERACIONES MÁXIMAS EN SUPERFICIE Y DE DISEÑO	93
TABLA 4.1 LOCALIZACIÓN DE LOS SITIOS DE EXPLORACIÓN DIRECTA DEL SUBSUELO: SONDEOS MECÁNICOS	99
TABLA 4.2 LOCALIZACIÓN DE LOS SITIOS DE EXPLORACIÓN DIRECTA DEL SUBSUELO: SONDEOS MANUALES, APIQUES Y TRINCHERAS	100
TABLA 4.3 DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES ESTRATIGRÁFICOS	101
TABLA 4.4 EXPRESIONES PARA CORRELACIONAR EL ÁNGULO DE FRICCIÓN A PARTIR DEL SPT	102
TABLA 4.5 RELACIÓN ENTRE LA DENSIDAD RELATIVA Y LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN	102
TABLA 4.6 RELACIÓN ENTRE LA CONSISTENCIA Y LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN	103
TABLA 4.7 RESUMEN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA EN CONDICIÓN DRENADA A PARTIR DEL SPT	103
TABLA 4.8 NORMALIZACIÓN DEL SPT	105
TABLA 4.9 NORMALIZACIÓN DEL SPT	106
TABLA 4.10 RELACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO URBANIZACIÓN BUENAVISTA, ETAPAS I Y II	107
TABLA 4.11 RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO	110
TABLA 4.12 CARGA PUNTUAL	111
TABLA 4.13 RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO: OTROS CONSULTORES	112
TABLA 4.14 RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO: OTROS CONSULTORES (CONTINUACIÓN)	113
TABLA 4.15 RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO: OTROS CONSULTORES (CONTINUACIÓN)	114

TABLA 4.16 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 1: QRA1 Y QRA2 _____	115
TABLA 4.17 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 2: QD1, QD2 Y QD3 _____	116
TABLA 4.18 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 3: QRA3 _____	116
TABLA 4.19 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 4: QTPB-L-SR _____	117
TABLA 4.20 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 5: TPB-L _____	118
TABLA 4.21 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 6: TPB-A _____	119
TABLA 4.22 PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DEL MACIZO ROCOSO _____	121
TABLA 4.23 CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO _____	122
TABLA 4.24 PARÁMETROS DE RESISTENCIA DEL MACIZO ROCOSO _____	123
TABLA 4.25 PARÁMETROS DE RESISTENCIA DEL MACIZO ROCOSO (CONTINUACIÓN) _____	124
TABLA 4.26 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA _____	126
TABLA 5.1 LEYENDA Y CLASIFICACIÓN DE USO Y COBERTURA DE LA TIERRA _____	137
TABLA 6.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS TALUDES: ESTADO ACTUAL _____	140
TABLA 6.2 RESUMEN DEL ANÁLISIS CINEMÁTICO _____	141
TABLA 6.3 PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE LOS MATERIALES _____	150
TABLA 6.4 PROBABILIDADES DE AGENTES EXÓGENOS _____	152
TABLA 6.5 ESPERANZAS DEL FACTOR DE SEGURIDAD. _____	156
TABLA 6.6 ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD (CONTINUACIÓN) _____	157
TABLA 6.7 ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD (CONTINUACIÓN) _____	158
TABLA 6.8 ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD (CONTINUACIÓN) _____	159
TABLA 6.9 ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD (CONTINUACIÓN) _____	160
TABLA 6.10 ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD (CONTINUACIÓN) _____	161
TABLA 6.11 ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD (CONTINUACIÓN) _____	162
TABLA 6.12 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL: DESPLAZAMIENTOS ROTACIONALES _____	163
TABLA 6.13 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL: DESPLAZAMIENTOS ROTACIONALES (CONTINUACIÓN) _____	164
TABLA 6.14 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL: DESPLAZAMIENTOS ROTACIONALES (CONTINUACIÓN) _____	165
TABLA 6.15 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL: DESPLAZAMIENTOS PLANARES _____	166
TABLA 6.16 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL:	

DESPLAZAMIENTOS PLANARES (CONTINUACIÓN) _____	167
TABLA 6.17 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL: DESPLAZAMIENTOS PLANARES (CONTINUACIÓN) _____	168
TABLA 6.18 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL: DESPLAZAMIENTOS PLANARES (CONTINUACIÓN) _____	169
TABLA 6.19 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL: DESPLAZAMIENTOS PLANARES (CONTINUACIÓN) _____	170
TABLA 6.20 CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA (ADAPTADO DE GONZÁLEZ Y MILLÁN, 1999) _____	172
TABLA 7.1 EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE RESPUESTA DE LA EDIFICACIÓN _____	176
TABLA 7.2 CALIFICACIÓN PARA LA VARIABLE: SISTEMA ESTRUCTURAL _____	176
TABLA 7.3 CALIFICACIÓN PARA LA VARIABLE: CALIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN _____	176
TABLA 7.4 CALIFICACIÓN PARA LA VARIABLE: PARTES ESTRUCTURALES _____	177
TABLA 7.5 CALIFICACIÓN PARA LA VARIABLE: DAÑO EN LA CONSTRUCCIÓN (TOMADO Y ADAPTADO DE DAY, 1999) _____	177
TABLA 7.6 CALIFICACIÓN PARA LA VARIABLE: SISTEMA DE CIMENTACIÓN _____	178
TABLA 7.7 MATRIZ DE DAÑO _____	180
TABLA 7.8 CLASIFICACIÓN DE DAÑOS PROPUESTA POR EL DRM (TOMADO Y ADAPTADO DE LEONE, 1996) _____	182
TABLA 7.9 NIVELES DE DAÑO DE LAS EDIFICACIONES EN BUENAVISTA _____	183
TABLA 7.10 EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD Y RIESGO ACTUAL _____	184
TABLA 7.11 EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD Y RIESGO FUTURO _____	185
TABLA 7.12 COEFICIENTE DE IMPORTANCIA ( $\alpha$ ) _____	186
TABLA 7.13 CATEGORIZACIÓN DE LOS NIVELES DE VULNERABILIDAD (IVF) _____	186
TABLA 7.14 NIVEL DE VULNERABILIDAD FÍSICO EN PERSONAS _____	190
TABLA 7.15 CATEGORIZACIÓN DEL RIESGO _____	195
TABLA 8.1 CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN DEL INDICADOR VIVIENDA PROPIA _____	200
TABLA 8.2 CRITERIOS DE CALIFICACIÓN DEL INDICADOR INGRESOS MENSUALES PROMEDIO _____	201
TABLA 8.3 CRITERIOS DE CALIFICACIÓN DEL INDICADOR SERVICIOS PÚBLICOS _____	202
TABLA 8.4 CRITERIOS E INDICADORES PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SOCIAL: PRESENCIA DE LEA _____	203
TABLA 8.5 CRITERIOS DE CALIFICACIÓN DEL INDICADOR HACINAMIENTO MEDIO _____	203
TABLA 8.6 CRITERIOS DE CALIFICACIÓN DEL INDICADOR RELACIÓN DE DEPENDENCIA _____	204

TABLA 8.7 MATRIZ DE EVALUACIÓN PARA LA VULNERABILIDAD SOCIAL	207
TABLA 8.8 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SOCIAL: URBANIZACIÓN BUENAVISTA SURORIENTAL, ETAPA I	209
TABLA 8.9 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SOCIAL: URBANIZACIÓN BUENAVISTA SURORIENTAL, ETAPA II	210
TABLA 9.1 ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN: ACTIVIDADES Y APLICACIÓN POR ZONA HOMOGÉNEA	227
TABLA 9.2 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD CONDICIONAL DE FALLA: ALTERNATIVA 2, DRENAJE Y SUBDRENAJE	233
TABLA 9.3 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD CONDICIONAL DE FALLA: ALTERNATIVA 2, DRENAJE Y SUBDRENAJE (CONTINUACIÓN)	234
TABLA 9.4 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD CONDICIONAL DE FALLA: ALTERNATIVA 3, PERFILADO Y DRENAJE	235
TABLA 9.5 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD CONDICIONAL DE FALLA: ALTERNATIVA 3, PERFILADO Y DRENAJE (CONTINUACIÓN)	236
TABLA 9.6 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD CONDICIONAL DE FALLA: ALTERNATIVA 4, REFUERZO Y RETIRO	237
TABLA 9.7 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD CONDICIONAL DE FALLA: ALTERNATIVA 4, REFUERZO Y RETIRO (CONTINUACIÓN)	238
TABLA 9.8 PRESUPUESTO COMPARATIVO	254

### LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 POLIGONAL DE AMARRE	56
FIGURA 2.2 POLIGONAL DE CIERRE	57
FIGURA 3.1 FOTOINTERPRETACIÓN DEL VUELO C-743_9 (1955)	81
FIGURA 3.2 FOTOINTERPRETACIÓN DEL VUELO C-1774_68 (1977)	82
FIGURA 3.3 FOTOINTERPRETACIÓN DEL VUELO C-2128_150 (1984)	83
FIGURA 3.4 FOTOINTERPRETACIÓN DEL VUELO R-1131_3659 (1991)	84
FIGURA 3.5 IMAGEN GOOGLE EARTH (2000)	85
FIGURA 3.6 IMAGEN GOOGLE EARTH (2002)	86
FIGURA 3.7 IMAGEN SATELITAL GOOGLE EARTH (2005)	87
FIGURA 3.8 IMAGEN SATELITAL GOOGLE EARTH (2010)	87

FIGURA 4.1 ENVOLVENTE Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA PROMEDIO PARA EL MATERIAL: QRA1 Y QRA2	104
FIGURA 4.2 ENVOLVENTE Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA PROMEDIO PARA EL MATERIAL TPB-L	104
FIGURA 4.3 CARTA DE PLASTICIDAD	108
FIGURA 4.4 ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE LAS FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES	120
FIGURA 4.5 RESUMEN DE LAS FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES	120
FIGURA 5.1 HUMEDAD RELATIVA – ESTACIÓN VITELMA	129
FIGURA 5.2 BRILLO SOLAR – ESTACIÓN VITELMA	130
FIGURA 5.3 EVAPORACIÓN – ESTACIÓN VITELMA	131
FIGURA 5.4 PRECIPITACIÓN – ESTACIONES VITELMA, EL DELIRIO	132
FIGURA 5.5 CURVAS GENERALIZADAS IDF ZONA 2	132
FIGURA 6.1 ANÁLISIS CINEMÁTICO	142
FIGURA 6.2 ENVOLVENTE DE LARSON, QRA1	146
FIGURA 6.3 ENVOLVENTE DE LARSON, TPB-L	146
FIGURA 6.4 RETROANÁLISIS: DESLIZAMIENTO DT-001-AA (SECCIÓN 1-1', TOMADO DE GIA, 2009)	147
FIGURA 7.1 SOLICITACIONES DE LOS FRM EN LAS CONSTRUCCIONES	179
FIGURA 7.2 ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA – DETONACIÓN DEL FRM EN HORARIO DIURNO EN FIN DE SEMANA (AMENAZA ACTUAL)	192
FIGURA 7.3 ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA – DETONACIÓN DEL FRM EN HORARIO NOCTURNO (AMENAZA ACTUAL)	193
FIGURA 8.1 DISTRIBUCIÓN DEL TIPO DE ACTIVIDAD ECONÓMICA PARA LA ETAPA I	205
FIGURA 8.2 DISTRIBUCIÓN DEL TIPO DE ACTIVIDAD ECONÓMICA PARA LA ETAPA II	205
FIGURA 8.3 DISTRIBUCIÓN DEL NIVEL EDUCATIVO PARA LA ETAPA I	206
FIGURA 8.4 DISTRIBUCIÓN DEL NIVEL EDUCATIVO PARA LA ETAPA II	206
FIGURA 9.1 ALTERNATIVA 1: REASENTAMIENTO	217
FIGURA 9.2 DETALLES DE LA ALTERNATIVA 1	218
FIGURA 9.3 ALTERNATIVA 2: DRENAJE, SUBDRENAJE Y CONTENCIÓN	219
FIGURA 9.4 DETALLES DE LA ALTERNATIVA 2	220
FIGURA 9.5 ALTERNATIVA 3: RECONFORMACIÓN MORFOLÓGICA	221
FIGURA 9.6 DETALLES DE LA ALTERNATIVA 3	222
FIGURA 9.7 ALTERNATIVA 4: REFORZAMIENTO Y RETIRO	223
FIGURA 9.8 DETALLES DE LA ALTERNATIVA 4	226

FIGURA 9.9 AMENAZA CON OBRAS: ALTERNATIVA 1	239
FIGURA 9.10 AMENAZA CON OBRAS: ALTERNATIVA 2	240
FIGURA 9.11 AMENAZA CON OBRAS: ALTERNATIVA 3	241
FIGURA 9.12 AMENAZA CON OBRAS: ALTERNATIVA 4	242
FIGURA 9.13 VULNERABILIDAD CON OBRAS: ALTERNATIVA 1	243
FIGURA 9.14 VULNERABILIDAD CON OBRAS: ALTERNATIVA 2	244
FIGURA 9.15 VULNERABILIDAD CON OBRAS: ALTERNATIVA 3	245
FIGURA 9.16 VULNERABILIDAD CON OBRAS: ALTERNATIVA 4	246
FIGURA 9.17 RIESGO CON OBRAS: ALTERNATIVA 1	247
FIGURA 9.18 RIESGO CON OBRAS: ALTERNATIVA 2	248
FIGURA 9.19 RIESGO CON OBRAS: ALTERNATIVA 3	249
FIGURA 9.20 RIESGO CON OBRAS: ALTERNATIVA 4	250
FIGURA 9.21 ÁRBOL DE DECISIÓN PARA MITIGACIÓN – CONDICIÓN ACTUAL (10 AÑOS) REGIÓN LEI-TRA-I-1 (ADAPTADO DE WU ET AL, 1996)	255
FIGURA 9.22 ÁRBOL DE DECISIÓN PARA MITIGACIÓN – CONDICIÓN ACTUAL (10 AÑOS) REGIÓN LEI-TRA-I-2 (ADAPTADO DE WU ET AL, 1996)	256
FIGURA 9.23 ÁRBOL DE DECISIÓN PARA MITIGACIÓN – CONDICIÓN ACTUAL (10 AÑOS) REGIÓN LEI-TEX-I-2 Y LEI-TEX-I-3 (ADAPTADO DE WU ET AL, 1996)	257
FIGURA 9.24 ÁRBOL DE DECISIÓN PARA MITIGACIÓN – CONDICIÓN FUTURA (50 AÑOS) REGIÓN LEI-TRA-I-1 (ADAPTADO DE WU ET AL, 1996)	258
FIGURA 9.25 ÁRBOL DE DECISIÓN PARA MITIGACIÓN – CONDICIÓN FUTURA (50 AÑOS) REGIÓN LEI-TRA-I-2 (ADAPTADO DE WU ET AL, 1996)	259
FIGURA 9.26 ÁRBOL DE DECISIÓN PARA MITIGACIÓN – CONDICIÓN FUTURA (50 AÑOS) REGIÓN LEI-TEX-I-2 Y LEI-TEX-I-3 (ADAPTADO DE WU ET AL, 1996)	260
<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>266</b>

### LISTA DE PLANOS

PLANO 1	LOCALIZACIÓN
PLANO 2	MAPA BASE
PLANO 3	GEOLOGÍA GENERAL



ANEXO D.1.2	APIQUES
ANEXO D.1.3	SONDEOS MECÁNICOS
ANEXO D.1.4	SONDEOS MANUALES
ANEXO D.2	ENSAYOS DE LABORATORIO
ANEXO D.2.1	GIA, 2012
ANEXO D.2.2	GIA, 2009
ANEXO E	HIDROLOGÍA
ANEXO E.1	SERIES DE DATOS
ANEXO E.2	CURVAS IDF
ANEXO E.3	CURVAS DE LLUVIA ACUMULADA
ANEXO F	AMENAZA
ANEXO F.1	ANÁLISIS CINEMÁTICO
ANEXO F.2	ANÁLISIS PARAMÉTRICO
ANEXO F.3	PRUEBAS DE CALIBRACIÓN
ANEXO F.4	MONITOREO DESLIZAMIENTO
ANEXO F.5	SUPERFICIES CRÍTICAS
ANEXO F.6	Fs Y PF DE OTROS MECANISMOS
ANEXO F.7	DISTANCIAS DE VIAJE DE SUELOS
ANEXO F.8	ZONIFICACIÓN DE OTROS MECANISMOS
ANEXO G	VULNERABILIDAD
ANEXO G.1	INSTRUCTIVO DEL FORMATO DE INVENTARIO
ANEXO G.2	INVENTARIO DE VIVIENDAS
ANEXO G.3	REGISTRO FOTOGRÁFICO
ANEXO G.4	VULNERABILIDAD SOCIAL
ANEXO H	PLANTEAMIENTO DE LAS ALTERNATIVAS
ANEXO H.1	PREDISEÑO DE ALTERNATIVAS
ANEXO H.2	SUPERFICIES CRÍTICAS CON OBRAS
ANEXO H.3	AMENAZA CON OBRAS
ANEXO H.4	PRECIOS Y COSTOS DE REFERENCIA
ANEXO H.5	CANTIDAD DE OBRA
ANEXO H.6	SOPORTES DEL ÁRBOL DE DECISIÓN
ANEXO I	DIAGNÓSTICO URBANÍSTICO



## **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 largo 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.

**$\gamma_d$  (T/m<sup>3</sup>):** Peso unitario seco.

**$\gamma_t$  (T/m<sup>3</sup>):** Peso unitario total.

**L:** Límite Líquido.

**L<sub>p</sub>**: Límite Plástico.  
**IL**: Índice de Liquidez  
**q<sub>u</sub>(S)**: Compresión inconfiada en suelo.  
**q<sub>u</sub>(R)**: Compresión inconfiada en roca.  
**G<sub>s</sub>**: Gravedad específica.  
**PT200**: Pasa Tamiz No. 200.  
**C<sub>c</sub>**: Coeficiente de Consolidación.  
**C<sub>R</sub>**: Coeficiente de Reconsolidación.  
**C<sub>D</sub>**: Corte Directo.  
**C<sub>P</sub>**: Carga Puntual.  
**N<sub>i</sub>**: Número de golpes corregido para un esfuerzo de confinamiento de 1 Kg/cm<sup>2</sup>.  
**φ<sub>eq</sub>(°)**: Ángulo de fricción equivalente.  
**c'(Kg/cm<sup>2</sup>)**: Cohesión.  
**φ'(°)**: Ángulo de fricción.  
**σ<sub>c</sub>(Kg/cm<sup>2</sup>)**: Resistencia a la compresión simple.  
**φ<sub>R</sub>**: Ángulo de fricción residual.  
**P+**: Probabilidad de ocurrencia del evento crítico  
**P-**: Probabilidad de no ocurrencia del evento crítico  
**a<sub>h</sub>**: Coeficiente de aceleración horizontal del terreno  
**p<sub>n</sub>**: 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<sub>f</sub>**: Probabilidad de falla  
**C<sub>f</sub>**: Costo de falla  
**P<sub>f</sub>**: 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.

## RESUMEN EJECUTIVO

## RESUMEN EJECUTIVO

Una de las emergencias más impactantes del 2008, desatada por uno de los más crudos períodos invernales de la última década, tuvo lugar en la Etapa III de la Urbanización Buena Vista Sur Oriental. Allí dos deslizamientos, uno rotacional y otro compuesto, gestados en bastas y espesas masas de lodos, obligaron en los albores a la evacuación temporal de parte del conjunto y en la postrera al reasentamiento definitivo de las noventa y seis (96) familias y a la demolición de la urbanización (desenlace capturado en la *Foto 1*). Eventos sucedidos entre el sobresalto provocado por la destrucción de nueve (9) viviendas y el desasosiego reinante durante el deterioro progresivo de otras veinticinco (25).



FOTO 1 PANORÁMICA DE LA URBANIZACIÓN BUENAVISTA Y DE LAS ETAPAS I Y II. EN PRIMER PLANO EMERGEN LOS DESPOJOS DE LA REASENTADA III ETAPA.

Pero las secuelas de la emergencia se extendieron más allá de los muros y de las estructuras. También debilitaron la imagen de las entidades distritales y de los modelos de vivienda de interés social; resaltaron (y resaltan) las amplias ventajas otorgadas a las canteras, a sus operadores y a sus dueños, al punto de liberarlos de gran parte de sus responsabilidades sociales, ambientales y técnicas; y alertaron aún más a las cerca de 260 familias de las etapas I y II, ya inquietas por conocer la suerte de sus vidas y de propiedades más preciadas.

Preocupación emanada en el 2001 con el diagnóstico técnico DI-1062, en el que se evalúa la respuesta y el grado de estabilidad del talud sub vertical, de 15 metros de altura al suroriente, resaltada tras la ocurrencia de un flujo de lodos (de volumen limitado) entre el 29 y el 30 de mayo del 2002, que originó la evacuación de tres viviendas, la 77 y la 93 del bloque C y la 78 del bloque D, y otro en el 2007; y refrendada en el 2005 con la

DPAE - FOPAE	GIA LTDA	GIA -068-12		RESUMEN EJECUTIVO - PÁG. 22	
VERSIÓN:	1			FECHA	05/03/2013
ELABORÓ:	MS-JALG	REVISÓ:	JALG	APROBÓ:	JALG

interposición de una acción popular contra el Instituto Nacional de Vivienda de Interés Social y Reforma Urbana, Inurbe, la caja de Vivienda Popular y la Constructora Milenio Ltda., por la protección de los derechos colectivos, por la defensa del patrimonio público y por la seguridad y salubridad pública. Acción validada morfológicamente el 19 de diciembre de 2007, por un flujo de los gestado en el mismo lugar auscultado en el diagnóstico DI-1062, y el 19 de noviembre de 2010, cuando por medio de la Ro- 5541 con la aparición de un proceso de remoción en masa de 50 m<sup>3</sup>, detonado por filtración de aguas lluvias en el talud del costado sur de la segunda Etapa (tal como lo señala el concepto Ro-5541), y jurídicamente por el juzgado 36, a través de la sentencia del primero de junio de 2012, que establece las responsabilidades de cada uno de los entes implicados en la afectación a los derechos colectivos de los habitantes, y que promueve a la Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., a emitir la Resolución 533 del quince de noviembre de 2011, en la que se ordena al Fondo de Prevención y Atención de Emergencias, Fopae y a otras entidades del orden Distrital adelantar las gestiones administrativas, técnicas y presupuestales que permitan determinar si es procedente la reubicación de las familias, y a estimar las prioridades en este proceso. Acto que se materializa a través del contrato Cons-630 de 2012, en el que Gia Consultores Ltda es designada para coadyuvar en la definición de la senda de recuperación de la urbanización. Detalles que se descubren en las páginas y párrafos siguientes.

En el suroriente de la ciudad, entre los cerros de la localidad de San Cristóbal y por encima de los 2800 msnm., se erige la urbanización Buenavista, y sus etapas I y II, copropiedad que hace parte del extenso barrio oficial Los Alpes. La antigua Carretera a Oriente es la principal vía de acceso a las 283 viviendas, de entre uno y cuatro niveles de altura, agrupadas en los dominios catastrales Calle 31 Sur N° 12 – 25 Este y Calle 31 Sur # 12 – 55 Este, y construidas dentro del sistema de vivienda formal (es decir, por un urbanizador legal), en módulos de dos o tres casas y en mampostería estructural.

Las dos etapas están cimentadas en los antiguos patios y frentes de explotación, inmersos en una zona de reserva ambiental, hoy delimitada a partir del lindero oriental de la urbanización. Patios propios de las otrora fábricas de ladrillos La Gidel y La Cuesta; en los que la explotación minera, surgida desde los comienzos de los años 40 del siglo XX pero que alcanzó su mayor desarrollo e impacto durante las décadas de los 60 y los 70 de ese siglo, dejó a su paso no sólo laderas devastadas sino la destrucción del drenaje natural.

Al margen de estar inmersas en el mismo contexto geológico y geomorfológico general de la etapa III, y contrario a ella, reposan en vastos y espesos dominios (de más de 20 m de tallo) de lodolitas o arcillolitas de la formación Bogotá, eventualmente interrumpidas por delgadas intercalaciones de areniscas, muy parcialmente cubiertas por paquetes, de entre uno y dos metros de espesor, pero que alcanzan, medida cuenta, los 6 metros (casi todos generados por el pulso urbanizador), y por suelos residuales, discontinuos y con espesores inferiores al par de metros casi en exclusiva (arreglo confirmado por los 18 sondeos, los 7 apiques, las 6 trincheras y el levantamiento estructural que integran el programa de exploración del subsuelo). Las exposiciones del material rocoso son notorias y recurrentes en los cortes al sur y al oriente de los conjuntos y parciales y esporádicas, a lo largo y ancho de las terrazas configuradas para la implantación de los módulos estructurales, formados por dos y tres viviendas, pero con dominio del primero.

La secuencia estratigráfica descansa en posición promedio N69E/30NW, pero con algunas variaciones en el buzamiento, desde los 29 hasta los 38 grados, siempre al NW, concordante no sólo con el orbe general al norte y occidente, como lo ratifica el arreglo en los barrios Amapolas, Triángulo y Ramajal, sino con la polaridad del plano de estratificación en la etapa III, y libre, en apariencia, de la influencia de la compleja sistemática de fallas circunvecinas (entre ellas la asociada con la falla de Bogotá). Particularidad que clasifica al medio como una pendiente estructural.

La morfología hoy día es consecuencia directa, como ya se señaló, del accionar minero y urbanizador, es decir, es sine qua non antrópica. Encierra plataformas aterrazadas para urbanismo, con diferencias de hasta dos metros de altura, esculpidas o en los rellenos antrópicos o en los paquetes de roca, y taludes mineros, de entre 6 y 18 metros de altura y de hasta 50 grados de inclinación, reconformados en roca y rellenos. Unidad última rectora de los límites sur y oriente del polígono de estudio, y de la separación entre las etapas I y II, y promotora de los principales escenarios móviles. Es allí donde no sólo han ocurrido los pocos eventos morfodinámicos del pasado, representados en los restos de tres deslizamientos traslacionales, huellas de flujos locales pequeños y erosión en surcos, sino que es el marco de mayor potencial de movilización (en otras palabras diagrama los principales espacios de amenaza).

En este orden de ideas y sin perder el concepto geomorfológico de pendiente estructural original, sobrevienen dos unidades de ladera así: la no intervenida (LNI) y la de alta intervención por actividades extractivas (LEI). Esta última rectora de casi toda la urbanización, está sometida a procesos morfodinámicos (de pequeña magnitud), que involucran principalmente los materiales de relleno; y a procesos erosivos incipientes, acentuados por la acción combinada de la escorrentía superficial y la poca protección generada por la cobertura vegetal presente (pastos y maleza); agrupa Taludes Extractivos en Roca, LEI-tex, Explanaciones para Desarrollo Urbanístico (LEI-edu), unidad en la que tiene asiento las dos etapas, Taludes de Relleno Antrópico (LEI-tra), recreados en la periferia de las explanaciones escalonadas para desarrollo, Explanación y Relleno para Conformación de Patios (LEI-rep) y Taludes de Relleno Antrópico Traslocado (LEI-trat).

Los procesos de remoción en masa poseen poca representatividad en la evolución geomorfológica de los frentes de explotación, y sus expresiones hoy por hoy pasan casi desapercibidas. Son esencialmente tres deslizamientos traslacionales en suelo, inactivos pero latentes, simples pero con capacidad de avanzados; tienen profundidades de hasta 1.50 m, con anchos en la parte media de entre diez y ocho metros, y longitudes de veinte, veinte y ocho metros, respectivamente. Los escarpes principales tocan el metro, y las masas movidas alcanzan los 295 m<sup>3</sup>. Su movilización es facilitada por el manejo inadecuado y la obstrucción del drenaje, por la saturación parcial y por las altas pendientes topográficas (superiores a los ángulos de fricción básicos del lleno). Las superficies de deslizamiento transitan por los contactos lleno-roca y lleno-suelo residual, las distancias de viaje en ningún caso supera los seis metros, y su capacidad de destrucción apenas si causó daño en el cerramiento, en particular en el muro.

Del vasto y disímil arreglo stratigráfico y geomorfológico reinante en la urbanización, los rellenos antrópicos, los suelos residuales y los cuerpos de deslizamiento, residentes, primordialmente, en los taludes al sur y al suroriente, son sin lugar a dudas los escenarios principalmente móviles y de paso los de mayor condición de amenaza en el tiempo. En ellos las probabilidades de falla, indistinto del mecanismo de falla, son inferiores al 16.2%, si el periodo de exposición es cercano a un año, o están entre el 10.6% y el 30%, si toca los 10 años, o supera el 31% si se extiende a 50 años.

La reactivación de los deslizamientos parece cuestionable pero la retrogresión (y la ampliación) no. Algunas de las superficies de movilización trasiegan al respaldo de las masas deslizadas y exponen estados de falla aún con la participación de uno de los agentes detonantes (el agua o el sismo); las probabilidades condicionales apenas tocan el 4% en el primer año, y se acercan al 30% o superan el 50% en cuanto el período de trabajo (i.e. la exposición) se posiciona en 10 años o en 50 años, respectivamente.

La estabilidad en las superficies libres adquiere tintes adversos en la medida en que el suelo residual hace su aparición bajo los rellenos o continúe su expansión (o progresión) hacia aguas abajo, en lo que atañe al pronóstico (i.e. el de los suelos residuales). Esquema que pone de relieve que su movilización, al igual que lo



fue la de los cuerpos de deslizamiento (el DT-0011, y el DT-0021) es asunto de tiempo. Los factores condicionantes en unos y otros, antes y ahora, permanecen vigentes. En otras palabras, salvo que se tomen algunos correctivos como la despresurización de los depósitos y la puesta en marcha de sistemas de aislamiento, eficientes y capaces de reducir la distancia de viaje de las masas inestables y de retenerlas, la emergencia puede revivirse.

En este sentido, el comportamiento del macizo rocoso, idealizado por horizontes moderadamente alterados de hasta cinco metros de espesor, si bien es más halagüeño, no es completamente tranquilizador. El macizo permanece estable toda vez que no haya sismo ni lluvia, o se movilice la cohesión mínima o los parámetros mínimos:  $c_{\min}$ ,  $\phi_{\min}$ . Si se conserva el estado del macizo hoy día, es decir si el macizo permanece sano, las posibilidades de desplazamiento, cualquiera sea el tiempo (uno, diez, o cincuenta años) y la condición de trabajo son siempre inferiores al 10%. De esta manera, poca o ninguna responsabilidad recaería en él en la construcción de los escenarios de amenaza y riesgo, y la atención en la estabilización y mitigación se centraría en los rellenos.

Con el pasar del tiempo (en el ideario futuro, posiblemente el más desfavorable) la estabilidad puede aproximarse a la marginal, toda vez que la meteorización ocupe lugar protagónico y el macizo se transfigure en su totalidad (modelo bautizado como macizo alterado infinito). La activación en los cortes al sur y al suroccidente (representados por las secciones S-4, S-6, S-7 y S-8), puede tener lugar en inviernos prolongados o durante lluvias intensas, pero sin la participación adicional del hombre, él catalizaría el proceso. Las probabilidades condicionales, superiores al 30%, así lo refrendan.

En gracia de estas consideraciones, la amenaza hoy por hoy (plasmada en el Plano 8) revela como sus ambientes más severos, clasificados en media, la de los tres cuerpos de deslizamiento, causantes de la zozobra en la población en el 2011; y la de sus espacios de retrogresión y avance, que no son otra cosa que las generosas exposiciones de los rellenos antrópicos, que rodona parcialmente la etapa II.

La imagen es más drástica hacia futuro: a los 50 años. Los corredores ocupados por los llenos y las regiones generadoras y receptoras de las masas inestables (residentes al sur, oriente y suroccidente de las dos etapas, tal y como se delinea en el Plano 8), mutan de amenaza media a alta; los deslizamientos rotacionales en los llenos y en los suelos residuales y las fallas planares infinitas tendrían lugar protagónico. Sólo los espacios habitados y preparados para este fin, exhiben los mejores réditos; su condición de amenaza es baja. Las restantes unidades de ladera se erigen en categoría media; la ejecución de cortes o de excavaciones, la implantación de cargas o el deficiente manejo del drenaje, abrirían el compás para la aparición de nuevos focos de inestabilidad, y, por consiguiente, para la creación de nuevos espacios de amenaza alta.

Por su parte, la vulnerabilidad física, expresada como una medida porcentual de los costos de las averías originadas por un agente destructor, transcribe para los estadios actuales, en las 282 viviendas y las 4 edificaciones comunales, que cerca del 92% de las viviendas exponen categoría baja y el restante 8%, apenas, media. Este ambiente se explica, al margen de la capacidad de viaje de las masas potencialmente inestables, de la regular calidad de la construcción y de los cambios de rigidez (ligados a la autoconstrucción de las ampliaciones, expresadas en los pisos superiores –el tercero y el cuarto–), por el dominio de las bajas posibilidades de movilización de las laderas. Los máximos niveles esperados de daño (o de vulnerabilidad), los medios, coinciden con las viviendas más expuestas, es decir, con las codificadas como 78, 93 y 94 de la primera etapa, y 84, 102 a 105, 123 a 126, 141 a 144, 152 a 154, 159 a 162 y 166 (el salón comunal) de la segunda (conjunto representado en el Plano 9). Las casas restantes se califican con vulnerabilidad baja.

Sin embargo, al margen del panorama descrito, la habitabilidad de las viviendas, hoy día (no así a futuro) no se halla comprometida, derrotero confirmado en buena medida por el ramillete de alternativas, en el que el reasentamiento no se hace necesario, ni por alto riesgo, ni por implantación de las obras de mitigación. Aunque es notable que la calidad de las edificaciones, está en entredicho debido a la falta de buenas prácticas en los procesos constructivos, tanto de la constructora como de los propietarios (al poner en marcha las modificaciones y las ampliaciones), característica última predominante en la segunda etapa.

El escenario futuro (a 50 años) es a todas luces menos halagüeño. La tasa de vulnerabilidad media se incrementa notablemente, al pasar de 24 a 94 unidades, y la alta hace su aparición en siete (7) de las edificaciones. Una y otra categoría matizada por el radical incremento en la posibilidad de movilización de las laderas, en especial las forjadas en los rellenos y en los suelos residuales, y esquematizada por los predios de mayor proximidad a ellas. Así, pues, la vulnerabilidad alta recae en los predios 104, 125, 143, 145, 146, 148 y 162, todos de la segunda etapa, mientras la media se extiende sobre las construcciones 29, 30, 44 a 46, 59 a 62, 74 a 78, 90 a 94, y 106 a 120, si de la primera etapa se trata, y 14 a 16, 32 a 38, 59 a 61, 81 a 84, 100 a 103, 105, 121 a 124, 126 a 142, 144, 147, 149 a 161, 164 a 166, en lo que a la segunda etapa se relaciona (radiografía sintetizada en el *Plano 9*). Cualquiera sea el periodo de exposición (actual o a largo plazo, 50 años), las redes inmersas en los corredores de amenaza alta y media, y comprometidas en los cuerpos potencialmente inestables, calcan la misma posibilidad de daño: alto y medio, en dependencia del nivel de amenaza.

El nivel de daño potencial en los seres humanos (residentes o no) resultado de la acción de una masa inestable sobre su cuerpo (acogido bajo la sombra de la vulnerabilidad física en personas), se aborda desde dos escenarios críticos: el primero, supone la ocurrencia del (o los) evento(s) nocivo(s) en horario nocturno (posterior a la 9:00 pm), en él se considera que todos los residentes se hallan dentro de sus viviendas; y el segundo, presume que la emergencia se detona durante el día de un fin de semana cualquiera, aquí se prevé la presencia de un pequeño grupo de adultos (sólo la madre de familia) dentro de las residencias y de los niños, de los adultos mayores y de los adolescentes en los peatonales y en los espacios públicos. Y en aprovechamiento de los corredores de exposición y de la severidad de los fenómenos (retomados de los análisis y de las zonificaciones de amenaza actual y futura) y de los índices refinados por Finlay et al (1999).

De esta manera la mayor afectación en las personas se puede esperar en las viviendas 124 a 126, 153, 154 y 160 a 162 de la segunda etapa, toda vez que el evento se geste en la noche, y en las mismas viviendas y en los corredores peatonales y de uso público dispuestos entre ellas y los cuerpos de deslizamiento, y en la vecindad a las viviendas 78 y 92 a 94 de la etapa I, si el fenómeno se da en el horario diurno del fin de semana (vista ilustrada en las *Figuras 7.2* y *7.3*, que admite que el tránsito de personas en los espacios comunes es muy superior en este periodo).

Con este panorama, las pérdidas esperadas a un año (rotuladas bajo el apelativo de actual) son casi esencialmente bajo. El 92% de las viviendas expone para los estadios de trabajo vigentes riesgo bajo, y el 8% restante ostenta niveles apenas medios. Distribución justificada en el alto porcentaje de casas con niveles bajos de vulnerabilidad y en el estado poco severo de amenaza (entretelado entre bajo y medio). Las unidades con pérdidas medias coinciden con las construcciones que evidencian vulnerabilidad media, condición propia de las casas 78, 93 y 94 de la primera etapa, y 84, 102 a 105, 123 a 126, 141 a 144, 152 a 154, 159 a 162 y 166 (salón comunal) de la segunda. Las viviendas restantes se exponen en riesgo bajo. El contexto aunque es más desfavorable con el tiempo, dista mucho de ser crítico. El índice de riesgo para el espectro de amenaza a 50 años, está regido por el recrudescimiento de éste en las laderas al suroriente, al sur, al suroccidente y en medida alguna al occidente de la urbanización; allí el 10.5% de los predios -es decir,

30 construcciones y de sus residentes- puede sufrir pérdidas altas, el 24.8% (i.e. 71 unidades) evidencia perjuicios medios, y el 64.7% de las estructuras (185 elementos) exhiben riesgo bajo.

La vulnerabilidad social, entendida como la incapacidad de una persona o de un hogar para aprovechar las oportunidades disponibles en distintos ámbitos socioeconómicos, para mejorar su situación de bienestar o impedir su deterioro. Noción que pone la discusión de la vulnerabilidad más allá de la sólo satisfacción de las necesidades básicas, y ubica las desventajas sociales en la relación entre los activos físicos, financieros, humanos y sociales de que disponen los individuos y los hogares, sus estrategias de uso y el conjunto de oportunidades al que pueden acceder (Busso, 2001). Así, entonces, a mayor presencia de los activos y de las estrategias, mayor capacidad de respuesta y mejor acceso al conjunto de oportunidades que ofrece el entorno, es decir menor vulnerabilidad.

Con este derrotero en mano, y convertidas las componentes más relevantes de los activos como variables o indicadores, es posible afirmar que la susceptibilidad o la incapacidad para mejorar su estatus de bienestar para las familias de las dos etapas de Buenavista, no es estructural pero si coyuntural. Conclusión sustentada en la premisa de que casi la totalidad de los habitantes son propietarios de sus inmuebles, aunque es incierta la condición de cuántos de ellos aún poseen hipoteca, varios tienen vehículo y los ingresos por familia están entre 1.5 y 3 veces el SMMLV. A esto se le suma que el número promedio de residentes por vivienda es cercano a los 4, por lo que no existe condición de hacinamiento; gran parte de su capital humano pertenece a la franja económicamente activa, con posibilidades de aumentar su nivel de preparación técnica con relativa facilidad; así todos pertenecen al sector formal de la economía (poseen empleos con vinculación permanente y prestaciones sociales) y tienen acceso entre parcial y pleno a las redes de seguridad social.

La comunidad, por lo tanto, está formada por integrados pobres, en algunos casos con alguna exclusión débil. La ocurrencia de cualquier desastre puede dar lugar a que la vulnerabilidad se convierta a estructural con exclusión media, con las débiles con el medio y con los activos financieros, e incluso decaer en la informalidad en la parte laboral. Condiciones que generarían que la recuperación de las familias tarde años o décadas. De esta manera, se hace necesaria por una parte la implementación de las medidas de mitigación, que en estricta esencia no superen los activos de capital, y por otra la participación y el acompañamiento activo y permanente del gobierno.

En consonancia con los diagnósticos y perspectivas de amenaza, vulnerabilidad y riesgo bosquejadas atrás, las alternativas de solución están destinadas a reducir, al menor costo, los estados de probabilidad condicional total actual, y disminuir los escenarios de vulnerabilidad, a evitar el aumento en los niveles de riesgo y, en el mejor de los casos, a reducir o controlar sustancialmente los cuerpos de mayor condición o predisposición de movilización y sus consecuencias. Cometidos que abren la puerta a la elusión, al reasentamiento parcial y a medidas de estabilización como el drenaje, el subdrenaje y la contención, y al perfilado, como las posibles soluciones.

El reasentamiento, rotulado como alternativa 1, pretende la sustracción de los más altos estadios de vulnerabilidad y riesgo actual y futuro (o de amenaza a 50 años); cometido satisfecho con la relocalización permanente de 41 predios, 31 de la segunda etapa, las de las casas 141 a 162, 103 a 105, 122 a 126 y el salón comunal, y 10 de la primera, las de las viviendas 75 a 78, 91 a 94, 107 y 120, con la inserción de pantallas-pilotes con unidades de 0,60 metros de diámetro, que confinen las masas potencialmente inestables y que protejan la infraestructura y los inmuebles remanentes, y con la reconfiguración o no de las laderas circunvecinas a ellas, en específico las del corredor suroccidental, incluida la actuación de un limitado grupo de elementos de despresurización y drenaje. Actividad última que permite su discretización y diferenciación

en dos subalternativas, identificadas como 1A y 1B. Su desarrollo, idealizado esencialmente en etapas está formulado para entre uno y cinco años de duración (tiempo abstraído de los más recientes programas de reasentamiento llevados a cabo por la administración distrital, entre ellos el de Buenavista III Etapa). El valor de inversión de la primera posibilidad (la 1A) se aproxima a los cuatro mil millones de pesos, mientras que el de la segunda opción (la 1B) es del orden de los dos mil novecientos millones; y si bien sus beneficios en la reducción del riesgo son innegables, son poco trascendentes en la amenaza. Tiene como contrapesos su alto costo social y la inseguridad y la zozobra que desataría la gestación de cualquier proceso de inestabilidad, elementos que se transforman en pérdida de confianza con la institucionalidad.

El Drenaje, Subdrenaje y Contención, bautizado como la Alternativa 2, se enfoca en el manejo del principal agente detonante: el agua, y de su secuela más relevante, el aumento en la cabeza piezométrica. Consiste en la instalación de sub-drenes horizontales, con longitudes entre los 10 y los 25 metros cimentados con ángulos inferiores a los cinco (5) grados, cunetas trapezoidales o rectangulares y descoles en concreto, y trincheras (o filtros) rectangulares de entre 1.5 m y 2.0 m de profundidad y 0.8 m de ancho. Si bien su costo sobre pasa los mil setecientos millones de pesos, inferior sin duda al de buena parte de las otras soluciones, su inversión no es suficiente para alcanzar los niveles de mitigación de las demás alternativas.

La reconfiguración morfológica, o perfilado, también conocida como la Alternativa 3, busca reducir los empujes activos o las masas activas en los cuerpos y en laderas potencialmente inestables, amparada en el terrazo de suelos y roca en los corredores suroriental, occidental y suroccidental de la urbanización, complementado con una red de drenaje, de cunetas y trincheras, adosada a las mismas laderas. Aunque expone resultados similares en estabilización al reforzamiento y retiro (idealizada como la alternativa 4), la supera notoriamente en costos. Su monto de inversión se acerca a los tres mil doscientos millones de pesos, un tercio más que la cuatro.

El reforzamiento y retiro, o Alternativa 4, apunta a la contención de los potenciales deslizamientos o por lo menos a la mitigación de sus efectos, a la intercepción de las superficies de deslizamiento (fijadas cerca al contacto macizo alterado-macizo sano o depósito-roca) y a la reducción los empujes activos de las masas inestables; para ello se recurre a sistemas de estabilización pasivos y externos, a la reconfiguración morfológica y al drenaje y subdrenaje. Unos en cabeza de líneas de anclajes, instalados al occidente de la primera y de la segunda etapa, en las amplias exposiciones del macizo, otra confiada a cortes con buzamientos de hasta 3.0H:1.0V, y otro a cargo de trincheras drenantes (o filtros) de hasta dos metros de profundidad y cunetas rectangulares.

Su presupuesto supera por poco los dos mil seiscientos millones de pesos, y no sólo es la solución con la mejor relación costo-beneficio, atributo que la transforma, casi inequívocamente, en el *Plan de Acción*, sino que, si las entidades distritales competentes corroboran la condición pública, sugerida por el Sinupot y por la plancha SC 11/4-00, de las laderas que interviene también contará con la viabilidad predial requerida para su implementación, incierta hasta la fecha. Aspecto que por una parte es su talón de Aquiles, al igual que lo es para las alternativas 2 y 3, y que por otra le otorga ventaja relativa a la alternativa 1.

Y la Elusión, designada como la Alternativa 5, obvia la puesta en marcha de cualquier tipo de obra sea civil o de paisajismo, de mitigación, control o estabilización, que interfiera con la evolución natural de las laderas; 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 y futuras de amenaza, de vulnerabilidad y de riesgo, lo que trae consigo significativas pérdidas tanto materiales como humanas. Su

traducción en términos monetarios se aproxima a los dos mil ochocientos millones de pesos. Posee el riesgo asumido más alto de todas y sus efectos colaterales pueden extenderse a la desatención institucional, a la pérdida de vidas y a la disminución en la vulnerabilidad social,

Por último, la estabilización de las laderas al nororiente de la urbanización, en el límite entre la segunda y la tercera etapa, configuradas por espesos horizontes de lleno, y que amenazan la vida de los residentes y la permanencia del salón comunal, aunque está por fuera del marco de trabajo y de los alcances de este estudio, es un compromiso impostergable. Obligación asignada a 15 caissons de 1.2 metros de diámetro, espaciados 3.6 metros entre sí (distancia medida entre los ejes) y distribuidos en dos pantallas. Así, entonces, el tratamiento subrayado debe entenderse y aceptarse (por ahora y hasta el diseño) como una constante para todas y cada una de las alternativas, y por consiguiente para el plan de acción.

Plan configurado por el retiro de gran parte del cuaternario (especialmente los rellenos que son las principales cuerpos inestables), por la redefinición morfológica y morfométrica de las laderas al oriente, al sur y suroccidente (en las regiones LEI-tra-I-1, LEI-tra-I-2, LEI-trat-I-1, LEI-trat-I-2 y LEI-trat-I-3), quehaceres satisfechos con el perfilado de los taludes, por la instalación de líneas de anclajes, con capacidad de 20 ton cada uno, en las superficies hoy gobernadas por el macizo rocoso (y concentradas en las unidades LEI-tex-I-2 y LEI-tex-I-3 del Plano 7), por el drenaje y el subdrenaje, por la modificación de uso de los predios baldíos, de manera que se destinen a la construcción de un parque, y por el monitoreo. Constitutivos por excelencia de la Alternativa 4. Camino sugerido por esta consultoría pero que está supedita a la viabilidad predial, es decir a la compra o la expropiación (por razones de bien común) de los lotes a intervenir, y que de manera no deseada, por inconvenientes en la adquisición de los terrenos, puede abrirle la puerta al reasentamiento como programa de solución.

Ahora bien, cualquiera sea el camino a seguir (entendido como el esquema de mitigación: alternativa) es pertinente el monitoreo constante y acometer una serie de medidas no estructurales, que si bien no modifican los escenarios de amenaza, están encaminadas a hacer participe a la comunidad en la conservación del medio, en la reducción del riesgo ambiental y físico, y a menguar la creación de focos futuros de inestabilidad. Este paquete de acciones comprende: la implementación de campañas de limpieza y retiro de los residuos sólidos (basuras y escombros) del sistema de alcantarillado pluvial -ductos, pozos y sumideros-, y, en general, el mantenimiento de las redes de acueducto y alcantarillado, no sólo de los entramados de la urbanización, sino de los trazados ubicados en los barrios existentes al sur, principalmente, de las áreas que drenan en dirección de las masas que nos ocupan; la supervisión de nuevas construcciones que se pretendan realizar en los predios aledaños a la urbanización, para evitar problemas futuros; y la participación activa de la comunidad en el planteamiento de las soluciones en los barrios, de manera tal que se le comprometa con la sostenibilidad del medio.

## CAPÍTULOS

## **CAPÍTULO 1**

### **GENERALIDADES**

## GENERALIDADES

### 1.1 INTRODUCCIÓN

El invierno del segundo semestre del 2008, uno de los más crudos, intensos y prolongados de las dos últimas décadas en el distrito capital, dejó a su paso múltiples deslizamientos, viviendas destruidas, pérdidas de vida y desolación. Una de las emergencias más impactantes del año se vivió en las laderas surorientales, al interior de la III etapa de la urbanización Buenavista Suroriental, en la localidad de San Cristóbal. Allí dos deslizamientos, uno traslacional y otro rotacional, gestados en espesas masa de rellenos, causaron, en sus albores, la evacuación de noventa y seis (96) familias, algunas de ellas provenientes de otros procesos de reasentamiento, la destrucción de nueve (9) viviendas, y el deterioro de otras veinticinco (25), y al término el reasentamiento de todas las familias y la demolición del conjunto.

Pero las secuelas de la emergencia se extendieron fuera del alcance de los muros y de las estructuras. También debilitó la imagen de las entidades distritales y de los modelos de vivienda de interés social; resaltó (y resalta) las amplias ventajas otorgadas a las canteras, a sus operadores y a sus dueños, al punto de liberarlos de gran parte de sus responsabilidades sociales, ambientales y técnicas; alertó a las cerca de 260 familias de las etapas I y II y despertó su inquietud por conocer la suerte de sus vidas y propiedades más preciadas. Preocupación desatada desde los albores del 2002 por un flujo de lodos, del que se desprendió la recomendación de evacuar las casas 77 y 93 del bloque C y la 78 del bloque D (estrategia plasmada en el documento DI-1566, Hoyos, 2002); refrendada en el 2005 con la interposición de una acción popular, y realzada por un deslizamiento local, del orden de 275 m<sup>3</sup> (tal y como lo sugiere el diagnóstico DI-5541), forjado en los taludes sur de la urbanización, ocurrido durante la primera quincena de noviembre de 2010, afortunadamente sin consecuencias relevantes (ni en inmuebles ni en vidas humanas) pero del que se ordenó la evacuación de cuatro viviendas: la 144, la 162, la 105 y la 84 (medida desacatada). Y, en parte, subsanada con la resolución 533 del 15 de noviembre de 2011, en la que se ordena “las reparaciones, los controles y las demás medidas tendientes a evitar daños por la presencia del talud de tierra ubicado en el costado sur de la urbanización”.

Buenavista Suroriental, en sus Etapas I y II, al igual que la III Etapa, a diferencia de la aparente simplicidad del caso (calificativo otorgado por algunos profesionales del medio) y de sus, relativamente, intrascendentes manifestaciones, pone de relieve la importancia de la participación y del seguimiento institucional, pues ni antes ni ahora la vida de los pobladores ha estado o está en juego. El trabajo sostenido, el seguimiento y la constancia, al margen de la duda y de la reacción de los moradores y de alguna fracción de las agremiaciones profesionales, tiene sus frutos.

FOPAE	GIA LTDA	<b>GIA-068-12</b>		CAP 1 - PÁG. 32	
VERSIÓN:	1			FECHA	06/12/12
ELABORÓ:	MAA, JALG	REVISÓ:	JALG	APROBÓ:	GIC



GIA Consultores, a través del contrato Cons-630 de 2012 ha sido designada para coadyuvar en la definición de la senda de recuperación de la urbanización, a través del estudio de riesgos por remoción en masa. Cometido que encierra, 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 de mayor beneficio técnico y social. Este informe es escrito con el ánimo de dejar sentadas las bases para la predicción de la evolución de las laderas en el corto, mediano y largo plazo y de detallar la manera como se atendió la investigación, de manera tal que puedan ser debatidos, y si es conveniente den lugar a las complementaciones pertinentes a la ruta de mitigación del riesgo.

## 1.2 LOCALIZACIÓN

En el suroriente de la ciudad, entre los cerros de la localidad de San Cristóbal y por encima de los 2800 msnm., se erige la urbanización Buenavista, y sus etapas I y II. Escenario que hace parte del extenso barrio oficial Los Alpes. Las 283 viviendas, de entre uno y cuatro niveles de altura, construidas dentro del sistema de vivienda formal (es decir, por un urbanizador legal), de veintiún metros cuadrados de área en planta, en módulos de dos o tres casas y en mampostería estructural, se cimientan en plataformas escalonadas, reproducidas en los antiguos patios y frentes de explotación, inmersos en una zona de reserva ambiental, hoy delimitada a partir del lindero oriental de la urbanización. Patios propios de las otrora fábricas de ladrillos, La Gidel y La Cuesta; en los que la explotación minera, dejó a su paso no sólo laderas devastadas sino la destrucción del drenaje natural.

La antigua Carretera a Oriente es la principal vía de acceso a las viviendas agrupadas en los dominios catastrales Calle 31 Sur N° 12 – 25 Este y Calle 31 Sur # 12 – 55 Este. La Localización geográfica de la urbanización (y por consiguiente de los predios de estudio) está definida cartográficamente por el polígono transcrito en la Tabla 1.1. Esquema representado en el Plano 1.

**TABLA 1.1 VÉRTICES DEL TERRENO**

NORTE (M)	ESTE (M)
95593.8	99528.6
95575.0	99540.6
95564.0	99543.7
95535.0	99531.0
95514.2	99514.3
95491.1	99495.1
95487.4	99486.3
95485.5	99470.4
95495.1	99441.6
95529.1	99382.6
95543.0	99388.4
95595.7	99373.1

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

### 1.3 DESCRIPCIÓN DEL FENÓMENO

Las etapas I y II de la urbanización Buenavista, al margen de estar inmersas en el mismo contexto geológico y geomorfológico general de la etapa III, y contrario a ella, reposan en vastos dominios de las arcillolitas de la formación Bogotá, eventualmente interrumpidas por delgadas (de 2m hasta 4m) intercalaciones de areniscas, muy parcialmente cubiertas por delgados (inferiores a los cuatro metros de espesor) paquetes de suelos residuales y rellenos antrópicos. Las exposiciones del material rocoso son notorias y recurrentes en los cortes al sur y al oriente de los conjuntos (véase la *Foto 1.1* y la *Foto 1.2*), y parciales y esporádicas a lo largo y ancho de las terrazas configuradas para la implantación de los módulos estructurales, formados por dos y tres viviendas, pero con dominio del primero.



FOTO 1.1 PANORÁMICA DEL CORREDOR ORIENTAL DE LA URBANIZACIÓN BUENAVISTA I



FOTO 1.2 PERSPECTIVA DE LAS EVIDENCIAS DEL DESLIZAMIENTO EN EL BORDE SUR DE LA SEGUNDA ETAPA

La secuencia estratigráfica descansa en posición (promedio) N69E/30NW, pero con algunas variaciones en el buzamiento, concordante no sólo con el orbe general al norte y occidente, como lo ratifica el arreglo en los barrios Amapolas, Triángulo y Ramajal, sino con la polaridad del plano de estratificación en la etapa III, y libre, en apariencia, de la influencia de la compleja sistemática de fallas circunvecinas (entre ellas la asociada con la falla de Bogotá). Particularidad que clasifica al medio como una pendiente estructural.

La morfología hoy día es consecuencia directa del accionar minero y urbanizador, es decir, es sine qua non antrópica. Encierra plataformas aterrazadas para urbanismo, con diferencias de hasta dos metros de altura, esculpidas o en los rellenos antrópicos o en los paquetes de roca, y taludes mineros, de entre 6 y 18 metros de altura, reconformados en roca y rellenos. Unidad última rectora de los límites sur y oriente del polígono de estudio, y de la separación entre las etapas I y II, y promotora de los principales escenarios móviles. Es allí donde no sólo han ocurrido los pocos eventos morfodinámicos del pasado, representados en los restos de tres deslizamientos traslacionales, huellas de flujos locales pequeños y erosión en surcos, sino que es el marco de mayor potencial de movilización (en otras palabras diagrama los principales espacios de amenaza).

#### 1.4 ANTECEDENTES

Los antecedentes más relevantes enmarcan por una parte los pocos procesos de inestabilidad ocurridos en las etapas I y II, y por otra, la anunciada y prolongada emergencia en el III sector, que concluyó con el reasentamiento de 96 familias y la demolición del conjunto. Los sucesos acaecidos entre el 27 de diciembre de 2008, y el 7 de febrero de 2009, y comentados con rigor en los informes DI-3991 y DI-3996, fueron el epílogo del desastre. El escarpe principal calcó su silueta completa en la superficie y aumentó su altura hasta los cuatro metros, el cuerpo del deslizamiento encontró reposo en las edificaciones 88 a 96, al punto de volcarlas o destruirlas, las que a su vez hallaron alivio en las casas 63 a 71; y lo que inició por un solo deslizamiento rápidamente se convirtió en dos. La evacuación total de la tercera etapa fue entonces forzosa y necesaria.

Los antecedentes en las dos primeras etapas de la urbanización, se remontan al año 2001 con el diagnóstico técnico DI-1062, en el que se evalúa la respuesta y el grado de estabilidad del talud sub vertical, de 15 metros de altura, descubierto, que con el pasar de los días se convertirá en el límite de las viviendas 78 y 121.

Entre los días 29 y el 30 del mes de mayo de 2002, momento para el que apenas una pequeña porción de las casas se hallaba habitada, tiene lugar la primera emergencia en la segunda etapa: un deslizamiento en el talud sur de la agrupación, que entrega como evidencia el agrietamiento en la parte superior de la ladera, de aproximados 10m de altura, define una cuña de 25 m<sup>3</sup> potencialmente inestable. Como consecuencia de este evento, y mediante el diagnóstico DI-1566, se ordena la evacuación preventiva de las casas 77 y 93 del bloque C y 78 del D.

El 15 de noviembre de 2005 y el 16 de enero de 2007, se realizan sendas visitas técnicas por parte del DPAE, para evaluar la situación de la zona. Como resultado de dichas visitas, se planteó que los procesos de inestabilidad no comprometen la habitabilidad de las viviendas de la Urbanización Buenavista Oriental I y II Etapa, pero por la evidencia de grietas de tracción y por la continua degradación de las condiciones de estabilidad del terreno, puede verse comprometida la habitabilidad de las viviendas adyacentes al talud inestable en el mediano plazo.

El 23 de febrero de 2007, se realizó el concepto técnico CT-4835 donde se observó que la zona visitada se encuentra en la formación Bogotá, la cual consiste en una sucesión monótona de lodolitas, limolitas y arcillolitas abigarradas, separadas por bancos de arenisca arcillosa blanda. Como resultado de dicha visita de ordenó adelantar la fase II del estudio detallado de amenaza y riesgo por remoción en masa; esto no exime al constructor responsable del cumplimiento del resto de la normatividad vigente (NSR, Código de Construcción, Resolución de Legalización etc.). Una vez realizado el estudio fase II de acuerdo con los términos de referencia de la resolución No.227 de 2006, se recomendó remitirlo a la entidad encargada del

trámite de la licencia, quien informara y enviara el estudio a la DPAE dentro de este trámite, para verificar el cumplimiento de los términos de referencia.

Tiempo después, el 19 de diciembre de 2007, se desata, en el mismo lugar auscultado en el diagnóstico DI-1062, un flujo de lodos, en los horizontes de suelo residual de la Formación Bogotá. El volumen comprometido, inferior a los 7m<sup>3</sup>, desencadenó el colapso parcial de cerca de 10 metros de malla, sin comprometer la habitabilidad de las viviendas. En esta ocasión se ordenó mantener la restricción parcial del sendero peatonal en el borde sur de la urbanización.

La siguiente emergencia se presentó el 19 de noviembre de 2010, cuando por medio de la Ro- 5541 se señaló la aparición de un proceso de remoción en masa, detonado por filtración de aguas lluvias en el talud del costado sur de la segunda Etapa, y en el que el deterioro de las cunetas en la parte alta del talud juega papel importante. Es un avance de las evidencias aparecidas en el mes de mayo de 2010. Se identificó el desprendimiento de, aproximadamente, 50 metros cúbicos de material arcilloso. El talud tiene cerca de seis (6) metros de altura, sesenta (60) grados de inclinación y cuarenta (40) metros de longitud. El fenómeno puede afectar la habitabilidad y la estabilidad de cuatro viviendas: la 144, la 162, la 105 y la 84, razón por la que se solicita su evacuación preventiva y temporal hasta tanto se garanticen las condiciones de estabilidad del talud.



FOTO 1.3 PANORÁMICA DEL DESLIZAMIENTO, TALUD SUR OCCIDENTAL. FUENTE: FOPAE, 2010

A través del mecanismo de acción popular, los residentes de las etapas I y II, demandan al Instituto Nacional de Vivienda de Interés Social y Reforma Urbana, Inurbe, a la caja de Vivienda Popular y a la Constructora Milenio Ltda., por la protección de los derechos colectivos, por la defensa del patrimonio público y por la seguridad y salubridad pública. A lo que el juzgado 36, mediante sentencia del primero de junio de 2012, establece las responsabilidades de cada uno de los entes implicados en la afectación a los derechos colectivos de los habitantes. Para dar alcance a la sentencia, la Secretaría General de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C., emite la Resolución 533 del quince de noviembre de 2011, en la que se ordena al Fondo de Prevención y Atención de Emergencias, Fopae y a otras entidades del orden Distrital: “Adelantar las gestiones administrativas, técnicas y presupuestales necesarias, en observancia de las recomendaciones hechas por los peritos, efectuando primero las siguientes actividades:

- Determine la procedencia de la reubicación de las viviendas ubicadas en la Urbanización Buenavista Oriental - II Sector, Etapa I, y se ejecute, si es el caso dicha reubicación;

- Si como resultado del estudio procede la reubicación, se dará prioridad a las personas que habitan inmuebles que presentan riesgo inminente de deslizamiento”.

La Tabla 1.2, la Tabla 1.3, la Tabla 1.4, Tabla 1.5, la Tabla 1.6 y la Tabla 1.7 relacionan exclusivamente los diagnósticos técnicos y las respuestas oficiales emitidas por el Fopae, y el Anexo A recopila estos documentos.

## 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

Los altos niveles de inseguridad han representado una de las mayores limitantes para las labores desarrolladas en campo. El levantamiento topográfico se vio entorpecido por la dificultosa situación de este orden, al nivel que la comisión enfrentó la intimidación directa sobre su integridad y fue despojada de los equipos con los que adelantaba la labor. Adicional a esto, la negativa de los propietarios de los predios ubicados entre la primera etapa de Buenavista y la carretera a oriente (que en su momento fueran las casas modelo de la urbanización), ante la solicitud realizada por la misma comisión para acceder a los predios privados a realizar las labores propias del levantamiento, representa otra de las limitantes del estudio. La toma de puntos fue entorpecida y, por ende, los resultados del trabajo topográfico en dicha área (que si bien es reducida, no es menos importante) no consiguió el grado de precisión que se obtuvo en el resto del barrio.

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.

TABLA 1.2 DIAGNÓSTICOS

DOCUMENTO	FECHA	ELABORÓ	DESCRIPCIÓN	CONCLUSIONES /RECOMENDACIONES
DI-1062	Febrero 21 de 2001	Ing. Luz Mary Salcedo Martínez.	<p>De acuerdo con las observaciones realizadas en campo, se presentan las siguientes características.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Hacia los alrededores de la urbanización se aprecian rocas aflorantes de material arcillo arenoso de la formación Bogotá.</li> <li>- Laderas con evidencia de inestabilidad, asociadas a la explotación minera.</li> <li>- Existe en límites de la urbanización con la propiedad de los huertos; una talud de corte sub vertical con altura de 15 metros descubierto de vegetación y sin manejo de la escorrentía.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Construir obras para el manejo adecuado de las aguas superficiales y sub superficiales del talud.</li> <li>- Empradizar el talud con el fin de evitar su degradación e inestabilidad.</li> <li>- Verificar los diseños de obras adelantadas en la zona del talud.</li> </ul>
DI-1566	Mayo 29 de 2002	Ing. Edson Orlando Hoyos Cerón.	<ul style="list-style-type: none"> <li>-En el terreno antes de la intervención de la obra, existían escarpes verticales de explotación con altura superior a los 8 m.</li> <li>-Según el estudio de suelos, y como parte de las obras del proyecto. Se procedió a tender taludes con inclinaciones entre 0.5 H: 1.0V, y 0.25H: 1.0V. Con altura máxima de 6m. El aislamiento mínimo entre las casas y el talud es de 0.6 m.</li> <li>- En la base del talud se adelanta la construcción de un muro de pata de 1.2 m de altura con cimentación tipo superficial sobre material de relleno.</li> <li>- Los días 29 y 30 de mayo de 2002 se presentó una emergencia por deslizamiento en el talud sur de la urbanización el cual tiene 10 metros de alto, el agrietamiento e la parte superior del talud define una cuña potencialmente inestable de 25 m<sup>3</sup>; ya se encontraban habitadas algunas casas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Evacuación preventiva de las casas # 77 bloque C, # 93 bloque C y # 78 bloque D.</li> <li>- Implementación de una barricada con canecas y señalización con cinta para evitar el acceso a las zonas.</li> <li>- Revisión de los análisis de estabilidad del talud sur de la urbanización.</li> <li>- Construcción de las obras de estabilización del talud para garantizar la seguridad de las viviendas.</li> <li>- Construcción de obras de drenaje.</li> </ul>

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
RO-12087	14-09-2004	Ing. Dulfay Patricia Ortiz Abaunza	<p>De acuerdo con el Mapa de Amenaza por fenómenos de remoción en masa para Bogotá el cual se incorporó al Plan de Ordenamiento Territorial, mediante el Decreto 619 como Mapa 4; el predio con nomenclatura Calle 31 Sur # 12 – 55 Este de la urbanización Buenavista Oriental de la localidad de San Cristóbal se encuentra en zona de amenaza media.</p> <p>– DPAE realizó una visita técnica el 9 de septiembre de 2004 al predio localizado en la Calle 31 Sur # 12 – 55 Este ET 1 Interior 117 de la urbanización Buenavista Oriental de la localidad de San Cristóbal, con el fin de observar la condiciones del mismo.</p> <p>Se observó que la urbanización se localiza en una ladera de pendiente baja-media, la urbanización limita en el costado sur con un talud subvertical de aproximadamente 8 metros de altura, en el cual no se observan evidencias de fenómenos de remoción en masa activos que puedan afectar la urbanización.</p> <p>La urbanización está conformada por estructuras de tres niveles en mampostería estructural,</p>	<p>En el costado occidental de las viviendas se observaron grietas asociadas a procesos constructivos. Por lo tanto se recomienda a los responsables del proyecto adelantar las reparaciones menores de los daños observados y mantener un monitoreo del comportamiento de las estructuras para identificar un posible progreso en los daños.</p>
Ro- 16564	29 de noviembre de 2005.	Ing. Libardo Tinjaca.	<p>Relaciona los diagnósticos técnicos DI- 1062 y DI- 1566, como antecedentes. personal de la Coordinación Técnica de la DPAE realizó visita el día 15 de noviembre de 2005, mediante la cual pudo constatar lo siguiente:</p> <p>Las viviendas no presentan daños que comprometan su estabilidad ante las cargas habituales de servicio. Adicionalmente no se advirtieron condiciones de inestabilidad en el sector donde se desarrolló la Urbanización.</p> <p>En general las construcciones de la urbanización son predominantemente de dos pisos con sistema estructural en mampostería reforzada y placas de entrepiso en plaquetas prefabricadas de concreto reforzado. Algunas de las viviendas han sido ampliadas a tres y cuatro pisos.</p> <p>Se advirtió externamente que algunos inmuebles presentan humedad en muros de primer piso; condición que no es generalizada y que requiere la implementación de obras de impermeabilización y de manejo de aguas.</p> <p>Adicionalmente se remite copia de la presente comunicación a la Subdirección de Control de Vivienda del DAMA para que de acuerdo con su competencia, adelante las acciones de seguimiento y control tendientes a verificar el cumplimiento en las especificaciones técnicas establecidas para el desarrollo de la urbanización por parte del responsable del proyecto.</p>	

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
Ro- 21328	16 de enero de 2007	Ing. Mauricio García Feria	<p>El día 16 de Enero de 2007 personal de la Coordinación de Asistencia Técnica de la Dirección de Prevención y Atención de Emergencias, DPAE, se desplazó al sector de la referencia encontrando que se presentan desprendimientos de suelo, flujos de tierras, grietas de tracción y deslizamientos trasnacionales superficiales a lo largo de un talud de corte en suelo residual arcillo-arenoso de 15m de altura y 70m de longitud.</p> <p>En la actualidad los procesos de inestabilidad no comprometen la habitabilidad de las viviendas de las Urbanizaciones Buenavista Oriental I y II Etapa, pero por la evidencia de grietas de tracción y por la continua degradación de las condiciones de estabilidad del terreno, puede verse comprometida la habitabilidad de las viviendas adyacentes al talud inestable en el mediano plazo.</p>	<p>Se concluye que los desprendimientos de suelo, los flujos de tierras y los deslizamientos traslacionales que se presentan en el talud ubicado en la Avenida Carrera 12 Este (Carretera Oriente) No. 31-54 Sur no comprometen la habitabilidad de la Urbanización de Buenavista Oriental I y II Etapa en el corto plazo, sin embargo por la evidencia de los procesos de degradación de las condiciones de estabilidad del terreno se recomienda:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– A la Alcaldía Local de San Cristóbal y a la Subdirección de Control de Vivienda, desde su competencia, adelantar las acciones administrativas tendientes a establecer el responsable y/o responsables de reconformar y estabilizar el talud de corte del predio, mediante la implementación de obras de protección geotécnica, las cuales deben contar con un sistema de drenaje para el control y manejo de las aguas de escorrentía superficiales y subsuperficiales.</li> <li>– Al Departamento Técnico Administrativo del Medio Ambiente-DAMA y/o al Jardín Botánico José Celestino Mutis, realizar la tala del árbol localizado en la corona del talud de corte hacia el costado occidental, el cual ha perdido soporte radicular y amenaza con colapsar en el corto plazo.</li> <li>– Al responsable del predio de la Avenida Carrera 12 Este (Carretera Oriente) No. 31-54 Sur y a los habitantes de la Urbanización Buenavista Oriental I y II Etapa, realizar un seguimiento permanente de las condiciones de estabilidad del talud de corte, de las viviendas y del terreno en general e informar a esta entidad si se presentan cambios importantes que alteren o modifiquen las condiciones de estabilidad de las viviendas.</li> </ul>
CT- 4835	23 de febrero de 2007	Ing. Juan Pablo Gaona Gómez.	<p>El objetivo primordial es identificar las condiciones físicas de la zona, para evaluar la susceptibilidad de la misma a presentar procesos de inestabilidad, y definir la necesidad de realizar un estudio detallado de amenaza y riesgo por procesos de remoción en masa.</p> <p>Desde el punto de vista geológico la zona visitada se encuentra en la formación Bogotá, que consiste en una sucesión monótona de lodolitas, limolitas y arcillolitas abigarradas, separadas por bancos de arenisca arcillosa blanda.</p>	<p>Para adelantar la construcción del proyecto localizado en la Av. Calle 31 sur No. 12- 55 Este, de la localidad de San Cristóbal, Requiere adelantar la fase II del estudio detallado de amenaza y riesgo por remoción en masa; esto no exime al constructor responsable del cumplimiento del resto de la normatividad vigente (NSR, Código de Construcción, Resolución de Legalización etc.).</p> <p>Una vez realizado el estudio fase II de acuerdo con los términos de referencia de la resolución No.227 de 2006, se recomienda remitirlo a la entidad encargada del trámite de la licencia, que informara y enviara el estudio a la DPAE dentro de este trámite, para verificar el cumplimiento de los términos de referencia.</p>

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
Ro- 24426	13 de agosto de 2007	Ing. José García L.	<p>La zona en la que se encuentra el predio objeto de la solicitud, presenta amenaza MEDIA por fenómenos de Remoción en Masa.</p> <p>Una vez revisada la base de datos, se encontró los siguientes antecedentes (RO-12087, RO-16546, RO-16831, RO-16963, DI-1062, DI-1566 y DI-2581) relacionados con visitas técnicas realizadas a la Urbanización Buenavista, de los cuales anexamos copia.</p>	<p>le recomendamos dirigirse a la Dirección de Inspección Vigilancia y Control de Vivienda, entidad a la cual se le ha puesto en conocimiento de la situación dicha urbanización y se le enviará copia del presente comunicado para su seguimiento y fines pertinentes</p>
DI-3576	19 de diciembre de 2007	Ing. Mauricio García Feria.	<p>Relaciona como antecedentes el DI- 1062, DI- 1566, RO-21328.</p> <p>Se presentó un flujo de lodos superficial en un talud de corte de 15 m de altura en 70m de longitud compuesto por suelos residuales arcillo- arenosos de la Formación Bogotá. El volumen comprometido en el proceso de inestabilidad es de 5 m<sup>3</sup> a 7 m<sup>3</sup>. El material movilizado se depositó en la parte baja del talud generando colapso parcial de la malla de cerramiento en una longitud no mayor a 10m. Este hecho no comprometió la habitabilidad de las casas.</p> <p>Entre las causas posibles que generaron el proceso de inestabilidad del talud de corte en cuestión se encuentran:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– pérdida de resistencia del suelo que conforma el talud de corte como consecuencia del manejo inadecuado de las aguas de escorrentía superficial y subsuperficial generado por la obstrucción de las cunetas del aparte media y alta, además de las lluvias registradas en el sector.</li> <li>– El deterioro de las medidas de estabilización y protección geotécnica en el talud de corte, consiste en la pérdida de cobertura vegetal del mismo.</li> </ul> <p>Las acciones adelantadas son: Inspección visual y evaluación cualitativa de la amenaza y el riesgo asociado, solicitud de restricción parcial del sector peatonal del costado sur de la urbanización adyacente al talud de corte mediante el acta de restricción de uso No. 003833.</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>– Mantener la restricción parcial del sector peatonal del costado sur de la urbanización.</li> <li>– Al responsable del predio, consultar la reglamentación urbanística definida para el sector por la secretaria distrital de planeación, para establecer aspectos que no son competencia de la DPAAE, relacionados con las restricciones y/o condicionamientos al uso del suelo.</li> <li>– En caso de no existir restricciones y/o condicionamientos al uso del suelo se recomienda al responsable del predio, implementar acciones para realizar el mantenimiento de las obras de protección geotécnica del talud de corte del costado sur de la urbanización.</li> <li>– Realizar un seguimiento permanente de las condiciones de estabilidad de las viviendas y del terreno en general, en informar a esta entidad si se presentan cambios importantes que alteren o modifiquen su estabilidad.</li> </ul>

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- 27849	21 de febrero de 2008	Elaboró: Ing. José García L	Respuesta a la solicitud de información sobre el estado del riesgo en el que se encuentra el predio localizado en la Av. Calle 31 Sur # 12 – 55 Este – Casa 155, urbanización "BUENAVISTA ETAPA II", realizada por Mario Mesa; con el fin de la compra de dicho inmueble.	
Ro- 42267	29 de mayo de 2010	Ing.Marco Antonio Amaya Arciniegas	<p>Se relacionan los diagnósticos y conceptos técnicos mencionados en esta tabla.</p> <p>Durante la visita técnica realizada el día 29 de mayo del año 2010 al predio de la Avenida Calle 31 Sur # 12 – 55 Este donde actualmente se ubica la Urbanización Buenavista Oriental II Etapa, se encontró evidencia de lo que según la inspección visual fue el desprendimiento de aproximadamente tres (3) metros cúbicos de material arcilloso, provenientes de un talud de corte posiblemente realizado para la adecuación del terreno y posterior emplazamiento de la Urbanización Buenavista Oriental II Etapa; talud de corte ubicado hacia el costado Suroccidental de la Urbanización, con altura cercana a los seis (6) metros, pendiente de aproximadamente sesenta (60) grados y longitud cercana a los cuarenta (40) metros, a lo largo de los cuales no se observaron sistemas para el manejo de las aguas de escorrentía superficial ni subsuperficial. Según lo observado se encuentra provisto en su parte baja de un muro en mampostería con altura cercana a un (1) metro y podría NO ser una medida monolítica adecuada para soportar los empujes ejercidos por el terreno. La Urbanización Buenavista Oriental II Etapa, presenta una pendiente local de aproximadamente 20 grados, por lo que un gran porcentaje de las viviendas evaluadas han sido acomodadas al terreno mediante cortes y/o rellenos antrópicos cuyos sistemas de confinamiento pudieren no ser medida monolítica adecuada para soportar los empujes ejercidos del terreno y que adicionalmente en la mayoría de los casos no cuentan con sistemas para el manejo de las aguas de escorrentía subsuperficial.</p>	<p>Con base en la inspección visual realizada y lo anteriormente expuesto, se concluye y recomienda:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– consultar la reglamentación urbanística definida para la zona, por la Secretaría Distrital de Planeación (antiguo Departamento Administrativo de Planeación Distrital - DAPD), con el objeto de establecer aspectos que no son competencia de la DPAAE, relacionados con las restricciones y/o condicionamientos al uso del suelo, definidas para el sector donde se ubica el predio en referencia.</li> <li>– implementar las medidas necesarias que permitan garantizar la estabilidad de los taludes de corte y/o relleno posiblemente realizados para el emplazamiento de sus viviendas; dichas acciones deberán llevarse a cabo con el apoyo de personal idóneo, mediante la conformación de obras de protección geotécnica, las cuales deberán contar con sistemas de drenaje para el manejo de las aguas de escorrentía superficial y subsuperficial.</li> <li>– Mantener vigentes las recomendaciones descritas en la Respuesta Oficial No. RO-34989, (ver Ro-42267, página 8).</li> </ul>

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-5541	Noviembre 19 de 2010	Ing. Nelly Angélica Céspedes Cuevas.	Señala la aparición de un proceso de remoción en masa, detonado por filtración de aguas lluvias en el talud del costado sur de la II Etapa, y en el que el deterioro de las cunetas en la parte alta del talud juega papel importante. Es un avance de las evidencias aparecidas en el mes de mayo de 2010. Se identificó el desprendimiento de, aproximadamente, 50 metros cúbicos de material arcilloso. El talud tiene cerca de seis (6) metros de altura, sesenta (60) grados de inclinación y cuarenta (40) metros de longitud. El fenómeno puede afectar la habitabilidad y la estabilidad de cuatro viviendas: la 144, la 162, la 105 y la 84, razón por la que se solicita su evacuación preventiva y temporal hasta tanto se garanticen las condiciones de estabilidad del talud. Así mismo se informó por parte de algunos de los residentes a cerca de entregas inadecuadas de aguas servidas desde el paradero de busetas del borde sur oriental.	<p>Solicitud de evacuación de las cuatro viviendas adyacentes el proceso de inestabilidad identificado, notificaciones realizadas el día 19 de Noviembre de 2010 y firmada por un representante de la Alcaldía Local de San Cristóbal.</p> <p>- La habitabilidad y estabilidad de las viviendas No. 144-162- 105 y 84 del Conjunto Buenavista Sur Oriental II localizado en la Calle 31 Sur No. 12 – 55 Este del Barrio San Blas de la Localidad de San Cristóbal, se puede llegar ver afectada en el corto plazo por un avance en el proceso de inestabilidad identificado en el talud de corte existente hacia el costado sur del conjunto realizado posiblemente para el emplazamiento del mismo.</p> <p>- La estabilidad del talud de corte localizado hacia el costado sur de la Urbanización Buenavista Oriental II Etapa localizado en la Calle 31 Sur No. 12 – 55 Este del Barrio San Blas de la Localidad de San Cristóbal y el cual posiblemente fue realizado para la adecuación del terreno y posterior emplazamiento de dicho conjunto, se encuentra comprometida en el corto plazo por el proceso de remoción en masa identificado.</p> <p>A los habitantes y/o responsables de las viviendas No. 144- 162- 105 y 84 del Conjunto Buenavista Sur Oriental II localizado en la Calle 31 Sur No. 12 – 55 Este del Barrio San Blas de la Localidad de San Cristóbal, acatar la recomendación de evacuación notificada hasta tanto se implementen por parte de los copropietarios y/o administración del Conjunto Residencial Buenavista Sur Oriental II las obras que permitan garantizar las condiciones de estabilidad del talud de corte existente hacia el costado sur de dicho conjunto.</p> <p>Además se plantean las mismas</p>

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

## 1.7 MÉTODO 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 el Fopae. 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 RECOPIACIÓN 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, el Fopae y el Ingeominas, así como el análisis y la evaluación del estado de las 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

- AMAYA A. MARCO A. (2010) “Respuesta oficial RO-42267, Barrio Buenavista Oriental”. DPAAE, Coordinación de asistencia técnica, Bogotá D.C.
- BRAVO L. ÁLVARO C. (2008). “Diagnóstico técnico DI-3944, Barrio Buenavista Oriental”. DPAAE, Coordinación de asistencia técnica. Evento 95599. Bogotá D.C.
- GARCÍA F. MAURICIO. (2007) “Respuesta oficial RO-21328, Barrio Buenavista Oriental”. DPAAE, Coordinación de asistencia técnica, Bogotá D.C.
- GARCÍA F. MAURICIO. (2007) “Diagnóstico técnico DI-3576, Barrio Buenavista Oriental”. DPAAE, Coordinación de asistencia técnica, Bogotá D.C.
- GARCÍA L. JOSÉ. (2007). “Respuesta Oficial RO- 24426, Barrio Buenavista Oriental”. DPAAE, Coordinación de asistencia técnica. Evento 86303. Bogotá D.C.
- GAONA G. JUAN P. (2007) “concepto técnico CT-4835, Barrio Buenavista Oriental”. DPAAE, Coordinación de asistencia técnica, Bogotá D.C.
- HEWITT V. VICTOR M. (2009) “Diagnóstico técnico DI-4014, Barrio Buenavista Oriental”. DPAAE,

- Coordinación de asistencia técnica, Bogotá D.C.
- HEWITT V. VÍCTOR M. (2009a) “Diagnóstico técnico DI-3996, Barrio Buenavista Oriental”. DPAE, Coordinación de asistencia técnica. Evento 96939 – Emergencia 2610. Bogotá D.C.
  - HEWITT V. VÍCTOR M. (2009b) “Diagnóstico técnico DI-3991, Barrio Buenavista Oriental”. DPAE, Coordinación de asistencia técnica. Eventos 95992, 96633 y 96851. Bogotá D.C.
  - HEWITT V. VÍCTOR M. (2008a) “Diagnóstico técnico DI-3848, Barrio Buenavista Oriental”. DPAE, Coordinación de asistencia técnica. Eventos 91103, 94051 y 94080. Bogotá D.C.
  - HEWITT V. VÍCTOR M. (2008b) “Diagnóstico técnico DI-3882, Barrio Buenavista Oriental”. DPAE, Coordinación de asistencia técnica. Evento 94913. Bogotá D.C.
  - HIDROGEOLOGÍA Y GEOTECNIA LTDA. (2000). “Estudio de Zonificación de Riesgos por Remoción en Masa en los Barrios Triángulo, Triángulo Alto y Corinto de la Localidad de San Cristóbal, Santa Fe de Bogotá D. C”. FOPAE-DPAE. Santa Fe de Bogotá.
  - HOYOS C. EDSON O. (2002) “Diagnóstico técnico DI-1566, Barrio Buenavista Oriental”. DPAE, Coordinación de asistencia técnica, Bogotá D.C
  - IFCAYA (1988). “Estudio Geológico y Geotécnico de Algunos Sitios Críticos en los Barrios Gran Colombia, Triángulo, Corinto y Ramajal”. Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaria de Obras Públicas. División de Estudio. Bogotá D. E.
  - INGEOCIM LTDA.-UPES-FOPAE (1998). “Zonificación por inestabilidad del terreno para diferentes localidades en la Ciudad de Santafé de Bogotá D. C.” Mapa Geológico. Bogotá D.C.
  - ORTIZ A. DULFAY P. (2004) “Respuesta oficial RO-12087, Barrio Buenavista Oriental”. DPAE, Coordinación de asistencia técnica, Bogotá D.C.
  - PÉREZ HERNANDO (2007). “Diagnóstico técnico DI-3460, Barrio Buenavista Oriental”. DPAE, Coordinación de asistencia técnica, Bogotá D.C.
  - REYES G. JOSÉ L. (2005) “Diagnóstico técnico DI-3996, Barrio Buenavista Oriental”. DPAE, Coordinación de asistencia técnica, Bogotá D.C.
  - REYES G. JOSÉ L. (2005) “Diagnóstico técnico DI-2581, Barrio Buenavista Oriental”. DPAE, Coordinación de asistencia técnica, Bogotá D.C
  - SALCEDO M. LUZ M. (2001) “Diagnóstico técnico DI-1062, Barrio Buenavista Oriental”. DPAE, Coordinación de asistencia técnica, Bogotá D.C
  - TONJACÁ LIBARDO. (2005) “Respuesta oficial RO-16564, Barrio Buenavista Oriental”. DPAE, Coordinación de asistencia técnica, Bogotá D.C
  - UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (2006). “Diagnóstico Geotécnico y Estructural de 11 (Once) Proyectos de Vivienda de la Caja de Vivienda Popular”. Informe Final. Tomo 8. Urbanización: Buenavista Oriental III Etapa. Alcaldía Mayor de Bogotá. Caja de Vivienda Popular. Bogotá D. C.
  - VILLAMIL V. TULIO I. (2008). “Diagnóstico técnico DI-3633, Barrio Buenavista Oriental”. DPAE, Coordinación de asistencia técnica. Evento 86303. Bogotá D.C.

Los diagnósticos técnicos, a pesar de las erráticas interpretaciones de los signos encriptados del deslizamiento, expuestos paulatinamente durante los últimos años, signos que adecuadamente descifrados y concatenados hubiesen significado la detección temprana del fenómeno, son baluartes documentales gráficamente enriquecidos, que magnifican su importancia por ser salvaguardas de la vida de los residentes, en otras palabras por ser instrumentos de decisiones oportunas en momentos precisos y en justa medida. Son la muestra patente de las bondades del seguimiento y pilares fundamentales, junto con el conocimiento de los habitantes para la reconstrucción del proceso, y por consiguiente para aproximarse al reconocimiento de sus agentes condicionantes y desencadenantes; los documentos subrayan la participación del agua lluvia y de infiltración, representadas en humedad y filtraciones, como constantes en el tiempo. Constantes

vigentes aun hoy día.

## 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 Stratigraphique 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 Borrada. Nacional Research Council. USA.

## 1.7.3 VISITA DE RECONOCIMIENTO

Una vez examinada la información disponible se efectúa 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 del programa Eagle Point 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 potencialidad de 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 tópico se aborda mediante la ejecución de entre ocho (8) y once (11) perforaciones mecánicas con avance de percusión y lavado y rotación, seis (6) apiques, cinco (5) trincheras, una columna estratigráfica 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 dirige a la estimación de la resistencia al corte de los horizontes comprometidos: los llenos antrópicos y los suelos residuales. Las muestras se someten 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 confinadas.

## **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 fallas probables o presentes en la zona de estudio. 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.

Dicha 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 trabajo 1:500).

### 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 la evaluación patológica estructural y la revisión estructural y geotécnica, y 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.

El análisis patológico emplea técnicas de razonamiento aproximado (opinión de expertos). La contrastación estructural se desarrolla a la luz de los parámetros obtenidos en la auscultación gracias a la modelación con programas de elementos finitos: ETAPS. Estas dos labores permiten concluir acerca de la capacidad de respuesta ante eventos: vulnerabilidad por  $FRM$ , y de su posibilidad de habitabilidad hacia el futuro. Condición última determinada con base en el cumplimiento de los requerimientos postulados por la NSR/10 por el diseño y por la construcción.

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 ( $\infty$ ). Estos elementos serán el soporte para la determinación del índice de vulnerabilidad física.

Finalmente, analizada tanto la amenaza como la vulnerabilidad, se lleva 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 cual 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 tercer informe técnico contiene diez (10) capítulos, nueve (9) anexos y catorce (14) planos, discriminados como se detalla en la [Tabla 1.8](#), en la [Tabla 1.9](#), en la [Tabla 1.10](#), en la [Tabla 1.11](#), en la [Tabla 1.11](#) y en la [Tabla 1.12](#)

**TABLA 1.8 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

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

**TABLA 1.9 CONTENIDO (CONTINUACIÓN)**

CAPÍTULO	CONTENIDO
CAPÍTULO 7	VULNERABILIDAD Y RIESGO FÍSICOS
CAPÍTULO 8	VULNERABILIDAD SOCIAL
CAPÍTULO 9	PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS
CAPÍTULO 10	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

**TABLA 1.10 ANEXOS**

ANEXO	CONTENIDO
ANEXO A	CORRESPONDENCIA E INFORMACIÓN SECUNDARIA
ANEXO B	TOPOGRAFÍA
ANEXO C	GEOLOGÍA
ANEXO D	GEOTECNIA
ANEXO E	HIDROLOGÍA
ANEXO F	AMENAZA
ANEXO G	VULNERABILIDAD
ANEXO H	PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS
ANEXO I	DIAGNÓSTICO URBANÍSTICO

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

**TABLA 1.11 PLANOS**

PLANO	CONTENIDO
PLANO 1	LOCALIZACIÓN
PLANO 2	MAPA BASE
PLANO 3	GEOLOGÍA GENERAL
PLANO 4A	GEOLOGÍA LOCAL
PLANO 4B	MODELOS GEOLÓGICOS GEOTÉCNICOS
PLANO 4C	MODELOS GEOLÓGICOS GEOTÉCNICOS
PLANO 4D	MODELOS GEOLÓGICOS GEOTÉCNICOS

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

**TABLA 1.12 PLANOS**

<b>PLANO</b>	<b>CONTENIDO</b>
PLANO 5	GEOMORFOLOGÍA
PLANO 6	COBERTURA Y USOS DEL SUELO, Y DRENAJE NATURAL Y ARTIFICIAL
PLANO 7	ZONAS HOMOGÉNEAS
PLANO 8	ZONIFICACIÓN DE AMENAZA ACTUAL Y A 50 AÑOS
PLANO 9	VULNERABILIDAD FÍSICA ACTUAL Y A 50 AÑOS
PLANO 10	VULNERABILIDAD SOCIAL
PLANO 11	ZONIFICACIÓN DE RIESGO PARA AMENAZA ACTUAL Y A 50 AÑOS

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

## **CAPÍTULO 2**

### **TOPOGRAFÍA**

# 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 y los taludes, los rastros de inestabilidad, las viviendas, las vías, y todo tipo de estructura física, como postes, pasos peatonales, pozos, hidrantes, válvulas, cajas, paramentos, cercas y escaleras, entre otras. En las siguientes páginas 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 cartesianas y el amojonamiento de tres (3) vértices, acorde con los siguientes parámetros básicos:

- Amarre de coordenadas al sistema de referenciación Magna-Sirgas.
- Captura de información topográfica en las tres dimensiones: X (Este), Y (Norte), Z (Cota).
- Registro detallado del sitio, en particular del mobiliario: postes, hidrantes, válvulas, cajas, pozos, vías, paramentos, edificaciones, cerramientos, cercas, y de las 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 la ladera de Buena Vista Suroriental, 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 (lo que define la escala de trabajo en 1:500), 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 involucra la captura de 5649 puntos, y tiene una duración de veintiún (21) días, marcados entre el 06 de noviembre y el 26 de noviembre de 2012. Se lleva a cabo en tres etapas. La primera encierra el geoposicionamiento, y el diseño y tendido de las poligonales de amarre y cierre. La

FOPAE	GIA LTDA	<b>GIA-068-12</b>		CAP. 2 PÁG. 54	
VERSIÓN:	1			FECHA	29/11/12
ELABORÓ:	CC	REVISÓ:	JALG	APROBÓ:	Gc

segunda comprende el espacio abierto; allí se toma la información necesaria para la obtención de curvas de nivel cada 0.5m y para la diagramación de los cuerpos y escarpes de inestabilidad, los prismas se disponen en los cambios de pendiente hasta obtener un cubrimiento total del área. Y la tercera fase abarca el registro de la infraestructura como lo es: los paramentos, los andenes, las construcciones, los postes, los pozos, las estructuras de contención (específicamente los muros que recorren la base de los cortes al oriente y al sur) y los árboles; el barrido se lleva a cabo con una nube de puntos, como se ilustra en la [Foto 2.1](#) y en la [Foto 2.1](#)



FOTO 2.1 Y FOTO 2.2 TRABAJO DE CAMPO

## 2.2.2 LOCALIZACIÓN CARTOGRÁFICA

La Urbanización Buena Vista Oriental, jurisdicción político-administrativa de la localidad de San Cristóbal, yace en el flanco suroeste de los cerros orientales, ocupa parte de la cabecera de la microcuenca de la Quebrada Ramajal (véase el [Plano 1](#)), y tiene asiento entre la Carretera a Oriente y la carrera 12B Bis Este, y desde la calle 31 sur hasta la calle 32 sur, al sur de la fábrica El Tabor; limita al occidente con el barrio Ramajal, al norte con la extinta Buenavista III Etapa, al sur con el barrio Los Alpes y al oriente con espacio abierto. Se enmarca en el polígono definido por las coordenadas planas contenidas en la [Tabla 2.1](#), con elevaciones que varían desde los 2805 m.s.n.m hasta los 2848 m.s.n.m, y su extensión aproximada es de 2.9 Ha.

## 2.2.3 DESCRIPCIÓN DE LA POLIGONAL DE AMARRE

El levantamiento está amarrado al sistema de posicionamiento global del IGAC; los datos se referencian a las coordenadas geográficas 04°38'19.24" de latitud Norte y 74°04'47.81" de longitud Oeste. El punto de partida es la placa BOGA, localizada al interior de las instalaciones del IGAC, a la que se le atribuye como proyección plana: 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 el perímetro de la urbanización.

El amarre se adelanta con GPS de precisión, dotado con antena de doble frecuencia (y de referencia GPS Trimble), gracias a la constelación de satélites NAVSTAR de los Estados Unidos; tomando como base el GPS-02, dispuesto en la esquina noroccidental del polígono de estudio, en el que se hace el rastreo de 14 satélites durante 2 horas y 17 minutos; proceso que arroja precisión horizontal de 0,02 m y vertical de 0,02 m.

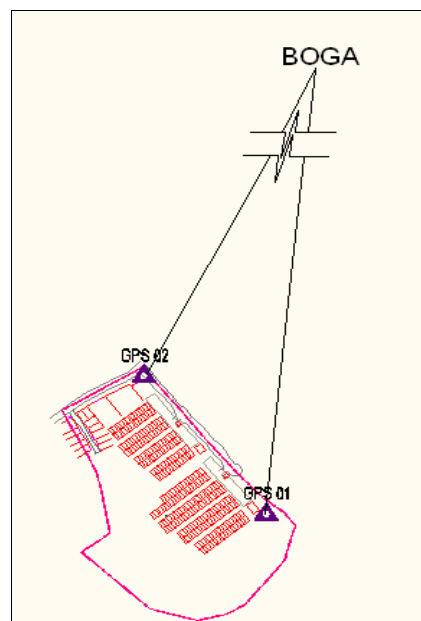
Acto seguido se posicionan las referencias GPS-02 y GPS-01. La *Figura 2.1* ilustra la poligonal, y el *Anexo B.1* contiene la certificación del punto de amarre, expedida por el IGAC, y el resumen de ajuste del amarre.

**TABLA 2.1 POLÍGONO DEL ÁREA DE ESTUDIO**

NORTE (M)	ESTE (M)
95593.8	99528.6
95575.0	99540.6
95564.0	99543.7
95535.0	99531.0
95514.2	99514.3
95491.1	99495.1
95487.4	99486.3
95485.5	99470.4
95495.1	99441.6
95529.1	99382.6
95543.0	99388.4
95595.7	99373.1

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

**FIGURA 2.1 POLIGONAL DE AMARRE**



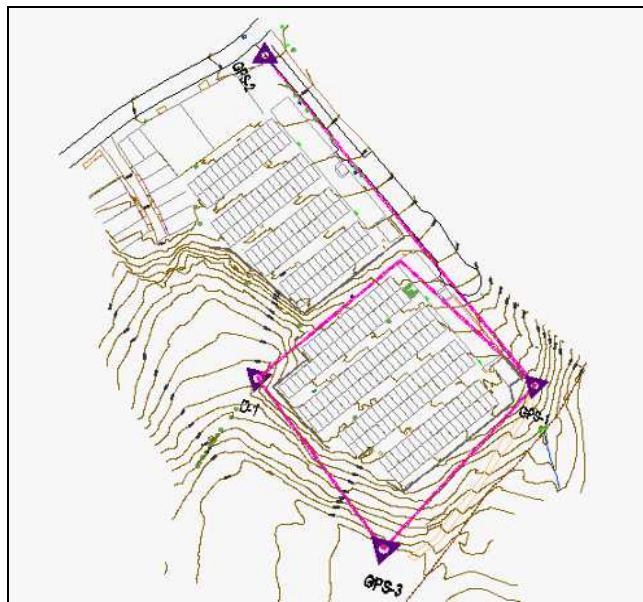
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA



## 2.2.4 DESCRIPCIÓN DE LA POLIGONAL DE CIERRE

Una vez georeferenciada el área a través de la poligonal de amarre, se procede al cierre y ajuste de la poligonal interna, constituida por 520 metros de longitud (en proyección horizontal) y cinco (5) estaciones de referencia o deltas: el GPS1, el GPS2, el GPS3, el GPS4, y el D1 desde las que se establecen visuales a los sitios radiados para la obtención de la nube de puntos y las secciones. La *Figura 2.2* reseña un esquema de la poligonal levantada.

FIGURA 2.2 POLIGONAL DE CIERRE



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

## 2.2.5 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 (tal y como se corrobora en el *Anexo B.3*):

- Error de cierre en coordenadas Norte = -0.000 m.
- Error de cierre en coordenadas E = 0.000 m.
- Error de cierre en ángulo = 9"
- Precisión = 1:36381 (superior a la 1:35.000 fijada por el Fopae y 1:20.000 exigida por el IDU)

## 2.2.6 AMOJONAMIENTO DE REFERENCIA

Se materializa con tres (3) placas en concreto, enriquecidas con incrustación de placa de bronce, fijadas y grabadas con el nombre de la referencia (o mojón), v.g GPS1, GPS2 y GPS3, y con el año, i.e. 2012

(particularidades consignadas en el [Anexo B.2](#)), y cimentadas de manera tal que haya vista entre ellas. El primero está cimentado en extremo nororiental del área de trabajo, en el sendero peatonal, a 6.5 metros al sur de un pozo de alcantarillado; el segundo reposa en la esquina noroccidental de la Urbanización Buenavista Suroriental I Etapa, en el sardinel sur de la calle 31 sur, a 6,1 metros de su encuentro con la Carretera a Oriente (en específico con la cuerda oriental), y el tercero yace en la cima del talud que bordea la parte trasera de la segunda etapa de la urbanización, aproximadamente 28 metros al suroeste del vértice sur de bloque oriental. El [Anexo B.2](#) contiene los detalles de los mojones de referencia, y sus coordenadas y elevación se relaciona en la [Tabla 2.2](#) y su posición cartográfica se expone en el [Plano 2](#).

**TABLA 2.2 MOJONES MATERIALIZADOS EN CAMPO**

MOJÓN	NORTE (M)	ESTE (M)	COTA (MSNM)
GPS1	95576.208	99527.2	2835.81
GPS2	95717.718	99414.888	2805.804
GPS3	95506.245	99464.214	2855.62

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

## 2.2.7 CONDENSACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE CAMPO

La información tomada en la estación total se consigna, a través de un colector de datos interno y el programa de computadora CRC (Communication Reduction and Conversion Program), permite procesarla. Procedimiento que da vida a los archivos rinex (que no son otra cosa que los datos nativos), compilados en el [Anexo B.3](#).

## 2.2.8 TRABAJO DE OFICINA

Reside en georeferenciar 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 conlleva a definir y respetar las barreras físicas actuales, en especial los frentes rocosos, los taludes, los escarpes (de roca y deslizamiento), los cuerpos de deslizamiento, los muros de confinamiento, y a condicionar la interpretación a éstas, sin permitir el desempeño del programa a su libre esquema de triangulación; en este sentido juegan papel importante las secciones transversales (seis en total: dos al oriente, dos al sur y dos al sur occidente).

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 seleccionaron los postes de alumbrado, los pozos de inspección y demás elementos del amoblamiento urbano, se delinearon las vías y se delimitaron los taludes. Para una mejor aplicación del programa se procesaron parcialmente en tres dimensiones los diferentes elementos topográficos levantados, lo que dio 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 de todo el conjunto. Como resultado de la actividad anterior, se define la salida gráfica del plano topográfico, el [Plano 2](#), escala 1:500 con curvas de nivel cada 0.5 metro (en consonancia con la escala de trabajo), y la

cartera electrónica ([Anexo B.3](#)).

## 2.3 EQUIPO

El equipo utilizado involucra dos estaciones totales TOPCON GTS-236W, una de ellas robada durante el curso de los trabajos de campo, a escasos días de su culminación, 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; dos (2) prismas; y dos (2) GPS SOKKIA STRATUS 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 las estaciones se exponen en el [Anexo B.4](#).

**TABLA 2.3 RELACIÓN DE EQUIPO Y ELEMENTOS POR COMISIÓN**

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (UN)
ESTACIÓN TOPCON GTS-235W	2
GPS TRIMBLE	2
PRISMAS	2
RADIOS DE ONDA CORTA	4
VEHÍCULO	1

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

## **CAPÍTULO 3**

# **GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA**

---

# GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

La evaluación geológica está orientada principalmente hacia la obtención de un modelo geológico y estratigráfico que permita por una parte optimizar la exploración geotécnica e interpretar las condiciones de estabilidad, y por otra facilitar las recomendaciones de mitigación de los escenarios de riesgo. Tiene como insumos la exploración geológica y la investigación del subsuelo. Los modelos geológicos son estratigráficos y estructurales, con el fin de diferenciar el comportamiento de y entre unidades sometidas a esfuerzos tectónicos, que definen materiales intensamente fracturados o triturados con comportamientos geotécnicos diferentes al de la roca poco fracturada.

### 3.1 MÉTODO DE TRABAJO

El levantamiento y cartografía geológica abarca en primera instancia la recopilación, procesamiento y evaluación de la información secundaria disponible tal como: informes técnicos, bases cartográficas del IGAC y fotografías aéreas, entre otras. Y en segunda medida, recae en el trabajo de campo a nivel regional y local, que involucra actividades de exploración superficial mediante estaciones de control, levantamiento de datos estructurales y columnas litológicas, y la comprobación de la fotointerpretación. Por último, se complementa con la exploración del subsuelo programada para fines geológicos, hidrogeológicos y geotécnicos (sondeos, apiques, y sondeos eléctricos verticales), la que provee información útil para la evaluación de amenaza.

A continuación se relacionan paso a paso las actividades ejecutadas para el desarrollo del componente geosférico:

#### Fase Preliminar

- Recopilación y análisis bibliográfico de información geotécnica, geológica, climatológica, hidrológica, hidrogeológica, etc. del área de estudio, en poder de las diferentes instituciones públicas y de algunas privadas.
- Interpretación multitemporal de fotografías aéreas. En esta labor se hace hincapié en los rasgos geológicos y geomorfológicos, en la delimitación de los procesos morfodinámicos y en la intervención antrópica (entre ellos los frentes de explotación).
- Adquisición de planos topográficos a escala 1:10000 y 1:2000, disponibles en el IGAC y en otras entidades.

FOPAE	GIA LTDA	<b>GIA-068-12</b>		CAP 3 - PÁG. 61	
VERSIÓN:	1			FECHA	06/12/12
ELABORÓ:	EOVR, NA	REVISÓ:	JALG	APROBÓ:	GIC

- Reconocimiento general del terreno e identificación de las unidades de roca, así como la existencia de potenciales procesos de inestabilidad y de sus mecanismos de falla.

### **Fase de campo y oficina**

- Levantamiento de datos estructurales y de columnas estratigráficas detalladas de las litologías aflorantes, a nivel local.
- Toma de fotografías convencionales que ilustran las características de relevancia.
- Elaboración de los planos geológico regional y detallado. Su cartografía se concentra en la delimitación de los depósitos recientes –de ladera – así como de las unidades líticas aflorantes; para tal fin, se aprovechan los escarpes y los cortes dejados por la explotación de los Chircales, por la construcción de reservorios y vías y por los proyectos urbanísticos.
- Realización del mapa geomorfológico detallado, en el que se destaca la morfometría, los modelados (morfogénesis), las geoformas (morfología) y los procesos tanto erosivos como morfodinámicos en los predios.

## **3.2 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE**

Del extenso catálogo de documentos técnicos en manos de las entidades públicas (El Acueducto, la DPAE, la Caja de Vivienda Popular, Planeación Distrital, la UAERMV, etc), tal vez los de mayor trascendencia para entender la incubación y el resultado en Buenavista Oriental III Etapa son:

- Bravo L. Álvaro C. (2008). “Diagnóstico técnico DI-3944, Barrio Buenavista Oriental”. DPAE, Coordinación de asistencia técnica. Evento 95599. 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.”. Dpae, Fopae. Bogotá D.C.
- Hewitt V. Víctor M. (2009a) “Diagnóstico técnico DI-3996, Barrio Buenavista Oriental”. DPAE, Coordinación de asistencia técnica. Evento 96939 – Emergencia 2610. Bogotá D.C.
- Hewitt V. Víctor M. (2009b) “Diagnóstico técnico DI-3991, Barrio Buenavista Oriental”. DPAE, Coordinación de asistencia técnica. Eventos 95992, 96633 y 96851. Bogotá D.C.
- Hewitt V. Víctor M. (2008a) “Diagnóstico técnico DI-3848, Barrio Buenavista Oriental”. DPAE, Coordinación de asistencia técnica. Eventos 91103,94051 y 94080. Bogotá D.C.
- Hewitt V. Víctor M. (2008b) “Diagnóstico técnico DI-3882, Barrio Buenavista Oriental”. DPAE, Coordinación de asistencia técnica. Evento 94913. Bogotá D.C.
- Hidrogeología y Geotecnia Ltda. (2000). “Estudio de Zonificación de Riesgos por Remoción en Masa en los Barrios Triángulo, Triángulo Alto y Corinto de la Localidad de San Cristóbal, Santa Fe de Bogotá D. C”. FOPAE-DPAE. Santa Fe de Bogotá.
- Ifcaya (1988). “Estudio Geológico y Geotécnico de Algunos Sitios Críticos en los Barrios Gran Colombia, Triángulo, Corinto y Ramajal”. Alcaldía Mayor de Bogotá, Secretaria de Obras Públicas. División de Estudio. Bogotá D. E.
- Ingeocim Ltda.-Upes–Fopae. (1998a). “Zonificación por Inestabilidad del Terreno para Diferentes Localidades en la Ciudad de Santafé de Bogotá D. C.”. Mapa Geológico. Bogotá D.C.
- Ingeocim Ltda.-Upes–Fopae. (1998b). “Zonificación por Inestabilidad del Terreno para Diferentes Localidades en la Ciudad de Santafé de Bogotá D. C.”. Inventario de Procesos. Bogotá D.C.

- Pérez Hernando (2007). “Diagnóstico técnico DI-3460, Barrio Buenavista Oriental”. DPAE, Coordinación de asistencia técnica, Bogotá D.C.
- Reyes G. José L. (2005) “Diagnóstico técnico DI-3996, Barrio Buenavista Oriental”. DPAE, Coordinación de asistencia técnica, Bogotá D.C.
- Soitech S.A.S (2012). “Análisis de Remoción en Masa, Proyecto Amapolas: Carrera 13E, Calle 23 sur y Calle 28B sur hasta la Transversal 12A Este, Localidad de San Cristóbal”. Universidad Distrital. Unidad de Mantenimiento Vial. Bogotá D.C.
- Universidad Nacional de Colombia (2006). “Diagnóstico Geotécnico y Estructural de 11 (Once) Proyectos de Vivienda de la Caja de Vivienda Popular”. Informe Final. Tomo 8. Urbanización: Buenavista Oriental III Etapa. Alcaldía Mayor de Bogotá. Caja de Vivienda Popular. Bogotá D. C.
- Villamil V. Tulio I. (2008). “Diagnóstico técnico DI-3633, Barrio Buenavista Oriental”. DPAE, Coordinación de asistencia técnica. Evento 86303. Bogotá D.C.

Los estudios consultados, que incluyen zonas muy próximas a la de interés, permiten reseñar, entre otras particularidades, las siguientes:

a) El plano geológico de Ifcaya (1988), escala 1: 10.000, destaca que el barrio se asienta sobre el extenso dominio de la Formación Bogotá, constituida por alternancias de arcillolitas y areniscas, pero con predominio de las primeras. La secuencia estratigráfica, ausente de la intervención de sistema de falla alguno, delinea, para Buenavista Oriental, una ladera estructural con rumbo NE-SW y buzamiento hacia el W, con gradientes entre 30 y 45 grados.

b) Ingeocim (1998), en la geología escala 1: 10.000, emplaza al Barrio sobre depósitos de flujos de tierra, que cubren la extensa exposición de la Formación Bogotá. El contacto con la Formación Cacho y el de ésta con Guaduas, son normales. El conjunto delinea laderas estructurales con rumbo NE-SW y buzamientos hacia el NW, con gradientes de hasta 45°. El papel estructural, salvo por la Falla de Bogotá, dista de tener relevancia: las fracturas de rumbo y los pliegues, y ni que decir de los micropliegues, brillan por su ausencia.

c) La cartografía levantada e ilustrada por Hidrogeología y Geotecnia Ambiental Ltda (2000) y Soitech (2012) son baluartes importantes para conocer la continuidad lateral de las unidades estratigráficas y el comportamiento estructural de la franja oriental de la ciudad. Estos trabajos al igual que los anteriores enmarcan la porción de la vertiente como una ladera estructural, pero a diferencia de ellos fija la polaridad de los planos de estratificación más al suroeste, con buzamientos entre 25° y 35° (i.e. con rumbo NW-SE, e inclinación hacia el SW), si se trata de HGA (2000) o desde 30° hasta 55° (y rumbo al NE), en lo que atañe a Soitech (2012) , y abren la posibilidad de diagramar sistemáticas de falla. El modelo estructural es discontinuo, y devela la importancia de la tectónica en la respuesta de las laderas, no obstante, no permite deducir si las trazas y las fallas responden a una o más sistemáticas de influencia regional.

d) Gia C. L. (2009), aunque parte de la cartografía de Ingeocim (1998), replantea el origen y la forma de los cuaternarios, al punto de suprimir los flujos de tierra, redefinir los depósitos coluviales e incorporan amplias manchas de flujos torrenciales, y enriquece el contexto estructural con registros de estratificación y de diaclasas, y con lineamientos de falla fotogeológicos.

De lo anterior es claro que las cartografías de Ifcaya (1988), HGA (2000), Soitech (2012) e Ingeocim (1998) son consistentes entre sí, al punto de coincidir en la limpieza estructural de la porción de la vertiente, derrotero del que se distancia GIA. Difieren en la prevalencia y extensión del cuaternario, tema en el que Ingeocim (1998) y Soitech (2012) hacen especial énfasis y dan su mayor contribución, al punto de diagramar

o un flujo de tierras o un depósito fluvio-torrencial, respectivamente, en el espacio ocupado por la urbanización. Gia (2009), si bien redirecciona la cartografía geológica, valida y ratifica la extensión y el dominio de las formaciones Bogotá (Tpb), Cacho (Tpc) y Guaduas (KTg) diagramadas por Ingeocim (1998). En gracia de estas consideraciones, y acorde con los mayores aportes otorgados por Gia (2009), se adopta ésta como la fuente básica para la cartografía en el orbe general.

En lo que respecta a temas como: exploración del subsuelo, ensayos de laboratorio y caracterización geomecánica, el conjunto de documentos técnicos integran propiedades de resistencia de los paquetes de arenisca, de las limolitas y de los rellenos antrópicos, en dos particulares escenarios (pues sólo puede acopiarse la información de HGA, 2000 y de GIA, 2009) levantamientos estructurales v.g. en el Triángulo, Triángulo Alto y Corinto y en Buena Vista III Sector. Los ensayos disponibles son: cortes directos, cargas puntuales, pesos unitarios, límites, humedades naturales y compresiones inconfiadas.

El diagnóstico geotécnico y estructural acometido por la Universidad Nacional, enfocado únicamente a la III Etapa de Buenavista, aunque bien intencionado, trata muy tangencialmente el marco geotécnico; los apiques, cuatro en total, arrojan sus mayores réditos en la descripción estratigráfica, pero carecen de trascendencia en la valoración de la respuesta geomecánica del sistema de cimentación, en parte por la ausencia de ensayos de laboratorio y en parte porque sólo se destinaron para recabar información sobre el modelo de fundación empleado (en la urbanización).

La investigación estructural entrelaza líneas gruesas de auscultación patológica; es sin lugar a dudas el eslabón fuerte del estudio, fruto insuficiente para evitar un errático cierre. Los ensayos en muretes y placas en ningún caso cubren un módulo de construcción específico y sus resultados reposan como letra muerta: los análisis estructurales los dejan de lado y emplean en su lugar, valores de resistencia teóricos esperados.

Los diagnósticos técnicos, casi en su totalidad relacionados con los signos, con las evidencias y con la evolución y el seguimiento de la (prolongada) emergencia en la III Etapa, al margen de los escasos reportes de deslizamientos (tan sólo dos de menos de 50 m<sup>3</sup> de volumen) en los últimos 10 años de vida de las etapas I y II y de sus limitadas repercusiones, ponen de relieve la posibilidad de que los procesos de inestabilidad y de que los estados de emergencia y de riesgo antes vigentes en el III sector, tengan reflejo en las Etapas I y II, más aún cuando comparten los factores condiciones y, en medida alguna, los factores detonantes. Son instrumentos, junto con el conocimiento de los habitantes y de las fuentes secundarias, para para aproximarse a la comprensión de la respuesta mecánica de las laderas antes y ahora; los documentos subrayan la participación del agua lluvia y de infiltración, representadas en humedad y filtraciones, como constantes en el tiempo. Constantes vigentes aun hoy día.

### 3.3 GEOLOGÍA GENERAL

Buenavista Suroriental se emplaza en una antigua zona de explotación de arcilla, en la que los niveles productivos se correlacionan con los estratos de la Formación Bogotá. Las laderas calcan los rasgos de disección de una extinta red de drenaje subparalela, matizada por depósitos coluviales y fluvio-torrenciales, que enmascaran la pendiente estructural, forjada en la base por las Formaciones Cacho y Guaduas. Este conjunto hace parte del flanco occidental del anticlinal de Bogotá, universo matizado por una fuerte tectónica, inicialmente de compresión, seguidamente regida por un fallamiento complejo y posteriormente marcada por el colapso gravitacional de grandes bloques, tal vez determinados por la fracturación ocurrida.



### 3.3.1 ESTRATIGRAFÍA

El espacio de la subcuenca de la Quebrada Ramajal, definido por el cuadrángulo remarcado en la Tabla 3.1, y que cobija a la urbanización (Buenavista) es un ejemplo a escala de la compleja evolución de la Sabana. La Falla de Bogotá, la concurrencia de las Formaciones Labor-Tierna, Cacho, Guaduas y Bogotá, la amplia cobertura de los Cuaternarios, en especial de los depósitos fluviotorrenciales, así lo revalida.

La cartográfica expuesta aquí toma como referencia (y punto de partida) documentos y estudios promovidos, con anterioridad, por entidades distritales (pero llevados a cabo por empresas privadas), en especial los planos geológicos de Ingeocim (1998) y de Gia C. L. (2009), y se complementa con la fotointerpretación de pares estereoscópicos de los vuelos relacionados en la Tabla 3.2 y con controles de campo que permiten el ajuste de los contactos litológicos y de las condiciones estructurales reinantes. En las páginas siguientes se describen las diferentes unidades en orden cronológico de la más antigua a la más reciente, y en el Plano 3 se plasma su forma, su cobertura y su extensión.

**TABLA 3.1 POLÍGONO DEL ÁREA DE ESTUDIO**

NORTE	ESTE
96672	98840
94822	98840
94822	100940
96672	100940

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

**TABLA 3.2 VUELOS FOTOINTERPRETADOS**

VUELO	FOTOGRAFÍAS	AÑO	ESCALA
C-743	7, 8, 9, 10	1955	1:9000
C-1774 / S-28946	67, 68, 69, 70	1977	1:8000
C-2128 / S-32138	149, 150, 151	1984	1:18300
R-1131	2306, 2307	1990-1991	1:7500
C-2717 / S-39295	47, 48, 49	2004	1:20460

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

#### 3.3.1.1 CRETÁCICO

##### **Grupo Guadalupe (Ksg)**

Está compuesto por las formaciones Arenisca Dura, Plaeners y Arenisca de Labor y Tierna, cuyas características son:

### **Formación Arenisca Dura (Ksgd)**

Diagrama los cerros más prominentes del corredor oriental de Bogotá (v.g. Monserrate, Guadalupe y El Cable) pero sin representación cartográfica aquí (i.e. en el Plano 3). Está armada por una gruesa sucesión de areniscas cuarzosa, duras, de grano fino y color gris claro, bien cementadas dispuestas en bancos muy gruesos (entre 2 y 15 metros), con intercalaciones esporádicas de limolitas, de lodolitas y de arcillolitas, de colores claros, ordenadas en capas finas. Su espesor varía entre los 308m y los 406m. Constituye uno de los principales acuíferos y zonas de recarga para la Sabana de Bogotá.

### **Formación Plaeners (Ksgp)**

Consta de tres conjuntos litológicos: el inferior conformado predominantemente por arcillolitas silíceas; el intermedio en el que alternan arcillolitas silíceas y areniscas de grano fino, y el superior configurado por arcillolitas silíceas, alcanza los 50 metros de columna. El espesor medio de la sección es de 75 metros (Ingeocim, 1998), y el predominio de la fase arcillosa hace que el contacto inferior con la Formación Arenisca Dura y el Superior con la Formación Arenisca Labor sea abrupto. Su edad es del Maestrichtiano Inferior. Al igual que la Formación Arenisca Dura carece de representación en el recuadro de estudio.

### **Formación Labor-Tierna (Ksglt)**

Está configurada por tres conjuntos; uno inferior formado por areniscas cuarzosas de grano fino a medio, de color gris claro, ligeramente friable y de 135m a 165m de espesor. Uno intermedio con predominio de arcillolitas silíceas, y espesor de 10 a 15m; y uno superior integrado por areniscas cuarzosas y feldespáticas, de color gris claro, de grano medio a grueso, con estratificación cruzada en estratos de 0.2m a 3.0m y espesor variable entre 90m y 110m. El contacto de esta unidad con la Formación Guaduas es fallado. Ocupa el ápice nororiental del marco cartografiado, contiguo a la Falla inversa de Bogotá (véase el Plano 3).

## **3.3.1.2 CRETÁCICO-TERCIARIO**

### **Formación Guaduas (Ktg)**

Para Hubach (1931, citado por Da Porta, 1977) está comprendida entre el Guadalupe y un horizonte de areniscas denominado “Horizonte Cacho”. La amplia extensión geográfica que tiene algunos niveles de arenisca permitió a Hubach establecer límites concretos entre los conjuntos en que se dividió a la Formación Guaduas:

El conjunto Inferior encierra arcillas gris oscuras con algunos fósiles en la base y areniscas de grano fino. El conjunto Medio está determinado por dos niveles de areniscas, en la base la Arenisca Guía y en la parte superior la Arenisca Lajosa; entre ambas reposa una masa de arcillas gris-oscuras, compactadas, a veces carbonáceas que contienen mantos de carbón explotables. Y el conjunto superior está moldeado por arcillolitas rojizas, azulosas, verdosas y grisáceas, con intercalaciones de bancos de areniscas cuarzosas de grano medio a grueso y con mantos inexplotables de carbón. Las arcillas, producto de la meteorización de los paquetes de roca, se emplean para la fabricación de ladrillo, bloque, teja y tubería.

Aflora en el piedemonte de los cerros orientales, en buena parte de las cuencas de los ríos San Cristóbal y Palo Blanco, es promotora de buena parte del alto relieve y es la receptora de los barrios La Peña, Los Laches, El Rocio y El Dorado. Su contacto con la secuencia de Guadalupe está controlado por la falla de Bogotá, y con la Formación Bogotá es normal.

### 3.3.1.3 TERCIARIO

#### Formación Cacho (Tpc)

Se expone a lo largo del piedemonte oriental, hace parte del anticlinal de Bogotá y en ella se talla el alto del Zipa y la divisoria de aguas de un afluente menor del Río San Cristóbal (véase el *Plano 3*). Está forjada por areniscas de color amarillo rojizo, de grano grueso, con estratificación cruzada, dispuestas en estratos de 0.1m a 2.0m, que alcanzan un espesor aproximado de 50m (Ingeominas – Universidad de los Andes, 1997).

#### Formación Bogotá (Tpb)

Se encuentra por debajo de la Formación Cacho y se destaca topográficamente por sus pendientes suaves; su principal expresión aflora en los flancos del sinclinal de Usme-Tunjuelito. Recibe la infraestructura física y urbanística de las tres etapas de Buenavista (y por consiguiente del área de estudio), y de los barrios Ramajal, Triángulo, Triángulo Alto, Corinto, Los Alpes y San Pedro. Es la formación de mayor extensión y cobertura en el cuadrángulo de trabajo general, tal como lo refrenda el *Plano 3*. Está constituida por dos conjuntos; el inferior diagramado por una alternancia de arcillolitas y areniscas cuarzosas, feldespáticas, gris verdosas, de grano fino hacia la base y grueso hacia el tope, con un espesor de 620m; y el superior armado por arcillolitas de color gris oscuro, gris verdoso y marrón, su espesor sobrepasa los 100m (Ingeominas – Universidad de los Andes, 1997).

### 3.3.1.4 CUATERNARIO

#### Depósitos Fluvio Torrenciales (Qft)

Responde a las alongadas y heterogéneas acumulaciones de bloques de gran tamaño, de formas angulares a subangulares, embebidos en suelos granulares finos o arcillas. Su origen obedece a la acción combinada de la gravedad y del agua sobre pendientes fuertes, que forman torrentes y dan pie al arrastre de materiales desde las partes más altas de la montaña. Reposan a lo largo de la quebrada Ramajal y de algunos de los drenajes menores, entre ellos el de la quebrada Buenavista (nombre dado aquí al curso de agua que surcaba las Etapas I y II de Buenavista, véase el *Plano 3*).

#### Coluviones (Qcl)

Son los depósitos producto de la fracturación, meteorización y erosión de las rocas preexistentes, que han tenido transporte por acción del agua y de la gravedad, y se han depositado en las partes media e inferior de las laderas. Enmascaran parcialmente la secuencia estratigráfica, aunque algunos fueron retirados en las décadas pasadas por las industrias de ladrillos; son matriz soportados, y su composición recae en gravas, bloques y cantos subangulares a subredondeados de areniscas, embebidos en suelos arcillosos de consistencia media a blanda. En ellos tiene asiento parte de los barrios San Vicente, los Alpes y Montebello, particularidad revelada por el *Plano 3*.

#### Rellenos Antrópicos (Qra)

Son masas mal seleccionadas, arcillosas, empleados para la reconfiguración morfológica de los patios y de los frentes de explotación y retrabajados por los agentes hidrogravitacionales; lo que los convierte en masas trasladadas, carácter genético último que puede ligarlos a los coluviones, pero que por su génesis son

diferenciables. Alberga bloques, cantos, guijos y gravas de arenisca cuarzosas de grano fino, arcillolitas, residuos cerámicos (v.g. ladrillos), así como basuras, madera y raíces envueltos en suelos arcillosos; la fracción gruesa oscila entre el 10% y el 20% en volumen de la masa de suelo. Su espesor oscila entre los 6 m y los 10 m. Yacen exclusivamente en los predios de la III Etapa de Buenavista (por menor diagramado en el Plano 3), y son los causantes de la destrucción de más de una veintena de viviendas y del reasentamiento de todo el conjunto.

### 3.3.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Buenavista, está inmerso en el bloque tectónico central, uno de los tres en los que está dividida la Sabana de Bogotá<sup>1</sup>. Este complejo estructural limita con los bloques norte y sur por las fallas de Usaquén y San Cristóbal-Facatativa, respectivamente, y tiene como particularidad, la inversión de las formaciones litológicas que forman los cerros orientales, gracias al papel de la Falla de Bogotá, dislocación que es una falla de cabalgamiento de dirección nor-noreste y buzamiento al este. La Falla de Bogotá pone en contacto las areniscas del Grupo Guadalupe (Ksg) con las arcillolitas de la Formación Guaduas (Ktg) sobre la parte media baja de los cerros. Su traza está bien definida en dirección NE-SW (véase el Plano 3) y está acompañada por lineamientos estructurales transversales a su rumbo.

## 3.4 GEOLOGÍA LOCAL

Este numeral contiene una descripción de la geología, en el espacio exclusivo de la Urbanización Buena Vista Oriental, Etapas I y II (labor integrada con el nombre de geología local) con énfasis en la estratigrafía y en el patrón estructural, forjada bajo los principios y directrices 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 joven a las más antiguas, pero con la salvedad de que las unidades de roca de una misma formación pueden aparecer intercalados en ciertas porciones del mapa. Para este fin, se emplea la base cartográfica obtenida en el levantamiento topográfico a escala 1:500 y se añaden los trabajos de la exploración del subsuelo que conjugan diez y ocho (18) sondeos (doce mecánicos y seis manuales), siete (7) apiques, seis (6) trincheras, y diez y ocho (18) estaciones de control litológico y estructural (recapituladas de Gia C. L., 2009), que implican la toma y análisis de ciento diez y seis (116) datos estructurales. Los resultados de la exploración del subsuelo, junto con sus memorias de cálculo y los registros de exploración, y la localización de los componentes de la investigación geotécnica se describen explícitamente en el capítulo 4 y en el Anexo C.1 y se plasman en los Planos 4A, 4B, 4C y 4D.

### 3.4.1 ESTRATIGRAFÍA

#### 3.4.1.1 UNIDADES DE SUELO

##### **Rellenos Antrópicos Traslocados (Qd)**

Son cuerpos matriz soportados, moldeados por procesos de inestabilidad. Están ligados genéticamente a los

<sup>1</sup> Microzonificación sísmica de Bogotá (1997). Capítulo 2.

rellenos de reconformación, por lo que su armazón aglutina cantos y gravas de arenisca cuarzosas de grano fino, arcillolitas, residuos sólidos (v.g. ladrillos, plásticos, desechables, etc) y raíces, inmersos en horizontes arcillosos o arcillo-arenosos; la fracción gruesa es inferior al 20% en volumen de la masa de suelo. Su consistencia es media, su humedad es baja a media y su color es café con trazas violáceas y rojizas. Integra tres unidades el Qd1, el Qd2 y el Qd3, solo diferenciados por su posición espacial. Su espesor oscila entre el metro y medio (1.5 m) y los dos metros y medio (2.5), confirmación dada por la trinchera T-2. Esculpen las laderas orientales, contiguas a las viviendas 145 a 162, y surorientales del II Sector.

#### **Relleno Antrópico de Reconformación (Qra1)**

Encierra partículas hasta tamaño bloque de areniscas y lodolitas y eventuales restos de cerámicos (ladrillos), bolsas y escombros (entre los milímetros y los siete centímetros) entrelazados en una matriz arcillosa de consistencia media y humedad media a baja. Los bloques contenidos son subangulares y la fracción gruesa ocupa el 25% del volumen de la masa. Son matriz soportados; su color es habano oscuro con trazas violetas; y su espesor divaga entre el metro y los diez metros, intervalo corroborado por las trincheras T-1 y T-4 y los sondeos S-1, S-2, S-3, S-4, S-5, S-6, S-8, S-10 y S-11, pero modalmente bordea los dos metros. La filtración de agua en la masa es evidente, en especial en la proximidad al antiguo cauce de la quebrada. En él se moldea no sólo el mayor número de terrazas urbanizadas, sino las laderas de los cinturones oriental y sur, y recibe la acción del total de las edificaciones (viviendas) de la II Etapa. Diagramación ilustrada en el Plano 4.

#### **Relleno Antrópico de Reconformación (Qra2)**

Involucra escombros y residuos sólidos (entre 0.5 y 10 centímetros) aglutinados y compactados para la configuración de plataformas de parqueo, y bloques y guijos de areniscas cuarzosas y lodolitas, entremezclados con suelos arcillo-arenosos o areno-arcillosos, de consistencia o compacidad medias. Su espesor es inferior a los dos metros (espectro confirmado por la perforación S-18). Dibujan una morfología suavemente inclinada (con ángulos inferiores a los seis grados) y dan vida al borde sur del cuadrángulo de estudio, espacio hoy empleado como parqueadero informal, pero que servirá de recinto a una nueva urbanización (véase el Plano 4A).

#### **Relleno Antrópico Seleccionado de Reconformación (Qra3)**

Bajo esta designación se conjugan las acumulaciones de material seleccionado, compactado al 90% del proctor modificado, cubiertas por una capa de concreto hidráulico o asfáltico en su parte superior y cuyo espesor apenas alcanza 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 rastros son notorios a lo largo de la calle 31 sur y de la Carretera a Oriente.

#### **Suelos residuales de la Formación Bogotá (QTpb-L-sr)**

Son de composición arcillo-limosa o arcillosa de consistencia media y humedad media. Exponen tonalidades violáceas y rojizas. Su espesor es inferior a los cuatro metros, y descansan cubiertas por los llenos antrópicos, circunstancia que inhibe su exposición en superficie y por consiguiente su cartografía, sin embargo son tangibles en los modelos geológico (véanse los Planos 4B, 4C y 4D).

#### **Suelos residuales arenosos de la Formación Bogotá (QTpb-A-sr)**

Son suelos areno - limosos, de color amarillo claro a marrón. Su compacidad y su humedad son medias. Su

espesor es incierto, aunque las pocas exposiciones no superan los cincuenta centímetros. Al igual que los suelos residuales arcillosos carecen de exposición en superficie. Son no cartografiables.

### 3.4.1.2 UNIDADES DE ROCA

La secuencia rocosa está armada por alternancias de niveles arcillosos y arenosos: los primeros se identifican con la sigla Tpb-L y los segundos como Tpb-A. Unos y otros están parcialmente cubiertos por los suelos residuales de composición parental (QTpb-Lsr y QTpb-Asr) o por los rellenos antrópicos, en particular por el Qra1.

#### **Formación Bogotá – Niveles Arcillosos (Tpb-L)**

Son las unidades más representativas de la porción de la vertiente, no sólo por su ocupación espacial sino porque en ellas recae el control morfodinámico y estratigráfico: entallan las caras expuestas en los taludes, y reciben los más relevantes cuerpos de rellenos antrópicos. Están clasificadas y codificadas con un identificador alfanumérico, el prefijo es la abreviatura: Tpb-L, que resume la sigla de la formación: Tpb y el símbolo de la unidad de roca: L, y el sufijo es un número arábigo que funge como discriminante estratigráfico: 1 (si es la más joven), 2, 3 o 4 (para la más antigua), así Tpb-L1, Tpb-L2, Tpb-L3, etc.

Son arcillolitas y lodolitas abigarradas, de color violeta con trazas habanas y ocres; son blandas (ISRM, 1981), su estratificación es delgada y sus niveles oscilan entre los 5m y los 30m de espesor: algunos niveles delgados alcanzan grados de litificación que los asemejan a limolitas con dureza 6. Integra cuatro (4) niveles: el Tpb-L1, el Tpb-L2, el Tpb-L3 y el Tpb-L4, que en su momento (es decir durante las décadas sesenta, setenta y ochenta) se constituyeron en los económicamente explotables y aprovechables de la labor minera para la fabricación de ladrillo, tejas y bloques.

El Tpb-L1 se expone hacia el tope de las laderas y es el nivel menos intervenido; su dimensión supera los 12 m, pero es inferior a los quince metros y responde a los horizontes IIB y III del perfil de Deer y Patton (1972). Se encuentra parcialmente cubierto por suelos grisáceos a negros limo-arenosos, poco plásticos, muy permeables, provenientes de cenizas, ricos en cuarzo tamaño arena, con fracción limosa posiblemente transportada por el viento a partir de las erupciones volcánicas, y con espesores inferiores a los 0.50m, por menor que los hace no cartografiables. Estos suelos corresponden a la Formación Mondoñedo (Van der Hammen, 1995).

El Tpb-L2 surca la totalidad de la II Etapa de la urbanización; sirve de superficie de despegue a los cuerpos de deslizamiento: Qd1, Qd2 y Qd3, y recibe a los llenos dispuestos entre la terraza urbanizada y las los predios libres (véase el Plano 4A y el Anexo B.1). Su espesor divaga entre los 20m y los 30m y fue el último frente de explotación (apreciación deducida de las fotografías satelitales de Google Earth registradas en el 2002).

El Tpb-L3 aflora en los cortes expuestos, labrados para dar paso a la primera etapa de Buena Vista, toca los 30m de espesor, es altamente susceptible a la erosión, circunstancia que lo hizo merecedor en el pasado a tratamientos de protección con concreto lanzado (Foto 3.1); está separado de la Tpb-L2 por el banco de areniscas Tpb-A2, y es después de ésta la de mayor trascendencia en la respuesta mecánica de las laderas, y por consiguiente en la estabilidad del medio (y de la urbanización). Y el Tpb-L4 define un pequeño espacio, cercano a la carretera a oriente, limitado por los vestigios de un antiguo frente de explotación; aunque sus

características geométricas son inciertas, se cree supera los cinco (5) metros de espesor; su papel en la incubación y desarrollo de los procesos de inestabilidad (en Buenavista Suroriental) es inocuo: su posición estratigráfica (i.e. la más baja) y el buzamiento de buena parte de las superficies libres (cercano a la horizontal) la exime de cualquier responsabilidad.

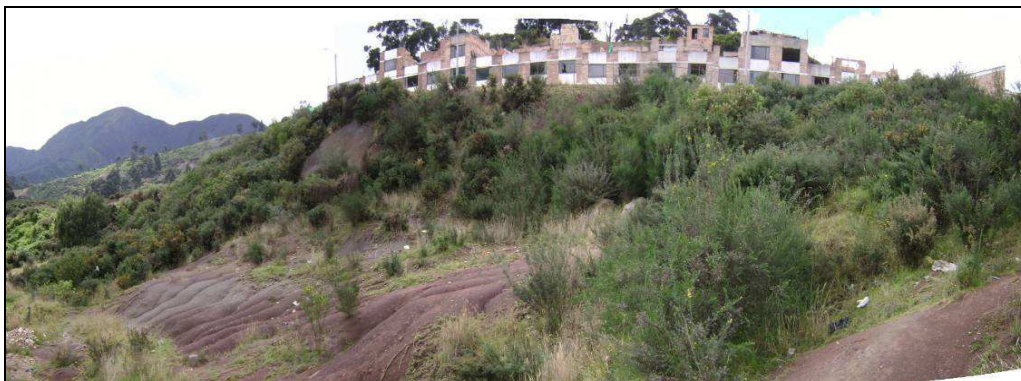


FOTO 3.1 PANORÁMICA DE LA LADERA EN BUENAVISTA III SECTOR. EN PRIMER PLANO SE EXPONE EL NIVEL DE ARCILLOLITAS Tpb-L3.

### **Formación Bogotá –Areniscas (Tpb-A1, Tpb-A2, Tpb-A3 y Tpb-A4)**

Es una secuencia de areniscas cuarzosas, grano crecientes, macizas y de cemento arcilloso y con contenido de óxidos de hierro y micas. Sus colores son blanco, blanco-amarillento y amarillo, matizados por trazas ocre y rojizas; son friables; el grano es de tamaño fino a medio y son bien seleccionadas (i.e. el grano es uniforme). La resistencia fluctúa de blanda a moderadamente dura (ISRM, 1981, citado por González de Vallejo y Otros, 2004); y yacen intercaladas con los paquetes de arcillolitas. Las capas no siempre son continuas (posiblemente resultado de la explotación) y sus espesores divagan desde los dos metros (Tpb-A1 y Tpb-A3) hasta los cuatro (4) metros: Tpb-A2 (espesor medido en predios de la proyectada IV Etapa).

Integra cuatro unidades: la Tpb-A1, la Tpb-A2, la Tpb-A3 y la Tpb-A4; sólo diferenciables por su posición estratigráfica pero con poca participación en la gestación de los procesos de inestabilidad. El mayor realce espacial lo ocupa la Tpb-A2, en ella se entalla parcialmente el talud que separa a las etapas I y II (*Plano 4A*). Las unidades Tpb-A1, Tpb-A3 y Tpb-A4, figuran en pequeños espacios, la primera surca paralela al peatonal, próximo al lindero oriental del polígono de trabajo (capturado en la *Foto 3.2* y en la columna estratigráfica del *Anexo B.1*), la segunda asoma tímidamente entre las dos etapas, cerca de uno de los salones comunales, y la tercera se yergue al suroccidente de la primera Etapa, en un predio baldío (véase la *Foto 3.3*).



FOTO 3.2 AFLORAMIENTO ALEDAÑO EN EL QUE SE DESTACA EL GRADO DE FRACTURAMIENTO DE LA ROCA



FOTO 3.3 EXPOSICIONES DE LOS PAQUETES DE ARENISCA EN LA URBANIZACIÓN. FUENTE IMÁGENES GOOGLE EARTH (2009)

### 3.4.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La inversión de la secuencia estratigráfica en el costado oriental de la ciudad dio como resultado el fracturamiento de las rocas duras (areniscas) y el replegamiento de las blandas (arcillolitas); en las primeras, es común encontrar patrones de diaclasas que controlan la estabilidad de antiguos frentes de explotación y de afloramientos naturales, la presencia de estas familias obedece al juego de esfuerzos compresivos al que fue sometido todo el conjunto litológico. De otra parte, se exhiben fracturas inducidas por el efecto de explosiones ejecutadas durante el desarrollo minero de la zona, en la que se asentaron diversas explotaciones de materiales para la construcción (arcillas, recebos, arenas y agregados, entre otros).

Ahora bien, ante los pocos y limitados afloramientos, casi en esencia regidos por las lodolitas, que inhibieron la toma de datos, la información estructural, acopiada en el formato de levantamiento estructural, se abstrajo del trabajo de Gia (2009) en el Buena Vista III Sector. En este sentido, se aunaron en los afloramientos 116 registros estructurales, entre estratificaciones, y diaclasas (véase el *Anexo B.2*). Con el universo muestral, se generaron diagramas de frecuencia, de rosa y estereogramas con red equiángulos, los dos primeros con el ánimo de definir los rumbos promedio de las diaclasas y el tercero para ilustrar las familias principales.

#### 3.4.2.1 DISCONTINUIDADES

Son los rasgos estructurales más abundantes, se trata de superficies de fractura donde 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 6.

Buenavista, etapas I y II, reposa, al igual que su vecino el III Sector, en una pendiente estructural, sin traslocación o cambio de polaridad relevantes. La secuencia estratigráfica descansa con dirección de buzamiento medio 288 e inclinación de 30 grados, pero con variaciones locales que discurren desde los 22 grados hasta los 45 grados. Lo anterior remarca que Buena Vista se encuentra en un único dominio estructural. La estratificación es plana rugosa a plana suave (*Foto 3.4*); los macizos rocosos están



transgredidos por cuatro familias de diaclasas: D2=[ 205/78 – 250/86 ], D3=[ 52/61 – 85/65 ], D4=[ 112/61 – 178/78 ], D5=[ 205/78 – 250/86 ]; ellas son planas rugosas y planas suaves, cerradas o ligeramente abiertas, de persistencia poco continua. El Anexo B.2 condensa el conjunto de datos estructurales levantados, divididos por estaciones y el Plano 4 su ubicación geográfica (por lo menos los que forman parte del cuadrante del contexto local).

### 3.4.2.2 LINEAMIENTOS FOTOGEOLÓGICOS

Se deducen exclusivamente de la evaluación fotogeológica, algunos se fijan a nivel regional y dos en el marco local. Estos últimos se exponen con azimuts de rumbo 083° y 102° y carecen de control alguno en las laderas (véase el Plano 4) Si bien no se encontraron evidencias para definirlos y catalogarlos como fallas, cabe anotar que parecen correlacionables con la falla de Bogotá, por lo que es menester recabar más información antes de lanzar un juicio definitivo.



FOTO 3.4 PLANO ESTRUCTURAL SOBRE LAS ARCILLOLITAS DE LA SECUENCIA DESCRITA

## 3.5 GEOMORFOLOGIA LOCAL

### 3.5.1 MORFOESTRUCTURAL (FORMAS)

El emplazamiento del Barrio Buenavista Suroriental tuvo lugar sobre la pendiente estructural originada por la inversión de la secuencia lito estratigráfica cretáceo-terciaria de los cerros orientales de la ciudad. Si bien es cierto que hasta hace algunos años allí se adelantaron indiscriminadas labores de minería a cielo abierto para la extracción de materiales de construcción (arenas, gravas, recibos y arcillas para la fabricación de ladrillos, entre otras) que posiblemente coadyuvaron (o coadyuvan) en la morfodinámica hoy día; buena parte de estas evidencias han quedado cubiertas por la expansión de la ciudad hacia estos lugares; expansión forjada, en la primera década del siglo XXI, gracias al perfilado de los cortes abandonados (siempre con formas en planta y perfil irregulares) y al retrolenado con residuos provenientes de las antiguas explotaciones o de urbanizaciones aledañas, y con desechos sólidos de las comunidades cercanas.

En este orden de ideas y sin perder el concepto geomorfológico de pendiente estructural original, según lo confirman las aerofotos de 1955, se identifican dos unidades de ladera así: la no intervenida y la de alta intervención por actividades extractivas. Esta última sometida a procesos morfodinámicos (de pequeña magnitud), que involucran principalmente los materiales de relleno; y procesos erosivos incipientes, acentuados por la acción combinada de la escorrentía superficial y la poca protección generada por la cobertura vegetal presente (pastos y maleza).

### **3.5.1.1 UNIDAD DE LADERAS NO INTERVENIDAS (LNI)**

Ocupa la parte superior de las laderas, al sureste de la zona de estudio (véase el Plano 5), en ella la actividad extractiva está ausente, los estratos de arcillolita aún conservan su cobertura original; cobertura fincada en suelos orgánicos y vestigios de un depósito fluvio torrencial, conformado por bloques de arenisca embebidos en matrices finas; unos y otros se posan con su ángulo de reposo sin que a la fecha muestren signos de inestabilidad (antiguos o recientes). Su topografía es ondulada y sus intervalos típicos de pendiente oscilan entre los 15° y los 25°, que la clasifican como empinada (Van Zuidam, 1985), y está parcialmente cubierta por pastos, arbustos y algunos árboles dispersos.

### **3.5.1.2 UNIDAD DE LADERA ESTRUCTURAL CON ALTA INTERVENCIÓN POR ACTIVIDADES EXTRACTIVAS (LEI)**

Es la sumatoria de frentes de extracción, patios y rellenos generados por la explotación de las arcillas. Aquí se incluyen los escarpes mecanizados y las explanaciones antrópicas. Esta unidad se divide en sub unidades tal y como se describe a continuación:

#### **Taludes Extractivos en Roca (LEI-tex)**

Se define así al conjunto de escarpes producidos por las actividades extractiva y urbanística. Sus pendientes son oscilan entre los 30° y los 48°, que las clasifica como muy empinadas (Van Zuidam, 1985), y las superficies expuestas favorecen la profundización del perfil de meteorización y son proclives a la acumulación de detritos en las franjas media y baja de los cortes (véase la Foto 3.5). Además de esta fenomenología son latentes los procesos erosivos difusos a concentrados (surcos), lo que ha dado lugar al empleo del concreto lanzado como solución. Residen al sur y suroccidente de urbanización y entre las etapas I y II (Plano 5).



FOTO 3.5 TALUDES EXTRACTIVOS EN ARCILLOLITAS

### **Explanación para Desarrollo Urbanístico (LEI-edu)**

Son el resultado de la reconfiguración con rellenos antrópicos y cortes, que permitieron ampliar las áreas dejadas por la explanación en roca durante la explotación minera. Se distinguen la explanación inclinada a manera de rampa en la calle 31 sur y las plataformas de las áreas de juegos en el umbral de la ladera (v.g. las canchas de baloncesto y la zona de juegos infantiles), y de urbanización (espacio destinado al conjunto habitacional, esquema sintetizado en la *Foto 3.6*), todas con pendientes inferiores a los 10° (i.e. planas, ligeramente inclinadas e inclinadas, Van Zuidam, 1985).



FOTO 3.6 TALUD DE RELLENOS PERIMETRALES A LA EXPLANACIÓN

### **Taludes de Relleno Antrópico (LEI-tra)**

Se define así a las superficies libres labradas y realzadas en depósitos antrópicos, recreados en la periferia de las explanaciones escalonadas para desarrollo urbanístico (subunidades LEI-edu, *Plano 5*) y de la ladera no intervenida: LNI. Dibujan pendientes desde 22° hasta 40°, y están cubiertos por pastos, retamos y algunos arbustos de porte bajo a medio (véase la *Foto 3.7*). Reciben el retrabajamiento de la erosión pluvial: surcos y surquillos, y son junto con los rellenos antrópicos traslocados los espacio preferenciales de movilización.

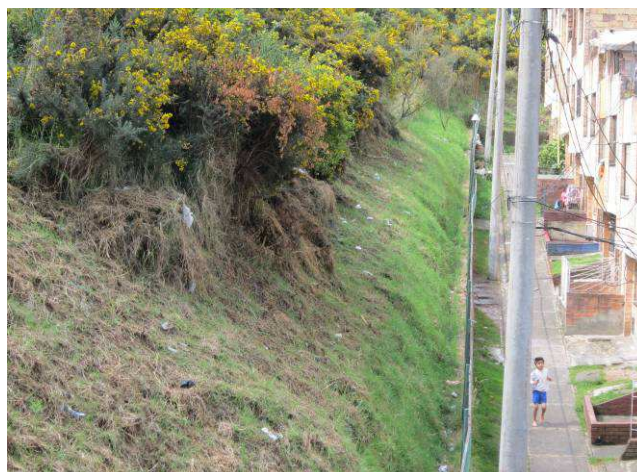


FOTO 3.7 TALUDES DE RELLENO ANTRÓPICO EN EL CORREDOR ORIENTAL DE LA ETAPA II



### **Explanación y Relleno para Conformación de Patios (LEI-rep)**

Está compuesta por formas suaves de los patios de cantera o de maniobra. Los gradientes suelen ser inferiores a los 10°. Se ubican adyacentes a los taludes de las antiguas explotaciones mineras y dadas sus bajas pendientes y al hecho de tener macizo rocoso cercano, sin rellenos, o con ellos, pero muy delgados, son estables.

### **Taludes de Relleno Antrópico Traslocado (LEI-trat)**

Son acumulaciones antropogénicas sometidas por procesos hidro-gravitacionales. Moldean los taludes al sur y al oriente de la urbanización, y dan vida a los cuerpos de deslizamiento. Su pendiente bordea los 25°, la morfología es lobulada y escalonada, y, en medida alguna, cóncava, y la cobertura vegetal responde a retamos, pastos y algunos arbustos de porte bajo. En estas subunidades ocupan lugar los abombamientos en la pata, los escarpes laterales y la concentración del flujo. Se distinguen tres cuerpos, dos de mayor tamaño, casi contiguos, el DT001-I (*Foto 3.8*) y el DT002-I, y otro de menor escala, que semeja un desprendimiento pero gestado al suroriente (el DT 003-I).



FOTO 3.8 PATA Y CUERPO DEL DESLIZAMIENTO DT001-I

### **3.5.2 PROCESOS MORFODINÁMICOS**

La identificación de las unidades geomorfológicas contribuye al entendimiento de los procesos de degradación del terreno. Cada unidad posee rasgos morfológicos particulares que dependen, entre otros, 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.

Las laderas naturales talladas por los frentes de explotación no sólo se transfiguraron en su morfometría, por el avance de los cortes, por la disposición de los rellenos y por la adecuación de áreas para el desarrollo urbanístico, sino por la mayor predisposición a los agentes de intemperismo, y por la modificación en el patrón de drenaje. Como resultado de la convolución de tales eventos acaecen diversas expresiones morfodinámicas así:

- Meteorización
- Erosión en surcos y cárcavas.
- Procesos de Remoción en Masa: caída de bloques, deslizamientos traslacionales en roca y suelo y deslizamientos rotacionales en suelos.

### 3.5.2.1 METEORIZACIÓN

Es el conjunto de procesos externos (físico-químicos) que causan la alteración y desintegración de los componentes de las rocas y de los suelos. El principal factor de meteorización es de tipo hídrico, ejercido por el flujo del agua de escorrentía a través de la fracturas y de la superficie, desde los sitios de mayor gradiente hidráulico, sobre la pendiente estructural. En el macizo rocoso se lleva a cabo el lavado constante de ciertos minerales en las unidades líticas, así como la concentración de otros, todo esto lleva al cambio de la roca original a suelo residual.

El perfil de meteorización se traduce, entonces, bien en una costra de fragmentos líticos con algunas oxidaciones y ligeras decoloraciones, similar a la imagen revelada por el horizonte IIB de Deer y Patton (1971, marco representado en el Anexo C.5), que calca espesores desde los 0,30 m hasta los 2,10 m, patrón último transcrito por los sondeos S-1, S-7, S-13, S-14, S-15 y S-16; bien en fragmentos líticos, esencialmente de lodolitas, embebidos en matriz arcillosa, representación del horizonte IC, que exhibe espesores diversos: desde los centímetros hasta poco más de los tres metros; o bien en niveles arcillosos de color rojo o café (oscuro) y de consistencia firme, en ningún caso superiores a los 0,60 m de tall (particularidad captada en la perforación S-9), que idealizan el horizonte IB de Deer y Patton (1971). Escenarios que adquieren relevancia por ser fuente preferencial para la formación de deslizamientos traslacionales, y flujos de detritos los dos gestados toda vez que se saturaren los horizontes de suelo, especialmente en temporada de lluvia, y que se sintetizan (en medida alguna) en las secciones 2-2, 3-3, 4-4 y 5-5, bosquejadas en los Planos 4B y 4C.

### 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 deposición.

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).

De este amplio abanico de expresiones son dominantes en los cortes (descubiertos) y explanaciones en roca los surcos, sus huellas reposan en las subunidades geomorfológicas: LEI-tex y LEI-tra, resultado del retrabajamiento de las lluvias (véase el Plano 5). Los zanjones alcanza profundidades hasta de 0,05m y anchos de apenas un par de centímetros y la forma es en V.

### 3.5.2.3 PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA (FRM)

Poseen poca representativa en la evolución geomorfológica de los frentes de explotación, y sus expresiones hoy por hoy pasan casi desapercibidas. Son esencialmente deslizamientos traslacionales en suelo: el DT-001I (*Foto 3.8*), el DT-002I (*Foto 3.9*) y el DT-003I (*Foto 3.10*), inactivos pero latentes, simples pero con capacidad de avanzados; tienen profundidades de hasta 1.50 m, con anchos en la parte media de cerca de diez: el DT-001I y ocho metros: el DT-002I y el DT-003I, y longitudes de veinte, veinte y ocho metros, respectivamente. Los escarpes principales tocan el metro, y las masas movidas alcanzan los 275 m<sup>3</sup>, en lo que atañe al primero, 295 m<sup>3</sup> si responde al segundo y 109 m<sup>3</sup> en lo que hace referencia al tercero. Su movilización es facilitada por el manejo inadecuado y la obstrucción del drenaje, por la saturación parcial y por las altas pendientes topográficas (superiores a los ángulos de fricción básicos del lleno).



FOTO 3.9 PROCESO DE REMOCIÓN EN MASA DT-002I



FOTO 3.10 PROCESO DE REMOCIÓN EN MASA DT-003I

Las superficies de deslizamiento transitan por los contactos lleno-roca y lleno-suelo residual, las distancias de viaje en ningún caso supera los seis metros, y su capacidad de destrucción apenas si causo daño en el cerramiento, en particular en el muro. Los primeros signos de actividad datan del segundo semestre de 2010, específicamente del 19 de noviembre, fecha en la que se hicieron manifiestos los deslizamientos DT-001I y DT-002I. La tasa de movimiento (por lo menos en el momento de la detonación) fue en el mejor de los casos muy rápido (Varnes, 1978, citado por Cruden y Varnes, 1996), de metros por minuto; velocidad que contrasta con la del tercer movimiento (de cronología incierta) clasificada apenas como moderada (acorde con la escala de Cruden y Varnes, 1996).

El Plano 5 integra la ubicación espacial de los dos procesos y el Anexo B.4 y el numeral 1.4 del capítulo 1, resalta detalles adicionales de las causas intrínsecas y extrínsecas, entre otras: la secuencia estratigráfica, las propiedades de los materiales (fijadas con elementos de razonamiento aproximado), la frecuencia del fenómeno, su actividad y desarrollo, y los agentes detonantes y contribuyentes.

### 3.6 ANTECEDENTES DE PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA PARA LA ZONA

La morfodinámica en el Barrio se relaciona fundamentalmente con la extracción desordenada y antitécnica de materiales pétreos. Las fotografías aéreas previas a la intervención minera exponen laderas estables, sin rastros de problemas de remoción en masa. La explotación de materiales de construcción en la Sabana de Bogotá comienza en firme a finales del siglo XIX y principios del siglo XX, muy vinculada con el crecimiento de la capital. El primer alcantarillado subterráneo, cubierto con bóveda de ladrillo, se construyó en Bogotá hacia el año 1872, pero hasta los años 1920 se construyó con las técnicas mestizas de la albañilería española y la cultura indígena, porque, la mayoría de casas eran de tapia pisada con techos de paja. Luego hicieron su aparición el cemento, el hierro y el vidrio, con lo que el paisaje de la región cambió sustancialmente (Ingeominas, 2002, citado por GIA-Geocing, 2006).

En la Sabana de Bogotá y sus alrededores se explotan diversos materiales de construcción de los cuales se puede mencionar, agregados pétreos (gravas y arenas), recebos, arcillas y rocas ornamentales. Para la obtención de agregados pétreos (gravas y arenas naturales) se explotan principalmente los conos aluviales del río Tunjuelo (Fm. Río Tunjuelo), pero también se pueden obtener por trituración de la Formación Arenisca Dura. Las Formaciones Arenisca Tierna y Labor son las más empleadas para la extracción de arenas y rocas ornamentales (en todo Usaquén, y anteriormente en Chapinero alto y en los Rosales). Los recebos, se extraen en especial de la Formación Plaeners y las arcillas de las formaciones Bogotá (en San Cristóbal y Mochuelo), Usme (en Santa Librada y Rafael Uribe) y aun de suelos arcillosos: Fm. Tilatá (GIA-Geocing, 2006).

A fe de realizar la descripción de los antecedentes históricos de los procesos denudativos en la Urbanización Buenavista, se recurre a la consulta e interpretación de aerofotos de los años 50, 70, 80 y 90, registro condensado en la Tabla 3.2 y en el Anexo B.3. La tarea se centra en la ubicación y diagramación de los procesos erosivos y de remoción en masa actuales en fotografías aéreas recientes; y en la esquematización de la acción humana sobre la ladera: cultivos, uso pecuario, extracción de materiales, cortes de taludes para construcción de viviendas, etc (véase el Anexo B.3), y tiene como punto de partida el trabajo acometido por Gia C. L. en el año 2009, el que se somete a revisión y contrastación, por menor que pone en relieve la preservación de buena parte del texto.

### 3.6.1 AÑO 1955 (VUELO IGAC C-743\_9)

La otrora Autopista a Villavicencio, hoy conocida como Carretera a Oriente, está rodeada por frentes de extracción activos; las ladrilleras El Tabor, La Esperanza, Santa Elena y La Cuesta, propietaria de los predios en los que se erige hoy día la urbanización Buenavista, y la Fábrica de Ladrillos La Gidel, integran los frentes y las minas a cielo abierto de extracción activa (véase la [Figura 3.1](#)).

El desarrollo urbanístico es incipiente, sobresalen los trazos de algunas vías interbarriales, todas a nivel de afirmado, y construcciones aisladas. Completan el marco de intervención el trazo (en línea en roja) de la conducción Regadera-Vitelma, que surca en dirección aproximada E-W, la carretera que conduce al tanque de almacenamiento Los Alpes, y una escueta red de caminos, tallados en las laderas orientales al espacio que ocupará la urbanización.

La morfología es suave y ondulada, y está forjada en secuencias de rocas arcillosas y arenosas (Tbcl), cubiertas por elongados cuerpos coluviales (rotulados con la sigla Qcl). Sobresale el escarpe rocoso al norte del cuadrángulo de estudio, en lo que es el límite predial entre la urbanización y la ladrillera El Tabor. La diagramación general de la vertiente como sucesión de laderas estructurales es bastante clara, imagen sólo interrumpida por las depresiones de los cuerpos de agua. Los lomos y los filos rocosos (escarpes) trasiegan en sentido N30E, próximos al rumbo de los planos de estratificación.

Los procesos morfodinámicos se circunscriben, en buen número, a los taludes extractivos, en especial los de la fábrica Gidel, incubados por la consonancia entre el rumbo de los cortes y el del plano de estratificación; y al derecho de vía de la conducción Regadera – Vitelma, y a la carretera al tanque, procesos moldeados en llenos antrópicos a media ladera. Empero adquieren mención especial dos cuerpos de deslizamiento: uno gestado al suroccidente de Buena Vista, pero próximo a ella, en aparente reposo (i.e. dormido) y otro al suroriente en el recinto de la microcuenca, sin injerencia en la urbanización. Abanico que remarca el potencial inherente de las laderas y del material a movilizarse.

El patrón de drenaje varía de paralelo a subparalelo, rasgo último dominante en la microcuenca que acoge a Buenavista Suroriental. Las corrientes de agua son de tipo antecedente, ligadas a las líneas de mayor pendiente y al sistema de lineamientos de falla. Los primeros procesos intervencionistas del drenaje tienen lugar en el recinto en el que se construirá la urbanización; la disección en el curso de agua al norte del predio es el rasgo más dominante.

La frontera minera, en la urbanización, se aproxima al extremo occidental de las edificaciones, y el proceso de explotación es irregular: los taludes son heteromorfos, con buzamientos variables, retrabajados por deslaves y desprendimientos locales. En la [Figura 3.1](#) se esquematizan las apreciaciones reseñadas en los párrafos anteriores.

### 3.6.2 AÑO 1977 (VUELO IGAC C-1774\_68)

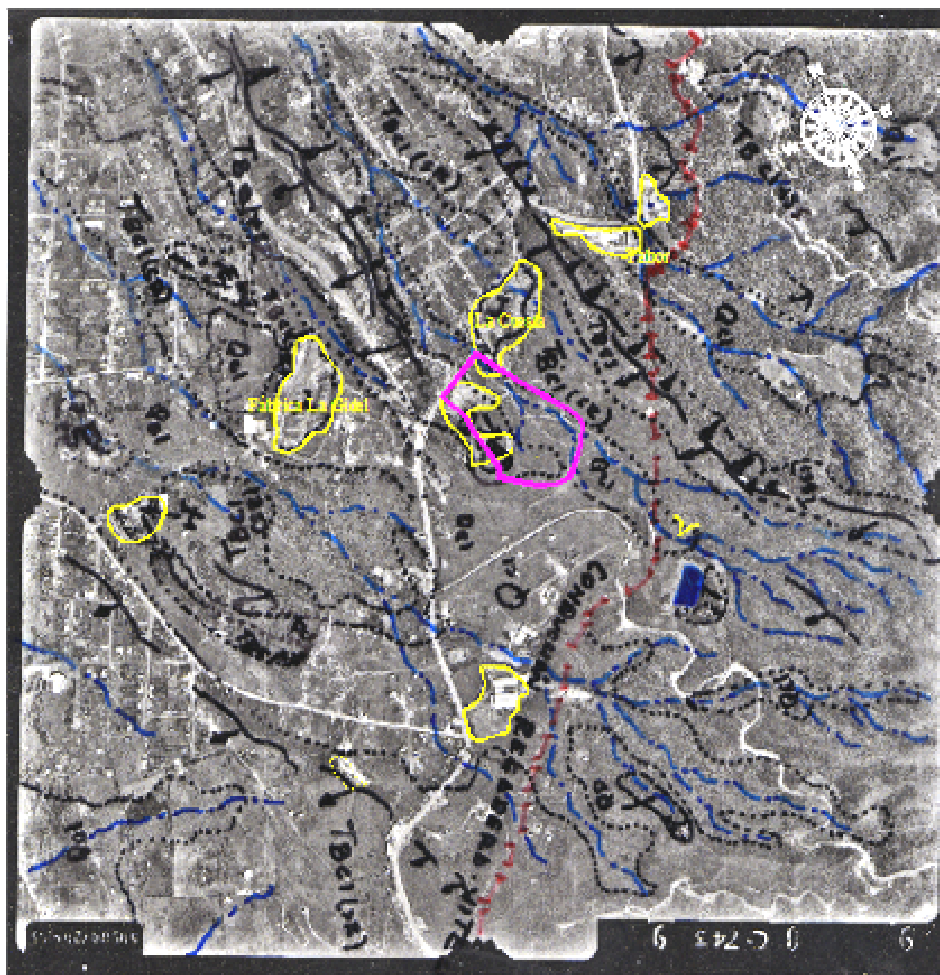
La actividad extractiva continúa su avance desordenado, calificativo aún más acentuado. Se trabaja con intensidad hacia el norte y el oriente, i.e. ladera arriba, de las explotaciones pre-existentes, al punto que dos frentes mineros toman cuerpo en la vecindad al lindero sur de la primera y segunda etapa de la futura urbanización. El crecimiento es notorio en las ladrilleras El Tabor (cimentada al norte de Buenavista, pero



contigua a ella), La Cuesta (industria asentada en los predios ocupados por la urbanización) y en la Fábrica de ladrillos Gidel, esta última remarcada por su desbordante y desordenada ocupación (*Figura 3.2*). En todos los casos los frentes de explotación son irregulares, caracterizados por alternancias de cortes y explanaciones, algunas de formas ovoides, y sin corredores viales definidos.

Los procesos de inestabilidad están a la orden del día, los flujos de tierra y los desprendimientos labran los taludes de corte. Los fenómenos de mayor envergadura se incuban al nororiente y al suroccidente de Buenavista (cuerpos diagramados en colores violeta y rojo), en los hoy barrios Amapolas y Las Lomas, siempre ligados a la Carretera a Oriente; los cuerpos de deslizamiento se gestan, respectivamente, en espesos rellenos antrópicos y en suelos residuales y rocas de la formación Bogotá, y su trascendencia es tal que la reactivación de uno de ellos es el causante de una de las más importantes emergencias viales del 2012: el de Amapolas.

FIGURA 3.1 FOTOINTERPRETACIÓN DEL VUELO C-743\_9 (1955)

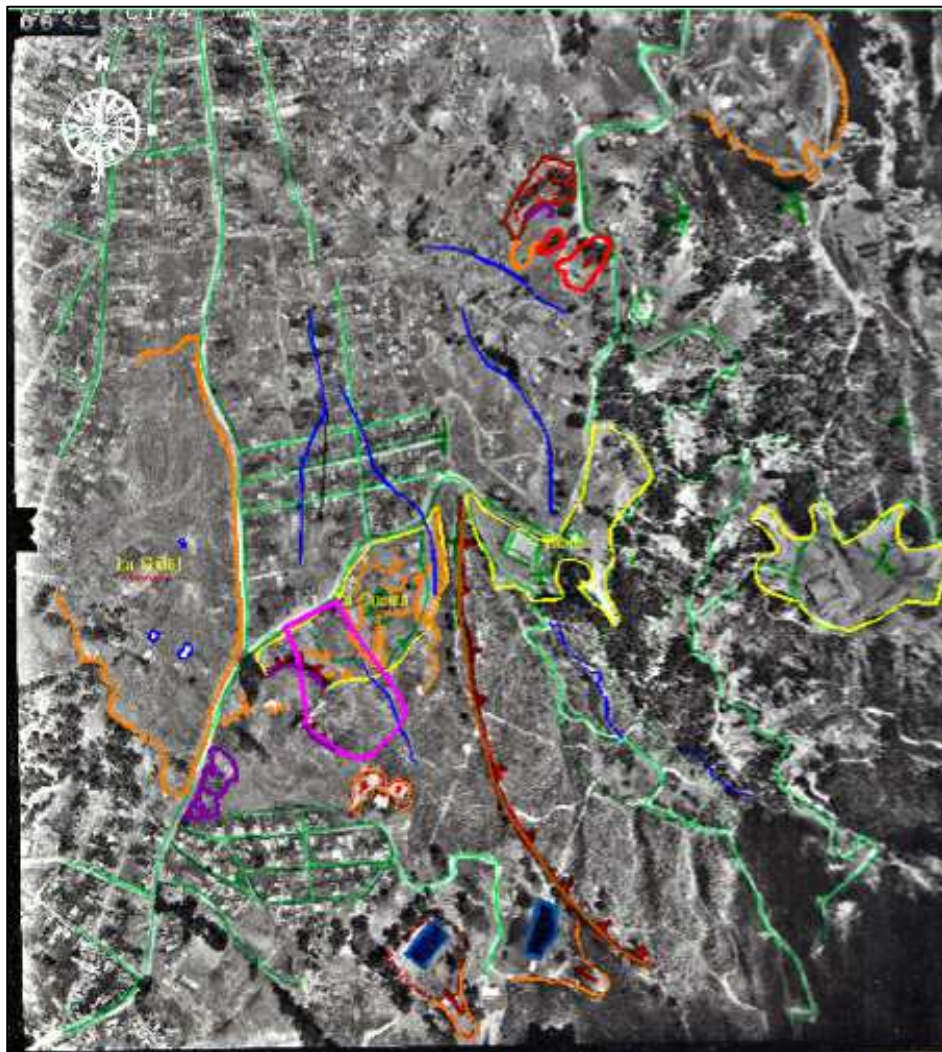


La actividad extractiva en La Cuesta se abre paso en dos frentes, uno se extiende hasta el espacio hoy día

ocupado por las viviendas de la III Sector (véase el [Plano 5](#)) y otro avanza por el corredor sur de la primera etapa. El pulso depredador ha borrado algunos cuerpos de agua y parte de otros, y en su lugar ha construido algunos reservorios; ha suprimido o enmascarado algunas de las señales geológicas; ha alterado la imagen morfológica estructural de la pendiente estructural; y ha dado un vuelco irreversible en el uso del suelo. El patio de explotación crece dramáticamente y aún no hay vestigio alguno de la urbanización.

Hacia el sur de Buenavista (en el recuadro), el desarrollo urbanístico adquiere dinamismo: Los Apes y San Vicente toman estructura casi completa, y el barrio Ramajal adquiere cuerpo, las viviendas crecen en número y las vías definen mejor las manzanas. Igual suerte acontece al occidente de la fábrica Gidel, aunque con tintes más erráticos que en los barrios mencionados. Las conclusiones anteriores y los trazos que las representan quedan patentes en la [Figura 3.2](#).

FIGURA 3.2 FOTOINTERPRETACIÓN DEL VUELO C-1774\_68 (1977)



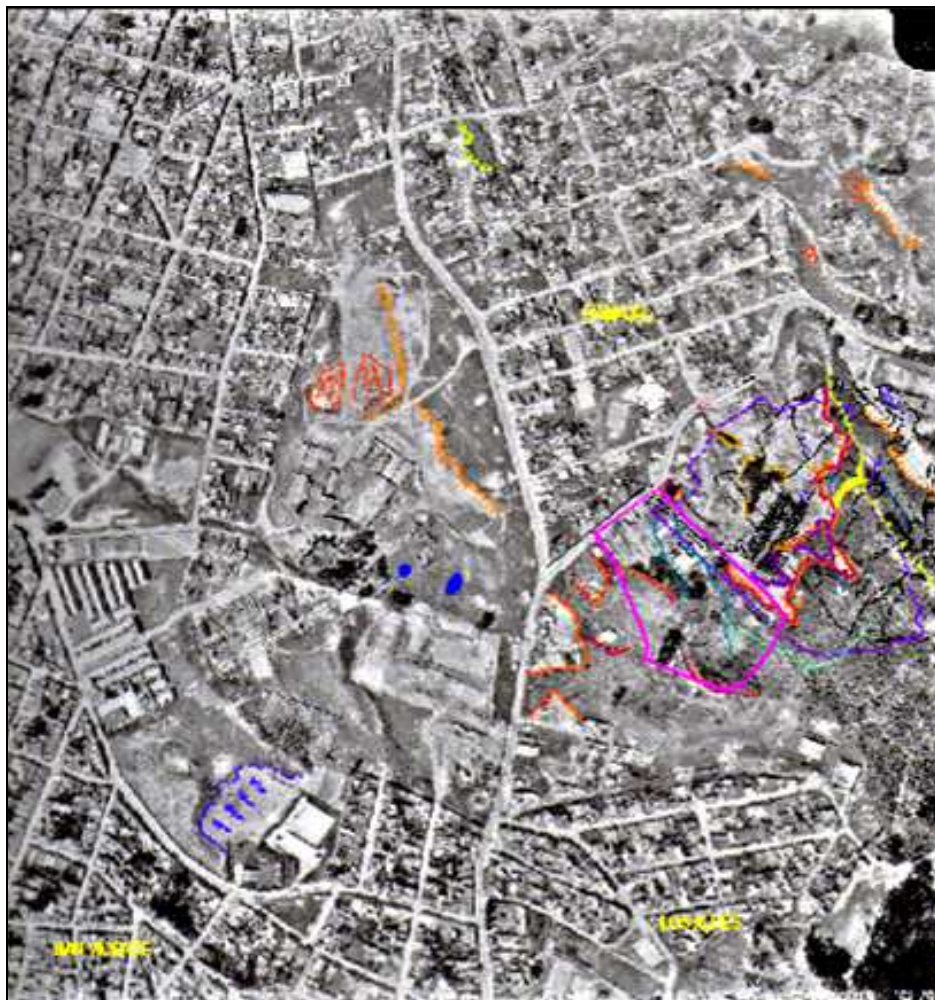




(propietaria inicial de los predios de Buena Vista Suroriental). Los barrios Ramajal, Los Alpes y San Vicente cesan su crecimiento e inician su transformación urbanística (o consolidación), que abarca la pavimentación de las vías, la incorporación de parques, y la estabilización de los espacios neurálgicos.

Buenavista carece de representación, en su lugar son notorios los frentes de explotación y de maniobra y los talleres y las edificaciones de la Ladrillera. La frontera minera se reafirma y progresa erráticamente, en todas las direcciones, en el III sector de la urbanización, y el complejo de construcciones y los patios de maniobra yacen en el espacio que ocupará la primera Etapa. La red de drenaje en la cuenca Buenavista está casi borrada, de los cauces principales apenas queda un asomo al suroriente de la segunda etapa. Los procesos de inestabilidad, aunque reducidos en números, cubren la gama de los flujos de tierra y de los deslizamientos; unos y otros adosados a los taludes de corte y a unas muy pocas laderas, en particular a una que se levanta al suroccidente de la urbanización (véase la [Figura 3.4](#)).

FIGURA 3.4 FOTOINTERPRETACIÓN DEL VUELO R-1131\_3659 (1991)



### 3.6.5 AÑO 2000 (FOTO SATELITAL GOOGLE EARTH)

Ilustra la reconfiguración y transformación morfológica post-explotación y el ensanchamiento de la frontera urbana. La actividad minera cede progresivamente su lugar a las tres etapas de la urbanización, y sus últimos vestigios subsisten al norte de Buenavista, en los dominios de la Ladrillera El Tabor, esquema ratificado en la *Figura 3.5*, aunque moldeada como en el pasado por pendientes pronunciadas y por apariencias amorfas, desiguales y discontinuas, distintivos evidentes en la dispersión y desajustes de las manchas de vegetación y de las vías. La preparación de las plataformas para la implantación de la primera etapa de la urbanización es un hecho y la construcción de los módulos, y por consiguiente de las viviendas, está en proceso. La segunda etapa es apenas una aspiración, allí sólo tiene cabida una espesa mancha de vegetación (que poco o nada deja en claro, menos aún los signos morfodinámicos), que se extiende al sur y al oriente (al respaldo de lo que años después será el III sector).

FIGURA 3.5 IMAGEN GOOGLE EARTH (2000)



### 3.6.6 AÑO 2002 (FOTO SATELITAL GOOGLE EARTH)

Los movimientos de tierra son los rasgos característicos; los taludes al oriente del futuro III sector y al sur y oriente de la II etapa cobran vida; en el primer caso su conformación es regular y se erige en materiales antropogénicos (hipótesis fijada en el tono oscuro de la imagen), su forma en planta y su perfil son rectilíneos, y su orientación es NE/NW, pero con buzamiento fuerte (superior a los treinta grados), y la cubierta superficial es escasa, tan sólo tienen asiento un pequeño parche de vegetación en la franja media. La superficie libre (i.e el talud) está enmarcada por la terraza, que le servirá de albergue a las canchas de juego, y la vía principal de la antigua ladrillera, estructura que se convertirá en la franja de aislamiento de la urbanización con los predios contiguos a la Carretera a Oriente.

En el segundo caso (el de la etapa II) los cortes son irregulares, pero con rumbos dominantes al NE, el del oriente, y al NW, el del sur, y se abren paso entre amplias depresiones (esculpidas frente a lo que hoy son las casas 156, 157 y 158 y aboceteadas con línea amarilla en la [Figura 3.6](#)), terraceos (cortos), tallados parcialmente en el macizo rocoso, y huellas de dos deslizamientos (pequeños y delineados con color naranja en la [Figura 3.6](#)): uno calcado en la ladera oriental y otro en la sur. Particularidades, que permiten suponer que la apariencia final, en buena parte de las superficies, se retocaron con llenos y que el contacto entre estos últimos y el material rocoso es errático, en especial para el cinturón oriental.

La morfología al norte, es decir en los predios de la nunca materializada IV Etapa y del cinturón occidental de la III Etapa, es irregular y se recrea entre taludes de diversa altura, un pequeño circuito vial y restos de explanaciones y manchas vegetales. Los procesos de inestabilidad carecen de expresión en superficie, si subsisten fungen enmascarados, en contraprestación la erosión tienen cabida. La red de drenaje brilla por su ausencia. Y el dismantelamiento de las instalaciones de la ladrillera es progresivo, tan sólo permanecen algunas construcciones menores al occidente del predio: síntesis visible en la [Figura 3.6](#).

FIGURA 3.6 IMAGEN GOOGLE EARTH (2002)



### 3.6.7 AÑOS 2005 Y 2010 (FOTOS SATELITALES GOOGLE EARTH)

La primera (I) y la segunda (II) etapa de Buenavista tienen indudable expresión en este periodo. Las edificaciones poseen cuerpo cierto y completo, y los taludes al sur y al oriente, otrora reconfigurados con rellenos, se conservan incólumes, tanto así que la cubierta vegetal crece y se expande: las superficies desprotegidas en el 2005, están para 2010 colmadas de arbustos y pastos y los parches eriales se ciñen a los lotes de parqueo y al lindero destinado para la cuarta etapa (véanse la [Figura 3.7](#) y la [Figura 3.8](#)). Las señales de inestabilidad son inocuas o simplemente pasan desapercibidas.



**FIGURA 3.7 IMAGEN SATELITAL GOOGLE EARTH (2005)**



**FIGURA 3.8 IMAGEN SATELITAL GOOGLE EARTH (2010)**



### 3.7 HIDROGEOLOGÍA

#### 3.7.1 DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

Para describir el comportamiento hidrogeológico se utiliza la descripción litoestratigráfica esbozada en el numeral 3.4.1 de este capítulo y la percepción junto con el reconocimiento en campo. Los rellenos antrópicos seleccionados Qra3 y de patios Qra2 se comportan como acuíferos los paquetes sedimentarios que lo componen tienen las características petrofísicas pertinentes para poder no sólo almacenar agua sino también transmitirla con facilidad. Estos acuíferos son del tipo freático, pues el agua que almacena en su interior se encuentra a la presión atmosférica, lo que significa que, cualquier cambio sobre la superficie del terreno afectará el nivel de agua dentro del acuífero, aumentándolo o disminuyéndolo. Los llenos antrópicos de ladera: Qra1 y los llenos trasladados Qd1, Qd2 y Qd3, aunque al igual que los Qra2 y Qra3 son acuíferos freáticos, se diferencian de estos por sus mayores restricciones para transmitir el agua, restricciones soportadas en la matriz arcillosa.

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.

Las rocas de la formación Bogotá desempeñan el rol de acuitardos, ellas tienen capacidad de almacenar agua pero no pueden cederla con facilidad. Este es un comportamiento típico para formaciones compuestas por limos y arcillas. Los bancos de areniscas, pueden comportarse como acuíferos, pero confinados, dado que se encuentran sometidos a la presión que le ejercen las unidades suprayacentes. El compendio de las características hidrogeológicas para las unidades litológicas circunscritas en la propiedad de la urbanización se expresa en la Tabla 3.3.

**TABLA 3.3 DESCRIPCIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LAS UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS**

NOMBRE		DESCRIPCIÓN	COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO
RELLENOS ANTRÓPICOS QRA1, QRA2 Y QRA3		INVOLUCRAN PARTÍCULAS HASTA TAMAÑO BLOQUES DE ARENISCAS Y LODOLITAS, ESCOMBROS Y RESIDUOS SÓLIDOS EMBEBIDOS EN MATRIZ ARCILLOSA DE CONSISTENCIA MEDIA. SUS ESPESORES OSCILAN ENTRE LOS CENTÍMETROS Y LOS TRES METROS.	ACUITARDOS
RELLENOS ANTRÓPICOS QD1, QD2 Y QD3			
FORMACIÓN BOGOTÁ	TPB-L1, TPB-L2, TPB-L3 Y TPB-L4	ESTÁ CONSTITUIDO POR UNA SERIE DE ARCILLOLITAS Y LODOLITAS ABIGARRADAS DE APARIENCIA BIOTURBADA QUE ALTERNAN CON ARENISCAS DE CEMENTO ARCILLOSO. SU ESPESOR PUEDE ALCANZAR 20 METROS.	ACUITARDOS
	TPB-A1, TPB-A2 Y TPB-A3	ARENISCAS CUARZOSAS DE COLOR BLANCO, BLANCO AMARILLENTO Y AMARILLO, CEMENTO ARCILLOSO DE HASTA 4 METROS DE ESPESOR, ENTRE ESTOS SUBNIVELES YACEN LODOLITAS DE COLOR VIOLETA.	ACUÍFEROS CONFINADOS O SEMICONFINADOS



### 3.7.2 RELEVAMIENTO DE PUNTOS DE AGUA

Durante el reconocimiento de campo, se realizó un censo de puntos de agua (perforaciones, pozos de bombeo, manantiales, etc.) en el predio y áreas circunvecinas. De él no se identificaron pozos de bombeo ni freáticos, en su lugar se halla los vestigios del cauce de la cuenca al oriente de la propiedad, próximo al corredor ocupado por el paleodrenaje (véase el plano 5 y los numerales 3.6.1 y 3.6.2 de este capítulo) en el que la tabla de agua es estrictamente estacional, y por consiguiente variable, y por momentos está influenciada por las descargas en el tanque Los Alpes.

### 3.7.3 MOVIMIENTO DEL AGUA

Se define con base en las líneas de flujo subterráneo, que no son más que los trazos perpendiculares a las freáticas. El flujo superficial (en apariencia) descarga en las plataformas, receptora de las viviendas, e inferior, surcada por la carretera al Oriente.

El movimiento del agua, se hace a favor de la pendiente topográfica en sentido NW para las laderas orientales, y NE en las superficies libres del sur, parcialmente condicionado por la memoria hidrogeológica de los antiguos cursos de agua, extintos en la década de los 70 (véase el numeral 3.6.2). Los nichos de recarga del acuífero involucran los frentes más altos y los de descarga los más bajos. Prueba de ello es la recurrente infiltración en los apiques AP-2 y AP-7.

Todo lo anterior permite suponer que los estados de trabajo extremos máximos de los llenos antrópicos: involucran bien su saturación, es decir, el nivel freático en superficie, en especial en las masas movilizadas (Qd1, Qd2 y Qd3) y en los horizontes en los que se cimientan las viviendas, receptores del paleodrenaje; y los mínimos bien a 2 metros bajo la línea actual del terreno (cerca al contacto suelo-roca) o bien seco. Este último escenario deducido de la respuesta en las trincheras T-1, T-2, T-3 y T-4 y en los apiques AP-1, AP-3, AP-4 y AP-5, en los que la tabla de agua está ausente.

## 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 información secundaria, es decir en estudios regionales y locales que involucran al distrito capital. Información consolidada 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 4, catalogada como de Amenaza Sísmica Intermedia, y le fija como aceleración máxima horizontal a nivel de roca, Aa, 0.20g, para eventos con periodos de retorno de 475 años. La *Tabla 3.4* condensa y discrimina las fuentes simogénicas relevantes consideradas por la AIS (1996), su tipo de evento y su aporte a la amenaza.

**TABLA 3.4 FUENTES SISMOGÉNICAS PARA AMENAZA SÍSMICA EN BOGOTÁ**

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 – 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  $A_g$  y la mínima  $A_d$ , 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 las Etapas I y II de Buena Vista, está inmerso entre las Zonas Cerros y depósitos de ladera, y su aceleración (crítica) pico es de 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 Buenavista 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, Alto del Cabo y Yerbabuena, circunscritas en un radio de acción de 15 Km alrededor de la urbanización, con foco de poca profundidad y Magnitud máxima probable,  $M_s$ , 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 pequeño:  $T < 0.30$  seg.

**Fuente Intermedia**

Involucra 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,  $M_s$ , 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 de Buenavista Oriental 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: 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. relación de poisson, velocidad de corte y Módulo de corte máximo,  $G_{max}$ , y las curvas de amortiguamiento por material, entre otros, y c) la modelación; tal procedimiento está fuera de los alcances del estudio.

Bajo este panorama, los factores de amplificación,  $F_v$  y  $F_a$ , son tomados de fuentes secundarias: bien de Medvedev, 1965, o bien del NSR, 2010. En el primer caso  $F_v$  se asume igual a la unidad y  $F_a$  es una constante que toma valores entre 0.10 y 3.90, según el perfil lo domine rocas duras o depósitos antrópicos, respectivamente. La discriminación del conjunto de coeficientes se ilustra en la [Tabla 3.5](#).

**TABLA 3.5 FACTORES DE AMPLIFICACIÓN PARA DIFERENTES TIPOS DE SUELO (MEDVEDEV, 1965)**

NO	GRUPO DE ROCAS	SUELO TIPO NSR-10	FACTOR DE AMPLIFICACIÓN, $F_A$
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

Si la herramienta técnica recae en el 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:  $F_a$  y  $F_v$  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 casi en esencia por módulos cuaternarios, Qra1, Qra2, Qra3, Qd1, Qd2, Qd3 y de suelo residual, en caso alguno con espesor superior a los 3 metros, que descansan, espacialmente, sobre potentes bancos de lodolitas o arcillolitas, lo que indefectiblemente los clasifica dentro de perfiles Tipo B o D. La secuencia indiferenciada se describe a continuación:

- Depósitos antrópicos (Qra1, Qra2, Qra3, Qd1, Qd2 y Qd3): Son masas heterogéneas, que aglutinan cantos de areniscas, lodolitas y elementos cerámicos, y residuos sólidos (plásticos, zapatos, etc) en una matriz arcillosa. Los espesores típicos trasiegan desde los pocos centímetros hasta los tres metros.
- Suelos residuales (Tpb-L-sr y Tpb-A-sr): entrelaza suelos arcillosos a areno-arcillosos, con fragmentos arcillosos. Espacialmente subyace a los cuerpos antrópicos. En general su espesor es inferior a los 2 m y yacen con ángulos próximos a los veinticinco grados.
- Formación Bogotá: está marcada por secuencias de areniscas cuarzosas, con matriz arcillosa, de cementación moderada, lodolitas y arcillolitas están dispuestas en capas gruesas y muy gruesas (de 14 a 20 metros de espesor, de acuerdo con los sondeos realizados por otras fuentes –GIA, 2009- y la columna estratigráfica levantada) y configuran bancos hasta de 60 m (extraído de la secuencia en los dos primeros niveles).

### Los Coeficientes de Amplificación, Fa y Fv

Hacen referencia a los valores fijados en las figuras A.2.4-1 y A.2.4-2 de la NSR (2010). Acorde con los perfiles referidos atrás los coeficientes son:

- $F_a = F_v = 1.0$ , si se trata del perfil tipo B, y
- $F_a = 1.70$  o  $1.45$  y  $F_v = 2.00$  a  $2.05$ , en lo que atañe al Perfil Tipo D, según el coeficiente de aceleración máximo sea de  $0.20g$  o  $0.18g$ , respectivamente.

### Espectro de Diseño

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

$$S_a = 1.20 \cdot A_a \cdot F_v \cdot I / T$$

donde:

A<sub>a</sub>: es la aceleración máxima horizontal en roca

F<sub>v</sub>: 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 0.24g y 0.42g. El primer coeficiente toda vez que la secuencia sea exclusivamente rocosa, y el segundo en el irrestricto escenario del Cuaternario: llenos traslocados o fluviotorrenciales. La *Tabla 3.6* agrupa las aceleraciones máximas en superficie y las aceleraciones para diseño que se adoptan al amparo de este proyecto. Este tema será retomado en el capítulo 6 “Análisis de Estabilidad y Evaluación de Amenaza”.

**TABLA 3.6 ACCELERACIONES MÁXIMAS EN SUPERFICIE Y DE DISEÑO**

MATERIAL	TIPO DE SUELO NSR-10	FACTORES DE AMPLIFICACIÓN			ACCELERACIÓN EN SUPERFICIES SA			ACCELERACIÓN DE DISEÑO SA
		MEDVEDEV		NSR - 2010	MEDVEDEV (1965)	NSR (2010)	MSB (2010)	
		FA	FA					
QFT	D	1.20 A 1.60 (SE ADOPTA 1.40)	1.2	1.8	0.349 G	0.518 G	0.22 G	0.22 G
QRA1								
QRA2								
QRA3								
QD1								
QD2								
QD3								
TPB-A-SR								
TPB-L-SR								
TPB-A	B	0.7 - 1.10 (SE ADOPTA 1.0)	1.1	1.6	0.24 G	0.460 G	0.22 G	0.22 G
TPB-B	B	0.7 - 1.10 (SE ADOPTA 1.0)	1	1	0.24 G	0.24 G	0.22 G	0.22 G

## REFERENCIAS

- BRAVO L. ÁLVARO C. (2008) “DIAGNÓSTICO TÉCNICO DI-3944, BARRIO BUENAVISTA ORIENTAL”. DPAAE, COORDINACIÓN DE ASISTENCIA TÉCNICA. EVENTO 95599. BOGOTÁ D.C.
- CARO PEÑA, PABLO ENRIQUE. 1986. CONVENIO 200-86, DEPARTAMENTO ADMINISTRATIVO DE PLANEACIÓN DEL DISTRITO ESPECIAL DE BOGOTÁ.
- DE PORTA J.(1974) “LÉXICO ESTRATIGRÁFICO”. CENTRE NATIONAL DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE. PARÍS.
- HEWITT V. VÍCTOR M. (2009A) “DIAGNÓSTICO TÉCNICO DI-3996, BARRIO BUENAVISTA ORIENTAL”. DPAAE, COORDINACIÓN DE ASISTENCIA TÉCNICA. EVENTO 96939 – EMERGENCIA 2610. BOGOTÁ D.C.
- HEWITT V. VÍCTOR M. (2009B) “DIAGNÓSTICO TÉCNICO DI-3991, BARRIO BUENAVISTA ORIENTAL”. DPAAE, COORDINACIÓN DE ASISTENCIA TÉCNICA. EVENTOS 95992, 96633 Y 96851. BOGOTÁ D.C.
- HEWITT V. VÍCTOR M. (2008A) “DIAGNÓSTICO TÉCNICO DI-3848, BARRIO BUENAVISTA ORIENTAL”. DPAAE, COORDINACIÓN DE ASISTENCIA TÉCNICA. EVENTOS 91103, 94051 Y 94080. BOGOTÁ D.C.
- HEWITT V. VÍCTOR M. (2008B) “DIAGNÓSTICO TÉCNICO DI-3882, BARRIO BUENAVISTA ORIENTAL”. DPAAE, COORDINACIÓN DE ASISTENCIA TÉCNICA. EVENTO 94913. BOGOTÁ D.C.
- HIDROGEOLOGÍA Y GEOTECNIA LTDA. (2000). “ESTUDIO DE ZONIFICACIÓN DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA EN LOS BARRIOS TRIÁNGULO, TRIÁNGULO ALTO Y CORINTO DE LA LOCALIDAD DE SAN CRISTÓBAL, SANTA FE DE BOGOTÁ

D. C". FOPAE-DPAE. SANTA FE DE BOGOTÁ.

- GIA LTDA Y GEOCING LTDA. (2006). "ESTUDIO DE RIESGOS POR REMOCIÓN EN MASA, EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN Y DISEÑOS DETALLADOS DE MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN LOS BARRIOS EL CODITO, MIRADOR DEL NORTE, Y VILLA NIDIA DE LA LOCALIDAD DE USAQUÉN". DPAE. BOGOTÁ D. C.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO LUIS I Y OTROS (2004). "INGENIERÍA GEOLÓGICA". PEARSON PRENTICE HALL. MADRID.
- GUTIÉRREZ Y COLEGIAL. 1987. "GEOLOGÍA Y ASPECTOS GEOTÉCNICOS DE LA PARTE CENTRAL DEL SECTOR DENOMINADO "CIUDAD BOLÍVAR" EN EL DISTRITO ESPECIAL DE BOGOTÁ. TRABAJO DE GRADO. DEPARTAMENTO DE GEOCIENCIAS. UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA.
- IFCAYA (1988). "ESTUDIO GEOLÓGICO Y GEOTÉCNICO DE ALGUNOS SITIOS CRÍTICOS EN LOS BARRIOS GRAN COLOMBIA, TRIÁNGULO, CORINTO Y RAMAJAL". ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ, SECRETARÍA DE OBRAS PÚBLICAS. DIVISIÓN DE ESTUDIO. BOGOTÁ D. E.
- INGEOCIM LTDA.-UPES-FOPAE (1998). "ZONIFICACIÓN POR INESTABILIDAD DEL TERRENO PARA DIFERENTES LOCALIDADES EN LA CIUDAD DE SANTAFÉ DE BOGOTÁ D. C." MAPA GEOLÓGICO. BOGOTÁ D.C.
- INGEOMINAS (2003). "ASPECTOS GEOAMBIENTALES DE LA SABANA DE BOGOTÁ". INGEOMINAS. BOGOTÁ D. C.
- INGEOMINAS – UNIVERSIDAD DE LOS ANDES (1997). "MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA DE SANTA FE DE BOGOTÁ". CONVENIO INTERADMINISTRATIVO 01-93. SANTA FE DE BOGOTÁ D. E.
- JULIVERT, M. (1968). "LEXIQUE ESTRATIGRAPHIQUE INTERNATIONALE". VOL. V FASC. 4ª. PARIS.
- JULIVERT, M. (1961). OBSERVACIONES SOBRE EL CUATERNARIO DE LA SABANA DE BOGOTÁ. BOLETÍN DE GEOLOGÍA No. 7:5-36, BUCARAMANGA.
- PÉREZ HERNANDO (2007). "DIAGNÓSTICO TÉCNICO DI-3460, BARRIO BUENAVISTA ORIENTAL". DPAE, COORDINACIÓN DE ASISTENCIA TÉCNICA, BOGOTÁ D.C.
- REYES G. JOSÉ L. (2005) "DIAGNÓSTICO TÉCNICO DI-3996, BARRIO BUENAVISTA ORIENTAL". DPAE, COORDINACIÓN DE ASISTENCIA TÉCNICA, BOGOTÁ D.C.
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA (2006). "DIAGNÓSTICO GEOTÉCNICO Y ESTRUCTURAL DE 11 (ONCE) PROYECTOS DE VIVIENDA DE LA CAJA DE VIVIENDA POPULAR". INFORME FINAL. TOMO 8. URBANIZACIÓN: BUENAVISTA ORIENTAL III ETAPA. ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ. CAJA DE VIVIENDA POPULAR. BOGOTÁ D. C.
- VAN DER HAMMEN, T. (1955). "PLIOCENO Y PLEISTOCENO DEL ALTIPLANO DE BOGOTÁ Y ALREDEDORES". ANÁLISIS GEOGRÁFICOS No. 24. PUBLICACIÓN IGAC. BOGOTÁ.
- VAN DER HAMEN, T. (1995). "MEMORIA EXPLICATIVA DE LOS MAPAS DEL NEÓGENO Y CUATERNARIO DE LA SABANA DE BOGOTÁ". REVISTA ANÁLISIS GEOGRÁFICOS No. 24. IGAC. BOGOTÁ.
- VAN ZUIDAM, R. (1985). "AERIAL PHOTO-INTERPRETATION IN TERRAIN ANALYSIS AND GEOMORFOLOGIC MAPPING". INTERNATIONAL INSTITUTE FOR AEROSPACE SURVEY AND EARTH SCIENCES (ITC). NETHERLANDS.
- VILLAMIL V. TULIO I. (2008). "DIAGNÓSTICO TÉCNICO DI-3633, BARRIO BUENAVISTA ORIENTAL". DPAE, COORDINACIÓN DE ASISTENCIA TÉCNICA. EVENTO 86303. BOGOTÁ D.C.

## **CAPÍTULO 4**

# **ESTUDIO GEOTÉCNICO**

---

**ESTUDIO GEOTÉCNICO**

En este capítulo se muestran los resultados de las actividades de campo, laboratorio y oficina conducentes a la caracterización geomecánica de los materiales térreos, naturales y antrópicos, reinantes en las Etapas I y II de la Urbanización Buena Vista. Todas las actividades se retroalimentan para obtener un modelo geotécnico representativo del subsuelo útil, para las evaluaciones de estabilidad y de amenaza.

**4.1 INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO****4.1.1 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO****4.1.1.1 MÉTODO DE TRABAJO**

Contrario a las innegables, pero relativas, ventajas que se desprenden del vasto conocimiento del arreglo litoestratigráfico emanado de Buenavista Oriental III Etapa (soportado en la geología a escala de detalle y en el generoso tejido de sondeos, apiques y trincheras), aún se conserva un amplio y complejo acervo de interrogantes que envuelven su formación. Acervo surgido durante el 2009, aún vigente, y que justifica el programa de exploración y que deja en evidencia sus pretensiones. Propósitos que involucran: a) reconocer y transcribir, o en el peor escenario idealizar, más allá de lo evidente, la cobertura espacial (en extensión superficial y en profundidad) y el papel del cuaternario, en particular de los materiales antropogénicos, y de las actividades antrópicas precedentes (se destaca que el corredor, al igual que buena parte de la cuenca de la Quebrada Ramajal, hizo parte de un antiguo chircal) en el comportamiento reciente de las unidades de ladera y de las edificaciones (i.e de las viviendas), en particular dilucidar si los frentes de explotación tocan las fuertes pendientes y alturas del III Sector (próximas a la verticalidad y de orden superior a la decena de metros) y si los llenos alcanzan los potentes espesores (cercaos a los diez metros); b) dilucidar la participación del macizo rocoso y de los planos de discontinuidad, específicamente de la estratificación, en la gestación de las masas inestables: Buenavista en sus Etapas I y II, al igual que el otrora III sector, descansa en una ladera estructural; c) validar o replantear el patrón estructural y su función en la porción de la vertiente (receptora de la Urbanización), es decir en el comportamiento de los materiales y en la estabilidad de las superficies libres; las fuentes secundarias, entre ellas Ingeocim (1998), destacan la limpieza estructural, premisa que para GIA, contrario a los hallazgos del 2009, se antoja imprecisa, más aún por la proximidad de la falla de Bogotá; d) deducir los mecanismos de rotura, la posición de las superficies de deslizamiento y de la tabla de agua o de la cabeza de presión, elementos trascendentes para el estudio de la creación de nuevos focos de movimiento; y e) facilitar y coadyuvar en la exploración geológica.

FOPAE	GIA LTDA	<b>GIA-068-12</b>		CAP 4 - PÁG. 96	
VERSIÓN:	1			FECHA	14/01/13
ELABORÓ:	JALG	REVISÓ:	JALG	APROBÓ:	GIC



En este sentido y a fe de dar respuesta a tan generoso abanico de preguntas, el programa de investigación del subsuelo se define en concordancia con las facilidades y limitaciones otorgadas por la zona de estudio, adaptándose más a las segundas que potenciando las primeras, traducidas en el escaso número y extensión de los cortes o frentes expuestos, el amplio dominio de corredores duros (i.e. de vías, de parqueaderos, y antejardines afinados y embellecidos), y se soporta no sólo en la hipótesis de que morfoestructuralmente Buena Vista, en sus Etapas I y II, descansa en una ladera estructural regular y sin traslocaciones, aunque con algunos cambios en el azimut de buzamiento (inferiores a los treinta grados) y en el buzamiento (cercano a los diez grados), sino en el marco geológico revelado por GIA (2009): en el III Sector. Los sitios para la realización de las labores de exploración se seleccionaron cuidadosamente, y buscaron la mayor calidad en la información. El panorama descrito reveló 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 métodos indirectos, como la refracción sísmica, las tomografías y los sondeos geoelectrónicos verticales (SEV) se descartan como herramienta de apoyo, puesto que las expresiones morfométricas son escarpadas, la secuencia litoestratigráfica, es homogénea en todos los frentes de explotación (afloramientos); las variaciones estructurales brillan por su ausencia; el dominio espacial está gobernado por los depósitos antrópicos de matriz arcillosa y las lodolitas y arcillolitas de la Formación Bogotá. 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.

#### **4.1.1.2 MÉTODOS DIRECTOS**

La exploración se aborda en tres etapas. La primera está dirigida a la identificación y descripción básica de la secuencia estratigráfica y por ende a la ubicación y a la detección de la continuidad lateral y longitudinal de los horizontes de roca y suelo, y a la deducción de flujos locales de agua, en particular los asociados con los cauces borrados, que puedan incidir en la actividad de las masas potenciales. Está solventada mediante la toma de una columna estratigráfica y seis (6) trincheras; el levantamiento de datos estructurales; la ejecución de seis (6) apiques, en gran número destinados para reconocer el tipo y el suelo de cimentación de las viviendas, uno contiguo a la pata de uno de los deslizamientos y a la casa 126: el A-1, otro en la periferia de la casa 38: el A-2, otros tres en el borde nororiental de las Etapas I y II: el A-3, el A-4 y el A-6, y el restante en el predio baldío al suroccidente de la urbanización (nomenclado como el A-5) promovido para rastrear la continuidad del nivel de arenisca Tpb-A2; y el inventario de procesos.

La columna se destina y entrelaza las exposiciones del macizo rocoso a fe de: dilucidar el arreglo estratigráfico general, facilitar la toma de datos estructurales, abstraer evidencias cinemáticas de fallamiento (p.e. orientación de planos o estrías de falla), reconocer el estado del material y del macizo rocoso (para su clasificación) y tomar muestras inalteradas (exclusivamente de bloques); se efectúa perpendicular al rumbo de los estratos y en arreglo de oriente a occidente (condicionamiento fijado por el escenario de trabajo), de manera tal que se tuviera la mayor cobertura del orden litológico y el mejor barrido del patrón estructural.

Las trincheras se circunscriben a los límites oriental, sur y occidental del predio, una (1) en el primero, tres (3) en el segundo y uno en el tercero. Los levantamientos estructurales, resumidos en 135 registros, incluidos los de la III Etapa, se concentran en la toma de los datos representativos de las familias de discontinuidades en las exposiciones del macizo rocoso –es decir en los escarpes al norte de la urbanización. Tales datos

incluyen entre otros por menores, información sobre las tendencias generales de orientación: azimut de buzamiento y buzamiento, y las características físicas como: abertura, espaciamiento, rugosidad macro y micro, persistencia y relleno.

La segunda fase está basada en ocho (8) sondeos mecánicos, apodados desde el S-1 hasta el S-8, con avance bien de percusión y lavado o bien de rotación, dispuestos a lo largo de las superficies libres potencialmente móviles, en los cuerpos principales de los llenos: el S-1, el S-2, el S-3, el S-4, el S-7 y el S-8, y por fuera, pero en el marco de las urbanizaciones, los otros tres (el S-5, el S-6 y el S-9). Sus intenciones: relacionar las capas guías, es decir concluir acerca de la continuidad longitudinal (NE-SW) de la secuencia litoestratigráfica; deducir los cambios en la polaridad (premisa difícilmente validada) de los planos de estratificación; dilucidar la continuidad de las tendencias de falla -en especial las de rumbo-, hipótesis que desde su inicio carecía del soporte adecuado y con el pasar de los días perdió todo asidero; confirmar los espesores del cuaternario y las posiciones de las potenciales superficies de deslizamiento y de la cabeza piezométrica. 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 fijan como puntos de partida los niveles estratigráficos de las tres primeras perforaciones (entendidos éstos como condiciones y elementos de borde); premisas que explica y justifica la mayor profundidad de investigación en los sondeos S-4, S-5 y S-6, y en medida alguna su ubicación, con excepción del S-5, planteado inicialmente entre las edificaciones 130 y 133 pero desplazado por los reparos urbanísticos (es decir por los acabados en los antejardines) y de sus habitantes.

Aunque este análisis, en principio, despreció los saltos, probables pero jamás comprobados, provenientes de las fracturas, Vg. las fallas de rumbo, tuvo sus mayores réditos en la interpretación final, puesto que se desestimó cualquier corrección estratigráfica importante. Beneficio recibido gracias a la homogénea disposición del plano de estratificación: la consistencia estadística de los registros estructurales así lo confirman.

La tercera etapa encierra la participación de cuatro sondeos mecánicos (bautizados como: S-9, S-10, S-11 y S-18) y seis manuales (apodados: S-12, S-13, S-14, S-15, S-16 y S-17). Con estos elementos se pretendió completar los puntos ciegos dejados por los trabajos de las etapas previas y redondear la investigación sobre el modelo estructural, i.e. las fracturas. Se destina casi exclusivamente a los cuerpos antrópicos circunvecinos a la segunda etapa de la urbanización y asentados al oriente y al sur; uno y otro de trascendencia por ser los escenarios de mayor actividad morfodinámica y por su repercusión en los transeúntes y semovientes.

Así las cosas, el trabajo de exploración deja entrever que la secuencia estratigráfica es normal pero heterogénea; que enmarca variaciones laterales asociadas con el ambiente de depositación, con alternancia en el crecimiento del grano y del grado de litificación y con la formación de canales (materializados en el nivel Tpb-A2), sin dislocaciones ligadas a trazas o brechas de falla; y con disposiciones multicapa, configuradas en bancos espesos de lodolitas o arcillolitas (de más de 20 m de talle, baste con señalar el Tpb-L1 y el Tpb-L2), pero con predominio de las primeras y niveles, poco más o menos, de entre dos y cuatro metros de areniscas (Vg. la Tpb-A1, la Tpb-A3), entrelazados en sucesiones de estratificación gruesa de grano fino, bien seleccionadas, cuarzosas o de matriz arcillosa, irregular y discordantemente cubiertos por rellenos antrópicos, modalmente delgados, de entre uno y dos metros de espesor, pero que alcanzan, medida cuenta, los 6 metros (baste repasar la perforación S-10 en el *Anexo C.1*), y por suelos residuales (denominados así a la roca ligeramente meteorizada, representada por el horizonte IIB del perfil de meteorización de Deer y Patton (1971), discontinuos y con espesores inferiores al par de metros casi en exclusiva, o por depósitos

fluviotorrenciales (en nada cartografiados) que en caso alguno superan el metro de talla, restringidos a la parte alta de la cuenca (diagramada al oriente por fuera del polígono de estudio, véase el Plano 4), y a lo largo del antiguo cauce, hoy alterado o desaparecido, y que en adelante se llamará Quebrada Buenavista.

Los paquetes lodolíticos (o arcillolíticos) recorren la secuencia a profundidades variables, y sobrellevan parte de la responsabilidad en la generación de los deslizamientos, debido a la configuración geométrica del patrón estructural, en clara consonancia con la de la ladera (propios de una pendiente estructural), al estado de esfuerzos presente, a la alta posibilidad de alteración del material rocoso, y a su marcada exposición y comparecencia en las superficies libres. Cabe reseñar que en las unidades de investigación: apiques, trincheras y columnas, con excepción del A-2, 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; particularidad que ligada al reporte de la tabla de agua en las perforaciones S-1, S-2, S-3 y S-7, fijada alrededor del metro de profundidad (claro está después de inyectada), indican que el patrón hidrogeológico puede estar ligado a la variación estacional de las lluvias, aunque matizado por una posición superficial de la tabla de agua. Patrón reinante exclusivamente en los llenos, en particular por el papel como acuitardo (o sello) de las lodolitas.

En el Plano 4A se muestra la distribución en planta de las trincheras, los sondeos, las columnas, los apiques y los afloramientos superpuesta a la geología de superficie, en el Anexo D.1 se disponen los registros obtenidos representados en forma gráfica y en el Plano 4B los modelos geológico-geotécnicos. De igual manera, en la Tabla 4.1 se citan las coordenadas y profundidades de los sondeos mecánicos ejecutados, en la Tabla 4.2 los de los sondeos manuales, apiques y trincheras, y en la Tabla 4.3 la descripción de los horizontes detectados.

**TABLA 4.1 LOCALIZACIÓN DE LOS SITIOS DE EXPLORACIÓN DIRECTA DEL SUBSUELO: SONDEOS MECÁNICOS**

PUNTO DE EXPLORACIÓN	COORDENADAS		PROFUNDIDAD (M)	NIVEL FREÁTICO (M)
	NORTE (M)	ESTE (M)		
S-1	95552.3	99514.6	7.40	1.1
S-2	95526.0	99496.5	10.25	2.15
S-3	95512.0	99453.0	15.0	1.25
S-4	95535.8	99462.8	14	1.1
S-5	95578.5	99506.0	15	0.4
S-6	95609.4	99448.5	14.70	1.8
S-7	95532.8	99410.8	10.00	1.1
S-8	95582.7	99389.7	10	2.1
S-9	95690.0	99419.0	9.3	1.7
S-10	95498.9	99479.8	10.3	1.3
S-11	95568.5	99423.8	2.0	N.E.
S-18	95468.5	99434.5	0.7	N.E.

N.E: NO DETECTADO

**TABLA 4.2 LOCALIZACIÓN DE LOS SITIOS DE EXPLORACIÓN DIRECTA DEL SUBSUELO: SONDEOS MANUALES, APIQUES Y TRINCHERAS**

PUNTO DE EXPLORACIÓN	COORDENADAS		PROFUNDIDAD (M)	NIVEL FREÁTICO (M)
	NORTE (M)	ESTE (M)		
S-12	95556.4	99506.6	1.7	N.E.
S-13	95549.9	99499.2	1.5	N.E.
S-14	95531.1	99483.6	1.7	N.E.
S-15	95522.8	99467.8	1.5	N.E.
S-16	95531.8	99445.8	1.55	N.E.
S-17	95548.8	99423.3	1.5	N.E.
S-18	95468.5	99434.5	0.7	N.E.
A-1	95548.2	99450.6	1.0	N.E.
A-2	95574.5	99420.5	0.9	0.8
A-3	95602.3	99489.0	1.4	N.E.
A-4	95616.5	99473.0	1.1	N.E.
A-5	95580.0	99409.0	1.2	N.E.
A-6	95688.0	99420.5	0.8	N.E.
A-7	95654.0	99447.7	1.0	N.E.
TR- 1	95532.4	99461.5	3.0	N.E.
TR- 2	95543.7	99434.7	4.7	N.E.
TR- 3	95628.3	99371.3	2.5	N.E.
TR- 4	95566.1	99523.3	2.8	N.E.
TR- 5	95607.1	99424.7	0.9	N.E.
TR- 6	95568.9	99407.9	1.5	N.E.

N.E: NO DETECTADO

\*LAS COORDENADAS REPORTADAS ES DE LA CABEZA DE LA TRINCHERA.

**4.1.1.3 ENSAYOS DE CAMPO**

El avance en los sondeos, en los horizontes dominantes de suelo, se lleva a cabo mediante el ensayo de penetración estándar, SPT, éste se considera adecuado dado el carácter heterogéneo de los rellenos (principales exponentes en la cubierta superficial), predominantemente arcillosos y arcillo-arenosos, y la premisa de que el muestreo inalterado en este tipo de suelos se dificulta, planteamiento ratificado por el reducido número de testigos de esta índole obtenidos en los sondeos (exclusivamente mecánicos) durante las dos últimas etapas de la investigación del subsuelo. Asimismo, con el desarrollo del ensayo se consigue a la par, muestras alteradas (pero representativas) empleadas tanto para la clasificación como para la deducción de la

resistencia del material, a fe de constatar los contactos litológicos. El orden y la secuencia estratigráfica de cada uno de los sondeos aparece graficado en los registros de perforación dispuestos en el Anexo D.1.

**TABLA 4.3 DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES ESTRATIGRÁFICOS**

NIVEL	SÍMBOLO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1 y 2	Qd1, Qd2 y Qd3	Depósito de deslizamiento	Cantos y gravas gruesas y medias de areniscas cuarzosas, de colores amarillo o blanco, lodolitas y restos de ladrillos, embebidos en arcillas o arcillas arenosas. El depósito es matriz soportado; su humedad y su plasticidad son medias; su compresibilidad es baja; y su consistencia oscila entre media y firme. Su color muta de café oscuro (producto de la mezcla con niveles orgánicos) en el primer metro, a habano o rojo con manchas y lunares grises, negros y amarillos
3	Qra1	Relleno Antrópico 1	Depósito antrópico y heterogéneo compuesto por bloques y cantos centimétricos, decimétricos y esporádicos métricos, gravas gruesas y finas, subangulares de areniscas; lodolitas y cerámicos (v.g. ladrillos, baldosas, etc.), residuos sólidos y plásticos embebidos en arcillas, ligeramente arenosas. Su plasticidad y su humedad son medias, su compresibilidad es baja y su consistencia divaga de baja a media. La proporción de la fracción gruesa, en volumen, alcanza el 30%
4	Qra2	Relleno Antrópico 2	Involucra escombros y residuos sólidos, entremezclados con suelos limo-arenosos o areno-limosos, de consistencia o compacidad medias, aglutinados y compactados para la configuración de plataformas de parqueo y bloques y guijos de areniscas cuarzosas y lodolitas. Su espesor es inferior a los dos metros.
5	Qra3	Relleno Antrópico 3	Relleno seleccionado, heterogéneo areno-gravoso o areno-arcilloso de compacidad media a suelta y humedad baja. La componente gruesa está definida por gravas gruesas y medias de areniscas cuarzosas friables, y la fracción fina es arcillosa, de humedad baja y plasticidad media.
6	QTpb-L-sr	Suelo Residual Formación Bogotá	Reúne bloques, cantos y gravas gruesas de Lodolitas de color rojizo con vetas grises; su plasticidad es media, su humedad es baja y su resistencia es firme. Semeja al Horizonte IIB del perfil de meteorización de Deer y Patton (1971).
7	Tpb-L	Lodolitas de la Formación Bogotá	Son arcillolitas y lodolitas abigarradas de coloración violeta o roja, con trazas amarillas (o habanas) y grises. Los cambios de coloración parecen no estar relacionados con el grado de alteración o con el contenido de minerales ferruginos. Su resistencia es blanda; y se exponen en capas gruesas, de hasta 20 m. Integra cuatro niveles, diferenciados cartográficamente y rotulados como: Tpb-L1, Tpb-L2, Tpb-L3 y Tpb-L4.
8	Tpb-A	Areniscas de la Formación Bogotá	Secuencia de areniscas cuarzosas, granoderecientes pero con predominio del grano fino, masivas y de cemento arcilloso, intercaladas con los paquetes de arcillolitas. Sus colores son blanco, blanco-amarillento amarillo y rojo; son friables; el tamaño del grano varía de fino a medio y son bien seleccionadas (i.e. el grano es uniforme). La resistencia divaga de blanda a moderadamente dura; las capas no siempre son continuas (posiblemente resultado de la explotación) y sus espesores van desde los dos (2) metros (Tpb-A1 y Tpb-A2) hasta los cuatro (4) metros: Tpb-A3.

El ensayo se practica con equipo mecánico y pesa de 140 lb, el número de golpes registrado en campo ( $N_{45}$ ) fue 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:

$$N_i = C_N * N * \eta_1 * \eta_2 * \eta_3 * \eta_4$$

Ec. 4.1

En la que:

- $N_i$  : ES EL NÚMERO DE GOLPES CORREGIDO PARA UN DETERMINADO NIVEL DE TRANSMISIÓN DE ENERGÍA
- $C_N$  : RESPONDE AL FACTOR DE AJUSTE PARA TENER EN CUENTA EL ESFUERZO GEOSTÁTICO,  $\sigma'_v$ . SE EVALUA CON BASE EN LAS PROPUESTAS DE PECK, SEED, MEYERHOFF-ISHIHARA, LIAO-WHITMAN, SKEMPTON, SEDD-ISDRISS, SCHMERTMANN Y GONZÁLEZ, CUIDANDO SIEMPRE QUE ESTE FACTOR NO RESULTE MAYOR QUE 2. ESTOS VALORES POSTERIORMENTE SE PROMEDIAN.
- $\eta_1$  : HACE REFERENCIA AL 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%.
- $\eta_2$  : SIMBOLIZA EL FACTOR DE CORRECCIÓN POR LONGITUD DEL VARILLAJE.
- $\eta_3$  : ES EL FACTOR DE CORRECCIÓN POR LA PRESENCIA DE REVESTIMIENTO. COMO NO SE UTILIZÓ REVESTIMIENTO ALGUNO, EL FACTOR DE CORRECCIÓN ES 1.0.
- $\eta_4$  : SINTETIZA EL FACTOR DE CORRECCIÓN POR DIÁMETRO DE LA PERFORACIÓN. LOS DIÁMETROS DE LAS PERFORACIONES FUERON INFERIORES A 12 CM, POR LO CUAL EL FACTOR DE CORRECCIÓN ES 1.0

Con el fin de estimar los valores del ángulo de fricción equivalente,  $\phi_{eq}$ , se promedian los resultados obtenidos de las expresiones compiladas en adelante (constitutivas de la Tabla 4.4):

**TABLA 4.4 EXPRESIONES PARA CORRELACIONAR EL ÁNGULO DE FRICCIÓN A PARTIR DEL SPT**

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

Adicionalmente, y con el ánimo de evaluar cualitativamente los resultados del ensayo de penetración, en la Tabla 4.5 y en Tabla 4.6 se reseñan algunos criterios propuestos por Terzaghi y Peck (1968), que relacionan la resistencia a la penetración con la compacidad relativa en las arenas y con la consistencia en los suelos finos, respectivamente. La valoración de estas propiedades en los materiales encontrados también se relaciona en la Tabla 4.8. Nótese que el relleno antrópico (Qra1) y los rellenos antrópicos traslocados (Qd1, Qd2 y Qd3) se caracterizan por revelar consistencias entre blandas y medias; el suelo residual de la formación Bogotá por fijar estadios en firme, y la lodolita por posicionarse en dura.

**TABLA 4.5 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 4.6 RELACIÓN ENTRE LA CONSISTENCIA Y LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN

RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN, N (GOLPES/PIE)	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (Kg/cm <sup>2</sup> )	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

Para terminar, se estiman los parámetros  $c'$  y  $\phi'$  por tipo de material a partir de la propuesta de González, A.J. (1999) que consiste en graficar puntos ( $\sigma_v'$ ,  $\tau$ ) 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.

Así la ecuación de la envolvente de cada material se expone en la *Figura 4.1* y en la *Figura 4.2*, junto con los parámetros de resistencia, los que se resumen en la *Tabla 4.7*. 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), los registros de exploración del subsuelo y las propiedades físicas y geomecánicas resultantes de este mismo proceso. Adicionalmente, el procedimiento descrito se puede constatar en la *Tabla 4.8* y en la *Tabla 4.9*, que incluyen la normalización del ensayo (SPT).

TABLA 4.7 RESUMEN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA EN CONDICIÓN DRENADA A PARTIR DEL SPT

NO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	$\gamma$ (TON/M <sup>3</sup> )	COHESIÓN (TON/M <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)
1	QRA1, QRA2	RELLENOS ANTRÓPICOS Y RELLENOS ANTRÓPICOS TRASLOCADOS	2.12	0.30	29.3
2	TPB-L	LODOLITAS DE LA FORMACIÓN BOGOTÁ	2.28	0.00	44.0

#### 4.1.1.4 ENSAYOS DE LABORATORIO

Para la obtención de las propiedades físicas y mecánicas de las unidades de roca, de manera indirecta del macizo rocoso, de los rellenos antrópicos y de los suelos residuales, potenciales escenarios de movilización, se lleva a cabo un programa discreto de muestreo, en el que prevalece el barrido continuo, para la posterior caracterización en laboratorio de los especímenes extraídos: inalterados, tipo shelly (con diámetros entre 3 y 4 pulgadas y longitudes de hasta 0.30 m) y bloque (prismáticos e irregulares con aristas medias de 0.20 m, 0.40 m y 0.50 m) y alterados split spoon. En la *Tabla 4.10* se discrimina la cantidad y el tipo de ensayos de clasificación y resistencia ejecutados.

FIGURA 4.1 ENVOLVENTE Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA PROMEDIO PARA EL MATERIAL: QRA1 Y QRA2

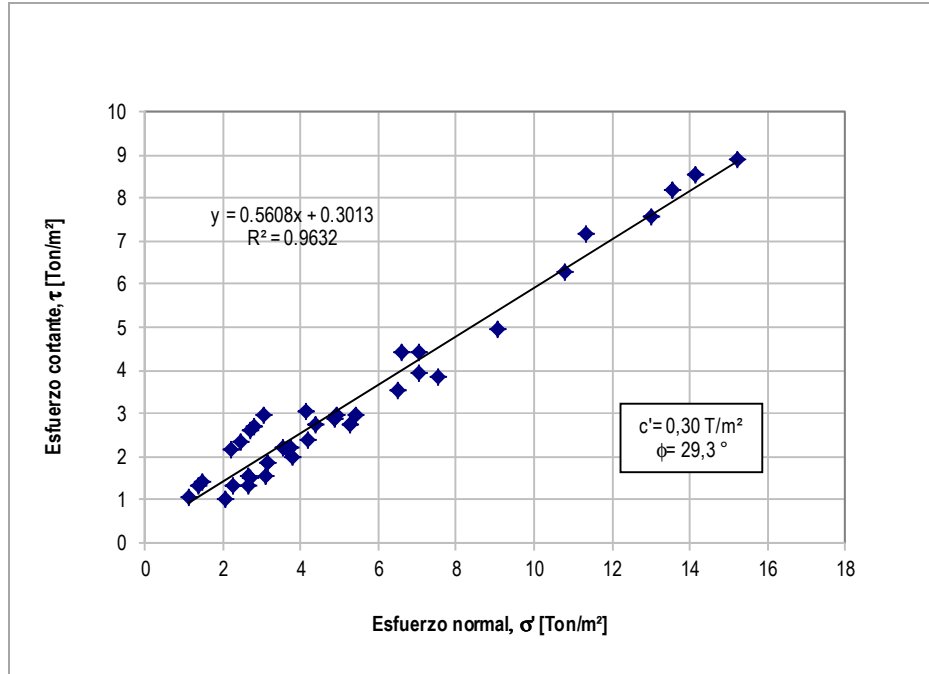


FIGURA 4.2 ENVOLVENTE Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA PROMEDIO PARA EL MATERIAL TPB-L

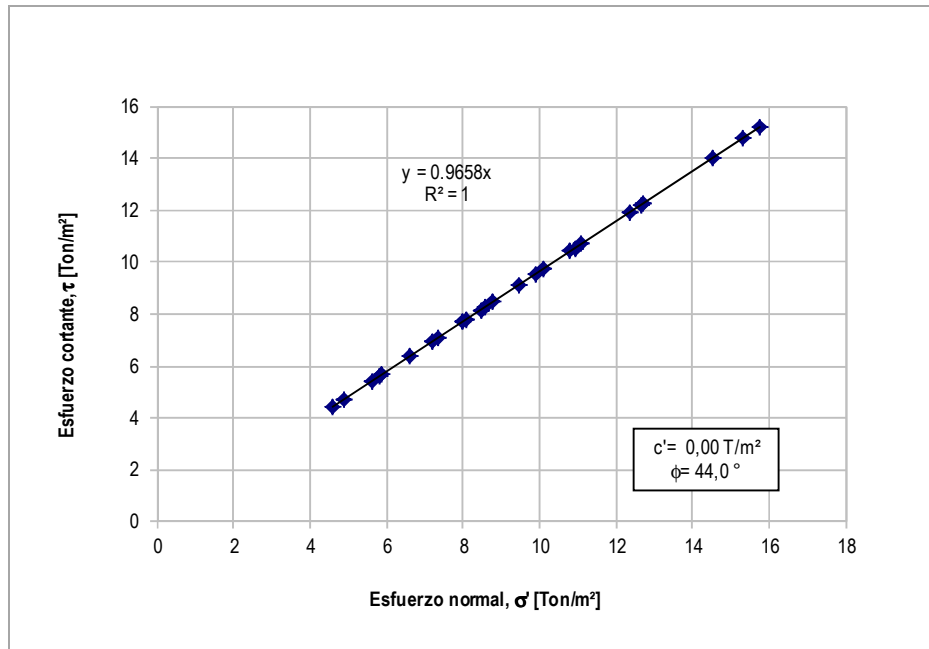




TABLA 4.8 NORMALIZACIÓN DEL SPT

Perf.	Muestra	Profundidad (m)			Golpes/pie			N <sub>45</sub>	NF	Tipo	γ (T/m <sup>3</sup> )	σ <sub>v</sub> (Ton/m <sup>2</sup> )	σ <sub>v</sub> ' (Ton/m <sup>2</sup> )	R <sub>v</sub>	C <sub>v</sub>								Consistencia o Compacidad	Sondeo-Muestra	Consecutivo	σ <sub>v</sub> ' (Ton/m <sup>2</sup> )	τ (Ton/m <sup>2</sup> )														
		de	a	Media	1	2	3								Peck	Seed	Meyerhoff-Ishihara	Liao-Whitman	Skempton	Seed-Idriss	Schmertmann	González						C <sub>v</sub> promedio	U.S.A.	Japón	η <sub>1</sub>	η <sub>2</sub>	η <sub>3</sub>	η <sub>4</sub>	N <sub>normalizado</sub>	φ equivalente					
S-1	2	1.15	1.60	1.375	2	3	4	7	1.1	2	2.12	2.44	2.39	0.26	1.445	1.723	1.763	1.946	1.582	1.816	2.000	1.578	1.732	0.75	0.63	0.75	1.00	1.00	6	5	25.00	29.38	23.66	28.80	28.50	26	Sueta	S-1-M-2	2	2.64	1.32
	3	1.60	1.87	1.735	18	>50	>50	1.1	3	2.27	3.70	3.06	0.31	1.395	1.642	1.689	1.807	1.531	1.724	1.979	1.514	1.660	0.75	0.63	0.75	1.00	1.00	50	50	46.62	49.18	42.39	45.00	42.00	44	Compacta	S-1-M-3	2	3.06	2.96	
	5	3.90	3.97	3.935	>50	>50	>50	1.1	3	2.26	8.67	5.84	0.58	1.180	1.292	1.324	1.309	1.263	1.330	1.474	1.234	1.301	0.75	0.63	0.75	1.00	1.00	50	50	46.62	49.18	42.39	45.00	42.00	44	Compacta	S-1-M-5	3	5.84	5.64	
	7	5.60	5.65	5.625	>50	>50	>50	1.1	4	2.28	12.52	8.00	0.80	1.075	1.121	1.133	1.118	1.111	1.137	1.229	1.097	1.128	0.75	0.63	0.85	1.00	1.00	50	50	46.62	49.18	42.39	45.00	42.00	44	Compacta	S-1-M-7	4	8.00	7.73	
												2.23	2.23		1.437	1.710	1.752	1.923	1.574	1.801	2.000	1.568	1.721	0.75	0.63	0.75	1.00	1.00	12	10	29.14	35.48	27.25	30.60	30.00	29	Media	S-2-M-2	2	2.70	1.51
S-2	2	1.05	1.50	1.275	5	6	7	13	2.15	2	2.12	2.70	2.70	0.27	1.328	1.533	1.582	1.634	1.455	1.602	1.826	1.427	1.548	0.75	0.63	0.75	1.00	1.00	15	13	31.12	37.55	28.96	31.68	30.90	31	Media	S-2-M-3	2	3.74	2.22
	3	1.55	2.00	1.775	6	8	10	18	2.15	2	2.05	3.74	3.74	0.37	1.259	1.421	1.465	1.473	1.389	1.475	1.662	1.337	1.432	0.75	0.63	0.75	1.00	1.00	50	50	46.62	49.18	42.39	45.00	42.00	44	Compacta	S-2-M-4	2	4.61	4.45
	4	2.05	2.40	2.225	10	12	>50	>50	2.15	2	2.12	4.68	4.68	0.46	1.113	1.184	1.204	1.185	1.168	1.208	1.318	1.147	1.191	0.75	0.63	0.85	1.00	1.00	50	50	46.62	49.18	42.39	45.00	42.00	44	Compacta	S-2-M-6	5	7.12	6.88
	6	4.20	4.67	4.435	10	16	>50	>50	2.15	5	2.14	9.41	7.12	0.71	1.052	1.084	1.092	1.080	1.077	1.095	1.178	1.067	1.091	0.75	0.63	0.85	1.00	1.00	50	50	46.62	49.18	42.39	45.00	42.00	44	Compacta	S-2-M-8	3	8.57	8.27
	8	5.70	5.80	5.750	>50	>50	>50	2.15	3	2.09	12.17	8.57	0.86	0.981	0.970	0.967	0.972	0.972	0.978	1.026	0.976	0.980	0.75	0.63	0.95	1.00	1.00	50	50	46.62	49.18	42.39	45.00	42.00	44	Compacta	S-2-M-10	4	10.57	10.21	
S-3	10	7.30	7.35	7.325	>50	>50	>50	2.15	4	2.28	15.75	10.57	1.06	0.926	0.879	0.872	0.895	0.889	0.911	0.914	0.903	0.899	0.75	0.63	0.95	1.00	1.00	50	50	46.62	49.18	42.39	45.00	42.00	44	Compacta	S-2-M-12	4	12.49	12.07	
	12	8.80	8.85	8.825	>50	>50	>50	2.15	4	2.28	19.17	12.49	1.25	0.881	0.806	0.799	0.837	0.824	0.857	0.829	0.845	0.835	0.75	0.63	1.00	1.00	1.00	50	50	46.62	49.18	42.39	45.00	42.00	44	Compacta	S-2-M-14	4	14.29	13.80	
	14	10.20	10.25	10.225	>50	>50	>50	2.15	4	2.28	22.36	14.29	1.43	1.113	1.184	1.204	1.185	1.168	1.208	1.318	1.147	1.191	0.75	0.63	0.75	1.00	1.00	13	11	29.83	36.22	27.85	30.96	30.30	30	Media	S-3-M-1	2	2.68	1.53	
												1.17	1.17		1.440	1.715	1.757	1.932	1.578	1.807	2.000	1.572	1.725	0.75	0.63	0.75	1.00	1.00	9	7	26.83	32.87	25.25	29.52	29.10	28	Sueta	S-3-M-4	2	3.80	1.99
												1.27	1.27		1.323	1.526	1.574	1.623	1.449	1.593	1.815	1.420	1.540	0.75	0.63	0.75	1.00	1.00	21	17	33.44	40.76	30.97	33.12	32.10	32	Media	S-3-M-5	2	4.36	2.77
S-4	2	1.05	1.25	1.150	17	>50	>50	2.2	2	2.12	2.44	2.44	0.24	1.277	1.451	1.497	1.515	1.393	1.509	1.706	1.361	1.464	0.75	0.63	1.00	1.00	1.00	17	14	31.73	38.74	29.49	32.04	31.20	31	Media	S-3-M-6	2	4.92	2.97	
	3	1.95	2.40	2.175	4	5	11	12.5	2	2.12	4.82	3.80	0.38	1.237	1.385	1.426	1.426	1.341	1.435	1.610	1.308	1.396	0.75	0.63	1.00	1.00	1.00	26	21	35.49	42.83	32.75	34.56	33.30	34	Media	S-3-M-7	2	6.40	4.42	
	4	2.05	2.50	2.275	6	6	5	11	12.5	2	2.12	5.88	4.36	0.44	1.139	1.226	1.250	1.241	1.205	1.255	1.377	1.181	1.233	0.75	0.63	0.75	1.00	1.00	26	21	35.49	42.83	32.75	34.56	33.30	34	Media	S-3-M-8	2	7.07	4.42
	5	2.55	3.00	2.775	10	11	15	26	12.5	2	2.12	5.88	4.36	0.44	1.116	1.188	1.208	1.189	1.172	1.212	1.324	1.151	1.195	0.75	0.63	0.75	1.00	1.00	20	16	32.89	40.29	30.49	32.76	31.80	32	Sueta	S-3-M-9	3	7.55	3.86
	6	3.05	3.50	3.275	7	8	9	17	12.5	2	2.12	6.94	4.92	0.49	1.094	1.153	1.168	1.151	1.140	1.172	1.273	1.122	1.159	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-10	3	9.29	5.91
S-5	7	4.55	5.00	4.775	12	19	19	38	12.5	2	2.12	10.10	7.07	0.71	1.025	1.040	1.044	1.038	1.037	1.045	1.119	1.032	1.047	0.75	0.63	0.75	1.00	1.00	17	14	31.73	38.74	29.49	32.04	31.20	31	Media	S-3-M-11	3	10.39	6.91
	8	5.05	5.50	5.275	11	15	15	30	12.5	2	2.18	11.10	7.07	0.71	0.987	0.979	0.977	0.981	0.981	0.985	1.038	0.983	0.989	0.75	0.63	0.75	1.00	1.00	25	20	35.00	42.45	32.32	34.20	33.00	34	Media	S-3-M-12	3	10.95	6.84
	8	5.05	5.50	5.275	11	15	15	30	12.5	2	2.18	11.10	7.07	0.71	0.970	0.951	0.947	0.955	0.954	0.964	1.002	0.960	0.963	0.75	0.63	0.75	1.00	1.00	19	16	32.89	39.80	30.49	32.76	31.80	32	Compacta	S-3-M-13	3	10.95	6.84
	9	5.55	6.00	5.775	7	6	6	12	12.5	3	2.09	12.07	7.55	0.75	0.927	0.882	0.875	0.897	0.891	0.913	0.917	0.905	0.901	0.75	0.63	0.75	1.00	1.00	50	50	46.62	49.18	42.39	45.00	42.00	44	Compacta	S-3-M-14	4	12.44	12.01
	10	7.05	7.50	7.275	6	12	18	36	12.5	3	2.14	18.48	10.95	1.10	0.862	0.775	0.768	0.813	0.796	0.835	0.794	0.820	0.808	0.75	0.63	0.75	1.00	1.00	50	50	46.62	49.18	42.39	45.00	42.00	44	Compacta	S-3-M-15	4	15.13	14.61
S-6	2	1.15	1.60	1.375	2	3	4	7	1.1	2	2.12	2.44	2.44	0.24	1.471	1.766	1.801	2.000	1.608	1.864	2.000	1.613	1.765	0.75	0.63	0.75	1.00	1.00	50	50	46.62	49.18	42.39	45.00	42.00	44	Compacta	S-4-M-2	2	2.44	2.35
	3	1.95	2.40	2.175	4	5	13	18	1.2	2	2.13	4.61	3.64	0.36	1.194	1.315	1.350	1.337	1.282	1.355	1.507	1.252	1.324	0.75	0.63	0.75	1.00	1.00	50	50	46.62	49.18	42.39	45.00	42.00	44	Compacta	S-4-M-4	4	5.60	5.41
	4	2.80	2.82	2.810	>50	>50	>50	2.2	4	2.28	6.21	5.44	0.56	1.733	2.000	2.000	2.000	1.800	2.000	2.000	1.954	1.936	0.75	0.63	0.75	1.00	1.00	50	50	46.62	49.18	42.39	45.00	42.00	44	Compacta	S-5-M-1	2	1.11	1.07	
	5	4.80	4.85	4.825	>50	>50	>50	0.4	5	2.14	6.03	3.61	0.36	1.340	1.554	1.603	1.665	1.470	1.624	1.855	1.443	1.569	0.75	0.63	0.75	1.00	1.00	50	50	46.62	49.18	42.39									

TABLA 4.9 NORMALIZACIÓN DEL SPT

Perf.	Muestra	Profundidad (m)			Golpes/pie			N <sub>45</sub>	NF	Tipo	γ (T/m <sup>3</sup> )	σ <sub>v</sub> (Ton/m <sup>2</sup> )	σ <sub>v</sub> ' (Ton/m <sup>2</sup> )	R <sub>i</sub>	C <sub>v</sub>							N <sub>normalizado</sub>							ϕ <sub>equivalente</sub>							Consistencia o Compacidad	Sondeo-Muestra	Consecutivo	σ <sub>v</sub> ' (Ton/m <sup>2</sup> )	γ (Ton/m <sup>3</sup> )	
		de	a	Media	1	2	3								N <sub>45</sub>	Peck	Seed	Meyerhoff-Ishihara	Liao-Whitman	Skempton	Seed-Idriss	Schmertmann	González	C <sub>v</sub> promedio	U.S.A.	Japón	Kishida	Schmertmann	JRB	Shiou & Fukui	JNR	ϕ <sub>prom</sub> (°)									
S-7	2	1.45	1.90	1.675	5	8	14	22	1.7	2	2.12	3.55	3.55	0.36	1.346	1.562	1.611	1.678	1.476	1.634	1.867	1.450	1.578	0.75	0.63	0.75	1.00	1.00	19	16	32.89	39.80	30.49	32.76	31.80	32	Media	S-7 M-2	2	3.55	2.22
	3	1.95	2.40	2.175	13	12	27	39	1.7	3	2.09	4.60	4.13	0.41	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	32	27	38.24	44.85	35.12	36.72	35.10	36	Media	S-7 M-3	3	4.13	3.03
	4	2.45	2.70	2.575	22	>50	>50	1.7	3	2.26	5.47	4.59	0.46	1.260	1.422	1.466	1.475	1.370	1.476	1.665	1.338	1.434	0.75	0.63	0.75	1.00	1.00	50	50	46.62	49.18	42.39	45.00	42.00	44	Compacta	S-7 M-4	3	4.59	4.44	
	6	4.50	4.70	4.600	27	>50	>50	1.7	4	2.28	10.08	7.18	0.72	1.110	1.180	1.199	1.180	1.164	1.203	1.311	1.144	1.186	0.75	0.63	0.85	1.00	1.00	50	50	46.62	49.18	42.39	45.00	42.00	44	Compacta	S-7 M-6	4	7.18	6.94	
	8	6.70	6.72	6.710	27	>50	>50	1.7	4	2.28	14.89	9.88	0.99	1.004	1.006	1.007	1.006	1.007	1.074	1.005	1.014	0.75	0.63	0.95	1.00	1.00	50	50	46.62	49.18	42.39	45.00	42.00	44	Compacta	S-7 M-8	4	9.88	9.55		
S-8	1	0.95	1.20	1.075	3	7	8	15	2.1	2	2.12	2.28	2.28	0.23	1.494	1.803	1.832	2.000	1.629	1.906	2.000	1.842	1.788	0.75	0.63	0.75	1.00	1.00	15	12	30.49	37.55	28.42	31.32	30.60	30	Media	S-8 M-1	2	2.28	1.33
	2	1.25	1.70	1.475	7	8	9	17	2.1	2	2.12	3.13	3.13	0.31	1.388	1.631	1.679	1.788	1.524	1.712	1.964	1.505	1.649	0.75	0.63	0.75	1.00	1.00	15	13	31.12	37.55	28.96	31.68	30.90	31	Media	S-8 M-2	2	3.13	1.65
	4	2.25	2.70	2.475	4	8	13	21	2.1	2	2.12	5.25	4.67	0.49	1.240	1.390	1.432	1.433	1.345	1.440	1.618	1.312	1.401	0.75	0.63	0.75	1.00	1.00	16	13	31.12	38.16	28.96	31.68	30.90	31	Suelta	S-8 M-4	2	4.67	2.89
	5	2.75	3.20	2.975	5	8	7	15	2.1	2	2.12	6.31	5.43	0.54	1.204	1.331	1.367	1.367	1.296	1.374	1.531	1.265	1.341	0.75	0.63	0.75	1.00	1.00	11	9	28.42	34.68	26.62	30.24	29.70	29	Compacta	S-8 M-5	2	5.43	2.98
	6	3.25	3.45	3.350	11	>50	>50	2.1	2	2.12	7.10	5.85	0.59	1.179	1.291	1.323	1.307	1.262	1.328	1.472	1.233	1.299	0.75	0.63	0.75	1.00	1.00	50	50	46.62	49.18	42.39	45.00	42.00	44	Compacta	S-8 M-6	2	5.85	5.65	
S-9	1	0.95	1.20	1.075	3	7	8	15	2.1	2	2.12	2.28	2.28	0.23	1.056	1.091	1.100	1.087	1.083	1.102	1.187	1.073	1.097	0.75	0.63	0.85	1.00	1.00	50	50	46.62	49.18	42.39	45.00	42.00	44	Compacta	S-8 M-8	4	8.46	8.17
	10	7.30	7.35	7.325	27	>50	>50	2.1	4	2.28	16.15	10.92	1.09	0.970	0.952	0.948	0.957	0.956	0.965	1.004	0.962	0.964	0.75	0.63	0.95	1.00	1.00	50	50	46.62	49.18	42.39	45.00	42.00	44	Compacta	S-8 M-10	4	10.92	10.55	
	12	8.40	8.45	8.425	27	>50	>50	2.1	4	2.28	18.66	12.33	1.23	0.930	0.886	0.879	0.900	0.896	0.916	0.922	0.909	0.905	0.75	0.63	0.95	1.00	1.00	50	50	46.62	49.18	42.39	45.00	42.00	44	Compacta	S-8 M-12	4	12.33	11.91	
	2	3.15	3.60	3.375	6	7	9	16	2.7	2	2.12	7.16	6.48	0.65	1.145	1.236	1.261	1.242	1.214	1.266	1.392	1.188	1.243	0.75	0.63	0.75	1.00	1.00	11	9	28.42	34.68	26.62	30.24	29.70	29	Suelta	S-9 M-2	2	6.48	3.55
	3	3.65	4.10	3.875	10	9	10	19	2.7	2	2.12	8.22	7.04	0.70	1.117	1.191	1.211	1.192	1.174	1.215	1.327	1.152	1.197	0.75	0.63	0.75	1.00	1.00	12	10	29.14	35.48	27.25	30.60	30.00	29	Media	S-9 M-3	2	7.04	3.94
4	4.10	4.20	4.150	10	>50	>50	2.7	4	2.28	8.81	7.36	0.74	1.103	1.167	1.184	1.166	1.152	1.188	1.323	1.133	1.173	0.75	0.63	0.85	1.00	1.00	50	50	46.62	49.18	42.39	45.00	42.00	44	Compacta	S-9 M-4	4	7.36	7.10		
S-10	1	0.75	1.21	0.980	2	3	4	7	4.3	2	2.12	2.08	2.08	0.21	1.019	1.032	1.034	1.029	1.029	1.036	1.107	1.025	1.039	0.75	0.63	0.85	1.00	1.00	50	50	46.62	49.18	42.39	45.00	42.00	44	Compacta	S-9 M-6	4	9.44	9.11
	2	1.25	1.70	1.475	8	10	7	17	4.3	2	2.12	3.13	3.13	0.31	1.525	1.853	1.873	2.000	1.656	1.962	2.000	1.882	1.819	0.75	0.63	0.75	1.00	1.00	7	5	25.00	30.68	23.66	28.80	28.50	26	Suelta	S-10 M-1	2	2.08	1.04
	3	1.75	2.20	2.475	7	8	8	16	4.3	2	2.12	4.19	4.19	0.42	1.388	1.631	1.679	1.788	1.524	1.712	1.964	1.505	1.649	0.75	0.63	0.75	1.00	1.00	15	13	31.12	37.55	28.96	31.68	30.90	31	Media	S-10 M-2	2	3.13	1.65
	4	2.25	2.70	2.475	8	6	5	11	4.3	2	2.12	5.25	5.25	0.52	1.291	1.473	1.520	1.545	1.410	1.533	1.738	1.376	1.486	0.75	0.63	0.75	1.00	1.00	13	11	29.63	36.22	27.65	30.96	30.30	30	Media	S-10 M-3	2	4.19	2.39
	6	4.05	4.20	4.125	5	8	9	17	4.3	2	2.12	9.06	9.06	0.91	1.215	1.350	1.388	1.381	1.312	1.395	1.559	1.280	1.360	0.75	0.63	0.85	1.00	1.00	9	7	26.83	32.87	25.25	29.52	29.10	28	Suelta	S-10 M-4	2	5.25	2.75
	7	5.55	6.00	5.775	13	10	11	21	4.3	2	2.12	12.24	10.77	1.08	1.033	1.063	1.058	1.050	1.049	1.060	1.136	1.043	1.060	0.75	0.63	0.85	1.00	1.00	11	9	28.42	34.68	26.62	30.24	29.70	29	Suelta	S-10 M-6	2	9.06	4.97
	8	6.05	6.50	6.275	13	10	11	21	4.3	2	2.12	12.24	10.77	1.08	0.973	1.003	0.957	0.954	0.963	0.970	1.014	0.968	0.971	0.75	0.63	0.95	1.00	1.00	14	12	30.49	36.91	28.42	31.32	30.60	30	Media	S-10 M-7	2	10.77	6.27
	10	7.55	8.00	7.775	10	11	12	23	4.3	2	2.12	16.48	13.01	1.13	0.958	0.932	0.928	0.940	0.938	0.950	0.979	0.946	0.946	0.75	0.63	0.95	1.00	1.00	21	17	33.44	40.76	30.97	33.12	32.10	32	Media	S-10 M-8	2	11.33	7.19
	11	8.05	8.50	8.275	19	18	11	29	4.3	2	2.12	17.54	13.57	1.36	0.912	0.857	0.850	0.877	0.869	0.895	0.888	0.886	0.886	0.75	0.63	0.95	1.00	1.00	14	12	30.49	36.91	28.42	31.32	30.60	30	Media	S-10 M-10	2	13.01	7.57
	12	8.55	9.00	8.775	13	15	14	29	4.3	2	2.12	18.60	14.13	1.41	0.898	0.834	0.827	0.859	0.849	0.878	0.861	0.867	0.859	0.75	0.63	0.95	1.00	1.00	17	14	31.73	38.74	29.49	32.04	31.20	31	Media	S-10 M-11	2	13.57	8.19
	13	9.55	10.00	9.775	9	11	14	25	4.3	2	2.12	20.72	15.25	1.52	0.885	0.812	0.805	0.841	0.829	0.862	0.836	0.850	0.840	0.75	0.63	0.95	1.00	1.00	17	14	31.73	38.74	29.49	32.04	31.20	31	Media	S-10 M-12	2	14.13	8.53
	14	10.05	10.30	10.175	8	>50	>50	4.3	4	2.28	21.60	15.72	1.57	0.859	0.771	0.764	0.810	0.792	0.831	0.790	0.817	0.804	0.75	0.63	1.00	1.00	1.00	15	12	30.49	37.55	28.42	31.32	30.60	30	Media	S-10 M-13	2	15.25	8.88	
	S-11	1	0.60	0.70	0.650	>50	>50	n.e.	2	2.12	1.38	1.38	0.14	0.849	0.754	0.748	0.797	0.777	0.819	0.772																					

TABLA 4.10 RELACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO URBANIZACIÓN BUENAVISTA, ETAPAS I Y II

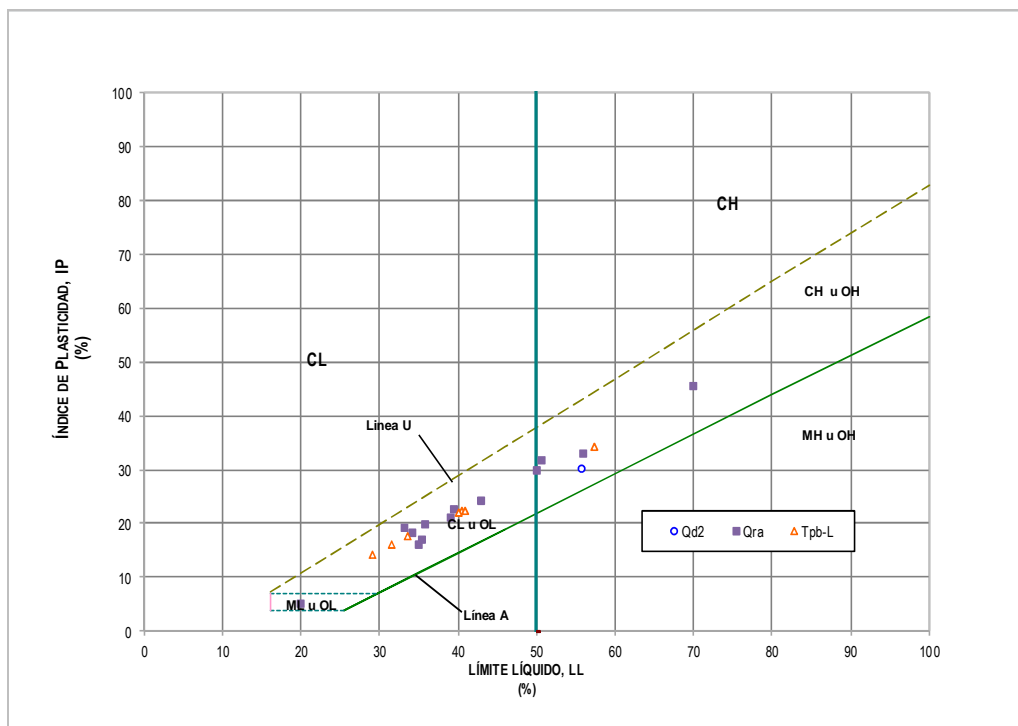
ENSAYO			CANTIDAD (Un)
WN	:	CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL	33
LL Y LP.	:	LÍMITES DE CONSISTENCIA	21
	:	GRANULOMETRÍA	13
Pt200	:	PASA TAMIZ NO. 200	16
Gs	:	GRAVEDAD ESPECÍFICA	5
$\gamma_r$	:	PESO UNITARIO TOTAL	35
	:	TRIAxIAL CU	1
	:	EXPANSIÓN LAMBE O EXPANSIÓN CONTROLADA	2
Cd	:	CORTE DIRECTO	14
$q_u(S)$	:	COMPRESIÓN INCONFINADA EN SUELO	6
$q_u(R)$	:	COMPRESIÓN SIMPLE EN ROCA	8
Cp	:	CARGA PUNTUAL	3
	:	RESISTENCIA A LA TRACCIÓN INDIRECTA O TRACCIÓN BRASILEIRA	4

Se hace especial hincapié en la toma de muestras en los paquetes lodolíticos de la Formación Bogotá, con el propósito de establecer tanto las propiedades físicas como mecánicas tanto del material como de los planos de discontinuidad (básicamente el de la estratificación), máxime si se considera que estos últimos pueden gobernar la estabilidad de buena parte de laderas. En cuanto al cuaternario reciente se le da mayor importancia a los rellenos antrópicos Qd1, Qd2, Qra1 y Qra2, puesto que presiden gran parte de las superficies libres y son los escenarios a priori móviles, y por consiguiente los de mayor condición de amenaza. La selección de los testigos, irradiada de las masas oriental, sur y suroccidental, busca cotejar (o corroborar) la premisa sustancial de la prevalencia de un único escenario de llenos, en el entendido que su respuesta geomecánica es homogénea e indiferente de su expresión geomorfológica hoy día. Supuesto validado por los parámetros efectivos,  $c'$  y  $\phi'$ , obtenidos y por su consistente representación en la carta de plasticidad (véase la [Figura 4.3](#)).

Los cortes directos, unívocamente CU, se adelantan en condición inundada, y 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 recrear en medida alguna la disipación de los excesos de presión de poros y los estados operativos previos a la falla, es decir de manera tal que los coeficientes de resistencia se aproximen lo más posible a los efectivos. Búsqueda en la que el ensayo triaxial, también CU, juega papel protagónico, no sólo por ser fuente de información de otros estados de falla sino como instrumento de ponderación de los cortes directos; tarea para la que se destina un corte en el mismo testigo del triaxial. Se ensayan muestras próximas a la superficie de deslizamiento de los cuerpos principales, en las masas inalteradas de los llenos y en el suelo de fundación de las edificaciones (viviendas).

Las muestras de roca, por excelencia de bloque: la T-2 M-1, la T-2 M-2; la T-3 M-1, la T-3 M-2, la T-3 M-3, la T-5 M-1 y la T-5 M-2, son precortadas de manera tal que el ensayo simule el papel del plano de estratificación (datado en el sitio como E1=288/30). Ellas responden a los dos horizontes expuestos de arenisca y a los más relevantes bancos de lodolita, el Tpb-L2 y el Tpb-L3 (catalogados así por su trascendencia en las décadas anteriores como fuentes de producción).

FIGURA 4.3 CARTA DE PLASTICIDAD



La expansión se destina casi exclusivamente a la deducción de los parámetros operativos del suelo de fundación en la urbanización (i.e. el lleno y la lodolita); no obstante, la fisuración de la masa repercutió en la repetición de los ensayos. A pesar del impasse, los esfuerzos de preconsolidación ( $\sigma'_p = 0.9 \text{ ton/m}^2$ ) y de expansión sugieren desde ya para las condiciones de carga de las viviendas (carga viva más carga muerta), próximos a las  $12 \text{ Ton/m}^2$  (para el ancho del cimiento de  $0.30 \text{ m}$ , abstraído de los auscultación de las viviendas), estados de trabajo en recompresión, que se traducen en asentamientos pequeños, e inocua incidencia de las deformaciones, por expansión o compresión, en el deterioro de las construcciones (aún cuando la humedad es inferior al límite plástico).

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, elementos trascendentes para la evaluación de amenaza, se acopian los resultados de laboratorio de áreas circunvecinas, gracias a que los materiales constitutivos son comunes en todas. Su importancia recae en mejorar la información estadística, en particular el universo muestral. En este sentido se recurre a los trabajos de Geingeniería (2000), Ingeniería y Geotecnia Ltda. (1995), Investigaciones Geotécnicas Ltda. (2000), Ingeniería y Georiesgos Ltda. (2005),

Geocing Ltda. (2007), Gia C. L. (2007), Hidrogeología y Geotecnia Ltda. (2000), Ifcaya (1998) y Gia C. L. (2009). Este último empleado en la determinación del espectro probable de los parámetros de resistencia por su relación genética y litoestratigráfica; tema que será tratado en el capítulo 6.

Las memorias de cálculo de los ensayos (geomecánicos) ordenadas por GIA C. L. se recopilan en el Anexo C.2, y los resultados de las pruebas de contenidos de humedad natural, límites de consistencia, pesos unitarios totales, tamizado, gravedad específica, compresión confinada, cortes directos, triaxial y expansión, entre otros, se sintetizan en la Tabla 4.11 y en la Tabla 4.12. Y los ensayos de laboratorio ordenados bajo el amparo de otros consultores pero que involucran a la formación Bogotá se compilan en la Tabla 4.14, en la Tabla 4.14, en la Tabla 4.15 y en el Anexo D.2.

## 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 yacen en las laderas de la urbanización, y que son detectados en los sondeos, en las trincheras, en los apiques y en las columnas. Se apoya en la caracterización planteada por GIA (2009), la que se complementa y adapta a los hallazgos en geología y en geotecnia, y al nuevo espectro de parámetros (dado por los resultados laboratorio). En resumen se tienen los siguientes tipos de materiales

- Material 1: Rellenos Antrópicos de Reconformación (Qra1 y Qra2)
- Material 2: Rellenos Antrópicos Traslocados (Qd1, Qd2 y Qd3)
- Material 3: Rellenos Antrópicos Seleccionados (Qra3)
- Material 4: Suelos Residuales ( $Q_{Tpb-L-sr}$ )

#### 4.2.1.1 MATERIAL 1: RELLENOS ANTRÓPICOS DE RECONFORMACIÓN, $Q_{RA1}$ Y $Q_{RA2}$

Aunque granulométricamente son disímiles, pues responden bien a arcillas-arenosas o a arcillas, de plasticidad y humedad variable entre baja y media, y de consistencia modalmente media, que entrelazan residuos sólidos de origen doméstico (ladrillos, plásticos y escombros) y bloque, cantos y gravas gruesas, subangulares, de areniscas cuarzosas y lodolitas, si se trata del Qra1; o bien fragmentos de areniscas, lodolitas y cerámicos (ladrillos, baldosines, etc) de tamaños gravas, guijos y cantos, embebidos en arenas-arcillosas o en arcillas-arenosas, pero con dominio de estas últimas, de compacidad media y ocasionalmente densa o de consistencia media, de baja plasticidad y humedad, en lo que atañe al Qra2; 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 designarán en adelante como un solo material, rotulado como Qra1.

Su espesor alcanza los 6 m en lo que se refiere al Qra1 (véanse las perforaciones: S-2, S-3, S-8 y S-10; los apiques A-1, A-2, A-3, A-5 y A-6 y la trinchera T-4); o variar entre los pocos centímetros y los dos (2) o tres metros (deducidos de la perforación S-18), si se trata del Qra2. Junto con el Qd1 y el Qd2, son el universo de materiales de mayor susceptibilidad, y los nichos de incubación de los procesos de inestabilidad. En la Tabla 4.16 se compilan algunos de sus parámetros geomecánicos.



TABLA 4.12 CARGA PUNTUAL

UNIDAD	ESPECIMEN No.	L (cm)	D (cm)	W (cm)	De (cm)	De2 (cm <sup>2</sup> )	P (Kgf)	Is (Kgf/cm <sup>2</sup> )	F <sub>corrección</sub>	Is <sub>50</sub> (Kgf/cm <sup>2</sup> )	Is <sub>50</sub> (Kgf/cm <sup>2</sup> )	σ <sub>u</sub> (Kgf/cm <sup>2</sup> )
Tpb-L2	1	6.60	4.80	4.60	5.30	28.11	30	1.30	1.03	1.33	2.85	68.37
	2	6.10	4.20	6.70	5.99	35.83	40	2.27	1.08	2.46		
	3	7.20	4.30	6.40	5.92	35.04	40	2.16	1.08	2.33		
	4	7.20	4.00	5.30	5.20	26.99	70	4.38	1.02	4.46		
	5	6.90	3.40	4.70	4.51	20.35	40	3.46	0.95	3.30		
	6	6.40	4.80	5.80	5.95	35.45	40	1.74	1.08	1.88		
	7	6.20	3.20	4.90	4.47	19.96	45	4.39	0.95	4.17		
Tpb-L	1	9.00	5.50	8.50	7.72	59.52	95	3.14	1.22	3.82	3.20	76.78
	2	8.50	6.00	8.50	8.06	64.94	100	2.78	1.24	3.45		
	3	8.80	5.30	8.40	7.53	56.68	80	2.85	1.20	3.43		
	4	7.10	5.20	9.00	7.72	59.59	90	3.33	1.22	4.05		
	5	7.11	5.90	9.50	8.45	71.37	80	2.30	1.27	2.91		
	6	7.40	5.22	9.00	7.73	59.82	40	1.47	1.22	1.79		
	7	5.50	5.22	7.10	6.87	47.19	60	2.20	1.15	2.54		
	8	5.30	4.20	6.50	5.90	34.76	50	2.83	1.08	3.05		
	9	8.50	5.00	8.10	7.18	51.57	80	3.20	1.18	3.77		
Tpb-L	1	9.00	5.50	8.50	7.72	59.52	95	3.14	1.22	3.82	3.20	76.78
	2	8.50	6.00	8.50	8.06	64.94	100	2.78	1.24	3.45		
	3	8.80	5.30	8.40	7.53	56.68	80	2.85	1.20	3.43		
	4	7.10	5.20	9.00	7.72	59.59	90	3.33	1.22	4.05		
	5	7.11	5.90	9.50	8.45	71.37	80	2.30	1.27	2.91		
	6	7.40	5.22	9.00	7.73	59.82	40	1.47	1.22	1.79		
	7	5.50	5.22	7.10	6.87	47.19	60	2.20	1.15	2.54		
	8	5.30	4.20	6.50	5.90	34.76	50	2.83	1.08	3.05		
	9	8.50	5.00	8.10	7.18	51.57	80	3.20	1.18	3.77		

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 4.13 RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO: OTROS CONSULTORES

SONDEO	MUESTRA	TIPO DE MUESTRA	MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)			USCS	W <sub>n</sub> (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IL	%G	%A	%F	γ <sub>t</sub> (Ton/m <sup>3</sup> )	γ <sub>d</sub> (Ton/m <sup>3</sup> )	G <sub>s</sub>	PT200 (%)	q <sub>u</sub> Penetrómetro (Kg/cm <sup>2</sup> )	q <sub>u</sub> ROCA (Kg/cm <sup>2</sup> )	q <sub>u</sub> suelo (Kg/cm <sup>2</sup> )	c' (Kg/cm <sup>2</sup> )	φ' (°)	c' residual (Kg/cm <sup>2</sup> )	φ' residual (°)	Expansión Lambe		C <sub>c</sub>	C <sub>r</sub>									
				de	a	media																					Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Estado											
1	1	SS	Qd1	0,00	0,45	0,23		13,60								2,07	1,82																						
	3	SS	Qd1	0,90	1,15	1,03										2,16																							
	4	SS	Qd1	1,35	1,80	1,58	CL	27,20	36,90	21,60	15,30	0,37	6,60	35,20	58,30				58,30																				
	5	SH	Qd1	2,20	2,70	2,45	CL	26,90	30,40	14,80	15,60	0,78				2,00	1,58	2,67					0,10	34,70															
	6	SH	Qd1	2,70	3,10	2,90																		0,23	29,20														
	7	SS	Qd1	3,10	3,55	3,33													2,78																				
	8	SH	Qd1	5,00	5,50	5,25	CL	24,10	35,00	19,20	15,80	0,31				2,08 - 2,11	1,67 - 1,70					0,244																	
	10	SH	Qd1	7,00	7,50	7,25	SC	20,60	25,90	14,60	11,30	0,53	11,60	41,50	46,80	1,99	1,65	2,75	46,80				0,20	15,70															
	11	SH	Qd1	8,50	8,65	8,58	CL	9,50	30,90	12,40	18,50	-0,16				2,01	1,84																						
	14	SH	Tpb-L1	10,00	11,00	10,50		12,60								2,24	1,99	2,64					0,30	30,40	0,10	29,60													
	15	SH	Tpb-L1	11,00	12,00	11,50										2,49																							
	2	2	SH	Qd1	0,50	1,00	0,75																																
		3	SH	Qd1	1,00	1,50	1,25	CL	18,00	30,70	16,00	14,80	0,14				1,96	1,66				0,191																	
		4	SH	Qd1	1,50	2,00	1,75		16,50								2,14	1,84				2,377																	
		5	SH	Qd1	2,00	2,50	2,25	CL	24,70	31,70	14,70	17,00	0,59				1,98	1,59	2,73				2,073																
6		SH	Qd1	2,50	3,00	2,75	CL	16,91	30,50	15,00	15,50	0,12				1,95	1,66	2,76																				0,178	0,039
7		SH	Qd1	3,00	3,50	3,25		20,60								2,04	1,69					1,954																	
8		SH	Qd1	3,50	4,00	3,75	CL	22,48	38,30	16,60	21,60	0,27				1,94	1,58	2,71					0,18	21,80															
9		SS	Qd1	4,00	4,45	4,23										2,15																							
10		NX	Qd1	5,00	5,60	5,30								100,00	0,00	0,00	2,36				0,00																		
11		SS	Qd1	5,60	6,05	5,83													2,74																				
13		NX	Tpb-A1	7,15	8,00	7,58								100,00	0,00	0,00					0,00																		
14		NX	Tpb-L2	8,10	9,00	8,55								0,80	35,70	63,50	2,19				63,50																		
3		3	SH	Qd2	1,00	1,50	1,25	CL	29,30	37,40	23,40	14,00	0,42				1,85	1,43				1,014																	
		4	SH	Qd2	1,50	2,00	1,75	CL	22,60	41,30	22,30	19,00	0,02				2,00	1,63	2,75			0,075																	
	5	SS	Qd2	2,00	2,45	2,23										1,95		2,75																					
	6	SH	Qd2	3,50	4,00	3,75	CL	20,70	29,80	15,00	14,80	0,39				2,06	1,71	2,67				0,211																	
	7	SS	Qd2	4,00	4,45	4,23										2,12																							
	8	SH	Qd2	5,00	5,50	5,25	CL	22,70	45,00	22,00	23,00	0,03				2,05	1,67					0,14	27,20	0,13	22,71														
	9	SS	Qd2	5,50	5,95	5,73	CL	21,50	44,40	21,00	23,50	0,02				2,03		2,74																					
	10	SH	Tpb-L1	7,00	7,30	7,15	CL	8,86	40,30	19,00	21,30	-0,48				1,91	1,75					0,50	40,96																
	11	SS	Tpb-L1	7,30	7,60	7,45		13,60								2,06	1,81																						
	4	3	NX	Tpb-L2	0,90	1,80	1,36		3,00							2,48	2,41																						
		4	NX	Tpb-L2	1,80	2,50	2,15									2,54						51,03																	
5		NX	Tpb-L2	2,50	3,40	2,96									2,50						53,47																		
6		NX	Tpb-L2	3,40	4,30	3,85		4,00							2,57	2,47					52,23																		

FUENTE: GIA C. L., (2009)



**TABLA 4.14 RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO: OTROS CONSULTORES (CONTINUACIÓN)**

SONDEO	MUESTRA	TIPO DE MUESTRA	MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)			USCS	W <sub>n</sub> (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IL	%G	%A	%F	γ <sub>t</sub> (Ton/m <sup>3</sup> )	γ <sub>d</sub> (Ton/m <sup>3</sup> )	G <sub>s</sub>	PT200 (%)	q <sub>u</sub> Penetrómetro (Kg/cm <sup>2</sup> )	q <sub>u</sub> ROCA (Kg/cm <sup>2</sup> )	q <sub>u</sub> suelo (Kg/cm <sup>2</sup> )	c' (Kg/cm <sup>2</sup> )	φ' (°)	c' residual (Kg/cm <sup>2</sup> )	φ' residual (°)	Expansión Lambe		C <sub>c</sub>	C <sub>r</sub>					
				de	a	media																					Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Estado							
5	2	SS	Qra1	1,20	1,65	1,43		20,10								2,16 - 2,20	1,80 - 1,83			2,80															
	3	SS	Qra1	1,70	2,15	1,93	CL	22,32	35,59	18,86	16,73	0,21	9,00	16,50	74,50	2,07 - 2,08	1,69 - 1,70		74,50	2,75															
	3A	SH	Qra1	2,30	2,60	2,45	CL	19,31	34,46	18,10	16,36	0,07				2,09	1,76			1,75			0,25	20,57											
	5	SS	Qra1	3,55	4,00	3,78	CH	35,38	54,43	25,74	28,69	0,34				1,91 - 1,93	1,41 - 1,43			2,90															
	6	SS	Tpb-L-sr	4,05	4,50	4,28																													
	7	SS	Tpb-L-sr	4,55	5,00	4,78	CL	14,56	36,10	18,28	17,82	-0,21				2,09	1,82			>4,5		3,184													
	8	SS	Tpb-L1	5,05	5,30	5,18		7,89									2,17 - 2,26	2,01 - 2,10			>4,5														
6	2	SS	Qra1	0,60	1,05	0,83	CL	10,77	37,10	17,69	19,41	-0,36				2,06 - 2,16	1,86 - 1,95																		
	3	SS	Qra1	1,55	2,00	1,78																													
	4	SS	Qra1	2,05	2,50	2,28	CL	11,30	34,40	17,86	16,54	-0,40				2,28 - 2,34	2,05 - 2,10																		
	5	SS	Qra1	2,55	3,00	2,78		6,79					0,00	1,80	98,20				98,20	>4,5															
	6	SS	Qra1	3,55	4,00	3,78																													
	7	SS	Qra1	4,05	4,50	4,28	CL	9,93	34,26	17,24	17,02	-0,43				2,02 - 2,13	1,84 - 1,94			1,70															
	8	SS	Qra1	5,50	6,00	5,75	CL	14,17	32,87	15,35	17,52	-0,07				2,07 - 2,15	1,81 - 1,88			2,50															
	10	NQ	Tpb-A2	6,12	6,80	6,46		5,25					0,00	9,70	90,30	1,97 - 2,11	1,87 - 2,01		90,30	>4,5															
	12	NQ	Tpb-L3	6,82	8,80	7,81																													
15	NQ	Tpb-L3	10,50	10,60	10,55		6,89									2,14 - 2,33	2,00 - 2,18																		
7	2	SS	Qra1	1,05	1,50	1,28		5,83								1,94 - 2,04	1,83 - 1,93																		
	4	SS	Qra1	2,05	2,50	2,28		8,09								2,17 - 2,27	2,01 - 2,10			>4,5															
	5	SS	Qra1	2,55	3,00	2,78																													
	6	SS	Tpb-L2	3,05	3,20	3,13		6,91								2,04 - 2,30	1,91 - 2,15																		
8	2	SS	Qra1	0,55	1,00	0,78	CL	13,22	40,91	16,87	24,04	-0,15				2,18	1,93			>4,5															
	4	SS	Qra1	1,55	2,00	1,78																													
	6	SS	Qra1	2,25	2,70	2,48		13,21					1,90	7,90	90,20	2,10 - 2,17	1,86 - 1,92		90,20	2,30															
	8	SS	Tpb-A2	3,25	3,70	3,48	CL	16,90	32,13	17,58	14,55	-0,05				2,12 - 2,17	1,81 - 1,86			>4,5															

FUENTE: GIA C. L., (2009).

TABLA 4.15 RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO: OTROS CONSULTORES (CONTINUACIÓN)

SONDEO	MUESTRA	TIPO DE MUESTRA	MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)			USCS	w <sub>o</sub> (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IL	%G	%A	%F	γ <sub>t</sub> (Ton/m <sup>3</sup> )	γ <sub>o</sub> (Ton/m <sup>3</sup> )	G <sub>s</sub>	PT200 (%)	q <sub>u</sub> Penetrómetro (Kg/cm <sup>2</sup> )	q <sub>u</sub> ROCA (Kg/cm <sup>2</sup> )	q <sub>u</sub> suelo (Kg/cm <sup>2</sup> )	c' (Kg/cm <sup>2</sup> )	φ' (°)	c' residual (Kg/cm <sup>2</sup> )	φ' residual (°)	Expansión Lambe		Cc	Cr				
				de	a	media																					Esfuerzo (Kg/cm <sup>2</sup> )	Estado						
9	2	SS	Qra1	1,15	1,60	1,38	CL	19,53	33,97	17,13	16,84	0,14				1,97 - 2,00	1,65 - 1,67			1,63														
	3	SS	Qra1	1,65	2,10	1,88																												
	4	SS	Qra1	3,05	3,50	3,28	CL	16,82	35,10	20,65	14,45	-0,27				1,90 - 2,01	1,63 - 1,72																	
	5	SS	Qra1	3,55	4,00	3,78																												
	6	SS	Qra1	4,05	4,50	4,28	CL	13,76	30,74	17,66	13,08	-0,30				2,02 - 2,11	1,78 - 1,86			1,70														
	7	SS	Qra1	5,55	6,00	5,78																												
10	2	SS	Qra1	0,55	1,00	0,78	CL	7,17	27,66	16,37	11,29	-0,81				2,13 - 2,19	1,99 - 2,04			2,10														
	4	SS	Qra1	1,55	2,00	1,78																												
	6	SS	Qra1	3,25	3,70	3,48	CL	17,24	36,16	19,83	16,33	-0,16				2,00 - 2,08	1,71 - 1,77			1,20														
	7	SS	Qra1	3,75	4,20	3,98																												
	8	SS	Qra1	4,55	5,00	4,78																												
	9	SS	Qra1	5,05	5,50	5,28	CL	13,33	33,54	16,62	16,92	-0,19				2,04 - 2,10	1,80 - 1,85			2,20														
11	NQ	Tpb-L3	6,07	7,90	6,99		3,16									2,40	2,33				47,50						1,12	Marginal						
11	2	SS	Qra1	0,45	0,90	0,68																												
	4	SS	Qra1	1,35	1,80	1,58	CL	14,70	38,20	18,90	19,30	-0,22				2,19	1,91																	
	6	SS	Qra1	2,25	2,70	2,48							15,60	25,40	59,00	2,07				59,00														
	8	SS	Tpb-L1	3,15	3,50	3,33	CL	19,30	35,10	18,10	16,90	0,07	12,10	21,10	66,70	2,10	1,76			66,70														
Ap2	1	BL	Qra1	0,30	0,60	0,45	CL	9,80	33,50	16,50	17,00	-0,39				2,19	1,99	2,68			1,87						0,57	No crítico	0,11	0,027				
Ap3	1	BL	Tpb-L-sr	0,50	0,80	0,65	CL	3,30	27,60	13,90	13,70	-0,77	0,00	11,10	88,90	2,54	2,46		88,90		107,00	0,16	24,10	0,04	23,05 (21,73)									
	2	BL	Qra1	0,10	0,40	0,25	CL	11,10	33,30	15,90	17,40	-0,28				2,21	1,99					0,39	25,70	0,23	25,70									
Ap5	1	BL	Qra1	1,10	1,50	1,30	CL	10,20	36,30	16,80	19,50	-0,34	0,60	13,00	86,40	2,15	1,95			86,40		2,54					0,74	No crítico						
Ap6	1	BL	Tpb-L2	0,30	0,65	0,48										2,49					103,00													
Ap8	1	SS	Qra1	1,40	1,60	1,50	CL	10,60	34,50	15,50	19,00	-0,26	0,00	12,10	87,90	2,33	2,18	2,70	87,90												0,081	0,03		
Ap9	1	BL	Tpb-L-sr	0,45	0,70	0,58	CL	9,70	32,50	15,70	16,80	-0,36				2,30	2,10						0,40	28,80	0,09	26,09								
	2	BL	Tpb-L2	0,70	1,00	0,85										2,48					44,00													
	3	BL	Qra3	0,30	0,40	0,35	SC	6,30	NL	NP			16,50	55,70	27,80				27,80															
T1	2	BL	Qra1	1,00	1,30	1,15	CL	29,40	45,90	21,60	24,30	0,32				1,93	1,49				1,46	0,18	28,50	0,06	34,00									
T4	1	BL	Qra1	-	-	-	CL	5,60	33,20	16,10	17,10	-0,61	6,20	19,60	74,20				74,20															
T5	1	BL	Tpb-L3	0,40	0,70	0,55										2,59					85,00													
E10	1	BL	Tpb-A1	-	-	-										2,10						0,19	30,30	0,12	30,00									
E11	1	BL	Tpb-A2	-	-	-										2,29					90,00	0,18	31,30	0,11	29,94									

FUENTE: GIA C. L., (2009)

TABLA 4.16 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 1: QRA1 Y QRA2

PROPIEDAD		VALOR	CALIFICACIÓN
Clasificación (USCS)		CL, CH	
Contenido de Humedad, w (%)		3.30*** - 35.38***	Bajo a medio
Límite Líquido, LL (%)		20.40 – 69.87	Baja a alta compresibilidad*
Índice de Plasticidad, IP (%)		5.05 – 45.38	Bajo a alto**
Gravedad Específica, Gs		2.59*** – 2.70***	
Peso Unitario Húmedo (Ton/m <sup>3</sup> )		1.80 - 2.28***	
Peso Unitario Seco (Ton/m <sup>3</sup> )		1.41*** - 2.46***	
Granulometría	G (%)	0 - 18.6	
	A (%)	4.6 – 41.2	
	F (%)	58.8 – 98.2***	
Resistencia a la Compresión Simple, q <sub>u</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )		0.550 – 4.310	Medio a muy firme
Coeficiente de Compresión, Cc		0.11***	
Coeficiente de Recompresión, Cr		0.03***	
Esfuerzo de Expansión (Kg/cm <sup>2</sup> )		0.09 - 0.74***	No crítico
Cohesión, c (Kg/cm <sup>2</sup> )		0.10 (CD, S10M5) - 0.50 (CD, T4-M1)	
Ángulo de Fricción, φ (°)		20.55 (CD, S3-M3) – 36.0 (CD, T4-M1)	
Cohesión Residual, c <sub>r</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )		0.00 (CD, T4-M1) – 0.06 (CD)***	
Ángulo de Fricción Residual, φ <sub>r</sub> (°)		23.05 (CD)*** – 27.7 (CD, T4-M1)	

\*FUENTE: GÓMEZ N. JOSÉ (2008). "NOTAS DE CLASE". \*\*FUENTE: SOWERS G. F. (1979), CITADO POR KULHAWY AND MAYNE (1990). \*\*\*GIA (2009)

#### 4.2.1.2 MATERIAL 2: RELLENOS ANTRÓPICOS TRASLOCADOS, Q<sub>D1</sub>, Q<sub>D2</sub> Y Q<sub>D3</sub>

Integran los cuerpos principales de los deslizamientos. Son matriz soportados, mal gradados, arcillosos e idénticos en su composición y en sus propiedades índice al Qra1, pero difieren de él en los parámetros de resistencia, los que están más ligados a los residuales. El deterioro de las masas parece ratificarlo. Su espesor toca los 2.00 metros; sus colores dominantes son el café, habano o el rojo, aunque encierra diversidad de matices: negros, rojos, violeta y grises, representados en vetas, manchas o lunares; su consistencia oscila entre media y firme, su compresibilidad y su plasticidad oscilan entre baja y alta, y se clasifican como CH o CL. En la [Tabla 4.17](#) se relacionan sus características más relevantes.

#### 4.2.1.3 MATERIAL 3: RELLENOS ANTRÓPICOS SELECCIONADOS, QRA3

Bajo esta designación se conjugan las acumulaciones de material seleccionado, compactado al 90% del proctor modificado, que dan vida a la estructura de pavimento de la calle 31 sur. Yacen cubiertas por una capa de concreto, pormenor que inhibió su investigación geotécnica. Son areno-gravosos, bien gradados, su humedad es baja y su compacidad es densa. Descansan en rampas con 13% de pendiente distantes del alto

relieve. Su peso unitario es cercano a los 1.80 Ton/m<sup>3</sup> y sus coeficientes de resistencia pueden fijarse en:  $c'=0$  Ton/m<sup>2</sup> y  $\phi'=32^\circ$  (datos asumidos). Algunos de sus parámetros se relacionan en la [Tabla 4.18](#).

**TABLA 4.17 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 2: QD1, QD2 Y QD3**

PROPIEDAD		VALOR	CALIFICACIÓN
Clasificación (USCS)		CH, CL***	
Contenido de Humedad, w (%)		9.50*** – 29.30***	Bajo a medio
Límite Líquido, LL (%)		25.9*** – 55.8	Baja a alta compresibilidad*
Índice de Plasticidad, IP (%)		11.30*** - 30.10	Bajo a alta*
Gravedad Especifica, Gs		2.67*** - 2.76***	
Peso Unitario Húmedo (Ton/m3)		1.85*** - 2.12	
Peso Unitario Seco (Ton/m3)		1.43*** - 1.88	
Granulometría	G (%)	1.70 – 11.60***	
	A (%)	21.61 - 41.50***	
	F (%)	46.80*** – 76.68	
Resistencia a la Compresión Simple, $q_u$ (Kg/cm <sup>2</sup> )		0.191*** – 3.260	Muy blanda a muy firme
Coeficiente de Compresión, Cc (Kg/cm <sup>2</sup> )		0.18***	
Coeficiente de Recompresión, Cr		0.04***	
Cohesión, c (Kg/cm <sup>2</sup> )		0.06 (SPT)*** – 0.40 (CD, T1-M1)	
Ángulo de Fricción, $\phi$ (°)		15.70 (CD)*** - 34.70 (CD)***	
Cohesión Residual, $c_r$ (Kg/cm <sup>2</sup> )		0.00 (CD, T1-M1)	
Ángulo de Fricción Residual, $\phi_r$ (°)		30.80 (CD, T1-M1)	

\* FUENTE: GÓMEZ N. JOSÉ (2008). \*\* FUENTE: SOWERS G. F. (1979), CITADO POR KULHAWY AND MAYNE (1990). \*\*\*GIA (2009)

**TABLA 4.18 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 3: QRA3**

PROPIEDAD	VALOR	CALIFICACIÓN
Clasificación (USCS)	SC***	
Contenido de Humedad, w (%)	6.30***	Bajo*
Límite Líquido, LL (%)	NL***	No líquido
Índice de Plasticidad, IP (%)	NP***	No plástico
Peso unitario Húmedo (Ton/m <sup>3</sup> )	1.90***	
Peso Unitario Seco (Ton/m <sup>3</sup> )	1.63***	
Cohesión, c (Kg/cm <sup>2</sup> )	0***	
Angulo de Fricción, $\phi$ (°)	32***	

\* FUENTE: GÓMEZ N. JOSÉ (2008). \*\*\*GIA (2009)

#### 4.2.1.4 MATERIAL 4: SUELOS RESIDUALES Q<sub>TPB-L-SR</sub>

Si bien genéticamente provienen de materiales diferentes, la composición de su matriz –predominantemente arcillosa-, y la similar respuesta mecánica del esqueleto mineral permitieron agruparlos como un solo material. Responden a suelos arcillosos, o cantos y gravas gruesas, subangulares, de lodolitas y arcillolitas, propios de los horizontes IC y IIB, respectivamente, de Deer y Patton (1971). Reposan en pequeños espacios discriminados al azar en la urbanización, cubiertos por los rellenos antrópicos de reconfiguración en capas de menos de hasta seis metros, según lo ratifican las perforaciones S-3, S-6, S-7 y S-9. Exhiben colores rojo o violeta con manchas habanas y grises. Tienen plasticidad media, humedad de baja a media y consistencia dura, y se clasifican como CL. En la *Tabla 4.19* se definen sus parámetros relevantes.

TABLA 4.19 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 4: Q<sub>TPB-L-SR</sub>

PROPIEDAD	VALOR	CALIFICACIÓN
Clasificación (USCS)	CL ***	
Contenido de Humedad, w (%)	9.93*** – 14.56***	Medio*
Límite Líquido, LL (%)	33.30*** – 36.10***	Medio*
Índice de Plasticidad, IP (%)	17.02*** – 17.82***	Medio**
Peso Unitario Húmedo (Ton/m <sup>3</sup> )	2.02*** – 2.48***	
Peso Unitario Seco (Ton/m <sup>3</sup> )	1.82*** – 1.99***	
Resistencia a la Compresión Simple, q <sub>u</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	3.184***	Muy firme
Cohesión, c (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.39*** (CD)	
Ángulo de Fricción, φ (°)	25.70*** (CD)	
Cohesión Residual, c <sub>r</sub> (Kg/cm <sup>2</sup> )	0.16*** – 0.40***	
Ángulo de Fricción Residual, φ <sub>r</sub> (°)	24.10*** – 28.80***	

\* FUENTE: GÓMEZ N. JOSÉ (2008). \*\* FUENTE: SOWERS G. F. (1979), CITADO POR KULHAWY AND MAYNE (1990). \*\*\*GIA (2009)

#### 4.2.2 MACIZO ROCOSO

Está integrado por las unidades líticas de la Formación Bogotá, principalmente por intercalaciones de lodolitas y areniscas diseminadas a lo largo y ancho de las superficies libres. Sus espesores variables en esencia, divagan desde el metro hasta los 20 metros o más (expresión marcada por las unidades Tpb-L<sub>2</sub> y Tpb-L<sub>3</sub>). 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

###### 4.2.2.1.1 Material 5: Lodolitas de la Formación Bogotá, T<sub>PB-L</sub>

En esta denominación se integran cuatro grandes horizontes de arcillolitas y lodolitas (algo arenosas), algunas de composición silícea, diferenciados en su litología y en su grado de litificación y denominados Tpb-

L1, Tpb-L2, Tpb-L3 y Tpb-L4. Su color es violeta o rojo con vetas gris o gris con manchas y vetas rojas o violetas. Son de humedad baja a media y de resistencia blanda a moderadamente blanda.

Enmarcan buena parte de la columna estratigráfica y la base de los sondeos S-1 a S-9, S-11, S-12, S-13, S-14, S-15, S-16 y S-17. En otras palabras son los elementos constitutivos por excelencia de todas las laderas vertientes. Son los cuerpos rocosos de mayor resistencia y de mayor potencial de degradación; su ángulo de fricción básico bordea los veintinueve grados y su respuesta mecánica está regida por los planos de discontinuidad, especialmente por la estratificación. Son los receptores de los potenciales procesos de inestabilidad, y en ellos se esculpen los cortes de mayor altura.

A pesar de las diferencias constitutivas, sus propiedades mecánicas y algunas físicas como el color y el tipo de matriz, parecen responder a un mismo universo, salvo por sutiles cambios en el ángulo de fricción. La Tabla 4.20 condensa algunas de las más importantes.

**TABLA 4.20 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 5: TPB-L**

PROPIEDAD		VALOR	CALIFICACIÓN
Clasificación (USCS)		CL, CH	
Contenido de Humedad, w (%)		3.0 – 22.5	Bajo a medio
Límite Líquido, LL (%)		N.L.*** – 57.30	Baja a alta compresibilidad
Índice de Plasticidad, IP (%)		14.18 – 34.40	Media a alta
Gravedad Específica, Gs		2.64 – 2.67	
Peso Unitario Húmedo (Ton/m <sup>3</sup> )		2.02 – 2.59***	
Peso Unitario Seco (Ton/m <sup>3</sup> )		1.63 – 2.47***	
Granulometría	G (%)	0.00 - 12.10***	
	A (%)	1.50 – 35.70***	
	F (%)	63.50*** – 98.50	
Resistencia a la Compresión Simple, $\sigma_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )		1.93 – 98.08	Blanda a dura*
Resistencia a la Tracción (Kg/cm <sup>2</sup> )		5.20 – 16.61	
Esfuerzo de Expansión (Kg/cm <sup>2</sup> )		1.12***	Marginal**
Cohesión, c (Kg/cm <sup>2</sup> )		0.06 (CD, T5-M1) – 0.68 (CD, T5-M3)	
Ángulo de Fricción, $\phi$ (°)		20.00 (T5-M1) – 48.64 (CD, T5-M3)	
Cohesión Residual, $c_r$ (Kg/cm <sup>2</sup> )		0.00 (CD, T3-M3) – 0.39 (T5-M3)	
Ángulo de Fricción Residual, $\phi_r$ (°)		11.5 (T5-M1) – 28.1 (CD, S1M8)	

\* FUENTE: ISRM (1981), CITADO POR GONZÁLEZ DE VALLEJO (2004). \*\* FUENTE: INVIAS (2007). \*\*\*GIA (2009)

#### 4.2.2.1.2 **Material 6: Areniscas de la Formación Bogotá, T<sub>PB-A1</sub>, T<sub>PB-A2</sub> y T<sub>PB-A3</sub>**

Son cuarzosas, friables, de colores blanco amarillento o rojo; el tamaño del grano pasa de medio a fino, su grado de selección es bueno, su matriz es arcillosa, su humedad es baja y su resistencia es blanda (ISRM,

1981, citado por González Vallejo, 2004). Debido a su posición estructural; al espacio limitado donde trabajan; a la morfometría en general, definida por la explotación minera (véase el *Plano 4*), ni coadyuvan, ni son gestoras de los procesos morfodinámicos (véase los *Planos 4A* y *4B*). El resumen de sus características geomecánicas básicas se acopia en la *Tabla 4.21*.

**TABLA 4.21 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 6: TPB-A**

PROPIEDAD		VALOR	CALIFICACIÓN
Contenido de Humedad, w (%)		6.30 (C2M1)	
Peso Unitario Húmedo (Ton/m <sup>3</sup> )		1.97*** – 2.29***	
Peso Unitario Seco (Ton/m <sup>3</sup> )		1.91 (C2M1)	
Granulometría	G (%)	100***	
	A (%)	0***	
	F (%)	0***	
Resistencia a la Compresión Simple, $\sigma_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )		98.10*** – 151.05***	Blanda*
Cohesión, c (Kg/cm <sup>2</sup> )		0.18*** – 0.40 (CD, C2M1)	
Ángulo de Fricción, $\phi$ (°)		30.3*** – 31.3***	
Cohesión Residual, $c_r$ (Kg/cm <sup>2</sup> )		0.08*** – 0.29 (CD, C2M1)	
Angulo de Fricción Residual, $\phi_r$ (°)		30.0*** – 51.0 (CD, C2M1)	

\* FUENTE: ISRM (1981). \*\*\*GIA (2009)

#### 4.2.2.2 DISCONTINUIDADES

##### **Descripción Geométrica y física (adaptado de GIA, 2009)**

Las discontinuidades son descritas a partir de la información obtenida de los afloramientos, y de las columnas estratigráficas (denominados aquí estaciones de levantamiento estructural), 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 los 144 datos estructurales (orientación y buzamiento de estratificación y diaclasas) con una cobertura de diecisiete (17) estaciones, incluidas las del III Sector (GIA, 2009), concentradas en los frentes expuestos. El inventario de los datos obtenidos y las características de las discontinuidades asociadas con ellos, están compilados en el *Anexo C.2*.

La totalidad de las mediciones es interpretada mediante sus polos y sus vectores directores, con la red de proyección Equiangular y una hoja de cálculo, según la ubicación de las estaciones, la geología, la tendencia de la información y el tipo de dato. El procesamiento de los datos estructurales se adelanta gracias a la aplicación de los métodos de círculo flotante y vectorial (véase la *Figura 4.4*). De allí es posible precisar la tendencia general de las familias de discontinuidad y concluir que las laderas vertientes pertenecen a una única región estructural o subdominio, constituido por seis familias de discontinuidades, incluida la estratificación, representadas por sus promedios así:  $E_1= 288/30$ ,  $D_2= 81/60$ ,  $D_3= 56/57$ ,  $D_4= 32/78$ ,  $D_5= 16/56$ ,  $D_6= 250/86$ . El resumen de las familias obtenidas se recopila en la

Figura 4.5.

FIGURA 4.4 ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE LAS FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES

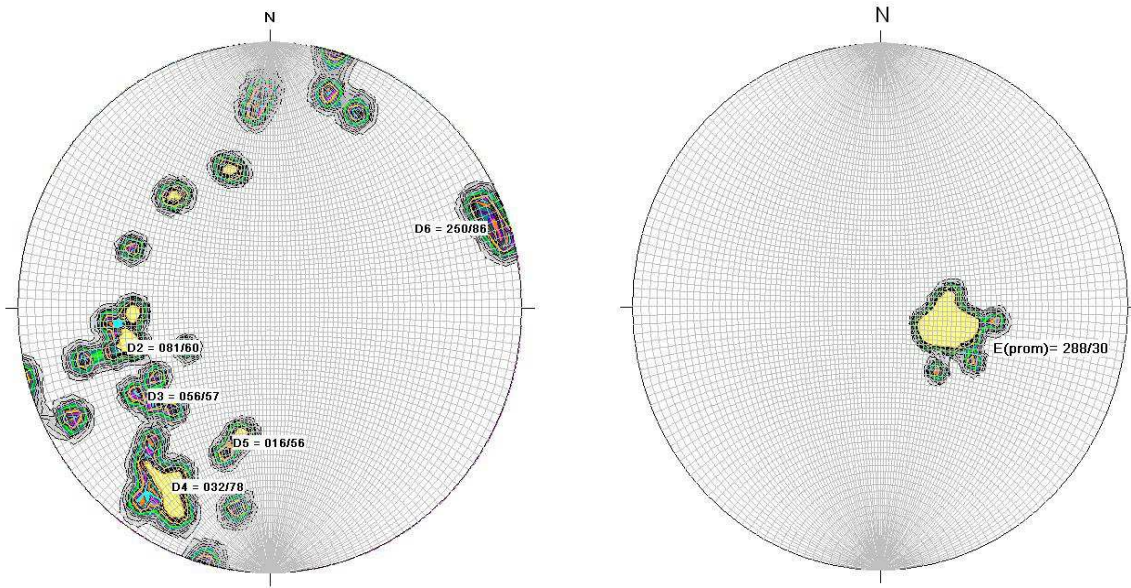
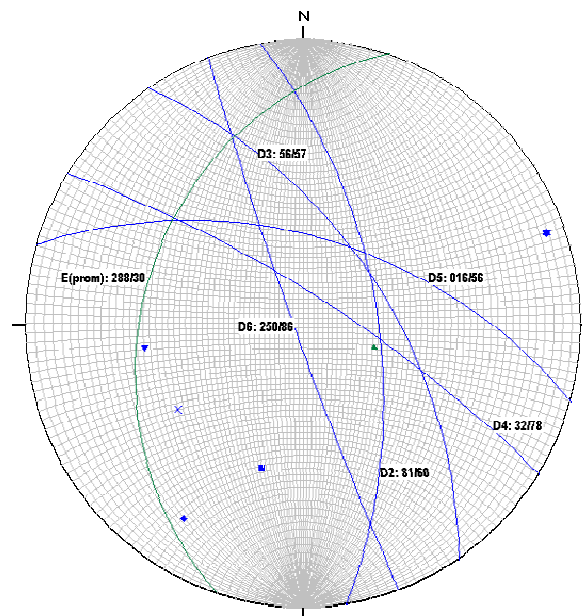


FIGURA 4.5 RESUMEN DE LAS FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES



FUENTE: GIA C. L., (2009)



Los cambios de polaridad en la estratificación no son significativos, la densidad máxima supera el 20%, expresión que ratifica su confiabilidad. 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 22, estos dos propios de registros aislados; los modales son: 285 y 30. 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). El resumen de datos correspondientes a las propiedades geomecánicas se muestran en la Tabla 4.22.

**TABLA 4.22 PROPIEDADES GEOMECAÑICAS DEL MACIZO ROCOSO**

MATERIAL	INTERCEPTO DE COHESIÓN c (Ton/m <sup>2</sup> )	ANGULO DE FRICCIÓN φ (°)
Tpb-A	0.4 – 1.9*	30.30* – 54.27
Tpb-L	0.1 – 3.0*	20.00 – 48.64

FUENTE: \*GIA (2009)

#### **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 Strength 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 inconfiada y del espaciamiento son recapitulados de los ensayos de laboratorio y de la caracterización geométrica de las discontinuidades, el primero compilado en las Tablas 4.11, 4.12, 4.13, 4.14 y 4.15 y el segundo ilustrado en el Anexo C.2. El RQD se estima bien de los registros de perforación (con valores entre el 18% y el 70%) 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:

$$\begin{array}{lll} \text{RQD} = 115 - 3.3J_v & \text{para } J_v > 4.5 & \text{Ec. 4.6} \\ \text{RQD} = 100 & \text{para } J_v \leq 4.5 & \text{Ec. 4.7} \end{array}$$

donde  $J_v$ : Índice de control volumétrico (No. De diaclasas/metro)

ó

$$RQD \approx 100e^{-0.1\lambda} (0.1\lambda + 1)$$

Ec. 4.8

donde  $\lambda$ : Inverso del espaciamiento medio de diaclasas.

En la *Tabla 4.23*, se compilan los extremos de la calificación y clasificación del macizo para ambos sistemas y en la *Tabla 4.26* 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 [35–45], lo que permite clasificarlo de pobre a regular.

**TABLA 4.23 CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO**

Región estructural		Dominio 1		Dominio 1	
Criterio de evaluación		Dominio 1		Dominio 1	
$\sigma_c$ (Kg/cm <sup>2</sup> )	Valor	47.5	261.7	17.9	98.0
	Calificación/15	1	4	0	1
RQD (%)	Valor	30	70	18	70
	Calificación/20	8	13	3	13
S (m)	Valor	0.52	0.9	0.5	0.9
	Calificación/30	20	20	20	20
Estado de las Discontinuidades	Descripción	Medianamente rugosas, separación < 1 mm., la pared es débil	Medianamente rugosas, separación < 1 mm., la pared es débil	Medianamente rugosas, separación < 1 mm., la pared es débil	Medianamente rugosas, separación < 1 mm., la pared es débil
	Calificación/25	12	12	12	12
Agua	Descripción	Húmedo	Húmedo	Húmedo	Húmedo
	Calificación/10	0	0	0	0
RMR	Calificación/100	41	49	35	46
	Descripción	Macizo regular	Macizo regular	Macizo pobre	Macizo regular
GSI		40	50	35	45

#### 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 4.2.2.4 la resistencia a la compresión inconfiada ( $17.90 \text{ Kg/cm}^2 \leq \sigma_c \leq 98.08 \text{ Kg/cm}^2$ ), y una constante  $m_i$  (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 4.24* y en la *Tabla 4.25*. No obstante, los parámetros geomecánicos así obtenidos resultan significativamente superiores a los del universo muestral. Resulta, entonces, más lógico asumir que la respuesta del macizo está gobernada por las discontinuidades y adoptar sus parámetros de resistencia. De esta forma, con miras a los análisis de estabilidad, los parámetros empleados son los consignados para los ambientes arcillosos y arenosos citados en el numeral 4.2.2.1.

**TABLA 4.24 PARÁMETROS DE RESISTENCIA DEL MACIZO ROCOSO**

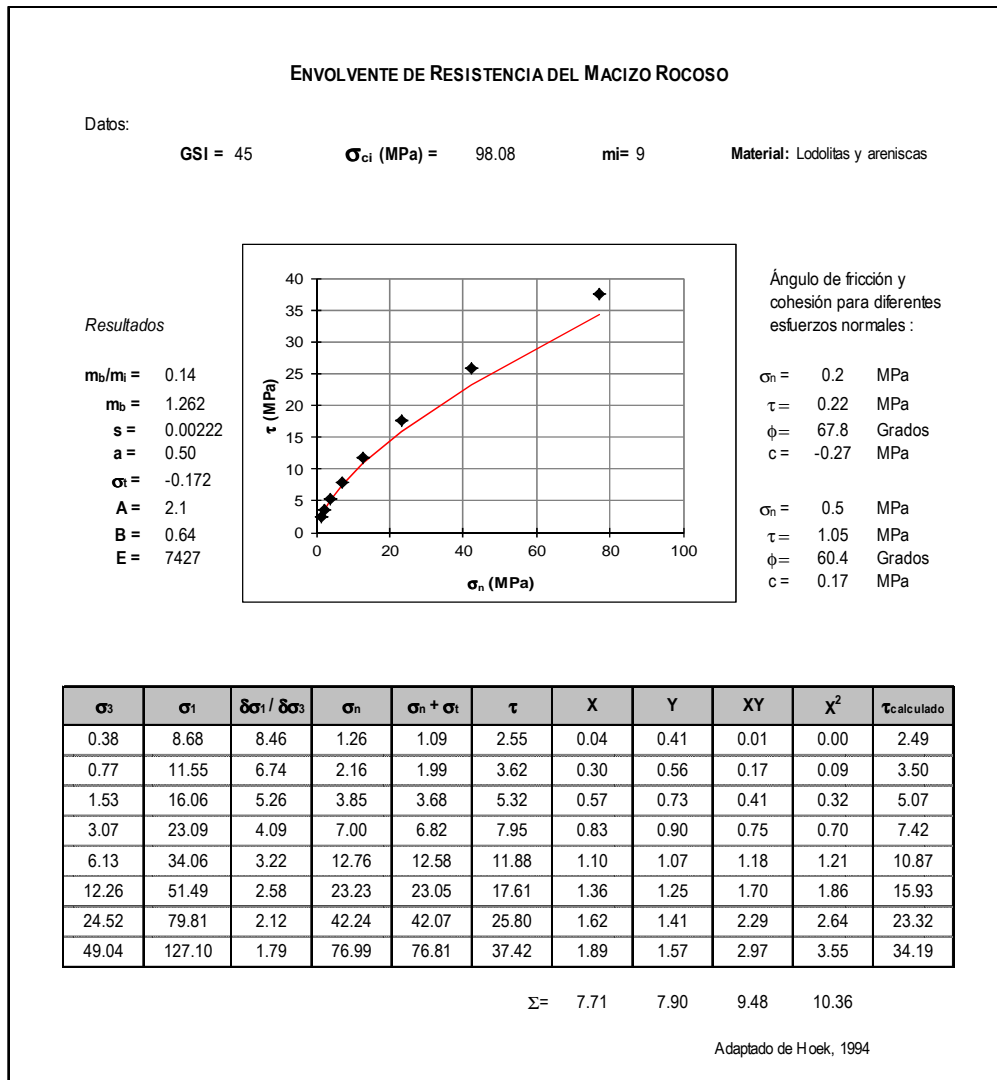
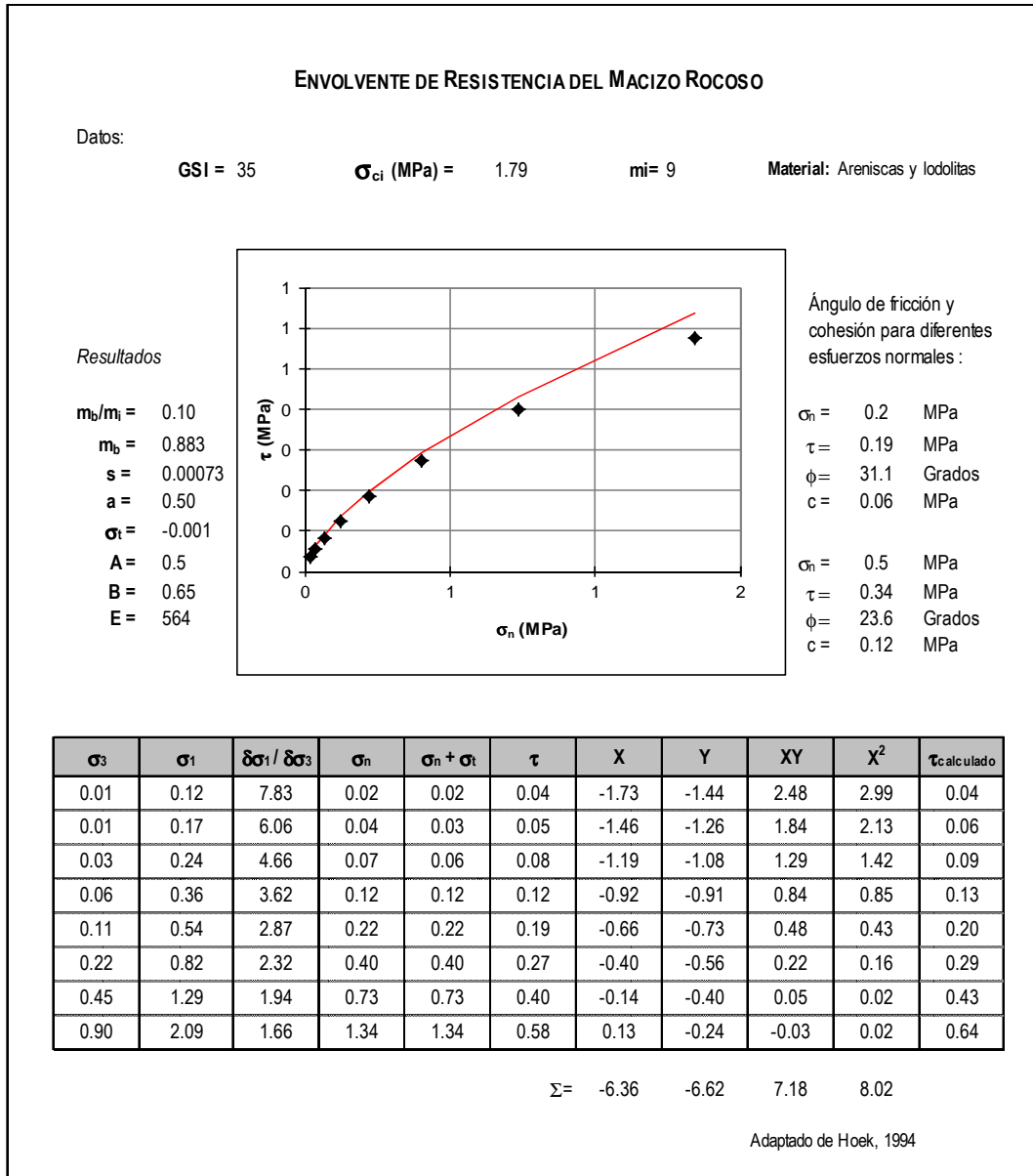


TABLA 4.25 PARÁMETROS DE RESISTENCIA DEL MACIZO ROCOSO (CONTINUACIÓN)



### 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 y el estado del macizo rocoso (gracias al empleo del GSI como bastión, transcrito en la [Tabla 4.26](#)).

Las cuatro primeras variables están contempladas en las unidades geomorfológicas, que condensan unidades de ladera con morfología, morfogenética, materiales y morfometría similares. La quinta variable (condición estructural) posee poca incidencia debido 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. Por último, el estado del macizo y su relación directa con el grado de fracturamiento y fallamiento, es en los ambientes rocosos uno de los discriminantes más relevantes; su calificación, estrictamente visual, delinea de manera alguna junto con las expresiones topográficas, el grado de susceptibilidad ante los fenómenos de remoción en masa. 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: Qra1, Qd1, Qd2 y Qd3). 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 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 o con los cambios topográficos o con los cambios en la calidad del macizo rocoso, v. gr. la unidad “Taludes de relleno antrópico”: LEI-tra, se discretizó en LEI-tra-I-1, LEI-tra-I-2, LEI-tra-I-3, LEI-tra-I-4 y LEI-tra-I-5, en la que cada una agrupa unidades con mecanismos de falla similar y están separados espacialmente.

Mención particular merece la unidad “Explanación para desarrollo urbanístico”, LEI-edu, que se subdividió en: LEI-edu-I-1 y LEI-edu-I-2 y LEI-edu-I-3, acorde con el material subyacente y el estado del macizo; los cuerpos potenciales de deslizamiento se gestan y desarrollan exclusivamente en la cubierta de los llenos, 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 la porción de la vertiente en diecisiete (17) zonas homogéneas, que fueron estudiadas por lo menos con una sección de análisis sí y sólo sí existe la posibilidad de gestación de procesos de inestabilidad. En este sentido las subunidades LEI-tra-I-4, LEI-edu-I-1, LEI-edu-I-2 y LEI-edu-I-3, por sus bondades geométricas, traducidas en planicies con buzamientos inferiores a los cinco grados, talladas en roca o cubiertas con delgados (inferiores a los dos metros) horizontes de lleno, son abstraídas. La sinopsis del trabajo de zonificación se encuentra en la [Tabla 4.26](#) 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 4.26 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

SÍMBOLO ZONA	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	MORFOLOGÍA	ORIGEN	SECUENCIA LITOLÓGICA	DISCONTINUIDADES	GSÍ	MECANISMOS DE FALLA (POTENCIALES Y ACTIVAS)
LNI-I-1	LNI	Ondulado	Estructural Denudivo	Tpb-L1	E1=288/30 D2=81/60 D3=56/57 D4=196/34 D5=16/56 D6=250/86	40-45	Deslizamiento rotacional o planar en roca, en función del estado de fracturamiento del macizo rocoso.
LEI-lex-I-1	LEI-lex	Escarpado	Estructural Antrópico	Tpb-L1- Qra1-Tpb-A1		35-40	Deslizamiento rotacional o traslacional en roca.
LEI-lex-I-2				Tpb-A2-Qra1-Tpb-L2-Tpb-L3			
LEI-lex-I-3				Tpb-L3 - Qra1		40-45	Rotacional y traslacional en roca.
LEI-lex-I-4				Tpb-A2-Qra1-Tpb-L3		35-40	Rotacional y traslacional en roca.
LEI-lex-I-5				Tpb-L3 -Tpb-L4-Qra1			Deslizamiento rotacional y planar infinito en los llenos y deslizamientos rotacionales en el macizo rocoso.
LEI-edu-I-1	LEI-edu	Suavemente inclinado	Estructural Antrópico	Qra1 - TpbL3 -Tpb-A1		35-40	No hay condiciones morfológicas, ni morfológicas para la gestación de procesos de inestabilidad.
LEI-edu-I-2							
LEI-edu-I-3							
LEI-tra-I-1	LEI-tra	Escarpado	Estructural Antrópico	Qra1 - Tpb-L1		35-40	Deslizamiento rotacional y planar infinito en los llenos y deslizamientos rotacionales en el macizo rocoso.
LEI-tra-I-2				Qra1 - Tpb-A - Tpb-L1			
LEI-tra-I-3				Qra1 - Tpb-L3			Deslizamiento rotacional y planar infinito en los llenos.
LEI-tra-I-4				Qra1- Tpb-L4- Tpb-A3			
LEI-tra-I-5				Tpb-L3 - Tpb-A3 - Tpb-L4			No hay condiciones para la gestación de procesos de inestabilidad.
LEI-trat-I-1	LEI-trat	Escarpado	Estructural Antrópico	Qd3 Tpb-L1 - Qra1		35-40	Deslizamiento rotacional y flujos de tierra en los llenos trasladados.
LEI-trat-I-2				Qd2 - Tpb-L1			
LEI-trat-I-3				Qd1 - Tpb-L3			

## **CAPÍTULO 5**

# **HIDROLOGÍA, COBERTURA Y USOS DEL SUELO**

---

**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, o como reducción de la succión. El agua produce también 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: a) conocer el régimen temporal y espacial de la precipitación, su influencia como agente detonante o contribuyente de los fenómenos de remoción en masa, y b) 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 relación predictiva lluvia-deslizamiento, se llevaron a cabo las siguientes actividades:

- Consulta de planchas topográficas. L-50 del IGAC (1977) y SC-11/400 del DAPD (1996).
- Consulta en el IDEAM y en la EAAB-ESP de la información hidrológica de la microcuenca.
- Análisis hidrológico e hidráulico.

En el instituto Geográfico se obtuvo la plancha L-50 a escala 1:2000, que cubre las laderas vertientes receptoras de la urbanización; sobre la plancha 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 Bogotá 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 el barrio Buenavista, se tomó la información del

FOPAE	GIA LTDA	<b>GIA-068-12</b>		CAP 5 - PÁG. 128	
VERSIÓN:	1		FECHA	06/12/12	
ELABORÓ:	AD, MAA, KPT, NFSM	REVISÓ:	JALG	APROBÓ:	GIC



“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 son:

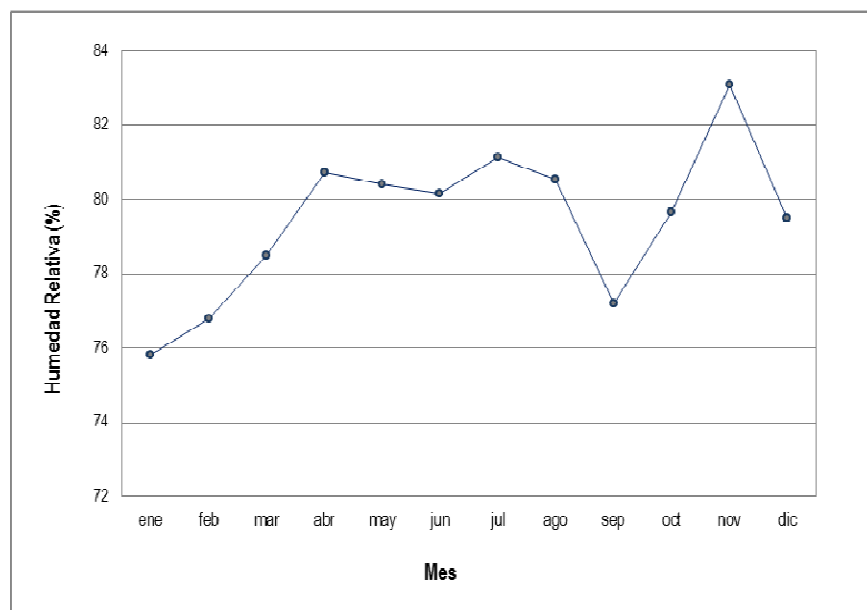
ESTACIÓN	LATITUD	LONGITUD	CATEGORÍA	ELEVACIÓN	CÓDIGO
EL DELIRIO	04° 33' 9.7" N	74° 03' 33.4 W	PG	2946 MSNM	2120013
VITELMA	04° 34' 31.0" N	74° 04' 18.8 W	CP	2802 MSNM	2120524

### 5.1.2.1 HUMEDAD RELATIVA

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

El comportamiento temporal de la humedad relativa en Buenavista dibuja los más elevados valores medios en los meses de lluvias altas; en abril, mayo, junio, julio y noviembre, los menores ocurren en los meses relativamente secos o de bajas lluvias como enero, febrero, marzo y septiembre. En los demás meses la humedad se considera de transición (puesto que hay presencia de masas húmedas y secas). Confirmación expresa reposa en la [Figura 5.1](#), construida gracias a los registros medios mensuales multianuales.

FIGURA 5.1 HUMEDAD RELATIVA – ESTACIÓN VITELMA



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

### 5.1.2.2 BRILLO SOLAR

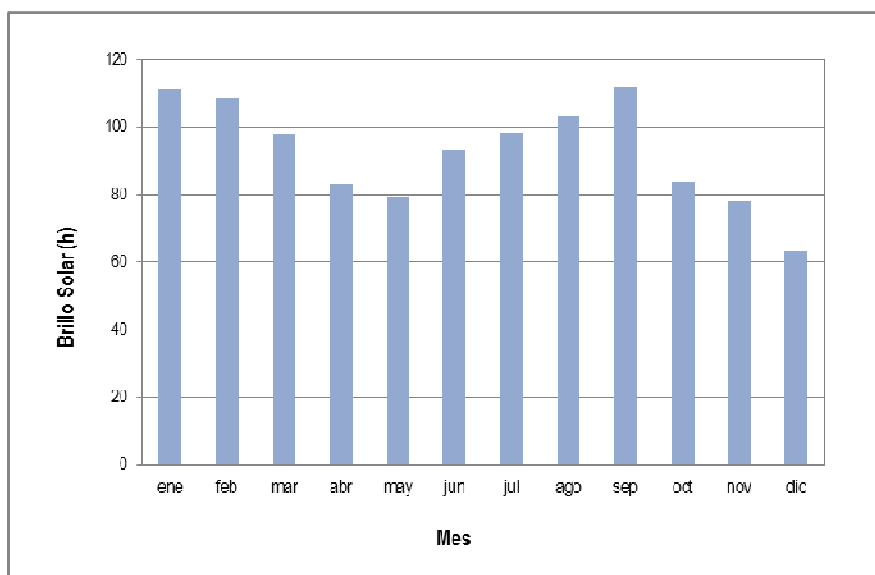
La cantidad de insolación que se recibe es uno de los factores más importantes en la caracterización climática de cualquier zona. Los valores de insolación o brillo solar están relacionados en forma inversa con otros elementos como la nubosidad y la precipitación, conclusión remarcada en la *Figura 5.2*.

El primer rasgo notorio en Buenavista 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 la primera temporada del año, y en agosto y septiembre para la segunda temporada.

En Bogotá los más bajos valores de brillo solar, ocurren en la parte baja de los cerros orientales; la estación Vitelma ha registrado el mínimo absoluto con 63.5 horas en el mes de diciembre, lo que indica la influencia del relieve y por consiguiente la mayor presencia de nubosidad.

**FIGURA 5.2 BRILLO SOLAR – ESTACIÓN VITELMA**



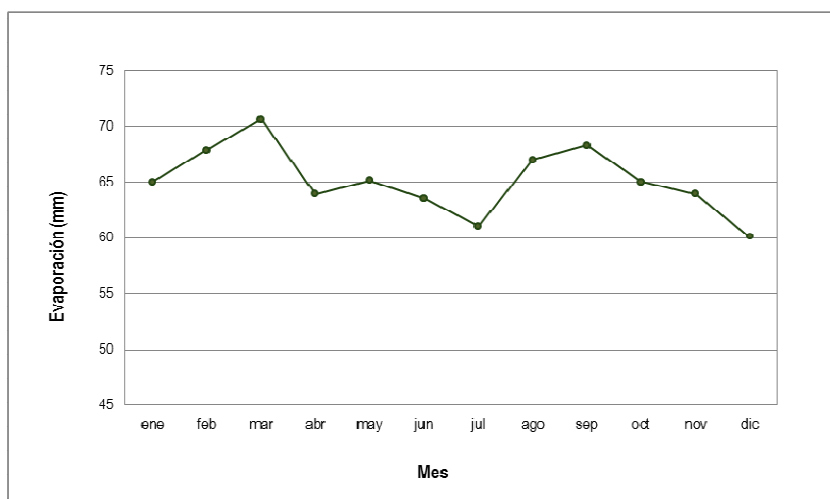
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

### 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. Los picos (máximos) a lo largo del año, en Buenavista, tienen lugar durante los meses de enero, febrero, marzo, abril y septiembre, en concordancia con los máximos de la radiación solar y en relación inversa con la precipitación y la humedad relativa. Los meses de menor evaporación son: mayo, junio, julio,

octubre y diciembre, considerados lluviosos y por tanto de menor evaporación. La [Figura 5.3](#), transcribe el comportamiento 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

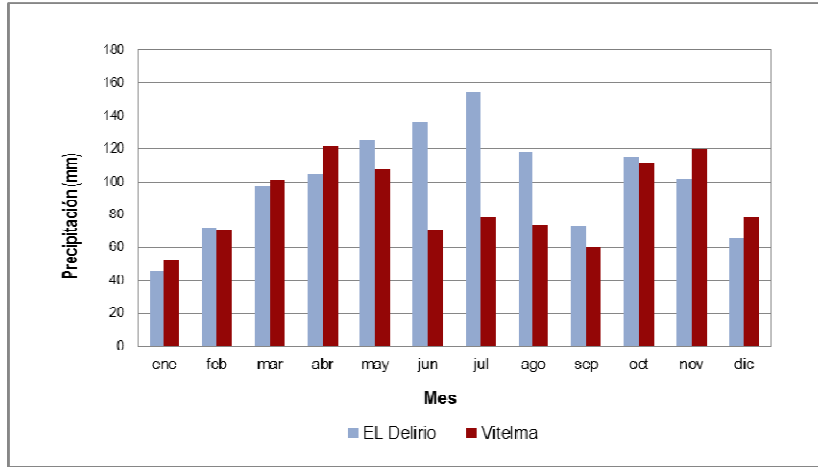
La precipitación en los cerros orientales, espacio preferente que alberga a Buenavista Oriental I y II Sector dibuja dos patrones claramente diferenciables; el primero cubre el cinturón alto del relieve y es monomodal, condicionado por las lluvias de los llanos orientales y transcrito por la estación El Delirio ([Figura 5.4](#)); el mes más lluvioso es julio, en el que los registros alcanzan hasta los 155 mm, y el periodo seco se extiende desde diciembre hasta febrero, aunque el valor histórico más bajo, propio de enero, es de 46 mm.

El segundo recorre la base de los cerros, es bimodal no acentuado, está influenciado por la zona de confluencia intertropical y reproducido por la estación Vitelma (véase la [Figura 5.4](#)), y es el marco al que pertenece la urbanización. Los periodos lluviosos tienen lugar entre marzo y mayo y octubre y noviembre, con precipitaciones que oscilan desde los 101 hasta los 108 mm para el primer periodo y desde los 112 hasta los 120 mm para el segundo periodo. Para la temporada seca más acentuada de los meses de enero – febrero, las lluvias oscilan entre 53 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, que involucre una relación entre su intensidad, en un delta de tiempo, su duración y las frecuencias o periodos de retorno para la obra o el sitio. En ese sentido, las curvas IDF son representaciones de un evento máximo para un sitio o localidad; con ellas el diseñador, apoyado en criterios técnicos y económicos, establece las obras requeridas para el control y manejo del drenaje.

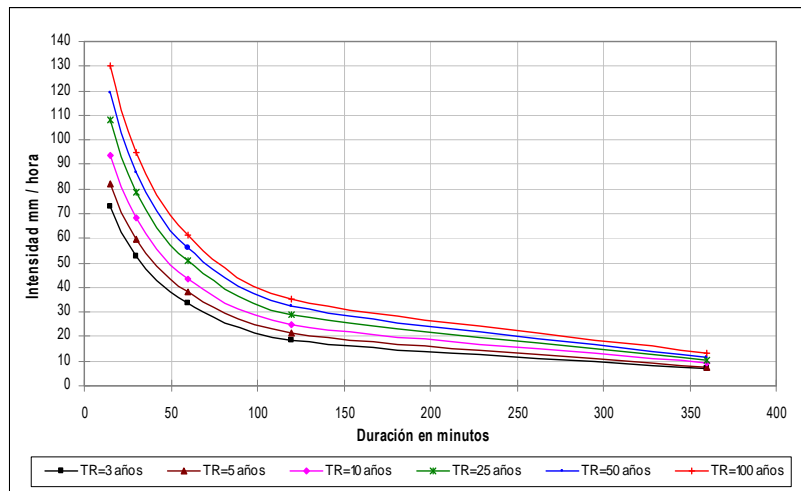
**FIGURA 5.4 PRECIPITACIÓN – ESTACIONES VITELMA, EL DELIRIO**



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Para la obtención de las curvas generalizadas IDF, se analizó la información de las estaciones de Vitelma y el Delirio frente a las generadas en el estudio “Análisis y Caracterización de Tormentas en la Sabana de Bogotá” por la firma consultora Ingeniería y Recursos Hídricos Ltda. (1995), y las procesadas por el Acueducto en 2007. De este abanico se eligieron las más críticas, tomadas del trabajo desarrollado por IRH. El estudio divide la sabana de Bogotá en 7 zonas, y a cada una le confiere una curva IDF; Buenavista hace parte de la zona 2, lo que redunda en la curva característica transcrita en la *Figura 5.5*.

**FIGURA 5.5 CURVAS GENERALIZADAS IDF ZONA 2**



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

**5.1.2.6 DISTRIBUCIÓN MENSUAL DEL NÚMERO DE DÍAS CON LLUVIA**

De acuerdo con el estudio realizado por el IDEAM 2007, en los cerros orientales, los meses que registran el mayor número de días con lluvia son mayo, junio, julio y agosto, todos con un promedio de 25 días, los meses con el menor número de días pasados por agua son enero y febrero: su promedio es menor a 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”, realizado por la firma INGEOCIM (1988) Ltda 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

$$Ll_{crit}=0.3609*Llan$$

$$D=3.2829*LLCRIT^{0.4157}$$

y los Cerros Orientales

$$LLCRIT=12.6326+0.1418*LLAN$$

$$D=0.04923*LLCRIT$$

donde:

D = Duración en días

Ll<sub>crit</sub> = Lluvia crítica en mm

Llan = Lluvia anual en mm

La urbanización 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.

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

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

- Estación Vitelma:  
Precipitación crítica = 160.84 mm,  
Duración = 7.9 días, y  
Periodo de retorno aproximado  $T_r = 30$  años
- Estación El Delirio:  
Precipitación crítica = 186.4 mm,  
Duración = 9.2 días, y  
Período de retorno aproximado  $T_r = 30$  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 mayor o igual a 160.84 mm en 7.9 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, la Urbanización Buenavista Oriental, I y II etapas, carece de corrientes superficiales permanentes. Vestigios de los cuerpos de agua surcan al este del predio, y el drenaje se compone de escorrentías superficiales; sin embargo, el antiguo cauce de la cuenca (bautizado aquí Buenavista), borrado por la intensa actividad minera de las décadas 50, 60 y 70, surcaba por el corredor norte de la urbanización, tal y como se ratifica en las aerofotografías de 1955 y en la cartografía del Igac de 1981 (obtenida de aerorestitución de 1977) y se plasma en el Plano 6. Lo anterior no desvirtúa el hecho de que el patrón hidrogeológico y la escorrentía superficial sigan condicionados, y propicien, por una parte, la concentración del flujo (efecto que tiene lugar en el corredor nororiental de la segunda etapa) y, por otra, variaciones estacionales en la cabeza piezométrica.

#### 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 y las conexiones erradas y la mala calidad de los materiales utilizados, son 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.

#### **5.1.5.1 SISTEMA DE ACUEDUCTO**

La malla del acueducto, forjada en PVC, diverge entre las 2" y las 8" de diámetro. El tendido y construcción es oficial, y cuenta con 10 años de antigüedad, aproximadamente. A pesar de ello la posibilidad de fugas y roturas es latente, ejemplos redundan en las evidencias de actividad reseñadas desde la creación del conjunto residencial (información suministrada por los habitantes de la urbanización).

#### **5.1.5.2 SISTEMA DE AGUAS RESIDUALES**

A través de la calle 31A discurre el entramado oficial, que soporta al sistema de recolección de aguas negras de las dos etapas que conforman Buenavista Oriental. La red de aguas servidas al interior de la II etapa está constituida por líneas de 8" a 12" de diámetro en gres y por 27 pozos de inspección (cantidad visible en la actualidad) tallados en ladrillo y en concreto, sin mayores inconvenientes altimétricos que superar. En caso de insuficiencia u obstrucción del sistema, se cuenta con conexión directa a la red pluvial al interior del conjunto residencial, a través de tubos en gres de 6" de diámetro. El Plano 6 ilustra la distribución de la red.

#### **5.1.5.3 SISTEMA DE AGUAS LLUVIAS**

Está conformado por cunetas en concreto perimetrales a los corredores peatonales, que permiten el desagüe de las aguas de escorrentía; su entrega se lleva a cabo a través de sumideros y colectores en gres y en concreto, con diámetros desde las 6" hasta las 30", uno de ellos responsable del encauzamiento de las aguas de los vestigios de la quebrada Buenavista (véase el Plano 6), y tres (3) pozos de inspección en mampostería y concreto. El sistema principal de recolección se dispone a lo largo de la calle 31A, este recibe los efluentes de la urbanización.

### **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 METODOLOGÍA 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 5.1](#).

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. Así, entonces, el área se subdivide en siete (7) grandes franjas, propias de cuatro (4) componentes.

## 5.2.2 CLASIFICACIÓN DEL USO Y COBERTURA DEL SUELO

La morfología natural en Buenavista 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 configuración paisajística hoy día. La cobertura de la tierra, entendida como los atributos de la superficie del terreno, está integrada por cuatro componentes: parches de vegetación corta -rastrajo bajo-, tierras eriales propias del suelo desnudo, de afloramientos rocosos y de procesos de inestabilidad, y obras humanas, este último como elemento trascendente.

El uso esencial es el urbano; calles vehiculares pavimentadas en concreto, calles peatonales en adoquín, construcciones unifamiliares -asentadas desde hace un decenio- y un pequeño parque (diagramado por algunos mobiliarios para juegos infantiles que fueron movilizados de la corona de los procesos inestables que provocaron la evacuación y posterior demolición de la tercera etapa) dan el matiz dominante a la mayor parte de la vertiente. El paisaje encierra tres grandes terrazas: las dos primeras albergan, respectivamente, la primera y segunda etapa de Buenavista, y coinciden con antiguos frentes de explotación (niveles uno y dos). El tercer nivel agrupa pastizales, herbáceos y arbustivos, y tierras eriales, en parte empleadas como plataforma de parqueo y terminal de una de las empresas de transporte de pasajeros que funciona 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 y de zonas pobladas por variadas especies arbustivas, que se mantienen en su mayor parte libres de basuras y desechos.



TABLA 5.1 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.
		2.COMERCIAL	TIENDAS (VENTA DE PRODUCTOS ALIMENTICIOS Y MISCELÁNEOS) Y REMONTADORAS DE CALZADO.
		3.RECREATIVO	PARQUES ACONDICIONADOS POR LA COMUNIDAD.
		4. DOTACIONAL	SALONES COMUNALES, PORTERÍAS.
		5.TRANSPORTE COMUNICACIÓN, SERVICIOS PÚBLICOS	VÍAS PEATONALES Y VEHICULARES, PAVIMENTADAS Y ADOQUINADAS, Y SENDEROS.
		6. OBRAS DE CONTENCIÓN	OBRAS DE ESTABILIZACIÓN DE LOS TALUDES ADYACENTES A LAS URBANIZACIONES: MUROS DE CONTENCIÓN Y CONCRETO LANZADO.
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 RETAMO ESPINOSO.
IV. TIERRAS ERIALES	A. ROCA EXPUESTA	1. MASIVOS	ESCARPES.
	B. SUELO DESNUDO	1. EROSIÓN PROVOCADA	LAMINAR Y SURCOS.
		2. EROSIÓN NATURAL	MOVIMIENTOS EN MASA.

## **CAPÍTULO 6**

# **EVALUACIÓN DE AMENAZA**

**EVALUACIÓN DE AMENAZA**

La primera etapa del análisis de estabilidad se enfoca al estudio direccional de los modos y posibilidades de deslizamiento a lo largo de los planos de debilidad estructural, en el marco de exposición del macizo rocoso, uno de los principales ambientes de trabajo, sino el más importante, en las laderas (también definidas como superficies libres, Goodman, 1989), y a la determinación de la influencia de las superficies de discontinuidad en los mecanismos de movilización de los depósitos cuaternarios recientes (los rellenos antrópicos), todo ello a partir de la aplicación del análisis cinemático (Goodman, 1989, y Hoek y Bray, 1977).

Y la segunda etapa, se destina a la deducción de los parámetros de resistencia operativos en cada uno de los materiales, gracias a los análisis estadístico (mediante estadística descriptiva y pruebas de bondad) y paramétrico (Mora, 1993 y Larson, 1995, entre otros), a la recreación de los mecanismos de falla, al modelamiento, con ayuda de los métodos de equilibrio límite, de la respuesta estática y pseudoestática de los estadios probables de movilización (según el tipo de material y su disposición estratigráfica) tanto de los principales cuerpos del cuaternario como de los medios rocosos, a través de deslizamientos rotacionales, traslacionales y planares infinitos, y a la deducción, a partir de los factores de seguridad, de la probabilidad condicional de falla (principio designado bajo el rótulo de amenaza) de los diferentes horizontes para los estados actual y futuro

**6.1 ANÁLISIS CINEMÁTICO**

En este numeral se evalúan los modos probables de falla para el conjunto de laderas en las que se expresa el macizo rocoso –los frentes de explotación o los cortes en roca para urbanismo- y su papel 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 desplazamiento. La relación geométrica entre las discontinuidades, su ángulo de fricción básico – asumido en esencia igual para todos los planos, con valores entre 22,6° y 31,6°, pero con media de 28.8 (tomada de la muestra S1-M8)-, 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: el rumbo, la pendiente, la altura y el subdominio estructural; mientras que su ubicación espacial se reseña en la Figura 6.1.

El resumen de las memorias del análisis cinemático (acopiado bajo el nombre de Anexo F.1), tanto para las familias de discontinuidades analizadas, como para el conjunto completo de mecanismos de deslizamiento se

FOPAE	GIA LTDA	<b>GIA-068-12</b>		CAP. 6 - PÁG. 139	
VERSIÓN:	1			FECHA	14/02/13
ELABORÓ:	JALG	REVISÓ:	JALG	APROBÓ:	GIC

sintetiza 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*, las laderas exponen poca posibilidad de movilización por falla planar y en cuña, los cortes: T2, T3, T4, T12, T41, T42 y T44 a lo largo de E1 y de E1D5 (o I<sub>15</sub>), y T29 y T30, T34 y T40 y T46 por E1D5 (o I<sub>15</sub>), D5 y D5, I<sub>25</sub>, I<sub>35</sub>, respectivamente, conforman los escenarios con mayor predisposición; la falla por volteo tiene cabida sólo en las superficies T22, T23, T26 y T36, incubada por la discontinuidad D6; y los contactos suelo-roca, representados por las unidades de ladera: T1, T6, T11, T15 a T18, T20, T24 y T50 coartan cualquier predisposición cinemática.

**TABLA 6.1 CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LOS TALUDES: ESTADO ACTUAL**

LADERA	ORIENTACIÓN	BUZAMIENTO (°)	ALTURA (m)	SUBDOMINIO ESTRUCTURAL	LADERA	ORIENTACIÓN	BUZAMIENTO (°)	ALTURA (m)	SUBDOMINIO ESTRUCTURAL
T-1*	N5W33SW	33	10,0	I	T-26	N15W39NE	39	3,0	I
T-2*	N12E/33NW	33	7,0		T-27	N62E/41NW	41	4,0	
T-3	N10E/36NW	36	4,0		T-28	N64E/32NW	32	3,0	
T-4*	N19E/33NW	33	2,0		T-29	N57E/37NW	37	3,0	
T-5	N6W28SW	28	5,0		T-30	N41E/42NW	42	2,0	
T-6*	N59E/33NW	33	4,0		T-31	N55W39NE	39	5,0	
T-7	N52E/33NW	33	2,0		T-32	N62E/23NE	23	4,0	
T-8	N57E/28NW	28	4,0		T-33	N56W48NE	48	6,0	
T-9*	N53E/33NW	33	5,0		T-34	N86W56NE	56	4,0	
T-10	N67E/30NW	30	10,0		T-35	N58W52NE	52	9,0	
T-11*	N65E/32NW	32	6,0		T-36	N47W43NE	43	6,0	
T-12*	N33E/32NW	32	5,0		T-37	N61W27NE	27	5,0	
T-13	N73W15NE	15	3,0		T-38	N87E/49NW	49	5,0	
T-14	N50E/31NW	31	2,0		T-39	N75E/26NW	26	3,0	
T-15*	N66W28NE	28	8,0		T-40	N77W56NE	56	5,0	
T-16*	N62W28NE	28	11,0		T-41	N5E/31NW	31	4,0	
T-17*	N64W42NE	42	9,0		T-42	N35E/61NW	61	4,0	
T-18*	N66W42NE	42	9,0		T-43	N63E/60NW	60	3,0	
T-19	N62W27NW	27	5,0		T-44	N37E/55NW	55	6,0	
T-20*	N56W41NE	41	6,0		T-45	N53E/38NW	38	4,0	
T-21	N35W25NE	25	6,0		T-46	N66W57NE	57	3,0	
T-22	N40W39NE	39	4,0		T-47	N32E/21NW	21	4,0	
T-23	N47W47NW	47	5,0		T-48	N62W48NE	48	3,0	
T-24*	N70E/18NW	18	7,0		T-49	N25E/21NW	21	2,0	
T-25	N21E/30SE	30	5,0		T-50*	N33E/18NW	18	9,0	

LA ORIENTACIÓN DE LAS LADERAS (O TALUDES), RESPONDE AL PLANO DE CONTACTO ENTRE EL DEPÓSITO Y EL MACIZO. SU REPRESENTACIÓN EN SUPERFICIE ES ENTONCES SIMBÓLICA Y ES PRODUCTO DE LAS LIMITACIONES CARTOGRÁFICAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 6.2 RESUMEN DEL ANÁLISIS CINEMÁTICO

LADERA		FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES		POSIBILIDAD CINEMÁTICA			LADERA		FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES		POSIBILIDAD CINEMÁTICA		
ID	ORIENTACIÓN	PLANOS	CUÑAS	PLANAR	CUÑA	VOLTEO	ID	ORIENTACIÓN	PLANOS	CUÑAS	PLANAR	CUÑA	VOLTEO
T-1	N5W/33SW	E1=288/30 D2=81/60 D3=56/57 D4=196/34 D5=16/56 D6=250/86	E1D2=358/11 E1D3=340/19 E1D4=246/24 E1D5=308/29 E1D6=339/20 D2D3=53/56 D2D4=154/27 D2D5=42/53 D2D6=161/17 D3D4=134/17 D3D5=34/55 D3D6=339/18 D4D5=286/0 D4D6=162/29 D5D6=336/48	N.A.	N.A.	N.A.	T-26	N15W/39NE	E1=288/30 D2=81/60 D3=56/57 D4=196/34 D5=16/56 D6=250/86	E1D2=358/11 E1D3=340/19 E1D4=246/24 E1D5=308/29 E1D6=339/20 D2D3=53/56 D2D4=154/27 D2D5=42/53 D2D6=161/17 D3D4=134/17 D3D5=34/55 D3D6=339/18 D4D5=286/0 D4D6=162/29 D5D6=336/48	N.A.	N.A.	D6
T-2	N12E/33NW			E1	N.A.	N.A.	T-27	N62E/41NW			N.A.	N.A.	N.A.
T-3	N10E/36NW			E1	N.A.	N.A.	T-28	N64E/32NW			N.A.	N.A.	N.A.
T-4	N19E/33NW			E1	E1D5	N.A.	T-29	N57E/37NW			N.A.	E1D5	N.A.
T-5	N6W/28SW			N.A.	N.A.	N.A.	T-30	N41E/42NW			N.A.	E1D5	N.A.
T-6	N59E/33NW			N.A.	N.A.	N.A.	T-31	N55W/39NE			N.A.	N.A.	N.A.
T-7	N52E/33NW			N.A.	E1D5	N.A.	T-32	N62E/23NE			N.A.	N.A.	N.A.
T-8	N57E/28NW			N.A.	N.A.	N.A.	T-33	N56W/48NE			N.A.	N.A.	N.A.
T-9	N53E/33NW			N.A.	E1D5	N.A.	T-34	N86W/56NE			D5	N.A.	N.A.
T-10	N67E/30NW			N.A.	N.A.	N.A.	T-35	N58W/52NE			N.A.	N.A.	N.A.
T-11	N65E/32NW			N.A.	N.A.	N.A.	T-36	N47W/43NE			N.A.	N.A.	D6
T-12	N33E/32NW			E1	E1D5	N.A.	T-37	N61W/27NE			N.A.	N.A.	N.A.
T-13	N73W/15NE			N.A.	N.A.	N.A.	T-38	N87E/49NW			N.A.	N.A.	N.A.
T-14	N50E/31NW			N.A.	E1D5	N.A.	T-39	N75E/26NW			N.A.	N.A.	N.A.
T-15	N66W/28NE			N.A.	N.A.	N.A.	T-40	N77W/56NE			D5	N.A.	N.A.
T-16	N62W/28NE			N.A.	N.A.	N.A.	T-41	N5E/31NW			E1	N.A.	N.A.
T-17	N64W/42NE			N.A.	N.A.	N.A.	T-42	N35E/61NW			E1	E1D5	N.A.
T-18	N66W/42NE			N.A.	N.A.	N.A.	T-43	N63E/60NW			N.A.	D5D6	N.A.
T-19	N62W/27NW			N.A.	N.A.	N.A.	T-44	N37E/55NW			E1	E1D5	N.A.
T-20	N56W/41NE			N.A.	N.A.	N.A.	T-45	N53E/38NW			N.A.	E1D5	N.A.
T-21	N35W/25NE			N.A.	N.A.	N.A.	T-46	N66W/57NE			D5	D2D5, D3D5	N.A.
T-22	N40W/39NE			N.A.	N.A.	D6	T-47	N32E/21NW			N.A.	N.A.	N.A.
T-23	N47W/47NW			N.A.	N.A.	D6	T-48	N62W/48NE			N.A.	N.A.	N.A.
T-24	N70E/18NW			N.A.	N.A.	N.A.	T-49	N25E/21NW			N.A.	N.A.	N.A.
T-25	N21E/30SE			N.A.	N.A.	N.A.	T-50	N33E/18NW			N.A.	N.A.	N.A.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

### 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.
- Los buzamientos de los taludes y del contacto depósito-roca son inferiores o iguales 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 con posibilidad cinemática, es superior o en el peor escenario igual tanto al buzamiento de la mayoría de las superficies de despegue (fallas planar o por volteo), como al de sus intersecciones (falla en cuña).

Si bien la posibilidad cinemática de falla por volteo tiene asidero (matemáticamente), carece de condiciones físicas y geométricas para su desarrollo: la persistencia medida de los planos principales es poco continua, y el material rocoso por excelencia es la lodolita (o la arcillolita). El universo de cuñas y planos es casi en su totalidad, también, físicamente inoperante, la exigua diferencia (inferior a los tres grados) entre el buzamiento de la intersección o de la discontinuidad desfavorable (diferencias en ocasiones poco representativas por la variabilidad del buzamiento) y la pendiente del talud, patente en las superficies T2, T3, T4, T7, T9, T12, T14, T34, T40, T41 y T46, da lugar a bloques claves muy delgados y paralelos a la superficie libre, asimilables a los deslaves (o a las fallas planares infinitas).

Finalmente, la movilización de los cuaternarios (i.e. llenos antrópicos y suelos residuales), dista mucho de estar controlada o condicionada por el patrón estructural del macizo; 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, en apariencia, papel poco trascendente, su buzamiento es igual o superior tanto al de los contactos suelo-roca como al de las laderas, aunque su azimut de buzamiento es paralelo al de las superficies libres.

## 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), ilustrar el espectro de posibilidades para el que los cortes pueden mantenerse estables o fallar. El análisis de estabilidad alcanza, de esta manera, mayor representatividad cuando se expresa en términos de la probabilidad de falla, que cuando se circunscribe al factor de seguridad, que no es sino el simbolismo numérico de uno de los múltiples eventos factibles; bajo esta perspectiva, su objetivo principal es servir de insumo para la estimación de la probabilidad condicional de falla, mediante el uso del factor de seguridad F.S. como parámetro específico de estabilidad (Sánchez, 2.005). 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:  $\mu_{FS}$  y  $\sigma_{FS}$ , i.e el promedio y la desviación estándar.

La solución a la relación predictiva entre estas dos variables ( $P_f$  y  $F_s$ ) y la obtención de ellas, se plantea aquí con el empleo de métodos aproximados, en particular gracias al soporte de los Estimativos Puntuales, PEM (Rosenblueth, 1.975, citado por Sánchez, 2005, y Harr, 1.987). El PEM evalúa, conocidas las distribuciones

estadísticas de los  $n$  parámetros que intervienen en el problema, la función de interés en puntos estratégicos (los extremos) 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 ende la probabilidad condicional.

En consecuencia, la probabilidad de ocurrencia de un evento particular (los 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:

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

y 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 gestic 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 suceda el sismo pero la lluvia no.
- $p(\bar{L}S)$ : Es la probabilidad de que haya lugar al sismo, pero no a 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 cabida ni el sismo ni la lluvia.

En este orden de ideas, es más convincente y representativo estudiar toda la gama de estados de trabajo a la que pueden estar sometidas las laderas. Sin embargo, 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 premisas (o proposiciones) 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 obtienen de cinco fuentes básicas: 1) ensayos de campo y de laboratorio del marco de este proyecto, y que están consignados en las Tablas 4.11 y 4.12, en las Figuras 4.1 y 4.2 y en el Anexo D.2; 2) información secundaria: es decir, ensayos de clasificación, cortes directos y sondajes (spt) en las lodolitas, las areniscas y los suelos residuales de la Formación Bogotá y en los llenos adosadas a ellas, seleccionada por similitud



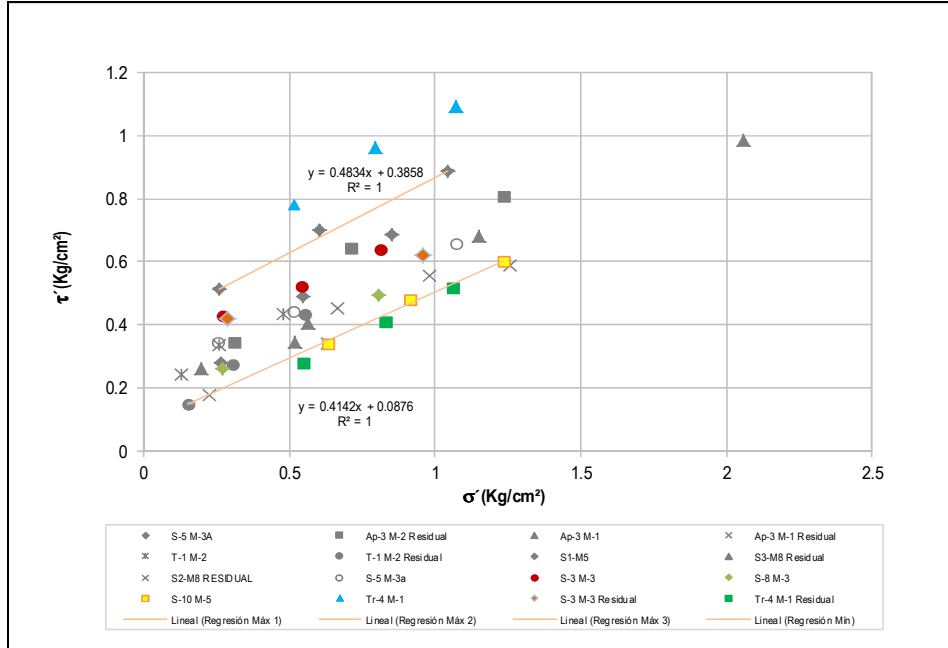
litológica y geomorfológica y adoptada de los estudios de riesgo para Villa de los Alpes (Geoingeniería, 2000 y Geocing, 2007), para la urbanización los Alpes del Zipa- Zona B (Ingeniería y Geotecnia Ltda., 1995), para la margen derecha de la Quebrada Morales, (Investigaciones Geotécnicas Ltda., IGL, 2000), para Buenavista III Sector (Gia, 2009), para un sector del barrio Atenas, (Ingeniería y Georriesgos Ltda., IGR, 2005) y para el barrio Ramajal (Ifcaya, 1998); 3) Método de Larson: conjuga parte del universo muestral, pues es excluyente al admitir únicamente los ensayos de corte directo; con ellos se toman las relaciones  $\tau/\sigma$  máximas y se incorporan en una gráfica  $\tau'$  vs  $\sigma'$ , los coeficientes ( $c'$ ,  $\phi'$ ) de las regresiones lineales superior e inferior representan los parámetros geomecánicos efectivos buscados; la [Figura 6.2](#) y la [Figura 6.3](#) sintetizan los resultados encontrados en los llenos antrópicos, Qra1, y en las arcillolitas y lodolitas, Tpb-L, los 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 adopta como criterio que la combinación de parámetros geomecánicos mínimos en estados de no lluvia sin sismo, conduzca a una condición estable ( $FS \geq 1.05$ ), tal como lo evidencia la configuración hoy día de las laderas; supuesto de trascendencia en la definición de los coeficientes operativos mínimos en los llenos antrópicos de reconfiguración (Qra1) y en los suelos residuales (QTpb-L-sr), unos y otros representados en las superficies libres 1-1', 2-2', 3-3', 4-4' y 5-5'; y 5) análisis retrospectivo: pilar para la deducción de los parámetros mínimos operativos en los llenos traslocados durante la falla; esquema recapitulado en esencia de Buenavista III Sector (Gia, 2009), y de inocua implementación (y desarrollo) en las dos primeras etapas, específicamente en los deslizamientos DT-0011 y DT-0021 (cuerpos diagramados en el [Plano 5](#)), por el desconocimiento tanto de la condición de agua como de la morfología previa e inmediatamente posterior a la detonación de los deslizamientos.

Pero la aplicación y extrapolación de las dos últimas fuentes entre zonas homogéneas y secciones (consecutivas), y por consiguiente la deducción de la relación predictiva de los parámetros, no podría tener cabida sin el empleo del criterio de similitud geomorfológica propuesto 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.  $\phi'$  de los taludes, teóricamente deben interceptarse en un sólo punto; no obstante, 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.

Bajo el amparo de estas premisas, en el retroanálisis se emplean los deslizamientos DT001AA y DT002AA de Buenavista III Sector (Gia, 2009), esquematizados como ensayos a escala natural, para deducir los parámetros movilizados en la falla. Quehacer último suplido mediante el conocimiento de: la geometría antes y después del movimiento, el mecanismo de falla y la condición de agua. Este conjunto evaluado para factores de seguridad igual a la unidad establece el marco de referencia en tal propósito.

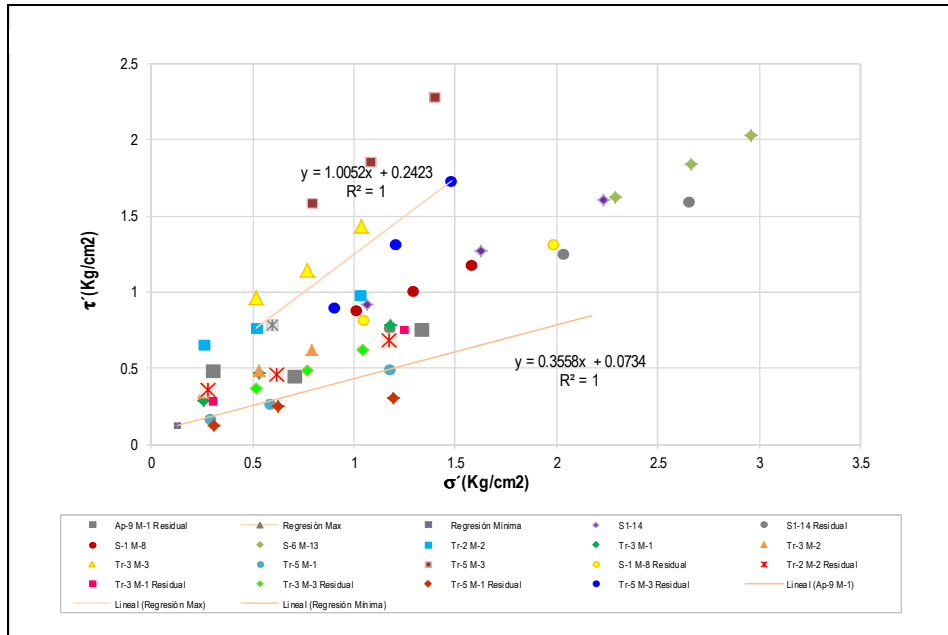
El trabajo así descrito se expresa en la [Figura 6.4](#). De él se abstraen, luego del empleo de elementos de juicio adicionales -entre los que sobresalen la probabilidad condicional de falla y el estado de deformación de las masas deslizadas, cercano al 17% (estadio asociado por Cornforth, 2005 a la "Resistencia residual")-, como coeficientes operativos en la falla  $c'=0.20$  kg/cm<sup>2</sup> y  $\phi'=21.80$  para la superficie mayor de deslizamiento (la del Qd1) y estos a su vez como los umbrales operativos máximos, es decir como el  $c'$ max y el  $\phi'$ max, o como parte del espectro probable. En este último caso, por la importancia como parámetro físico intrínseco, se adopta el ángulo de fricción como el máximo (o  $\phi'$ max), y la cohesión se ajusta a cero y se fija como la mínima, la  $c'$ min. Tema que se reevalúa al nuevo marco de trabajo y que se retoma en el numeral [6.2.2.2](#).

FIGURA 6.2 ENVOLVENTE DE LARSON, QRA1



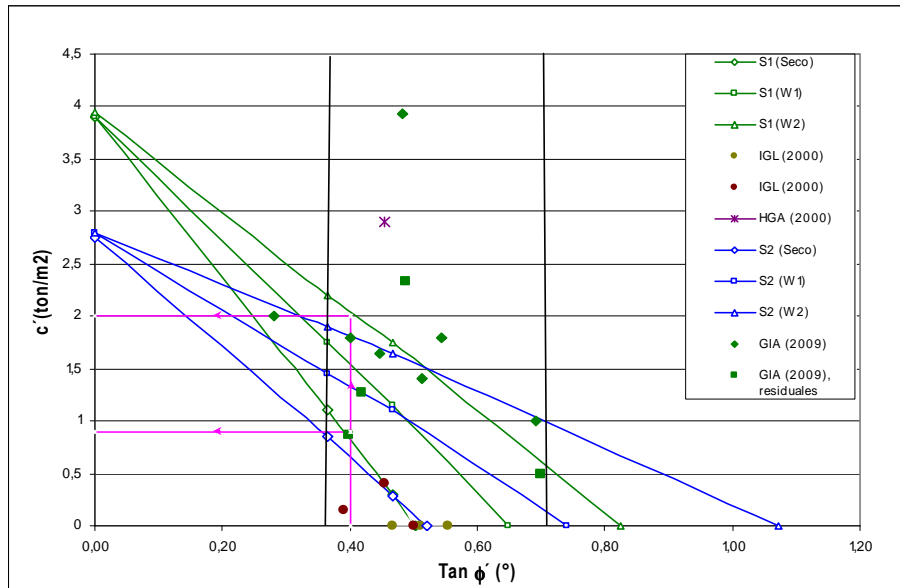
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA 6.3 ENVOLVENTE DE LARSON, TPB-L



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA 6.4 RETROANÁLISIS: DESLIZAMIENTO DT-001-AA (SECCIÓN 1-1', TOMADO DE GIA, 2009)



FUENTE: GIA C. L. (2009)

Recabada la información (i.e los datos) de las fuentes básicas para las diferentes clases e individuos, es decir construidos los espacios muestrales para los coeficientes de resistencia ( $c'$  y  $\phi'$ ) de todos y cada uno de los materiales, y como antesala a la selección de sus espectros operativos (i.e. de los *eventos compuestos*), se estudia la dispersión y, en medida alguna, el grado de confiabilidad de las endógenas. Cometidos satisfechos por una parte con la estimación de las medidas de localización y de desviación de los datos (medidas arropadas bajo el nombre de estadística descriptiva en el [Anexo F.2.1](#), que integran entre otras la media, la mediana, la desviación estándar, la varianza y el coeficiente de variación) y por otra parte con la obtención de las funciones de probabilidad que mejor se ajusta a ellos, a través de pruebas de bondad, específicamente la de chi cuadrado (análisis compilado en el [Anexo F.2.1](#)).

Contrario a los innegables beneficios, los resultados son poco plausibles. Si bien las variables se ajustan, en buen número a funciones de distribución normal (marco válido para los coeficientes de resistencia en las lodolitas, en las areniscas, en los rellenos traslocados y en los suelos residuales), algunas con sesgo negativo y otras con sesgo positivo (panorama transcrito en el [Anexo F.2.1](#)), y a funciones exponencial y lognormal, como sucede con el  $c'$  y el  $\phi'$ , respectivamente, en el Qra1, la dispersión es excesiva; los coeficientes de variación, indistinto el parámetro y el material en consideración, son cercanos o superiores a 0,80, y las desviaciones estándar son muy amplias (por encima de 0.90 y máximos de hasta 7.0). Comportamiento explicado en algunos escenarios, como el de las areniscas (Tpb-A), los suelos residuales (QTPb-L-sr) y los rellenos traslocados (Qd1 o Qd2), por los reducidos elementos constitutivos del espacio muestral (en otras palabras por los pocos resultados de los ensayos) y en otros, como el de los rellenos antrópicos (Qra1 o Qra2) y el de las lodolitas (Tpb-L), por la amplia diversidad de resultados. Conclusiones y respuestas sintetizadas gráficamente en el [Anexo F.2](#).

En gracia de estas consideraciones, y a fe de superar los impasses señalados, los límites de los intervalos de las variables endógenas, se definen con ayuda del criterio propuesto por la DPAE (2000). 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 la sustracción de los coeficientes de variación (cv) para  $c'$  y para  $tg\phi'$ ; empero, condicionados los extremos del dominio con partes del espacio muestral, es decir, con parejas  $c'$ ,  $\phi'$  (provenientes de los cortes directos), esquema valido no sólo para los llenos antrópicos: Qra1 y Qra2, Qd1 y Qd2, sino para la lodolita Tpb-L(A), en el entendido que representa al macizo alterado (en particular a los horizontes II A y II B), y por consiguiente para los planos de discontinuidad, o bien con las envolventes superior e inferior de Larson en lo que atañe al Qra1. Tal procedimiento implica trabajar, en ocasiones, las endógenas como variables independientes (supuesto no siempre válido), así:

$$\begin{aligned}c'_{\max} &= c'_{prom} + c.v_c * c'_{prom} & tg\phi'_{\max} &= tg\phi'_{prom} + c.v_t \cdot tg\phi'_{prom} \\c'_{\min} &= c'_{prom} - c.v_c * c'_{prom} & tg\phi'_{\min} &= tg\phi'_{prom} - c.v_t \cdot tg\phi'_{prom}\end{aligned}$$

o lo que es lo mismo:

$$\begin{aligned}c'_{prom} &= \frac{c'_{\max}}{(1 + c.v_c)} & c'_{prom} &= \frac{c'_{\min}}{(1 - c.v_c)} \\tg\phi'_{prom} &= \frac{tg\phi'_{\max}}{(1 + c.v_t)} & tg\phi'_{prom} &= \frac{tg\phi'_{\min}}{(1 - c.v_t)}\end{aligned}$$

La tarea así expuesta, involucra 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 el [Anexo F.5](#), mediante el ensayo de varios juegos de parámetros (rotulados con el nombre de intervalos de calibración y esquematizados en las figuras del [Anexo F.2.2](#)). Procedimiento de gran valor para fijar el borde inferior ( $c'_{\min}$ ,  $\phi'_{\min}$ ) en el Qra1, en la lodolita (Tpb-L) y en el suelo residual (QTPb-L-sr). Las combinaciones propias de cada uno se compilan en las memorias de cálculo del [Anexo F.3](#).

La suma de las líneas descritas se 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 F.3](#), ellos se rechazan puesto que no satisfacen el criterio de retroalimentación.

Ahora bien, como los dominios de los parámetros (que no son otra cosa que los espacios muestrales) y por consiguiente las envolventes para el material rocoso y para el suelo residual difieren entre sí poco en magnitud, es imprescindible diferenciar y discriminar las funciones de distribución de los coeficientes de resistencia en el macizo alterado, representado por los horizontes de meteorización IIA y IIB del perfil de Deer y Patton (1.971) y del suelo residual (asimilable a los horizontes IC y IB del perfil Deer y Patton, 1971). En este sentido y como último escalón de la cadena predictiva, la deducción de los parámetros operativos en el macizo alterado y en los suelos residuales, se apoya en las propuestas de Skempton, (citado por Cornforth, 2005) que sugiere que  $c' = (2/3)c'_{\max}$  y  $tg\phi' = (2/3)tg\phi'_{\max}$ , y de Hoek y Brown (1997), coloquialmente conocida como el GSI, para la que se toma el menor valor de la resistencia a la compresión simple en la roca, equivalente a 5,41 Kg/cm<sup>2</sup> y se reduce el índice de calidad del macizo hasta 30. De su aplicación se obtiene:  $c'_{\min} = 2.10$  Ton/m<sup>2</sup>,  $\phi'_{\min} = 16.60$  y  $c'_{\max} = 3.00$  Ton/m<sup>2</sup>,  $\phi'_{\max} = 24.10$ , si se trata del macizo alterado, y  $c'_{\min} = 1.90$  o 1.20 Ton/m<sup>2</sup>,  $\phi'_{\min} = 16.60$  y  $c'_{\max} = 2.47$  Ton/m<sup>2</sup>,  $\phi'_{\max} = 24.10$  (véase el [Anexo F.3](#)), fronteras ligadas a los

coeficientes mínimos y medios esperados de resistencia, pero justificadas y validadas (en especial la inferior) por los criterios de retroalimentación iterativa y de similitud geomorfológica. Nótese que entre uno y otro material se conservan los ángulos de fricción, ligeramente conservadores para el macizo alterado, y se reduce ostensiblemente la cohesión. Derrotero explicado en el hecho de que esta componente de la resistencia es la que primero y más rápidamente desaparece.

### 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) y de su predisposición cinemática, entre ellos se cuentan:

- a) Deslizamientos rotacionales o compuestos, locales y generales, con y sin grieta de tracción, en los llenos antrópicos: Qra-1, Qd-1 y Qd-2, gestados por reblandecimiento, por saturación súbita o por presurización (i.e por cambios drásticos en el régimen de aguas).

A este conjunto hace parte las amplias laderas de las regiones LEI-tra-I-1 y LEI-tra-I-2, y la progresión y retrogresión de los cuerpos de deslizamiento (el DT-001I, el DT-002I y el DT-002I, fuente de las unidades LEI-trat-I-1, LEI-trat-I-2 y LEI-trat-I-3). Modelamiento adelantado al conservar la expresión morfológica hoy día pero con la búsqueda de superficies móviles al respaldo de los cuerpos ya movidos.

- b) Deslizamientos rotacionales en el macizo rocoso, sano (véase el Anexo C.5) y alterado. Proposición nacida y fundada en la pobre o regular calidad del macizo (inferida de los valores del RQD, posicionados entre el 7.2% y el 72.50%, pero circunscritos, modalmente, entre el 9.30% y el 26.20%), patente en los corredores sur y oriental, diagramados por las zonas homogéneas: LEI-text-I-1, LEI-text-I-2, LEI-text-I-3 y LEI-text-I-5, y ratificada en los sondeos S-1, S-2, S-3, S-4, S-6 y S-7, pero extrapolada a toda la urbanización, es decir a las unidades LEI-trat-I-1, LEI-trat-I-2, LEI-trat-I-3, LEI-tra-I-1, LEI-tra-I-2 (véase el Plano 7).

La activación de las masas potenciales toma lugar bajo estados de presurización parcial, expresados por coeficientes de presión de poros,  $ru$ , entre 0,18 y 0,25, siempre acompañados con la saturación del cuaternario y con la alteración progresiva (en el espacio y en el tiempo) del macizo. Es por tanto un modelo prospectivo estructurado en tres fases; la primera introduce el macizo tal y como opera hoy día (estadio denominado macizo sano); la segunda involucra un perfil de alteración de entre 3.50 m y 5.0 m, esquema retomado de la variación de la calidad del macizo en los sondeos S-1, S-2, S-3, S-6 y S-9, y la tercera incorpora horizontes infinitos propios de estadios ulteriores, homogéneos.

- c) Fallas planares infinitas en los rellenos y en los suelos residuales (simulados bajo la óptica del macizo alterado al punto de convertirse en los horizontes IC o IB del perfil de Deer y Patton, 1971 – sintetizado en el Anexo C.5); el plano de despegue está controlado por la estratificación (orientada  $E_1=276/36$  o  $E_1=264/38$ ) o por la familia de diaclasas  $D_5=16/56$  o se forja paralela a la superficie libre, y su espesor en caso alguno supera los dos (2) metros. Tienen cabida en las exposiciones del cuaternario y de la lodolita, expuestos en las regiones LEI-tra-I-1, LEI-tra-I-2, LEI-text-I-2, LEI-text-I-3, LEI-text-I-4 y LEI-text-I-5, escenarios últimos que lo convierten en parte, toda vez que operen los parámetros del suelo residual, en un modelo predictivo, pues se funda en que el macizo se transfigure y que estos horizontes tengan lugar en el tiempo. Su activación recae en la saturación o en la presurización del manto potencial promovida por el movimiento descendente del agua lluvia.

**TABLA 6.3 PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE LOS MATERIALES**

No.	Nombre	DESCRIPCIÓN	$\gamma$ (Ton/m <sup>3</sup> )	$\gamma$ Sat (Ton/m <sup>3</sup> )	SPT		CORTE DIRECTO		VALOR PROMEDIO		VALOR MÍNIMO		VALOR MÁXIMO		OBSERVACIONES
					Cohesión <sup>*</sup> (Ton/m <sup>2</sup> )	$\phi$ <sup>*</sup> (°)	Cohesión <sup>*</sup> (Ton/m <sup>2</sup> )	$\phi$ <sup>*</sup> (°)	Estáticos		Estáticos		Estáticos		
					Cohesión <sup>*</sup> (Ton/m <sup>2</sup> )	$\phi$ <sup>*</sup> (°)	Cohesión <sup>*</sup> (Ton/m <sup>2</sup> )	$\phi$ <sup>*</sup> (°)	Cohesión <sup>*</sup> (Ton/m <sup>2</sup> )	$\phi$ <sup>*</sup> (°)	Cohesión <sup>*</sup> (Ton/m <sup>2</sup> )	$\phi$ <sup>*</sup> (°)	Cohesión <sup>*</sup> (Ton/m <sup>2</sup> )	$\phi$ <sup>*</sup> (°)	
1 y 2	Qra1, Qra2	Relleno Antrópico de reconfiguración	2.11	2.12	3.00	29.30	3.30	20.6	1.20	23.5	1.00	19.0	2.30	27.9	Los extremos están justificados por ensayos de corte directo así: el cmax por el de la muestra M-2 Ap 3 (GIA, 2009), el cmin por el M-5 S10 - M5 (GIA, 2012), el $\phi$ max se del Tr 4 BL-1 (GIA, 2012), y $\phi$ min de (HGA 2000). Los parámetros promedio se toman del universo muestral, y los coeficientes de variación son cvc= 0.39 y cv $\phi$ =0.21
							3.30	16.7							
							1.50	23.0							
							1.00	22.1							
							5 *	36*							
0.00	27.7														
3	Qra3	Relleno Antrópico seleccionado de reconfiguración	1.90	2.08					0.0	32.0	-	-	-	-	Valores asumidos con base en la experiencia del consultor en este tipo de materiales.
4	Qd1, Qd2, Qd3	Depósitos Antrópicos Traslucados	2.12	2.14			4.00	21.50	1.05	18.65	0.60	15.7	1.50	21.5	Los parámetros son deducidos a partir del retroanálisis y de la aplicación del criterio de retroalimentación iterativa en los cuerpos de deslizamiento, pero condicionados por el espacio muestral (ensayos de corte directo y triaxial). Por ejemplo, el cmax se toma del S3- M8 de (GIA, 2009), el $\phi$ max se fija del corte S2-M8 y el $\phi$ min por el S1-M10 (GIA, 2009). El cmin se calcula con el coeficiente de variación, que es equivalente a 0.43. El coeficiente de variación para el ángulo de fricción es de cv $\phi$ =0.17.
							2.50	37.00							
							0*	30.80							
5	QTpb-L-Sr	Suelos residuales de la Formación Bogotá	2.04	2.10			4.00	28.80	2.19	20.4	1.90	16.6	2.47	24.1	Los máximos y mínimos responden a resultados de corte directo tanto de fuentes primarias como de secundarias (p.e. el Ap 9-M1, el AP 3-BL1, el Tr3-BL2 -GIA, 2009, si se trata del $\phi$ max y del cmax), no obstante, se aplica un cvc=0.13 y un cv $\phi$ =0.20. Los mínimos se justifican con los coeficiente de variación.
							1.60	24.10							
6	Tpb-L	Formación Bogotá Niveles arcillosos	2.23	2.28	0.00	44.00	3.10	28.80	3.00	26.2	2.60	22.6	5.00	31.6	Se deduce el promedio del universo muestral disponible que incluye fuentes como GIA (2012), GIA (2009), HGA (2000), Hidrotec (1998). Los máximos y mínimos se obtienen y limitan con el universo muestral (i.e. ensayos de corte directo) y el criterio de retroalimentación iterativa, así el cmax por el S1-M8 y el cmin por el Tr3-BL3, el $\phi$ max por el S6-M13 y el $\phi$ min de TR2-BI2 (GIA, 2012).
							2.60	28.10							
							2.10	31.62							
							5,5 *	22.60							
							1.70	21.60							
							1.70	27.80							
							1.30	26.60							
							1.90	28.57							
							2.00	26.90							
							5.00	29.40							
							0.00	23.90							
							0.60	20.00							
0.60	11,5*														
6,8 *	48,64*														
3.90	55,1*														
7	Tpb-L(A)	Formación Bogotá Macizo Alterado							2.55	20.35	2.10	16.6	3.00	24.1	Se deducen como 2/3 de los parámetros máximos (tomados de GIA, 2009 para las lodollitas) y mínimos o con base en el GSI (Hoek y Brown, 1997). Además, los coeficientes máximos y mínimos responden a resultados de corte directo, entre ellos el S-6 M13 (GIA, 2012) y los de HGA (2000). Los coeficientes de variación son cvc=0.18 y cv $\phi$ =0.2.
8	Tpb-A	Formación Bogotá Areniscas	2.03	2.20			4.00	54.27	2.20	37.5	1.58	30.3	2.90	45.2	Se toma del promedio del universo muestral. Los valores máximos se justifican con las fuentes primarias y secundarias. Los mínimos se deducen con los coeficientes de variación del espectro operativo, que son equivalentes a cvc=0.29 y cv $\phi$ =0.27.
							2.90	51.00							
							1.90	30.30							
							1.80	31.30							

El modelo de falla progresiva, se descartó puesto que las laderas al sur y al oriente mantienen sus expresiones morfológicas en los últimos diez años, conclusión ratificada por los testimonios de los habitantes y por la contrastación morfológica entre las imágenes de Google Earth (2002), y la cartografía del estudio (Gia, 2013). 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.

### 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 (LI) 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, a fe de dar respuesta o en el peor escenario delinear un modelo predictivo, se recurre al monitoreo de la cabeza piezométrica del cuerpo principal de deslizamiento en Buenavista III Sector (Gia, 2009), con dos piezómetros abiertos, durante parte del tiempo del estudio, tal y como lo ratifica el [Anexo F.4](#).

Labor que deja al descubierto la casi saturación de los llenos; la cabeza máxima de presión reposa 1,40m bajo la superficie. En este sentido se fijan como hipótesis de trabajo las siguientes:

- a) El desempeño parcialmente presurizado del macizo rocoso (sano y alterado). Se asume unidireccionalmente un coeficiente crítico de presión de poros,  $ru$ , bien de 0,25 o bien de 0.18; este último deducido de la aplicación de la teoría elástica, para un estado de esfuerzos anisotrópicos, en el que el esfuerzo principal mayor es el vertical, y toda vez que la relación de poisson sea de 0.335, y el ángulo de fricción medio se posicione en  $\phi=26.1^\circ$ .
- b) La saturación de las capas de suelo –los llenos y los suelos residuales (vigentes o proyectados)–, tal y como lo expresan 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 (marco reproducido en la región LEI-tra-I-1 por las descargas súbitas provenientes del Tanque Los Alpes o por los aportes, casi permanentes, de la red de alcantarillado en la esquina nororiental de la II Etapa), del patrón hidrogeológico, o de la migración descendente del agua lluvia en períodos invernales, contextos últimos aplicables a las zonas homogéneas: LEI-tra-I-1 y LEI-tra-I-2, enmarcadas en masas con espesores inferiores a los tres (3) metros. Postulado favorecido por la residencia del cuaternario sobre el sello hidrogeológico por excelencia en las vertientes de Buenavista: las lodolitas de la formación Bogotá.

#### 6.2.1.3.2 Sismo

En cuanto a la variable sismo, se toman 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  $A_g$  y la aceleración mínima  $A_d$ , con sus períodos de retorno y recurrencia. Para la Zona Cerros, universo espacial al que pertenece la Urbanización, el estudio reporta valores de aceleración pico en roca y de aceleración máxima en superficie de 0.22g, tal como se explica en el numeral 3.7 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 ( $T_r=30$  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.

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

donde:

$P^+$  = probabilidad de ocurrencia del evento crítico

$P^-$  = probabilidad de no ocurrencia del evento crítico

$T$  = período de retorno

$n$  = período de análisis

$$P^- = 1 - P^+$$

**TABLA 6.4 PROBABILIDADES DE AGENTES EXÓGENOS**

PERÍODO DE ANÁLISIS	CORTO PLAZO (1 AÑO)		MEDIANO PLAZO (10 AÑOS)		LARGO PLAZO (50 AÑOS)	
	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

La modelación se plantea gracias a los métodos de equilibrio límite, soportados en el criterio de resistencia de Mohr – Coulomb, pero como función de los mecanismos evaluados; así para los deslizamientos rotacionales-traslacionales en suelo, la técnica de las dovelas de Jambu (1954 y 1973, citado por Duncan and Wright, 2005), Bishop (1955, citado por Duncan and Wright, 2005) y Morgenster and Price (1965, citado por Duncan and Wright, 2005) y para las fallas planares infinitas, la solución de Taylor (1948, y desarrollado por Duncan and wrigth, 2005). Se emplean como herramientas de trabajo el programa Slide V5.0 (2004) para los mecanismos de falla rotacional y traslacional en los llenos y en el macizo rocoso, y hojas de cálculo debidamente patronadas o calibradas para la simulación de las fallas planares.

Bajo los lineamientos anteriores, y con el fin de adelantar la tarea de evaluación de estabilidad, se establecen nueve (9) secciones de trabajo (desde la S1 hasta la S9) para la condición actual y futura, 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 evalúan los cuerpos potencialmente inestables según su dirección probable de movilización. Se asume, entonces, que el grado de



estabilidad de cada sección (o de sus partes) es atribuible a la región homogénea a la que pertenece.

A los análisis con Slide se les asignó un código alfa numérico entrelazado al escenario analizado; éste diferencia sucesivamente el universo de trabajo (Buenavista, BVII), la sección de análisis, el modelo de falla y el número consecutivo de superficie analizada; v.g., el archivo BVII\_S1\_1 condensa el escenario actual, en la sección de análisis 1; retrabajada por fallas rotacionales: R, específicamente la primera superficie crítica: 1. Esquema similar se emplea en la falla planar infinita, pero con la diferencia de que se sustrae la superficie crítica y en su lugar se precisa el ángulo del talud y el espesor potencialmente móvil, así: el archivo BVII\_S1\_39\_1, ejemplifica la falla en la ladera de la sección S-1, para inclinaciones de 39 grados y masas de un metro de espesor.

## 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 obtención de la función de la probabilidad de falla. En este sentido, se determina el FS para múltiples casos: dieciséis (16) en total, producto de las cuatro (4) condiciones de eventos detonantes por las cuatro posibles combinaciones de parámetros. Todas las valoraciones se adelantan para tres escenarios de exposición: a corto plazo (1 año), mediano plazo (10 años) y 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 6.12, en la Tabla 6.13, en la Tabla 6.14, en la Tabla 6.15, en la Tabla 6.16, en la Tabla 6.17, en la Tabla 6.18, en la Tabla 6.19, en la Tabla 6.15, en la Tabla 6.16, en la Tabla 6.17, en la Tabla 6.18, en el Tabla 6.19 y en el Anexo F.6, permite definir las condiciones que mejor develan el comportamiento de las laderas hoy día. De éstas se extrae que los rellenos antrópicos, los suelos residuales y los cuerpos de deslizamiento (esquemáticos por taludes S1 a S5), poseen probabilidades de falla en un año, inferiores al 12%, umbral propio de las superficies BVII\_S3\_46\_1.50 y BVII\_S4\_2; su activación (movilización) se produce o como superficies rotacionales o como fallas planares infinitas, con la participación o del sismo, o de la lluvia, o la combinación de los dos agentes exógenos, si operan los parámetros de resistencia mínimos o la cohesión mínima. La esperanza del factor de seguridad E(Fs) es superior a 1.20, límite inferior circunscrito al suelo residual, Qtpb-L-sr, al Qd1 (DT-0011, superficie BVII\_S4\_2) y al Qd2 (DT-0021, superficie BVII\_S5\_2). Respuesta apenas lógica: los deslizamientos y las masas susceptibles de desplazarse han tenido y tienen asidero en los rellenos y en los suelos residuales, y los procesos de inestabilidad hoy día son inactivos. Corolario ratificado por las probabilidades de falla en la Tabla 6.6 y en los Anexos F.5 y F.6.

Los antrópicos más propensos a deslizarse recorren las regiones LEI-tra-I-2, LEI-trat-I-2 y LEI-trat-I-3. Allí los rellenos, traslocados y de conformación, y los suelos residuales revelan, toda vez que el periodo de exposición sea corto (inferior a dos años), probabilidades condicionales entre el 4% y el 12.7%, cuando el

movimiento es rotacional (con o sin grieta) o desde 2.8% hasta el 16.2%, cuando el deslizamiento es traslacional, panorama idealizado en la [Tabla 6.13](#), en la [Tabla 6.14](#), en la [Tabla 6.16](#) y en la [Tabla 6.17](#); la detonación de las masas críticas sucede si participa por lo menos uno de los agentes detonantes, y no opera la cohesión máxima. La respuesta es aún más crítica en el tiempo; las probabilidades condicionales, indiferentes del mecanismos de deslizamiento, se posan entre el 10.6% y el 30%, si el periodo de exposición es de 10 años, y supera el 31% si se extiende a 50 años.

La reactivación de los deslizamientos parece cuestionable pero la retrogresión (y ampliación) no. Las superficies de movilización BVII\_S4\_5, BVII\_S5\_7 y BVII\_S5\_8, trasiegan al respaldo de los masas deslizadas, y exponen estados de falla aún con la participación de uno de los agentes detonantes (el agua o el sismo); las probabilidades condicionales apenas tocan el 4% en el primer año, y se acercan al 30% o superan el 50% en cuanto el periodo de trabajo (i.e. la exposición) se posiciona en 10 años (véase la [Tabla 6.6](#) y la [Tabla 6.12](#)) o en 50 años, respectivamente. Respuesta ligada a la presurización de los llenos y a la aparición de manchas de suelo residual ladera abajo en los lugares antes ocupados por el macizo rocoso (mutación diagramada en las superficies críticas S4\_5, S5\_7 y S5\_8 en el [Anexo F.5](#)), es decir a la generalización de los parámetros del Qtpb-L-sr.

Réplica en menor escala pero no menos trascendente se enmarca en la zona homogénea LEI-tra-I-1, tipificada por las secciones S-1 a S-3. Los depósitos diagraman modestos estadios de trabajo; los taludes esbozan condiciones seguras en ausencia de los agentes detonantes o si el sismo tiene cabida y las esperanzas del factor de seguridad se circunscriben entre el 1,04 y el 2,31 ([Tabla 6.65](#)); la activación tiene asidero toda vez que participe los coeficientes de resistencia mínimos (véase la [Tabla 6.12](#) y la [Tabla 6.13](#), superficies BVII\_S1\_3, BVII\_S2\_1) o los condicionantes (el agua y el sismo) simultáneamente, y las masas críticas provienen de deslizamientos rotacionales sin grieta de tracción y de traslacionales de cerca de 1.50 m de espesor. La probabilidad de falla alcanza el 12.5% a los 10 años (estado actual) o ronda como máximo el 30%, si la vida útil se extiende hasta los 50 años. Panorama que sumado a los precarios sistemas de aislamiento y de mitigación de la segunda etapa, deja en evidencia las desfavorables consecuencias que podría tener tendría en las viviendas 145 a 162 y en sus habitantes.

La estabilidad en los taludes adquiere tintes más adversos en la medida en que el suelo residual hace su aparición bajo los rellenos (simulación casi incontrovertible en las superficies libres S-1, S-2, S-3 y S-6) o continúe su expansión (o progresión) hacia aguas abajo (imaginario de alta posibilidad de ocurrencia en las laderas S-4 y S-5, y transcrito en el [Anexo F.5](#)). La posibilidad de activación permanece constante o se incrementa entre el 2% y el 14%, si el marco de trabajo es a 10 años, o desde el 12% hasta el 50%, si la exposición es a 50 años, y las esperanzas del factor de seguridad descienden desde 1.26 hasta 0.92, cualquiera sea el periodo de exposición (véase la [Tabla 6.13](#)). Conclusión que se desprende de comparar la respuesta esperada otorgada por la probabilidad condicional de las superficies críticas en uno y otro ambiente, y representadas por la BVII\_S1\_1, BVII\_S2\_1, BVII\_S3\_1, BVII\_S4\_2 y BVII\_S5\_4, si se trata del contexto hoy día y las BVII\_S1\_3, BVII\_S2\_2, BVII\_S4\_5 y BVII\_S5\_7 en lo que atañe al pronóstico (i.e. el de los suelos residuales). Diagnóstico sintetizado en la [Tabla 6.5](#), en la [Tabla 6.6](#), en la [Tabla 6.12](#), en la [Tabla 6.13](#) y en la [Tabla 6.14](#).

Esquema que pone de relieve que su movilización, al igual que lo fue la de los cuerpos de deslizamiento (el DT-001I, y el DT-002I, 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 tomen algunos correctivos como la despresurización de los depósitos (bien con subdrenes horizontales, bien con trincheras drenantes, o bien con una combinación de éstos, medios que aprovechan el pequeño a mediano

espesor del cuaternario), la reducción de las masas activas (traducida en el perfilado), la intercepción del agua de escorrentía (con cunetas y con el mantenimiento de las redes de alcantarillado), y la puesta en marcha de sistemas de aislamiento eficientes, capaces de reducir la distancia de viaje de las masas inestables y de retenerlas, la emergencia puede revivirse.

Los deslizamientos traslacionales (idealizados por las fallas planares) frente a los rotacionales, son los procesos con mayor posibilidad de gestación y los de mayor trascendencia espacial, si y solo si el espesor comprometido supere el metro. Basta señalar que ellos condicionan los estados de amenaza en las laderas S-3, S-6, S-7, S-8 y S-9 y en parte de la S-1 y de las regiones LEI-text-I-2, LEI-text-I-4, LEI-text-I-5 y parcialmente de la LEI-text-I-3 y de la LEI-tra-I-1 (véase las [Tablas 6.7 a 6.11](#) y [6.15 a 6.19](#)). Allí los factores de seguridad se enmarcan en el dominio [0.60 – 2.75], y las probabilidades condicionales mutan del 2% al 15.3%, del 3.9% al 19.6%, del 0% al 13.1%, del 0.1% al 20%, del 0% al 21.2%, en los cortes S-1, S-3, S-6, S-7 y S-8 y S-9, respectivamente, para 10 años, o del 6.3% al 30%, del 11% al 36.6%, del 0% al 26.4% y del 0.1% al 45.5%, en las unidades S-1, S-3, S-6 y S-7, S-8 y S-9, respectivamente, para 50 años, conjunto refrendado 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](#) y desde la [Tabla 6.15](#) hasta la [Tabla 6.19](#). Sin embargo, su potencial de daño y sus consecuencias son muy inferiores; los cuerpos de deslizamiento, los volúmenes y la capacidad de desplazamiento (la distancia de viaje) son ampliamente superiores en los movimientos rotacionales. Son estos últimos los gestores de los más amplios escenarios de amenaza.

El comportamiento del macizo rocoso, idealizado por horizontes alterados de hasta cinco metros de espesor, y ejemplificado por las superficies libres y críticas S-1 (BVII\_S1\_4 y BVII\_S1\_5), S-2 (BVII\_S2\_3 y BVII\_S2\_4), S-3 (BVII\_S3\_3 y BVII\_S3\_4), S-4 (BVII\_S4\_6), S-5 (BVII\_S5\_9), S-6 (BVII\_S6\_2), S-7, S-8 y S-9, si bien es más halagüeño, no es completamente tranquilizador. El macizo permanece estable toda vez que no haya sismo ni lluvia, o se movilice la cohesión mínima o los parámetros mínimos:  $c_{\min}$ ,  $\phi_{\min}$ , simultáneamente; los factores de seguridad recorren el intervalo [0.67 - 2.69] y las probabilidades de falla oscilan entre el 0.01% y el 23%, cualquiera sea el escenario de estudio (uno o cincuenta años), con excepción de la sección S-4 que bordea el 40%. Valores que describen (por lo menos desde la perspectiva del razonamiento aproximado y del sentido común) con objetividad el comportamiento de las laderas: durante la última década de vida de Buena Vista son los ambientes más estables, sin que esto signifique que son escenarios excepcionales o muy seguros.

Este último panorama, el más optimista de todos, sólo puede tener cabida si se conserva el estado del macizo hoy día, en otras palabras si el macizo permanece sano. Prototipo plasmado en el [Anexo F.6](#). Las posibilidades de desplazamiento, cualquiera sea el tiempo (uno, diez, o cincuenta años) y la condición de trabajo (es decir el papel de los agentes condicionante) son siempre inferiores al 10%. De esta manera, poca o ninguna responsabilidad recaería en él en la construcción de los escenarios de amenaza y riesgo, y la atención en la estabilización y mitigación se centraría en los rellenos.

Ahora bien, del otro lado, con el pasar del tiempo (en el ideario futuro) la estabilidad puede aproximarse a la marginal, toda vez que la meteorización ocupe lugar protagónico y el macizo se transfigure en su totalidad, modelo bautizado como macizo alterado infinito. La activación en los cortes S-4, S-6, S-7 y S-8, inmersos en las zonas LEI-tra-I-2, LEI-tex-I-2 y LEI-tex-I-3, puede tener lugar en inviernos prolongados o durante lluvias intensas, pero sin la participación adicional del hombre, él catalizaría el proceso. Las probabilidades condicionales, superiores al 30%, así lo ratifican (véase el [Anexo F.6](#)).

TABLA 6.5 ESPERANZAS DEL FACTOR DE SEGURIDAD.

SECCIÓN	SUPERFICIE DE FALLA	MATERIAL	VARIABLES DE ANÁLISIS				FS <sub>prom</sub> (ESPERADOS)
			f <sub>prom</sub>	c (T/m <sup>2</sup> )	LLUVIA	SISMO	
1-1'	BVII_S1_1	Qra	23.5	1.2	No	No	1.76
					No	Si	1.33
					Si	No	1.35
					Si	Si	0.97
	BVII_S1_2	QTpb-L-sr	20.4	2.185	No	No	1.65
					No	Si	1.19
					Si	No	1.22
					Si	Si	0.85
	BVII_S1_3	QTpb-L-sr	20.4	2.185	No	No	1.47
					No	Si	1.12
					Si	No	1.04
					Si	Si	0.78
	BVII_S1_4	Tpb-L (A)	20.35	2.55	No	No	1.67
					No	Si	1.19
					Si	No	1.40
					Si	Si	0.99
BVII_S1_5	Tpb-L (A)	20.35	2.55	No	No	2.69	
				No	Si	1.93	
				Si	No	2.40	
				Si	Si	1.71	
2-2'	BVII_S2_1	Qra	23.5	1.2	No	No	1.65
					No	Si	1.21
					Si	No	1.17
					Si	Si	0.82
	BVII_S2_2	QTpb-L-sr	20.4	2.185	No	No	1.70
					No	Si	1.13
					Si	No	1.18
					Si	Si	0.75
	BVII_S2_3	Tpb-L (A)	20.35	2.55	No	No	1.67
					No	Si	1.12
					Si	No	1.39
					Si	Si	0.91
	BVII_S2_4	Tpb-L (A)	20.35	2.55	No	No	2.52
					No	Si	1.68
					Si	No	2.27
					Si	Si	1.50
3-3'	BVII_S3_1	Qra	23.5	1.2	No	No	1.85
					No	Si	1.30
					Si	No	1.32
					Si	Si	0.90
	BVII_S3_2	QTpb-L-sr	20.4	2.185	No	No	2.31
					No	Si	1.55
					Si	No	1.89
					Si	Si	1.25
	BVII_S3_3	Tpb-L (A)	20.35	2.55	No	No	1.79
					No	Si	1.18
					Si	No	1.53
					Si	Si	0.99
	BVII_S3_4	Tpb-L (A)	20.35	2.55	No	No	2.00
					No	Si	1.48
					Si	No	1.75
					Si	Si	1.29

TABLA 6.6 ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD (CONTINUACIÓN)

SECCIÓN	SUPERFICIE DE FALLA	MATERIAL	VARIABLES DE ANÁLISIS				FS <sub>prom</sub> (ESPERADOS)			
			$\phi$ <sub>prom</sub>	c (T/m <sup>2</sup> )	LLUVIA	SISMO				
4-4'	BVII_S4_1	Qd	18.65	1.05	No	No	1.52			
					No	Si	1.07			
					Si	No	1.20			
	Si				Si	0.33				
	No				No	1.42				
	No				Si	1.04				
	BVII_S4_2	Si	No	1.11						
		Si	Si	0.78						
		No	No	1.67						
	BVII_S4_3	Qra1	23.5	1.2	No	Si	1.17			
					Si	No	1.15			
					Si	Si	0.77			
	No				No	1.88				
	No				Si	1.20				
	Si				No	1.88				
	BVII_S4_4	Si	Si	1.20						
		No	No	1.74						
		No	Si	1.10						
BVII_S4_5	Si	No	0.81							
	Si	Si	0.51							
	No	No	1.30							
BVII_S4_6	QTpb-L-sr	20.4	2.185	No	Si	0.89				
				Si	No	0.83				
				Si	Si	0.53				
No				No	1.35					
BVII_S4_7				Tpb-L (A)	20.35	2.55	No	Si	0.92	
							Si	No	1.01	
	Si	Si	0.67							
No	No	1.30								
5-5'	BVII_S5_1	Qra	23.5				1.20	No	Si	0.91
								Si	No	0.99
				Si	Si	0.68				
	No			No	1.16					
	BVII_S5_2			No	Si	0.76				
				Si	No	0.98				
Si		Si	0.63							
BVII_S5_3	Qd	18.7	1.05	No	No	1.62				
				No	Si	1.11				
				Si	No	1.33				
Si				Si	0.90					
BVII_S5_4				No	No	1.46				
				No	Si	0.97				
	Si	No	1.14							
BVII_S5_5	Si	Si	0.75							
	No	No	1.13							
	No	Si	0.73							
BVII_S5_6	QTpb-L-sr	20.4	2.19	Si	No	0.95				
				Si	Si	0.61				
				No	No	1.37				
No				Si	0.92					
Si				No	0.90					
Si				Si	0.57					

TABLA 6.7 ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD (CONTINUACIÓN)

SECCIÓN	SUPERFICIE DE FALLA	MATERIAL	VARIABLES DE ANÁLISIS				FS <sub>prom</sub> (ESPERADOS)			
			f <sub>prom</sub>	c (T/m <sup>2</sup> )	LLUVIA	SISMO				
5-5'	BVII_S5_7	QTpb-L-sr	20.4	2.19	No	No	1.31			
					No	Si	0.88			
					Si	No	1.16			
	BVII_S5_8				Si	Si	0.76			
					No	No	1.34			
					No	Si	0.92			
					Si	No	0.87			
					Si	Si	0.57			
					No	No	1.53			
BVII_S5_9	Tpb-L (Alt)	2.6	20.35	No	Si	0.96				
				Si	No	1.24				
				Si	Si	0.76				
6-6'	BVII_S6_1	Qra	23.5	1.2	No	No	1.98			
					No	Si	1.48			
					Si	No	1.50			
					Si	Si	1.09			
	BVII_S6_2				Tpb-L (Alt)	26.2	3.0	No	No	1.95
								No	Si	1.26
								Si	No	1.71
Si	Si	1.09								
7-7'	BVII_S7_1	Tpb-L (Alt)	20.4	2.55	No	No	1.33			
					No	Si	1.01			
					Si	No	1.13			
					Si	Si	0.84			
8-8'	BVII_S8_1	Tpb-L (Alt)	20.4	2.55	No	No	1.79			
					No	Si	1.24			
					Si	No	1.56			
					Si	Si	1.06			
9-9'	BVII_S9_1	Tpb-L (Alt)	20.35	2.55	No	No	1.61			
					No	Si	1.26			
					Si	No	1.39			
					Si	Si	1.08			
1-1	BVII_S1_39°_1	Qra1	23.5	1.20	No	No	2.14			
					No	Si	1.75			
					Si	No	1.72			
					Si	Si	1.41			
	BVII_S1_39°_1.5				No	No	1.61			
					No	Si	1.32			
					Si	No	1.19			
					Si	Si	0.97			
	BVII_S1_29°_1				QTpb-L-sr	20.4	2.19	No	No	1.71
								No	Si	1.40
								Si	No	1.28
								Si	Si	1.05
	BVII_S1_29°_1.5							No	No	1.37
								No	Si	1.12
								Si	No	0.94
								Si	Si	0.77
BVII_S1_35°_1	No	No	1.47							
	No	Si	1.21							
	Si	No	1.08							
	Si	Si	0.89							

TABLA 6.8 ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD (CONTINUACIÓN)

SECCIÓN	SUPERFICIE DE FALLA	MATERIAL	VARIABLES DE ANÁLISIS				FS <sub>prom</sub> (ESPERADOS)			
			f <sub>prom</sub>	c (T/m <sup>2</sup> )	LLUVIA	SISMO				
1-1'	BVII_S1_35°_1.5	QTpb-L-sr	20.4	2.19	No	No	1.16			
					No	Si	0.95			
					Si	No	0.77			
					Si	Si	0.63			
2-2'	BVII_S2_40°_1	Qra1	23.5	1.20	No	No	2.11			
					No	Si	1.73			
					Si	No	1.69			
					Si	Si	1.39			
	BVII_S2_40°_1.5	Qra1	23.5	1.20	No	No	1.58			
					No	Si	1.29			
					Si	No	1.16			
					Si	Si	0.95			
	BVII_S2_17°_1	QTpb-L-sr	20.4	2.19	No	No	2.80			
					No	Si	2.29			
					Si	No	2.14			
					Si	Si	1.76			
					No	No	2.27			
					No	Si	1.86			
					Si	No	1.62			
					Si	Si	1.33			
BVII_S2_17°_1.5	QTpb-L-sr	20.4	2.19	No	No	1.44				
				No	Si	1.18				
				Si	No	1.06				
				Si	Si	0.87				
				No	No	1.13				
				No	Si	0.93				
				Si	No	0.75				
				Si	Si	0.61				
BVII_S2_36°_1	QTpb-L-sr	20.4	2.19	No	No	2.04				
				No	Si	1.67				
				Si	No	1.62				
				Si	Si	1.33				
				No	No	1.51				
				No	Si	1.24				
				Si	No	1.10				
				Si	Si	0.90				
				BVII_S2_36°_1.5	QTpb-L-sr	20.4	2.19	No	No	1.78
								No	Si	1.46
								Si	No	1.40
								Si	Si	1.15
3-3'	BVII_S3_45°_1	Qra1			No	No	1.78			
					No	Si	1.46			
					Si	No	1.40			
					Si	Si	1.15			
	BVII_S3_45°_1.5	Qra1				No	No	1.78		
						No	Si	1.46		
						Si	No	1.40		
						Si	Si	1.15		
BVII_S3_29°_1	Qd				No	No	1.78			
					No	Si	1.46			
					Si	No	1.40			
					Si	Si	1.15			
BVII_S3_29°_1.5	Qd				No	No	1.78			
					No	Si	1.46			
					Si	No	1.40			
					Si	Si	1.15			
BVII_S3_32°_1	QTpb-L-sr				No	No	1.58			
					No	Si	1.29			
					Si	No	1.17			
					Si	Si	0.96			
					No	No	1.25			
					No	Si	1.03			
					Si	No	0.84			
					Si	Si	0.69			
BVII_S3_32°_1.5	QTpb-L-sr				No	No	1.58			
					No	Si	1.29			
					Si	No	1.17			
					Si	Si	0.96			
					No	No	1.25			
					No	Si	1.03			
					Si	No	0.84			
					Si	Si	0.69			

TABLA 6.9 ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD (CONTINUACIÓN)

SECCIÓN	SUPERFICIE DE FALLA	MATERIAL	VARIABLES DE ANÁLISIS				FS <sub>prom</sub> (ESPERADOS)	
			f <sub>prom</sub>	c (T/m <sup>2</sup> )	LLUVIA	SISMO		
3-3'	BVII_S3_41°_1	QTpb-L-sr			No	No	1.32	
					No	Si	1.08	
					Si	No	0.95	
					Si	Si	0.78	
	BVII_S3_41°_1.5				No	No	1.02	
					No	Si	0.84	
					Si	No	0.65	
					Si	Si	0.54	
4-4'	BVII_S4_36°_1	Qra1			No	No	2.25	
					No	Si	1.84	
					Si	No	1.81	
					Si	Si	1.49	
	BVII_S4_36°_1.5				No	No	1.70	
					No	Si	1.39	
					Si	No	1.27	
					Si	Si	1.04	
	BVII_S4_23°_1	Qd			No	No	2.17	
					No	Si	1.78	
					Si	No	1.73	
					Si	Si	1.42	
					BVII_S4_23°_1.5	No	No	1.71
						No	Si	1.40
						Si	No	1.27
						Si	Si	1.04
5-5'	BVII_S5_49°_1	Qra1	No	No	1.96			
			No	Si	1.61			
			Si	No	1.54			
			Si	Si	1.27			
	BVII_S5_49°_1.5		No	No	1.43			
			No	Si	1.17			
			Si	No	1.02			
			Si	Si	0.83			
	BVII_S5_27°_1	Qd	No	No	1.89			
			No	Si	1.55			
			Si	No	1.49			
			Si	Si	1.23			
			BVII_S5_27°_1.5	No	No	1.48		
				No	Si	1.21		
				Si	No	1.09		
				Si	Si	0.89		
6-6'	BVII_S6_37°_1	Qra1	No	No	2.21			
			No	Si	1.81			
			Si	No	1.78			
			Si	Si	1.46			
	BVII_S6_37°_1.5		No	No	1.66			
			No	Si	1.36			
			Si	No	1.24			
			Si	Si	1.01			
	BVII_S6_39°_1	QTpb-L-sr	20.4	2.19	No	No	1.36	
			No	Si	1.12			
			Si	No	0.99			
			Si	Si	0.81			



TABLA 6.10 ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD (CONTINUACIÓN)

SECCIÓN	SUPERFICIE DE FALLA	MATERIAL	VARIABLES DE ANÁLISIS				FS <sub>prom</sub> (ESPERADOS)
			f <sub>prom</sub>	c (T/m <sup>2</sup> )	LLUVIA	SISMO	
6-6'	BVII_S6_39°_1.5	QTpb-L-sr	20.4	2.19	No	No	1.06
					No	Si	0.87
					Si	No	0.69
					Si	Si	0.56
	BVII_S6_14°_1				No	No	3.37
					No	Si	2.77
					Si	No	2.60
					Si	Si	2.13
	BVII_S6_14°_1.5				No	No	2.75
					No	Si	2.25
					Si	No	1.97
					Si	Si	1.61
	BVII_S6_32°_1				No	No	1.58
					No	Si	1.29
					Si	No	1.17
					Si	Si	0.96
	BVII_S6_32°_1.5				No	No	1.25
					No	Si	1.03
					Si	No	0.84
					Si	Si	0.69
	BVII_S6_16°_1				No	No	2.97
					No	Si	2.43
					Si	No	2.28
					Si	Si	1.87
	BVII_S6_16°_1.5				No	No	2.41
					No	Si	1.98
					Si	No	1.72
					Si	Si	1.41
BVII_S6_35°_1	No	No	1.47				
	No	Si	1.21				
	Si	No	1.08				
	Si	Si	0.89				
BVII_S6_35°_1.5	No	No	1.16				
	No	Si	0.95				
	Si	No	0.77				
	Si	Si	0.63				
7-7'	BVII_S7_20°_1	No	No	2.40			
		No	Si	1.96			
		Si	No	1.83			
		Si	Si	1.50			
	BVII_S7_20°_1.5	No	No	1.94			
		No	Si	1.59			
		Si	No	1.37			
		Si	Si	1.12			
	BVII_S7_37°_1	No	No	1.41			
		No	Si	1.16			
		Si	No	1.03			
		Si	Si	0.85			
	BVII_S7_37°_1.5	No	No	1.11			
		No	Si	0.91			
		Si	No	0.73			
		Si	Si	0.60			

TABLA 6.11 ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD (CONTINUACIÓN)

SECCIÓN	SUPERFICIE DE FALLA	MATERIAL	VARIABLES DE ANÁLISIS				FS <sub>prom</sub> (ESPERADOS)
			$\phi$ <sub>prom</sub>	c (T/m <sup>2</sup> )	LLUVIA	SISMO	
7-7'	BVII_S7_59°_1	QTpb-L-sr	20.4	2.19	No	No	1.22
					No	Si	1.00
					Si	No	0.81
					Si	Si	0.66
	BVII_S7_59°_1.5				No	No	0.89
					No	Si	0.73
					Si	No	0.48
					Si	Si	0.39
8-8'	BVII_S8_21°_1	QTpb-L-sr	20.4	2.19	No	No	2.29
					No	Si	1.88
					Si	No	1.74
					Si	Si	1.43
	BVII_S8_21°_1.5				No	No	1.85
					No	Si	1.52
					Si	No	1.30
					Si	Si	1.07
	BVII_S8_31°_1				No	No	1.62
					No	Si	1.33
					Si	No	1.21
					Si	Si	0.99
	BVII_S8_31°_1.5				No	No	1.29
					No	Si	1.05
					Si	No	0.87
					Si	Si	0.72
	BVII_S8_58°_1				No	No	1.21
					No	Si	1.00
					Si	No	0.81
					Si	Si	0.66
BVII_S8_58°_1.5	No	No	0.89				
	No	Si	0.73				
	Si	No	0.48				
	Si	Si	0.394				
9-9'	BVII_S9_23°_1	QTpb-L-sr	20.4	2.19	No	No	2.10
					No	Si	1.725
					Si	No	1.60
					Si	Si	1.31
	BVII_S9_23°_1.5				No	No	1.70
					No	Si	1.39
					Si	No	1.19
					Si	Si	0.9735
	BVII_S9_53°_1				No	No	1.20
					No	Si	0.98
					Si	No	0.82
					Si	Si	0.67
	BVII_S9_53°_1.5				No	No	0.89
					No	Si	0.73
					Si	No	0.51
					Si	Si	0.42

TABLA 6.12 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL: DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL											
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS											
				Sección		1-1'	1-1'	1-1'	1-1'	1-1'	2-2'	2-2'	2-2'	2-2'	3-3'
Superficie de Falla				BVII_S1_1	BVII_S1_2	BVII_S1_3	BVII_S1_4	BVII_S1_5	BVII_S2_1	BVII_S2_2	BVII_S2_3	BVII_S2_4	BVII_S3_1	BVII_S3_2	
Fricción	Cohesión (T/m <sup>2</sup> )	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	2.260	1.915	1.670	1.977	3.168	2.164	1.965	1.983	2.967	2.367	2.386	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	2.059	1.647	1.460	1.644	2.803	1.838	1.642	1.614	2.590	2.005	2.320	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.509	1.659	1.474	1.689	2.568	1.468	1.762	1.723	2.440	1.699	2.340	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.220	1.391	1.262	1.354	2.201	1.142	1.438	1.351	2.071	1.335	2.187	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	1.732	1.369	1.278	1.410	2.274	1.588	1.301	1.371	1.981	1.673	1.660	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	1.601	1.200	1.133	1.187	2.037	1.376	1.103	1.089	1.751	1.444	1.504	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	1.074	1.171	1.114	1.191	1.819	1.035	1.154	1.128	1.615	1.166	1.565	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	0.891	1.001	0.968	0.969	1.581	0.823	0.957	0.899	1.384	0.934	1.470	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	1.820	1.393	1.170	1.663	2.828	1.572	1.347	1.649	2.656	1.717	1.985	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	1.747	1.298	1.102	1.434	2.573	1.451	1.215	1.389	2.380	1.575	1.919	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	0.960	1.137	0.976	1.376	2.229	0.883	1.145	1.389	2.173	1.061	1.855	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	0.863	1.042	0.905	1.144	1.971	0.760	1.012	1.128	1.861	0.913	1.786	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	1.343	0.965	0.865	1.167	2.017	1.119	0.855	1.074	1.761	1.178	1.312	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	1.313	0.930	0.839	1.028	1.863	1.069	0.769	0.926	1.603	1.115	1.279	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	0.637	0.767	0.702	0.948	1.563	0.576	0.710	0.888	1.395	0.687	1.217	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	0.605	0.732	0.674	0.807	1.407	0.522	0.648	0.738	1.235	0.615	1.182	
ru				0.47	0.49	0.49	0.25	0.25	0.47	0.49	0.25	0.25	0.47	0.49	
Material				Qra	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	Tpb-L (A)	Tpb-L (A)	Qra	QTpb-L-sr	Tpb-L (A)	Tpb-L (A)	Qra	QTpb-L-sr	
Valores paramétricos empleados en cada sección				Φ <sub>max</sub>	27.9	24.1	24.1	24.1	24.1	27.9	24.1	24.1	24.1	27.9	24.1
				Φ <sub>min</sub>	19.0	16.6	16.6	16.6	16.6	19.0	16.6	16.6	16.6	19.0	16.6
				C <sub>max</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	2.30	2.47	2.47	3.00	3.00	2.30	2.47	3.00	3.00	2.30	2.47
				C <sub>min</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	1.00	1.90	1.90	2.10	2.10	1.00	1.90	2.10	2.10	1.00	1.90
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 1 año Método PEM				N	0.0378	0.0021	0.0120	0.0016	0.0000	0.0510	0.0025	0.0023	0.0000	0.0167	0.0000
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 10 años Método PEM				N	0.0869	0.0213	0.1033	0.0089	0.0000	0.1248	0.0259	0.0132	0.0000	0.0613	0.0000
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 25 años Método PEM				N	0.1462	0.0570	0.2159	0.0250	0.0000	0.2135	0.0666	0.0367	0.0002	0.1186	0.0000
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 50 años Método PEM				N	0.2067	0.1157	0.3336	0.0549	0.0001	0.3024	0.1305	0.0795	0.0005	0.1829	0.0000

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

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL											
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS											
				Sección		3-3'	3-3'	4-4'	4-4'	4-4'	4-4'	4-4'	4-4'	5-5'	5-5'
Superficie de Falla				BVII_S3_3	BVII_S3_4	BVII_S4_1	BVII_S4_2	BVII_S4_3	BVII_S4_4	BVII_S4_5	BVII_S4_6	BVII_S5_1	BVII_S5_2	BVII_S5_3	
Fricción	Cohesión (T/m <sup>2</sup> )	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	
Φ <sub>max</sub>	c <sub>max</sub>	Sin	Sin	2.128	2.362	2.005	1.840	2.173	2.422	1.476	1.517	1.998	1.873	1.412	
Φ <sub>min</sub>	c <sub>max</sub>	Sin	Sin	1.773	2.063	1.802	1.685	1.801	1.949	1.238	1.308	1.752	1.624	1.389	
Φ <sub>max</sub>	c <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.809	1.936	1.235	1.172	1.548	1.818	1.372	1.385	1.316	1.264	1.353	
Φ <sub>min</sub>	c <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.454	1.635	1.030	0.973	1.175	1.345	1.132	1.173	1.069	1.018	1.329	
Φ <sub>max</sub>	c <sub>max</sub>	Con	Con	1.398	1.748	1.429	1.379	1.527	1.552	1.002	1.035	1.374	1.262	0.953	
Φ <sub>min</sub>	c <sub>max</sub>	Sin	Con	1.184	1.550	1.302	1.251	1.290	1.271	0.852	0.901	1.222	1.114	0.937	
Φ <sub>max</sub>	c <sub>min</sub>	Sin	Con	1.170	1.411	0.841	0.821	1.049	1.130	0.924	0.935	0.771	0.819	0.907	
Φ <sub>min</sub>	c <sub>min</sub>	Sin	Con	0.958	1.211	0.713	0.692	0.821	0.849	0.771	0.798	0.718	0.669	0.890	
Φ <sub>max</sub>	c <sub>max</sub>	Con	Sin	1.811	2.065	1.631	1.506	1.534	2.422	0.927	1.152	1.568	1.451	0.937	
Φ <sub>min</sub>	c <sub>max</sub>	Con	Sin	1.561	1.863	1.535	1.415	1.384	1.949	0.833	1.009	1.445	1.326	0.923	
Φ <sub>max</sub>	c <sub>min</sub>	Con	Sin	1.493	1.640	0.862	0.798	0.915	1.818	0.822	1.019	0.891	0.844	0.876	
Φ <sub>min</sub>	c <sub>min</sub>	Con	Sin	1.243	1.442	0.764	0.704	0.761	1.345	0.726	0.875	0.765	0.718	0.861	
Φ <sub>max</sub>	c <sub>max</sub>	Con	Con	1.173	1.514	0.142	1.082	1.040	1.552	0.591	0.763	1.056	0.954	0.603	
Φ <sub>min</sub>	c <sub>max</sub>	Con	Con	1.034	1.392	0.098	1.039	0.972	1.271	0.548	0.680	0.996	0.893	0.594	
Φ <sub>max</sub>	c <sub>min</sub>	Con	Con	0.947	1.178	0.557	0.529	0.572	1.130	0.513	0.663	0.558	0.513	0.554	
Φ <sub>min</sub>	c <sub>min</sub>	Con	Con	0.808	1.058	0.510	0.483	0.498	0.849	0.468	0.577	0.492	0.450	0.545	
ru				0.25	0.25	0.40	0.40	0.47	0.47	0.49	0.25	0.40	0.40	0.40	
Material				Tpb-L (A)	Tpb-L (A)	Qd	Qd	Qra1	Qra1	QTpb-L-sr	Tpb-L (A)	Qd	Qd	Qd	
Valores paramétricos empleados en cada sección				Φ <sub>max</sub>	24.1	24.1	21.5	21.5	27.9	27.9	24.1	24.1	21.5	21.5	21.5
				Φ <sub>min</sub>	16.6	16.6	15.7	15.7	19.0	19.0	16.6	16.6	15.7	15.7	15.7
				c <sub>max</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	3.00	3.00	1.50	1.50	2.30	2.30	2.47	3.00	1.50	1.50	1.50
				c <sub>min</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	2.10	2.10	0.60	0.60	1.00	1.00	1.90	2.10	0.60	0.60	0.60
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 1 año Método PEM				N	0.0007	0.0001	0.1017	0.1269	0.0391	0.0095	0.0428	0.0184	0.0763	0.0948	0.0348
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 10 años Método PEM				N	0.0062	0.0006	0.1624	0.2001	0.1177	0.0133	0.3014	0.1429	0.1458	0.1811	0.2982
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 25 años Método PEM				N	0.0202	0.0019	0.2398	0.2866	0.2130	0.0194	0.5859	0.2862	0.2294	0.2832	0.5873
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 50 años Método PEM				N	0.0480	0.0047	0.3264	0.3715	0.3103	0.0291	0.8252	0.4205	0.3144	0.3842	0.8295

**TABLA 6.14 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL: DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES (CONTINUACIÓN)**

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL CONDICIÓN DE ANÁLISIS											
				5-5'	5-5'	5-5'	5-5'	5-5'	5-5'	5-5'	6-6'	6-6'	7-7'	8-8'	9-9'
Sección				BVII_S5_4	BVII_S5_5	BVII_S5_6	BVII_S5_7	BVII_S5_8	BVII_S5_9	BVII_S6_1	BVII_S6_2	BVII_S7_1	BVII_S8_1	BVII_S9_1	
Superficie de Falla															
Fricción	Cohesión (T/m <sup>2</sup> )	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	1.540	1.416	1.875	1.571	1.559	1.795	2.628	2.164	1.562	1.950	1.892	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	1.486	1.406	1.628	1.293	1.261	1.440	2.305	1.982	1.358	1.796	1.675	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.317	1.371	1.466	1.450	1.424	1.616	1.664	1.999	1.299	1.835	1.552	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.257	1.356	1.213	1.172	1.125	1.259	1.342	1.642	1.092	1.567	1.334	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	1.053	0.951	1.285	1.053	1.061	1.131	1.967	1.396	1.187	1.298	1.479	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	1.019	0.949	1.137	0.882	0.874	0.919	1.757	1.289	1.053	1.268	1.334	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	0.882	0.920	0.981	0.964	0.960	1.004	1.197	1.279	0.969	1.262	1.196	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	0.844	0.913	0.828	0.792	0.771	0.793	0.986	1.057	0.832	1.109	1.048	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	1.082	0.936	1.348	1.015	1.000	1.452	2.033	1.987	1.322	1.687	1.623	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	1.058	0.938	1.254	0.904	0.880	1.199	1.917	1.756	1.197	1.603	1.492	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	0.857	0.894	0.947	0.896	0.866	1.272	1.076	1.679	1.059	1.571	1.288	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	0.825	0.891	0.845	0.784	0.745	1.018	0.957	1.407	0.924	1.377	1.151	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	0.711	0.597	0.891	0.643	0.645	0.894	1.494	1.273	0.988	1.109	1.255	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	0.701	0.603	0.857	0.593	0.588	0.753	1.447	1.137	0.920	1.100	1.180	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	0.544	0.569	0.595	0.556	0.544	0.769	0.735	1.045	0.771	1.077	0.976	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	0.521	0.570	0.551	0.505	0.487	0.627	0.681	0.895	0.698	0.967	0.896	
ru				0.40	0.47	0.47	0.49	0.49	0.25	0.47	0.25	0.25	0.25	0.25	
Material				Qd	Qra	Qra	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	Tpb-L (A)	Qra	Tpb-L (Alt)	Tpb-L (A)	Tpb-L (A)	Tpb-L (A)	
Valores paramétricos empleados en cada sección				Φ <sub>max</sub>	21.5	27.9	27.9	24.1	24.1	24.1	27.9	24.1	24.1	24.1	
				Φ <sub>min</sub>	15.7	19.0	19.0	16.6	16.6	16.6	19.0	16.6	16.6	16.6	
				C <sub>max</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	1.50	2.30	2.30	2.47	2.47	3.00	2.30	3.00	3.00	3.00	
				C <sub>min</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	0.60	1.00	1.00	1.90	1.90	2.10	1.00	2.10	2.10	2.10	
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método PEM				N	0.0231	0.0348	0.0211	0.0370	0.0480	0.0067	0.0289	0.0001	0.0290	0.0000	0.0015
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM				N	0.1974	0.2984	0.1061	0.2708	0.2863	0.0345	0.0632	0.0018	0.0822	0.0007	0.0072
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM				N	0.3941	0.5876	0.2099	0.5298	0.5500	0.0768	0.1053	0.0079	0.1507	0.0036	0.0180
Probabilidad de falla (Pf) a 50 años Método PEM				N	0.5697	0.8299	0.3177	0.7498	0.7747	0.1373	0.1494	0.0213	0.2290	0.0100	0.0359

TABLA 6.15 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL: DESLIZAMIENTOS PLANARES

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL												
				CONDICION DE ANÁLISIS												
Sección				1-1'	1-1'	1-1'	1-1'	1-1'	1-1'	2-2'	2-2'	2-2'	2-2'	2-2'		
Superficie de Falla				BVII_S1_39°	BVII_S1_39°	BVII_S1_29	BVII_S1_29	BVII_S1_35	BVII_S1_35	BVII_S2_40°	BVII_S2_40°	BVII_S2_17	BVII_S2_17	BVII_S2_36		
Fricción	Cohesion (T/m <sup>2</sup> )	Lluvia	Sismo		F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	2.883	2.140	3.119	2.348	2.725	2.030	2.845	2.107	4.970	3.801	2.677		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	2.654	1.911	2.850	2.079	2.512	1.817	2.624	1.886	4.482	3.313	2.472		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.623	1.300	2.194	1.732	1.891	1.473	1.593	1.273	3.567	2.866	1.853		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.394	1.071	1.925	1.463	1.678	1.260	1.373	1.052	3.079	2.378	1.647		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	2.363	1.754	2.557	1.925	2.234	1.664	2.332	1.727	4.073	3.115	2.195		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	2.175	1.566	2.336	1.704	2.059	1.489	2.151	1.546	3.673	2.715	2.026		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	1.330	1.065	1.799	1.420	1.550	1.208	1.306	1.043	2.924	2.349	1.519		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	1.143	0.878	1.578	1.199	1.375	1.033	1.125	0.862	2.524	1.949	1.350		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	2.374	1.631	2.602	1.831	2.259	1.563	2.339	1.601	4.185	3.017	2.216		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	2.323	1.580	2.505	1.735	2.201	1.506	2.295	1.558	3.959	2.790	2.165		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	1.114	0.791	1.677	1.215	1.424	1.007	1.088	0.767	2.783	2.081	1.392		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	1.063	0.740	1.580	1.118	1.367	0.949	1.044	0.723	2.556	1.855	1.340		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	1.946	1.337	2.133	1.501	1.851	1.281	1.917	1.313	3.431	2.473	1.817		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	1.904	1.295	2.054	1.422	1.804	1.234	1.881	1.277	3.245	2.287	1.774		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	0.913	0.648	1.375	0.996	1.167	0.825	0.892	0.629	2.281	1.706	1.141		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	0.872	0.607	1.295	0.916	1.120	0.778	0.856	0.593	2.095	1.520	1.098		
β				39.0	39.0	29.0	29.0	35.0	35.0	40.0	40.0	17.0	17.0	36.0		
				0.47	0.47	0.49	0.49	0.49	0.49	0.47	0.47	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49
Z				1	1.5	1	1.5	1	1.5	1	1.5	1	1.5	1		
				Qra-1	Qra-1	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	Qra-1	Qra-1	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	
Valores paramétricos empleados en cada sección				Φ <sub>max</sub>	27.9	27.9	24.1	24.1	24.1	24.1	27.9	27.9	24.1	24.1	24.1	
				Φ <sub>min</sub>	19.0	19.0	16.6	16.6	16.6	16.6	19.0	19.0	16.6	16.6	16.6	16.6
				C <sub>max</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	2.30	2.30	2.00	2.00	2.00	2.00	2.30	2.30	2.00	2.00	2.00	2.00
				C <sub>min</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	1.00	1.00	1.20	1.20	1.20	1.20	1.00	1.00	1.20	1.20	1.20	1.20
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 1año Método PEM				N	0.0395	0.0878	0.0010	0.0050	0.0031	0.0194	0.0424	0.0957	0.0000	0.0001	0.0037	
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 10 años Método PEM				N	0.0631	0.1530	0.0032	0.0210	0.0094	0.0631	0.0673	0.1639	0.0001	0.0004	0.0108	
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 25 años Método PEM				N	0.0909	0.2289	0.0061	0.0412	0.0172	0.1162	0.0964	0.2433	0.0002	0.0009	0.0197	
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 50 años Método PEM				N	0.1175	0.3005	0.0093	0.0632	0.0256	0.1705	0.1244	0.3179	0.0004	0.0014	0.0293	

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

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL												
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS												
Sección				2-2'	3-3'	3-3'	3-3'	3-3'	3-3'	3-3'	3-3'	3-3'	4-4'	4-4'	4-4'	
Superficie de Falla				BVII_S2_36	BVII_S3_45*	BVII_S3_45*	BVII_S3_29*	BVII_S3_32	BVII_S3_32	BVII_S3_41	BVII_S3_41	BVII_S2_36*	BVII_S2_36*	BVII_S4_23*		
Fricción	Cohesión (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.		
$\phi_{max}$	$C_{max}$	Sin	Sin	1.990	2.753	2.025	2.379	2.897	2.170	2.495	1.835	3.021	2.257	2.895		
$\phi_{min}$	$C_{max}$	Sin	Sin	1.785	2.555	1.826	2.176	2.689	1.931	2.323	1.663	2.766	2.002	2.629		
$\phi_{max}$	$C_{min}$	Sin	Sin	1.440	1.518	1.201	1.378	2.025	1.588	1.703	1.307	1.725	1.393	1.715		
$\phi_{min}$	$C_{min}$	Sin	Sin	1.235	1.319	1.003	1.175	1.786	1.350	1.531	1.135	1.471	1.138	1.449		
$\phi_{max}$	$C_{max}$	Sin	Con	1.631	2.257	1.660	1.950	2.375	1.779	2.045	1.504	2.476	1.850	2.373		
$\phi_{min}$	$C_{max}$	Sin	Con	1.463	2.094	1.497	1.783	2.179	1.583	1.904	1.363	2.267	1.641	2.155		
$\phi_{max}$	$C_{min}$	Sin	Con	1.181	1.244	0.985	1.130	1.660	1.302	1.396	1.071	1.414	1.142	1.406		
$\phi_{min}$	$C_{min}$	Sin	Con	1.012	1.081	0.822	0.963	1.464	1.106	1.255	0.930	1.205	0.933	1.188		
$\phi_{max}$	$C_{max}$	Con	Sin	1.529	2.254	1.526	1.943	2.410	1.682	2.052	1.392	2.498	1.734	2.380		
$\phi_{min}$	$C_{max}$	Con	Sin	1.477	2.230	1.502	1.864	2.333	1.606	2.028	1.368	2.426	1.662	2.262		
$\phi_{max}$	$C_{min}$	Con	Sin	0.979	1.019	0.702	0.941	1.537	1.101	1.260	0.864	1.202	0.870	1.200		
$\phi_{min}$	$C_{min}$	Con	Sin	0.928	0.995	0.678	0.863	1.461	1.025	1.236	0.840	1.130	0.798	1.082		
$\phi_{max}$	$C_{max}$	Con	Con	1.253	1.848	1.251	1.592	1.975	1.379	1.682	1.141	2.047	1.421	1.951		
$\phi_{min}$	$C_{max}$	Con	Con	1.211	1.828	1.231	1.528	1.913	1.317	1.662	1.121	1.988	1.362	1.854		
$\phi_{max}$	$C_{min}$	Con	Con	0.803	0.835	0.576	0.772	1.260	0.902	1.033	0.708	0.985	0.713	0.984		
$\phi_{min}$	$C_{min}$	Con	Con	0.760	0.816	0.556	0.707	1.197	0.840	1.013	0.688	0.926	0.654	0.887		
$\beta$				36.0	43.0	43.0	29.0	32.0	32.0	41.0	41.0	36.0	36.0	23.0		
$\gamma$				0.49	0.47	0.47	0.47	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.47	0.47	0.47	
$Z$				1.5	1	1.5	1	1	1.5	1	1.5	1	1.5	1		
Material				QTpb-L-sr	Qra-1	Qra-1	Qd	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	Qra-1	Qra-1	Qd		
Valores paramétricos empleados en cada sección				$\phi_{max}$	24.1	27.9	27.9	21.5	24.1	24.1	24.1	24.1	27.9	27.9	21.5	
				$\phi_{min}$	16.6	19.0	19.0	15.7	16.6	16.6	16.6	16.6	19.0	19.0	15.7	
				$C_{max}$ (ton/m²)	2.00	2.30	2.30	1.50	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.30	2.30	1.50
				$C_{min}$ (ton/m²)	1.20	1.00	1.00	0.60	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.00	1.00	0.60
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método PEM				N	0.0232	0.0512	0.1198	0.0672	0.0018	0.0105	0.0073	0.0480	0.0309	0.0653	0.0278	
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM				N	0.0724	0.0795	0.1960	0.1062	0.0058	0.0385	0.0196	0.1247	0.0508	0.1203	0.0494	
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM				N	0.1319	0.1127	0.2842	0.1519	0.0107	0.0734	0.0348	0.2154	0.0741	0.1847	0.0749	
Probabilidad de falla (Pf) a 50 años Método PEM				N	0.1923	0.1443	0.3665	0.1957	0.0161	0.1101	0.0507	0.3035	0.0966	0.2460	0.0996	

TABLA 6.17 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL: DESLIZAMIENTOS PLANARES (CONTINUACIÓN)

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL											
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS											
Sección				4-4°	5-5°	5-5°	5-5°	5-5°	6-6°	6-6°	6-6°	6-6°	6-6°	6-6°	
Superficie de Falla				BVII_S4_23°	BVII_S5_49°	BVII_S5_49°	BVII_S5_27°	BVII_S5_27°	BVII_S6_37°	BVII_S6_37°	BVII_S6_39°	BVII_S6_39°	BVII_S6_14°	BVII_S6_14°	
Fricción	Cohesión (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.	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	2.239	2.662	2.025	2.522	1.939	2.971	2.215	2.557	1.889	5.971	4.578	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	1.974	2.501	1.826	2.301	1.718	2.725	1.969	2.373	1.705	5.372	3.980	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.453	1.417	1.201	1.473	1.240	1.689	1.360	1.755	1.354	4.300	3.465	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.187	1.257	1.003	1.251	1.018	1.443	1.114	1.571	1.170	3.702	2.866	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	1.836	2.182	1.660	2.067	1.590	2.435	1.815	2.096	1.548	4.894	3.753	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	1.618	2.050	1.497	1.886	1.408	2.234	1.614	1.945	1.397	4.403	3.262	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	1.191	1.162	0.985	1.207	1.016	1.384	1.115	1.439	1.110	3.525	2.840	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	0.973	1.030	0.822	1.026	0.835	1.183	0.913	1.288	0.959	3.034	2.349	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	1.725	2.159	1.526	2.065	1.482	2.453	1.697	2.109	1.440	5.037	3.644	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	1.606	2.174	1.502	1.974	1.391	2.388	1.632	2.074	1.406	4.750	3.358	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	0.938	0.915	0.702	1.015	0.782	1.171	0.842	1.307	0.906	3.366	2.531	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	0.819	0.930	0.678	0.925	0.692	1.106	0.778	1.272	0.871	3.079	2.244	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	1.414	1.770	1.251	1.692	1.214	2.011	1.391	1.728	1.181	4.128	2.987	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	1.317	1.782	1.231	1.618	1.140	1.958	1.338	1.700	1.152	3.893	2.752	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	0.769	0.750	0.576	0.832	0.641	0.960	0.690	1.071	0.743	2.759	2.074	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	0.672	0.762	0.556	0.758	0.567	0.907	0.637	1.043	0.714	2.524	1.839	
Z				β	23.0	43.0	43.0	27.0	27.0	37.0	37.0	39.0	39.0	14.0	14.0
				ru	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.47	0.49	0.49
Material				1.5	1	1.5	1	1.5	1	1.5	1	1.5	1	1.5	
				Qd	Qra-1	Qra-1	Qd	Qd	Qra-1	Qra-1	Qra-1	Qra-1	Qra-1	Qra-1	Qra-1
Valores paramétricos empleados en cada sección				Φ <sub>max</sub>	21.5	27.9	27.9	21.5	21.5	27.9	27.9	24.1	24.1	24.1	24.1
				Φ <sub>min</sub>	15.7	19.0	19.0	15.7	15.7	19.0	19.0	16.6	16.6	16.6	16.6
				C <sub>max</sub> (ton/m²)	1.50	2.30	2.30	1.50	1.50	2.30	2.30	2.00	2.00	2.00	2.00
				C <sub>min</sub> (ton/m²)	0.60	1.00	1.00	0.60	0.60	1.00	1.00	1.20	1.20	1.20	1.20
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método PEM				N	0.0474	0.0663	0.1621	0.0517	0.1032	0.0337	0.0726	0.0057	0.0371	0.0000	0.0000
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM				N	0.1009	0.1000	0.2484	0.0846	0.1841	0.0548	0.1311	0.0159	0.1032	0.0000	0.0001
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM				N	0.1639	0.1393	0.3479	0.1232	0.2781	0.0796	0.1994	0.0285	0.1821	0.0001	0.0002
Probabilidad de falla (Pf) a 50 años Método PEM				N	0.2245	0.1765	0.4395	0.1605	0.3665	0.1035	0.2643	0.0418	0.2598	0.0001	0.0003



TABLA 6.18 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL: DESLIZAMIENTOS PLANARES (CONTINUACIÓN)

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL												
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS												
				Sección												
Superficie de Falla				6-6°	6-6°	6-6°	6-6°	6-6°	6-6°	7-7°	7-7°	7-7°	7-7°	7-7°		
Superficie de Falla				BVII_S3_32°	BVII_S3_32°	BVII_S6_16°	BVII_S6_16°	BVII_S6_35°	BVII_S6_35°	BVII_S7_20°	BVII_S7_20°	BVII_S7_37°	BVII_S7_37°	BVII_S7_59°		
Fricción	Cohesión (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.		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	2.897	2.170	5.260	4.027	2.725	2.030	4.279	3.263	2.633	1.953	2.490		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	2.659	1.931	4.740	3.506	2.512	1.817	3.869	2.853	2.435	1.755	2.400		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	2.025	1.588	3.780	3.040	1.891	1.473	3.059	2.449	1.817	1.410	1.601		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.786	1.350	3.260	2.520	1.678	1.260	2.649	2.039	1.619	1.212	1.512		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	2.375	1.779	4.312	3.301	2.234	1.664	3.508	2.674	2.159	1.601	2.041		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	2.179	1.583	3.885	2.874	2.059	1.489	3.172	2.338	1.996	1.439	1.967		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	1.660	1.302	3.098	2.492	1.550	1.208	2.508	2.008	1.490	1.155	1.312		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	1.464	1.106	2.672	2.065	1.375	1.033	2.172	1.672	1.327	0.993	1.239		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	2.410	1.682	4.433	3.199	2.259	1.563	3.597	2.580	2.177	1.497	1.993		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	2.333	1.606	4.188	2.955	2.201	1.506	3.415	2.398	2.131	1.451	2.069		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	1.537	1.101	2.953	2.212	1.424	1.007	2.377	1.767	1.361	0.953	1.105		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	1.461	1.025	2.708	1.968	1.367	0.949	2.195	1.585	1.315	0.907	1.181		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	1.975	1.379	3.633	2.622	1.851	1.281	2.949	2.115	1.785	1.227	1.633		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	1.913	1.317	3.433	2.422	1.804	1.234	2.799	1.966	1.747	1.190	1.696		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	1.260	0.902	2.420	1.814	1.167	0.825	1.948	1.448	1.116	0.781	0.905		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	1.197	0.840	2.220	1.613	1.120	0.778	1.799	1.299	1.078	0.744	0.968		
Z				β	32.0	32.0	16.0	16.0	35.0	35.0	20.0	20.0	37.0	37.0	59.0	
				ru	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49	0.49
Material				1	1.5	1	1.5	1	1.5	1	1.5	1	1.5	1		
				QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr
Valores paramétricos empleados en cada sección				Φ <sub>max</sub>	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	
				Φ <sub>min</sub>	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6
				C <sub>max</sub> (ton/m²)	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
				C <sub>min</sub> (ton/m²)	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 1 año Método PEM				N	0.0018	0.0105	0.0000	0.0000	0.0031	0.0194	0.0001	0.0002	0.0043	0.0273	0.0149	
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 10 años Método PEM				N	0.0058	0.0385	0.0001	0.0003	0.0094	0.0631	0.0003	0.0014	0.0125	0.0823	0.0366	
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 25 años Método PEM				N	0.0107	0.0734	0.0002	0.0005	0.0172	0.1162	0.0006	0.0029	0.0226	0.1485	0.0627	
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 50 años Método PEM				N	0.0161	0.1101	0.0003	0.0009	0.0256	0.1705	0.0010	0.0047	0.0333	0.2150	0.0888	

TABLA 6.19 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL: DESLIZAMIENTOS PLANARES (CONTINUACIÓN)

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL											
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS											
Sección				7-7'	8-8'	8-8'	8-8'	8-8'	8-8'	8-8'	8-8'	9-9'	9-9'	9-9'	9-9'
Superficie de Falla				BVII_S7_59'	BVII_S8_21'	BVII_S8_21'	BVII_S8_31'	BVII_S8_31'	BVII_S_58'	BVII_S_58'	BVII_S_58'	BVII_S9_23'	BVII_S9_23'	BVII_S9_53'	BVII_S9_53'
Fricción	Cohesión (T/m <sup>2</sup> )	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	1.749	4.096	3.119	2.965	2.225	2.461	1.734	3.780	2.871	2.377	1.697	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	1.660	3.707	2.730	2.717	1.977	2.368	1.641	3.428	2.520	2.264	1.585	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.157	2.924	2.337	2.077	1.633	1.588	1.152	2.689	2.144	1.561	1.153	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.067	2.535	1.949	1.829	1.384	1.495	1.059	2.338	1.793	1.449	1.041	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	1.434	3.357	2.556	2.430	1.824	2.017	1.421	3.098	2.353	1.948	1.391	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	1.360	3.038	2.238	2.227	1.620	1.941	1.345	2.810	2.065	1.856	1.299	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	0.948	2.396	1.916	1.702	1.338	1.302	0.944	2.204	1.757	1.279	0.945	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	0.875	2.078	1.597	1.499	1.135	1.226	0.868	1.916	1.469	1.187	0.853	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	1.253	3.440	2.463	2.469	1.728	1.973	1.246	3.170	2.261	1.921	1.241	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	1.329	3.270	2.293	2.386	1.646	2.043	1.315	3.022	2.113	1.960	1.280	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	0.660	2.268	1.682	1.580	1.136	1.101	0.664	2.080	1.534	1.105	0.697	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	0.736	2.098	1.512	1.498	1.053	1.170	0.734	1.931	1.386	1.144	0.737	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	1.027	2.820	2.019	2.023	1.417	1.617	1.021	2.598	1.854	1.574	1.017	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	1.089	2.680	1.880	1.956	1.349	1.674	1.078	2.477	1.732	1.607	1.050	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	0.541	1.859	1.379	1.295	0.931	0.902	0.544	1.705	1.258	0.906	0.571	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	0.604	1.720	1.239	1.228	0.863	0.959	0.601	1.583	1.136	0.938	0.604	
<b>β</b>				<b>59.0</b>	<b>21.00</b>	<b>21.00</b>	<b>31.0</b>	<b>31.0</b>	<b>58.0</b>	<b>58.0</b>	<b>58.0</b>	<b>23.00</b>	<b>23.00</b>	<b>53.0</b>	<b>53.0</b>
<b>ru</b>				<b>0.49</b>	<b>0.49</b>	<b>0.49</b>	<b>0.49</b>	<b>0.49</b>	<b>0.49</b>	<b>0.49</b>	<b>0.49</b>	<b>0.49</b>	<b>0.49</b>	<b>0.49</b>	<b>0.49</b>
<b>Z</b>				<b>1.5</b>	<b>1</b>	<b>1.5</b>	<b>1</b>	<b>1.5</b>	<b>1</b>	<b>1.5</b>	<b>1</b>	<b>1.5</b>	<b>1</b>	<b>1.5</b>	
Material				QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr
Valores paramétricos empleados en cada sección				Φ <sub>max</sub>	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1
				Φ <sub>min</sub>	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6
				C <sub>max</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
				C <sub>min</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20	1.20
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 1 año Método PEM				N	0.0991	0.0001	0.0004	0.0015	0.0083	0.0154	0.1019	0.0002	0.0008	0.0156	0.1042
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 10 años Método PEM				N	0.2089	0.0004	0.0020	0.0048	0.0321	0.0375	0.2128	0.0008	0.0041	0.0378	0.2155
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 25 años Método PEM				N	0.3354	0.0009	0.0042	0.0090	0.0616	0.0640	0.3405	0.0015	0.0084	0.0646	0.3438
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 50 años Método PEM				N	0.4525	0.0013	0.0067	0.0135	0.0932	0.0906	0.4587	0.0023	0.0133	0.0917	0.4627

Así, entonces, la reducción de la tasa de alteración del material rocoso es una responsabilidad inaplazable, más aún en ambientes lodosos y blandos como el que circunda a Buena Vista. No obstante, contrario a las amplias bondades de este modelo (ya descritas), la preservación del macizo es una tarea compleja, que depende de muchos factores, uno de ellos mantener el medio inalterado; exigencia que obliga a desestimar cualquier proceso urbanístico al derredor, en especial al oriente y suroriente.

### 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 son limitadas una vez estimadas las distancias probables de viaje de las masas; distancias definidas así: a) en los llenos, a través de la implementación del modelo establecido por P.J. Finlay et al (2000 y 1.999) y de Corominas (1999, citado por Finley et al, 2000), 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:

$$\text{LogL} = C0 + C1xI1 + C2xI2$$

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)

y b) en los macizos rocosos, igual a la altura del talud, consecuencia deducida de que los bloques ruedan hasta alcanzar el ángulo de fricción del material. En uno y otro caso ajustadas a las barreras y obstrucciones (representadas por las edificaciones, los cerramientos y los muros de contención, entre otros) que impone el medio.

En el *Anexo F.7* se condensan las longitudes calculadas (tanto para los coeficientes máximos como promedios, reconocidos como los más apropiados, de acuerdo con los registros de los deslizamientos ocurridos en las tres etapas de Buena Vista) para todos los cuerpos potencialmente inestables discriminados por sección. Conjugados los datos obtenidos del PEM y de los modelos para distancias de viaje, se divide 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 a Buena Vista (véase la *Tabla 6.20*).

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 se acerca a este contexto temporal, y a 50 años. En la configuración actual, los escenarios de amenaza media, los más severos, se concentran en los tres cuerpos de deslizamientos, zonas homogéneas LEI-trat-I-1, LEI-trat-I-2 y LEI-trat-I-3, causantes de la zozobra en la población en el 2011 (véase el *Plano 8*); y en los espacios de retrogresión, las regiones LEI-tra-I-1 y LEI-tra-I-2, que no son otra cosa que las generosas exposiciones de los rellenos antrópicos. Unos y otros escenarios regidos por deslizamientos rotacionales, circunstancia reinante en las superficies S-2, S-4 y S-5, o por fallas planares infinitas. Le siguen en importancia las regiones LEI-tra-I-3, LEI-text-I-1, LEI-text-I-3, LEI-text-I-4, LEI-text-I-5, LEI-edu-I-1, LEI-edu-I-2 y LEI-edu-I-3, todas con categoría de amenaza baja.

**TABLA 6.20 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	0.1243	Media	M
1.900	4.8764	0.1243	0.0040	Baja	B

La imagen es más drástica hacia futuro: 50 años. Las regiones LEI-tra-I-1, LEI-tra-I-2, LEI-trat-I-1, LEI-trat-I-2, LEI-trat-I-3, LEI-tex-I-5, y parte de la LEI-edu-I-1 y de la LEI-rep-I-1 y una muy pequeña parte de la LEI-edu-I-2, las generadoras y las receptoras de las masas inestables, mutan de amenaza media a alta, los deslizamientos rotacionales en los llenos y en los suelos residuales, y las fallas planares infinitas tendrían lugar protagónico. La puesta en marcha de sistemas de contención y de mitigación allí, p.e. con pantallas con pilotes, y perfilados (reconformación morfológica), que estarán invariablemente acompañados por redes de drenaje superficial (cunetas, zanjas de coronación, descoles, etc) y subdrenaje (con trincheras o con baterías de subdrenes horizontales) es por tanto necesario, si se quiere preservar la vida y los bienes en las dos etapas de la urbanización. Sólo los espacios habitados y preparados para tal fin, i.e. las zonas LEI-edu-I-1 y LEI-edu-I-2 (véanse los [Planos 7 y 8](#)), exhiben los mejores réditos; su condición de amenaza es baja. Las restantes unidades de ladera se erigen en categoría media; de este conjunto, la LEI-rep-I-1 y la LEI-tra-I-3, son las más sensibles; la ejecución de cortes o de excavaciones, la implantación de cargas o el deficiente manejo del drenaje, abrirían el compás para la aparición de nuevos focos de inestabilidad no sólo en ellas sino en las regiones vecinas, y, por consiguiente, para la creación de nuevos espacios de amenaza alta.

## **CAPÍTULO 7**

# **VULNERABILIDAD Y RIESGO FÍSICOS**

## **VULNERABILIDAD Y RIESGO FÍSICOS**

La vulnerabilidad, entendida como la predisposición intrínseca de un sujeto o de un elemento a sufrir daño debido a posibles acciones externas (La Red, 2000), o como “el porcentaje de pérdida de un elemento o de un grupo de elementos en un área sometida a una amenaza” (Uzielli et al, 2008), 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, 2000). Su evaluación 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 (i.e. las 286 viviendas, las redes de servicios públicos, etc) frente a los diferentes fenómenos de remoción en masa potenciales y actuales y, junto con la evaluación de amenaza, pretende dilucidar el(los) tratamiento(s) por adelantar. Dentro del referido contexto, por ejemplo, si las edificaciones no se localizan en la zona de influencia o se encuentran expuestas 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 reubicación o reasentamiento. Los aspectos más relevantes de la determinación de la vulnerabilidad física en las dos etapas de la urbanización, son el eje central de las páginas siguientes.

### **7.1 VULNERABILIDAD FÍSICA EN EDIFICACIONES**

#### **7.1.1 MÉTODO DE EVALUACIÓN**

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 aunada 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 estas limitaciones el modelo que se emplea en este estudio, está fundada en la propuesta de Leone (1996) y Leone et al (1996) con algunas modificaciones del consultor, ligadas, siempre, a los lineamientos diagramados por el Fopae. 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, daños definidos en formas teórica y porcentual, a partir de las intensidades de daño.

FOPAE	GIA LTDA	<b>GIA-068-12</b>		CAP. 7 - PÁG. 174	
VERSIÓN:	1			FECHA	14/02/13
ELABORÓ:	JALG	REVISÓ:	JALG	APROBÓ:	GIC

### 7.1.1.1 CRITERIOS APLICADOS

Leone (1996), y de paso el Fopae pues el marco teórico fijado por el fondo en este contexto está soportado en los lineamientos planteados por el autor, en su intento por estructurar una aproximación cuantitativa de la vulnerabilidad, pasa por la clasificación de los elementos expuestos, acogida bajo el concepto de tipología, por la deducción de la naturaleza de las solicitaciones (variable tratada desde criterios cinemáticos y geométricos), por la determinación de los modos (o formas) de daño, por el nivel de daño, y por la caracterización de la intensidad y el índice de destrucción de la solicitación: gracias al empleo de criterios físicos simples. Suplidas y estudiadas estas componentes desemboca en la matriz de daño, corazón del procedimiento. Tarea que implica una nueva clasificación de los movimientos en masa, que incluya el concepto de intensidad y la idealización de la tipología de daño. No obstante, lo exhaustivo del método, no está exento de ajustes y refinamientos tendientes a mejorar su capacidad de predicción. Temas que se tratan en adelante.

#### Elementos Expuestos: edificaciones

Aunque Leone (1996) clasifica la naturaleza de las viviendas en cuatro grupos (el B1, el B2, el B3 y el B4), acorde con el material constitutivo y el sistema estructural, en este caso se toman en cuenta también variables como: la calidad de la construcción, el sistema de cimentación, la estructura y el recubrimiento de la cubierta y los daños en la construcción, tal vez una de las de mayor importancia. Las citadas variables son discriminadas y ponderadas, gracias a criterios de razonamiento aproximado, proceso sintetizado entre la Tabla 7.1 y la Tabla 7.6; de esta manera la capacidad de respuesta de la estructura, discernida también como el nivel de “resistencia”, se clasifica así:

- **NIVEL A:** Integra viviendas que cumplen con parámetros mínimos de rigidez y solidez estructural, 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 mampostería estructural, 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 placas de concreto, 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, las cubiertas son en asbesto-cemento o zinc, los daños son moderados y la calidad de la construcción varía 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, las cubiertas son en asbesto-cemento o zinc sobre estructuras de madera; la calidad de la edificación es mala y los daños son hasta altos parciales. La cimentación es en placas de concreto simple o ciclópeo.
- **NIVEL F:** Viviendas de cuatro 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.

**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 LA VARIABLE: SISTEMA ESTRUCTURAL**

CATEGORIZACIÓN	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
Bueno	Pórtico, mampostería estructural, muros portantes confinados	20 – 16
Regular	Muros portantes no confinados o combinación de confinados y pórtico con muros no confinados	14 – 10
Malo	Vivienda de 3 o más pisos con muros portantes no confinados, estructuras en materiales de recuperación o viviendas prefabricadas.	6 - 5

**TABLA 7.3 CALIFICACIÓN PARA LA VARIABLE: CALIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN**

CATEGORIZACIÓN	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
Buena	Muros plomados, mampostería de buena calidad, piezas homogéneas, elementos estructurales definidos geoméricamente. Hormigón de buena calidad (superior a $f'c=3000$ psi), juntas bien construidas y buen recubrimiento del refuerzo.	15
Aceptable	Mampostería de buena calidad, piezas homogéneas o no muy homogéneas pero bien ligadas	10
Regular	Muros con desplome, con elementos estructurales y no estructurales no definidos, hormigueno, losas irregulares. Mampostería de buena o baja calidad, con piezas no homogéneas. Hormigón de regular calidad y juntas mal construidas, mal recubrimiento del refuerzo	7
Mala	Hormigueno intenso, muros con inclinaciones severos, piezas no homogéneas con juntas totalmente irregulares.	3



TABLA 7.4 CALIFICACIÓN PARA LA VARIABLE: PARTES ESTRUCTURALES

CATEGORIZACIÓN	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
Bueno	Entrepisos y/o pisos en concreto o metal y viga de amarre.	20
Regular	Entrepisos y/o pisos en concreto o metal y placa como cimentación; y entrepisos y/o pisos en concreto y cimentación en concreto ciclópeo.	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 LA 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 (sobretudo 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 (sobretudo 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 solo 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 soporte 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 LA 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 O ES INEXISTENTE	3

### Daños Generales de la Construcción

El nivel de daño en las viviendas se deduce gracias a la aplicación de principios de la patología estructural, con base en las características geométricas de las grietas calcadas en los elementos estructurales y no estructurales, entre ellas su ubicación, su cantidad, y su extensión y abertura. Esta información se obtiene a partir de la auscultación general de las edificaciones (las 282) y se complementa con la información suministrada por los habitantes. Los aportes en este sentido (entendidos como los criterios adoptados) se consignan en detalle en la [Tabla 7.5](#) y su simplificación se delinea en el instructivo del formato de recolección, dispuesto en el [Anexo G.1](#).

En gracia de estas consideraciones y del trabajo de campo se puede extractar que en la totalidad de las construcciones de las dos etapas exponen algún nivel de daño; algunas, muy pocas por demás, reflejo de los procesos de inestabilidad, y el gran grueso, substancialmente leve, consecuencia de las deficiencias constructivas, de los cambios de rigidez (ligados a la autoconstrucción de las ampliaciones, expresadas en los pisos superiores –el tercero y el cuarto-) y de los asentamientos diferenciales. Conclusiones reafirmadas en los formatos de inventario (aglutinados en el [Anexo G.2](#)).

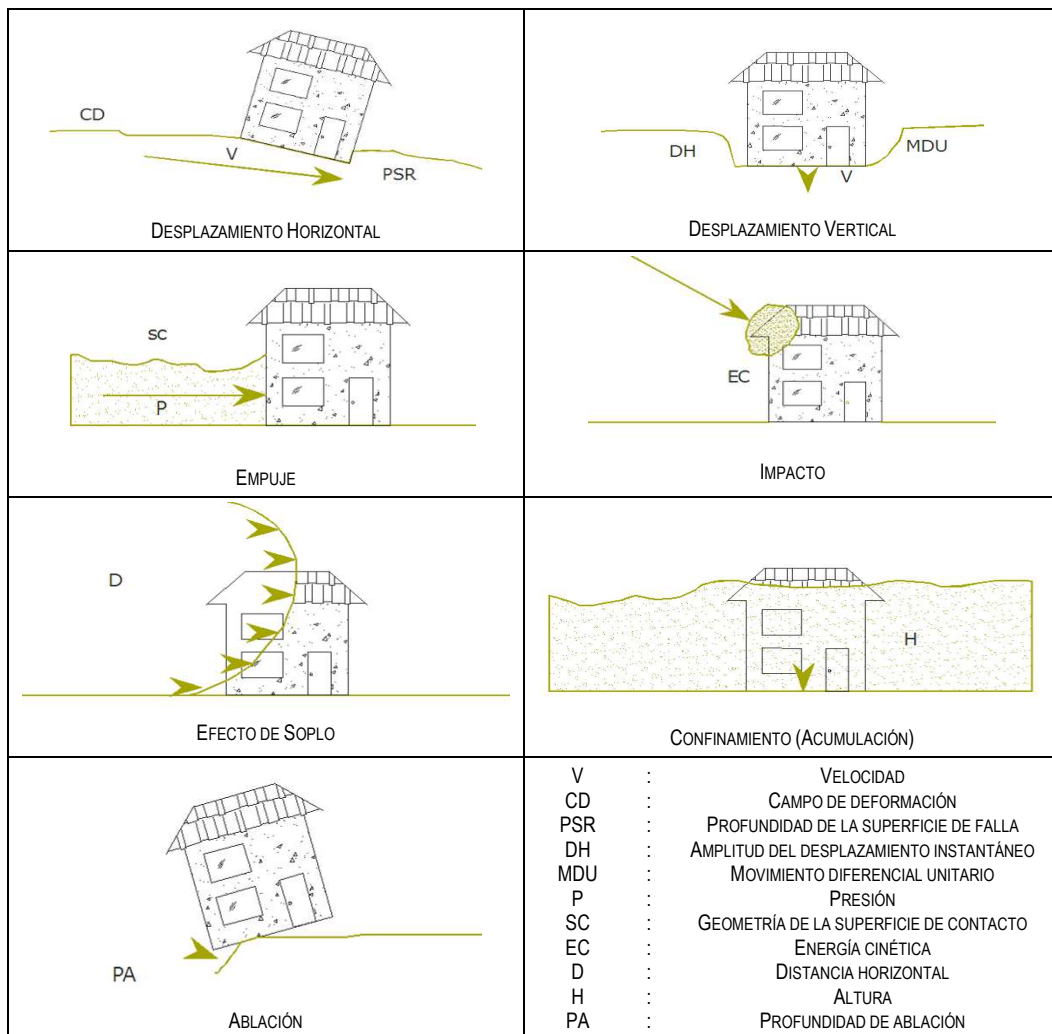
### Solicitud

Definido el nivel estructural, acto seguido se establece la exigencia a la que el fenómeno de remoción en masa somete a la vivienda, es decir, se determinan las solicitudes para el elemento expuesto. Esta labor, a grandes rasgos, toma en consideración, entre otros factores, las condiciones geomorfológicas, el arreglo geológico (estratigráfico y estructural), el tipo de proceso, y su capacidad de progresión o retrogresión, la profundidad, la velocidad y la distancia de viaje del deslizamiento y la posición de la edificación con respecto a él. En otras palabras, requiere de un exhaustivo entendimiento de la amenaza (y de su zonificación, materia abordada en el capítulo 6). La solicitud, entonces, cambia en función tanto de la ubicación relativa de la vivienda con respecto a la masa movilizada o con posibilidad de moverse (ya sea en la corona, en el cuerpo o en la pata) como con el proceso en consideración, y puede idealizarse como desplazamientos, horizontales y verticales, empujes, impactos, confinamiento, etc, con diferentes grados de intensidad. La [Figura 7.1](#) ilustra las principales formas de trabajo a las que los procesos de inestabilidad pueden someter a una vivienda.

Formas por una parte racionalizadas de los procesos esperados, de los materiales comprometidos y de la posición de la superficie de deslizamientos, y resumidas en desplazamientos verticales y empujes (por lo menos para Buena Vista), y por otra parte moldeadas (o patronadas) con base en el desempeño morfodinámico de los dos principales deslizamientos ocurridos en la tercera etapa. Procesos responsables de

desplazamientos verticales ascendentes (en alguna manera comparables con la ablación) y de empujes laterales, que actuaron de manera individual o conjunta, y que ocasionaron daños diferenciados. Así por ejemplo, el movimiento principal provocó en primera instancia la ocupación total o parcial de la primera planta de las edificaciones, en segunda instancia la destrucción de muros, ventanas y puertas, y finalmente el volcamiento de parte las viviendas del corredor oriental y la destrucción total; secuelas concordantes con el potente espesor de la masa deslizada, cercana a los diez metros, con la prolongación de la superficie de deslizamiento por debajo de las edificaciones (mecanismo descartado en las laderas de las dos primeras etapas) y con el marcado dominio de los rellenos antrópicos. El segundo deslizamiento, el más delgado (de apenas cinco metros de profundidad) y controlado por el contacto suelo-roca, similar a los que se esperan en las dos primeras etapas, trajo consigo sólo empujes con alturas cercanas a las 2/3 partes de los muros del primer piso, y la destrucción parcial de algunos elementos estructurales, de puertas y ventanas.

**FIGURA 7.1 SOLICITACIONES DE LOS FRM EN LAS CONSTRUCCIONES**



FUENTE: LEONE (1996)

## Matriz de Daño

Representa la interacción –física- entre los fenómenos de inestabilidad, representados por la sollicitación, y los elementos expuestos –v.g. las edificaciones, las redes, las personas, las vías, etc-; toma como punto de partida la propuesta por el DRM, Délégation Aux Risques Majeurs, (1990) y su construcción emerge de análisis bibliográficos y de opinión de expertos, procedimiento que lo introduce en el razonamiento aproximado y que lo hace adaptable y ajustable al avance en el estado del arte. Es por tanto de refinamiento constante, pero de fácil asimilación e incorporación a cualquier ambiente, propiedad que la hace única y de amplias ventajas para algunos de ellos (caso particular de este estudio). Permite establecer la severidad con la que los eventos nocivos actúan en las viviendas, particularidad que no es otra cosa que una medida indirecta de la capacidad de respuesta de estas. Así, entonces, el daño se acuña como el producto matricial entre la sollicitación y el nivel estructural, algoritmo observable en la *Tabla 7.7*. En ella es notable los diversos niveles de daño, que representan en escala ascendente (desde 1, equivalente a un porcentaje de daño de 0,20, hasta 5, propio de un porcentaje de destrucción de entre 90% y el 100%) el rigor del evento, y el conjunto de tipologías de vivienda (abanico señalado en las páginas previas).

**TABLA 7.7 MATRIZ DE DAÑO**

TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL		A	B	C	D	E	F	G
SOLICITACIÓN								
Desplazamiento Horizontal	DH1	1	1	1	1	2	2	3
	DH2	1	1	1	2	3	3	4
	DH3	1	1	1	2	3	4	5
	DH4	2	2	3	4	5	5	5
Desplazamiento Vertical	DV1	1	1	1	1	2	2	3
	DV2	1	1	1	2	2	3	4
	DV3	1	1	2	2	3	4	5
	DV4	2	2	3	4	5	5	5
Empuje	E1	1	1	1	2	3	3	4
	E2	2	2	2	3	3	4	5
	E3	3	3	3	4	5	6	6
Impacto	I1	1	2	2	2	3	4	4
	I2	2	3	3	4	5	5	5
	I3	3	4	4	5	5	5	5
Efecto de Sopro	S1	1	1	1	2	2	3	3
	S2	1	2	2	3	3	4	4
	S3	2	2	3	3	4	4	4
Confinamiento (Acumulación)	AJ1	1	1	1	2	2	3	3
	AJ2	1	2	2	3	3	4	4
	AJ3	2	2	3	3	4	4	4
Ablación	AB1	1	1	2	2	3	3	4
	AB2	1	2	2	3	4	4	5
	AB3	2	2	3	4	4	5	5

FUENTE: ADAPTADO DE LEONE (1996) Y EL FOPAE (2012)

### 7.1.1.2 **INFORMACIÓN PRIMARIA: INVENTARIO DE VIVIENDAS Y SOLICITACIONES**

El estudio de la vulnerabilidad de los elementos expuestos, en este caso las viviendas, se realizó utilizando como instrumento de recolección el “Formulario para la evaluación de daños y estado en edificaciones por fenómenos de remoción en masa”. El formato está conformado por 4 secciones: La primera de ellas denominada: Datos Generales, comprende información concerniente al propietario, 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” (a priori) en elementos estructurales y no estructurales, a la auscultación sobre filtraciones, y al planteamiento de alguna medida a priori de acuerdo con lo observado. Y la última condensa datos enmarcados en el contexto social. Finalmente, contiene un espacio para observaciones, en las que se plasman los comentarios de los habitantes o apreciaciones del aforador que en alguna medida contribuyen al estudio.

En el Anexo G.1 se dispone el formato de campo con el instructivo que sirvió como guía para su utilización, y en el Anexo G.2 se compilan los inventarios de las 282 viviendas y de las 4 edificaciones comunales (constituidas por un salón comunal y una portería para cada una de las etapas). Sin embargo, cabe anotar que una parte de las edificaciones, poco más del 15%, se ausculta desde el exterior, bien porque no fue posible entablar contacto con sus ocupantes (pese a los múltiples intentos), o bien porque manifestaron su desinterés en el estudio (véase el Anexo G.2).

Por su parte, la fijación de la solicitud se fundamenta, en los resultados del análisis de amenaza, eje central del capítulo 6; pero se nutre de insumos como la geología local (basta señalar los materiales superficiales, el arreglo estructural, el grado de fracturamiento y la calidad de los macizos rocoso, etc), los modelos geológico-geotécnicos, las unidades geomorfología (representadas por las unidades morfoestructurales, la pendiente, etc), las zonas homogéneas, el inventario de procesos y la zonificación de amenaza, y el inventario de procesos. De la aplicación de los anteriores elementos se imponen los desplazamientos verticales, los empujes y los impactos, asociados con intensidades entre 1 y 3 (relacionadas de menor a mayor grado de severidad), como las principales solicitudes en la urbanización.

Las primeras, los desplazamientos verticales, se circunscriben a las viviendas 1 a 14 de la II Etapa, articulados por (potenciales) movimientos rotacionales, delgados, incubados en las lodolitas alteradas y con capacidad de viajar pequeñas distancias, insuficientes para acarrear daños más allá de los taponamientos y de averías menores en muros y ventanas. Las segundas, los empujes, son promovidos por deslizamientos rotacionales (de talud y de pie), con profundidades de entre los dos y los cinco metros, o por fallas planares, de no más de 1.50 m de espesor y siete metros de longitud y volúmenes inferiores a los 40 m<sup>3</sup>, gestados en los rellenos antrópicos, en los suelos residuales y en el macizo alterado (escenario en esencia predictivo); y capaces unos de viajar hasta varias decenas de metros y de generar cargas de hasta dos terceras partes la altura de los muros del primer piso y daños importantes, y otras de provocar sólo de obstrucciones y empujes de no más de un tercio de la altura de los muros de las primeras plantas. Actúan en la periferia a los cortes tallados al oriente, específicamente entre las viviendas 145 y 162 de la segunda etapa, al sur y suroriente de la urbanización, puntualmente en las edificaciones 104, 105, 125, 126, 143 y 144 de la segunda Etapa, y 107, 78, 120 y 94 de la primera Etapa, si se trata de los de mayor capacidad de daño, o en la franja oriental, casi en las mismas unidades que sus enfrentados (los rotacionales), entre las dos etapas (a lo largo de las casas 108 a 119 de la primera etapa), al sur y suroccidente de la urbanización, en su encuentro con las viviendas

77, 93, 62 de la Etapa I, y 16, 36, 37, 38, 61 y 84 de la Etapa II, en lo que a los de mediana a baja capacidad de destrucción se refiere. Y los terceros se encajan, con excepción de las del cinturón oriental, contiguos a los cortes en roca (regiones LEI-tex-I-2 y LEI-tex-I-3), en las mismas unidades de los empujes.

### 7.1.2 ÍNDICE DE VULNERABILIDAD FÍSICA

La vulnerabilidad física –en estructuras-, 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 (expresada en partes por uno) del perjuicio en el inmueble, definido con ID, índice de daño, es proporcional a la exposición de los elementos y a la sollicitación e inversamente proporcional a su resistencia. Las dos primeras variables se estudian en concomitancia con las posibles longitudes de viaje y con las características físicas de los procesos de inestabilidad, y la tercera con base en la tipología de viviendas; parámetros que conducen al hallazgo del índice de vulnerabilidad se explican en la [Tabla 7.10](#).

#### Cualificación de Daños

Los perjuicios que se producirían en 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 a él y la sollicitación que el proceso ejerza en los componentes; el segundo, cubre la calidad, es decir 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 ([Tabla 7.7](#)). La asociación de la intensidad con la descripción cualitativa del perjuicio y con la tasa de daño, se adelanta con base en las relaciones propuestas por el DRM, Delegation Aux Risques Majeurs, presentadas por Leone (1996) pero adaptadas al medio y transcritas en la [Tabla 7.8](#).

TABLA 7.8 CLASIFICACIÓN DE DAÑOS PROPUESTA POR EL DRM (TOMADO Y ADAPTADO DE LEONE, 1996)

INTENSIDAD DE DAÑO	MODOS DE DAÑO	TASA DE DAÑO (Td o Id)
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

#### Daños Generales de la Construcción

El nivel de daño general en las viviendas se deduce gracias al empleo del razonamiento aproximado y del método observacional, y apoyado en la aplicación de algunos principios de la patología estructural, en particular en las características geométricas de las grietas calcadas en los elementos estructurales y no estructurales, entre ellas su ubicación, su cantidad, y su extensión y abertura. Información que se obtiene a partir de la auscultación general de las edificaciones y que se complementa con elementos descriptivos

suministrados por los residentes (y en ocasiones por los propietarios). Los aportes en este sentido (entendidos como los criterios de selección) se consignan en detalle en la [Tabla 7.5](#) y su simplificación se delinea en el instructivo del formato de recolección, dispuesto en el [Anexo G.2](#).

En gracia de estas consideraciones y del trabajo de campo se puede reseñar que la totalidad de las construcciones expone algún nivel de daño; el gran grueso, substancialmente leve, consecuencia de las deficiencias constructivas y de los asentamientos diferenciales, y sólo una muy pequeña proporción (inferior al uno por ciento) entre alto parcial y severo total, consecuencia de deficientes procesos constructivos (y de autoconstrucción) o reflejo de los procesos de inestabilidad. Conclusiones reafirmadas en la [Tabla 7.9](#).

**TABLA 7.9 NIVELES DE DAÑO DE LAS EDIFICACIONES EN BUENAVISTA**

NIVEL DE DAÑO (%)		
NINGUNO	LEVE O MODERADO	ALTO PARCIAL HASTA SEVERO TOTAL
0	99.3	0.7

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

### 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 (o el índice de daño, ID), 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 ocurre el daño, relación simplificada por el índice de daño (ID), así:

$$IVF = \left[ 1 - (1 - ID)^{\frac{1}{1-\alpha}} \right]^{1-\alpha D}$$

en la que:

IVF: índice de vulnerabilidad física

ID: índice de daño

$\alpha$ : Coeficiente de importancia

El coeficiente de importancia se adopta en concordancia con el grado (o estado) de la amenaza, componente abordada previamente en el capítulo 6, tal y como se propone en la [Tabla 7.12](#). De la conjunción de él con las otras variables, en la [Tabla 7.10](#) y en la [Tabla 7.11](#) se deduce el índice de vulnerabilidad para el abanico completo de viviendas, ya sea para el estadio hoy día o para el esperado en el tiempo (i.e. el de amenaza futura), respectivamente; por su parte la [Tabla 7.13](#) categoriza los niveles de vulnerabilidad.

**TABLA 7.10 EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD Y RIESGO ACTUAL**

ESTA FIGURA SE ENTREGA EN FÍSICO Y EN MEDIO MAGNÉTICO ADJUNTO



**TABLA 7.11 EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD Y RIESGO FUTURO**

ESTA FIGURA SE ENTREGA EN FÍSICO Y EN MEDIO MAGNÉTICO ADJUNTO

TABLA 7.12 COEFICIENTE DE IMPORTANCIA ( $\alpha$ )

CALIFICACIÓN DE LA AMENAZA	VALOR DE $\alpha$
BAJA	0.2
MEDIA	0.4
ALTA	0.6

TABLA 7.13 CATEGORIZACIÓN DE LOS NIVELES DE VULNERABILIDAD (IVF)

NIVEL DE VULNERABILIDAD	INTERVALOS DEL IVF
BAJO	$\leq 0.15$
MEDIO	0.15 – 0.65
ALTO	$> 0.65$

### 7.1.3 ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN EDIFICACIONES

La vulnerabilidad de las edificaciones es producto de la convolución del nivel de amenaza reinante en cada región de la urbanización, de la capacidad de daño de los deslizamientos y de las condiciones estructurales -definidas por la calidad y por el estado de la edificación-. En el caso que nos ocupa, conviene acotar relevancias vinculadas con las características estructurales de las edificaciones, que si bien no evidencian daños significativos, si poseen particularidades poco ventajosas como entrepisos en prelosas, sistemas de cimentación irregulares o exiguos en continuidad y sección, espesores irregulares (heterogéneos) de las pegas en la mampostería, cortes de las unidades de mampostería de mala calidad, y muros ocasionalmente irregulares, con algunos elementos que integran la unidad sobresalientes del conjunto.

Sin embargo, es notable que la calidad de las edificaciones difiere considerablemente entre las dos etapas: en la segunda las faltas en las prácticas y en los procesos constructivos tanto de la constructora como de los propietarios (al poner en marcha las modificaciones y las ampliaciones) son más recurrentes frente a la primera, y el nivel técnico –en la mayoría de los casos- es muy bajo, mucho más si se trata de las ampliaciones. Por parte de la constructora son notables particularidades como unidades de mampostería que, en las fachadas, reposan alineadas verticalmente sin traslapes (aparejo en petaca), pese a ser una práctica prohibida por la NSR-10 para los sistemas de mampostería reforzada (véase la *Foto 7.1*) y los antepechos y los muros del último nivel (terrace) operan sin viga cinta de remate, como se destaca en la *Foto 7.4*. Y por su cuenta los propietarios, dejan expuesto el refuerzo en las placas de entrepiso del tercero y cuarto piso, las ampliaciones preferenciales de autoconstrucción, en las que, además, el hormigueno llega a ser intenso; la calidad de la mampostería es pésima, los bloques de mampostería son diversos en tipo, calidad y dimensiones; y la aparición de elementos cerámicos de perforación horizontal, es señal de la desaparición del refuerzo vertical y, por consiguiente, de la pérdida de continuidad del sistema estructural. El panorama descrito se ilustra de la *Foto 7.1* a la *Foto 7.9*.



FOTO 7.1 ELEMENTOS DE LOS MUROS DE FACHADA SIN SUJECIÓN O TRASLAPO



FOTO 7.2 PEGAS DE LA MAMPOSTERÍA DE DEFICIENTE CALIDAD



FOTO 7.3 IRREGULARIDADES EN LOS MUROS: ELEMENTOS CERÁMICOS SOBRESALEN DEL CONJUNTO



FOTO 7.4 MUROS DEL ÚLTIMO NIVEL SIN CINTA DE REMATE



FOTOS 7.5 Y 7.6 DEFICIENCIAS COMUNES EN LA AUTOCONSTRUCCIÓN EN LA SEGUNDA ETAPA



FOTO 7.7 REFUERZO EXPUESTO Y HORMIGONEO EN ELEMENTOS FUNDIDOS POR LOS PROPIETARIOS



FOTOS 7.8 Y 7.9 PÉRDIDA DE CCONTINUIDAD DEL SISTEMA ESTRUCTURAL POR LA INCORPORACIÓN DE ELEMENTOS CERÁMICOS DE PERFORACIÓN HORIZONTAL EN LAS AMPLIACIONES HECHAS POR LOS PROPIETARIOS DE LAS EDIFICACIONES

Del diagnóstico reseñado es evidente que la mayoría de las anomalías se concentran en los muros, que son los elementos de mayor sollicitación y de resistencia estática y sísmica dentro del sistema estructural. Por la importancia de ellos es factible concluir que la calidad de la construcción es apenas regular para las unidades residenciales y los niveles entregados por la constructora, y mala para las ampliaciones gestadas de la autoconstrucción. Desde esta perspectiva, parece sensato que la tipología de las edificaciones, en 255 (89.2%) de las 286 se posicione en el nivel C (véase el numeral 7.1.1.1 Criterios aplicados), y que sólo en 31 viviendas (10.8%) se catalogué en D. Este espectro responde más a la bonificación que se le otorga al bajo nivel de daños, que a la calidad de las construcciones.

Con este preámbulo y bajo la premisa de que las edificaciones se conservan incólumes en el tiempo, proposición por demás dudosa, pues se desconoce lo que pueda suceder con ellas si quiera en el corto plazo, y más aún en el futuro lejano, en los siguientes párrafos se aborda, entonces, los resultados de la



vulnerabilidad ante los FRM para todas y cada una de ellas, tanto para el contexto de la amenaza actual como para su prospección a 50 años.

### **Escenario Actual**

A partir de los resultados visibles en la Tabla 7.10, se infiere que hoy día el 92% de las viviendas exponen categoría baja y el restante 8%, apenas, media. Este ambiente se explica, al margen de la capacidad de viaje de las masas potencialmente inestables y de las deficiencias constructivas acotadas, por el dominio de las bajas posibilidades de movilización (que no son otra cosa que estados de amenaza baja) en las dos etapas de la urbanización. En este orden de ideas, los máximos niveles de vulnerabilidad, los medios, coinciden con las viviendas más expuestas, es decir, con las codificadas como 78, 93 y 94 de la primera etapa, y 84, 102 a 105, 123 a 126, 141 a 144, 152 a 154, 159 a 162 y 166 (el salón comunal) de la segunda. Las casa restantes se califican con vulnerabilidad baja, tal y como lo ilustra el Plano 9.

### **Escenario Futuro (50 Años)**

El panorama para la perspectiva de la amenaza a futuro, enmarcado en la Tabla 7.11, es a todas luces menos halagüeño. La tasa de vulnerabilidad media se incrementa notablemente, al pasar de 24 a 94 unidades, y la alta hace su aparición en siete (7) de las edificaciones. Una y otra categoría matizada por el radical incremento en la posibilidad de movilización de las laderas, en especial las forjadas en los rellenos y en los suelos residuales, y esquematizada por los predios de mayor proximidad a ellas. Así, pues, la vulnerabilidad alta recae en los predios 104, 125, 143, 145, 146, 148 y 162, todos de la segunda etapa, mientras la media se extiende sobre las construcciones 29, 30, 44 a 46, 59 a 62, 74 a 78, 90 a 94, y 106 a 120, si de la primera etapa se trata, y 14 a 16, 32 a 38, 59 a 61, 81 a 84, 100 a 103, 105, 121 a 124, 126 a 142, 144, 147, 149 a 161, 164 a 166, en lo que a la segunda etapa se relaciona. El Plano 9 entrega una aproximación gráfica de esta perspectiva.

## **7.2 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 invariable vinculación con el suelo, y su baja resistencia así lo explican (y argumentan). Por su interrelación con el medio, es decir con las laderas, las redes de acueducto y alcantarillado, principalmente la de los barrios asentados al sur y al suroriente de la urbanización, se vinculan (a través de las rupturas o de los desempates y escapes) -más como fuentes generadoras que como consecuencia- con los procesos de inestabilidad.

En cuanto a las redes en la urbanización, su capacidad de respuesta ante los fenómenos de remoción en masa, depende casi exclusivamente del nivel de amenaza. En este sentido, los elementos que transitan en los espacios de mayor amenaza se convierten inexorablemente en los más vulnerables. De esta manera, y cualquiera sea el periodo de exposición (el actual o a largo plazo, 50 años), las redes inmersas en los corredores de amenaza alta y media, y comprometidas en los cuerpos potencialmente inestables, calcan la misma posibilidad de daño: alto y el medio. Estos sistemas vitales, responden a los ramales dispuestos en la base de las laderas suroriental y suroccidental de la segunda etapa; allí las líneas de energía, se constituyen a su vez, en procesos amenazantes de primer orden sobre los inmuebles y las personas. Las condiciones de amenaza y el daño esperado en las redes se bosquejan en los Planos 6 y 8.

### 7.3 VULNERABILIDAD FÍSICA EN PERSONAS

Se define como el nivel de daño potencial en un ser humano resultado de la acción de un fenómeno de remoción en masa sobre su cuerpo. Su evaluación, propia de la probabilidad subjetiva, analiza e interpreta la estrecha relación entre el proceso y las consecuencias en las personas, tal y como lo plantea Finlay et. al. (1996) basado en series históricas de deslizamientos ocurridos en la ciudad de Hong Kong y sus efectos. El método tiene como factores determinantes las distancias de viaje, los volúmenes movilizados, las velocidades de los deslizamientos, la exposición de la persona bien al aire libre o bien al interior de viviendas o vehículos, la posición espacial de las viviendas con respecto al FRM, y la proximidad de las personas a las zonas de afectación cuando estas se encuentran en espacios abiertos.

Para este caso puntual se toma como base la amenaza actual y la vulnerabilidad física de las edificaciones, y se divide el análisis en dos escenarios críticos: el primero supone la ocurrencia del evento nocivo en un horario nocturno en el que se considera que todos los habitantes se hallan dentro de sus viviendas; y el segundo, estima que la emergencia se detona durante el día en un fin de semana cualquiera, en el que se prevé la presencia de individuos tanto dentro como fuera de las edificaciones, lo que hace más crítico el panorama.

Evaluada, pues, cada perspectiva en aprovechamiento de los valores que refina Finlay para las personas que se encuentran o no resguardadas en las edificaciones o en vehículos (véase la [Tabla 7.14](#)), y en función de la amenaza establecida para el área se obtiene la zonificación de la vulnerabilidad física en personas por FRM, visible en la [Figura 7.2](#) y en la [Figura 7.3](#).

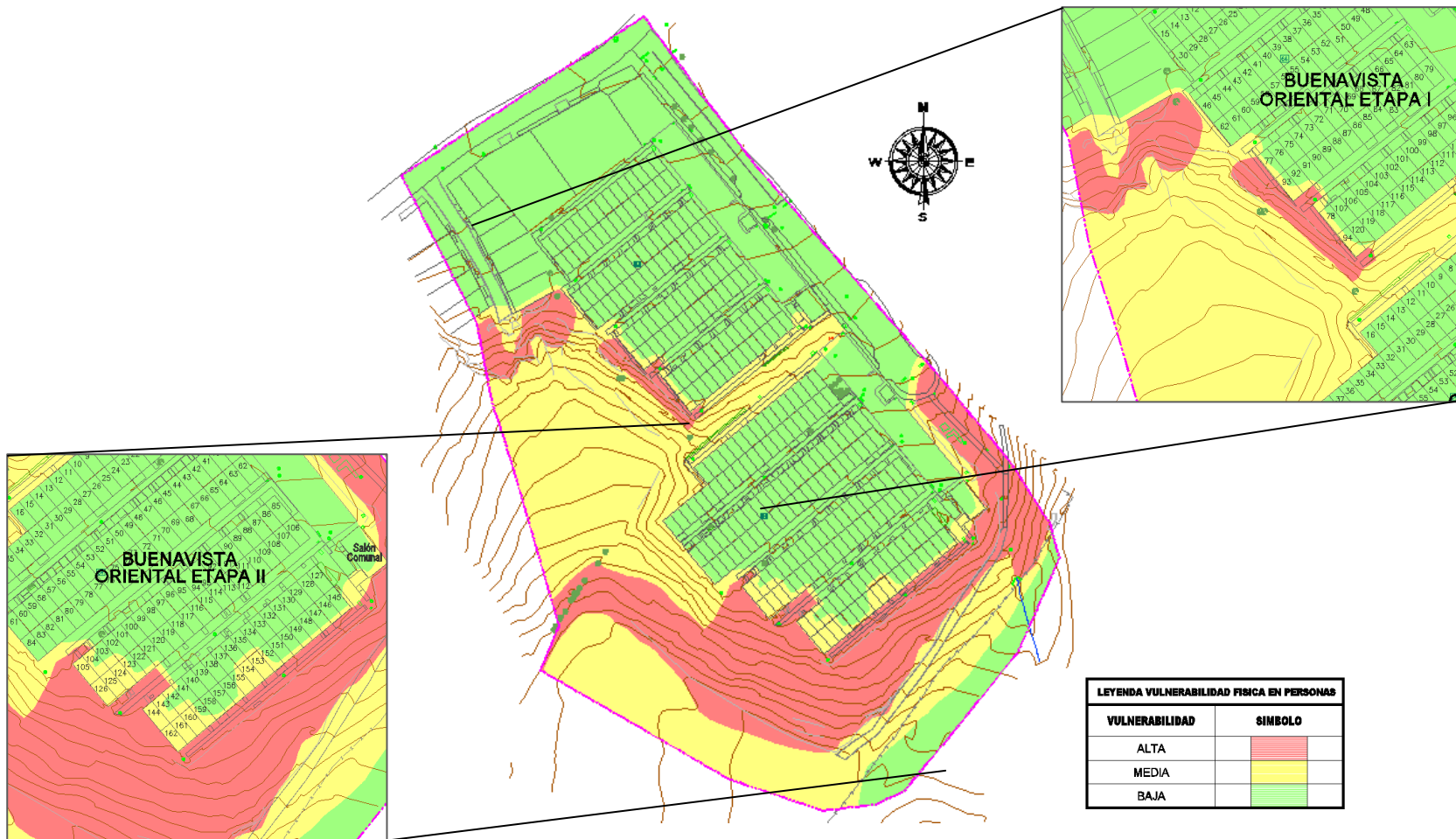
**TABLA 7.14 NIVEL DE VULNERABILIDAD FÍSICO EN PERSONAS**

CONDICIÓN	CASO	VULNERABILIDAD DE PERSONAS		COMENTARIO
		INTERVALO	VALOR RECOMENDADO	
PERSONA EN ESPACIO ABIERTO	1. GOLPEADO POR DESPRENDIMIENTO DE ROCAS	0.1 – 0.7	0.5	PUEDE SER HERIDO PERO ES POCO PROBABLE QUE SE CAUSE LA MUERTE.
	2. ENTERRADO POR ESCOMBROS	0.8 – 1.0	1.0	MUERTE POR ASFIXIA
	3. SI NO ESTÁ ENTERRADO	0.1 – 0.5	0.1	HAY POSIBILIDAD DE SUPERVIVENCIA
PERSONA EN VEHÍCULO	1. SI EL VEHÍCULO ESTÁ ENTERRADO Y APLASTADO	0.9 – 1.0	1.0	LA MUERTE ES CASI SEGURA
	2. EL VEHÍCULO ES DAÑADO ÚNICAMENTE	0.0 – 0.3	0.3	LA MUERTE ES MUY PROBABLE
PERSONA EN EDIFICACIÓN	1. SI EL EDIFICIO COLAPSA	0.9 – 1.0	1.0	LA MUERTE ES CASI SEGURA
	2. SI EL EDIFICIO ES INUNDADO CON ESCOMBROS Y LA PERSONA ESTÁ ENTERRADA	0.8 – 1.0	1.0	LA MUERTE ES MUY PROBABLE
	3. SI EL EDIFICIO ES INUNDADO CON ESCOMBROS Y LA PERSONA NO ESTÁ ENTERRADA	0.0 – 0.5	0.2	HAY MUCHAS POSIBILIDADES DE SUPERVIVENCIA
	4. LOS ESCOMBROS GOLPEAN ÚNICAMENTE LA EDIFICACIÓN	0.0 – 0.1	0.05	PRÁCTICAMENTE NO HAY PELIGRO

FUENTE: AUSTRALIAN GEOMECHANICS (2000), ADAPTADO DE FINLAY ET AL (1999)

Se concluye que la afectación en las personas se puede esperar en las viviendas 124 a 126, 153, 154 y 160 a 162 de la segunda etapa, en el caso de que el evento se geste en la noche (escenario en el que es poco probable encontrar personas en el exterior de las casas), y una afectación severa en los corredores peatonales de uso público dispuestos en viviendas aledañas a las laderas, así como en los cuerpos de deslizamiento, y en la vecindad a las viviendas 78 y 92 a 94 de la etapa I, si el fenómeno se da en el horario diurno del fin de semana (vista que admite que el tránsito de personas en los espacios comunes es muy superior en este periodo).

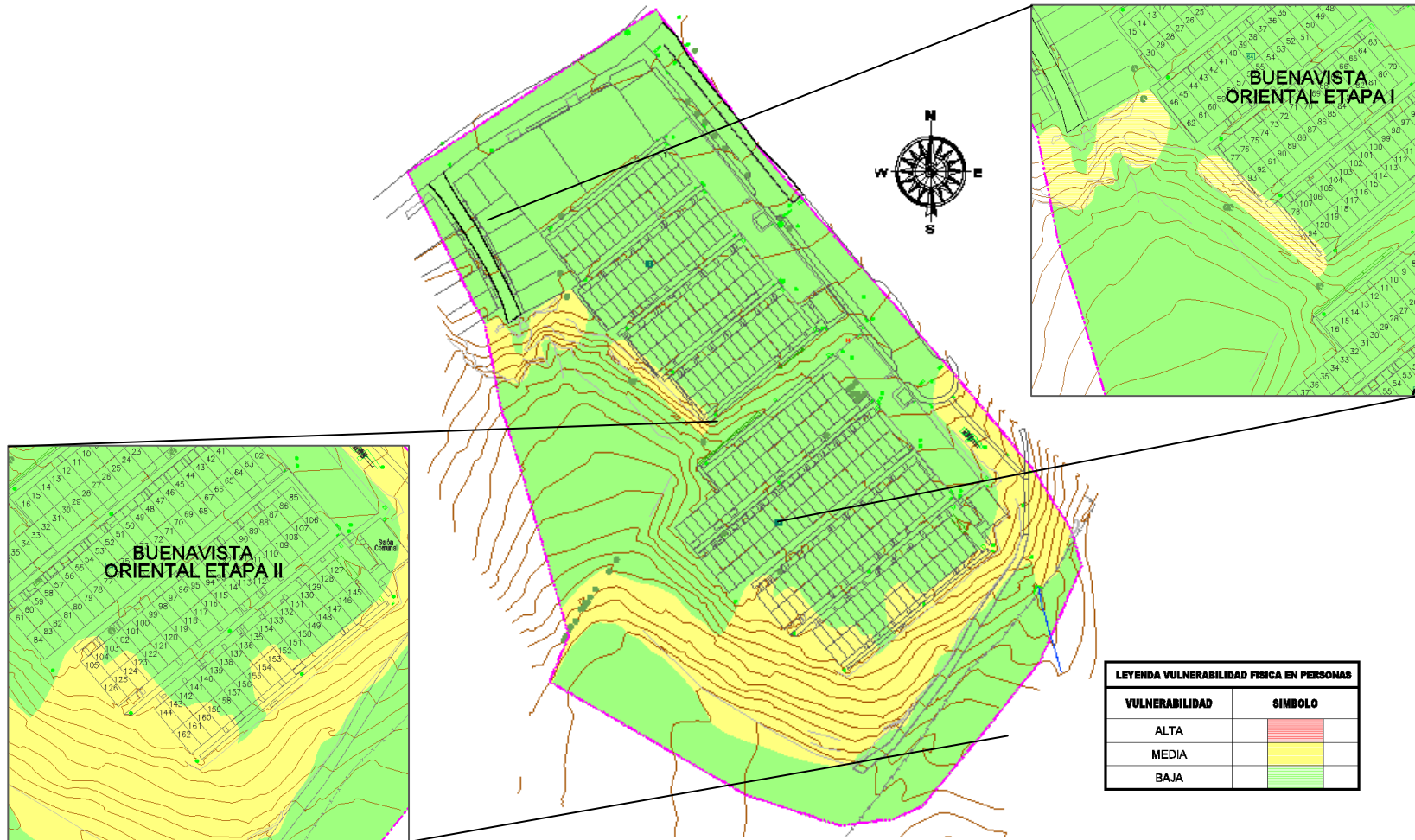
FIGURA 7.2 ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA – DETONACIÓN DEL FRM EN HORARIO DIURNO EN FIN DE SEMANA (AMENAZA ACTUAL)



NOTA: SE ASUME QUE LAS PERSONAS ESTÁN EN ESPACIO ABIERTO



**FIGURA 7.3 ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD FÍSICA – DETONACIÓN DEL FRM EN HORARIO NOCTURNO (AMENAZA ACTUAL)**



NOTA: SE ASUME QUE LAS PERSONAS ESTÁN AL INTERIOR DE LAS VIVIENDAS

## 7.4 RIESGO

El riesgo incurrido en una zona o elemento, se asimila como las pérdidas probables de una estructura, frente a una solicitud determinada. Se puede expresar al combinar la probabilidad de ocurrencia de la solicitud (i.e. del fenómeno: amenaza actual-Pf) con las pérdidas potenciales. Procedimiento, aplicado a cada vivienda y descrito a continuación.

### 7.4.1 PROCEDIMIENTO DE EJECUCIÓN

Para el presente trabajo las pérdidas potenciales responden a las pérdidas directas en viviendas y enseres, que se pueden calcular multiplicando los costos de capital por el índice de vulnerabilidad física. Simplificación que redefine el riesgo en términos de pesos, así:

$$Riesgo = P_f \times C_f$$

donde:

$P_f$  : Probabilidad de falla

$C_f$  : Costo de falla

Pero que le incorpora el subjetivo contexto de los costos en capital; no comparables en un marco global, pues son el resultado de las diferencias en los montos de inversión en cada vivienda por su propietario. En este sentido, es mejor recurrir al índice de riesgo, de lo contrario puede dar lugar a tergiversaciones y vicios en el concepto, tales como que las pérdidas en viviendas de cuantiosa inversión aparezcan con un valor de perjuicio potencial elevado en relación con unas más modestas, aunque su condición de riesgo sea semejante. Por lo tanto, por simplicidad en la presentación de los resultados, se abstraeron los costos de capital, y se reformuló el concepto con base en el índice de riesgo, IR, definido como:

$$IR = P_f \times IVF$$

donde:

$IR$  : Índice de riesgo.

$P_f$  : Probabilidad de falla.

$IVF$  : Índice de vulnerabilidad física.

Para este caso se obtienen los intervalos de cualificación de las pérdidas probables a partir de la conjugación –producto punto- de los niveles de vulnerabilidad con los de amenaza aplicados al proyecto, pero asumida cada variable como independiente (véase la [Tabla 7.15](#)).

TABLA 7.15 CATEGORIZACIÓN DEL RIESGO

NIVEL DE RIESGO	INTERVALOS DEL ÍNDICE
Alto	0.253 – 1.000
Medio	0.019 – 0.253
Bajo	0.000 – 0.019

#### 7.4.2 ZONIFICACIÓN DEL RIESGO

En gracia de los consideraciones anteriores, el 92% de las viviendas expone para los estadio de trabajo vigentes hoy día riesgo bajo, y el restante 8% ostenta niveles de riesgo medio. Distribución justificada en el alto porcentaje de casas con niveles bajos de vulnerabilidad y en el estado poco severo de amenaza (entretejido entre bajo y medio). Las unidades con perdida esperada media coinciden con las construcciones que evidencian vulnerabilidad media, y que se revelan en las casas 78, 93 y 94 de la primera etapa, y 84, 102 a 105, 123 a 126, 141 a 144, 152 a 154, 159 a 162 y 166 (salón comunal) de la segunda (horizonte diagramado en el Plano 11 y en la Tabla 7.10). Las restantes viviendas se exponen en riesgo bajo.

El contexto aunque es más desfavorable con el tiempo, dista mucho de ser crítico. El índice de riesgo para el espectro de amenaza a 50 años, está regido por el recrudescimiento de ésta en las laderas al suroriente, al sur, al suroccidente y en medida alguna al occidente de la urbanización (véase el Plano 8). Allí el 10.5% de los predios -es decir, 30 construcciones y de sus residentes- pueden sufrir pérdidas altas, el 24.8% (i.e. 71 unidades) evidencian perjuicios medios, y el 64.7% de las estructuras (185 elementos) exhiben riesgo bajo. La aproximación gráfica de lo aquí expuesto es visible en la Tabla 7.11 en el Plano 11.

En concordancia con la perspectiva descrita, las alternativas de solución estarán destinadas a evitar el aumento en los niveles de riesgo y, en el mejor de los casos, a reducir o controlar sustancialmente los cuerpos de mayor condición o predisposición de movilización y sus consecuencias. Cometidos que abren la puerta a la elusión, al reasentamiento parcial y a medidas de estabilización como el drenaje, el subdrenaje y la contención, y el perfilamiento, como las posibles soluciones.

## **CAPÍTULO 8**

# **VULNERABILIDAD SOCIAL**

---

**VULNERABILIDAD SOCIAL**

**8.1 GENERALIDADES**

La vulnerabilidad social puede entenderse como la incapacidad de una persona o de un hogar para aprovechar las oportunidades disponibles en distintos ámbitos socioeconómicos, para mejorar su situación de bienestar o impedir su deterioro. Como el desaprovechamiento de las oportunidades implica un debilitamiento del proceso de acumulación de activos (físicos, financieros, de capital humano y de capital social), las situaciones adversas, endógenas o exógenas: sismos, fenómenos de remoción en masa, sequías, incendios, etc, desencadenan sinergias negativas que tienden al agravamiento progresivo de la vulnerabilidad (Katzman, 2000).

Pero las fuentes de vulnerabilidad social, al margen del o de los eventos que la promuevan, de su expresión territorial, y de las características de reproducción social, están asociadas con los procesos de precariedad e inestabilidad laboral, dependientes a su vez del funcionamiento del mercado, con la protección e inseguridad, es decir con el repliegue del Estado, y con el debilitamiento de las instituciones primordiales, de la familia y de la comunidad (Katzman, 2000). Factores limitantes que impiden el acceso a las fuentes de reposición o reconstrucción y de acumulación de activos.

Si bien la determinación de la vulnerabilidad social es compleja, toda vez que las relaciones entre los activos, las estrategias y el conjunto de oportunidades, son engorrosas, dinámicas y multicausales, y no se conocen modelos universalmente válidos, una manera de aproximarse a ella es deducir la capacidad de respuesta ante los cambios, particularmente, ante las amenazas con mayor grado de afectación que aplican a la Urbanización: los fenómenos de remoción en masa. Cometido que se solventa con el uso de un método cualitativo, basado en indicadores de capital (o activo) social, humano y físico, derivado de los datos obtenidos de las encuestas de hogares.

**8.1.1 MÉTODO DE EVALUACIÓN**

“Toda sociedad establece umbrales que permiten distinguir hogares que se encuentran por debajo o por encima de lo que la mayoría considera condiciones dignas de vida. El criterio más utilizado para definir esas condiciones es la satisfacción de las necesidades básicas, o la disponibilidad de un monto de ingresos suficientes para satisfacer esas necesidades.” (Katzman, 2000). Sin embargo, esta visión es limitada. En su

FOPAE	GIA LTDA	<b>GIA-068-12</b>		CAP. 8 - PÁG. 197	
VERSIÓN:	1			FECHA	21/02/13
ELABORÓ:	MXVG, JALG	REVISÓ:	JALG	APROBÓ:	GIC

lugar la noción de vulnerabilidad social pone la discusión más allá, y ubica las desventajas sociales en la relación entre los activos físicos, financieros, humanos y sociales de que disponen los individuos y los hogares, sus estrategias de uso y el conjunto de oportunidades al que pueden acceder (Busso, 2001).

El conjunto de oportunidades está vinculado con la posibilidad de acceder a empleo, protección social y a derechos de ciudadanía que permitan a los individuos, hogares y comunidades, alcanzar un nivel de bienestar por lo menos decente. Los activos, conjuntamente con las estrategias, condicionan la capacidad de respuesta de los entes sociales. Pero qué son? (Busso, 2001).

- a) los activos fijos: incluyen medios de vida como la vivienda, incluido el material que la compone, los animales, los bienes durables para el hogar, el transporte familiar, etc, usados para mantener y reproducir la vida en el hogar, y los medios de producción que se usan para obtener ingresos.
- b) los activos financieros: cobijan el ahorro monetario, los créditos disponibles (la cuenta corriente, las tarjetas de crédito, los fiados de almacenes, etc), los bonos y otros instrumentos financieros de uso habitual en el sistema financiero formal e informal (Busso, 2001).
- c) los activos humanos o capital humano: son los recursos de que disponen las familias y hogares en términos de la cantidad y calidad de la fuerza de trabajo, y el valor agregado en inversiones de educación y salud. En este orden de ideas la estabilidad ocupacional, el modo de empleo, la cobertura de prestaciones sociales, y la presencia de al menos un jubilado o pensionado, de un profesional o técnico en el hogar, y el hecho de que el jefe de familia sea propietario de la vivienda, son algunos de los componentes más significativos en este campo.
- d) los activos sociales o capital social: son intangibles ligados a relaciones; son una forma y un atributo colectivo o comunitario que incluyen redes y lazos de confianza.

Sin embargo, la movilización de los activos gracias a estrategias adaptativas, defensivas u ofensivas, y a cambios en el conjunto de oportunidades (Busso, 2001), buscan mayor bienestar, expresado como movilidad social ascendente, y ligan los recursos o activos con los cambios del medio. Y se expresan en pautas o conductas individuales y del hogar en: cantidad y espaciamiento de los hijos, preservación de la vida y cuidado de la salud, lugar de residencia y tipo de vivienda, socialización del hogar, participación laboral por sexo y por edad, nivel de consumo e ingresos, inversión en activos físicos, financieros, humanos y sociales, y tipo de cooperación extrafamiliar, etc.

Así, entonces, a mayor presencia de los activos y de las estrategias, mayor capacidad de respuesta y mejor acceso al conjunto de oportunidades que ofrece el entorno. Resulta apenas lógico, entonces, convertir las componentes más relevantes de los activos como variables o indicadores, e integrarlos en una misma función, esencialmente lineal gracias a su adaptabilidad y flexibilidad, a fe de intuir o deducir el grado de vulnerabilidad de un núcleo social. En gracia de estas consideraciones, y ante las bondades que brindan las encuestas (véase el [Anexo G.2](#)), herramientas básicas empleadas en este estudio, para investigar los activos de los hogares, así como para estructurar parámetros (o indicadores) útiles para caracterizar contextos en un marco comparativo, se adoptan como indicadores de primer orden: la cobertura de servicios públicos, la presencia de alojamientos temporales, la propiedad sobre la vivienda y el tipo de vivienda (si es hecha de material o no), el nivel de ingresos, el grado de hacinamiento y la relación niños-adultos. Todos de fácil obtención y en concordancia con la Encuesta de Calidad de Vida 2007, propuesta de la Secretaría de Planeación para la medición de la pobreza y de las condiciones socioeconómicas de los hogares, viviendas y personas de la ciudad. Particularidad que coadyuva a puntualizar los intervalos de susceptibilidad (o de vulnerabilidad), afinados unilateralmente entre 0 y 4, para cada indicador; tema que se discute en el numeral 8.1.3.

La capacidad de respuesta, o vulnerabilidad, se sintetiza en la suma de los diferentes indicadores o índices, tal y como lo expresa la ecuación A.

$$IVS= IV_{SERV} + IV_{LEA} + IV_{HAC} + IV_{ING} + IV_{VP} + IV_{DE} + IV_{AC} \quad (A)$$

en la que:

IVS: Vulnerabilidad Social

IV<sub>SERV</sub>: índice de vulnerabilidad por cobertura de servicios públicos.

IV<sub>LEA</sub>: índice de vulnerabilidad por Lugares Especiales de Alojamiento.

IV<sub>HAC</sub>: índice de vulnerabilidad por hacinamiento.

IV<sub>ING</sub>: índice de vulnerabilidad por ingresos.

IV<sub>VP</sub>: índice de vulnerabilidad por relación de vivienda propia

IV<sub>DE</sub>: índice de vulnerabilidad por dependencia por edad.

IV<sub>AC</sub>: índice de vulnerabilidad por activo de capital.

La vulnerabilidad así planteada tiene como potencialidad contribuir a identificar hogares que por su dotación de activos y diversificación de estrategias están expuestos a mayores niveles de riesgo por alteraciones significativas en los planos sociales, políticos y económicos, que afectan su condición de vida. Se abstrae, por consiguiente, de desviaciones con respecto a los valores promedio de un grupo social o de una sociedad, derrotero aquí adoptado, o bien por coeficientes de variación de las variables claves como el ingreso, el empleo y el consumo de bienes y servicios (Busso, 2001). Derrotero aplicado a la unidad de discretización y análisis seleccionada: el bloque.

## 8.1.2 INDICADORES DE IMPACTO: PARÁMETROS DE EVALUACIÓN

### 8.1.2.1 DE CAPITAL FÍSICO

#### Vivienda: IV<sub>vp</sub>

Es el activo de mayor importancia para las familias. Su posesión otorga seguridad no sólo por el abrigo que representa sino porque es la materialización de toda forma de acumulación de capital. Los modos de su utilización constituyen un campo privilegiado para la exploración tanto de ingresos adicionales como del capital social. Por un lado porque de ella se promueve fuentes de ingresos con el arrendamiento de habitaciones o con el establecimiento de pequeños locales comerciales, y por otro porque refuerza los vínculos con parientes y amigos e induce a los miembros del hogar a invertir en su comunidad, lo que a la postre se traduce en arraigo.

Al amparo de la trascendencia de este activo emerge como el mejor simbolismo (indicador) para promover la respuesta ante los cambios del medio y el salto a mejores condiciones, es decir para reducir la vulnerabilidad, el tipo de tenencia de la vivienda, que encierra los dominios “propietario”, “reside con permiso del dueño” y “arrendatario”. De este conjunto el “propietario” constituye el estadio, a priori, más favorable (o menos vulnerable); el segundo y el tercero aunque engloban distintos niveles de respuesta, son igualmente inconvenientes y adversos. Los criterios, las clasificaciones y las cualificaciones de este indicador se compilan en la Tabla 8.1.

**TABLA 8.1 CRITERIOS PARA LA EVALUACIÓN DEL INDICADOR VIVIENDA PROPIA**

CLASIFICACIÓN	% DE VIVIENDA PROPIA EN LA MANZANA	CATEGORÍA DE VULNERABILIDAD	CALIFICACIÓN (IV_vp)
PROPIETARIOS	> 90 %	BAJA	1
PROPIETARIOS Y ARRENDATARIOS	70% - 90%	MEDIA	2
PROPIETARIOS, ARRENDATARIOS E INQUILINATOS	< 70%	ALTA	4

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

En Buenavista Suroriental II predominan los propietarios. El 87% de las familias encuestadas en la Etapa I y el 86% en la Etapa II, manifiesta ser poseedor. La adquisición del bien ocurre de dos maneras; una por medio de un crédito y otra gracias al beneficio que otorga alguna entidad promotora de vivienda, v.g. la Corporación Minuto de Dios o las Cajas de subsidio.

### **Ingresos: IV\_ing**

Son los medidores imaginarios de las bondades de las políticas sociales y económicas, el eje articulador del rompimiento de las desigualdades sociales, los catalizadores para el acceso a las oportunidades y los promotores en el aumento de la capacidad de respuesta. Están ligados a la percepción del dinero como remuneración a la ejecución de una actividad, ya sea formal o informal, que representa la base de sostenimiento de un núcleo familiar. La distribución asimétrica de los recursos y los ingresos no sólo hace a una comunidad o sociedad más inequitativa, excluyente y precaria sino que la convierte en altamente vulnerable y fortalece la reproducción intergeneracional del riesgo social.

La capacidad para adquirir mayor o menor cantidad de ingresos depende de factores como el nivel de educación, la facilidad para conseguir un empleo, el tiempo de permanencia o continuidad en el oficio (estabilidad laboral), la profesionalización y el tipo de vinculación al medio. Los bajos ingresos reproducen las desigualdades y desventajas sociales (Busso, 2001); son el derrotero para definir a la población en situación de pobreza extrema (indigencia: pilar sobre el que se construyen los indicadores y los criterios de calificación aquí para la estimación de la vulnerabilidad social) y las variaciones temporales que delimitan situaciones de riesgo para los hogares; y promueven la disminución al acceso a la seguridad social.

En la medida que una familia incrementa sus ingresos, se hace más inmune (es decir poco vulnerable) a las circunstancias y variaciones del medio que la privan de beneficiar su calidad de vida (i.e. servicio de salud). Pero cuando el insuficiente nivel de ingresos se conjuga con la escasa estabilidad laboral, alimentada por la precariedad y la flexibilidad laboral, trae consigo la incertidumbre e inseguridad en los ingresos presentes y futuros (Busso, 2001).

Cualquier familia, de cuatro personas en promedio, núcleo familiar por excelencia en Buenavista, cuyo nivel de ingresos apenas cubra el gasto de la canasta de alimentos, es decir sea inferior a 0,69 veces el salario mínimo legal vigente, tal y como se deduce de la Encuesta de Hogares, 2007, para las localidades de Ciudad Bolívar y Usme o lo fija Planeación Nacional para definir la separación entre indigencia y pobreza extrema (véase el *Anexo G.4*), es altamente vulnerable (lo que se califica con 4 puntos). Sólo si el nivel de ingresos supera los cuatro salarios mínimos legales vigentes, poder adquisitivo propio de la clase media (fijado por el



gobierno central, como se reproduce en el Anexo G.4), el grado de indefensión disminuye a medio-bajo (clase cualificada con 1 punto). Para los demás estadios la vulnerabilidad oscila entre media y alta. El resumen de los elementos de juicio para la clasificación y calificación de este activo se fijan en la Tabla 8.2.

**TABLA 8.2 CRITERIOS DE CALIFICACIÓN DEL INDICADOR INGRESOS MENSUALES PROMEDIO**

NIVEL DE INGRESOS POR FAMILIA (EN SMMLV)	VALOR EN MILES DE PESOS (*)	CATEGORÍA DE VULNERABILIDAD	CALIFICACIÓN (IV-ING)
≤ 0,69	438,36	ALTA	4
0,69 – 1,52	438,36 – 973.43**		3
1,52 – 4,0**	973.43 – 2538	MEDIA	2
> 4,0**	2538	MEDIA – BAJA	1

(\*) INGRESOS PARA EL AÑO 2012. PERIODO EN EL QUE SE ADELANTARON LAS ENCUESTAS DE HOGARES Y EL INVENTARIO DE VIVIENDAS

(\*\*) INGRESOS FIJADOS POR EL GOBIERNO NACIONAL PARA DEFINIR LA LÍNEA DE POBREZA Y LA CLASE MEDIA, RESPECTIVAMENTE, EL AÑO 2012

Alrededor del escalafón planteado, el panorama desde ya en la urbanización es, en cierta medida, alentador. El nivel de ingresos, resultado de formas de trabajo flexibles, bien formales, bien a destajo o bien informales, pero con dominio de los primeros (el 43% los padres de familia hacen parte de este grupo) y en menor número de los últimos, oscila entre uno (1) y tres (3) salarios mínimos legales vigentes.

### 8.1.2.2 DEL CAPITAL SOCIAL

#### **Cobertura de Servicios Públicos: IV serv**

Las desventajas y las desigualdades sociales, y por ende la vulnerabilidad, parten de la segregación, que a su vez se marca en términos de la infraestructura disponible y de otros atributos que influyen en los niveles de bienestar de los individuos y de los hogares. La segregación residencial, en sus formas extremas, debilitan los procesos de integración social en desmedro de los grupos con mayores desventajas (Busso, 2001). Un entorno dotado de servicios públicos adecuados otorga condiciones de bienestar y salubridad para los que lo habitan, sobre todo si se trata de las redes básicas sanitarias: el acueducto y el alcantarillado. La proliferación de plagas y vectores disminuye, y la posibilidad de la protección social que brinda el sector público aumenta.

Cualquier vivienda, en la que no se tenga agua para el consumo o sea captada de manera intermitente (dos a tres veces por semana), en la que el sistema de vertimiento de aguas servidas es comunitario y en la que para ninguna de las dos redes haya diseño alguno, es sin lugar a dudas el marco más vulnerable. Así se entiende en este estudio y por ello se le otorga la mayor de las calificaciones: 4. Sumado a lo anterior, la cobertura de los otros servicios públicos, específicamente el de energía eléctrica y el de gas natural, no sólo involucra espacios en los que, para el primero se destaca la informalidad y para el segundo se restringe su uso debido al riesgo inminente por deslizamientos, sino que ratifica la condición de vulnerabilidad. La ausencia de cualquier otro servicio, distinto a los de agua y alcantarillado, apenas describe estadios

medianamente vulnerables; sólo si la cobertura de servicios es completa la vulnerabilidad desciende a baja. Contexto revelado en la [Tabla 8.3](#).

En gracia de estas consideraciones, la condición de servicios inadecuados no tiene cabida dentro de la urbanización. Las redes de acueducto y alcantarillado, formales en esencia, gozan de buenas condiciones operativas, la cobertura de energía eléctrica y gas es total y la recolección de basuras es frecuente y atendida por un operador del distrito.

**TABLA 8.3 CRITERIOS DE CALIFICACIÓN DEL INDICADOR SERVICIOS PÚBLICOS**

COBERTURA DE SERVICIOS PÚBLICOS	% DE COBERTURA EN LA MANZANA	CATEGORÍA DE VULNERABILIDAD	CALIFICACIÓN (IV_SERV)
ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO, GAS NATURAL Y ENERGÍA ELÉCTRICA	> 90 %	BAJA	0
ACUEDUCTO, ALCANTARILLADO, Y UNO DE LOS OTROS SERVICIOS			1
ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO	> 80%	MEDIA	2
ACUEDUCTO O ALCANTARILLADO, Y UNO DE LOS OTROS SERVICIOS			2
ENERGÍA ELÉCTRICA Y GAS NATURAL, O ENERGÍA ELÉCTRICA O GAS NATURAL	> 70%	ALTA	3
NINGUNO	0%		4

FUENTE: ADAPTADO DE DANE (2007)

### **Lugares Especiales de Alojamiento, LEA: IV lea**

Son las edificaciones o ambientes que por sus características arquitectónicas, estructurales, de seguridad y de uso pueden ser empleadas como albergue durante y post-desastre. A este grupo hacen parte los Colegios, las Iglesias, los Centros Comunitarios, los parques, etc. Cualquier comunidad es menos vulnerable en la medida en que este mejor provisionado con equipamiento dotacional, su presencia facilita el paso de estados estructurales a coyunturales o más. Por su función orgánica, por su destino en el tiempo y por su papel como reconstructor del tejido y del capital social, su impacto sólo es medible si tienen o no asiento (o participación) en la urbanización, con la capacidad necesaria y sin causar traumatismos en otras actividades de la vida diaria. Espectros compilados en la [Tabla 8.4](#).

Cada etapa de la urbanización está dotada de un salón comunal, de cerca de 120 m<sup>2</sup>, construido en dos niveles, que en caso de una emergencia podrían albergar alrededor de 50 personas, cada uno. Insuficientes para la tención de un desastre en el orbe regional pero suficiente para uno en el marco local, es decir en la urbanización.

### **Hacinamiento: IV hac**

La sensación de bienestar se refleja, en medida alguna, en la manera en que una familia se organiza y distribuye dentro de su espacio físico. En proporción a la capacidad adquisitiva (capital físico), las

condiciones de habitabilidad mejoran; así mismo, un estado poco confortable es en el que habitan en un mismo espacio (vivienda), con exclusión del núcleo familiar principal, otros parientes cercanos: hermanos o padres de alguno de los cónyuges, yernos, primos, muchas veces en situación de desplazamiento ó de búsqueda de oportunidades.

Ahora bien como probablemente las más confiables mediciones en este campo, reposan en el DANE y en la Secretaria de Planeación del Distrito, en particular en las Encuestas de Calidad de Vida, Bogotá 2007 y Bogotá 2003, conviene mantener sus directrices y proposiciones, pero reagrupadas en tres categorías de vulnerabilidad, tal y como se discriminan en la *Tabla 8.5*. Reclassificación que resalta que la condición de vulnerabilidad en el cuadrángulo de estudio muta de baja a media. El promedio de habitantes por vivienda es de cuatro personas, lejano al hacinamiento de los barrios típicos de estrato 1 y 2 en el distrito capital (Dane, 2007). Sin embargo, se evidencian apartados casos, como el de las casas 12, 83, 17, 14 y 72 de la primera etapa, y 135 y 159 de la segunda etapa, en los que pueden llegar a residir desde ocho (8) hasta once (11) personas por residencia.

**TABLA 8.4 CRITERIOS E INDICADORES PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SOCIAL: PRESENCIA DE LEA**

CONDICIÓN	CATEGORÍA DE VULNERABILIDAD	CALIFICACIÓN (IV_LEA)
PRESENCIA DE LUGARES QUE PUEDEN ALOJAR PERSONAS EN CASO DE EMERGENCIA: COLEGIOS, ASILOS DE ANCIANOS, IGLESIAS, HOGARES COMUNITARIOS, ALBERGUES INFANTILES, ETC	BAJA	0
AUSENCIA DE LUGARES PARA EL ALBERGUE DE PERSONAS DURANTE UNA EMERGENCIA	ALTA	2

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

**TABLA 8.5 CRITERIOS DE CALIFICACIÓN DEL INDICADOR HACINAMIENTO MEDIO**

NÚMERO DE PERSONAS POR PISO	CATEGORÍA DE VULNERABILIDAD	CALIFICACIÓN (IV_HAC)
< 4	BAJA	0
4 – 7	MEDIA	2.5
> 7	ALTA	4

FUENTE: ADAPTADO DE DANE (2007)

### 8.1.2.3 DEL CAPITAL HUMANO

#### Relación de dependencia por edad: IV de

Los niños menores de quince años, así como los adultos mayores de sesenta y cuatro años (edad máxima establecida por el DANE (2007), para la población económicamente activa), hacen parte de la “población más

vulnerable”, en parte porque son los grupos económicamente más dependientes, en especial los niños, en parte porque son los más desprotegidos y desamparados por el Estado y sus instituciones (máxime por la escases de pensionados en los estratos 1 y 2), y en parte porque engrosan, en las clases menos beneficiadas (los pobres), o los niveles de empleo de mayor precariedad e inestabilidad o la categoría de “trabajador sin remuneración”, estatus exclusivos de los adultos mayores. Requieren más atención por parte de la población adulta, y son, en medida alguna, a pesar de su importancia como capital humano y social, los horizontes demográficos estadísticamente invisibles para el despliegue de las oportunidades del medio y para el desarrollo de políticas económicas.

Así, cuanto mayor sea el número de niños y de adultos mayores de una familia, mayor es su vulnerabilidad, aun cuando los segundos sean la cabeza de hogar y los promotores de su ingreso. Por lo tanto, la relación entre la población más vulnerable y la población económicamente activa: los adultos, representa en cierta medida, la capacidad de respuesta de una comunidad ante un evento desastroso, en el que los más vulnerables necesitan, obviamente, más atención. El despliegue de las variaciones de esta relación y las clasificaciones y las calificaciones para cada intervalo se condensan en la Tabla 8.6.

**TABLA 8.6 CRITERIOS DE CALIFICACIÓN DEL INDICADOR RELACIÓN DE DEPENDENCIA**

NIÑOS Y ADULTOS MAYORES/ ADULTOS	CATEGORÍA DE VULNERABILIDAD	CALIFICACIÓN (IV_DE)
< 0.5	BAJA	1
0.5 – 3.0	MEDIA	2.5
> 3.0	ALTA	4

FUENTE: ADAPTADO DE DANE (2007)

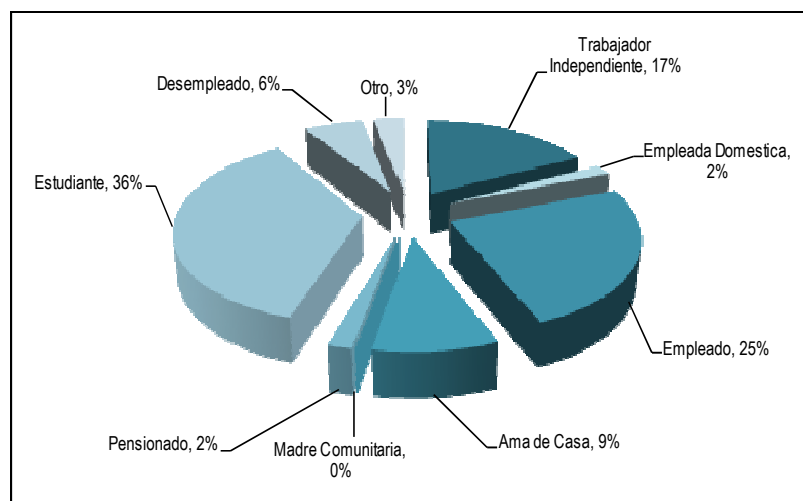
Empero, contrario a los esfuerzos destinados para su estudio, discretización y tabulación, la proporción de niños y adultos mayores con respecto a la población adulta en el espacio de trabajo (i.e. las etapas I y II de Buenavista II) es homogénea y se mueve en el intervalo 0.3 a 0.7, lo que representa, en promedio, un adulto mayor y un niño o dos niños por familia o dos adultos mayores (uno de ellos en ocasiones el cabeza de hogar), panorama representativo de cualquier familia de estrato tres o cuatro en Bogotá, pero ligeramente distante de los estratos uno y dos, horizonte social al que pertenece la Urbanización. Dominio que lo clasifica entre baja y media vulnerabilidad.

#### **Vínculos con el Mercado de Trabajo: IV mt**

El campo laboral es uno de los aspectos de mayor relevancia al momento de establecer la vulnerabilidad social al interior de una comunidad; la importancia de acceder a un empleo radica en que el ingreso se vincula de manera directa al poder adquisitivo de las familias y en este sentido debe solventar sus necesidades. La interacción entre el individuo y el campo ocupacional puede calificarse mediante el análisis de variables como la facilidad de acceso al empleo, el nivel de formación y de capacitación de la persona, el grado de formalidad de la ocupación, la cobertura de las prestaciones sociales, y las formas de vinculación laboral, es decir, si la contratación se hace mediante contrato laboral a término fijo o indefinido, de obra o labor, civil por prestación de servicios, de aprendizaje, u ocasional de trabajo.

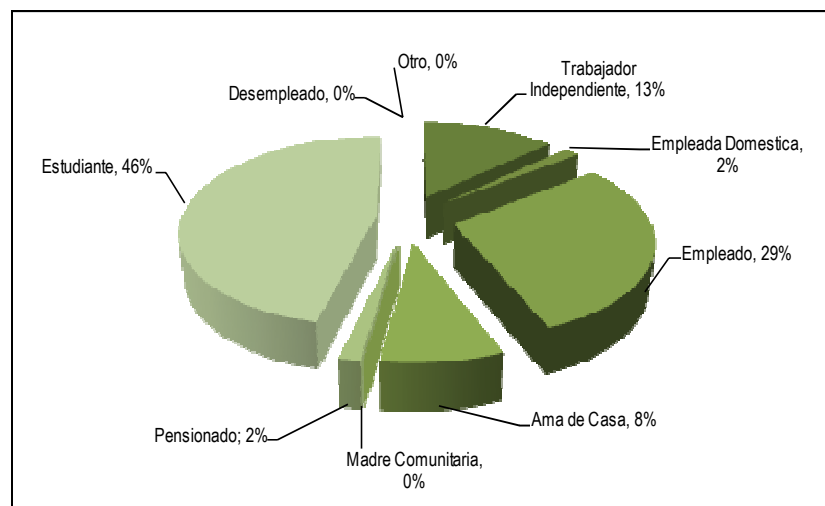
Sin embargo, como la situación laboral en las dos etapas, es marcadamente formal y relativamente estable (basta señalar que la tasa de desempleo es de apenas el 3% para toda la urbanización, espectro transcrito por la *Figura 8.1* y por la *Figura 8.2*), con ingresos por hogar cercanos o por encima del salario mínimo mensual, y que las particularidades de vinculación al mercado son muy similares, y que por consiguiente no es un discriminante importante para este estudio. En su lugar, sirve para comprender porqué los estados de vulnerabilidad en la urbanización son en el peor de los escenarios coyunturales y no estructurales y menos aún están motivados por los riesgos asociados con las alteraciones económicas.

**FIGURA 8.1 DISTRIBUCIÓN DEL TIPO DE ACTIVIDAD ECONÓMICA PARA LA ETAPA I**



FUENTE: ENCUESTA DE HOGARES (GIA, 2012)

**FIGURA 8.2 DISTRIBUCIÓN DEL TIPO DE ACTIVIDAD ECONÓMICA PARA LA ETAPA II**

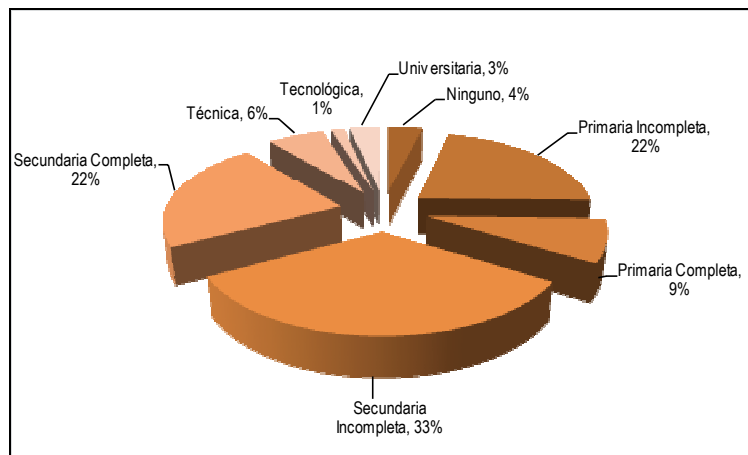


FUENTE: ENCUESTA DE HOGARES (GIA, 2012)

### **Clima Educativo: IV ce**

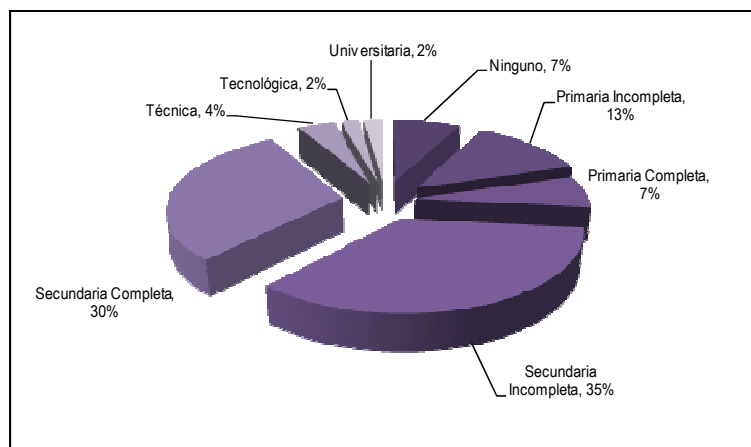
El nivel de escolaridad está asociado directamente con la percepción de ingresos: a mayor nivel de estudios, mayor posibilidad de encontrar un empleo estable y bien remunerado. El escenario en la Urbanización sugiere que el nivel educativo de los habitantes es semejante en las dos etapas. El analfabetismo no tiene cabida, la población en edad productiva alcanza niveles de secundaria completa, estudios técnicos o tecnológicos y en menor proporción universitarios (véase la *Figura 8.3* y la *Figura 8.4*), y la porción de individuos con escolaridad incompleta responde en su mayoría a los jóvenes en edad escolar. Dentro de este contexto el nivel educativo no resulta ser un discriminante para evaluar la vulnerabilidad social, pero sí pone de relieve la posibilidad de que la vulnerabilidad social se torne estructural, toda vez que tenga lugar una emergencia.

**FIGURA 8.3 DISTRIBUCIÓN DEL NIVEL EDUCATIVO PARA LA ETAPA I**



FUENTE: ENCUESTA DE HOGARES (GIA, 2012)

**FIGURA 8.4 DISTRIBUCIÓN DEL NIVEL EDUCATIVO PARA LA ETAPA II**



FUENTE: ENCUESTA DE HOGARES (GIA, 2012)

### 8.1.3 ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SOCIAL

Es una medida, en valor absoluto, de las desigualdades y desventajas sociales, de la capacidad (o incapacidad) de adaptación y de control o de recuperación de sujetos y colectivos de población ante los cambios del entorno; y por tanto de la vulnerabilidad social. Está representado por la suma algebraica de las principales componentes, asumidas como variables de primer orden, de los capitales físico, financiero, humano y social, representadas aquí, pero sin ser las únicas que puedan y deban incorporarse, por la propiedad de la vivienda,  $IV_{viv}$ , el grado de hacinamiento,  $IV_{hac}$ , los ingresos promedio por familia,  $IV_{ing}$ , la relación de dependencia, el número,  $IV_{de}$ , la cantidad y cobertura de los servicios públicos,  $IV_{serv}$ , y la presencia de lugares especiales de alojamiento,  $IV_{lea}$ . Su algoritmo (por lo menos el planteado por GIA) es determinístico y metaheurístico, y se sintetiza en la función lineal multivariada computable, transcrita en la ecuación (A); y su secuencia de estados parte de la definición de la unidad de análisis (escogida en este particular como el bloque), pasa por la selección de los indicadores más relevantes para cada problema y de sus intervalos de cualificación, temas desarrollados en el numeral 8.1.3, y cierra con la clasificación y categorización del índice de vulnerabilidad. Secuencia última que conduce a la zonificación del medio (producto recopilado en la [Tabla 8.8](#), en la [Tabla 8.9](#) y en el [Plano 10](#)).

Vinculado a lo anterior la partición de la función de vulnerabilidad se forja en tres intervalos: bajo, medio y alto, divididos discrecionalmente, y agrupados en la [Tabla 8.7](#). Cuanto mayor sea el índice mayor es la fragilidad e indefensión, por lo tanto mayor la condición de vulnerabilidad, y viceversa. En este sentido, los valores próximos a 30, además de representar estadios de vulnerabilidad alta, dejan entrever condiciones de pobreza y de exclusión total y estructural (estable o permanente, Busso, 2001). En el caso contrario los coeficientes próximos a la unidad describen hogares no pobres, integrados plenos y de baja vulnerabilidad social.

**TABLA 8.7 MATRIZ DE EVALUACIÓN PARA LA VULNERABILIDAD SOCIAL**

CATEGORÍA DE VULNERABILIDAD	CALIFICACIÓN
BAJA	1.0 – 8.0
MEDIA	8.0 – 19
ALTA	19 - 30

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

### 8.1.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

La vulnerabilidad en Buenavista (y por ende en sus dos primeras etapas) no es estructural pero si coyuntural. Corolario sustentado, entre otros argumentos, en que casi la totalidad de los habitantes son propietarios de sus inmuebles, aunque se desconoce cuántos de ellos poseen aún hipoteca (pero por sondeos parciales se cree se acercan al 30%), en que algunos son poseedores de vehículo (poco más del 30%), en que el nivel de escolaridad se aproxima al secundario, en que los ingresos promedio por familia están entre 1.0 y 3 veces el SMMLV, y en que el número promedio de residentes por vivienda es cercano a los 4, por lo que no existe condición de hacinamiento.

Pero los anteriores no son los únicos matices relevantes del diagnóstico social. Gran parte del capital humano en la urbanización pertenece a la franja económicamente activa, con posibilidades de aumentar su nivel de preparación técnica con relativa facilidad. Casi todos integran el sector formal de la economía (en otras palabras poseen empleos con vinculación permanente y con prestaciones sociales) y tienen acceso entre parcial y pleno a las redes de seguridad social. La comunidad está formada por integrados pobres, en algunos casos con alguna exclusión débil.

A pesar de la cercanía entre las 2 etapas y del dominante grado medio de vulnerabilidad, la más susceptible de las dos etapas es la II; allí se concentra el menor activo físico; en otras palabras, los ingresos por familia son los más bajos y oscilan entre \$460.000 y \$720.000.

Contrario a los aparentes beneficios en integración de la comunidad, la ocurrencia de cualquier desastre puede dar lugar a que la vulnerabilidad se convierta en estructural con exclusión media, a que los vínculos con el medio y con los activos financieros se debiliten o se rompan, e incluso a posicionar en el campo laboral a parte del grupo en la informalidad. Condiciones que generarían que la recuperación de las familias tarde años o décadas. Por lo tanto se hace necesaria por una parte la implementación de las medidas de mitigación, que en estricta esencia no superen los activos de capital, y por otra la participación y el acompañamiento activo y permanente del gobierno.

Así mismo, debe motivarse la conservación del tipo de inserción laboral, y la conservación y el fortalecimiento del tejido social, de manera que se facilite el acceso a los activos financieros y por consiguiente se robustezcan los lazos de interrelación. Lazos que hasta ahora han funcionado, como lo demuestra el hecho que la mayoría de las viviendas fueron adquiridas por medio de créditos blandos.



**TABLA 8.8 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SOCIAL: URBANIZACIÓN BUENAVISTA SURORIENTAL, ETAPA I**

ESTA TABLA SE ENTREGA EN FÍSICO Y EN MEDIO MAGNÉTICO ADJUNTO

**TABLA 8.9 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SOCIAL: URBANIZACIÓN BUENAVISTA SURORIENTAL, ETAPA II**

ESTA TABLA SE ENTREGA EN FÍSICO Y EN MEDIO MAGNÉTICO ADJUNTO

## **CAPÍTULO 9**

# **MITIGACIÓN: PLANTEAMIENTO Y DECISIÓN**

---

**MITIGACIÓN: PLANTEAMIENTO Y DECISIÓN**

**9.1 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. Ahora bien, como la condición prevalente de amenaza en el corto y largo plazo (i.e a 50 años) exhibe dos escenarios diametralmente opuestos, el primero regido por probabilidades condicionales predominantemente bajas, interrumpidas por restringidos espacios en las laderas al sur, al suroriente y al suroccidente en los que ascienden a media, gracias a la participación de las fallas planares infinitas; y el segundo para el que los otrora medios pasan a ser altos y se extiende al suroccidente y los medios abarcan las superficies libres restantes, es imperativo incorporar diferentes programas de mitigación para evitar que los niveles de riesgo se incrementen sustancialmente.

La función principal de las medidas será reducir, al menor costo, los estados de probabilidad condicional total actual, y disminuir los escenarios de vulnerabilidad. Cabe reseñar que las alternativas propuestas se enmarcan dentro de la capacidad técnica, operativa y económica, no sólo del Fopae, sino de las demás entidades distritales que tienen injerencia activa y continua en las condiciones de habitabilidad y seguridad en el Distrito Capital, tales como la Secretaría Distrital del Hábitat, la Secretaria Distrital de Ambiente, El Acueducto, el DAPD, el IDR, la Caja de Vivienda Popular y el IDU, entre otros.

Pero su aplicabilidad más allá de los costos de inversión y de su beneficio (técnico) como mitigador de las condiciones de amenaza o vulnerabilidad, es decir como agente estabilizador de las masas inestables o como mecanismo protector de la infraestructura y por consiguiente como medida reductora de las pérdidas económicas, radica en dos condicionantes: la propiedad y el uso del suelo. Aspectos que se resumen en algunas preguntas básicas: los predios que se requieren para implantar las obras son propiedad del distrito?,

FOPAE	GIA LTDA	<b>GIA-068-12</b>		CAP. 9 - PÁG. 212	
VERSIÓN:	1			FECHA	02/03/13
ELABORÓ:	MAA, JALG	REVISÓ:	JALG	APROBÓ:	GIC

son de uso público?, fueron cedidos o están siendo cedidos a la capital? Pormenores que desembocan en un interrogante aún más simple: qué predios pueden ser ocupados por las obras? Sin su solución (o sin un claro indicio) la mitigación puede estar comprometida, pero con ella se puede incluso replantear o desestimar la alternativa a simple vista óptima, o de mayores beneficios. Temas que se abordan en primera instancia.

## 9.2 DIAGNÓSTICO Y PROSPECCIÓN URBANÍSTICA

Asentadas entre los cerros de la localidad de San Cristóbal, en la UPZ No. 32, San Blas, y como parte del barrio Ramajal, se posan las etapas I y II de la urbanización Buenavista. Se levantan en lo que otrora fueron frentes de explotación de industrias mineras (coloquialmente apodadas chircales), frentes abandonados pero nada recuperados, alejadas de parques o de áreas recreativas, pero rodeadas por una basta franja de conservación, y en los que la antigua carretera a oriente despunta como la principal vía de acceso y como el corredor de integración con la ciudad.

Contrario a su origen formal y a los más de diez años que han pasado desde la construcción de la urbanización, y más como sucede con los desarrollos subnormales de la ciudad, poco registro se tiene en las entidades del Distrito acerca de la prediación y de las áreas de cesión. De la información que reposa en los archivos del Departamento Administrativo de la Defensoría del Espacio Público (DADEP), resumida en el concepto 2012EE14100 y en la plancha SC 11/4-00 emitidos por la entidad (y visibles en el Anexo I) y en planeación distrital (reporte también incluido en el Anexo I), se concluye que el desarrollo de la zona no corresponde a lo autorizado por los organismos designados, y que los taludes adosados a la urbanización no están anexionadas, o lo están parcialmente, en el inventario de bienes de uso público del Distrito Capital.

La verificación de los mojones que demarcan los espacios cedidos al distrito sugiere que las laderas alrededor de la urbanización podrían ser propiedad de la constructora; singularidad que, de cierto modo, facilitaría la incorporación de las obras de mitigación planteadas en este documento. Resulta, entonces, indispensable corroborar esta premisa, previo a la construcción de cualquier medida remedial.

Sin embargo, independiente del carácter privado o público de cada espacio y de la ejecución o no de medidas de intervención, y con base en insumos como la zonificación de la amenaza y como las particularidades de los predios aledaños, se puede sugerir (y de manera indirecta establecer) el condicionamiento de uso para ellos. Ordenamiento, arreglo y asignación que da vida a la propuesta de destinación, aproximación bosquejada gráficamente en la Figura I.1 del Anexo I:

- Zonas Recomendables para Adelantar Procesos Urbanísticos: se reducen al extremo nororiental de la primera etapa, y a los corredores centro-orientales de las etapas I y II de Buenavista.
- Zonas Complejas para Llevar a Cabo Procesos Urbanísticos: se enmarcan al oriente de la urbanización. Aquí previo a la puesta en marcha de cualquier proyecto urbanístico, debe exigirse la realización de estudios de amenaza y de riesgo (por remoción en masa como mínimo) de detalle. Además, se demanda llevar a cabo las medidas de mitigación de los niveles más desfavorables.
- Zonas Inadecuadas para Llevar a Cabo Procesos Urbanísticos: se circunscribe a las superficies libres con mayor posibilidad de movilización (en el tiempo), y que recorren los costados sur, suroriental y oriental de la urbanización. En estos lotes no deberá adelantarse proyecto alguno de desarrollo urbanístico, bien porque su estado de amenaza es el más crítico, o bien porque habrán de ser el albergue para las obras de mitigación del riesgo en Buenavista. Adicional a éstos, se cuenta en esta categoría el espacio de protección ambiental al suroriente del polígono de estudio.

## 9.3 ALTERNATIVAS

En el desarrollo de los capítulos anteriores se ha perfilado las variables 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 desglosan en la Tabla 9.1 y se enuncian a continuación:

### 9.3.1 ALTERNATIVA 1: REASENTAMIENTO

Pretende la sustracción de los más altos estadios de vulnerabilidad y riesgo actual y futuro (o de amenaza a 50 años); cometido satisfecho con la relocalización permanente de 41 predios, 31 de la segunda etapa, las de las casas 141 a 162, 103 a 105, 122 a 126 y el salón comunal, y 10 de la primera, las de las viviendas 75 a 78, 91 a 94, 107 y 120, con la inserción de pantallas-pilotes con unidades de 0,60 metros de diámetro, que confinen las masas potencialmente inestables y que protejan la infraestructura y los inmuebles remanentes, y con la reconformación o no de las laderas circunvecinas a ellas, en específico las del corredor suroccidental, incluida la actuación de un limitado grupo de elementos de despresurización y drenaje. Actividad última que permite su discretización y diferenciación en dos subalternativas, identificadas como 1A y 1B. Es en medida alguna un programa discrecional (pero muy somero) de ajuste urbanístico. Su desarrollo, idealizado esencialmente en etapas, está formulado para entre uno y cinco años de duración (tiempo máximo abstraído de los más recientes programas de reasentamiento llevados a cabo por la administración distrital, entre ellos el de Buenavista III Etapa). Derrotero delineado en la Figura 9.1 y en la Figura 9.2.

La trascendencia de los deslizamientos (con el tiempo), simbolizada en su potencial de daño y desglosada en profundidades superiores a los tres o cuatro metros y en longitudes de viaje de hasta cincuenta metros (aproximadamente), la activación en estados medios de presurización, la coexistencia de construcciones en las áreas de exposición de los cuerpos de deslizamiento y la escasa resistencia y protección de éstas, acreditan y validan la decisión.

Los terrenos liberados y que deben pasar a manos del distrito, condición *sine qua non* para garantizar su efectividad, recibirán tratamiento adicional. En primera instancia cambiarán 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 engrosarán las zonas verdes y se dotarán de equipamiento, p.e. peatonales, silleas o bancas e iluminación (partes constitutivas, sin que así haya sido pensado, en mayor o menor proporción de un parque), de manera tal que impida a toda costa se conviertan en focos de inseguridad, en los que se propicien actividades delictivas.

### 9.3.2 ALTERNATIVA 2: DRENAJE, SUBDRENAJE Y CONTENCIÓN

Se enfoca en el manejo del principal agente detonante: el agua, y de sus secuelas más relevantes, el aumento en la cabeza piezométrica y la meteorización. Encargos que implican la captación y el transporte de las aguas superficiales y sub superficiales, a fe de reducir la tasa de degradación del material y del macizo rocoso, inmersos en los taludes al occidente y noroccidente (en las regiones LEI-tex-I-2 y LEI-tex-I-3, definidas en el Plano 7), y la despresurización de los cuerpos del cuaternario susceptibles de movilizarse, residentes y configuradores de las laderas al sur, al suroriente y al suroccidente, de la segunda etapa de la urbanización; cuerpos conformados por rellenos y suelos residuales.

Todo lo anterior satisfecho a través de la instalación de sub-drenes horizontales, con longitudes entre los 10 y los 25 metros cimentados con ángulos inferiores a los cinco (5) grados), cunetas trapezoidales o rectangulares, descoles en concreto, trincheras (o filtros) rectangulares de entre 1.50 m y 2.0 m de profundidad y 0.80 m de ancho, y un escueto perfilado. Conjunto que descargará en la red principal de alcantarillado pluvial de la urbanización, que implica el pago de servidumbre o la compra de los predios ocupados, y que es abocetado espacialmente en la [Figura 9.3](#) y detallado en la [Figura 9.4](#).

### 9.3.3 ALTERNATIVA 3: RECONFORMACIÓN MORFOLÓGICA, PERFILADO

Busca reducir los empujes activos o las masas activas en los cuerpos y en laderas potencialmente inestables, amparada en el terraceo de suelos y roca en los corredores suroriental, occidental y suroccidental de la urbanización (en específico las zonas LEI-tra-I-1, LEI-tra-I-2, LEI-trat-I-1, LEI-trat-I-2, LEI-trat-I-3, LEI-tex-I-2 y LEI-tex-I-3, delimitadas en el [Plano 7](#)) y materializada gracias a cortes con buzamientos de 1.5H:1.0V y 3H:1.0V, y bermas de hasta 2.5 metros de ancho, protegidos con cespedones. Arreglo complementado con una red de drenaje, de cunetas y trincheras, adosada a las mismas laderas. Panorámica esbozada en la [Figura 9.5](#) y puntualizado en la [Figura 9.6](#).

Los ángulos de corte se cogieron de manera tal que garantizarán el retiro del mayor volumen posible en los rellenos, inhibieran o redujeran al mínimo la predisposición cinemática y mecánica de las fallas planares infinitas en roca y suelo, controlaran el espesor móvil en los deslizamientos rotacionales, y controlaran la posibilidad de despegue del macizo alterado (en el caso en que se desarrollen los espesores definidos en el capítulo 6: los de 5 metros). Esta decisión hace necesaria la compra de predios aledaños, la definición de una franja de aislamiento (superior a los diez metros) para los proyectos urbanísticos venideros, especialmente para los que pretendan llevarse a cabo en la regiones LEI-rep-I-1 y LEI-tra-I-3 (véase el [Plano 7](#)) y si así se requiere la desestimación de cualquier intento de urbanización, sí y solo sí no satisfaga los requerimientos de la resolución 227 de 2006 o que de su aplicación se concluya que la implantación de la futura urbanización y de sus medidas de remediación, compensación o mitigación, en nada reduzcan los estados de amenaza en Buenavista.

Pero la decisión de recurrir en su totalidad al perfilado dista mucho de ser clara y directa. Su factibilidad estuvo por un buen tiempo en entredicho frente a la concurrencia de mecanismos externos que intercepten las superficies de deslizamiento y absorban las fuerzas y los momentos de corte en las unidades de suelo con mayor posibilidad de deslizarse; responsabilidades, discrecional y unívocamente, asignadas a las pantallas de pilas. Estructuras planteadas para la contención (y estabilización) de los más potentes depósitos antrópicos y suelos residuales, los de la zona LEI-tra-I-2; y constituidas por veintiocho (28) pilas (distribuidas equitativamente en dos pantallas), de 1.50 metros de diámetro, separadas entre ejes 4.50 m, y de 8 m o 19 m de longitud (propuesta articulada en el [Anexo H.1](#)). No obstante, su excesivo costo, superior a los noventa millones de pesos con relación al perfilado, al margen de los generosos beneficios en las posibilidades de falla, desestimó su uso.

### 9.3.4 Alternativa 4: Reforzamiento y Retiro

Apunta a la contención de los potenciales deslizamientos o por lo menos a la mitigación de sus efectos, a la intersección (interceptación) de las superficies de deslizamiento (fijadas cerca al contacto macizo alterado-macizo sano o depósito-roca) y a la reducción los empujes activos de las masas inestables; para ello se recurre a sistemas de estabilización pasivos y externos, a la reconformación morfológica y al drenaje y subdrenaje. Unos en cabeza de líneas de anclajes, instalados al occidente de la primera y de la segunda

etapa, en las amplias exposiciones del macizo de los cinturones LEI-tex-I-2 y LEI-tex-I-3 (véase el Plano 7), otra confiada a cortes con buzamientos de hasta 3.0H:1.0V, y otro a cargo de trincheras drenantes (o filtros) de hasta dos metros de profundidad y cunetas rectangulares. Ordenamiento compilado en la Figura 9.7 y dimensionado en el Anexo H.1.

Comparte con la alternativa 3, el manejo de las superficies libres en las unidades LEI-tra-I-1 y LEI-tra-I-2, y la delimitación y el respeto de las franjas de aislamiento en la periferia (incluida la adquisición de los lotes), pero se diferencia de ella en que suprime los cortes en la roca, pues su costo es excesivo, y los reemplaza por los anclajes. Elementos últimos con capacidad de resistir hasta 20 ton cada uno, armados por varillas o torones de una pulgada de diámetros, amarrados al interior macizo entre 6 y 9 metros con concreto fluido de 30 Mpa y a la cara de los taludes con platinas cuadradas de 0.40 m de lado (especificidades esquematizadas en la Figura 9.8). Es una opción de considerables réditos, no sólo por los inmejorables beneficios técnicos en la estabilización (los de los anclajes) sino por su bajo costo y porque la inversión y la materialización (i.e. entendida como la construcción de todas las piezas de la solución) se difiere en el tiempo. Es, por lo menos desde la perspectiva de los agentes de estabilización externos, un plan de reducción de los estadios (y de las condiciones) de amenaza, y de paso de riesgo, futuros (los de 25 y los de 50 años, véase la Tabla 9.7) aplicable en unos años, toda vez que la alteración del macizo así lo exija, decisión que acarrea monitoreo.

#### 9.3.4 Alternativa 5: Elusión (No hacer nada)

Obvia la puesta en marcha de cualquier tipo de obra sea civil o de paisajismo, de mitigación, control o estabilización, que interfiera con la evolución natural de las laderas; 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 y futuras de amenaza, de vulnerabilidad y de riesgo (característica que hace que los Planos 8, 9 y 11 mantengan vigencia), lo que conlleva significantes pérdidas tanto materiales como humanas. Surge de la escasa afectación de las edificaciones, frente a los procesos de remoción en masa en el pasado. Su mayor desventaja reside en la desatención social de la comunidad, lo que puede desencadenar focos de violencia, la depreciación de los inmuebles, y el sometimiento a la pobreza de, aproximadamente, 30 familias.

Cualquiera sea el camino a seguir (entendido como el esquema de mitigación: alternativa) es pertinente acometer una serie de medidas no estructurales, que si bien no modifican los escenarios de amenaza, están encaminadas a hacer participe a la comunidad en la conservación del medio, en la reducción del riesgo ambiental y físico, y a menguar la creación de focos futuros de inestabilidad. Este paquete de acciones comprende: la implementación de campañas de limpieza y retiro de los residuos sólidos (basuras y escombros) del sistema de alcantarillado pluvial -ductos, pozos y sumideros-, y, en general, el mantenimiento de las redes de acueducto y alcantarillado, no sólo de los entramados de la urbanización, sino de los ubicados en los barrios existentes al sur, principalmente, de las áreas que drenan en dirección de las masas que nos ocupan; la supervisión de nuevas construcciones que se pretendan realizar en los predios aledaños a la urbanización, para evitar problemas futuros; y la participación activa de la comunidad en el planteamiento de las soluciones en los barrios, de manera tal que se le comprometa con la sostenibilidad del medio.



**FIGURA 9.1 ALTERNATIVA 1: REASENTAMIENTO**

## FIGURA 9.2 DETALLES DE LA ALTERNATIVA 1

**FIGURA 9.3 ALTERNATIVA 2: DRENAJE, SUBDRENAJE Y CONTENCIÓN**

## FIGURA 9.4 DETALLES DE LA ALTERNATIVA 2

**FIGURA 9.5 ALTERNATIVA 3: RECONFORMACIÓN MORFOLÓGICA**

**FIGURA 9.6A DETALLES DE LA ALTERNATIVA 3**

**FIGURA 9.6B DETALLES DE LA ALTERNATIVA 3**

**FIGURA 9.6C DETALLES DE LA ALTERNATIVA 3**



**FIGURA 9.7 ALTERNATIVA 4: REFORZAMIENTO Y RETIRO**

### FIGURA 9.8A DETALLES DE LA ALTERNATIVA 4

**FIGURA 9.8B DETALLES DE LA ALTERNATIVA 4**

**FIGURA 9.8C DETALLES DE LA ALTERNATIVA 4**

TABLA 9.1 ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN: ACTIVIDADES Y APLICACIÓN POR ZONA HOMOGÉNEA

ALTERNATIVA	TALUD	ZONA HOMOGÉNEA	SECUENCIA ESTRATIGRÁFICA	DETALLE DE ACTIVIDADES
Alt1 - Reasentamiento Total	Suroriental	LEHtra-I-1 LEHtrat-I-1	Qra1 - Tpb-L1 Qd3 - Qra1 - Tpb-L1	Involucra el reasentamiento de dieciocho (18) familias y del salón comunal, de la segunda etapa de la urbanización, para la posterior demolición de estas edificaciones.
	Suroccidental	LEHtra-I-2 LEHtrat-I-2 LEHtrat-I-3 LEHhex-I-2	Qra1 - Tpb-A - Tpb-L1	Incorpora el reasentamiento de trece (13) familias y del salón comunal, de la segunda etapa de la urbanización, y demolición de las mismas construcciones. Disposición de una pantalla de veinte (20) pilotes preexcavados en el espacio liberado por las edificaciones.
	Occidental	LEHhex-I-3	Qra1 - Tpb-L3	Conlleva el reasentamiento de diez (10) familias de la primera etapa de la urbanización, y la demolición del mismo número de viviendas. Adicional a esto, la construcción de diecinueve (19) pilotes como barrera de protección a las estructuras restantes.
Alt2 - Drenaje, Subdrenaje y Contención	Suroriental	LEHtra-I-1 LEHtrat-I-1	Qra1 - Tpb-L1 Qd3 - Qra1 - Tpb-L1	Estima la construcción de quince (15) caissons al oriente de Buenavista II (en el talud contiguo a la desaparecida tercera etapa), y la disposición de cunetas, subdrenes horizontales, y trincheras drenantes en la misma zona.
	Suroccidental	LEHtra-I-2 LEHtrat-I-2 LEHtrat-I-3 LEHhex-I-2	Qra1 - Tpb-A - Tpb-L1	Abarca el retiro y disposición en lugar autorizado del material movilizado (LEHtrat-I-2 y LEHtrat-I-3) y el ligero perfilamiento del talud, acompañado por la construcción de subdrenes horizontales, de trincheras drenantes en la corona y a media ladera, y de cunetas trapezoidales en la parte baja.
	Occidental	LEHhex-I-3	Qra1 - Tpb-L3	Involucra el drenaje de las masas de suelo a partir de la construcción de una trinchera drenante en la parte superior del talud, con su respectiva estructura de descole y disipación de energía, y de una cuneta trapezoidal a media ladera.
Alt3 - Reconfiguración Morfológica	Suroriental	LEHtra-I-1 LEHtrat-I-1	Qra1 - Tpb-L1 Qd3 - Qra1 - Tpb-L1	Requiere la implantación de una batería de quince (15) caissons para estabilizar la masa potencialmente móvil del talud al oriente de la segunda etapa de Buenavista, la reconfiguración morfológica del talud (1.0V:1.5H) y la disposición de obras de drenaje: subdrenes, trincheras drenantes, cunetas y cajas de inspección.
	Suroccidental	LEHtra-I-2 LEHtrat-I-2 LEHtrat-I-3 LEHhex-I-2 LEHrep-I-1	Qra1 - Tpb-A - Tpb-L1 Qd2 - Tpb-L1 Qd1 - Tpb-L3 Qra1 - Tpb-L2 - Tpb-L3 - Tpb-A2 Qra1 - Qra2 - QTpb-L-sr - Tpb-L1 - Tpb-L2 - Tpb-A1	Estima la reconfiguración del talud (retiro del material movilizado y con mayor posibilidad de movilización) en dos espacios con pendientes diferentes: 1.5H:1.0V en la parte baja de la ladera y 3.0H:1.0V en la alta; y despresurización de las masas de suelo restantes, a través de trincheras drenantes, subdrenes y cunetas trapezoidales.
	Occidental	LEHhex-I-3 LEHhex-I-5 LEHtra-I-3 LEHtra-I-4	Qra1 - Tpb-L3 Qra1 - Tpb-L3 - Tpb-L4 Qra1 - Tpb-L3 Qra1 - Tpb-L4 - Tpb-A3	Compila la intervención del talud con la reconfiguración morfológica (pendientes 1.5H:1.0V y 3.0H:1.0V), y la implantación de cunetas trapezoidales, y trincheras drenantes con su respectivo descole de entrega a un canal rectangular.
Alt4 - Reforzamiento y Retiro	Suroriental	LEHtra-I-1 LEHtrat-I-1	Qra1 - Tpb-L1 Qd3 - Qra1 - Tpb-L1	Involucra la adopción de quince (15) caissons como medida para la estabilización del talud oriental, y la reconfiguración y el drenaje del talud suroriental, contiguo a Buenavista II.
	Suroccidental	LEHtra-I-2 LEHtrat-I-2 LEHtrat-I-3 LEHhex-I-2 LEHrep-I-1	Qra1 - Tpb-A - Tpb-L1 Qd2 - Tpb-L1 Qd1 - Tpb-L3 Qra1 - Tpb-L2 - Tpb-L3 - Tpb-A2 Qra1 - Qra2 - QTpb-L-sr - Tpb-L1 - Tpb-L2 - Tpb-A1	Adopta el retiro del material movilizado (LEHtrat-I-2 y LEHtrat-I-3), la reconfiguración superficial del talud en las unidades LEHtra-I-2 y LEHrep-I-1, el drenaje de las masas de suelo restantes con subdrenes, trincheras y cunetas, y el anclaje con pernos del macizo expuesto en LEHhex-I-2.
	Occidental	LEHhex-I-3 LEHhex-I-5 LEHtra-I-3 LEHtra-I-4	Qra1 - Tpb-L3 Qra1 - Tpb-L3 - Tpb-L4 Qra1 - Tpb-L3 Qra1 - Tpb-L4 - Tpb-A3	Demanda la sujeción con pernos de los bloques del macizo expuesto en el talud adosado a la primera etapa de Buenavista, a lo largo de las unidades LEHhex-I-3 y LEHhex-I-5.
Alt5 - Elusión	Suroriental	LEHtra-I-1 LEHtrat-I-1	Qra1 - Tpb-L1 Qd3 - Qra1 - Tpb-L1	Marca como línea de acción 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.
	Suroccidental	LEHtra-I-2 LEHtrat-I-2 LEHtrat-I-3 LEHhex-I-2 LEHrep-I-1	Qra1 - Tpb-A - Tpb-L1 Qd2 - Tpb-L1 Qd1 - Tpb-L3 Qra1 - Tpb-L2 - Tpb-L3 - Tpb-A2 Qra1 - Qra2 - QTpb-L-sr - Tpb-L1 - Tpb-L2 - Tpb-A1	
	Occidental	LEHhex-I-3 LEHhex-I-5 LEHtra-I-3 LEHtra-I-4	Qra1 - Tpb-L3 Qra1 - Tpb-L3 - Tpb-L4 Qra1 - Tpb-L3 Qra1 - Tpb-L4 - Tpb-A3	

Cualquiera sea la alternativa en consideración o favorecida, temprano o tarde, previo a la construcción, es inapelable emprender el estudio de títulos, que propenda por la identificación de los linderos y de los propietarios (sean oficiales o privados) de los terrenos que serán ocupados por las obras de mitigación (fajas estampadas en la [Figura 9.1](#), en la [Figura 9.3](#), en la [Figura 9.5](#) y en la [Figura 9.7](#)), pues (tal como se ha mencionado con anterioridad) pese al esfuerzo adelantado por esta consultoría, no ha sido posible aclarar a ciencia cierta ninguno de estos dos aspectos. La información en manos de las entidades competentes (la Secretaría Distrital de Planeación, SDP, y el Departamento Administrativo del Espacio Público, DADEP) no es coherente entre sí ni con lo edificado. El DADEP, ente rector en esta materia, se ha limitado a referir su imposibilidad de definir el carácter público en alguno de los espacios circunscrito a cuadrángulo de estudio (véanse los [Anexos A e I](#)).

Por último, la estabilización de las laderas al nororiente de la urbanización, en el límite entre la segunda y la tercera etapa, configuradas por espesos horizontes de lleno, y que amenazan la vida de los residentes y la permanencia del salón comunal, aunque está por fuera del marco de trabajo y de los alcances de este estudio, es un compromiso impostergable. Obligación asignada a 15 caissons de 1.2 metros de diámetro, espaciados 3.6 metros entre sí (distancia medida entre los ejes) y distribuidos en dos pantallas, distintivos captados y puntualizados en la [Figura 9.3](#), en la [Figura 9.4](#) y en el [Anexo H.1.3](#). Así, entonces, el tratamiento subrayado debe entenderse y aceptarse (por ahora y hasta el diseño) como una constante para todas y cada una de las alternativas. Estos y otros aspectos del espectro de medidas se desglosan en la [Tabla 9.1](#).

#### 9.4 AMENAZA Y RIESGO CON OBRAS

Las condiciones de amenaza futura (sin obras), oscilantes entre baja y alta, pero con preponderancia entre media y alta (sentencia clara diagramada en el [Plano 8](#)), son el reflejo de las particulares condiciones topográficas, estructurales, estratigráficas y de uso del suelo. Las laderas, reconfiguradas en antiguos frentes de explotación, están labradas en masas irregulares de rellenos antrópicos, de entre dos y diez metros de espesor, empleadas para mejorar la apariencia exterior, dispuestas sobre suelos residuales o sobre las lodolitas de la formación Bogotá (Tpb-L) y propensas a deslizarse, o en potentes bancos de lodolitas de más de 20 metros de espesor, que diagraman ambientes planos, receptores de las edificaciones, y taludes con pendientes desde los treinta hasta los cuarenta grados, con alguna consonancia geométrica con el patrón estructural, pero insuficiente para dar lugar a predisposición cinemática alguna. El irregular sistema de transporte de agua, la desaparición del drenaje natural y las importantes recargas hidrogeológicas, son otros de los componentes que repercuten ampliamente en el nivel de riesgo.

En gracia de estas consideraciones, la estimación de la probabilidad de falla implica la determinación de los factores de seguridad en las sección de análisis (y en las zonas homogéneas) con la incorporación de la medida correctiva, tanto para los parámetros de resistencia y las variables ambientales esperadas (agua 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, 3 y 4, es decir el drenaje y subdrenaje, la reconfiguración morfológica, y el reforzamiento y el retiro.

La elusión (Alternativa 5) y la reubicación (Alternativa 1), como sintetizan la convivencia con el problema, reviven el análisis de amenaza plasmado en el capítulo 6 y en el [Plano 8](#) y lo mantienen vigente, habida cuenta pequeñas diferencias que emergen en el reasentamiento por el papel que cumple las pantallas pilotes en la reducción de la distancia de viaje (tal y como se ilustra en la [Figura 9.9](#)). La vulnerabilidad y el riesgo

sufren cambios substanciales pero antagónicos, en la elusión, aumentan, al pasar de 23 predios de riesgo medio a 101 sumados los de medio y alto (véase el [Anexo H.6](#) y el [Plano 11](#)), y en la reubicación desaparecen los escenarios de riesgo alto (futuros) y los de medio alcanzan las 38 unidades.

Los valores de probabilidad obtenidos permiten exponer de manera gráfica las condiciones de amenaza y de riesgo de las Alternativas 2, 3 y 4 en la [Figura 9.10](#), en la [Figura 9.11](#) y en la [Figura 9.12](#), 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 medias, en el estadio crítico.

El drenaje y subdrenaje fundado en la instalación de algunas baterías de subdrenes horizontales, de trincheras (o filtros) de hasta 2.0 m de profundidad y de una red de cunetas, garantiza estadios operativos medianamente seguros; la probabilidad condicional, cualquiera sea la zona homogénea, divaga del 0% al 27% (véase la [Tabla 9.2](#) y la [Tabla 9.3](#)), si el período de exposición alcanza los 10 años, los escenarios críticos se dibujan en las laderas S1, S2, S4, S5, superficies BVII\_S1\_1\_A2, BVII\_S2\_1\_A2, BVII\_S4\_1\_A2 y BVII\_S5\_2\_A2, respectivamente, los factores de seguridad se posicionan entre el 2.26 ([Tabla 9.2](#)) y 1.165, 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 la vertiente (es decir en todo el entorno) se reducen sustancialmente con el pasar de los años, al punto que la posibilidad de movilización se encaja entre el 1.1% y el 77%, si el escenario temporal de análisis toca los 50 años. Las superficies BVII\_S1\_1\_A2, BVII\_S2\_1\_A2, BVII\_S4\_1\_A2, BVII\_S5\_2\_A2, BVII\_S5\_6\_A2, BVII\_S5\_7\_A2, BVII\_S5\_8\_A2 exhiben las respuestas más anómalas; su probabilidad condicional supera el 13% (según se expresa en la [Tabla 9.2](#) y en la [Tabla 9.3](#)), suficiente para dar lugar a la aparición de nuevos focos de inestabilidad o a la reactivación de los procesos estabilizados, pero insuficiente para garantizar la viabilidad (y edificación) 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 lo poco plausible 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 condicionales de falla, que se alcanza si operan sólo sistemas efectivos de subdrenaje y drenaje (simbolizados por un ru de 0.20): panorama transcrito en el [Anexo H.2](#); las posibilidades de movilización en ningún caso supera el 5.6% y el 11.7%, toda vez que el periodo de exposición sea de 10 años y 50 años, respectivamente, y los mecanismos de falla se limiten a los deslizamientos rotacionales.

La reconfiguración morfológica, entendida como el retiro de gran parte del cuaternario, es sin lugar a dudas una de las medidas más generosa de estabilización. Su éxito está representado en probabilidades condicionales hoy día (esto es a 10 años) entre el 0.00% y el 4.45% (véase la [Tabla 9.4](#) y la [Tabla 9.5](#)). Los mayores inconvenientes se ciñen en la ladera S2 (unidad LEI-tra-I-1 del [Plano 7](#)), su activación, simbolizada por la masa potencial BVII\_S2\_1\_A3 (señalada en la [Tabla 9.4](#)), acaecería bajo estimulación sísmica o con participación de los dos agentes exógenos (la lluvia y el sismo), en la medida en que operen los coeficientes de resistencia mínimos o la cohesión mínima. Los factores de seguridad, en las demás superficies libres (laderas) se posicionan entre el 1.05 y 4.99 ([Tabla 9.4](#) y [Tabla 9.5](#)) en ausencia de cualquier agente exógeno o si actúa sólo la lluvia; la detonación se forja bajo estimulación sísmica o si se conjugan la lluvia y el sismo, y los parámetros de resistencia mínimos, simultáneamente.

Las garantías se mantienen en el tiempo. La posibilidad modal máxima es del 10%, si el escenario temporal

de análisis toca los 50 años (según se expresa en la [Tabla 9.5](#)), sin embargo los cuerpos potencialmente móviles poco comprometen el entorno general y la permanencia de las viviendas.

La participación de los anclajes, elemento sustantivo de la Alternativa 4, se traduce en una significativa mejoría en la estabilidad, en especial en los sectores LEI-text-I-2 y LEI-text-I-3. Las posibilidades de movilización para el macizo alterado descienden desde el 46% (sección 7-7', 8-8', 9-9', véase la [Tablas 6.19](#)) hasta niveles por debajo del 5% (topes evidenciados por las superficies críticas: BVII\_S1\_2\_A4, con el 5.1%, BVII\_S7\_1\_A4, con el 3% y BVII\_S10\_1\_A4, con el 5.0 %, y refrendados en la [Tabla 9.6](#) y en la [Tabla 9.7](#)), en otras palabras la amenaza trasiega desde alta hasta baja y media para 10 años y 50 años, respectivamente. Los deslizamientos pueden tener cabida en las instancias más adversas, es decir, si participa el sismo crítico ( $a_{m\acute{a}x}=0.22g$ ) o los dos agentes exógenos, y los coeficientes efectivos de resistencia mínima al mismo tiempo, tal y como lo sugiere la [Tabla 9.6](#) y la [Tabla 9.7](#). 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 1.40 y 2.40.

Pero los frutos de esta medida, al igual que la de la alternativa 3, sobrepasan los límites de la morfodinámica (esto es de la amenaza) y se extienden más allá. La vulnerabilidad física exhibe un inmejorable panorama en el corto plazo (sin ser el de la Alternativa 1, idealizado en [Figura 9.13](#)), tanto que el 98% de las edificaciones exponen índices bajos, sólo cinco viviendas, la 84, la 104, la 125, la 143 y la 162 de la etapa II, revelan susceptibilidad media (espectro plasmado en la [Figura 9.15](#) y en la [Figura 9.16](#)). El paisaje, aunque ligeramente desfavorable, continua siendo alentador en el futuro (para la amenaza a 50 años, según se desprende de la [Figura 9.15](#) y de la [Figura 9.16](#)): el 84% de la urbanización se posiciona en categoría baja y cerca del 16% (es decir 46 casas) en media. El riesgo, al margen del periodo de exposición, se asemeja a una copia al carbón de la vulnerabilidad, pero con la diferencia de que hoy por hoy la pérdida esperada en los inmuebles es exclusivamente baja. Circunstancia que se aproxima a las generosísimas ventajas de la alternativa 1 (expresadas en la [Figura 9.17](#)), pero que raya con las 83 residencias medianamente vulnerables a largo plazo de la alternativa 2, y que desencadenan pérdidas igualmente medias en 77 de las casas y altas en tres de éstas: la 93, la 94 y la 78 (como lo propone la [Figura 9.18](#)). Corolario representado en la [Figura 9.19](#), si se trata de la alternativa 3, y en la [Figura 9.20](#), en lo que respecta a la alternativa 4, y en el [Anexo H.4](#).

De esta forma, la alternativa 4, apunta desde ya a ser la más favorable (i.e. viable) técnicamente, calificativo realzado en medida y proporción a que el destino final de uso recaiga en el urbano. Su selección como la propuesta recomendada será función exclusiva de su beneficio económico frente a las otras alternativas. Tema que se tratan en adelante.

## 9.5 SELECCIÓN DE LA ALTERNATIVA: DECISIÓN BAJO INCERTIDUMBRE

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:



TABLA 9.2 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD CONDICIONAL DE FALLA: ALTERNATIVA 2, DRENAJE Y SUBDRENAJE

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL										
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS										
Sección				1-1'	1-1'	1-1'	2-2'	2-2'	3-3'	3-3'	4-4'	5-5'	5-5'	
Superficie de Falla				BVII_S1_1_A2	BVII_S1_2_A2	BVII_S1_3_A2	BVII_S2_1_A2	BVII_S2_2_A2	BVII_S3_1_A2	BVII_S3_2_A2	BVII_S4_1_A2	BVII_S5_1_A2	BVII_S5_2_A2	
Fricción	Cohesion (T/m <sup>2</sup> )	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	
Φ <sub>max</sub>	c <sub>max</sub>	Sin	Sin	2.260	1.915	1.670	2.164	1.965	2.367	2.386	2.240	2.367	1.856	
Φ <sub>min</sub>	c <sub>max</sub>	Sin	Sin	2.059	1.647	1.460	1.838	1.642	2.005	2.320	1.855	2.284	1.764	
Φ <sub>max</sub>	c <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.509	1.659	1.474	1.468	1.762	1.699	2.340	1.596	1.645	1.537	
Φ <sub>min</sub>	c <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.220	1.391	1.262	1.142	1.438	1.335	2.187	1.210	1.559	1.165	
Φ <sub>max</sub>	c <sub>max</sub>	Sin	Con	1.732	1.369	1.278	1.588	1.301	1.673	1.660	1.581	1.842	1.272	
Φ <sub>min</sub>	c <sub>max</sub>	Sin	Con	1.601	1.200	1.133	1.376	1.103	1.444	1.504	1.334	1.789	1.216	
Φ <sub>max</sub>	c <sub>min</sub>	Sin	Con	1.074	1.171	1.114	1.035	1.154	1.166	1.565	1.088	1.249	1.019	
Φ <sub>min</sub>	c <sub>min</sub>	Sin	Con	0.891	1.001	0.968	0.823	0.957	0.934	1.470	0.840	1.183	0.788	
Φ <sub>max</sub>	c <sub>max</sub>	Con	Sin	2.044	1.595	1.361	1.786	1.586	1.951	2.039	1.820	2.240	1.755	
Φ <sub>min</sub>	c <sub>max</sub>	Con	Sin	1.877	1.434	1.239	1.591	1.379	1.729	1.893	1.581	2.192	1.523	
Φ <sub>max</sub>	c <sub>min</sub>	Con	Sin	1.158	1.340	1.165	1.093	1.384	1.289	1.852	1.180	1.523	1.137	
Φ <sub>min</sub>	c <sub>min</sub>	Con	Sin	0.992	1.177	1.040	0.898	1.176	1.062	1.703	0.939	1.463	0.906	
Φ <sub>max</sub>	c <sub>max</sub>	Con	Con	1.503	1.121	1.022	1.289	1.025	1.355	1.352	1.260	1.737	1.184	
Φ <sub>min</sub>	c <sub>max</sub>	Con	Con	1.417	1.034	0.952	1.179	0.914	1.232	1.269	1.124	1.712	1.057	
Φ <sub>max</sub>	c <sub>min</sub>	Con	Con	0.796	0.924	0.859	0.741	0.881	0.856	1.216	0.773	1.140	0.721	
Φ <sub>min</sub>	c <sub>min</sub>	Con	Con	0.708	0.837	0.785	0.629	0.767	0.728	1.131	0.633	1.102	0.593	
ru				0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	
Material				Qra	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	Qra	QTpb-L-sr	Qra	QTpb-L-sr	Qra	Qd	Qra	
Valores paramétricos empleados en cada sección				Φ <sub>max</sub>	27.9	24.1	24.1	27.9	24.1	27.9	24.1	27.9	21.5	27.9
				Φ <sub>min</sub>	19.0	16.6	16.6	19.0	16.6	19.0	16.6	15.7	15.7	19.0
				c <sub>max</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	2.30	2.47	2.47	2.30	2.47	2.30	2.47	1.50	1.50	2.30
				c <sub>min</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	1.00	1.90	1.90	1.00	1.90	1.00	1.90	0.60	0.60	1.00
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Métdo PEM				N	0.0349	0.0005	0.0020	0.0461	0.0005	0.0134	0.0000	0.0280	0.0041	0.0181
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Métdo PEM				N	0.0612	0.0059	0.0179	0.0826	0.0083	0.0320	0.0000	0.0595	0.0063	0.0609
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Métdo PEM				N	0.0940	0.0209	0.0485	0.1287	0.0304	0.0581	0.0000	0.1011	0.0097	0.1153
Probabilidad de falla (Pf) a 50 años Métdo PEM				N	0.1295	0.0516	0.1002	0.1794	0.0761	0.0912	0.0001	0.1499	0.0145	0.1764

**TABLA 9.3 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD CONDICIONAL DE FALLA: ALTERNATIVA 2, DRENAJE Y SUBDRENAJE (CONTINUACIÓN)**

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCION NORMAL										
				CONDICION DE ANALISIS										
Sección				5-5'	5-5'	5-5'	5-5'	6-6'	6-6'	7-7'	8-8'	9-9'		
Superficie de Falla				BVII_S5_6_A2	BVII_S5_7_A2	BVII_S5_8_A2	BVII_S5_9_A2	BVII_S6_1_A2	BVII_S6_2_A2	BVII_S7_1_A2	BVII_S8_1_A2	BVII_S9_1_A2		
Fricción	Cohesion (T/m <sup>2</sup> )	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.		
φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	1.875	1.571	1.559	1.795	2.628	2.164	1.562	1.950	1.892		
φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	1.628	1.293	1.261	1.440	2.305	1.982	1.358	1.796	1.675		
φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.466	1.450	1.424	1.616	1.664	1.999	1.299	1.835	1.552		
φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.213	1.172	1.125	1.259	1.342	1.642	1.092	1.567	1.334		
φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	1.285	1.053	1.061	1.131	1.967	1.396	1.187	1.298	1.479		
φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	1.137	0.882	0.874	0.919	1.757	1.289	1.053	1.268	1.334		
φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	0.981	0.964	0.960	1.004	1.197	1.279	0.969	1.262	1.196		
φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	0.828	0.792	0.771	0.793	0.986	1.057	0.832	1.109	1.048		
φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	1.348	1.015	1.000	1.452	2.033	1.987	1.322	1.687	1.623		
φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	1.254	0.904	0.880	1.199	1.917	1.756	1.197	1.603	1.492		
φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	0.947	0.896	0.866	1.272	1.076	1.679	1.059	1.571	1.288		
φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	0.845	0.784	0.745	1.018	0.957	1.407	0.924	1.377	1.151		
φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	0.891	0.643	0.645	0.894	1.494	1.273	0.988	1.109	1.255		
φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	0.857	0.593	0.588	0.753	1.447	1.137	0.920	1.100	1.180		
φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	0.595	0.556	0.544	0.769	0.735	1.045	0.771	1.077	0.976		
φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	0.551	0.505	0.487	0.627	0.681	0.895	0.698	0.967	0.896		
ru				0.47	0.49	0.49	0.25	0.47	0.25	0.25	0.25	0.25		
Material				Qra	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	Tpb-L (A)	Qra	Tpb-L (Alt)	Tpb-L (A)	Tpb-L (A)	Tpb-L (A)		
Valores paramétricos empleados en cada sección				φ <sub>max</sub>	27.9	24.1	24.1	24.1	27.9	24.1	24.1	24.1	24.1	
				φ <sub>min</sub>	19.0	16.6	16.6	16.6	19.0	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6
				C <sub>max</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	2.30	2.47	2.47	3.00	2.30	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
				C <sub>min</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	1.00	1.90	1.90	2.10	1.00	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método PEM				N	0.0211	0.0370	0.0480	0.0067	0.0289	0.0001	0.0290	0.0000	0.0015	
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM				N	0.1061	0.2708	0.2863	0.0345	0.0632	0.0018	0.0822	0.0007	0.0072	
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM				N	0.2099	0.5298	0.5500	0.0768	0.1053	0.0079	0.1507	0.0036	0.0180	
Probabilidad de falla (Pf) a 50 años Método PEM				N	0.3177	0.7498	0.7747	0.1373	0.1494	0.0213	0.2290	0.0100	0.0359	

TABLA 9.4 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD CONDICIONAL DE FALLA: ALTERNATIVA 3, PERFILADO Y DRENAJE

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL							
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS							
Sección				1-1'	2-2'	2-2'	3-3'	3-3'	4-4'	4-4'	4-4'
Superficie de Falla				BVII_S1_A3_3	BVII_S2_A3_1	BVII_S2_A3_2	BVII_S3_1	BVII_S3_2	BVII_S4_A3_1	BVII_S4_A3_2	BVII_S4_A3_3
Fricción	Cohesión (T/m <sup>2</sup> )	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	2.414	2.587	1.998	2.367	2.386	2.518	2.695	2.024
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	2.157	2.257	1.735	2.005	2.320	2.196	2.322	1.981
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	2.038	1.657	1.747	1.699	2.340	2.173	2.391	1.951
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.780	1.327	1.483	1.335	2.187	1.851	2.016	1.904
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	1.761	1.869	1.407	1.673	1.660	1.691	1.669	1.420
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	1.600	1.662	1.241	1.444	1.504	1.499	1.457	1.401
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	1.468	1.148	1.216	1.166	1.565	1.443	4.466	1.368
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	1.307	0.941	1.049	0.934	1.470	1.250	1.253	1.344
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	2.102	2.211	1.660	1.951	2.039	2.162	2.269	1.743
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	1.948	2.012	1.499	1.729	1.893	1.958	2.022	1.724
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	1.726	1.282	1.410	1.289	1.852	1.818	1.964	1.671
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	1.572	1.083	1.247	1.062	1.703	1.613	1.716	1.648
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	1.518	1.578	1.149	1.355	1.352	1.435	1.385	1.209
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	1.438	1.472	1.062	1.232	1.269	1.328	1.258	1.207
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	1.226	0.859	0.960	0.856	1.216	1.187	1.182	1.158
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	1.144	0.752	0.870	0.728	1.131	1.080	1.054	1.151
ru				0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30
Material				Qtpb-Lsr	Qra	QTpb-L-sr	Qra	QTpb-L-sr	Qtpb-Lsr	Qtpb-Lsr	Qtpb-Lsr
							0.22				
Valores paramétricos empleados en cada sección		Φ <sub>max</sub>		24.1	27.9	24.1	27.9	24.1	24.1	24.1	24.1
		Φ <sub>min</sub>		16.6	19.0	16.6	19.0	16.6	16.6	16.6	16.6
		C <sub>max</sub> (ton/m <sup>2</sup> )		2.47	2.30	2.47	2.30	2.47	2.47	2.47	2.47
		C <sub>min</sub> (ton/m <sup>2</sup> )		1.90	1.00	1.90	1.00	1.90	1.90	1.90	1.90
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método PEM		N		0.0000	0.0266	0.0001	0.0134	0.0000	0.0000	0.0004	0.0000
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM		N		0.0001	0.0445	0.0035	0.0320	0.0000	0.0002	0.0028	0.0000
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM		N		0.0004	0.0677	0.0146	0.0581	0.0000	0.0008	0.0048	0.0000
Probabilidad de falla (Pf) a 50 años Método PEM		N		0.0011	0.0946	0.0386	0.0912	0.0001	0.0021	0.0058	0.0000

**TABLA 9.5 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD CONDICIONAL DE FALLA: ALTERNATIVA 3, PERFILADO Y DRENAJE (CONTINUACIÓN)**

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL									
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS									
				5-5'	5-5'	6-6'	7-7'	7-7'	7-7'	8-8'	10-10'		
Sección				BVII_S5_A3_1	BVII_S5_A3_2	BVII_S6_A3_1	BVII_S7_A3_1	BVII_S7_A3_2	BVII_S7_A3_3	BVII_S8_A3_1	BVII_S10_A3_1		
Superficie de Falla													
Fricción	Cohesion (T/m²)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	2.085	2.018	1.780	4.995	2.131	2.096	1.849	1.957		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	1.735	1.617	1.523	4.449	1.815	1.797	1.582	1.673		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.847	1.805	1.480	2.976	1.796	1.738	1.536	1.626		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.496	1.403	1.222	2.466	1.479	1.437	1.268	1.342		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	1.351	1.247	1.290	3.401	1.415	1.516	1.366	1.391		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	1.144	1.014	1.125	3.091	1.226	1.322	1.191	1.211		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	1.183	1.104	1.052	1.984	1.173	1.237	1.115	1.136		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	0.977	0.870	0.888	1.670	0.984	1.041	0.939	0.956		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	1.710	1.657	1.517	4.152	1.829	1.802	1.571	1.680		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	1.485	1.369	1.347	3.926	1.609	1.601	1.396	1.488		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	1.472	1.445	1.217	2.178	1.494	1.445	1.259	1.350		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	1.247	1.157	1.046	1.945	1.272	1.241	1.082	1.156		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	1.086	1.003	1.083	2.825	1.198	1.287	1.144	1.179		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	0.968	0.847	0.987	2.716	1.078	1.168	1.042	1.069		
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	0.919	0.861	0.847	1.417	0.957	1.010	0.897	0.925		
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	0.800	0.703	0.750	1.298	0.836	0.890	0.791	0.815		
ru				0.30	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25	0.25		
Material				QTpb-L-sr	Tpb-L (Alt)	Tpb-L (A)	Tpb-L (A)	Tpb-L (A)	Tpb-L (A)	Tpb-L (A)	Tpb-L (A)		
Valores paramétricos empleados en cada sección				Φ <sub>max</sub>	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	
				Φ <sub>min</sub>	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6
				C <sub>max</sub> (ton/m²)	2.47	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
				C <sub>min</sub> (ton/m²)	1.90	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 1 año Método PEM				N	0.0004	0.0017	0.0067	0.0044	0.0005	0.0006	0.0040	0.0018	
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 10 años Método PEM				N	0.0062	0.0136	0.0249	0.0087	0.0048	0.0039	0.0164	0.0092	
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 25 años Método PEM				N	0.0238	0.0396	0.0551	0.0141	0.0164	0.0117	0.0386	0.0249	
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 50 años Método PEM				N	0.0609	0.0882	0.1011	0.0203	0.0399	0.0267	0.0744	0.0531	

**TABLA 9.6 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD CONDICIONAL DE FALLA: ALTERNATIVA 4, REFUERZO Y RETIRO**

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL									
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS									
Sección				1-1'	2-2'	2-2'	3-3'	3-3'	4-4'	4-4'	4-4'	5-5'	
Superficie de Falla				BVII_S1_3_A4	BVII_S2_1_A4	BVII_S2_2_A4	BVII_S3_1_A4	BVII_S3_2_A4	BVII_S4_1_A4	BVII_S4_2_A4	BVII_S4_3_A4	BVII_S5_1_A4	
Fricción	Cohesion (T/m <sup>2</sup> )	Lluvia	Sismo	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	2.414	2.587	1.998	2.367	2.386	2.518	2.695	2.024	2.085	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	2.157	2.257	1.735	2.005	2.320	2.196	2.322	1.981	1.735	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	2.038	1.657	1.747	1.699	2.340	2.173	2.391	1.951	1.847	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.780	1.327	1.483	1.335	2.187	1.851	2.016	1.904	1.496	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	1.761	1.869	1.407	1.673	1.660	1.691	1.669	1.420	1.351	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	1.600	1.662	1.241	1.444	1.504	1.499	1.457	1.401	1.144	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	1.468	1.148	1.216	1.166	1.565	1.443	4.466	1.368	1.183	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	1.307	0.941	1.049	0.934	1.470	1.250	1.253	1.344	0.977	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	2.102	2.211	1.660	1.951	2.039	2.162	2.269	1.743	1.710	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	1.948	2.012	1.499	1.729	1.893	1.958	2.022	1.724	1.485	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	1.726	1.282	1.410	1.289	1.852	1.818	1.964	1.671	1.472	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	1.572	1.083	1.247	1.062	1.703	1.613	1.716	1.648	1.247	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	1.518	1.578	1.149	1.355	1.352	1.435	1.385	1.209	1.086	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	1.438	1.472	1.062	1.232	1.269	1.328	1.258	1.207	0.968	
Φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	1.226	0.859	0.960	0.856	1.216	1.187	1.182	1.158	0.919	
Φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	1.144	0.752	0.870	0.728	1.131	1.080	1.054	1.151	0.800	
ru				0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	0.30	
Material				Qtpb-Lsr	Qra	QTpb-L-sr	Qra	QTpb-L-sr	Qtpb-Lsr	Qtpb-Lsr	Qtpb-Lsr	QTpb-L-sr	
Valores paramétricos empleados en cada sección				Φ <sub>max</sub>	24.1	27.9	24.1	27.9	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1
				Φ <sub>min</sub>	16.6	19.0	16.6	19.0	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6
				C <sub>max</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	2.47	2.30	2.47	2.30	2.47	2.47	2.47	2.47	2.47
				C <sub>min</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	1.90	1.00	1.90	1.00	1.90	1.90	1.90	1.90	1.90
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 1 año Método PEM				N	0.0000	0.0266	0.0001	0.0134	0.0000	0.0000	0.0004	0.0000	0.0004
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 10 años Método PEM				N	0.0001	0.0445	0.0035	0.0320	0.0000	0.0002	0.0028	0.0000	0.0062
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 25 años Método PEM				N	0.0004	0.0677	0.0146	0.0581	0.0000	0.0008	0.0048	0.0000	0.0238
Probabilidad de falla (P <sub>f</sub> ) a 50 años Método PEM				N	0.0011	0.0946	0.0386	0.0912	0.0001	0.0021	0.0058	0.0000	0.0609

**TABLA 9.7 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD CONDICIONAL DE FALLA: ALTERNATIVA 4, REFUERZO Y RETIRO (CONTINUACIÓN)**

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL											
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS											
Sección				5-5'	5-5'	5-5'	5-5'	5-5'	6-6'	6-6'	7-7'	8-8'	9-9'		
Superficie de Falla				BVII_S5_5_A4	BVII_S5_6_A4	BVII_S5_7_A4	BVII_S5_8_A4	BVII_S5_9_A4	BVII_S6_1_A4	BVII_S6_2_A4	BVII_S7_1_A4	BVII_S8_1_A4	BVII_S9_1_A4		
Fricción	Cohesión (T/m <sup>2</sup> )	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.		
φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	1.416	1.875	1.571	1.559	1.795	2.628	2.164	1.562	1.950	1.892		
φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Sin	1.406	1.628	1.293	1.261	1.440	2.305	1.982	1.358	1.796	1.675		
φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.371	1.466	1.450	1.424	1.616	1.664	1.999	1.299	1.835	1.552		
φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Sin	1.356	1.213	1.172	1.125	1.259	1.342	1.642	1.092	1.567	1.334		
φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	0.951	1.285	1.053	1.061	1.131	1.967	1.396	1.187	1.298	1.479		
φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Sin	Con	0.949	1.137	0.882	0.874	0.919	1.757	1.289	1.053	1.268	1.334		
φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	0.920	0.981	0.964	0.960	1.004	1.197	1.279	0.969	1.262	1.196		
φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Sin	Con	0.913	0.828	0.792	0.771	0.793	0.986	1.057	0.832	1.109	1.048		
φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	0.936	1.348	1.015	1.000	1.452	2.033	1.987	1.322	1.687	1.623		
φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Sin	0.938	1.254	0.904	0.880	1.199	1.917	1.756	1.197	1.603	1.492		
φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	0.894	0.947	0.896	0.866	1.272	1.076	1.679	1.059	1.571	1.288		
φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Sin	0.891	0.845	0.784	0.745	1.018	0.957	1.407	0.924	1.377	1.151		
φ <sub>max</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	0.597	0.891	0.643	0.645	0.894	1.494	1.273	0.988	1.109	1.255		
φ <sub>min</sub>	C <sub>max</sub>	Con	Con	0.603	0.857	0.593	0.588	0.753	1.447	1.137	0.920	1.100	1.180		
φ <sub>max</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	0.569	0.595	0.556	0.544	0.769	0.735	1.045	0.771	1.077	0.976		
φ <sub>min</sub>	C <sub>min</sub>	Con	Con	0.570	0.551	0.505	0.487	0.627	0.681	0.895	0.698	0.967	0.896		
ru				0.47	0.47	0.49	0.49	0.25	0.47	0.25	0.25	0.25	0.25		
Material				Qra	Qra	QTpb-L-sr	QTpb-L-sr	Tpb-L (A)	Qra	Tpb-L (Alt)	Tpb-L (A)	Tpb-L (A)	Tpb-L (A)		
Valores paramétricos empleados en cada sección				φ <sub>max</sub>	27.9	27.9	24.1	24.1	24.1	27.9	24.1	24.1	24.1	24.1	
				φ <sub>min</sub>	19.0	19.0	16.6	16.6	16.6	19.0	16.6	16.6	16.6	16.6	16.6
				C <sub>max</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	2.30	2.30	2.47	2.47	3.00	2.30	3.00	3.00	3.00	3.00	3.00
				C <sub>min</sub> (ton/m <sup>2</sup> )	1.00	1.00	1.90	1.90	2.10	1.00	2.10	2.10	2.10	2.10	2.10
Probabilidad de falla (Pf) a 1año Método PEM				N	0.0348	0.0211	0.0370	0.0480	0.0067	0.0289	0.0001	0.0290	0.0000	0.0015	
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM				N	0.2984	0.1061	0.2708	0.2863	0.0345	0.0632	0.0018	0.0822	0.0007	0.0072	
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM				N	0.5876	0.2099	0.5298	0.5500	0.0768	0.1053	0.0079	0.1507	0.0036	0.0180	
Probabilidad de falla (Pf) a 50 años Método PEM				N	0.8299	0.3177	0.7498	0.7747	0.1373	0.1494	0.0213	0.2290	0.0100	0.0359	

**FIGURA 9.9 AMENAZA CON OBRAS: ALTERNATIVA 1**

**FIGURA 9.10 AMENAZA CON OBRAS: ALTERNATIVA 2**



**FIGURA 9.11 AMENAZA CON OBRAS: ALTERNATIVA 3**

**FIGURA 9.12 AMENAZA CON OBRAS: ALTERNATIVA 4**

**FIGURA 9.13 VULNERABILIDAD CON OBRAS: ALTERNATIVA 1**

**FIGURA 9.14 VULNERABILIDAD CON OBRAS: ALTERNATIVA 2**

**FIGURA 9.15 VULNERABILIDAD CON OBRAS: ALTERNATIVA 3**

**FIGURA 9.16 VULNERABILIDAD CON OBRAS: ALTERNATIVA 4**

**FIGURA 9.17 RIESGO CON OBRAS: ALTERNATIVA 1**

**FIGURA 9.18 RIESGO CON OBRAS: ALTERNATIVA 2**



**FIGURA 9.19 RIESGO CON OBRAS: ALTERNATIVA 3**

**FIGURA 9.20 RIESGO CON OBRAS: ALTERNATIVA 4**

$$R = P_f C_f$$

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 sollicitación, se encuentra compilada en los numerales 6.2, del capítulo 6 y 9.4 del presente. Por su parte, el costo de falla, se considera como:

$$C_f = ID \times C_0$$

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 9.8](#) (y calculado con base en los prediseños diagramados en los [Anexos G.1](#) y [G.2](#), y en los estimativos compilados en el [Anexo H.1](#)). 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, el valor del reasentamiento (en los casos en que aplique), la readecuación de la zona afectada por 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 1.8 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), el de reasentamiento (cuando aplique) 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 9.21](#), en la [Figura 9.22](#), en la [Figura 9.23](#), en la [Figura 9.24](#), en la [Figura 9.25](#) y en la [Figura 9.26](#), revela que el reforzamiento y retiro supone ser el camino más razonable a seguir, cualquiera sea la región o zona homogénea y el momento de aplicación en consideración. Ella no sólo integra la mejor relación costo-beneficio sino que, si las entidades distritales competentes corroboran la condición pública de las laderas adyacentes, sugerida por el Sinupot y por la plancha SC 11/4-00 (reposa en el [Anexo I](#)), también contará con la viabilidad predial requerida para su implementación, incierta hasta la fecha. La reconfiguración morfológica (i.e. la Alternativa 3), aunque similar en los resultados de la estabilización de las laderas, supera notoriamente en costos a la de reforzamiento y retiro. El drenaje y subdrenaje si bien ofrece el menor valor de inversión no alcanza niveles de mitigación equiparables a los de las alternativas 3 y 4. El reasentamiento es sin lugar a dudas la medida menos atractiva; su alto valor de inversión, aún si no se acompaña por otras actividades como la reconfiguración morfológica de la ladera suroccidental (actividad de la alternativa 1B) y si su viabilidad predial es la más expedita, sumado al costo social, equivalente al reasentamiento de 41 familias, y a la innegable generación de inseguridad y zozobra que desataría la gestación de cualquier proceso de inestabilidad, así lo ratifican. La elusión es la alternativa con el riesgo asumido más alto de todas, sus efectos colaterales pueden extenderse a la desatención institucional, a la pérdida de vidas y a la disminución en la vulnerabilidad social, entre otras.

## 9.6 PLAN DE ACCIÓN

### 9.6.1 PERSPECTIVA: DIRECTRIZ Y ESTRUCTURA

Está configurado por el retiro de gran parte del cuaternario (especialmente los rellenos que son las principales cuerpos inestables), por la redefinición morfológica y morfométrica de las laderas en las regiones LEI-tra-I-1, LEI-tra-I-2, LEI-trat-I-1, LEI-trat-I-2 y LEI-trat-I-3, quehaceres satisfechos con el perfilado de los taludes, por la instalación de líneas de anclajes, con capacidad de 20 ton cada uno, en las superficies hoy gobernadas por el macizo rocoso (y concentradas en las unidades LEI-tex-I-2 y LEI-tex-I-3 del Plano 7), por el drenaje y el subdrenaje, por la modificación de uso de los predios baldíos, de manera que se destinen a la construcción de un parque, y por el monitoreo. Constitutivos por excelencia de la Alternativa 4, agrupados en la Figura 9.7. 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 espacios poco fundamental, tal y como lo evidencia la Tabla 9.6, la Tabla 9.7, la Figura 9.12, la Figura 9.16 y la Figura 9.20 adquiere especial trascendencia en el destino de uso de las laderas, en la reducción de la vulnerabilidad social, y en la reafirmación de la comunidad dentro la dinámica institucional del distrito capital.

Sus costos directos de inversión se aproximan a los dos mil millones de pesos (como lo ilustra la Tabla 9.8), y su ejecución tendría cabida en un plazo cercano a los cuatro meses. Finalmente, el monitoreo de las laderas, forjadas en las masas de rellenos antrópicos y de suelo residual, a través de piezómetros abiertos, al menos ocho alineados en cuatro secciones (sin dejar de lado los registros stratigráficos) 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 puntualizar las medidas de mitigación, en especial si se pretende reafirmar o redireccionar el destino de uso de los predios.

Una de las tareas de mayor complejidad social y relevancia del plan de acción, reside en la modificación del uso del suelo de los predios vecinos. Esta 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 media y alta para el escenario futuro (modelos simplificados en el Plano 8), contexto que incluye los terrenos baldíos al sur y occidente, hoy empleados para un parqueadero (el de la región LEI-rep-I-1) y para engorde (el de la zona LEI-tra-I-3). La opción: la recreación pasiva, la salida: un parque, el mecanismo: la compra o la expropiación de los lotes. Sin embargo, no es una misión del todo fácil, máxime si se reseña que en uno de estos predios, el del corredor sur, ya se adelantan estudios para su edificación. Urbanismo potencial, que unido al tiempo necesario no sólo para la asimilación de este estudio sino para llevar a buen término los diseños de mitigación, son razones de peso más que suficientes para que las autoridades competentes detengan toda acción y desarrollo allí, hasta tanto el panorama predial, la normativa de su uso y el diseño mismo del plan de acción hayan sido plenamente establecidas. De otra manera el problema seguramente se incrementará y su solución se tornará más compleja y costosa.

Por su parte, en el cinturón de protección (reseñado así en la Figura 9.7) 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 la vertiente, y por ende los taludes alrededor de Buenavista, al punto de acelerar la actividad y el desarrollo de los deslizamientos, 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.

Finalmente, pero no menos importante, es la reparación y mantenimiento de las redes de acueducto y alcantarillado. Labor que será una constante en el tiempo, e involucrará la reparación de las fugas de los tramos que reciben la descarga del Tanque Los Alpes y de los vestigios de la quebrada Buenavista y los surcan entre las dos etapas de la urbanización. Su responsable es El Acueducto.

### 9.6.2 DIAGNÓSTICO PREDIAL

Es un aspecto ineludible para la viabilidad del plan de acción, y de paso para las demás alternativas de mitigación, al punto de restringir, retrasar o impedir su puesta en marcha o de modificar sustancialmente el derrotero trazado aquí y por qué no inclinar la balanza al reasentamiento o a la elusión, medidas que requieren de la menor ocupación. Aunque este tema es abordado por momentos implícitamente (en el marco del numeral 9.3), al incluir la compra de los predios en el presupuesto, y por momentos explícitamente al sugerir su destino de uso (en el curso de la prospección urbanística, acápite 9.2), pero parcialmente, por su trascendencia se deja como cierre.

Pretende dar respuesta a dos simples y básicas preguntas; la primera, son los predios en los que se implantarán las obras, y que hacen parte de las zonas verdes, públicos o privados?, y la segunda, pueden usarse?, la que se traduce en: es viable (predialmente) el esquema de mitigación? Interrogantes zanjados a través de la consulta con las entidades responsables del inventario y registro de los predios y de la defensa del patrimonio inmobiliario público: Planeación Distrital, Catastro y el Departamento Administrativo de la Defensoría del Espacio Público, DADEP, y de la auscultación de la información predial disponible en ellas, en las curadurías y en poder de la urbanizadora Milenio (gestora de las dos etapas en Buenavista) y de la junta de acción comunal. Sus frutos aunque ambiguos e inciertos, más que arrojar luces sobre la viabilidad de las obras, y por ende de la propiedad de los lotes (en particular los receptores de las medidas de mitigación), ponen de manifiesto la importancia de ahondar en el tema y de abordar el estudio de títulos (tarea distante del alcance de este estudio). Poca certeza y claridad hay acerca de si los espacios que ocuparán las obras, son públicos o privados, y menos aún del alinderamiento de las etapas I y II y de los terrenos cedidos por la urbanizadora (si los hay). Mientras Planeación Distrital plantea la proyección de algunas vías y un diseño urbanístico distinto al hoy vigente, tal como se coteja en la plancha SC 11/4-00 y en la resolución 032 del 09 de diciembre de 1996 (documentos compilados en el *Anexo I*), y al que reposa en los planos en poder de la junta de propietarios, el DADEP, en el concepto 2012EE14100 (aunado al *Anexo I*), propone que las laderas no son bienes del distrito, y que no es posible la definición del espacio público. Esquemas poco o nada cotejados con el proyecto urbanístico avalado por la curaduría 4, pues allí se carece de registro alguno.

Ante este panorama, es inobjetable que la puesta en marcha del plan de mitigación puede comprometerse por algún tiempo (e incluso hasta por varios años). Sin embargo, si los predios resultasen en manos de los privados (asunto que se dilucidará con el estudio predial), conviene acelerar su compra o su expropiación. La intervención de las hoy zonas verdes (circunvecinas a las etapas I y II), es indispensable en el corto o en el mediano plazo para la mitigación del riesgo, cualquiera sea la alternativa en consideración. En estas franjas se incuban los procesos de inestabilidad, gestores (en parte) de las pérdidas en bienes muebles e inmuebles.

TABLA 9.8 PRESUPUESTO COMPARATIVO

Nº	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT ALT 1A	CANT ALT 1B	CANT ALT 2	CANT ALT 3	CANT ALT 4	CANT ALT 5	VIUNT	Alt 1A	Alt 1B	Alt 2	Alt 3	Alt 4	Alt 5
										Resesamiento Total y Peinado del Talud	Resesamiento Total	Drenaje y Subdrenaje	Reconformación Morfológica	Ancajes, perfilado y Drenaje	Elusión
<b>1 PRELIMINARES Y MOVIMIENTO DE TIERRA</b>															
1-1	Localización y replanteo*	m <sup>2</sup>	5163.04	5163.04	6727.43	10053	7050	1438.6	\$ 652	\$ 3.366.302	\$ 3.366.302	\$ 4.386.281.10	\$ 6.554.556	\$ 4.596.600	\$ 937.967.20
1-2	Campamento e Instalaciones Provisionales*	GLB	1	1	1	1	1	1	\$ 3.659.053	\$ 3.659.053	\$ 3.659.053	\$ 3.659.053	\$ 3.659.053	\$ 3.659.053	\$ 3.659.053
1-3	Aislamiento y protección de la zona a intervenir en poli sombra H= 2.2 m*	m	1169.93	377.86	675.374	689.85	689.85	420.97	\$ 17.276	\$ 20.211.711	\$ 6.527.909	\$ 11.667.761.22	\$ 11.917.849	\$ 11.917.849	\$ 7.272.678
1-4	Compra de viviendas	und	41	41				41	\$ 46.800.000	\$ 1.918.800.000	\$ 1.918.800.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 1.918.800.000
1-5	Compra de lotes	m <sup>2</sup>	4790		6855	9645	8250		\$ 132.892	\$ 636.552.680	\$ -	\$ 910.974.660	\$ 1.281.743.340	\$ 1.096.359.000	\$ -
1-6	Descapote a maquina en material común (e= 0,1m)**	m <sup>2</sup>	6779		6779	7895.02	6387.7	0	\$ 516	\$ 3.498.913	\$ -	\$ 3.498.913.06	\$ 4.074.936	\$ 3.296.947	\$ -
1-7	Ceramiento en malla eslabonada Cal. 10. H. 2.50m. Incluye columna	ml	234.57	234.57	246.71	247	249	179.85	\$ 354.519	\$ 83.159.522	\$ 83.159.522	\$ 87.463.382.49	\$ 87.566.193	\$ 88.275.231	\$ -
<b>2 EXCAVACIONES Y DEMOLICIONES</b>															
2-1	Demolicion de edificaciones (incluye cargue y retiro)**	m <sup>2</sup>	1105.68	1105.68				1105.68	\$ 17.664	\$ 19.530.886	\$ 19.530.886	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 19.530.886
2-2	Excavación mecánica en suelo blando (incluye cargue y retiro de material excavado)*	m <sup>3</sup>	998.152		1104.18	6535.53	6667.11		\$ 27.421	\$ 27.370.337	\$ -	\$ 30.277.664.94	\$ 179.210.713	\$ 182.818.823	\$ -
2-3	Excavación mecánica en roca (incluye cargue)*	m <sup>3</sup>			106.028	6354.53			\$ 56.503	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 245.132.476	\$ -	\$ -
2-4	Nivelación y conformación de taludes*	m <sup>2</sup>	1061.25		1061.25	7895.02	4077.13	1089.09	\$ 8.139	\$ 8.637.514	\$ -	\$ 8.637.513.75	\$ 64.257.568	\$ 33.183.761	\$ 8.864.079
2-5	Retiro y disposición de escombros/sobrantes a sifo autorizado (distancia inferior a 5 Km)*	m <sup>3</sup>	2178.9		1210.21	6354.53		1105.7	\$ 23.897	\$ 52.069.173	\$ -	\$ 28.920.292.78	\$ 151.854.156	\$ -	\$ 26.422.913
<b>3 OBRAS DE ARTE</b>															
3-1	Trinchera drenante. Incluye excavación, tubería PVC-L de 6", geotextil NT-1600, material seleccionado y material filtrante*	ml	313.09		461.49	294.2	315.53		\$ 100.363	\$ 31.422.652	\$ -	\$ 46.316.520.87	\$ 29.526.795	\$ 31.667.537	\$ -
3-2	Dren horizontal e= 3" (incluye excavación, tubería de drenaje PVC, relleno grava, geotextil NT 1600, cabezote en concreto, manguera de conducción y rejilla de protección)	ml			243.61	364.76	267.94		\$ 333.603	\$ -	\$ -	\$ 81.269.026.63	\$ 121.685.030	\$ 89.385.586	\$ -
3-3	Canal con disipadores concreto clase E (17.5 MPa). Sección rectangular de 0.60'x0.60m	ml	11.41		10.0	68	26.55		\$ 309.030	\$ 3.526.032	\$ -	\$ 3.092.772	\$ 21.014.040	\$ 8.204.747	\$ -
3-4	Caja de Inspección en mampostería (suministro e instalación) incluye tapa, marcos y contramarcos, excavación, mampostería, pañete, medias cañas, relleno con recebo e=0.2 base krd, base concreto	und			6	7	4		\$ 579.707	\$ -	\$ -	\$ 3.478.242	\$ 4.067.949	\$ 2.318.828	\$ -
3-5	Cuneta trapezoidal en concreto. Incluye suministro de concreto de 2500 PSI, acero de refuerzo y formaleta	ml			361.74	401.05	312.19		\$ 45.427	\$ -	\$ -	\$ 16.432.762.98	\$ 18.218.498	\$ 14.181.855	\$ -
3-6	Tubería PVC Exterior corrugado/interior liso NTC 3722-1 D=6" (Incluye Suministro e Instalación)	ml				68	26.0		\$ 24.390	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 1.658.510.48	\$ 634.136.36	\$ -
<b>4 CONTENCIÓN</b>															
4-1	PILOTE D=60 cm (incluye excavación, concreto, refuerzo, cargue y retiro de sobrantes, movilización, montaje y desmontaje equipo)	ml	284	284					\$ 248.269	\$ 70.508.396	\$ 70.508.396	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -
4-2	Constitución anillo para caisson en concreto de 3000 psi	m <sup>3</sup>			99.36	99.36	99.36		\$ 351.699	\$ -	\$ -	\$ 34.944.769	\$ 34.944.769	\$ 34.944.769	\$ -
4-3	Bombeo de Concreto	m <sup>3</sup>			99.36	99.36	99.36		\$ 43.405	\$ -	\$ -	\$ 4.312.709	\$ 4.312.709	\$ 4.312.709	\$ -
4-4	Acero de Refuerzo (incluye suministro, figurado y fijación)**	kg			17923.9	17923.9	17923.9		\$ 2.526	\$ -	\$ -	\$ 45.268.602	\$ 45.268.602	\$ 45.268.602	\$ -
4-5	Suministro e instalación de Ancajes de 300 KN (Incluye Perforación, Tornón de 1/2" calidad 270K, planina de acero 40cmx40cmx3/4", tubería PVC 1", protector en polietileno de 1/2" e inyección de lechada de cemento)	ml					1718.4		\$ 185.340	\$ -	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 318.488.256	\$ -
<b>5 OBRAS DE PROTECCIÓN</b>															
5-1	Empreadización (Incluye suministro e instalación. Incluye 10 cm de tierra negra)	m <sup>2</sup>	2095.19		902.456	4801.46	3901.82		\$ 10.185	\$ 21.340.200	\$ -	\$ 9.191.827.16	\$ 48.904.551	\$ 39.741.402	\$ -
5-2	Suministro y plantación de Mano de Oso altura 1.50m, (Incluye transporte excavación manual y tierra negra)**	und	259		133	133	133		\$ 48.907	\$ 12.666.913	\$ -	\$ 6.504.631	\$ 6.504.631	\$ 6.504.631	\$ -
5-3	Ensamble e instalación de biomalla (Tipo SJ-Hangbag)	m2	1061.25			3110.5			\$ 24.630	\$ 26.138.174	\$ -	\$ -	\$ 76.610.894	\$ -	\$ -
<b>6 MONITOREO</b>															
6-1	Monitoreo de zonas con intervención de obras	GLB	1	1	1	1	1	1	\$ 3.139.282	\$ 3.139.282	\$ 3.139.282	\$ 3.139.282	\$ 3.139.282	\$ 3.139.282	\$ -
<b>7 REASENTAMIENTO DE LOS PREDIOS EN RIESGO INMINENTE</b>															
7-1	Reasentamiento temporal (Canon de arrendamiento. Res 560/2007)	mes	480	480				480	\$ 294.750	\$ 141.480.000	\$ 141.480.000	\$ -	\$ -	\$ -	\$ 141.480.000
<b>COSTOS DIRECTOS</b>										\$ 3.087.077.739	\$ 2.250.171.351	\$ 1.343.436.667	\$ 2.451.817.099	\$ 2.022.899.607	\$ 1.216.967.576
<b>AIU (30%)</b>										\$ 926.123.322	\$ 675.051.405	\$ 403.031.000	\$ 735.545.130	\$ 606.869.882	\$ 638.090.273
<b>COSTO TOTAL ALTERNATIVA</b>										\$ 4.013.201.061	\$ 2.925.222.756	\$ 1.746.467.667	\$ 3.187.362.229	\$ 2.629.769.489	\$ 2.785.057.849

Fuentes: \*DRD, 2012 \*\*DUJ, 2013 \*\*\*IDU, 2012

**FIGURA 9.21 ÁRBOL DE DECISIÓN PARA MITIGACIÓN – CONDICIÓN ACTUAL (10 AÑOS) REGIÓN LEI-TRA-I-1 (ADAPTADO DE WU ET AL, 1996)**

		PROBABILIDAD MÁXIMA	COSTO DE FALLA (\$ *10 <sup>6</sup> )	COSTO ESPERADO (\$ *10 <sup>6</sup> )	RIESGO ASUMIDO E(R) (\$ *10 <sup>6</sup> )
ALTERNATIVA 1 Reasentamiento	FALLA	0.12	388.05	2086.18	2086.18
	NO FALLA	0.88	2328.33		
ALTERNATIVA 2 Drenaje, Subdrenaje y Perfilado	FALLA	0.08	1887.24	262.02	262.02
	NO FALLA	0.92	115.69		
ALTERNATIVA 3 Reconformación Morfológica	FALLA	0.04	1096.26	165.17	165.17
	NO FALLA	0.96	121.81		
ALTERNATIVA 4 Anclaje y Perfilado	FALLA	0.04	1096.26	165.17	165.17
	NO FALLA	0.96	121.81		
ALTERNATIVA 5 Elusión	FALLA	0.12	1779.34	299.93	299.93
	NO FALLA	0.88	88.97		

**FIGURA 9.22 ÁRBOL DE DECISIÓN PARA MITIGACIÓN – CONDICIÓN ACTUAL (10 AÑOS) REGIÓN LEI-TRA-I-2 (ADAPTADO DE WU ET AL, 1996)**

ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN		PROBABILIDAD MÁXIMA	COSTO DE FALLA (\$ *10 <sup>6</sup> )	COSTO ESPERADO (\$ *10 <sup>6</sup> )	RIESGO ASUMIDO E(R) (\$ *10 <sup>6</sup> )
ALTERNATIVA 1 Reasentamiento	FALLA	0.30	339.70	1526.26	1526.26
	NO FALLA	0.70	2038.18		
ALTERNATIVA 2 Drenaje, Subdrenaje y Perfilado	FALLA	0.06	1723.07	229.23	229.23
	NO FALLA	0.94	128.79		
ALTERNATIVA 3 Reconformación Morfológica	FALLA	0.02	2039.71	271.78	271.78
	NO FALLA	0.98	226.63		
ALTERNATIVA 4 Anclaje y Perfilado	FALLA	0.01	2025.65	249.56	249.56
	NO FALLA	0.99	225.07		
ALTERNATIVA 5 Elusión	FALLA	0.30	635.75	213.82	213.82
	NO FALLA	0.70	31.79		



**FIGURA 9.23 ÁRBOL DE DECISIÓN PARA MITIGACIÓN – CONDICIÓN ACTUAL (10 AÑOS) REGIÓN LEI-TEX-I-2 Y LEI-TEX-I-3 (ADAPTADO DE WU ET AL, 1996)**

ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN		PROBABILIDAD MÁXIMA	COSTO DE FALLA (\$ *10 <sup>6</sup> )	COSTO ESPERADO (\$ *10 <sup>6</sup> )	RIESGO ASUMIDO E(R) (\$ *10 <sup>6</sup> )
ALTERNATIVA 1 Reasentamiento	FALLA	0.08	206.73	965.67	965.67
	NO FALLA	0.92	1033.64		
ALTERNATIVA 2 Drenaje, Subdrenaje y Perfilado	FALLA	0.08	498.03	91.73	91.73
	NO FALLA	0.92	55.34		
ALTERNATIVA 3 Reconformación Morfológica	FALLA	0.02	2647.01	332.70	332.70
	NO FALLA	0.98	294.11		
ALTERNATIVA 4 Anclaje y Perfilado	FALLA	0.01	2647.01	185.73	185.73
	NO FALLA	0.99	162.88		
ALTERNATIVA 5 Elusión	FALLA	0.08	786.49	100.74	100.74
	NO FALLA	0.92	39.32		

**FIGURA 9.24 ÁRBOL DE DECISIÓN PARA MITIGACIÓN – CONDICIÓN FUTURA (50 AÑOS) REGIÓN LEI-TRA-I-1 (ADAPTADO DE WU ET AL, 1996)**

ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN		PROBABILIDAD MÁXIMA	COSTO DE FALLA (\$ *10 <sup>6</sup> )	COSTO ESPERADO (\$ *10 <sup>6</sup> )	RIESGO ASUMIDO E(R) (\$ *10 <sup>6</sup> )
ALTERNATIVA 1 Reasentamiento	FALLA	0.33	388.05	1682.22	1682.22
	NO FALLA	0.67	2328.33		
ALTERNATIVA 2 Drenaje, Subdrenaje y Perfilado	FALLA	0.10	1887.24	286.47	286.47
	NO FALLA	0.90	115.69		
ALTERNATIVA 3 Reconformación Morfológica	FALLA	0.10	1096.26	215.74	215.74
	NO FALLA	0.90	121.81		
ALTERNATIVA 4 Aclaje y Perfilado	FALLA	0.10	1096.26	215.74	215.74
	NO FALLA	0.90	121.81		
ALTERNATIVA 5 Elusión	FALLA	0.33	1779.34	651.86	651.86
	NO FALLA	0.67	88.97		

**FIGURA 9.25 ÁRBOL DE DECISIÓN PARA MITIGACIÓN – CONDICIÓN FUTURA (50 AÑOS) REGIÓN LEI-TRA-I-2 (ADAPTADO DE WU ET AL, 1996)**

ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN		PROBABILIDAD MÁXIMA	COSTO DE FALLA (\$ *10 <sup>6</sup> )	COSTO ESPERADO (\$ *10 <sup>6</sup> )	RIESGO ASUMIDO E(R) (\$ *10 <sup>6</sup> )
ALTERNATIVA 1 Reasentamiento	FALLA	0.83	339.70	628.61	628.61
	NO FALLA	0.17	2038.18		
ALTERNATIVA 2 Drenaje, Subdrenaje y Perfilado	FALLA	0.18	1159.07	313.62	313.62
	NO FALLA	0.82	128.79		
ALTERNATIVA 3 Reconformación Morfológica	FALLA	0.10	2039.71	401.78	401.78
	NO FALLA	0.90	226.63		
ALTERNATIVA 4 Andaje y Perfilado	FALLA	0.09	2025.65	383.88	383.88
	NO FALLA	0.91	225.07		
ALTERNATIVA 5 Elusión	FALLA	0.83	635.75	533.01	533.01
	NO FALLA	0.17	31.79		

**FIGURA 9.26 ÁRBOL DE DECISIÓN PARA MITIGACIÓN – CONDICIÓN FUTURA (50 AÑOS) REGIÓN LEI-TEX-I-2 Y LEI-TEX-I-3 (ADAPTADO DE WU ET AL, 1996)**

ALTERNATIVA DE SOLUCIÓN		PROBABILIDAD MÁXIMA	COSTO DE FALLA (\$ *10 <sup>6</sup> )	COSTO ESPERADO (\$ *10 <sup>6</sup> )	RIESGO ASUMIDO E(R) (\$ *10 <sup>6</sup> )
ALTERNATIVA 1 Reasentamiento	FALLA	0.23	172.27	836.39	836.39
	NO FALLA	0.77	1033.64		
ALTERNATIVA 2 Drenaje, Subdrenaje y Perfilado	FALLA	0.23	686.03	199.77	199.77
	NO FALLA	0.77	55.34		
ALTERNATIVA 3 Reconformación Morfológica	FALLA	0.07	2647.01	469.17	469.17
	NO FALLA	0.93	294.11		
ALTERNATIVA 4 Andaje y Perfilado	FALLA	0.05	1465.92	232.07	232.07
	NO FALLA	0.95	162.88		
ALTERNATIVA 5 Elusión	FALLA	0.23	786.49	210.43	210.43
	NO FALLA	0.77	39.32		

## **CAPÍTULO 10**

# **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

---

**CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

Las etapas I y II de la Urbanización Buenavista, han sufrido parte de las secuelas de la Etapa III. El deterioro de la confianza en las instituciones resultado de las consecuencias en la etapa III, aun cuando no hubo pérdida de vidas y las familias fueron reasentadas, es la causa. La acción popular ha sido el bastión de la comunidad para hallar certezas sobre sus vidas y sus bienes. El actuar presente y futuro de las instituciones, es una oportunidad para ambas partes: la comunidad y la institucionalidad, las dos necesitan recuperar con la toma de la mejor decisión, la fe perdida.

El extenso trabajo minero y urbanizador ha esculpido la morfología de las laderas hoy día. La forma es sin duda antrópica y encierra plataformas aterrazadas para urbanismo, con diferencias de hasta dos metros de altura, moldeadas en los rellenos antrópicos o en los paquetes de roca, y taludes mineros, de entre 6 y 18 metros de altura, reconfigurados en roca y rellenos. Es esta unidad última la rectora de los límites al sur y al oriente del polígono de estudio, y de la separación entre las etapas I y II, y la promotora de los principales escenarios móviles. Es allí donde no sólo han ocurrido los pocos eventos morfodinámicos del pasado, representados en los restos de tres deslizamientos traslacionales, en las huellas de flujos locales pequeños y en la erosión en surcos, sino que se encierra el marco de mayor potencial de movilización (en otras palabras diagrama los principales espacios de amenaza).

Los deslizamientos traslacionales (idealizados por las fallas planares) frente a los rotacionales, son los procesos con mayor posibilidad de gestación y los de mayor trascendencia espacial, si y solo si el espesor comprometido supere el metro. Sin embargo, su potencial de daño y sus consecuencias son muy inferiores. Los cuerpos de deslizamiento, los volúmenes y la capacidad de desplazamiento (la distancia de viaje) son ampliamente superiores en los movimientos rotacionales. Son estos últimos los gestores de los más amplios escenarios de amenaza.

Las laderas esculpidas en los rellenos antrópicos, en los suelos residuales y en los cuerpos de deslizamiento (esquemáticos por taludes S1 a S5), son las más propensas a deslizarse de todo el conjunto, cualquiera sea el periodo de exposición. Sus probabilidades condicionales en el corto plazo (uno o dos años) son inferiores al 13%, si el movimiento es rotacional, o alcanzan el 16.2%, si es traslacional; la detonación de las masas críticas sucede si participa por lo menos uno de los agentes detonantes, y no opera la cohesión máxima. La respuesta es aún más crítica en el tiempo; las probabilidades condicionales, indiferente del mecanismo de deslizamiento, se posan entre el 10.6% y el 30%, si el periodo de trabajo es de 10 años, y supera el 31% si se extiende a 50 años. Los antrópicos y los residuales (los suelos) más propensos a deslizarse recorren las regiones LEI-tra-I-2, LEI-trat-I-2 y LEI-trat-I-3, incrustadas al sur y suroriente de la

POPAE	GIA LTDA	<b>GIA-068-12</b>		CONCLUSIONES – PÁG. 262	
VERSIÓN:	1			FECHA	05/03/2013
ELABORÓ:	MS-JALG	REVISÓ:	JALG	APROBÓ:	JALG

urbanización. Su activación se produce con la participación del sismo o de la lluvia, o con la combinación de los dos agentes exógenos, si operan los parámetros de resistencia mínimos o la cohesión mínima. Son ellos los responsables de los más amplios y drásticos escenarios de amenaza actual y futura.

Respuesta que se antoja lógica, pues los deslizamientos y las masas susceptibles de desplazarse han tenido y tienen asidero en los rellenos y en los suelos residuales, aunque los procesos hoy día sean inactivos. La reactivación de los deslizamientos parece cuestionable pero la retrogresión (y ampliación) no. Las superficies de movilización trasiegan al respaldo de las masas deslizadas, y exponen estados de falla aún con la participación de uno sólo de los agentes detonantes (el agua o el sismo).

El comportamiento del macizo rocoso, idealizado por horizontes alterados de hasta cinco metros de espesor, si bien es halagüeño, no es completamente tranquilizador. Él permanece estable toda vez que no haya sismo ni lluvia, o se movilice la cohesión mínima o los parámetros mínimos:  $c_{\min}$ ,  $\phi'_{\min}$ . Valores que describen (por lo menos desde la perspectiva del razonamiento aproximado y del sentido común) con objetividad el comportamiento de las laderas: durante la última década de vida de Buena Vista son los ambientes más estables, sin que esto signifique que son escenarios excepcionales o muy seguros.

Este último panorama, el más optimista de todos, sólo puede tener cabida si se conserva el estado del macizo hoy día, en otras palabras si el macizo permanece sano. Las posibilidades de desplazamiento, cualquiera sea el tiempo (uno, diez, o cincuenta años) y la condición de trabajo (es decir el papel de los agentes condicionantes) son siempre inferiores al 10%. De esta manera, poca o ninguna responsabilidad recae o recaería en él en la construcción de los escenarios de amenaza y riesgo, y la atención en la estabilización y mitigación se debe centrar en los rellenos.

Con el pasar del tiempo (en el ideario futuro) la estabilidad puede aproximarse a la marginal, toda vez que la meteorización ocupe lugar protagónico y el macizo se transfigure en su totalidad, modelo bautizado como macizo alterado infinito. La activación en los cortes S-4, S-6, S-7 y S-8, inmersos en las zonas LEI-tra-I-2, LEI-tex-I-2 y LEI-tex-I-3, puede tener lugar en inviernos prolongados o durante lluvias intensas, pero sin la participación adicional del hombre. Él catalizaría el proceso. Las probabilidades condicionales, superiores al 30%, así lo ratifican.

Los escenarios de amenaza media, los más severos hoy día, se concentran en los tres cuerpos de deslizamientos, zonas homogéneas LEI-trat-I-1, LEI-trat-I-2 y LEI-trat-I-3, causantes de la zozobra en la población en el 2011 (véase el *Plano 8*); y en los espacios de retrogresión, las regiones LEI-tra-I-1 y LEI-tra-I-2, que no son otra cosa que las generosas exposiciones de los rellenos antrópicos. Unos y otros ambientes regidos por deslizamientos rotacionales, o por fallas planares infinitas. Le siguen en importancia las regiones LEI-tra-I-3, LEI-tex-I-1, LEI-tex-I-3, LEI-tex-I-4, LEI-tex-I-5, LEI-edu-I-1, LEI-edu-I-2 y LEI-edu-I-3, todas con categoría de amenaza baja.

La imagen es más drástica hacia futuro: 50 años. La regiones LEI-tra-I-1, LEI-tra-I-2, LEI-trat-I-1, LEI-trat-I-2, LEI-trat-I-3, LEI-tex-I-5, y parte de la LEI-edu-I-1 y de la LEI-rep-I-1 y una muy pequeña parte de la LEI-edu-I-2, las generadoras y las receptoras de las masas inestables, mutan de amenaza media a alta, los deslizamientos rotacionales en los llenos y en los suelos residuales, y las fallas planares infinitas tendrían lugar protagónico. . Sólo los espacios habitados y preparados para tal fin, i.e. las zonas LEI-edu-I-1 y LEI-edu-I-2 (véanse los *Planos 7 y 8*), exhiben los mejores réditos; su condición de amenaza es baja. Las restantes unidades de ladera se erigen en categoría media; de este conjunto, la LEI-rep-I-1 y la LEI-tra-I-3,

son las más sensibles; la ejecución de cortes o de excavaciones, la implantación de cargas o el deficiente manejo del drenaje, abrirían el compás para la aparición de nuevos focos de inestabilidad no sólo en ellas sino en las regiones vecinas, y, por consiguiente, para la creación de nuevos espacios de amenaza alta.

En el escenario de vulnerabilidad física actual, se infiere que hoy día el 92% de las viviendas exponen categoría baja y el restante 8%, apenas, media. Este ambiente se explica, al margen de la capacidad de viaje de las masas potencialmente inestables y de las deficiencias constructivas acotadas, por el dominio de las bajas posibilidades de movilización (que no son otra cosa que estados de amenaza baja) en las dos etapas de la urbanización. En este orden de ideas, los máximos niveles de vulnerabilidad, los medios, coinciden con las viviendas más expuestas, es decir, con las codificadas como 78, 93 y 94 de la primera etapa, y 84, 102 a 105, 123 a 126, 141 a 144, 152 a 154, 159 a 162 y 166 (el salón comunal) de la segunda. Las casa restantes se califican con vulnerabilidad baja.

En el escenario futuro (a 50 años) es a todas luces menos halagüeño. La tasa de vulnerabilidad media se incrementa notablemente, al pasar de 24 a 94 unidades, y la alta hace su aparición en siete (7) de las edificaciones. Una y otra categoría matizada por el radical incremento en la posibilidad de movilización de las laderas, en especial las forjadas en los rellenos y en los suelos residuales, y esquematizada por los predios de mayor proximidad a ellas. Así, pues, la vulnerabilidad alta recae en los predios 104, 125, 143, 145, 146, 148 y 162, todos de la segunda etapa, mientras la media se extiende sobre las construcciones 29, 30, 44 a 46, 59 a 62, 74 a 78, 90 a 94, y 106 a 120, si de la primera etapa se trata, y 14 a 16, 32 a 38, 59 a 61, 81 a 84, 100 a 103, 105, 121 a 124, 126 a 142, 144, 147, 149 a 161, 164 a 166, en lo que a la segunda etapa se relaciona. Cualquiera sea el periodo de exposición (el actual o a largo plazo, 50 años), las redes inmersas en los corredores de amenaza alta y media, y comprometidas en los cuerpos potencialmente inestables, calcan la misma posibilidad de daño: el alto y el medio, en dependencia del nivel de amenaza.

La habitabilidad de las viviendas, hoy día (no así a futuro) no se halla comprometida, derrotero confirmado en 4 de las alternativas en las que el reasentamiento no se hace necesario, ni por alto riesgo, ni por implantación de las obras de mitigación. Aunque es notable que la calidad de las edificaciones, está en entredicho debido a la falta de buenas prácticas (prohibidas en la NSR-10) en los procesos constructivos, tanto de la constructora, común a las dos etapas, como de los propietarios (al poner en marcha las modificaciones y las ampliaciones) característica predominante en la segunda etapa, circunstancia que las ubica como vulnerables frente al escenario de sismo.

La mayor afectación en las personas se puede esperar en las viviendas 124 a 126, 153, 154 y 160 a 162 de la segunda etapa, en el caso de que el evento se geste en la noche (escenario en el que es poco probable encontrar personas en el exterior de las casas), y en las mismas viviendas y en los corredores peatonales y de uso público dispuestos entre ellas y los cuerpos de deslizamiento, y en la vecindad a las viviendas 78 y 92 a 94 de la etapa I, si el fenómeno se da en el horario diurno del fin de semana (vista que admite que el tránsito de personas en los espacios comunes es muy superior en este periodo).

El 92% de las viviendas expone para los estadio de trabajo vigentes hoy día riesgo bajo, y el restante 8% ostenta niveles de riesgo medio. Distribución justificada en el alto porcentaje de casas con niveles bajos de vulnerabilidad y en el estado poco severo de amenaza (entretelado entre bajo y medio). Las unidades con perdida esperada media coinciden con las construcciones que evidencian vulnerabilidad media, y que se revelan en las casas 78, 93 y 94 de la primera etapa, y 84, 102 a 105, 123 a 126, 141 a 144, 152 a 154, 159 a 162 y 166 (salón comunal) de la segunda. Las restantes viviendas se exponen en riesgo bajo.



El índice de riesgo para el espectro de amenaza a 50 años, está regido por el recrudescimiento de éste en las laderas al suroriente, al sur, al suroccidente y en medida alguna al occidente de la urbanización. Allí el 10.5% de los predios -es decir, 30 construcciones y de sus residentes- pueden sufrir pérdidas altas, el 24.8% (i.e. 71 unidades) evidencian perjuicios medios, y el 64.7% de las estructuras (185 elementos) exhiben riesgo bajo.

En concordancia con la perspectiva de la zonificación del riesgo, las alternativas de solución están destinadas a reducir, al menor costo, los estados de probabilidad condicional total actual, y disminuir los escenarios de vulnerabilidad, a evitar el aumento en los niveles de riesgo y, en el mejor de los casos, a reducir o controlar sustancialmente los cuerpos de mayor condición o predisposición de movilización y sus consecuencias. Es necesario poner en marcha un plan de acción que incluya la contención de los deslizamientos potenciales, la intercepción de las superficies de deslizamiento en los contactos macizo alterado-macizo sano o depósito roca, la reducción de los empujes de las masas activas y drenajes y subdrenajes. Así entonces, los anclajes encargados de estabilización pasiva, se ubican al occidente de las dos etapas, donde se expone ampliamente las unidades LEI-tex-I-2 y LEI-tex-I-3, la reconfiguración morfológica se logra con cortes de hasta 3.0H:1.0V de buzamiento, y el manejo del principal agente detonante: el agua, queda en competencia de las trincheras drenantes de hasta dos metros de profundidad y de cunetas rectangulares. Debe resaltarse, pues, que la materialización de lo planteado, además de la inversión presupuestal, está condicionada por la viabilidad predial. Dada la incoherencia entre el desarrollo aprobado (véase la plancha SC. 11 / 4-00 del Anexo I), es decir la información predial que reposa en las entidades oficiales (la SDP y el DADEP), y lo urbanizado en el área de estudio, resulta indispensable la realización de un estudio predial detallado que esclarezca la titulación de las zonas a intervenir. Esto, con el fin de establecer los mecanismos necesarios para que el distrito tome posesión de los predios involucrados en el plan de obras.

Cualquiera sea el camino a seguir (entendido como el esquema de mitigación: alternativa o plan de acción) es pertinente el monitoreo frecuente de las laderas y acometer una serie de medidas no estructurales, que si bien no modifican los escenarios de amenaza, están encaminadas a hacer participe a la comunidad en la conservación del medio, en la reducción del riesgo ambiental y físico, y a menguar la creación de focos futuros de inestabilidad. Este paquete de acciones comprende: la implementación de campañas de limpieza y retiro de los residuos sólidos (basuras y escombros) de las laderas y del sistema de alcantarillado pluvial - ductos, pozos y sumideros-, y, en general, el mantenimiento de las redes de acueducto y alcantarillado, no sólo de los entramados de la urbanización, sino de los trazos ubicados en los barrios existentes al sur, principalmente, de las áreas que drenan en dirección de las masas que nos ocupan; la supervisión de nuevas construcciones que se pretendan realizar en los predios aledaños a la urbanización, para evitar problemas futuros; y la participación activa de la comunidad en el planteamiento de las soluciones en los barrios, de manera tal que se le comprometa con la sostenibilidad del medio.

Adicional a esto, resulta imperioso que las autoridades redefinan el destino y la normativa de uso que rige a las zonas aledañas a la urbanización: la *Figura 1.1* del *Anexo I* diagrama la propuesta descrita en el diagnóstico urbanístico (numeral 9.2), que contempla la delimitación de las zonas en las que es recomendable adelantar procesos urbanísticos, las zonas complejas para adelantarlos, y las zonas inadecuadas para su desarrollo. Así pues, y ante la posibilidad de desarrollar nuevos proyectos en estas zonas: en las primeras no existe mayor inconveniente, en las segundas es indispensable se ejecute un estudio detallado de amenaza y riesgo por FRM (por lo menos) para establecer la viabilidad y las condiciones de emplazamiento, y en la tercera se evite a toda costa la construcción.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

## 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.
- BUSO, GUSTAVO (2001), “Vulnerabilidad Social: Nociones e Implicancias de políticas para latinoamérica a inicios del siglo XXI” Seminario Internacional – Las Diferentes Expresiones de la Vulnerabilidad Social en América Latina y el Caribe, Santiago de Chile, Chile.
- BLAIKIE P., ET AL. (1994). “Vulnerabilidad: El Entorno Social, Político y Económico de los Desastres”.
- 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.
- CHIO C., GUSTAVO Y MALDONADO R., ESPERANZA (2008). “Vulnerabilidad Sísmica en Centros Urbanos” Universidad Industrial de Santander. Universidad Industrial de Santander – Conciencias, Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas. Bucaramaga.
- 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.
- DPS (2012). “FAMILIAS EN ACCIÓN”, Departamento para la Prosperidad Social, <http://www.dps.gov.co/contenido/contenido.aspx?catID=204&conID=157>. Bogotá D.C.
- F.C. Dai (2001) et al. “Landslide risk assessment and management: an overview”. Beijing. Journal Engineering Geology
- 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.
- GONZÁLEZ G. A. (2001). Notas de clase.
- GOODMAN RICHARD E (1989). “Introduction to Rock Mechanics”. University of California at Berkeley. Second Edition. Canada. John Wiley & Sons.
- HOEK E (1995). “Support of Underground Excavation in Hard Rock”. January, 1995. AA. Balkema Publisher.
- HOEK, E., AND BRAY, J. (1977). “Rock Slope Engineering”. The institution of Mining and Metallurgy. Second Edition. London.
- 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.

FOPAE	GIA LTDA	<b>GIA-068-12</b>		REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS – PÁG. 267	
VERSIÓN:	1			FECHA	05/03/2013
ELABORÓ:	Mxvg	REVISÓ:	JALG	APROBÓ:	JALG

- 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.
- KAYNIA A. M, PAPATHOMA-KOHLER M, NEUHAUSER B, RATZINGER K, WENZEL H. Y MEDINA-CETINA Z. (2008). "Probabilistic Assessment of Vulnerability to Landslide: Application to the Village of Lichtenstein, Baden – Wurttemberg, Germany". Journal Engineering Geology.
- KAZTMAN, R. (2000), "Notas Sobre la Medición de la Vulnerabilidad Social" Oficina de Cepal, Montevideo, Argentina.
- LEE M. E, AND JONES D. K C, (2004). "Landslide Risk Assessment". Chapter 5. Thomas Telford Limited. MPG Books. London. Pp 250 – 308.
- LEE M. E, AND JONES D. K C, (2004). "Landslide Risk Assessment". Thomas Telford.
- LEONE F. (1996). "Concept de Vulnerabilite Aplique al Evaluation del Risques Generes par les Phenomenes de Movements de Terrain" Université Joseph Fourier Gienoble. Universite Joseph Fourier, Grenoble I. These, Chapitre I, II y III.
- PERIÓDICO EL ESPECTADOR (2013). "Una Persona es Indigente Si Tiene Ingresos Menores a \$87.672". <http://www.elespectador.com/economia/articulo-346908-una-persona-indigente-si-tiene-ingresos-menores-87672>.
- SÁNCHEZ S. MAURICIO (2005). "Introducción a la Confiabilidad y Evaluación de Riesgos: Teoría y Aplicaciones en Ingeniería". Universidad de los Andes, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental. Ediciones Uniandes. Bogotá D. C.
- SECRETARÍA DE PLANEACIÓN (2007), "Encuesta de Calidad de Vida: Bogotá 2007, ECVB 2007. Bogotá D.C., Colombia.
- SOETERS R., AND VAN WESTEN C. J. (1996). "Slope Instability Recognition, Analysis, and Zonation". Chapter 8. Landslides: Investigation and Mitigation. Special Report 247. Turner and Schuster Editors. Washintong 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 Borrard. Nacional Research Council. USA.