
CLASIFICADO

**Diseño Detallado de Obras de Mitigación de Riesgo por Movimientos en Masa en la Urbanización
Ciudadela Santa Rosa Localidad de San Cristóbal en Bogotá D. C**

**Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático
IDIGER**

**Diagonal 47 N° 77A-09 Interior 11.
PBX 4292801.
www.idiger.gov.co
Bogotá- Colombia**

Consorcio Santa Rosa.

Contrato N°471 de 2017

**Volumen 1 – Informe Final
Parte 1 (pp.1- 111) de 2 partes**

**TEXTO
ORIGINAL**

Noviembre de 2019

De acuerdo con el Artículo 20 de la Ley 23 de 1982, modificado por el Artículo 28 de la Ley 1450 de 2011, los Derechos de Autor pertenecen al IDIGER. La solicitud para reproducir este documento parcial o totalmente, se debe dirigir por escrito al director del IDIGER.

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

VERSIÓN	SECCIÓN MODIFICADA	FECHA DE MODIFICACIÓN	OBSERVACIONES
0			

HOJA DE CONTROL

ENTIDAD	RESPONSABLE	EJEMPLARES
IDIGER	SUPERVISOR	ORIGINAL

ESTADO DE REVISIÓN Y APROBACIÓN

Aprobado por (Director de Consultoría):	Jairo A. Lozano. G.
Firma:	
Fecha:	Noviembre de 2019
Aprobado por (Supervisión):	IDIGER
Firma:	
Fecha:	Noviembre de 2019

TABLA DE CONTENIDO

GLOSARIO		20
SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS		24
1.1	INTRODUCCIÓN	27
1.2	LOCALIZACIÓN	28
1.3	DIAGNÓSTICO	29
1.3.1	DESCRIPCIÓN DEL MEDIO Y DEL FENÓMENO	29
1.3.2	CONCEPTUALIZACIÓN PRELIMINAR (AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO)	30
1.4	ANTECEDENTES	30
1.5	LIMITACIONES	34
1.6	PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES	34
1.6.1	RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE	34
1.6.1.1	INFORMACIÓN ESPECÍFICA	34
1.6.1.2	INFORMACIÓN DE REFERENCIA	36
1.6.1.3	INFORMACIÓN GEOMÁTICA	37
1.6.1.3.1	Cartografía Base	37
1.6.1.3.2	Geológica y Geomorfológica	37
1.6.1.4	HIDROGEOLÓGICA	38
1.6.1.5	HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA	39
1.6.2	VISITAS DE RECONOCIMIENTO	39
1.6.3	ELABORACIÓN DE CARTOGRAFÍA BASE Y TEMÁTICA	40
1.6.3.1	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO	40
1.6.3.1.1	Método Convencional	40
1.6.3.1.2	Método UAV	40
1.6.3.2	ESTUDIOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS	41
1.6.4	ESTUDIO GEOTÉCNICO BÁSICO	41
1.6.4.1	INVENTARIO DE PROCESOS DE INESTABILIDAD	41

1.6.4.2	EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO	41
1.6.5	ANÁLISIS GEOTÉCNICO	42
1.6.5.1	MODELO GEOTÉCNICO	42
1.6.5.2	ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA	42
1.6.5.3	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD	42
1.6.6	ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA	42
1.6.7	EVALUACIÓN DE PATOLOGÍA ESTRUCTURAL	43
1.6.8	EVALUACIÓN DE MITIGABILIDAD	43
1.6.9	ORGANIZACIÓN DEL INFORME	44
2.1	ALCANCES	47
2.2	MÉTODO BÁSICO DE TRABAJO	47
2.3	MÉTODO DE RADIACIÓN Y NIVELACIÓN (O CONVENCIONAL)	48
2.3.1	PROCEDIMIENTO DE EJECUCIÓN: TRABAJO DE CAMPO	48
2.3.2	LOCALIZACIÓN CARTOGRÁFICA	48
2.3.3	DESCRIPCIÓN DE LA POLIGONAL DE AMARRE	49
2.3.4	DESCRIPCIÓN DE LA POLIGONAL DE CIERRE	50
2.3.5	AJUSTES DEL LEVANTAMIENTO	51
2.3.6	AMOJONAMIENTO DE REFERENCIA	51
2.3.7	CONDENSACIÓN DE LA INFORMACIÓN DE CAMPO	51
2.3.8	TRABAJO DE OFICINA	51
2.3.9	EQUIPO	52
2.4	MÉTODO FOTOGRAMÉTRICO UAV	52
2.4.1	PROCEDIMIENTO DE EJECUCIÓN: TRABAJO DE CAMPO	53
2.4.2	LOCALIZACIÓN CARTOGRÁFICA	53
2.4.3	TRABAJO DE CAMPO	53
2.4.3.1	SOBREVUELOS DE GEORREFERENCIACIÓN	53
2.4.3.2	RECONOCIMIENTO Y PROSPECCIÓN	54
2.4.3.3	GCPS Y POLÍGONO	54
2.4.3.4	MISIONES	55
2.4.4	TRABAJO DE OFICINA: PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN	57

2.4.4.1	CALIBRACIÓN	59
2.4.4.1.1	Posicionamiento: Imágenes y GCPs	59
2.4.4.1.2	Posición y Orientación de la Cámara: Precisión	60
2.4.4.2	TRASLAPO DE IMÁGENES	60
2.4.4.2.1	Ajuste de Bloque	60
2.4.4.2.2	Error Relativo Medio	60
2.4.4.3	GEOLOCALIZACIÓN	60
2.4.4.4	CONTROL DE CALIDAD	61
2.4.4.5	NUBE DE PUNTOS: DENSIFICACIÓN	61
2.4.4.6	MDS Y ORTOFOTOMOSAICO	62
2.5	GEOMORFOMETRÍA	63
3.1	MÉTODO DE TRABAJO	71
3.2	ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE	73
3.3	GEOLOGÍA GENERAL	76
3.3.1	ESTRATIGRAFÍA	76
3.3.1.1	CRETÁCICO	77
3.3.1.2	CRETÁCICO-TERCIARIO	77
3.3.1.3	TERCIARIO	78
3.3.1.4	CUATERNARIO	78
3.3.2	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	79
3.4	GEOLOGÍA LOCAL	79
3.4.1	ESTRATIGRAFÍA	80
3.4.1.1	UNIDADES DE SUELO	80
3.4.1.2	UNIDADES DE ROCA	82
3.4.2	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	83
3.4.2.1	DISCONTINUIDADES	84
3.4.2.2	LINEAMIENTOS FOTOGEOLÓGICOS	85
3.5	GEOMORFOLOGÍA	85
3.5.1	MORFOLOGÍA ESTRUCTURAL (FORMAS)	86
3.5.1.1	LADERA ESTRUCTURAL CON INTERVENCIÓN INTENSA POR ACTIVIDADES MINERA: LEIM	87
3.5.1.2	UNIDAD DE LADERA DENUDACIONAL CON INTERVENCIÓN INTENSA POR MINERÍA: LDIM	87

3.5.1.3	LADERA DENUDACIONAL POCO INTERVENIDA: LDPI	88
3.5.1.4	EXPLANACIONES POR ACTIVIDAD MINERA: DLI MU	88
3.5.1.5	CAUCE NATURAL: LDCN	88
3.5.1.6	LADERA DENUDACIONAL CON INTERVENCIÓN INTENSA POR URBANIZACIÓN: LDIU	88
3.5.1.7	LADERA DENUDACIONAL CON MODERADA INTERVENCIÓN POR URBANISMO: LDMIU	88
3.5.1.8	CONTRAPENDIENTE ESTRUCTURAL MODERADAMENTE INTERVENIDA POR ACTIVIDAD MINERA: CEMM	89
3.5.1.9	ESCARPE ESTRUCTURAL: Ee	90
3.5.1.10	CONOS DE DESLIZAMIENTO: DCP	90
3.5.2	MORFODINÁMICA	91
3.5.2.1	METEORIZACIÓN	91
3.5.2.2	PROCESOS DE EROSIÓN	92
3.5.2.3	PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA (FRM)	92
3.6	ANTECEDENTES DE LOS PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA	93
3.6.1	AÑO 1955 (VUELO IGAC M-46)	93
3.6.2	AÑO 1977 (VUELO IGAC C-1774)	95
3.6.3	AÑO 1984 (VUELO IGAC C-2128)	96
3.6.4	AÑO 1990 (VUELO IGAC R-1131)	97
3.6.5	AÑO 1998 (VUELO SAV-415)	98
3.6.6	AÑO 2000 (IMAGEN SATELITAL GOOGLE EARTH)	98
3.6.7	AÑO 2004 (VUELO IGAC C-2717)	100
3.6.8	AÑO 2009 (IMAGEN SATELITAL GOOGLE EARTH)	101
3.6.9	AÑO 2013 (IMAGEN SATELITAL GOOGLE EARTH)	102
3.6.10	AÑO 2016 (IMAGEN SATELITAL GOOGLE EARTH)	102
3.7	HIDROGEOLOGÍA	103
3.7.1	DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS	103
3.7.2	RELEVAMIENTO DE PUNTOS DE AGUA	106
3.7.3	MOVIMIENTO DEL AGUA	106
3.8	AMENAZA SÍSMICA	107
3.8.1	FUENTES SISMOGÉNICAS	107

3.8.2	CUALIFICACIÓN DE AMENAZA LOCAL	108
3.8.3	RESPUESTA DINÁMICA DEL SUELO	108
4.1	INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO	111
4.1.1	MÉTODO DE TRABAJO	111
4.1.2	MÉTODOS DIRECTOS	112
4.1.3	MÉTODOS INDIRECTOS: GEOSÍSMICA Y TOMOGRAFÍAS	115
4.1.4	ENSAYOS DE CAMPO	130
4.1.5	ENSAYOS DE LABORATORIO	133
4.2	CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA	155
4.2.1	SUELOS	155
4.2.1.1	MATERIALES 1 Y 2: DEPÓSITOS DE DESLIZAMIENTO, QD1 Y QD2	155
4.2.1.2	MATERIAL 3: RELLENO ANTRÓPICO URBANÍSTICO SELECCIONADO, QDAUS	155
4.2.1.3	MATERIAL 4: RELLENOS ANTRÓPICOS DE RECONFORMACIÓN, QRA1	156
4.2.1.4	MATERIAL 5: RELLENOS ANTRÓPICOS DE RECONFORMACIÓN, QRA2	156
4.2.1.5	MATERIAL 6: DEPÓSITOS ANTRÓPICOS MINEROS, QDAM	158
4.2.1.6	MATERIAL 7: DEPÓSITOS COLUVIALES, QDC	158
4.2.1.7	MATERIAL 8: SUELOS RESIDUALES, QTPB-SR-L O QTPB-SR-A	159
4.2.2	MACIZO ROCOSO	160
4.2.2.1	MATERIAL ROCOSO	160
4.2.2.1.1	Material 9: Lodolitas de la Formación Bogotá, Tpb-L	160
4.2.2.1.2	Material 10: Areniscas de la Formación Bogota, Tpb-A	160
4.2.2.2	DISCONTINUIDADES	161
4.2.2.3	CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO	163
4.2.2.4	PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DEL MACIZO ROCOSO	165
4.3	ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA	165
5.1	ESTUDIOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS	170
5.1.1	METODOLOGÍA DE TRABAJO	170
5.1.2	CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA BÁSICA	170
5.1.2.1	ANÁLISIS MULTITEMPORAL	171
5.1.2.2	TEMPERATURA	171
5.1.2.3	HUMEDAD RELATIVA	172

5.1.2.4	BRILLO SOLAR _____	173
5.1.2.5	EVAPORACIÓN _____	173
5.1.2.6	PRECIPITACIÓN _____	174
5.1.2.7	CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA _____	175
5.1.2.8	PRECIPITACIONES DE CORTA DURACIÓN _____	175
5.1.2.9	DISTRIBUCIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE LAS INTENSIDADES _____	176
5.1.2.10	PRECIPITACIÓN CRÍTICA - DURACIÓN _____	176
5.1.2.11	RELACIÓN LLUVIA – DESLIZAMIENTO _____	177
5.1.2.12	DISTRIBUCIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN CRÍTICA _____	178
5.1.3	CARACTERÍSTICAS DE LAS CUENCAS AFERENTES _____	178
5.1.3.1	SUBCUENCAS Y ÁREA DE DRENAJE _____	179
5.1.3.2	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN _____	179
5.1.3.3	CAUDALES DE DISEÑO _____	180
5.1.3.3.1	Método Racional	180
5.1.4	CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA _____	183
5.1.4.1	CRITERIOS PARA SELECCIONAR EL PERIODO DE RETORNO DE DISEÑO _____	183
5.1.4.2	DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING _____	183
5.1.4.3	MODELACIÓN HIDRÁULICA _____	184
5.1.4.4	ESTABLECIMIENTO DE CAPACIDAD ÓPTIMA _____	185
5.1.5	BALANCE HÍDRICO _____	186
5.1.6	DRENAJE NATURAL _____	187
5.1.7	DRENAJE ARTIFICIAL _____	188
5.1.7.1	SISTEMA DE ACUEDUCTO _____	188
5.1.7.2	SISTEMA DE AGUAS RESIDUALES Y LLUVIAS _____	188
5.1.8	OTRAS REDES DE SERVICIOS PÚBLICOS _____	193
5.1.8.1	TELEFONÍA _____	193
5.1.8.2	GAS NATURAL _____	193
5.1.8.3	ENERGÍA ELÉCTRICA _____	194
5.2	COBERTURA Y USOS DEL SUELO _____	198
5.2.1	MÉTODO DE TRABAJO _____	198
5.2.2	CLASIFICACIÓN DEL USO Y COBERTURA DEL SUELO _____	199

LISTA DE TABLAS

TABLA 1.1	MARCO DE TRABAJO _____	28
TABLA 1.2	DIAGNÓSTICOS TÉCNICOS EMITIDOS POR EL IDIGER _____	31
TABLA 1.3	DIAGNÓSTICOS TÉCNICOS EMITIDOS POR EL IDIGER (CONTINUACIÓN) _____	32
TABLA 1.4	CONCEPTOS TÉCNICOS EMITIDOS POR EL IDIGER _____	33
TABLA 1.5	CONTENIDO _____	44
TABLA 1.6	ANEXOS _____	44
TABLA 1.7	ANEXOS (CONTINUACIÓN) _____	45
TABLA 1.8	PLANOS _____	45
TABLA 2.1	DELIMITACIÓN CARTOGRÁFICA: MÉTODO CONVENCIONAL _____	48
TABLA 2.2	POLÍGONO DEL ESPACIO DE ESTUDIO _____	49
TABLA 2.3	PARÁMETROS DE ACEPTACIÓN _____	51
TABLA 2.4	MOJONES MATERIALIZADOS EN CAMPO _____	51
TABLA 2.5	RELACIÓN DE EQUIPO Y ELEMENTOS POR COMISIÓN _____	52
TABLA 2.6	COORDENADAS PLANAS DEL POLÍGONO 2 _____	54
TABLA 2.7	COORDENADAS DE LOS PUNTOS GCP _____	56
TABLA 2.8	GCPs: PRECISIÓN Y ERRORES _____	62
TABLA 2.9	GEOLOCALIZACIÓN ABSOLUTA: PATRÓN DE RESPUESTA _____	63
TABLA 3.1	CLASIFICACIÓN DE LAS PENDIENTES _____	86
TABLA 3.2	INFORMACIÓN AEROFOTOGRAFICA _____	94
TABLA 3.3	CLASIFICACIÓN DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS DE ACUERDO A SU COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO _____	105
TABLA 3.4	DESCRIPCIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LAS UNIDADES LITOSTRATIGRÁFICAS _____	105
TABLA 3.5	FUENTES SISMOGÉNICAS PARA AMENAZA SÍSMICA EN BOGOTÁ _____	107
TABLA 3.6	FACTORES DE AMPLIFICACIÓN PARA DIFERENTES TIPOS DE SUELO (MEDVEDEV, 1965) _____	109
TABLA 4.1	LOCALIZACIÓN DE LOS SITIOS DE EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO: DIRECTA E INDIRECTA _____	116
TABLA 4.2	DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES LITOSTRATIGRÁFICOS _____	117
TABLA 4.3	LOCALIZACIÓN DE LOS SITIOS DE EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO, IGL (1994) _____	118

TABLA 4.4	PERFILES DE SUELO BASADOS EN EL PARÁMETRO DE VELOCIDAD MEDIA DE LA ONDA DE CORTANTE, V_s _____	119
TABLA 4.5	EXPRESIONES PARA CORRELACIONAR EL ÁNGULO DE FRICCIÓN A PARTIR DEL SPT ____	130
TABLA 4.6	RELACIÓN ENTRE LA DENSIDAD RELATIVA Y LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN _____	131
TABLA 4.7	RELACIÓN ENTRE LA CONSISTENCIA Y LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN _____	131
TABLA 4.8	RESUMEN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA EN CONDICIÓN DRENADA A PARTIR DEL SPT _____	131
TABLA 4.9	NORMALIZACIÓN DEL SPT _____	136
TABLA 4.10	NORMALIZACIÓN DEL SPT _____	137
TABLA 4.11	NORMALIZACIÓN DEL SPT: GIA (2013) _____	138
TABLA 4.12	NORMALIZACIÓN DEL SPT: GIA (2013) _____	139
TABLA 4.13	RELACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO _____	140
TABLA 4.14	RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO _____	141
TABLA 4.15	RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO (CONTINUACIÓN) _____	142
TABLA 4.16	RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO (CONTINUACIÓN) _____	143
TABLA 4.17	CARGA PUNTUAL _____	144
TABLA 4.18	CARGA PUNTUAL (CONTINUACIÓN) _____	145
TABLA 4.19	RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO: OTROS CONSULTORES _____	146
TABLA 4.20	RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO: OTROS CONSULTORES (CONTINUACIÓN) ____	147
TABLA 4.21	RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO: OTROS CONSULTORES (CONTINUACIÓN) ____	148
TABLA 4.22	RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO: OTROS CONSULTORES (CONTINUACIÓN) ____	149
TABLA 4.23	RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO: OTROS CONSULTORES _____	150
TABLA 4.24	RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO: OTROS CONSULTORES (CONTINUACIÓN) ____	151
TABLA 4.25	RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO: OTROS CONSULTORES (CONTINUACIÓN) ____	152
TABLA 4.26	RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO: OTROS CONSULTORES (CONTINUACIÓN) ____	153
TABLA 4.27	CARGA PUNTUAL: OTROS CONSULTORES _____	154
TABLA 4.28	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE LOS MATERIALES 1 Y 2: QDD1 Y QDD2 _____	156
TABLA 4.29	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 2: QDAUS _____	157
TABLA 4.30	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 3: QRA1 _____	157

TABLA 4.31	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 4: QRA2 _____	158
TABLA 4.32	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 5: QDAM _____	159
TABLA 4.33	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 7: QTPB-L-SR O QTPB-A-SR _____	160
TABLA 4.34	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 8: TPB-L _____	161
TABLA 4.35	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 9: TPB-A _____	162
TABLA 4.36	PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DE LAS FAMILIAS DE DISCONTINUIDAD _____	163
TABLA 4.37	CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO _____	164
TABLA 4.38	PARÁMETROS DE RESISTENCIA DEL MACIZO ROCOSO POBRE _____	166
TABLA 4.39	PARÁMETROS DE RESISTENCIA DEL MACIZO ROCOSO (CONTINUACIÓN) _____	167
TABLA 4.40	ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA _____	168
TABLA 5.1	ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS _____	171
TABLA 5.2	CARACTERÍSTICAS DE LAS SUBCUENCAS _____	179
TABLA 5.3	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA SELECCIONADO _____	181
TABLA 5.4	INTENSIDADES (MM/H) _____	181
TABLA 5.5	CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS _____	182
TABLA 5.6	CAUDALES EN LOS PUNTOS DE CIERRE DE LA CUENCA _____	183
TABLA 5.7	CAUDALES EN LOS PUNTOS DE CIERRE DE CUENCA _____	183
TABLA 5.8	RUGOSIDAD DE MANNING DOMINANTE _____	184
TABLA 5.9	RESULTADOS DE LA MODELACIÓN HIDRÁULICA _____	185
TABLA 5.10	IRREGULARIDADES DE LOS POZOS _____	189
TABLA 5.11	LEYENDA Y CLASIFICACIÓN DE USO Y COBERTURA DE LA TIERRA _____	199

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1	ENTORNO DE TRABAJO DE LA TOPOGRAFÍA CONVENCIONAL _____	49
FIGURA 2.2	POLIGONAL DE AMARRE _____	50
FIGURA 2.3	POLIGONALES DE CIERRE _____	50
FIGURA 2.4	DIAGRAMACIÓN DEL POLÍGONO DE INFLUENCIA DIRECTA: MÉTODO UAV _____	53
FIGURA 2.5	LOCALIZACIÓN DE LOS GCP _____	56

FIGURA 2.6	MATERIALIZACIÓN EN CAMPO DE LOS GCP 5 Y GCP 6	57
FIGURA 2.7	MISIONES DE VUELO	57
FIGURA 2.8	GEOLOCALIZACIÓN DE LAS MISIONES	58
FIGURA 2.9	ESTRUCTURACIÓN DE LOS TIE POINTS Y UBICACIÓN DE LOS GCPS	58
FIGURA 2.10	ERROR MEDIO DE LA NUBE DE PUNTOS Y DE LOS GCPS	59
FIGURA 2.11	ANÁLISIS MULTITEMPORAL: TOPOGRAFÍA	65
FIGURA 2.12	SECCIONES ANÁLISIS MULTITEMPORAL: TOPOGRAFÍA	66
FIGURA 2.13	SECCIONES ANÁLISIS MULTITEMPORAL: TOPOGRAFÍA	67
FIGURA 2.14	ANÁLISIS MULTITEMPORAL: IMÁGENES SATELITALES	68
FIGURA 2.15	FUENTES CARTOGRÁFICAS Y DELIMITACIÓN DE LA RONDA HÍDRICA	69
FIGURA 3.1	VUELO M-46, AÑO 1955, ESCALA 1:30.000, FOTO 4525	95
FIGURA 3.2	VUELO C-1774, AÑO 1977, ESCALA 1:8.000, FOTO 68	97
FIGURA 3.3	VUELO C-2128, AÑO 1984, ESCALA 1:18.300, FOTO 151	99
FIGURA 3.4	VUELO R-1131, AÑO 1990, ESCALA 1:5.000, FOTO 3662	100
FIGURA 3.5	VUELO SAV-415, AÑO 1998, ESCALA 1:21.000, FOTO 3662	101
FIGURA 3.6	IMAGEN SATELITAL DE LA ZONA DE ESTUDIO: AÑO 2000	102
FIGURA 3.7	IMAGEN SATELITAL DE LA ZONA DE ESTUDIO: AÑO 2009	103
FIGURA 3.8	IMAGEN SATELITAL DE LA ZONA DE ESTUDIO: AÑO 2013	104
FIGURA 3.9	IMAGEN SATELITAL DE LA ZONA DE ESTUDIO: AÑO 2016	106
FIGURA 4.1	ESQUEMA GENERAL DE ADQUISICIÓN DE DATOS MEDIANTE SÍSMICA DE REFRACCIÓN	115
FIGURA 4.2	PROCEDIMIENTO DE EJECUCIÓN Y PROCESAMIENTO DE LÍNEAS SÍSMICAS: MÉTODO MASW	119
FIGURA 4.3	SECUENCIA DE REGISTRO EN LAS TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS	120
FIGURA 4.4	ARREGLO SCHLUMBERGER DE LOS SEV	120
FIGURA 4.5	LRS-1: RESPUESTA Vs (EN KM/S) - PROFUNDIDAD	121
FIGURA 4.6	LRS-2: RESPUESTA Vs (EN KM/S) - PROFUNDIDAD	122
FIGURA 4.7	LRS-2': RESPUESTA Vs (EN KM/S) - PROFUNDIDAD	122
FIGURA 4.8	LRS-3: RESPUESTA Vs (EN KM/S) - PROFUNDIDAD	123
FIGURA 4.9	LRS-4: RESPUESTA Vs (EN KM/S) - PROFUNDIDAD	124

FIGURA 4.10	LRS-5: RESPUESTA Vs (EN KM/S) - PROFUNDIDAD _____	124
FIGURA 4.11	LRS-6: RESPUESTA Vs (EN KM/S) - PROFUNDIDAD _____	125
FIGURA 4.12	LRS-7: RESPUESTA Vs (EN KM/S) - PROFUNDIDAD _____	125
FIGURA 4.13	TOMOGRFÍA TM-1: INTERPRETACIÓN ESTRATIGRÁFICA _____	126
FIGURA 4.14	TOMOGRFÍA TM-2: INTERPRETACIÓN ESTRATIGRÁFICA _____	127
FIGURA 4.15	TOMOGRFÍA TM-3: INTERPRETACIÓN ESTRATIGRÁFICA _____	127
FIGURA 4.16	TOMOGRFÍA TM-4: INTERPRETACIÓN ESTRATIGRÁFICA _____	128
FIGURA 4.17	MODELO DE RESISTIVIDAD: SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL SEV-1 _____	129
FIGURA 4.18	MODELO DE RESISTIVIDAD: SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL SEV-2 _____	129
FIGURA 4.19	ENVOLVENTE Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA PROMEDIO PARA TODOS LOS MATERIALES _____	132
FIGURA 4.20	ENVOLVENTE Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA PROMEDIO DEL MATERIAL: QDD1 _____	132
FIGURA 4.21	ENVOLVENTE Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA PROMEDIO DEL MATERIAL: QRA1 _____	133
FIGURA 4.22	ENVOLVENTE Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA PROMEDIO DEL MATERIAL: QRA2 _____	133
FIGURA 4.23	ENVOLVENTE Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA PROMEDIO DEL MATERIAL: QSR-TPB-L _____	134
FIGURA 4.24	ENVOLVENTE Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA PROMEDIO DEL MATERIAL: TPB-A _____	134
FIGURA 4.25	ENVOLVENTE Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA PROMEDIO DEL MATERIAL: TPB-L _____	135
FIGURA 4.26	ENVOLVENTE Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA PARA TODOS LOS MATERIALES CSR (2018) Y GIA (2013) _____	135
FIGURA 4.27	ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE LAS FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES _____	163
FIGURA 5.1	TEMPERATURA: ESTACIÓN VITELMA _____	172
FIGURA 5.2	HUMEDAD RELATIVA: ESTACIÓN VITELMA _____	172
FIGURA 5.3	BRILLO SOLAR: ESTACIÓN VITELMA _____	173
FIGURA 5.4	EVAPORACIÓN: ESTACIÓN VITELMA _____	174
FIGURA 5.5	PRECIPITACIÓN: ESTACIONES VITELMA, SANTA LUCÍA _____	174
FIGURA 5.6	PRECIPITACIÓN: ESTACIONES EL DELIRIO, JUAN REY _____	175
FIGURA 5.7	CURVA IDF, ESTACIÓN VITELMA _____	176
FIGURA 5.8	RED DE DRENAJE EN LA CIUDELA SANTA ROSA _____	178
FIGURA 5.9	RED DE ACUEDUCTO MAYOR Y MENOR _____	190

FIGURA 5.10	RED DE ALCANTARILLADO _____	191
FIGURA 5.11	RED DE ALCANTARILLADO _____	192
FIGURA 5.12	RED TELEFÓNICA _____	195
FIGURA 5.13	RED DE GAS NATURAL _____	196
FIGURA 5.14	RED DE ENERGÍA ELÉCTRICA _____	197

LISTA DE PLANOS

PLANO 1	LOCALIZACIÓN
PLANO 2A	MAPA BASE: LEVANTAMIENTO CONVENCIONAL
PLANO 2B	MAPA BASE: LEVANTAMIENTO UAV
PLANO 3	GEOLOGÍA REGIONAL
PLANO 4	GEOLOGÍA LOCAL
PLANO 4A	MODELOS GEOLÓGICOS - GEOTÉCNICOS
PLANO 4B	MODELOS GEOLÓGICOS – GEOTÉCNICOS
PLANO 4C	MODELOS GEOLÓGICOS - GEOTÉCNICOS
PLANO 5	GEOMORFOLOGÍA
PLANO 6	ZONAS HOMOGÉNEAS
PLANO 7	COBERTURA Y USOS DEL SUELO
PLANO 8	HIDROGEOLOGÍA
PLANO 8A	SISTEMA DE FLUJO
PLANO 8B	LOCALIZACIÓN DE MODELOS HIDROGEOLOGÍCOS: LÍNEAS PIEZOMÉTRICAS
PLANO 8C	LÍNEAS PIEZOMÉTRICAS
PLANO 8D	LÍNEAS PIEZOMÉTRICAS
PLANO 9	ZONIFICACIÓN DE AMENAZA
PLANO 10	AMENAZA CON OBRAS
PLANO 11	LOCALIZACIÓN GENERAL DE OBRAS
PLANO 12	DISEÑOS HIDRÁULICOS: PERFILES
PLANO 13	DISEÑOS HIDRÁULICOS: DETALLES
PLANO 14	DISEÑOS HIDRÁULICOS: ZONA DE CAMBIO Y REPARACIÓN ALCANTARILLADO

PLANO 15	DRENES HORIZONTALES
PLANO 16	PANTALLAS DE PILOTES PP1, PP2 Y PP3
PLANO 17	PANTALLAS DE PILOTES PP4, PP5, PP6 Y PP7
PLANO 18	PANTALLAS DE PILOTES PP8, PLP9 Y PP10
PLANO 19	RECONFORMACIÓN GEOMÉTRICA LADERA
PLANO 20	RECONFORMACIÓN GEOMÉTRICA LADERA
PLANO 21	PANTALLA DE PILOTES 1-PP1: PLANTA DE LOCALIZACIÓN – PERFIL – CORTES – CUADRO GENERAL DE CANTIDADES
PLANO 22	PANTALLA DE PILOTES 1-PP1: PLANTA – CORTES – PILOTE - DIMENSIONES Y REFUERZO
PLANO 23	PANTALLA DE PILOTES 2-PP2: PLANTA DE LOCALIZACIÓN – PERFIL – CORTES – CUADRO GENERAL DE CANTIDADES
PLANO 24	PANTALLA DE PILOTES 2-PP2: PLANTA – CORTES – PILOTE - DIMENSIONES Y REFUERZO
PLANO 25	PANTALLA DE PILOTES 3-PP3: PLANTA DE LOCALIZACIÓN – PERFIL – CORTES – CUADRO GENERAL DE CANTIDADES
PLANO 26	PANTALLA DE PILOTES 3-PP3: PLANTA – CORTES – PILOTE - DIMENSIONES Y REFUERZO
PLANO 27	PANTALLA DE PILOTES 4-PP4: PLANTA DE LOCALIZACIÓN – PERFIL – CORTES – CUADRO GENERAL DE CANTIDADES
PLANO 28	PANTALLA DE PILOTES 4-PP4: PLANTA – CORTES – PILOTE - DIMENSIONES Y REFUERZO
PLANO 29	PANTALLA DE PILOTES 5-PP5: PLANTA DE LOCALIZACIÓN – PERFIL – CORTES – CUADRO GENERAL DE CANTIDADES
PLANO 30	PANTALLA DE PILOTES 5-PP5: PLANTA – CORTES – PILOTE - DIMENSIONES Y REFUERZO
PLANO 31	PANTALLA DE PILOTES 6-PP6: PLANTA DE LOCALIZACIÓN – PERFIL – CORTES – CUADRO GENERAL DE CANTIDADES
PLANO 32	PANTALLA DE PILOTES 6-PP6: PLANTA – CORTES – PILOTE - DIMENSIONES Y REFUERZO

PLANO 33	PANTALLA DE PILOTES 7-PP7: PLANTA DE LOCALIZACIÓN – PERFIL – CORTES - CUADRO GENERAL DE CANTIDADES
PLANO 34	PANTALLA DE PILOTES 7-PP7: PLANTA – CORTES – PILOTE - DIMENSIONES Y REFUERZO
PLANO 35	PANTALLA DE PILOTES 8-PP8: PLANTA DE LOCALIZACIÓN – PERFIL – CORTES - CUADRO GENERAL DE CANTIDADES
PLANO 36	PANTALLA DE PILOTES 8-PP8: PLANTA – CORTES – PILOTE - DIMENSIONES Y REFUERZO
PLANO 37	PANTALLA DE PILOTES 9-PP9: PLANTA DE LOCALIZACIÓN – PERFIL – CORTES - CUADRO GENERAL DE CANTIDADES
PLANO 38	PANTALLA DE PILOTES 9-PP9: PLANTA – CORTES – PILOTE - DIMENSIONES Y REFUERZO
PLANO 39	PANTALLA DE PILOTES 10-PP10: PLANTA DE LOCALIZACIÓN – PERFIL – CORTES - CUADRO GENERAL DE CANTIDADES
PLANO 40	PANTALLA DE PILOTES 10-PP10: PLANTA – CORTES – PILOTE - DIMENSIONES Y REFUERZO
PLANO 41	ESTRUCTURA DE DESARENADORES SUBDREN 1 Y 3
PLANO 42	ESTRUCTURA DE DESARENADORES SUBDREN 2
PLANO 43	ESTRUCTURA DE ENTREGA DE CUNETAS A POZO PZ-140: DETALLES – SECCIÓN TÍPICA SUBDREN 1 –DIMENSIONES Y REFUERZO
PLANO 44	ESTRUCTURA DE CAÍDA TÍPICA – DETALLE DE CUNETA TIPO – DIMENSIONES Y REFUERZO

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A	DIAGNÓSTICOS
ANEXO A.1	DIAGNÓSTICOS
ANEXO A.2	FICHAS DE SÍNTESIS
ANEXO A.3	CORRESPONDENCIA
ANEXO B	TOPOGRAFÍA
ANEXO B.1	CARTERA ELECTRÓNICA
ANEXO B.1.1	DATOS CRUDOS

- ANEXO B.1.2 CERTIFICADO PUNTO DE AMARRE
- ANEXO B.1.3 CÁLCULO GPS
- ANEXO B.2 COORDENADAS Y CIERRE
 - ANEXO B.2.1 POLIGONAL DE CIERRE
 - ANEXO B.2.2 LISTADO DE COORDENADAS
- ANEXO B.3 AMOJONAMIENTO
 - ANEXO B.3.1 GPS1
 - ANEXO B.3.2 GPS2
 - ANEXO B.3.3 AUX4
- ANEXO B.4 CERTIFICADOS
- ANEXO B.5 FOTOGRAMETRÍA Y VIDEO DE RECONOCIMIENTO
 - ANEXO B.5.1 FOTOGRAMETRÍA
 - ANEXO B.5.2 VIDEO DE RECONOCIMIENTO
- ANEXO B.6 ARCHIVOS DE CONTROL O GCPS
- ANEXO B.7 PLAN DE VUELO
 - ANEXO B.7.1 MISIONES
 - ANEXO B.7.2 NUBE DE PUNTOS
- ANEXO B.8 DSM, DTM Y ORTOMOSAICO
 - ANEXO B.8 DSM
 - ANEXO B.8 DTM
 - ANEXO B.8 ORTOMOSAICO
- ANEXO C GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGÍA**
 - ANEXO C.1 LEVANTAMIENTO ESTRUCTURAL
 - ANEXO C.2 INVENTARIO DE PROCESOS
- ANEXO D GEOTECNIA**
 - ANEXO D.1 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO
 - ANEXO D.1.1 CSR (2018)
 - ANEXO D.1.1.1 APIQUES
 - ANEXO D.1.1.2 SONDEOS

ANEXO D.1.1.3 LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICA - LRS

ANEXO D.1.1.4 SEV Y TOMOGRAFÍAS

ANEXO D.1.1.5 REGISTRO FOTOGRÁFICO

ANEXO D.1.2 OTROS CONSULTORES

ANEXO D.2 ENSAYOS DE LABORATORIO

ANEXO D.2.1 CSR (2018)

ANEXO D.2.2 OTROS CONSULTORES

ANEXO E HIDROLOGIA Y USO DEL SUELO

ANEXO E.1 HIDROLOGÍA

ANEXO E.1.1 PARÁMETROS CLIMÁTICOS

ANEXO E.1.2 REGISTRO PLUVIOMÉTRICO

ANEXO E.1.3 DISTRIBUCIÓN DE INTENSIDAD Y PRECIPITACIÓN

ANEXO E.1.4 CÁLCULO DE LA PENDIENTE PONDERADA

ANEXO E.1.5 ESQUEMA DE LOCALIZACIÓN Y SECCIONES TRANSVERSALES

ANEXO E.2 REDES

ANEXO E.2.1 RED SANITARIA Y PLUVIAL

ANEXO E.2.1.1 RED SANITARIA

ANEXO E.2.1.2 RED FLUVIAL

ANEXO E.2.2 CÁMARAS ETB

ANEXO E.2.3 INVENTARIO DE POSTES

ANEXO F HIDROGEOLOGIA

ANEXO F.1 PROVINCIA HIDROGEOLÓGICA

ANEXO F.2 DATOS DE PRECIPITACIÓN

ANEXO F.3 REPORTE DE LLUVIAS

ANEXO F.4 ENSAYOS FISICO-QUÍMICOS

ANEXO G AMENAZA

ANEXO G.1 ANÁLISIS PARAMÉTRICO

ANEXO G.1.1 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA

ANEXO G.1.2 ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD

- ANEXO G.1.3 MACIZO ROCOSO: VARIABILIDAD
- ANEXO G.2 CALIBRACIÓN
- ANEXO G.3 SUPERFICIES CRÍTICAS
 - ANEXO G.3.1 RELLENOS SUPERFICIES ROTACIONALES
 - ANEXO G.3.2 SUELO RESIDUAL SEMIINFINITO
 - ANEXO G.3.3 MACIZO POBRE
 - ANEXO G.3.4 MACIZO REGULAR
- ANEXO G.4 FS Y PR DE FALLA: OTROS MECANISMOS
 - ANEXO G.4.1 RELLENOS SUPERFICIES ROTACIONALES
 - ANEXO G.4.2 SUELO RESIDUAL SEMIINFINITO
 - ANEXO G.4.3 MACIZO POBRE
 - ANEXO G.4.4 MACIZO REGULAR
- ANEXO G.5 DISTANCIAS DE VIAJE
- ANEXO G.6 EVALUACIÓN DE AMENAZA
- ANEXO H VULNERABILIDAD**
 - ANEXO H.1 INSUMOS
 - ANEXO H.1.1 INSTRUCTIVO
 - ANEXO H.1.2 FORMATO
 - ANEXO H.2 INVENTARIO DE VIVIENDAS
 - ANEXO H.3 REGISTRO FOTOGRÁFICO
- ANEXO I ALTERNATIVAS**
 - ANEXO I.1 PREDISEÑO ALTERNATIVAS
 - ANEXO I.2 AMENAZA CON OBRAS
 - ANEXO I.3 CANTIDADES DE OBRA
 - ANEXO I.4 APUS DE REFERENCIA
- ANEXO J VIABILIDAD PREDIAL**
 - ANEXO J.1 PROYECCIÓN URBANÍSTICA
 - ANEXO J.2 DISTRIBUCIÓN CATASTRAL
 - ANEXO J.2.1 OFICIOS

ANEXO J.2.2	DISTRIBUCIÓN CATASTRAL
ANEXO J.3	CONCEPTOS PEDIALES
ANEXO J.3.1	CERTIFICADO DE BIENES
ANEXO J.3.2	PREDIOS TRANSFERENCIA DADEP
ANEXO J.3.3	SENTENCIAS
ANEXO J.4	CERTIFICADO DE TRADICIÓN Y LIBERTAD
ANEXO J.5	ESTUDIO TÍTULOS
ANEXO K	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
ANEXO K.1	ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
ANEXO K.2	CONST: CAMPAMENTO
ANEXO K.3	LOCALIZACIÓN REDES SUBTERRÁNEAS
ANEXO L	DISEÑOS
ANEXO L.1	MEMORIAS DE CÁLCULO GEOTÉCNICO
ANEXO L.2	DISEÑO ESTRUCTURAL
ANEXO L.3	DISEÑO HIDRÁULICO
ANEXO L.4	PRESUPUESTO
ANEXO L.4.1	APU Y CANTIDADES DE OBRA
ANEXO L.4.2	ESTUDIO DE MERCADOS
ANEXO L.5	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES Y FLUJO MENSUAL
ANEXO L.6	MANUAL DE DETALLES Y PROCESOS CONSTRUCTIVOS
ANEXO M	PGS - PMA - PMT
ANEXO M.1	PLAN DE GESTIÓN SOCIAL
ANEXO M.2	PLAN DE MANEJO AMBIENTAL
ANEXO M.3	PLAN DE MANEJO DE TRÁNSITO

GLOSARIO, SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

GLOSARIO

AGUA SUBSUPERFICIAL: Es el agua que se halla en la litosfera en estado sólido, líquido o gaseoso. Incluye el agua que se encuentra por debajo de la superficie del terreno y por debajo de los reservorios de agua superficial. (Bates y Jackson, 1980).

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).

BOQUETE: Agujero o abertura irregular.

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).

DESLIZAMIENTO: 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 traslacional 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.

EXÓGENO: Fuerza externa que obra sobre algo.

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).

FLUJO SUPERFICIAL: Parte de la precipitación que fluye por la superficie del suelo y se concentra en los cauces y cuerpos de agua. (IDEAM, 2010).

FLUJO SUBSUPERFICIAL: Cualquier flujo que se produce por debajo de la superficie del terreno que puede contribuir al interflujo, al flujo base o a la percolación profunda. (WMO and UNESCO, 2012).

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.

INFILTRACIÓN: Es el proceso por el cual el agua penetra en el suelo, a través de la superficie de la tierra, y queda retenida por ella o alcanza un nivel acuífero incrementando el volumen.

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.

MODELO HIDROGEOLÓGICO: Representación física o numérica de un sistema hidrogeológico real (Córdoba y Meffe, 2013). Hay dos tipos, uno conceptual y uno numérico, el primero es una representación gráfica del sistema de flujo del agua subterránea que se realiza incorporando toda la información geológica e hidrogeológica disponible en un simple esquema del modelo a realizar (Anderson y Woessner, 1992). El segundo es una representación matemática de un ambiente real, trabaja con métodos de prueba y error y aproximaciones sucesivas. (Galindo, 1999).

PERFIL: Es la secuencia y conjunto de horizontes de un suelo; corte vertical hecho en el suelo a fin de hacer un estudio.

PROCESOS MORFODINÁMICOS: Están representados por fenómenos de remoción y acumulación que han evolucionado con el tiempo, a través de factores como la tectónica, el clima y los factores antrópicos.

REPTACIÓN: Es el movimiento lento e imperceptible del material

RETROCESO: Movimiento hace atrás en el tiempo o en el espacio.

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.

SUBDRÉN: Consiste en una red colectora de tubería perforada o ranurada, alojadas en zanjas para permitir recolectar el agua subterránea, con el objetivo de retirarla y tirarla, minimizando su efecto negativo.

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 desliza. En algunos movimientos no hay superficie de falla. (Suárez J., 2009).

SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA: Lugar geométrico de los puntos de igual nivel piezométrico dentro de la formación. (Gonzales, 2002).

SUPERFICIE FREÁTICA: Es la superficie formada por los puntos con una presión igual a la presión atmosférica. (Sánchez, 2008).

SURCO: Abertura o hendidura alargada que se hace en la tierra.

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.

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.
 $\gamma_d (T/m^3)$: peso unitario seco.
 $\gamma_t (T/m^3)$: peso unitario total.
L_L: Límite Líquido.
L_P: Límite Plástico.
IL: Índice de Liquidez
q_u(S): Compresión inconfiada en suelo.
q_u(R): Compresión inconfiada en roca.
G_s: Gravedad específica.
PT200: Pasa Tamiz No. 200.
C_C: Coeficiente de Consolidación.
C_R: Coeficiente de Reconsolidación.
C_D: Corte Directo.
C_P: Carga Puntual.
N_i: Número de golpes corregido para un esfuerzo de confinamiento de 1 Kg/cm².
 $\phi_{eq}(\circ)$: ángulo de fricción equivalente.
c'(Kg/cm²): Cohesión.
 $\phi'(\circ)$: ángulo de fricción.
 $\sigma_c(Kg/cm^2)$: Resistencia a la compresión simple.
 ϕ_R : Ángulo de fricción residual.
P₊: probabilidad de ocurrencia del evento crítico
P₋: probabilidad de no ocurrencia del evento crítico
a_h: Coeficiente de aceleración horizontal del terreno
p_n: Probabilidad para exposición de n años
p: probabilidad anual (= 1/475)
RE: Recuperación económica en años
%Pérdidas: Fracción del patrimonio.
CE: Capacidad de endeudamiento
P_f: Probabilidad de falla
C_f: Costo de falla
P_f: Probabilidad de falla
IVF: Índice de vulnerabilidad física.
TD: Tasa de daño.
FS: Factor de seguridad.
RQD: Rock Quality Designation.
 η_1 : 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.

CAPÍTULO 1

DIAGNÓSTICO Y GENERALIDADES

DIAGNÓSTICO Y GENERALIDADES

1.1 INTRODUCCIÓN

Al suroriente del Distrito Capital, en las faldas de los cerros orientales y de la cuenca de la quebrada Los Toches, en uno de los más tardíos (e irregulares) reductos de explotación minera de la localidad de San Cristóbal (promovido al término de los años setenta y enfatizado en los noventa), más tarde transformada a uno de los procesos de urbanización formal, desde los albores del siglo XXI, la pequeña comunidad de la Ciudadela Santa Rosa, demarcada por 625 lotes y 953 unidades habitacionales, ha estado sometida al sino de los procesos de inestabilidad y de erosión interna. Eventos que aunque poco frecuentes, y en medida alguna conocidos (por propios y extraños), con el pasar de los años y con la mayor intensidad de las lluvias durante los inviernos, han aumentado su participación.

Tal ha sido el impacto y la trascendencia de los fenómenos, ante todo de los hidrológicos e hidrogeológicos, que en el primer lustro, luego de terminada la construcción, desataron algunas averías en un grupo de casas. Perjuicios que si bien, aún hoy día tienen origen incierto, en apariencia no involucran a los procesos de inestabilidad, ni comprometieron la vida de los habitantes, ni la permanencia de las edificaciones (tal y como lo ratifica el concepto técnico CT-4361 de 2006) sí forjaron un estado “aparente” de riesgo y de emergencia.

Escenario cuyas secuelas se extendieron fuera del alcance de los muros y de las estructuras del conjunto. Debilito 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 256 familias de la ciudadela y despertó su inquietud por conocer la suerte de sus vidas y de sus propiedades más preciadas. Preocupación llevada a los tribunales, y en parte subsanada por el Tribunal Administrativo de Cundinamarca, y por la Sección Tercera, de la Sala de lo Contencioso Administrativo del Consejo de Estado en sentencias proferidas en el 2004 y en el 2007, respectivamente, que declararon responsable al Distrito Capital de Bogotá y a la Constructora Santa Rosa de los daños sufridos por las viviendas.

Santa Rosa, a diferencia de la aparente calma y de la simplicidad del caso (calificativo otorgado por algunos profesionales del medio y por uno que otro documento técnico) y de sus, relativamente, intrascendentes manifestaciones (hasta ahora), pone de relieve, al margen de los desastros ambiental y de planificación patentes al borrar y poblar cursos de agua, 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

IDIGER	CONSORCIO SANTA ROSA	GIA-085-18		INFORME FINAL - PÁG. 27	
VERSIÓN:	3			FECHA	16/04/18
ELABORÓ:	JALG, JVGA, CRL	REVISÓ:	JALG5	APROBÓ:	JAML

seguimiento y la constancia, al margen de las dudas y de la reacción de los moradores y de alguna fracción de las agremiaciones profesionales, tiene sus frutos.

Este informe plantea (de manera aproximada) las hipótesis sobre la incubación de los mecanismos de deslizamiento, moldeadores del relieve al norte y al nororienté, y del flujo subterráneo, y bosqueja la diagnosis de la información y el plan de acción a seguir en el estudio, en lo que atañe a la prospección geotécnica e hidrogeológica (entendida como la exploración del subsuelo). Es escrito por el grupo técnico de la empresa consultora adjudicataria del estudio en el barrio; pero al margen del compromiso jurídico, es un primer intento de delinear elementos de juicio sobre el fenómeno y de la forma como se atenderá la investigación, de manera que puedan ser debatidos, y si es conveniente den lugar a los correctivos pertinentes que conduzcan a la solución más encomiable.

1.2 LOCALIZACIÓN

La Urbanización Ciudadela Santa Rosa, se erige en el espacio catastral Altos de Zipa, al suroriente de Bogotá, en la vertiente izquierda (o austral) del río San Cristóbal, jurisdicción político administrativa de la Localidad de San Cristóbal; está adosada entre la carrera 13 b este (o antigua vía a Villavicencio) y la carrera 18 este, y desde la calle 41 b sur hasta la calle 40 b bis sur (tal y como se delinea en el *Plano 1*). La surca al norte y al orienté un lote baldío, definido como prioridad de prevención desde el año 2004 e incluido dentro de las Franjas de Adecuación de la urbanización y de Protección de la Reserva Forestal Protectora Bosque Oriental de Bogotá; al sur la extensa comunidad de Moralba y de Altos del Zuque, y al occidenté el barrio de San José Sur Oriental. Su extensión superficial, cubierta por 17 manzanas, que acogen 953 unidades residenciales, distribuidas en 399 apartamentos, integrados en los bloques 93, 94, 95, 96, 97 y 98, y 554 viviendas, reunidas en las manzanas 63, 64, 65, 71, 72, 78, 79, 80 y 8, congrega 6.3 hectáreas, talladas entre los 2995 msnm de altitud, al tope de las laderas, y los 2887, en la franja más baja. Polígono circunscrito por las coordenadas planas relacionadas en la *Tabla 1.1*.

TABLA 1.1 MARCO DE TRABAJO

NORTE (M)	ESTE (M)
94566.3	99323.4
94571.8	99563.6
94597.1	99563.6
94597.1	99674.5
99674.4	99674.4
94577.7	99878.3
94473.3	99878.7
94478.9	99323.8

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

1.3 DIAGNÓSTICO

1.3.1 DESCRIPCIÓN DEL MEDIO Y DEL FENÓMENO

La Ciudadela Santa Rosa reposa o en vastos dominios de las arcillolitas (o lodolitas) de la formación Bogotá (distintivo proyectado en el *Plano 3*), eventualmente interrumpidas por delgadas intercalaciones de areniscas, o en arreglos estratigráficos en los que toman lugar protagónico los paquetes de las areniscas y las arcillolitas ocupan lugar secundario (caso particular de la configuración al occidente de la Ciudadela), unos y otros parcialmente cubiertos por delgados (posiblemente inferiores a los tres metros de espesor) horizontes de suelos residuales y por rellenos antrópicos. Las exposiciones del material rocoso son notorias y recurrentes en los cortes al norte y al este del conjunto (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 una y dos viviendas, pero con dominio de los segundos.



FOTO 1.1 BANCOS DE ARENISCAS Y LODOLITAS DE LA FORMACIÓN BOGOTÁ AL NORTE DE LA URBANIZACIÓN



FOTO 1.2 AFLORAMIENTO DE ARENISCAS QUE FORJAN CONTRAPENDIENTES ESTRUCTURALES EN EL CORREDOR SURESTE DE LA CIUDADELA

La secuencia estratigráfica descansa en posición (promedio) bien N10E/47SE o bien N69E/30NW o N09W/45SW (abstraído y extrapolado de GIA, 2012, y tomados en campo por el CONSORCIO SARA ROSA, 2018) y reproducido en el Plano 3), pero con algunas variaciones en el buzamiento que tocan los 79°, concordante no sólo con el orbe general al norte y al occidente, como lo ratifica el arreglo en los barrios Amapolas, y en las Urbanizaciones La Roca y Buena Vista Sur Oriental Etapas I, II y III (ordenamiento sintetizado en el Plano 3), sino con la polaridad del plano de estratificación de las fuentes secundarias (entre ellas el Ingeocim-Upes-Fopae, 1998, GIA, 2009 y 2012), pero no libre de la influencia de la compleja sistemática de fallas circunvecinas (entre ellas la asociada con la falla de Bogotá), que hace que la estratificación se bascule al suroriente. Particularidades que abren el compás para que la vertiente se exponga como una transición entre una pendiente estructural y una contrapendiente, y que inciden notoriamente en la red de monitoreo, en el patrón de flujo y en el modelo hidrogeológico.

La morfología hoy día es consecuencia directa del accionar minero y urbanizador, a tal punto que desplazaron y canalizaron el cauce de la quebrada, borraron dos sus tributarios y redefinieron la expresión de la microcuenca en la que reposa la urbanización, es decir es sine qua non antrópica. Encierra plataformas aterrazadas, con diferencias de hasta un metro y medio de altura, esculpidas en los rellenos y en los suelos residuales, y taludes mineros, de hasta 3 metros de altura, reconvertidos en roca. Unidad última rectora del límite oriental del polígono de estudio, y promotora de uno de los principales escenarios móviles. Al margen de toda esta transformación, las laderas conservan la pendiente media de 18°, y son el ambiente propicio para la incubación de erosión interna, de desprendimientos, y de flujos y de deslizamientos traslacionales locales (diagraman los espacios principales de amenaza), máxime porque los patrones de flujo superficial y profundo conservan sus rasgos básicos y su notable influencia.

1.3.2 CONCEPTUALIZACIÓN PRELIMINAR (AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO)

La participación de sólo dos masas de deslizamiento, propias más de desprendimientos, dormidas y delgadas (de menos de tres metros de ancho y alrededor de un par de metros de longitud), activadas por las roturas de las líneas de servicio, a lo largo de los casi veinte años de vida de la urbanización, y de un generoso flujo de tierras, espeso, incubado en la margen derecha de la quebrada; la permanencia de algunos de los agentes condicionantes intrínsecos, entre ellos la disposición estructural, el dominio de los espesos paquetes de arcillolita (blandos y fácilmente meteorizables) y de los rellenos, y la condición del macizo (clasificado entre regular y pobre); el patrón de drenaje, borrado o alterado en superficie; y la mediana altura de los taludes, justifican y califican el estado de amenaza hoy día oscilante entre medio y bajo. Condición que alberga los bordes norte, central y oriental si se trata del primer estadio, y el resto del predio en lo que atañe al segundo.

Respuesta similar dibujan la vulnerabilidad y el riesgo. Las dos se exponen casi como una copia de la amenaza; los mayores índices, rotulados en medio, los describen las cerca de ciento veinte viviendas contiguas a los taludes más pronunciados al norte y al oriente; las demás edificaciones (poco más de quinientas) se posicionan en baja, en parte explicado por el menguado potencial de daño de los procesos.

1.4 ANTECEDENTES

Los pormenores y las particularidades de todo el conjunto de eventos reposan en la Tabla 1.2, en la Tabla 1.3 y en la Tabla 1.4, y en el Anexo A.1.

TABLA 1.2 DIAGNÓSTICOS TÉCNICOS EMITIDOS POR EL IDIGER

DOCUMENTO	FECHA	BARRIO	ELABORÓ	DESCRIPCIÓN	CONCLUSIONES /RECOMENDACIONES
DI-659	Junio 1 de 1999	Ciudadela Santa Rosa	Ing. Germán Darío Tapia Muñoz	En la parte alta de la ladera, en el espacio sin urbanizar, se abren paso antiguos nacederos y corrientes de agua, que con el correr del tiempo han forjado cárcavas en amplios predios. Las viviendas de la manzanas 63, 64 y 65 y sus vías perimetrales, exhiben grietas con aberturas medias de 5.0 mm y afloramientos de agua limpia, aún en periodos secos.	<ul style="list-style-type: none"> - Los altos niveles freáticos altos y los flujos, pueden estar generando, por una parte la saturación y el incremento de la presión de poros, y por otra, reblandecimiento, erosión interna e incluso tubificación, que se traducen en la disminución de la capacidad portante del suelo de cimentación. - Es pertinente: a) revisar los sistemas de drenaje de aguas blancas y negras de la urbanización y reconfigurar las obras de canalización y drenaje del corredor oriental de la urbanización; y b) acometer un estudio detallado que permita evaluar con precisión el problema de la urbanización.
DI-1292	Octubre 26 de 2001	Santa Rosa – Altos de Zipa	Ing. Edson Orlando Hoyos Cerón	Las viviendas revelan problemas de humedad, asentamientos y deformación general en la estructura, específicamente las de la Cll 40A Sur N°17A-11 Este, la Cll 40A Sur N° 17A-75 Este, la Cll 41 Sur N° 17A-74, la Cll 41 Sur N° 17A-80, la Cll 41 Sur N° 17A-84 y la Cll 41 Sur N° 17A-86. Sin embargo, no se evidencian problemas generalizados de inestabilidad.	<ul style="list-style-type: none"> - Los daños locales parecen estar o no vinculados con antiguos flujos de tierra y con la participación de rellenos antrópicos en antiguos drenajes, deficientemente compactados. - Se propone adelantar el estudio y los diseño de las obras de reparación de las viviendas afectadas.
DI-1636	Noviembre 21 de 2002	Urbanización Santa Rosa	Ing. Carlos Eduardo Motta Tierradentro	Revisión del estado estructural del apartamento 101, adosado en la Cll 41B Sur N°14A-12 Este.	Si bien se descarta la participación de procesos relevantes de inestabilidad, son frecuentes los focos de humedad, atribuidos a aguas subsuperficiales que fluyen por antiguos cursos de agua que discurrían por la urbanización, hoy día tapados o por antiguos flujos o por rellenos antrópicos.

FUENTE: SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO Y CAMBIO CLIMÁTICO – SIRE (2018)

TABLA 1.3 DIAGNÓSTICOS TÉCNICOS EMITIDOS POR EL IDIGER (CONTINUACIÓN)

DOCUMENTO	FECHA	BARRIO	ELABORÓ	DESCRIPCIÓN	CONCLUSIONES /RECOMENDACIONES
DI-1652	Noviembre 21 de 2002	Urbanización Santa Rosa	Ing. Carlos Eduardo Motta Tierradentro	Evalúa la respuesta estructural del apartamento 301, asentado en la CII 41B Sur N°14A-24 Este	Estructuralmente el apartamento opera en buen estado y dista de presentar daños estructurales.
DI-1638	Noviembre 22 de 2002	Urbanización Santa Rosa	Ing. Carlos Eduardo Motta Tierradentro	Ausculta el sistema estructural de la casa, CII 41 Sur N°17A-39 Este.	<ul style="list-style-type: none"> - Los inconvenientes de humedad se atribuyen al agua subsuperficial que, posiblemente, discurre por el suelo de fundación. No obstante, el predio yace en buen estado y carece de daños estructurales. - El bloque de casas en el que esta cimentada la vivienda no exhiben problemas de inestabilidad por fenómenos en remoción en masa
DI-1676	Enero 15 de 2003	Urbanización Santa Rosa	Ing. Carlos Eduardo Motta Tierradentro	Determina el estado estructural de cerca de 42 unidades habitacionales, apartamentos y casas, debido a los reportes de humedad, agrietamiento en los elementos estructurales y deformación de los elementos urbanísticos, paisajísticos e hidráulicos.	<ul style="list-style-type: none"> - La humedad en las viviendas se le puede atribuir a la falta de mantenimiento de los sistemas de drenaje de aguas lluvias, a las fugas en las instalaciones hidráulicas, a la ausencia de impermeabilización o a los flujos superficiales. - Las fallas estructurales pueden ser por la inadecuada compactación de los llenos, la pérdida de resistencia del suelo de fundación, y la deficiencia o la irregularidad o la discontinuidad de los elementos estructurales y de sus amarres. - Se recomienda adelantar las reparaciones necesarias en las viviendas y continuar con el mantenimiento periódico en la urbanización.
DI-2135	Septiembre 27 de 2004	Urbanización Santa Rosa	Ing. Carlos Eduardo Motta Tierradentro	Atiende el Deslizamiento transnacional causado por la meteorización y la alta pendiente del talud, enmarcado al costado sur de la Calle 41 B sur frente a las viviendas N° 17A-42 Este a la N° 17A-62, de un depósito fluvioglacial.	Incluir en la base de datos de sitios críticos por fenómenos de remoción en masa para intervención con obras de mitigación.

FUENTE: SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO Y CAMBIO CLIMÁTICO – SIRE (2018)

TABLA 1.4 CONCEPTOS TÉCNICOS EMITIDOS POR EL IDIGER

DOCUMENTO	FECHA	BARRIO	ELABORÓ	DESCRIPCIÓN	CONCLUSIONES /RECOMENDACIONES
CT-613	Junio 22 de 1995	Alpes de Zipa	Geol. Albeiro Rincón	Visita técnica al área de trabajo con el objeto de revisar el avance de las obras de estabilización del terreno	<ul style="list-style-type: none"> - Las obras se encuentran en un estado de avance entre el 80% y el 90%. - Se sugiere realizar una nueva visita de campo para supervisar las obras.
CT-4361	Marzo 13, 18 y 19 de 2006	Urbanización Ciudadela Santa Rosa (Alpes de Zipa)	Ing. Edson Orlando Hoyos Cerón	Evaluación de la condición de estabilidad de todas los predios de la Ciudadela Santa Rosa y revisión de la información secundaria: el informe de la secretaria de obras públicas, los diagnósticos técnico, los dictámenes periciales y la sentencia	Revisada la documentación de los antecedentes en la urbanización, se establece que las conclusiones de unos y de otros carecen de soporte técnico, pues a la fecha no se han realizado estudios de rigor que ratifiquen el estado del suelo y de las estructuras. En este sentido, se recomienda realizar un estudio de riesgos por compresibilidad, expansibilidad, dispersibilidad, colapsabilidad del terreno por procesos de remoción en masa y evaluación de alternativas de mitigación y diseño de medidas, y mantener monitoreo constante en la urbanización.

FUENTE: SISTEMA DE INFORMACIÓN PARA LA GESTIÓN DEL RIESGO Y CAMBIO CLIMÁTICO – SIRE (2018)

1.5 LIMITACIONES

Las tareas con los mayores traumatismos en la ejecución del estudio son la exploración del subsuelo, la topografía y la evaluación patológica de las viviendas. La marcada inseguridad reinante en la urbanización y la falta de protección y acompañamiento de las autoridades, al margen de la buena disposición de la comunidad, de los buenos oficios del IDIGER y de la dedicación y de los ingentes esfuerzos de la consultoría para llevar a buen término el proceso, redundan en que las labores de campo se prolonguen más tiempo que el acordado contractualmente, que incluso puede llegar a ser el doble. Excesivo para las necesidades del proyecto, e inconveniente para la culminación de la geología local, de la caracterización geotécnica y del análisis de vulnerabilidad.

1.6 PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE ACTIVIDADES

1.6.1 RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN EXISTENTE

Esta etapa permite 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 vigentes en el barrio. Y en segundo lugar, es 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. Del extenso catálogo de documentos técnicos en manos de las entidades públicas (entre ellas El Acueducto, el IDIGER, el IGAC, las Alcaldías, la Dirección Administrativa de Planeación Distrital, etc.), tal vez los de mayor trascendencia para diagramar un esquema preliminar de la Ciudadela son:

1.6.1.1 INFORMACIÓN ESPECÍFICA

- CIVILES LTDA INGENIEROS CONSULTORES (1999). “Zonificación de Amenaza y Riesgo por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras para Estabilizar el Barrio Nueva España, Localidad de San Cristóbal”. IDIGER. Bogotá D. C.
- CHAVARRO M. CARLOS (2015). “Concepto Técnico CAR-2620, Altos de Zipa, Localidad de San Cristóbal”. IDIGER. Bogotá D. C.
- FRANCO RODOLFO (1993). “Estudio Geológico de la Urbanización Bosques de los Alpes Concepto, Localidad de San Cristóbal”. IDIGER. Bogotá D. C.
- GEOCING LTDA. (2010). “Estudios de Riesgos por Fenómenos de Remoción en Masa para el Barrio Moralba, Localidad de San Cristóbal”. IDIGER. Bogotá D. C.
- GIA CONSULTORES LTDA. (2013). “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 Buena Vista Sur Oriental II, Etapas I y II, Localidad de San Cristóbal”. IDIGER. Bogotá D. C.
- GIA CONSULTORES LTDA. (2009). “Estudio de Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa y Evaluación de Alternativas de Mitigación para la Urbanización Buena Vista Oriental III Etapa, Localidad de San Cristóbal”. IDIGER. Bogotá D. C.

- HIDROGEOLOGÍA Y GEOTECNIA LTDA. - HGA (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 ORLANDO (2001). "Diagnóstico Técnico DI-1292, Santa Rosa – Altos de Zipa, Localidad de San Cristóbal". IDIGER. Bogotá D. C.
- HOYOS C. EDSON ORLANDO (2006). "Concepto Técnico CT-4361, Urbanización Ciudadela Santa Rosa (Alpes de Zipa), Localidad de San Cristóbal". IDIGER. 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. C.
- INGECIENCIAS S.A. (2003). "Estudio de Riesgo por Remoción en Masa y Diseño Detallado de las Obras de Control, Protección y Estabilización en el Barrio San José Sur Oriental, Localidad de San Cristóbal". IDIGER. Bogotá D. C.
- INGENIERÍA Y GEOTECNIA LTDA (1995). "Estudio Geotécnico y de Cimentaciones Urbanización los Alpes de Zipa - Zona B - Avenida Ciudad de Villavicencio – calle 41 Sur, Santa Fé de Bogotá". CONSTRUCTORA SANTA ROSA. Bogotá D. C
- INGENIERÍA Y GEOTECNIA LTDA (1994). "Estudio de Suelos y Cimentaciones de la Urbanización los Alpes de Zipa, Avenida Ciudad de Villavicencio – calle 41 Sur Manzanas 63, 64, 65, 71, 72, 73, 79, 80, 81 y 93 a 98, Localidad de San Cristóbal". IDIGER. Bogotá D. C.
- 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.
- INGEOMINAS (1995). "Estudio Geotécnico Escuela Moralba, Localidad de San Cristóbal". IDIGER. Bogotá D. C.
- LEAL N. M., Y OTROS (2013). "Concepto Técnico CT-6889, Urbanización Ciudadela Santa Rosa – Sector Catastral Alpes de Zipa, Localidad de San Cristóbal". IDIGER. Bogotá D. C.
- MOTTA T. CARLOS E. (2002). "Diagnóstico Técnico DI-1636, Urbanización Santa Rosa, Localidad de San Cristóbal". IDIGER. Bogotá D. C.
- MOTTA T. CARLOS E. (2002). "Diagnóstico Técnico DI-1652, Urbanización Santa Rosa, Localidad de San Cristóbal". IDIGER. Bogotá D. C.
- MOTTA T. CARLOS E. (2002). "Diagnóstico Técnico DI-1638, Urbanización Santa Rosa, Localidad de San Cristóbal". IDIGER. Bogotá D. C.
- MOTTA T. CARLOS E. (2003). "Diagnóstico Técnico DI-1676, Urbanización Santa Rosa, Localidad de San Cristóbal". IDIGER. Bogotá D. C.
- MOTTA T. CARLOS E. (2004). "Diagnóstico Técnico DI-2135, Urbanización Santa Rosa, Localidad de San Cristóbal". IDIGER. Bogotá D. C.
- NIVIA Q. ÁLVARO (2000). "Estudio de Riesgo por Remoción en Masa y Diseño Detallado de las Obras de Control, Protección y Estabilización en el Barrio Nueva España, Localidad de San Cristóbal". IDIGER. Bogotá D. C.
- RINCÓN ALBEIRO (1995). "Concepto Técnico CT-613, Alpes de Zipa, Localidad de San Cristóbal". IDIGER. 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.
- TAPIA M., DARÍO G., (1999). "Diagnóstico Técnico DI-659, Ciudadela Santa Rosa, Localidad de San Cristóbal". IDIGER. Bogotá D. C

- UNIÓN TEMPORAL GEOTECNIA SAN CRISTÓBAL (2007). “Elaboración de Diseños de Obras, Presupuestos y Especificaciones Técnicas en Sitios Críticos de Riesgos Inminente por Remoción en Masa, Sitio 4- Barrio Nueva España, Localidad de San Cristóbal”. IDIGER. 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 D.C. Caja de Vivienda Popular. Bogotá D. C.

La auscultación de la información secundaria, con excepción de los diagnósticos que se debaten en el inciso 1.4, Antecedentes, de este capítulo, se aborda y compila en las fichas de síntesis para la evaluación, reunidas en el Anexo A.2. En ellas se indican los datos bibliográficos, las características específicas, el marco general y el enfoque de la investigación, y se precisa la utilidad, la aplicabilidad y las limitaciones de uso del documento y del acervo de información inmersa en él. Los estudios que tienen incidencia directa con los componentes se reseñan en los Capítulos 2, 3, 4 y 5, en concordancia con el tema en consideración. A todo lo anterior, se le suma las indagatorias en las entidades de servicios, entre éstas Codensa, Gas Natural, El Acueducto, ETB, Catastro y el IDIGER. Pesquisas y trazabilidad compiladas en el Anexo A.3. Sus objetivos, ampliar el marco de referencia para el estudio de las condiciones de vulnerabilidad y de riesgo y para el planteamiento de las alternativas, completar la construcción del Mapa Base, reconocer las fuentes de los agentes detonantes y dar instrumentos para la estructuración de los diseños detallados.

1.6.1.2 INFORMACIÓN DE REFERENCIA

Adicional a la información descrita en el acápite anterior, se toma en cuenta la bibliografía citada a continuación, que es fuente de consulta permanente y que enriquece las diferentes materias del estudio. Estos documentos son citados a lo largo de los diferentes capítulos e informes parciales del estudio:

- BOWLES J. (1988). “Foundation Analysis and Design”. Fifth Edition. 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 (2004). “Principles of Foundation Engineering”. 5E. California. Thomson Learning Inc.
- DAS BRAJA M. (1999). “Principios de Ingeniería de Fundaciones”. Cuarta Edición. California State University. Thomson Editores.
- DUNCAN C., WYLLIE (1999). “Foundations on Rock”. Second Edition. E & FN Spon. London.
- 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.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO Y OTROS (2004). “Ingeniería Geológica”. Pearson. Prentice Hall. Madrid, España.
- 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. National Research Council. USA.

1.6.1.3 INFORMACIÓN GEOMÁTICA

1.6.1.3.1 Cartografía Base

Reúne como elementos documentales básicos:

- GAS NATURAL (2018). "Infraestructura de Redes Construidas y Diseñadas de Polietileno y Acero".
- INSTITUTO DE DESARROLLO URBANO – IDU (2018). "Sistema de Información Geográfica – SIGIDU"
- INSTITUTO DISTRITAL DE GESTIÓN DE RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO – IDIGER (2018). "SIG Predial - SIRE".
- INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI – IGAC (1983). "Plano Aerofotogramétrico L-60, Es 1:2.000".
- INSTITUTO GEOGRAFICO AGUSTIN CODAZZI – IGAC (1960). "Plano Aerofotogramétrico L-60, Es 1:2.000".
- SECRETARÍA DISTRITAL DEL HÁBITAT – SDH (2004). "Geodatabase".
- UNIDAD ADMINISTRATIVA CATASTRO DISTRITAL – UAEC (2018). "Información Catastral".
- UNIDAD ADMINISTRATIVA CATASTRO DISTRITAL – IDECA (2016). "Información Catastral".

De este abanico el de la UAEC (2018) es el único útil para la construcción del mapa base. De él se extrae la división predial y los números de predio y de manzana, el IDECA (2016) y el IGAC (1983 y 1960), si bien encierran imprecisiones en altura y coordenadas (en especial el primero) nutren el análisis multitemporal y la geomorfometría (variable que se aborda en el Capítulo 2) y los modelos geológicos geotécnicos (tema que es parte integral del informe 3). Las demás fuentes permiten dilucidar la estructura en la ciudadela.

1.6.1.3.2 Geológica y Geomorfológica

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

Como instrumento adicional de los estudios y del diagnóstico y como parte esencial de la investigación geológica, geomorfológica e hidrogeológica, se examina un amplio ramillete de fotografías aéreas, que van desde la década del cincuenta hasta el siglo XXI (i.e. el 2004), las más significativas compiladas en el capítulo 3, y de imágenes satelitales, las de los años de 2000, 2010, 2015, 2016 y 2017, y dos juegos cartográficos a escala 1:2.000, uno del año 1960 y otro de 1983 (representados en la planchas L-50 y L-60 respectivamente). Su importancia: facilitar la reconstrucción de los procesos de inestabilidad, coadyuvar en la estructuración de los modelos geológicos-geotécnicos y en la demarcación de las unidades y de los rasgos estructurales y geomorfológicos. De las primeras sólo las de mejor escala se adquirieron.

Aunque algunos de los estudios abordan la geomorfología (hecho confirmado en el [Anexo A.2](#)) lo hacen a escala de detalle (1:500 o 1:1000), exclusivamente para espacios muy restringidos (los de los sitios de interés, todos lejanos de Santa Rosa) y con enfoques muy diversos, sin suficiente rigor ni un claro marco conceptual, baste señalar que entremezclan morfoestructura y morfodinámica o morfoestructura y morfogénesis, e incluso erróneo. Particularidades que desestiman su uso y los convierten en intrascendentes o inocuos.

1.6.1.4 HIDROGEOLÓGICA

Este campo congrega entre otras referencias:

- CAR (2006). “Inclusión del Balance Hídrico, Implementación del Modelo Hidrogeológico y Capacitación en Modflow Siam”.
- YACHIYO ENGINEERING CO LTDA (2008). “Estudio Sobre el Suministro de Agua Sostenible Para la Ciudad de Bogotá y las Áreas Vecinas Basadas en el Manejo de los Recursos de Agua Integrados, en la República de Colombia. Periodo de Estudio: Noviembre 2007 – Febrero 2009”. EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ - EAAB.
- INGEOMINAS (1987). “Inventario de Datos Hidrogeológicos en la Zona de Bosa, Soacha y Sibate”. Informe 2011.
- INGEOMINAS (1988). “Estudio Hidrogeológico en la Zona de Soacha y Ciudad Bolívar”. Informe 2085.
- INGEOMINAS Y CAR (1989). “Estudio Hidrogeológico Cuantitativo de la Sabana de Bogotá”.
- ROBLES EMIRO (1992). “Hidrogeología de las Cuencas de los Ríos Muña, Soacha y Tunjuelo”. Ingeominas.
- INGEOMINAS (1993). “Hidrogeología de la Cuenca del Río Teusaca, Sabana de Bogotá”. Informe 2220 B.
- INGEOMINAS (1996). “Perforación y Construcción de Pozos en Sibate, Muña y Socha”. Informe 2267.
- INGEOMINAS (1996). “Estudio Hidrogeológico en la Periferia de Santafé de Bogotá y en Algunas Poblaciones Cercanas Para Abastecimiento de Agua”. Informe 2275.
- INGEOMINAS (1999). “Informe Técnico de exploración de Pozos Escuela General Santander. Proyecto C98F03”. Informe 2011.
- INGEOMINAS (2002). “Resultados de Perforación, Construcción y Análisis del Piezómetro 227-IV”.
- PROGRAMA DE LAS NACIONES UNIDAS PARA EL DESARROLLO (1999). “Elaboración del Modelo Hidrogeológico Para los Acuíferos de Bogotá D. C”.
- INGEOMINAS & CAR (2001). “Aplicación de Técnicas Isotópicas en los Estudios de Aguas Subterráneas Informe de Caracterización Geoquímica e Isotópica de los Acuíferos de la Cuenca Alta del Río Bogotá”. Col 8019.
- INGEOMINAS (2002). “Modelo Hidrogeológico Conceptual de la Sabana de Bogotá”.
- JICA (2003). “Estudio del Desarrollo Sostenible del Agua Subterránea en la Sabana de Bogotá”. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá – EAAB.
- RESTREPO LUIS (2009). “Adquirir los Servicios de un Especialista para Apoyar la Formulación del modelo Hidrogeológico y la Red del Monitoreo del Recurso Hídrico Subterráneo”.
- UNIVERSIDAD NACIONAL (2005). “Brindar Apoyo Técnico y Actualizar Herramientas Para la Regulación del Aprovechamiento de las Aguas Subterráneas en Bogotá”.
- VELOZA F. JAIRO A. (2012). “Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital Bogotá”. Secretaria Distrital de Ambiente. Subdirección del Recurso Hídrico y del Suelo”. Secretaría Distrital de Ambiente – SDA.

Aunque existen varios estudios hidrogeológicos en la cuenca alta del Río Bogotá, entre los que se destaca el del INGEOMINAS & CAR (1989). por su metodología y por su cubrimiento total del área, sin embargo, la escala de trabajo es de 1:25.000, lo que significa que las unidades menores a 250 m no son cartografiables y que no es a nivel de detalle. El resto de estudios se desarrollaron en inmediaciones de las zonas sur y suroeste de la ciudad de Bogotá (Muzu, Bosa, Soacha, Ciudad Bolívar y Tunjuelo), o en municipios aledaños a la capital (Sibate, Sopo, Madrid, Mosquera, Cajica, Cota, Chia, Facatativa, Funza, Tocancipa, Gachancipa y Zipaquirá), razón por la que pierden aplicabilidad en el ambiente en el que se encuentra la Ciudadela Santa Rosa.

1.6.1.5 HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA

- IDEAM (2007). “Estudio de la Caracterización climática de Bogotá y Cuenca Alta del Río Tunjuelo”.
- INGENIERIA Y RECURSOS HÍDRICOS (1995). “Análisis y Caracterización de Tormentas en la Sabana de Bogotá”.
- EAAB (1941-2017). “Datos Hidrometeorológicos de la Estación Climatológica Ordinaria: Vitelma”.
- EAAB (1990-2017). “Datos Hidrometeorológicos de la Estación Pluviográfica: Juan Rey”.
- EAAB (1990-2017). “Datos Hidrometeorológicos de la Estación Pluviográfica: Santa Lucía”.
- EAAB (1990-2017). “Datos Hidrometeorológicos de la Estación Pluviográfica: Tunjuelo”.
- EAAB (1990-2017). “Datos Hidrometeorológicos de la Estación Pluviográfica: San Cristóbal”.
- EMPRESA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO DE BOGOTÁ – EAAB (2016). “Mapa de Consulta SIGUE”

El estudio de INGENIERIA Y RECURSOS HÍDRICOS (1995) recolectó y analizó la información de las estaciones para las curvas IDF, que luego fueron reprocesadas por el IDEAM (2007). Para el alcance del proyecto surge la necesidad de alimentar estos modelos y generar unas nuevas curvas IDF, gracias a valores medios mensuales de precipitación, de las estaciones de la empresa de acueducto y alcantarillado de Bogotá – EAAB, para un periodo de tiempo de 1941 a 2017, estación Vitelma, y de 1990 a 2017, estaciones Juan Rey, Santa Lucía, Tunjuelo y San Cristóbal.

La evaluación y el diagnóstico de redes de acueducto y alcantarillado se adelanta en el Capítulo 5, en el que se hace la descripción de las redes con la información suministrada por las entidades de servicios públicos. Sin embargo, no se suministró información relacionada con los reportes de daños en el sector. Y la evaluación del drenaje natural se relaciona en el Capítulo 2 y en el Capítulo 5.

Monitoreo de Variables Hidrológicas

El monitoreo de variables hidrológicas responde a fe de erratas del Anexo Técnico del Estudio y es una tarea que se escapa del alcance del proyecto, en primera instancia, porque no se dispone de una estación climatológica para atender el monitoreo meteorológico, y en segunda, porque no se estudia el comportamiento en el tiempo ni de los parámetros hidrogeológicos ni de los parámetros climáticos. Únicamente se elabora una caracterización de los medios a partir de los parámetros recopilados por otras entidades como el IDEAM o la EAAB.

1.6.2 VISITAS DE RECONOCIMIENTO

Una vez examinada la información disponible se efectúa una visita al sitio del estudio con el equipo técnico de la consultoría, con la que se pretende, corroborar las acepciones inferidas en la etapa inmediatamente

anterior, estructurar, a priori, un modelo hipotético de los problemas de inestabilidad y de la secuencia estratigráfica, organizar la auscultación patológica de las viviendas, proponer y diagramar los puntos de exploración del subsuelo (y por consiguiente la primera versión del programa de exploración), examinar los puntos de agua, identificar los agentes detonantes de los procesos morfodinámicos y plantear de forma preliminar las alternativas de mitigación de la amenaza.

1.6.3 ELABORACIÓN DE CARTOGRAFÍA BASE Y TEMÁTICA

1.6.3.1 LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO

1.6.3.1.1 Método Convencional

Con el objetivo de conseguir el mapa base para las diferentes etapas del proyecto, de contrastar el levantamiento catastral del que dispone el distrito, y de registrar la morfometría de las laderas, los signos de inestabilidad, las viviendas, las vías, y todo tipo de estructura física vigente, como postes, pozos de inspección etc., se realiza el levantamiento topográfico del sector a escala de trabajo 1:500 (expuesto gráficamente a la misma escala), con curvas de nivel cada 0.5 metros. Éste es amarrado a placas del IGAC (y al sistema coordinado MAGNA-SIRGAS) que sirven de soporte para la definición de la poligonal de trabajo. El barrido altimétrico y planimétrico se ejecuta con la ayuda de una estación total, mediante un procedimiento mixto, que involucra tanto la toma de secciones transversales (seis en total) como la captura de una nube de puntos (próxima a los diez mil).

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

1.6.3.1.2 Método UAV

Es atendido con un procedimiento diverso que engloba tanto la toma de fotografías aéreas y la estructuración de una nube de puntos, como la georreferenciación con GPS y el procesamiento de las curvas de nivel. Al igual que el método convencional está amarrado al sistema de posicionamiento global del IGAC, en específico al marco Geocéntrico Magna Sirgas. Congrega la definición del plan de vuelo y la toma de las fotografías. Es autónomo y se decreta gracias al PS de la Unidad de Vuelo. Abarca: a) la planeación, que no es otra cosa que la diagramación de las líneas de viaje, en particular su rumbo, su espaciamiento y su altura de manera que se cubra con suficiencia el polígono de trabajo y se satisfagan los porcentajes de traslape y sobrelape de las imágenes; b) el monitoreo; en él se cotejan los parámetros del vuelo, el nivel de batería y la toma de las imágenes y se recibirán los mensajes de estado y las advertencias; y c) el control; aquí se reprograma, mientras el Drone está en vuelo, si es del caso, el plan de vuelo y se fijan los sitios de aterrizaje, se envían los comandos en caso de alguna eventualidad, y se inicia la georreferenciación de las tomas

El trabajo de oficina está forjado por: a) El alineamiento: reside en la depuración de las tomas que por su desviación con respecto a la línea de vuelo no se factible alinear; b) La verificación de la calidad de las imágenes: radica en la determinación, acorde con la escala de trabajo, del número de píxeles por foto, en contexto, se descartan las imágenes que no lo alcancen; c) La Triangulación: es dependiente del tamaño del

proyecto, y reside en la configuración de la grilla y en la deducción del número de vértices; con una y otros se determina la precisión topográfica; d) La nube de puntos: se estructura con base en los pares estereoscópicos, de manera tal que se puedan obtener las curvas de nivel a la escala deseada; en esta actividad tiene rol protagónico el Software Pix4d; y e) La generación de la textura: se lleva a cabo a partir de la nube de puntos y es el insumo para la obtención de la Ortofoto, del DSM, del DTM, y por consiguiente de las curvas de nivel.

1.6.3.2 ESTUDIOS GEOLÓGICOS Y GEOMORFOLÓGICOS

A partir de la información disponible, de la interpretación de las fotografías aéreas y de las imágenes de satélite de años anteriores, de los levantamientos topográficos y de campo; se establecen los niveles litológicos en términos de unidades de roca y suelo, tanto locales como regionales, con su ubicación espacial; se identifican los principales rasgos tectónicos, en especial fallas y lineamientos fotogeológicos; se diagrama la morfodinámica, las formas estructurales, etc. De igual forma, se abstrae la geología estructural del macizo rocoso (específicamente la orientación de la estratificación o la influencia de los planos de discontinuidad o de falla), los espesores y grados de alteración de los materiales depositados, la presencia de suelos residuales, y la actividad y desarrollo de los movimientos en masa. Como resultado de este trabajo, se presentan los planos geológico y geomorfológico, en escala de trabajo 1:5.000, el general, y 1:500, los locales.

1.6.4 ESTUDIO GEOTÉCNICO BÁSICO

1.6.4.1 INVENTARIO DE PROCESOS DE INESTABILIDAD

Se identifican y delimitan los diferentes procesos de inestabilidad, potenciales, activos, reactivados, suspendidos, inactivos o abandonados (Varnes, 1978, citado por García, 1996). Cada proceso se registra en una ficha técnica y cartográfica, en la que se consigna toda la información concerniente, entre ella la clasificación del proceso, la magnitud, los eventos detonantes y contribuyentes, la frecuencia del movimiento, la actividad, la tendencia a la propagación, los daños producidos, la geología estructural, la 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 afinar el plano de zonificación.

1.6.4.2 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO

Este capítulo se aborda mediante la ejecución de nueve (9) perforaciones mecánicas con avance de percusión y lavado o de rotación, diez (10) apiques, cinco (5) trincheras, cuatro (4) Tomografías, siete (7) líneas de refracción sísmica, dos (2) sondeos eléctricos, dos (2) columnas estratigráficas y la toma de datos estructurales. Lo anterior permite una buena aproximación no sólo al modelo (bidi y tridimensional) geológico y geotécnico sino hidrogeológico conceptual de las laderas (y de la cuenca). El programa de ensayos de laboratorio se dirige a la estimación de la resistencia al corte de los horizontes comprometidos: los rellenos antrópicos (mineros y mixtos), los suelos residuales y los paquetes de arenisca y de lodolita. Las muestras se someten a pruebas índice como: humedad natural, peso unitario, límites de Atterberg, granulometría (o lavado sobre tamiz 200), entre otras; y de comportamiento esfuerzo deformación, acordes con el nivel de esfuerzos vigente en campo.

1.6.5 ANÁLISIS GEOTÉCNICO

1.6.5.1 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 el (o los) modelo(s), aproximado(s), del subsuelo, en el que destaca la secuencia estratigráfica, el ordenamiento de los paquetes de roca y del macizo, el arreglo de los planos de discontinuidad (en particular el de estratificación) y los parámetros geomecánicos para cada horizonte de suelo y 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 es diametralmente opuesto al azimut de buzamiento de la estratificación promedio. Así se diagraman los espesores de cada uno de los materiales, su disposición estructural y la posición probable de la superficie de falla. Este modelo es de gran importancia para el desarrollo del análisis paramétrico y de estabilidad, y por ende para la amenaza.

1.6.5.2 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

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

1.6.5.3 ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Se emplean para la evaluación local y general de estabilidad, métodos de análisis estático (equilibrio límite, Jambu, 1954, 1973a o Bishop, 1955 o Morgenster y Price, 1967, y análisis paramétricos, Mora, 1992) de acuerdo con los mecanismos de falla probables o presentes en la urbanización. En este último caso, se modelan en las unidades de suelo y roca, sana y 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 mínimos y máximos esperados (que no son otra cosa que las funciones de densidad de probabilidad), teniendo en cuenta la ocurrencia o no de las lluvias y los sismos, y para las obras de mitigación planteadas.

1.6.6 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 P_f) y la obtención de ellas, se hace aquí con base en los lineamientos metodológicos de los Estimativos Puntuales,

PEM (Rosenblueth, 1975 y Harr, 1987). Por lo tanto, la probabilidad de ocurrencia de un evento particular (*FRM*) se evalúa en términos de sus eventos condicionantes a través de la ley de probabilidades totales.

Tal probabilidad, es función de las probabilidades condicionales de que se presente el deslizamiento para todas las posibles combinaciones de lluvia y sismo. Bajo el marco teórico expuesto, la evaluación de amenaza requiere entonces como insumos: los mecanismos de falla y las funciones de probabilidad de las variables involucradas, la cohesión y la 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 adelanta 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 constituye en el último eslabón de la cadena predictiva para la elaboración de los Mapas de Amenaza Actual y futura (los dos estructurados en escala de trabajo 1:500).

1.6.7 EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL

A partir de los resultados del análisis de amenaza y de las observaciones de campo, se identifican y localizan los elementos en riesgo (i.e. las unidades constructivas.). Una vez definidos 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 atiende, entonces, teniendo como soporte los inventarios general y detallado de las edificaciones. Aspectos como el arquetipo de sistema estructural, la mampostería, la cubierta y la calidad de la construcción, son baluartes importantes para tal fin.

La deducción del índice de vulnerabilidad física por remoción en masa es en stricto sensu una modificación a la propuesta realizada por Léone (1996) y Léone et al (1996). De esta manera, se determina con base en la composición orgánica y estructural de las edificaciones, en la sollicitación del proceso 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 (∞). Estos elementos son 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, por lo tanto, como el producto de la probabilidad de falla, por el costo de falla, que en otras palabras es la sumatoria del índice de vulnerabilidad física por el costo inicial del elemento expuesto.

1.6.8 EVALUACIÓN DE MITIGABILIDAD

La identificación y clasificación de las medidas de reducción del riesgo, es un proceso evolutivo en el tiempo, que se perfecciona en la medida en que se alcancen los diferentes objetivos del estudio o se desarrollen las diferentes etapas de éste, ante todo se reconozca el fenómeno amenazante relevante, se clarifiquen los modelos estratigráfico, estructural e hidrogeológico (al menos el conceptual), se refine la zonificación de amenaza. 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, los costos de inversión, el mantenimiento y el uso del lugar.

Lo anterior permite concluir a cerca de dónde es conveniente reducir el nivel de amenaza, es decir llevar a cabo obras de contención o mitigación y cuál es la mejor alternativa, y en donde se requiere evadir el problema o sea reducir el nivel de vulnerabilidad. Acto seguido se procede con el diseño detallado, que incluye la ubicación y el dimensionamiento en planta, detalles particulares (plasmados en secciones y cortes), cantidades de obra, estimación del presupuesto.

1.6.9 ORGANIZACIÓN DEL INFORME

El informe técnico contiene cinco (5) capítulos, un (1) anexo, y dos (2) planos, discriminados como se puntualiza en la [Tabla 1.5](#), en la [Tabla 1.6](#), en la [Tabla 1.7](#) y en la [Tabla 1.8](#).

TABLA 1.5 CONTENIDO

CAPÍTULO	CONTENIDO
CAPÍTULO 1	GENERALIDADES
CAPÍTULO 2	TOPOGRAFÍA
CAPÍTULO 3	GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA
CAPÍTULO 4	ESTUDIO GEOTÉCNICO
CAPÍTULO 5	HIDROLOGÍA, COBERTURA Y USOS DEL SUELO
CAPÍTULO 6	HIDROGEOLOGÍA
CAPÍTULO 7	AMENAZA: ANÁLISIS DE ESTABILIDAD
CAPÍTULO 8	VULNERABILIDAD Y RIESGO
CAPÍTULO 9	MITIGACIÓN: PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS
CAPÍTULO 10	DISEÑO DETALLADO DE OBRAS

TABLA 1.6 ANEXOS

ANEXO	CONTENIDO
ANEXO A	DIAGNÓSTICO
ANEXO B	TOPOGRAFÍA
ANEXO C	GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA
ANEXO D	GEOTECNIA
ANEXO E	HIDROLOGÍA Y USOS DEL SUELO

TABLA 1.7 ANEXOS (CONTINUACIÓN)

ANEXO	CONTENIDO
ANEXO F	HIDROGEOLOGÍA
ANEXO G	AMENAZA
ANEXO H	VULNERABILIDAD
ANEXO I	ALTERNATIVAS
ANEXO J	DISEÑOS
ANEXO K	ESTUDIO PREDIAL
ANEXO L	PGS Y PMA

TABLA 1.8 PLANOS

PLANO	CONTENIDO
PLANO 1	LOCALIZACIÓN
PLANO 2A	MAPA BASE: TOPOGRAFÍA CONVENCIONAL
PLANO 2B	MAPA BASE: TOPOGRAFÍA UAV
PLANO 3	GEOLOGÍA REGIONAL
PLANO 4	GEOLOGÍA LOCAL
PLANO 4A	MODELOS GEOLÓGICOS - GEOTÉCNICOS
PLANO 4B	MODELOS GEOLÓGICOS - GEOTÉCNICOS
PLANO 4C	MODELOS GEOLÓGICOS - GEOTÉCNICOS
PLANO 5	GEOMORFOLOGÍA
PLANO 6	ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA
PLANO 7	COBERTURA Y USOS DEL SUELO
PLANO 8	HIDROGEOLOGÍA
PLANO 8ª	SISTEMA DE FLUJO
PLANO 9	AMENAZA ACTUAL Y FUTURA
PLANO 10	VULNERABILIDAD Y RIESGO
PLANO 11	PLANTA DE DISEÑO DE OBRAS
PLANO 12 - XX	DETALLES DE OBRA

CAPÍTULO 2

TOPOGRAFÍA

TOPOGRAFÍA

Como insumo esencial para la elaboración de las cartografías geológica, geomorfológica, geotécnica, de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, se realiza el levantamiento topográfico detallado, a escala 1:500, gracias al empleo de la técnica Unmanned Aerial Vehicle – DRONE y de la topografía con radiación (o convencional) en el espacio designado para el estudio. En este trabajo se identifica y registra: la morfometría de las laderas y los taludes, las huellas de inestabilidad, los cuerpos de agua, y todo tipo de estructura física, como viviendas, vías, postes, pasos peatonales, pozos, hidrantes, válvulas, cajas, paramentos, cercas, escaleras, canales, obras de mitigación entre otras. En las siguientes páginas se describen las actividades comprendidas para tal fin y se exponen sus resultados.

2.1 ALCANCES

Encierran el barrido planimétrico y altimétrico, la elaboración de los modelos digital de superficie (DSM) y digital del terreno (MDT) y la toma del ortomosaico, a escala de trabajo 1:1000, en coordenadas cartesianas y el amojonamiento de dos (2) vértices, acorde con los siguientes parámetros básicos:

- Amarre de coordenadas al sistema de referenciación Magna-Sirgas (en acatamiento a la Resolución 068 de 2005 del IGAC).
- Captura de la información topográfica en tres dimensiones: X (Este), Y (Norte), Z (Cota). Quehacer satisfecho mediante Topografía convencional y topografía por DRON que se basa en la toma de fotografías aéreas por el UAV (Avión no Tripulado), geo-posicionamiento con GPS de alta precisión y el post-procesamiento de la información recolectada.
- Registro pormenorizado del medio, ante todo del mobiliario: postes, hidrantes, válvulas, cajas, pozos, vías, caminos, paramentos, edificaciones, cerramientos, cercas, y de las huellas geomorfológicas y morfodinámicas (tales como escarpes, cuerpos de deslizamiento, cárcavas, cursos de agua, etc.), entre otros.

2.2 MÉTODO BÁSICO DE TRABAJO

Luego de atendida la inspección visual en campo de las vertientes en las que está asentada la urbanización Ciudadela Santa Rosa, y de los predios circunvecinos, y una vez evaluada la información disponible, dentro de la que se destaca la definida por la Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital (UAECD), las planchas del IGAC (1960 y 1983), se procede con el levantamiento (altimétrico y planimétrico), con la obtención de curvas de nivel cada 1.0 metro (lo que define la escala de trabajo en 1:1000), mediante la

IDIGER	CONSORCIO SANTA ROSA	GIA-085-18		INFORME FINAL - PÁG. 47	
VERSIÓN:	3			FECHA	24/05/18
ELABORÓ:	JVG	REVISÓ:	JALG5	APROBÓ:	JAML

aplicación de un procedimiento mixto que engloba tanto la toma de fotografías aéreas y la estructuración de una nube de puntos, como la georreferenciación con GPS y el procesamiento de las curvas de nivel. Soportes y técnicas acopiados en los acápite siguientes y en el [Anexo B](#).

2.3 MÉTODO DE RADIACIÓN Y NIVELACIÓN (O CONVENCIONAL)

2.3.1 PROCEDIMIENTO DE EJECUCIÓN: TRABAJO DE CAMPO

El levantamiento topográfico involucra la captura, con distanciómetro, de 8099 puntos (compilados en el [Anexo B.1](#)), y tiene una duración de diecisiete (17) días, marcados entre el 02 de abril y el 18 de abril. Se surte en tres etapas; la primera encierra el geoposicionamiento, y el diseño y tendido de las poligonales de amarre y cierre. La segunda comprende el rastreo y la auscultación del espacio abierto; allí se toma la información necesaria para la obtención de las curvas de nivel cada 0.5 m, y para la diagramación de los cuerpos y escarpes de inestabilidad y de los accidentes geográficos; los prismas se disponen en los cambios de pendiente hasta obtener un cubrimiento total del medio. Y la tercera fase abarca el registro de la infraestructura, como lo es: los paramentos, los andenes, los postes (de teléfono y de energía), los pozos, las cajas de acueducto y las estructuras de contención; el barrido se lleva a cabo con una nube de puntos.

2.3.2 LOCALIZACIÓN CARTOGRÁFICA

La urbanización Ciudadela Santa Rosa hace parte del gran conglomerado de Altos del Zipa (nombre oficial del barrio que lo cobija). Se emplaza en los cerros del suroriente de la capital, en la localidad de San Cristóbal. Ocupa la franja alta de la cuenca que abastece a la quebrada Los Toches, que a su vez forma parte de la vertiente norte de la quebrada Chiguaza, y oriental del Río Tunjuelito. Limita al norte y al oriente con una sucesión de laderas sin urbanizar, pero sometidas antaño a la explotación minera, al occidente con Nueva España, al sur con el barrio Moralba. Se extiende entre las calles 40 B Bis sur a 41 B sur y carreras 14 Este a 18 Este, y se enmarca en el polígono definido por las coordenadas planas contenidas en la [Tabla 2.1](#) y a lo largo de sus 6.3 Has, demarcadas en la [Figura 2.1](#) y en la [Tabla 2.2](#), cambia altimétricamente entre los 2887 m.s.n.m y los 2995 m.s.n.m. y referenciados en el [Anexo B.1](#) y [Anexo B.2](#).

TABLA 2.1 DELIMITACIÓN CARTOGRÁFICA: MÉTODO CONVENCIONAL

NORTE (M)	ESTE (M)
94566.3	99323.4
94571.8	99563.6
94597.1	99563.6
94597.1	99674.5
99674.4	99674.4
94577.7	99878.3
94473.3	99878.7
94478.9	99323.8

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA 2.1 ENTORNO DE TRABAJO DE LA TOPOGRAFÍA CONVENCIONAL



FUENTE: TOMADO Y ADAPTADO DE GOOGLE (2016)

TABLA 2.2 POLÍGONO DEL ESPACIO DE ESTUDIO

ESTE (M)	NORTE (M)
94477,637	99610,790
94477,190	99486,304
94551,081	99500,220
94551,669	99602,925
94477,643	99610,819
94477,190	99486,304

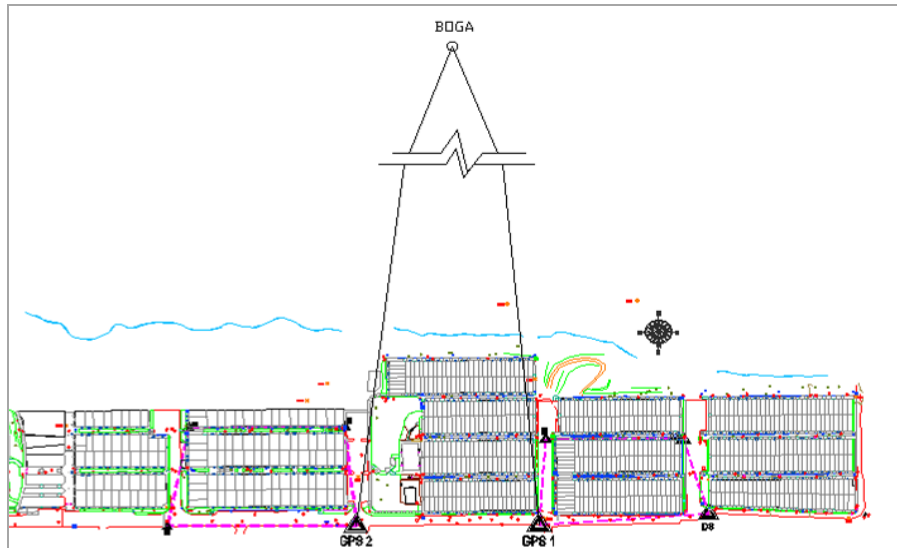
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

2.3.3 DESCRIPCIÓN DE LA POLIGONAL DE AMARRE

El levantamiento está georreferenciado a la red de densificación del IGAC; los datos se ligan a las coordenadas geográficas $4^{\circ} 38' 19.257''$ de latitud Norte y $74^{\circ} 04' 47.818''$ de longitud Oeste. El punto de partida es la placa BOGA, emplazada al interior de las instalaciones del IGAC, a la que se le atribuye como proyección plana: 104696.28 m.N. y 99732.35 m.E., y elevación 2588.6 m.s.n.m.; de ella se hace el traslado de coordenadas a los puntos GPS1 y GPS2, fncados 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 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 0,04 m. Acto seguido se posicionan las referencias GPS-01 y GPS-02. La *Figura 2.2* ilustra la poligonal, y el *Anexo B.1.2* y el *Anexo B.1.3* contienen la certificación del punto de amarre, expedida por el IGAC, y el resumen de ajuste del amarre.

FIGURA 2.2 POLIGONAL DE AMARRE

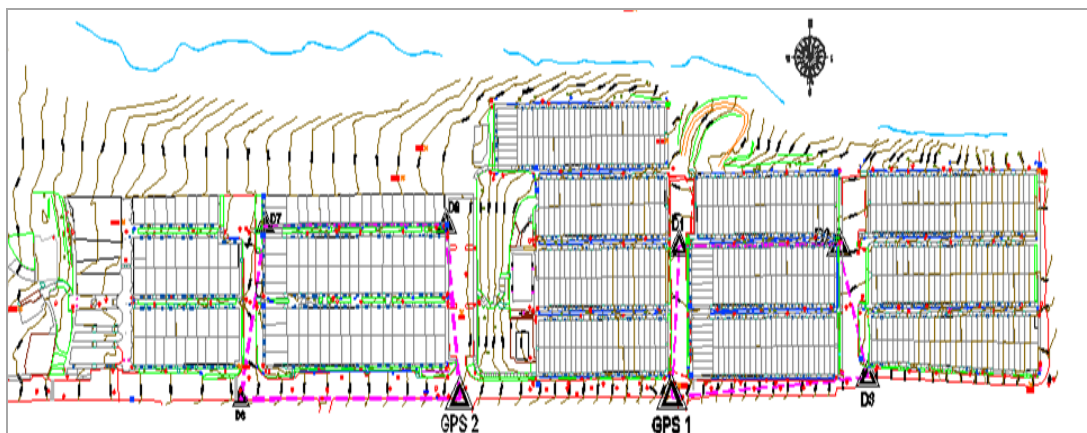


FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

2.3.4 DESCRIPCIÓN DE LA POLIGONAL DE CIERRE

Una vez georeferenciado el marco de trabajo a través de la poligonal de amarre, se procede al cierre y al ajuste de las poligonales internas: dos en número, marcadas por la extensión y por las barreras de visibilidad. Una y otra constituidas, respectivamente, por 325.37 y por 376.86 metros de longitud (en proyección horizontal) y cuatro (4) estaciones de referencia o deltas: el GPS1, el D1, el D2 y el D3, si se trata de la poligonal 1, y el GPS2, el D6, el D7 y el D8, en lo que respecta a la Poligonal 2, desde las que se establecen visuales a los sitios radiados para la obtención de la nube de puntos y de las secciones. La [Figura 2.3](#) y el [Plano 2A](#) reseñan el trazado de las poligonales levantadas y el [Anexo B.2.1](#) su tratamiento.

FIGURA 2.3 POLIGONALES DE CIERRE



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

2.3.5 AJUSTES DEL LEVANTAMIENTO

Surtidas las etapas previas se da curso al ajuste y cierre de las poligonales, que arrojan errores en ángulo de hasta 8" y precisiones superiores a lo 1:23.000, tal y como se corrobora en la [Tabla 2.3](#) y en el [Anexo B.1.3](#):

TABLA 2.3 PARÁMETROS DE ACEPTACIÓN

PARÁMETRO	POLIGONAL 1	POLIGONAL 2	OBSERVACIÓN
ERROR DE CIERRE EN COORDENADAS NORTE (M)	-0.0106	0.0164	
ERROR DE CIERRE EN COORDENADAS ESTE (M)	-0.0014	0.0004	
ERROR DE CIERRE EN ÁNGULO (")	2"	8"	
PRECISIÓN	1:30.512	1:23.009	SUPERIOR A LO 1:20.000 EXIGIDO POR EL IDU

2.3.6 AMOJONAMIENTO DE Referencia

Se materializa con dos (2) incrustaciones de bronce, fijados y grabados con el nombre de la referencia (o mojón), el GPS1 y el GPS2, y con el año, i.e. 2018 (particularidades consignadas en el [Anexo B.3](#)), pero de manera tal que haya vista entre ellas. El primero, el GPS-2, está emplazado en el sardinel del andén sur de la Calle 41b Sur, en la intersección de ésta con la carrera 16a Este. El segundo, apodado GPS-1, reposa a ciento veintiún (121) metros al este del GPS-2, sobre el mismo flanco, en el empalme de la Carrera 17 Este y la Calle 41b Sur. El [Anexo B.3](#) contiene los detalles de los mojones de referencia; sus coordenadas y sus elevaciones se relacionan en la [Tabla 2.4](#) y su posición cartográfica se expone en el [Plano 2A](#).

TABLA 2.4 MOJONES MATERIALIZADOS EN CAMPO

MOJÓN	NORTE (M)	ESTE (M)	COTA (MSNM)
GPS1	94478,02	99731,405	2950,439
GPS2	94477,637	99610,797	2924,105

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

2.3.7 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.1.1](#).

2.3.8 TRABAJO DE OFICINA

Reside en la georeferenciación de 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 programa AutoCAD Civil

3D, bajo un arquetipo de interpolación dirigida en tres dimensiones, lo que conlleva a definir y respetar las barreras físicas actuales, en especial los frentes rocosos, los escarpes (de roca y de deslizamiento), los muros de confinamiento o de contención, las terrazas o plataformas para urbanización, las estructuras de mitigación, el cauce de la quebrada y, no menos importantes, los cuerpos de deslizamiento, y a condicionar la interpretación a éstas, sin permitir el desempeño del programa a su libre esquema de triangulación; en este sentido juegan papel importante las secciones transversales.

El proceso así desarrollado puede entenderse como una conceptualización de un submodelo para un SIG, pues primero se elaboran las diferentes capas de información y posteriormente se hace la interpolación. De esta manera, entonces, se seleccionan los postes de alumbrado, los pozos de inspección y los demás elementos del amoblamiento urbano (entre ellos las escaleras), se delinean las vías y se delimitan los taludes y los procesos de inestabilidad. Para una mejor aplicación del programa se procesan parcialmente en tres dimensiones los diferentes elementos topográficos capturados, lo que da como resultado una mayor precisión y calibración de los límites y contornos. Finalmente, y para terminar la generación del mapa base, se realiza la integración e interpretación de todo el conjunto. Como resultado se define la salida gráfica del plano topográfico, a escala 1:1000 con curvas de nivel cada 0.50 metros (en consonancia con la escala de trabajo).

2.3.9 EQUIPO

El equipo empleado involucra una estación total Topcon GTS 252 SN KB1406, de precisión 5'' y alcance de lectura con prisma sencillo de 2500 m de distancia, y capacidad para almacenar hasta 24.000 puntos topográficos y lectura vertical cenital; dos (2) prismas; y dos (2) GPS TRIMBLE de alta precisión, georeferenciados con la información suministrada por el IGAC del vértice BOGA. Estos dos últimos de trascendencia para el traslado de las coordenadas. El equipo y los recursos empleados se relacionan en la Tabla 2.5 y los certificados de calibración de las estaciones se exponen en el Anexo B.4.

TABLA 2.5 RELACIÓN DE EQUIPO Y ELEMENTOS POR COMISIÓN

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD (Un)
ESTACIÓN TOPCON GTS-252	1
GPS TRIMBLE	2
PRISMAS	2
RADIOS DE ONDA CORTA	4
VEHÍCULO	1

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

2.4 MÉTODO FOTOGRAMÉTRICO UAV

Es una técnica estrictamente fotogramétrica que engloba tanto el diseño del plan de vuelo y la captación de las imágenes como la georreferenciación con GNSS topográfico, gracias a la inclusión de puntos de apoyo, y al procesamiento (con soportes lógicos como Pix4D o Agisoft PhotoScan y el SIG) para la obtención de los modelos 3D y digital de elevaciones, del ortomosaico, de la planimetría y de las curvas de nivel. Al igual que el método de radiación está ligado al sistema de posicionamiento global del IGAC (en consonancia con la resolución 068 de 2005) en específico al marco Geocéntrico Magna Sirgas.

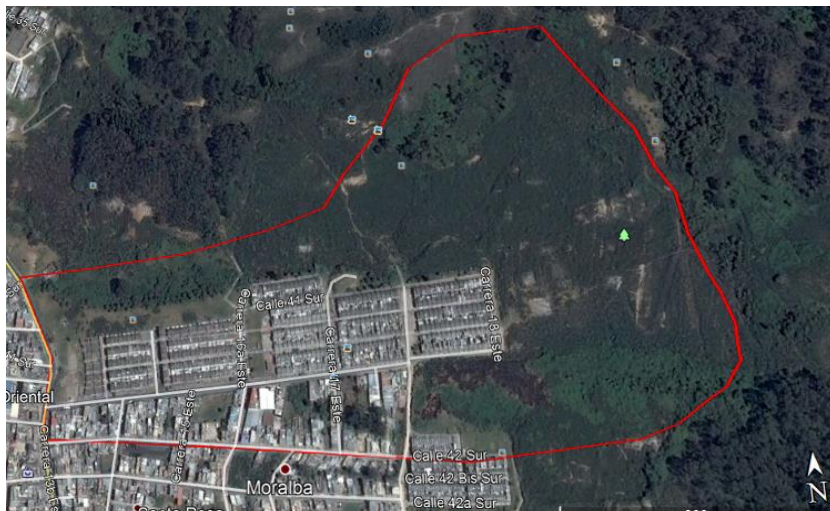
2.4.1 PROCEDIMIENTO DE EJECUCIÓN: TRABAJO DE CAMPO

Congrega la definición del plan de vuelo y la toma de las aerofotografías (referenciadas en el [Anexo B.5](#)). Es autónomo y se fija gracias al PS de la Unidad de Vuelo. Abarca: a) la planeación (de la misión y del vuelo), que no es otra cosa que la deducción de la dirección del viento, la ubicación del despegue y del destino y la diagramación de las líneas de viaje, en particular la determinación de su rumbo, de su espaciamiento y de su altura, de manera que se cubra con suficiencia el polígono de trabajo y se satisfagan los porcentajes de traslape y sobrelape de las imágenes; b) el monitoreo, en él se cotejan los parámetros del vuelo, el nivel de la batería y la toma de las imágenes y se reciben los mensajes de estado y las advertencias; y c) el control, aquí se reprograma, si es del caso, mientras el Dron está en vuelo el plan de vuelo, y se fijan los sitios de aterrizaje, se envían los comandos en caso de alguna eventualidad, y se inicia la georreferenciación.

2.4.2 LOCALIZACIÓN CARTOGRÁFICA

Engloba una plataforma más extensa que la del método de radiación. Comprende La urbanización Ciudadela Santa Rosa, los predios aledaños al norte y al oriente, propios de la margen derecha y de la cabecera de la quebrada Los Toches, y algunas manzanas del barrio Moralba. Se encaja, altimétricamente, entre los 2887 m.s.n.m y los 2995 m.s.n.m, cubre poco más de 24 Has, y se encuadra en el polígono definido por las coordenadas planas referidas en la [Tabla 2.6](#) y delineadas en la [Figura 2.4](#) y en el [Plano 2B](#).

FIGURA 2.4 DIAGRAMACIÓN DEL POLÍGONO DE INFLUENCIA DIRECTA: MÉTODO UAV



FUENTE: TOMADO Y ADAPTADO DE GOOGLE EARTH (2016)

2.4.3 TRABAJO DE CAMPO

2.4.3.1 SOBREVUELOS DE GEORREFERENCIACIÓN

Se acomete mediante RPA (abreviatura tomada del inglés Robotic Process Automation), y permiten delinear el itinerario del vuelo al examinar la respuesta de las siguientes variables:

- La Definición de la Frecuencia de Transmisión
- El Tránsito aéreo y ruta de vuelo
- La Localización para los GCP (Ground Control Points)
- La Telemetría con velocidad de viento
- Las Alturas de Operación, y
- El RTH (sigla del inglés Return to Home)

TABLA 2.6 COORDENADAS PLANAS DEL POLÍGONO 2

NORTE (M)	ESTE (M)
1.001.520.349	944.164.954
1.001.655.768	944.541.555
1.001.672.675	944.718.841
1.001.681.909	944.832.683
1.001.656.966	945.040.017
1.001.605.559	945.276.668
1.001.502.744	945.513.319
1.001.430.774	945.647.078
1.001.194.201	946.142.323
1.001.101.664	946.451.032
1.001.070.818	946.625.967
1.000.998.845	946.955.256

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

2.4.3.2 RECONOCIMIENTO Y PROSPECCIÓN

Se satisface inequívocamente en concordancia con el polígono a restituir. Es la primera de las labores de campo, y radica en un sobrevuelo destinado a identificar los posibles obstáculos, los elementos o accidentes más altos del territorio, tales como árboles, tendido eléctrico y construcciones, y a deducir la dirección del viento, el GSD (de la sigla en inglés Ground Sample Distance), parámetro que da una aproximación a la resolución de la ortofotografías, y los sitios de despegue y aterrizaje (singularidades captadas entre la *Foto 2.1* y la *Foto 2.4*). Permite derivar la altura de operación y la superposición, variables que a su vez facultan el trazado los planes de vuelo.

2.4.3.3 GCPS Y POLÍGONO

Se definen, una vez cumplido el reconocimiento de campo, en los dominios de la ciudadela y de la cuenca. Los primeros, los puntos de control en Tierra, o GCPs (de la sigla en inglés), son tomados con la topografía de radiación y nivelación, y facilitan y legitiman el amarre de la nube de puntos y la precisión fotogramétrica

(tratamiento ilustrado en la *Figura 2.5*), y el segundo es delimitado en función de las necesidades del estudio y de los fenómenos amenazantes (indistinto de su origen). Ahora bien por la extensión, por la diversidad y extensión de los procesos de inestabilidad, que compromete buena parte de la margen derecha de la cuenca (ante todo la nororiental), por los marcados cambios morfométricos y con el propósito de garantizar una apropiada precisión fotogramétrica se cubre poco más de 24 ha (aboceteadas en la *Figura 2.4*) y se fijaron trece (13) puntos de amarre y tres estaciones (o RPAS). Estos últimos marcados en tierra con pintura de aceite, tal y como se ilustra en la *Figura 2.6*, en espacios abiertos (captables por las aerofotos) y georreferenciados con estación total, con el ánimo de obtener sus coordenadas x, y, z, conjunto reproducido en la *Tabla 2.7* y en el *Anexo B.6*.



FOTO 2.1 PERSPECTIVAS ORIENTAL Y NORTE DE SANTA ROSA. SE DESTACA LA MARGEN IZQUIERDA DE LA QUEBRADA LOS TOCHES.



FOTO 2.2 CINTURÓN OCCIDENTAL DE LA CIUDADELA : ESTÁ DELIMITADO POR LA CARRETERA A ORIENTE



FOTO 2.3 VISTA SUROCCIDENTAL DEL POLÍGONO DE TRABAJO



FOTO 2.4 PANORÁMICA NORTE: ESTÁ GOBERNADA POR ALGUNAS DE LAS EXPRESIONES DE MAYOR ALTITUD EN EL POLÍGONO.

2.4.3.4 MISIONES

Se designan así a los vuelos que se hacen (con el Dron DJI) para cubrir no sólo el entorno del levantamiento sino el polígono de interés (que es un poco mayor al primero) con el menor número de fotografías, tal que cada parte del terreno sea cubierta estereoscópicamente. Son tres (3), conjugan 548 aerofotografías, su altura de vuelo bordea los 80 m y su distancia focal es de 2.18 cm/px; la primera, acoge 13.76 ha, recorre la cuenca alta y las manzanas 63, 64, y 65 (al oriente), la segunda incorpora el cinturón central entre las carreras 17a Este y 16a Este, en una extensión de 9.08 ha, y la tercera, la más pequeña con apenas 6.91 ha

de cobertura, capta desde la Carretera a Oriente hasta la carrera 16a Este; en específico las manzanas 93 a 95, 96 a 98 y 99, arreglos duplicados en la [Figura 2.7](#), y en el [Anexo B.7](#).

FIGURA 2.5 LOCALIZACIÓN DE LOS GCP



FUENTE: TOMADO Y ADAPTADO DE GOOGLE EARTH (2016)

TABLA 2.7 COORDENADAS DE LOS PUNTOS GCP

PUNTOS DE CONTROL	NORTE (M)	ESTE (M)	ELEVACIÓN (M.S.N.M.)
GCP-1	94483.3	99935.3	2999.9
GCP-2	94542.1	100047.9	3018.3
GCP-3	94574.3	99939.9	2993.3
GCP-4	94646.1	99795.8	2956.3
GCP-5	94483.1	99735.5	2950.9
GCP-6	95583.9	99591.5	2922.5
GCP-7	94587.2	99728.3	2945.3
GCP-8	94514.1	99611.8	2923.7
GCP-9	94491.1	99485.9	2903.9
GCP-10	94571.3	99578.3	2920.6
GCP-11	94515.8	99360.8	2887.5
GPS-12	94643.5	99710.2	2939.1
GCP-13	94552.5	99419.5	2894.2

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

2.4.4 TRABAJO DE OFICINA: PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

Reúne, una vez cumplidas las misiones, diversos tratamientos, los más relevantes se citan en adelante.

- El primero se centra en la orientación interna Fotogramétrica (cometido en el que software BIM es instrumento de primer orden). En otras palabras, compromete la geolocalización, la georreferenciación y la calibración de las imágenes, junto con cada cámara, de manera que se logre el amarre general del prototipo (plan sintetizado en la [Figura 2.8](#) y en el [Anexo B.5](#)).

FIGURA 2.6 MATERIALIZACIÓN EN CAMPO DE LOS GCP 5 Y GCP 6



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

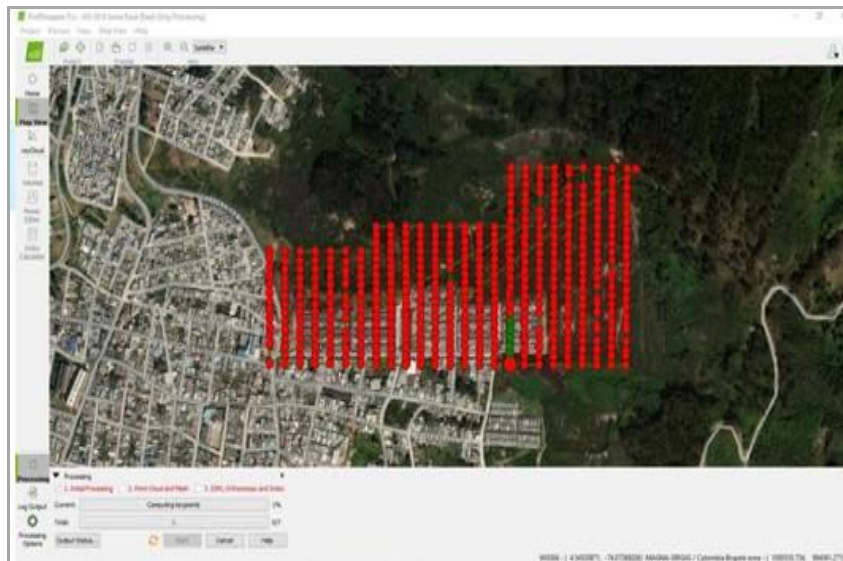
FIGURA 2.7 MISIONES DE VUELO



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

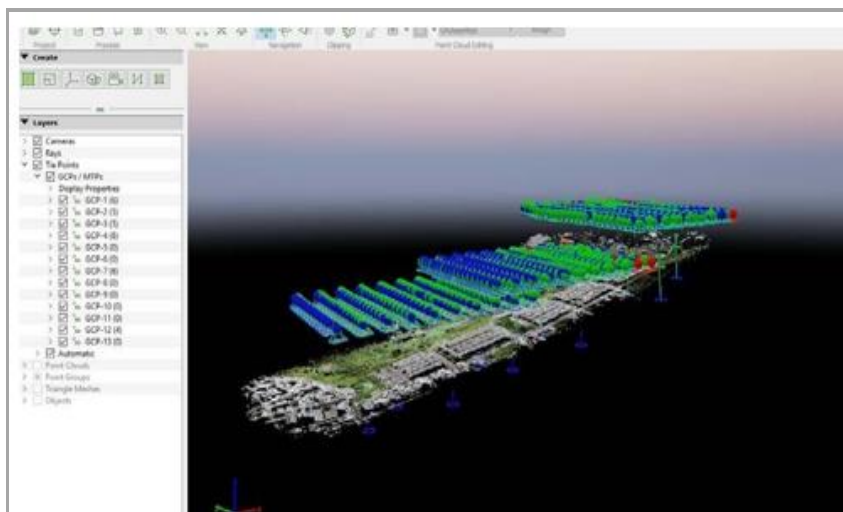
- El segundo, se enfoca en la obtención de los (Tie Points) o puntos de unión para la construcción de la nube, y al ingreso de los GCPs para que se visualicen (estructura bosquejada en la [Figura 2.9](#)).

FIGURA 2.8 GEOLOCALIZACIÓN DE LAS MISIONES



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA 2.9 ESTRUCTURACIÓN DE LOS TIE POINTS Y UBICACIÓN DE LOS GCPs

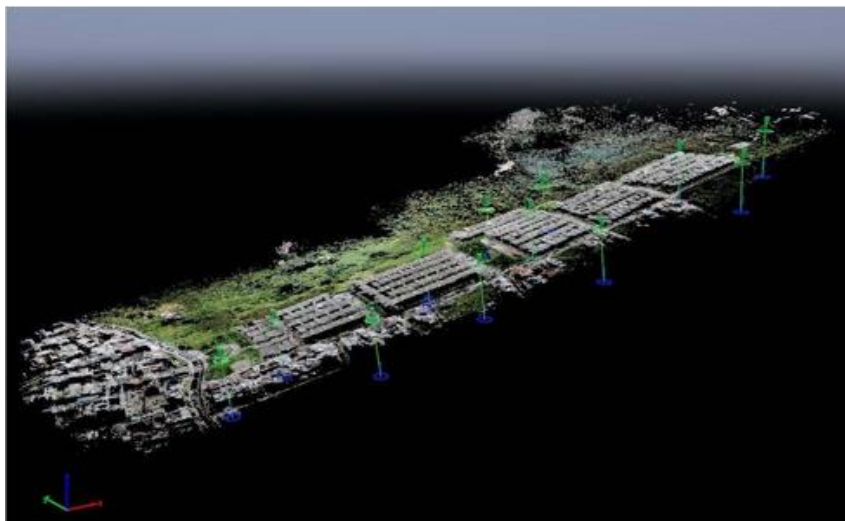


FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

- El tercero se ciñe a la Orientación Absoluta, reposa en la rectificación de cada punto de control, o GCP, y de las imágenes en el piloto diseñado o Georreferenciado. La verificación permite trasladar, girar y escalar la nube de puntos en el sistema de referencia de los GCPs (labor esbozada en el [Anexo B.7.1](#)).

- El cuarto, se circunscribe en la creación, la contrastación y el ajuste (o actualización) de la nube en x, y, z, y el amarre de los puntos de control, quehacer que permite deducir el error medio (tal y como se plasma en la [Figura 2.10](#)).

FIGURA 2.10 ERROR MEDIO DE LA NUBE DE PUNTOS Y DE LOS GCPs



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

- Y el quinto, se centra en el análisis de calidad del proyecto; su pretensión: evidenciar todas y cada una de las características adoptadas para el levantamiento fotogramétrico.

2.4.4.1 CALIBRACIÓN

Arroja como sus más relevantes frutos: el cotejamiento de 75151 puntos por imagen, y la calibración de 512 de las 548 fotos y de 11 GCPs. Proceso abreviado e ilustrado en el [Anexo B.Z](#). En él se puede rastrear la ruta seguida por cada una de las misiones (reseñada en línea verde), la marcación de las fotos (con puntos de color azul), y la vista previa tanto del ortomosaico como del Modelo Digital de Superficie, MDS, con altimetría.

2.4.4.1.1 Posicionamiento: Imágenes y GCPs

Está cifrado en dos rutinas (u operaciones): la odometría y en la homografía, y en dos etapas. La primera etapa reposa en la calibración inicial de las imágenes capturadas en campo; parte de la premisa de que cada una es un fotograma, en el que se surte la búsqueda de los puntos potencialmente localizables (irradiados en las franjas de alto contraste como bordes o esquinas en los diferentes patrones y texturas de la imagen) en el siguiente fotograma. Lo anterior responde, en gran medida, al emparejamiento y a la creación de la nube de puntos de cada imagen y a la proyección de perspectiva entre nubes de puntos (también conocida como matriz homográfica). A partir de la última, se calculan los desplazamientos, el giro que probablemente haya causado el cambio de sentido durante las líneas de vuelo y el posicionamiento de la nube de puntos (la abstraída con todas las aerofotos).

Y la segunda etapa, radica en el cálculo del posicionamiento real de las imágenes y de la nube de puntos y al amarre con los Gcps. Aquí se recibe la información de la odometría del módulo principal y se une a la información de altura e inclinación de los sensores de abordó. Todo se combina para: a) corregir los errores de medida en el desplazamiento ocasionados por la inclinación del dron, situación que ocurre cada vez que realiza una maniobra de rectificación de posición; y b) convertir los desplazamientos, hasta ahora dados en píxeles, en metros o centímetros, mediante las medidas de altitud, y georreferenciar el conjunto de puntos. Transformación duplicada en la [Figura B.7.1.9](#) del [Anexo B.7.](#)

2.4.4.1.2 Posición y Orientación de la Cámara: Precisión

Está regida y se expresa por el error absoluto medio, en metros, y se valúa en los ejes x, y, z. Variables que para Santa Rosa tocan los 0.08 m, los 0.20 m y los 0.09 m, respectivamente (cantidades verificables en el [Anexo B.7.1](#)), y que ponen de relieve la apropiada calidad del registro fotogramétrico, pues su desviación es apenas centimétrica, propia de escalas 1:100 o 1:200.

2.4.4.2 TRASLAPO DE IMÁGENES

La casi totalidad de las imágenes, con excepción de algunas pocas propias del contorno, exhiben traslapes longitudinales y transversales adecuados, de cinco o más imágenes (5+) por pixel (singularidad confirmada por el amplio espectro de color verde reinante en la [Figura B.7.1.10](#), del [Anexo B.7.1](#)). Atributo que advierte una inmejorable toma (o adquisición) de las aerofotografías y un notable insumo para la restitución y por consiguiente para el procesamiento de las curvas de nivel (y de la topografía).

2.4.4.2.1 Ajuste de Bloque

Está simbolizado por el error medio de reproyección, que se define como la relación entre la distancia de la posición inicial de los KeyPoints en 2D y la distancia reproyectada de los puntos de amarre (o tiepoints) en 3D. Es (en Santa Rosa) apenas de 0.147px, pequeño para la escala de trabajo, y generoso para garantizar una aceptable precisión del levantamiento (particularidades ratificadas en la [Figura B.7.1.11](#) del [Anexo B.7.1](#)).

2.4.4.2.2 Error Relativo Medio

Pretende determinar la consistencia interna del modelo o mapa. Es el ajuste o rectificación para cada uno de los ejes, el x, el y, el z, medido en metros, de las aerofotografías (y por consiguiente de la cámara). En otras palabras es el traslado de las imágenes a partir de los GCPs, y el ajuste de ellos mismos; diferenciales que en ningún caso son superiores a los 0.16 m, 0.20 m y 0.21 m para los ejes x, y, z, respectivamente, y que desplazan las tomas al oriente y al sur, en menor proporción (baste observar la [Figura B.7.1.12](#)), en especial las de la misión 1 que expone las mayores desviaciones. Singularidades reproducidas en el [Anexo B.7.1](#).

2.4.4.3 GEOLOCALIZACIÓN

Describe la proximidad de los objetos en el conjunto de datos, respecto a sus posiciones verdaderas (o las asumidas como verdaderas). Tiene como pilares básicos los puntos de Control o GCPs, la exactitud relativa interna y la exactitud absoluta. Los primeros son seleccionados y marcados discrecionalmente (a lo largo y

ancho de la ciudadela y de las 29 has destinadas al levantamiento), georreferenciados mediante radiación y nivelación y calibradas (pormenor señalado en el numeral 2.4.4.1).

La segunda, la exactitud relativa, pretende determinar la consistencia interna del mapa. Si se toma una distancia X en el modelo o mapa, debe ser la misma o muy cercana a la vigente en el terreno. La NTC 5043 de 2010 la define como la “cercanía de las posiciones relativas de los objetos en un conjunto de datos, respecto a las posiciones aceptadas como verdaderas. La posición relativa o interna se refiere a la posición de un elemento o conjunto de elementos respecto a la posición de los demás elementos de este conjunto”.

Y la tercera, la exactitud absoluta, permite abstraer la fidelidad en posición del Modelo Digital del Terreno (MDT). Se toma la proximidad de los valores de coordenadas de puntos identificables en la nube de puntos, respecto de los fijados como verdaderos en el sistema de referencia del control topográfico, es decir los de los GCPs. El proceso se circunscribe en comparar las coordenadas en X, Y y Z, de los valores de coordenadas, unas extraídas del MDT, con las obtenidas directamente en terreno.

Por medio del error raíz media cuadrática (RMS) se estima la exactitud de datos espaciales. Este método consiste en la raíz cuadrada del promedio de las diferencias al cuadrado entre valores de las coordenadas de los datos y los valores de las coordenadas provenientes de una fuente independiente de mayor exactitud para puntos idénticos. La exactitud se presenta en distancias terrestres al 95% del nivel de confianza. Una exactitud presentada al 95% del nivel de confianza, significa que el 95% de las posiciones en el grupo de datos tendrá un error con respecto a la posición verdadera en el terreno que es igual o menor que el valor de exactitud informado. La exactitud refleja todas las incertidumbres, incluyendo las introducidas por las coordenadas de control geodésico o topográfico, la compilación y el cálculo final de los valores de coordenadas sobre el terreno en el producto (NTC 5205, 2003).

En gracia de estas consideraciones, el error de localización absoluta para cada punto de control en Tierra es en los ejes X, Y, Z, respectivamente, de 0.003 m, -0.006 m y -0.002m; y en el GCP 7, utilizado como Punto de chequeo en campo, bordea los 0.04 m, los -0.03 m y los -0.03m, respectivamente; y el RSM se posiciona, secuencialmente, en 4.47, en 6.46, y en 58.64, para los ejes X, Y, y Z. Inmejorables para la escala de trabajo fijada en este proyecto, que oscila entre la 1:1.000 y la 1:500. Parámetros compilados y discriminados en la [Tabla 2.8](#) y en la [Tabla 2.9](#).

2.4.4.4 CONTROL DE CALIDAD

Es la auscultación de los parámetros y las condiciones de borde con las que se hace el procesamiento del MDS y del ortomosaico. En este paso se considera el sistema de coordenadas de las imágenes, de los Gcp y de los productos finales y las opciones avanzadas del procesamiento de la información. Elementos que para Santa Rosa esta definidos por el WGS84, si se trata del primero, y por el MAGNA – SIRGAS Colombia Zona Central (3116), para el segundo y el tercero, y por fotografías a escala completas o 1:1, un número de puntos de enlace automáticos y un método de calibración de geolocalización, para el último.

2.4.4.5 NUBE DE PUNTOS: DENSIFICACIÓN

Se satisface a través del software Pix4D, y se destina a la generación de la nube de puntos 3D, de la malla o triangulación y de su texturización, acorde con las fotografías obtenidas en el proceso inicial pero adaptando

colores y formas a las expresiones morfológicas de Santa Rosa. Parámetros expuestos, junto con la cantidad de puntos 3d densificados, y la densidad media por m³, en la [Figura B.7.1.14](#) del [Anexo B.7.1](#).

TABLA 2.8 GCPs: PRECISIÓN Y ERRORES

NOMBRE	EXACTITUD XYZ	ERROR EN X (M)	ERROR EN Y (M)	ERROR EN Z (M)	PROYECCIÓN DEL ERROR (PIXEL)
GCP-1 (3D)	0.020/0.020	0.012	-0.000	0.002	0.277
GCP-2 (3D)	0.020/0.020	-0.005	-0.007	-0.011	0.491
GCP-3 (3D)	0.020/0.020	-0.015	0.008	0.014	0.396
GCP-4 (3D)	0.020/0.020	0.056	-0.084	-0.040	16.026
GCP-5 (3D)	0.020/0.020	0.005	-0.004	0.012	0.356
GCP-6 (3D)	0.020/0.020	0.010	0.018	-0.007	0.334
GCP-7 (PUNTO DE CHEQUEO EN CAMPO)	0.0200/0.0200	-0.0411	0.0369	-0.0327	0.4163
GCP-8 (3D)	0.020/0.020	-0.018	-0.014	-0.004	0.275
GCP-9 (3D)	0.020/0.020	0.009	-0.003	-0.018	0.611
GCP-11 (3D)	0.020/0.020	0.002	-0.019	-0.009	0.481
GCP-12 (3D)	0.020/0.020	-0.021	0.014	-0.004	0.215
GCP-13 (3D)	0.020/0.020	0.003	0.020	0.043	0.417
MEDIA (M)		0.003509	-0.006509	-0.002118	
DESVIACIÓN ESTÁNDAR (M)		0.019921	0.027272	0.019918	
ERROR RMS (M)		0.020228	0.028038	0.020030	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

2.4.4.6 MDS Y ORTOFOTOMOSAICO

Encierra la ortorrectificación de la malla texturizada global en función de los parámetros de la proyección Geográfica y del tamaño del pixel, del sistema Pix4D, de tal manera que cada punto en el terreno sea observado desde una perspectiva perpendicular. El MDS, o Modelo Digital de Superficie, es el primero de los dos grandes producto que se obtiene, contiene, sin el ajuste altimétrico, toda la información geométrica de la ciudadela y de la Cuenca los Toches, así como de sus texturas y acabados, es instrumento sine qua non para la generación de las curvas de nivel y por ende del MDT, o Modelo Digital del Terreno, el segundo de los logros trascendente. Se generan con una resolución de 1X GSD (2.25 cm/Pixel) y se regula el balance de colores con el objeto de eliminar las sombras y de homogenizar el tono del color, en el caso del segundo. Finalmente, se amolda el procesamiento de las curvas de nivel con una elevación de 0.50 m, una resolución de 100 cm y un número máximo de 20 vértices. Productos condensados en el [Anexo B.7.1](#).

Simulación última que requirió de la rectificación de las curvas de nivel, una y otra vez, en los ambientes urbanizados, pues las imprecisiones en barreras verticales y en espacios aterrazados (o escalonados) o configurados por pantallas o muros, o cubiertos, son evidentes, notorios y, en medida alguna, insalvables

(para los métodos fotogramétricos). Exigencia en la que la topografía por radiación no sólo es el sustento imprescindible, al retroalimentar la nube de puntos, sino que juega papel de primer orden al servir de instrumento de control.

Así, entonces, contrario a la, aparente, independencia de los métodos, afinada la interpretación de la topografía convencional, se toman los vértices y las curvas de nivel alrededor de y en los predios, y se trasladan a la versión fotogramétrica. Allí se fijan como condiciones de borde (o puntos de control) y se reprocesan, tantas veces como sea pertinente, el modelo digital y las curvas de nivel hasta que se tenga una acertada representación del medio. Piezas trascritas en el Plano 2B y en el Anexo B.8

TABLA 2.9 GEOLOCALIZACIÓN ABSOLUTA: PATRÓN DE RESPUESTA

ERROR MEDIO	ERROR MÁXIMO	ERROR DE GEOLOCALIZACIÓN EN X (%)	ERROR DE GEOLOCALIZACIÓN EN Y (%)	ERROR DE GEOLOCALIZACIÓN EN Z (%)
	-15.00	0.00	0.00	0.00
-15.00	-12.00	0.00	0.00	0.00
-12.00	-9.00	0.00	0.00	0.00
-9.00	-6.00	0.00	1.56	0.00
-6.00	-3.00	0.39	15.04	26.95
-3.00	0.00	47.46	30.86	11.52
0.00	3.00	50.39	36.91	42.19
3.00	6.00	1.76	13.67	19.34
6.00	9.00	0.00	1.95	0.00
9.00	12.00	0.00	0.00	0.00
12.00	15.00	0.00	0.00	0.00
15.00		0.00	0.00	0.00
MEDIA (M)		-4.371910	5.748403	58.552178
SIGMA (M)		0.940693	2.939192	3.242114
ERROR RMS (M)		4.471969	6.456236	58.641869
SESGO DE GEOLOCALIZACIÓN		X	Y	Z
Traslación (m)		-4.365525	5.731262	58.569068

NOTA: EL ERROR DE GEOLOCALIZACIÓN ES LA DIFERENCIA ENTRE LAS POSICIONES DE LA IMAGEN INICIAL Y LA COMPUTADA, EL SESGO DE GEOLOCALIZACIÓN ENTRE LA IMAGEN INICIAL Y LA COMPUTADA ESTA DADO EN EL SISTEMA DE COORDENADAS DE SALIDA.

2.5 GEOMORFOMETRÍA

La transformación de la cuenca y de los aspectos morfológicos y morfométricos, abstraídos de la contrastación cartográfica multitemporal no sólo de las topografías del IGAC 1960 y 1983 (duplicadas en las Planchas L-60, en escala 1:2.000), y de Catastro Distrital (de la plataforma IDECA), 2016 (en escala 1:1.000),

sino de las imágenes satelitales 2000, 2009, 2013 y 2016 (cuya fuente básica es Google Earth), son reflejo ineludible del papel transformador, por demás irregular y devastador, del hombre, a través de la explotación minera y del proceso de urbanismo, más que de la evolución natural, en la que los procesos de inestabilidad y las crecientes son (para Santa Rosa) determinantes de primer orden. La curvatura, la orientación y la convexidad de las superficies libres sufrieron cambios radicales, al pasar de formas convexas, con gradientes relativamente regulares pero amplios y laderas orientadas principalmente al noreste y buzamientos al noroccidente, si se trata de la vertiente izquierda, o al noroccidente e inclinaciones al suroccidente, en lo que respecta a la vertiente derecha, propias de las décadas de los años 60, y conservadas, al menos en la urbanización, en los ochenta; a rectilíneas, con gradientes más estrechos, lo que redundó en pendientes más pronunciadas, y taludes con rumbos, modalmente, NS o NW y buzamientos al occidente, respectivamente, reveladas en la primera y la segunda década del Siglo XXI (por las imágenes de Google Earth y por el IDECA, 2016) y emergidas de la implantación de la urbanización, en la que los cortes y los rellenos son gestores de primer orden. Mutaciones delineadas en la [Figura 2.11](#), en la [Figura 2.12](#), en la [Figura 2.13](#), en la [Figura 2.14](#), y en la [Figura 2.15](#) que asisten como condicionantes de los fenómenos de remoción en masa hoy vigentes, tanto al nororiente como en la vecindad a los módulos residenciales 63 y 71.

Pero las transgresiones se extienden mucho más allá. El cauce de la quebrada Los Toches ha sido modificado, canalizado (parcialmente) y realineado, drásticamente, al sur, esto último, ante todo, en el cinturón nororiental de la Ciudadela, al punto de recostarlo a las manzanas 71 y 63. Sus tributarios, en particular los del sur, que discurrían por lo que hoy ocupan los bloques 73, 81, 94, 95, 98 y 99, han sido borrados u obturados, ignorando la influencia del patrón hidrogeológico; y la ronda de protección (retomada del Acueducto), demarcada, sin el suficiente rigor técnico (presunción despreñada de las excepciones y asimetrías del trazado) entre los 11 m y los 38 m del eje del cauce, yace ocupado o por la manzana 78 o dista de tener el amortiguamiento suficiente en las cuadras 71 y 63.

FIGURA 2.11 ANÁLISIS MULTITEMPORAL: TOPOGRAFÍA

FIGURA 2.12 SECCIONES ANÁLISIS MULTITEMPORAL: TOPOGRAFÍA

FIGURA 2.13 SECCIONES ANÁLISIS MULTITEMPORAL: TOPOGRAFÍA

FIGURA 2.14 ANÁLISIS MULTITEMPORAL: IMÁGENES SATELITALES

FIGURA 2.15 FUENTES CARTOGRÁFICAS Y DELIMITACIÓN DE LA RONDA HÍDRICA

CAPÍTULO 3

GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA

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

La mirada, amplia, de los enfoques integrativos y sistémicos requiere del estudio en diferentes escalas, espaciales y temporales, de imágenes remotas (fotografías aéreas e imágenes de satélite y de radar), de afloramientos (mediciones), y de muestras representativas (micro). Singularidades que dejan en evidencia sus insumos: la fotointerpretación, la exploración geológica y la investigación geotécnica (que incluye la exploración del subsuelo y el inventario de procesos). 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 la 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 (integrada por sondeos, apiques, sondeos eléctricos verticales y refracción sísmica) programada y dimensionada para fines geológicos, hidrogeológicos y geotécnicos, 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:

IDIGER	GIA LTDA	GIA-085-18		INFORME FINAL - PÁG. 71	
VERSIÓN:	3			FECHA	26/08/18
ELABORÓ:	JVG, EOD	REVISÓ:	JALG	APROBÓ:	JAM.

Fase Básica

- Recopilación y análisis bibliográfico de libre consulta entidades como INGEOMINAS, Planeación Distrital, el IDU, el Acueducto y el IDIGER; así como de mapas antiguos de Bogotá. Hace énfasis en aspectos de cartografía geológica, en cursos antiguos de agua, en datos estructurales, en procesos morfodinámicos, en información geotécnica, climatológica, hidrológica, hidrogeológica, Detalles adicionales se precisan en el numeral 3.2 de este capítulo.
- Interpretación multitemporal de fotografías aéreas. Tiene tres objetivos principales; el primero aportar a la cartografía geológica y al conocimiento de relaciones litológicas regionales; el segundo facilitar el trasegar (y porque no el conocimiento) de las cargas a las que ha sido sometida la porción de la vertiente en la historia reciente (revelado por cortes, llenos, deslizamientos, etc.); y el tercero reconocer la evolución morfodinámica y los cambios morfológicos, cometidos alcanzados gracias al análisis multitemporal. Permite articular la información, producir los mapas geológico y geomorfológico locales, enlazar los elementos particulares medidos directamente y determinar grandes rasgos del estilo estructural que opera en la cuenca y que ha sido el responsable tanto de la geomorfología actual como de los procesos denudativos.

Está fundada en fotografías aéreas desde la década de los 50 (siglo XX) hasta la primera década del siglo XXI. Y se centra en la delimitación tanto de los procesos morfodinámicos como de la transformación llevada a cabo por las actividades humanas sobre la morfología primaria (rellenos, extracciones, excavaciones, etc.).

- Las fotografías aéreas usadas son escogidas o por su escala, o por su calidad en mostrar rasgos morfoestructurales y morfodinámicos o por contener información sobre momentos en el tiempo que pudieran ser representativos de hechos que expliquen la respuesta actual de las laderas. En esta tarea se usan estereoscopios de espejos y de bolsillo (de 2 y 4 aumentos), que permiten detallar los puntos de interés.
- Adquisición de planos topográficos a escala 1:10.000 y 1:2000, disponibles en el IGAC y en otras entidades.
- Reconocimiento general del terreno. Compila diferentes visitas de campo destinadas a reconocer e identificar (básica) las unidades de roca y de suelo, e idealizar la estratigrafía del predio, así como delimitar los potenciales procesos de inestabilidad y de sus mecanismos de falla, y coadyuvar en la planificación de la fase de campo.

Fase de Campo y Oficina

Abarca:

- El levantamiento de datos estructurales y de columnas estratigráficas detalladas de las litologías aflorantes, a nivel local.
- La toma de fotografías convencionales que ilustran las características de relevancia.
- La generación de los planos geológico regional y detallado, con énfasis en la delimitación de los depósitos recientes –de ladera –; así como de las unidades líticas aflorantes, y en la diagramación de las unidades y de los procesos geomorfológicos; para tales fines, se aprovechan los escarpes y los cortes forjados para la explotación de los Chircales, por la construcción de vías y por los proyectos urbanísticos.

Los planos geológicos plasman las relaciones estratigráficas y estructurales, a fe de facilitar la elaboración de un modelo coherente de la corteza en las laderas. Para lograr este objetivo es

necesario asumir hipótesis y descartar mediciones u observaciones no concordantes con las tendencias generales. De esta manera, se obtiene una representación de la realidad con incertidumbre y con la carga de prejuicios que llevan al cartógrafo a darle peso relativo a las variables en un proceso epistemológico no independiente del valorador y del proceso del conocimiento.

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

3.2 ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN EXISTENTE

Del extenso catálogo de documentos técnicos en manos de las entidades públicas), tal vez los de mayor trascendencia para entender la incubación y el resultado en la urbanización son:

- CIVILES LTDA., INGENIEROS CONSULTORES (1999). “Zonificación de Amenaza y Riesgo por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras para Estabilizar el Barrio Nueva España, Localidad de San Cristóbal”. IDIGER. Bogotá D. C.
- CHAVARRO M. CARLOS (2015). “Concepto Técnico CAR-2620, Altos de Zipa, Localidad de San Cristóbal”. IDIGER. Bogotá D. C.
- HOYOS C. EDSON ORLANDO (2001). “Diagnóstico Técnico DI-1292, Santa Rosa – Altos de Zipa, Localidad de San Cristóbal”. IDIGER. Bogotá D. C.
- HOYOS C. EDSON ORLANDO (2006). “Concepto Técnico CT-4361, Urbanización Ciudadela Santa Rosa (Alpes de Zipa), Localidad de San Cristóbal”. IDIGER. 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.
- GEOCING LTDA. (2010). “Estudios de Riesgos por Fenómenos de Remoción en Masa para el Barrio Moralba, Localidad de San Cristóbal”. IDIGER. Bogotá D. C.
- GIA CONSULTORES LTDA. (2013). “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 Buena Vista Sur Oriental II, Etapas I y II, Localidad de San Cristóbal”. IDIGER. Bogotá D. C.
- GIA CONSULTORES LTDA. (2009). “Estudio de Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa y Evaluación de Alternativas de Mitigación para la Urbanización Buena Vista Oriental III Etapa, Localidad de San Cristóbal”. IDIGER. Bogotá D. C.
- 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.
- LEAL N. MARIO Y OTROS (2013). “Concepto Técnico CT-6889, Urbanización Ciudadela Santa Rosa – Sector Catastral Alpes de Zipa, Localidad de San Cristóbal”. IDIGER. Bogotá D. C.
- MOTTA T. CARLOS EDUARDO (2002). “Diagnóstico Técnico DI-1636, Urbanización Santa Rosa, Localidad de San Cristóbal”. IDIGER. Bogotá D. C.

- MOTTA T. CARLOS EDUARDO (2002). "Diagnóstico Técnico DI-1652, Urbanización Santa Rosa, Localidad de San Cristóbal". IDIGER. Bogotá D. C.
- MOTTA T. CARLOS EDUARDO (2002). "Diagnóstico Técnico DI-1638, Urbanización Santa Rosa, Localidad de San Cristóbal". IDIGER. Bogotá D. C.
- MOTTA T. CARLOS EDUARDO (2003). "Diagnóstico Técnico DI-1676, Urbanización Santa Rosa, Localidad de San Cristóbal". IDIGER. Bogotá D. C.
- MOTTA T. CARLOS EDUARDO (2004). "Diagnóstico Técnico DI-2135, Urbanización Santa Rosa, Localidad de San Cristóbal". IDIGER. Bogotá D. C.
- NIVIA Q., ÁLVARO (2000). "Estudio de Riesgo por Remoción en Masa y Diseño Detallado de las Obras de Control, Protección y Estabilización en el Barrio Nueva España, Localidad de San Cristóbal". IDIGER. 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.
- TAPIA M., DARÍO G., (1999). "Diagnóstico Técnico DI-659, Ciudadela Santa Rosa, Localidad de San Cristóbal". IDIGER. 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.
- UNIÓN TEMPORAL GEOTECNIA SAN CRISTÓBAL (2007). "Elaboración de Diseños de Obras, Presupuestos y Especificaciones Técnicas en Sitios Críticos de Riesgos Inminente por Remoción en Masa, Sitio 4-Barrio Nueva España, Localidad de San Cristóbal". IDIGER. 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, al norte de Santa Rosa, una ladera estructural con rumbo NE-SW y buzamiento hacia el W, con gradientes entre 30 y 45 grados.

b) Ingeocim (1998a), en la geología escala 1: 10.000, emplaza a la Ciudadela sobre 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, 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), Soitech (2012), Civiles (1999) y UT San Cristóbal (2007), 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 cuenca de la quebrada Los Toches como una sucesión de pendientes estructurales, pero a diferencia de ellos fija la polaridad de los planos de estratificación más al suroeste, con buzamientos entre 25° y 40° (i.e. con rumbo modal NE-SW, e inclinación hacia el NW), 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, gracias a lineamientos fotogeológicos, de diagramar sistemáticas de falla al E-W o al SW-NE. Los modelos estructurales son discontinuo, y develan la importancia de la tectónica en la respuesta de las laderas; no

obstante, no permiten deducir si las trazas y las fallas responden a una o más sistemáticas de influencia regional (y con influencia en Santa Rosa).

d) Gia C. L. (2009 y 2013), 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 incorporar amplias manchas de flujos torrenciales, y enriquece el contexto estructural con registros de estratificación y de diaclasas, y con lineamientos de falla fotogeológicos, que dan pie a suponer que la Ciudadela Santa Rosa se asienta en una ladera estructural, forjada en sucesiones de areniscas y arcillolitas de la formación Bogotá, en la que la estratificación (en posición, aparentemente, normal) exhibe inclinaciones entre los 30 y los 40 grados y rumbo NE-SW. Premisa en parte confirmada por Civiles Ltda (1999), Nivia (2000) y la UT San Cristóbal (2007) al marcar azimutes de buzamiento (en jurisdicción del barrio Nueva España, pero en escenarios distintos) desde 265 hasta 285, pero puesta en entredicho por Geocing (2009), al fijar la orientación de los paquetes de roca, en el barrio Moralba, al NE/SE (con buzamientos entre los 50° y los 70°).

De lo anterior es claro que las cartografías de Civiles Ltda. (1999), Ifcaya (1988), HGA (2000), Soitech (2012), Ingeocim (1998a) y la UT San Cristóbal (2007), son consistentes entre sí, al punto de coincidir en la limpieza estructural de la porción de la vertiente, derrotero del que se distancia GIA (2009 y 2013). Difieren en la prevalencia y extensión del cuaternario, tema en el que Ingeocim (1998a) y Soitech (2012) hacen especial énfasis y dan su mayor contribución, al punto de diagramar flujos de tierras o depósitos fluviotorrenciales en el corredor oriental. Gia (2009 y 2013), 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 (1998a). En gracia de estas consideraciones, y acorde con los más numerosos aportes otorgados por Gia (2013), que es una complementación de Gia (2009), se adopta ésta como la fuente básica para la cartografía en el orbe general, aunque enriquecida por los registros estructurales de los demás consultores.

En lo que respecta a temas como: exploración del subsuelo, ensayos de laboratorio y caracterización geomecánica, el conjunto de documentos técnicos congregan propiedades de resistencia de los paquetes de arenisca, de las lodolitas y de los rellenos antrópicos, en tres particulares escenarios (pues sólo puede acopiarse la información de HGA, 2000, de GIA, 2009 y 2013, y de la UT San Cristóbal, 2007) levantamientos estructurales v.g. en el Triángulo y Corinto, en Buena Vista I, II y III Sector y en Nueva España. Los ensayos disponibles son: cortes directos, cargas puntuales, pesos unitarios, límites, humedades naturales y compresiones confinadas.

El diagnóstico geotécnico y estructural acometido por la Universidad Nacional, enfocado únicamente a la III Etapa de Buenavista y por ende de utilidad muy restringida, 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, que 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 "emergencia" (término figurativo dado al grupo de reportes, con origen

incierto, que promovieron las inspecciones) en Santa Rosa, al margen de los escasos reportes de deslizamientos (tan sólo dos, con causas y volúmenes inciertos, pero presumiblemente pequeños por la poca trascendencia otorgada en los dictámenes) en los casi veinte años de vida de la ciudadela y de sus limitadas repercusiones, ponen de relieve el incierto origen tanto de los procesos que inciden en las edificaciones, como de los estados de emergencia y de riesgo (definidos bajo supuestos y eventos dudosos), más aún cuando los factores condiciones y, en medida alguna, los factores detonantes permanecen latentes. Son instrumentos, junto con el conocimiento de los habitantes y de las fuentes secundarias, para aproximarse a la comprensión de la respuesta mecánica de las laderas antes y ahora; los documentos subrayan la desaparición del drenaje natural y la participación del agua subsuperficial, representada en focos de humedad y en filtraciones, como constantes en el tiempo.

3.3 GEOLOGÍA GENERAL

El corredor de la Cordillera Oriental, inmerso en la cuenca Los Toches, contexto específico de este proyecto, se enmarca en el bloque estructural sur de la Sabana de Bogotá sobre dos provincias geomorfológicas: los Cerros Orientales y la Sabana de Bogotá. El marco de trabajo general, definido por el cuadrángulo, cuyos vértices opuestos responden a las coordenadas: 96670.3661 m N y 98839.8142 m E, si se trata de la esquina suroccidental, y 93627.9515 m N y 100939.9518 m E, en lo que respecta a la esquina nororiental, tiene influencia de la secuencia de rocas sedimentarias que van desde el Cretáceo Superior (Grupo Guadalupe) pasando por alternancias terciarias (Formación Guaduas, Formación Cacho y Formación Bogotá), hasta depósitos del Terciario tardío y del Cuaternario no litificados, posteriores al levantamiento de la Cordillera Oriental, como las formaciones Tilatá, Río Tunjuelo y Sabana. Espectro ilustrado en el Plano 3.

En particular el valle de la quebrada Chiguaza y de su tributario La Paseito yace sobre la Formación Bogotá y sobre materiales fluviales con influencia torrencial, baste repasar el Plano 3. El dominio de los suelos residuales, gestados por la meteorización de las rocas preexistentes (en especial de las lodolitas o de las arcillolitas), de los depósitos de ladera y de los suelos negros orgánicos, que incuban una fuerte influencia del vulcanismo ocurrido durante los últimos 3 Ma, aunque menos notorio, también tiene lugar. Producto de la fuerte intervención antrópica abundan amplios y extensos rellenos, emplazados para adecuación urbanística. Al margen de lo anterior, se levantaron datos estratigráficos y estructurales de las unidades geológicas aflorantes en la periferia con el objeto de soportar los modelos geológicos.

Con respecto a la tectónica, sobresale un sistema de fallamiento preferente con dirección aproximada Norte – Sur, gobernado por la principal estructura geológica de la zona: la Falla de Bogotá. Adicional a este grupo de pliegues y fallas, se abre paso un sistema de fallamiento superpuesto, con dirección predominante NW y con deformación principal de tipo sinistral y un eje anticlinal, con orientación NE-SW.

3.3.1 ESTRATIGRAFÍA

En este numeral se tienen como referencias el Léxico Estratigráfico Internacional (Da Porta, 1974), el estudio del DAMA sobre los aspectos geotécnicos de la actividad extractiva en el Distrito Capital (Fierro, 2004) y documentos técnicos de proyectos conexos. Las formaciones Cretácicas y Cretácicas-Terciarias si bien poseen muy limitada representación en el cuadrángulo de estudio (véase el Plano 3), son tenidas en cuenta por su importancia en el marco regional y por ser parte esencial de los cerros orientales. La caracterización

litológica responde a la información tomada en campo, o abstraída de las exposiciones de los macizos y los depósitos, de las trincheras, de los apiques y de las perforaciones en el marco de este trabajo.

3.3.1.1 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). 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 (Pérez y Salazar, 1973). 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. 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 temprano (Pérez y Salazar, 1973). 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 15 m; 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 90 m y 110 m. 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 las rocas, 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 el 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 (pormenores esbozados el Plano 3). Está moldeada por areniscas de color amarillo rojizo o amarillo claro, de grano grueso, con estratificación cruzada, dispuestas en estratos de 0.1m a 2.0m, que alcanzan un espesor aproximado de 50 m (Ingeominas, Universidad de los Andes, 1997). Suprayace e infrayace concordante y respectivamente a las Formaciones Guaduas y Bogotá.

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 arquitectónica de los barrios Ramajal, Triángulo, Triángulo Alto, Corinto, Los Alpes, Amapolas y Nueva España, y de la Urbanización Buenavista. Es la formación de mayor extensión y cobertura en el cuadrángulo de trabajo general, tal como lo refrenda el Plano 3, y la de mayor interés específico para este trabajo, por ser la receptora de la Ciudadela Santa Rosa y el espacio en el que se marca el cauce y el valle de la quebrada Los Taches. 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 620 m; y el superior armado por arcillolitas de color gris oscuro, gris verdoso y marrón, su espesor sobrepasa los 100 m (Ingeominas, Universidad de los Andes, 1997).

3.3.1.4 CUATERNARIO

Depósitos fluvio-glaciares o fluvio-torrenciales (Qfg)

Responden a alongadas y heterogéneas acumulaciones de bloques de gran tamaño, con formas angulares a subangulares, embebidos en arcillas, arcillas arenosas y limos. Su origen obedece a la acción combinada de la glaciación durante las temporadas frías del Pleistoceno y de los eventos aluviales y coluviales en los periodos inter-glaciales. Eventos que actuaron predominantemente en los materiales arcillosos de la Formación Bogotá, pero que sumaron aportes de areniscas de los cordones estructurales más resistentes, v.g. la Formación Cacho y el Grupo Guadalupe. Reposan a lo largo de la quebrada Ramajal, de la Zuque y de algunos de los drenajes menores, y en Santa Inés y Vitelma, y en parches del barrio Montebello.

Coluviones (Qcl)

Son el producto de la traslocación de los fluvio-glaciares o 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 el arquetipo estratigráfico, 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, Montebello, y Nueva España contexto revelado en 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 traslocadas, 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 las faldas de la cuenca El Toche y 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

El polígono, está inmerso en el bloque tectónico central, uno de los tres en los que está dividida la Sabana de Bogotá¹. 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 en las que se moldean los cerros orientales, gracias al papel de la Falla de Bogotá, dislocación de cabalgamiento de dirección nor-noreste y buzamiento al este. La Falla de Bogotá pone en contacto, sobre la parte media baja de los cerros, las areniscas del Grupo Guadalupe (Ksg) con las arcillolitas o de la Formación Guaduas (Ktg), si el escenario se enmarca al centro de la capital, o de la Formación Bogotá, en lo que respecta a parte de la localidad de San Cristóbal. Su traza en San Cristóbal está bien definida en dirección NE-SW (véase el Plano 3) y está acompañada por otros planos estructurales de rumbo con tendencia NW.

3.4 GEOLOGÍA LOCAL

Este numeral contiene una descripción de la geología, en el espacio exclusivo de la Urbanización Ciudadela Santa Rosa (labor compilada 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 once (13) sondeos (nueve mecánicos, dos manuales y dos eléctricos verticales), diez (10) apiques, ocho (8) líneas de refracción sísmica, cuatro (4) tomografías y setenta y tres (73) estaciones y puntos de control litológico y estructural, que implican la toma y

¹ Microzonificación sísmica de Bogotá (1997). Capítulo 2.

análisis de al menos (200) datos estructurales (parte de ellos recapitulados de Gia C. L., 2013). Los resultados de la investigación geotécnica, junto con sus memorias de cálculo y los registros de exploración, y la localización de los componentes se describen explícitamente en el capítulo 4.

3.4.1 ESTRATIGRAFÍA

3.4.1.1 UNIDADES DE SUELO

Depósito de Deslizamientos Recientes (Qdd1 y Qdd2)

Son cuerpos matriz soportados, moldeados por procesos de inestabilidad. Están ligados genéticamente a los rellenos de reconformación o a los de vertido libre, por lo que su armazón aglutina cantos y gravas de arenisca cuarzosas de grano fino, arcillolitas, 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, aunque por espacios llega a firme, su humedad varía entre baja y media y su color es café con trazas violáceas y rojizas. Conjuga dos unidades, solo diferenciados por su posición espacial, el Qdd1, la masa deslizada más importante y de mayor capacidad de daño, incubada al nororiente en la vertiente derecha de la quebrada Los Toches, y el Qdd2, que reúne dos pequeños cuerpos movidos, contiguos a la manzana 78. Su espesor oscila entre el metro (1.50 m) y el diez metros (10.80 m).

Deposito Antrópico Urbanístico Seleccionado (Qdaus)

Bajo esta designación se conjugan las acumulaciones de material seleccionado, compactado al 90% del proctor modificado, pero cubiertas por una capa de concreto asfáltico o neumático. Su espesor es inferior a los 0.50m. La matriz es arenosa y las partículas más gruesas son de tamaño grava media a gruesa, su humedad es baja a media. Sus evidencias son notorias a lo largo de la red vial que enmarcan las 17 manzanas que dan vida al área de estudio, v.g. la Carrera 13b Este, la Carrera 14a Este, la Carrera 16a Este, la Carrera 17 Este, la Carrera 17a Este, la Carrera 18 Este y la Calle 41b Sur, tal y como lo confirma el Plano 4.

Relleno Antrópico de Reconformación (Qra1)

Encierra partículas hasta tamaño bloque de areniscas y de lodolitas, 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 tres metros, intervalo corroborado por los apiques del A-3 a el A-9, la línea de refracción LRS-6 y los sondeos S-5 y S-8, pero modalmente bordea los dos metros. La filtración de agua en la masa es evidente, en especial por la proximidad al antiguo tributario de la quebrada Los Toches. En él se moldea no sólo el mayor número de terrazas urbanizadas, sino algunas de las laderas del cinturón oriental, y recibe la acción del total de las edificaciones (viviendas) de la Ciudadela. Diagramación ilustrada en el Plano 4 y en la Foto 3.1.

Rellenos Antrópicos de Reconformación (Qra2)

Involucran escombros y residuos sólidos (entre 0.5 y 10 centímetros) aglutinados y compactados o no, y bloques y guijos de areniscas cuarzosas y lodolitas, entremezclados con suelos arcillo-arenosos o arcillosos, de consistencia media. Su espesor aunque errático es inferior a los tres metros (espectro confirmado por la

perforación S-3). Dibujan una morfología suavemente inclinada (con ángulos entre los 7° y los 27°) y dan vida al borde sur del cuadrángulo de estudio, espacio hoy empleado por el barrio Moralba.



FOTO 3.1 RELLENO ANTROPICO DE CONFORMACIÓN EN EL APIQUE A-8

Depósitos Antrópicos Mineros (Qdam)

Encierran bloques y fragmentos de areniscas de grano muy fino a fino, con pobre selección, resultado de la intensa actividad minera que afectó la ladera natural a lo largo de los años 80 y 90 del siglo pasado. Son heterométricos y exhiben colores entre pardo claro y pardo rojizo. La fracción gruesa está embebida en una matriz arcillosa (o lodosa) o arcillo arenosa, semejante a la de los fluvio-glaciares; contiene residuos cerámicos (ladrillos y tuberías), esporádicas basuras y madera, que inicialmente tallaban los antiguos patios de cantera y luego se convirtieron en botaderos. Son de consistencia media y ocasionalmente firme, su humedad natural migra desde baja hasta media, son poco permeables y su plasticidad cambia entre baja y alta. Su espesor puede oscilar entre los 5 m y los 10 m. Sus mejores ejemplos toman lugar en los taludes al sur, suroriente y suroccidente de la urbanización, tal y como se diagrama en el Plano 4 y en los modelos geológicos geotécnicos representados en el Plano 4A, el Plano 4B y el Plano 4C.

Depósitos Coluviales (Qdc)

Comprende la acumulación de bloques de arenisca cuarzosa de grano grueso distribuidos en una matriz grano arenosa de colores que varía entre beige y pardo. Estos depósitos reposan en condiciones de humedad y de pendientes altas y se encuentran espacialmente al norte de la Urbanización Santa Rosa y al este de la Urbanización el Paseito.

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

Son de composición arcillo-limosa o arcillosa de consistencia media y de humedad media. Exponen tonalidades violáceas y rojizas. Su espesor es inferior a los dos metros (tope abstraído de las perforaciones SM-1 y S-3), y descansan, en su gran mayoría, cubiertas por los llenos antrópicos, circunstancia que inhibe su

total exposición en superficie y por consiguiente su cartografía; sin embargo, son tangibles en los modelos geológico.

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

Son 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 o lodosos y arenosos: los primeros se identifican con la sigla Tpb-L y los segundos con la Tpb-A. Unos y otros están parcialmente cubiertos por los suelos residuales de composición parental (Qsr-Tpb-L y Qsr-Tpb-A) o por los rellenos antrópicos, en particular por el Qra1 y el Qra2, o por los de deslizamiento reciente (el Qdd₁ o el Qdd₂).

Formación Bogotá – Niveles Arcillosos (Tpb-L)

Son las unidades más representativas de las vertientes, 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, su color es violeta con trazas habanas y gris claro; 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 de los ochenta y de los noventa) se constituyeron en los económicamente explotables y aprovechables de la labor minera para la fabricación de ladrillo, tejas y bloques.

El Tpb-L1 define el espacio cercano a la carretera a Oriente, limitado por los vestigios más activos de los antiguos frentes de explotación. Se expone hacia la base de las laderas y es el nivel más intervenido; aunque sus características geométricas son inciertas, pero se deduce que supera los 12 m, y responde a los horizontes IIB y III del perfil de Deer y Patton (1972). Se encuentra parcialmente cubierto por suelos residuales cafés o habanos o grises con manchas y vetas rojas o cafés, plásticos, y de humedad media. En él se asienta los barrios San José y Nueva España.

El Tpb-L2 aflora al noroccidente, en los cortes expuestos, labrados, posiblemente, por las últimas escaramuzas de explotación minera, toca los 7m de espesor, es altamente susceptible a la erosión; es el receptor de las manzanas 96, 97 y 98 de Santa Rosa. Está separado de la Tpb-L3 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).

El Tpb-L3 surca gran parte de la ciudadela (véase la [Foto 3.2](#)); sirve de superficie de despegue a los cuerpos de deslizamiento: Qdd1 y Qdd2, y recibe a los llenos dispuestos entre la terraza urbanizada y las los predios libres. 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 1998 y las aéreas de 1977 y 1984). Subyacen parches de 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).

Y el Tpb-L4 define el corredor oriental, yace cubierto por amplias franjas de vegetación arbustiva y arbórea. Su espesor supera los quince (15) metros; su papel en la incubación y desarrollo de los procesos de inestabilidad (en Santa Rosa) es, tal vez, inocuo: su posición estratigráfica (i.e. la más alta), el buzamiento de la estratificación superior a los 50° y la inclinación de buena parte de las superficies libres (cercano a los trece grados) la exime de cualquier responsabilidad.

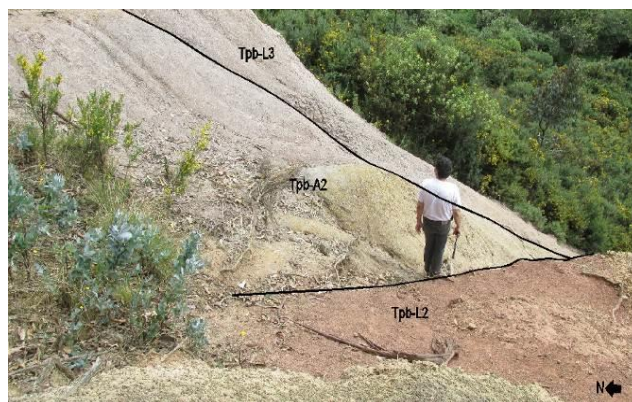


FOTO 3.2 AFLORAMIENTOS AL NOROCCIDENTE DE LA URBANIZACIÓN. SE EXPONEN LAS INTERCALACIONES DE LA Tpb-L2, LA Tpb-A2 Y LA Tpb-L3

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

Es una sucesión 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, amarillo y violáceo, 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 o de las variaciones laterales de facie) y sus espesores divagan desde los dos metros (Tpb-A2 y Tpb-A3) hasta los cuatro (4) metros. Reúne cuatro unidades: la Tpb-A1, la Tpb-A2, la Tpb-A3 y la Tpb-A4; sólo diferenciables por su posición estratigráfica pero con poco aporte en la gestación de los procesos de inestabilidad. El mayor realce espacial lo ocupa la Tpb-A1, en ella se entalla parcialmente el parque de la Ciudadela (*Plano 4A*). Las unidades Tpb-A2 y Tpb-A3, figuran en pequeños espacios, la primera surca paralela a la carrera 14 A Este, próximo al lindero occidental del polígono de trabajo, la segunda asoma en una esquina del barrio Moralba, en un predio baldío enfrenteado a la manzana 65 de Santa Rosa (véase la *Foto 3.3*).

3.4.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

La inversión de la secuencia estratigráfica en el costado oriental de la ciudad, dominio de influencia de la sistemática de Falla de Bogotá, da 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, familias que obedecen al juego de esfuerzos compresivos al que fue sometido todo el conjunto litológico. De otra parte, se develan fracturas inducidas por el efecto de las voladuras adelantadas durante el desarrollo minero, en el que se instalaron diversas explotaciones de materiales para la construcción (en las que se suministra arcillas, recibos, arenas y agregados, entre otros). La falla de Bogotá, o una de sus satélites también de cabalgamiento, pasa a poco más de doscientos metros al oriente de la urbanización, se marca desde N15E hasta N10W, entre las areniscas del grupo Guadalupe y las arcillolitas de la formación Bogotá, perpendicular al cauce de la quebrada Los Toches, y prosigue por entre las montañas del suroriente. Esta estructura recibe el nombre de Clements (1940) en el escarpe de Monserrate; fue cartografiada por Ujueta (1961) en el noreste de la ciudad, llamándola Falla de Monserrate y su buzamiento oscila entre los 15° y los 25° al este (Lobo-Guerrero, 2005). Y aunque autores como Lobo-Guerrero (2005) proponen que superpone la Formación Guadalupe sobre la Formación Guaduas, en este caso deja en contacto el terciario, propio de la formación Bogotá, con el Cretácico, idealizado por la Formación Cacho (en sensu stricto con la Formación Labor); por menor que indefectiblemente replantea el bloque tectónico Suroriental de la capital y abre la puerta para que se estudie con mayor detalle esta singularidad.

Ahora bien, ante los pocos, limitados y dispersos afloramientos, casi en esencia regidos por las lodolitas, unidades que inhibieron la toma de datos, la información estructural, acopiada en el formato de levantamiento estructural, se abstrae, parcialmente, del trabajo de Gia (2012) en Buena Vista I y II Sector. En este sentido, se aunaron en los afloramientos casi 200 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.

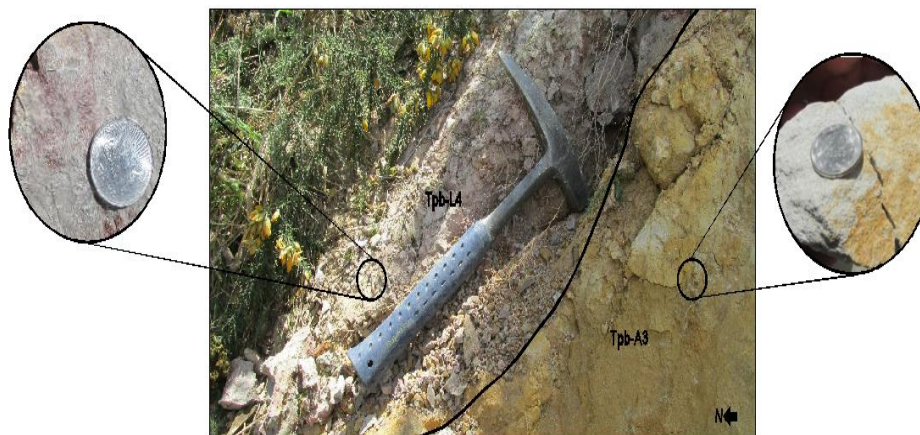


FOTO 3.3 SUCESIONES DE ARENISCAS Y LODOLITAS DE LA FORMACIÓN BOGOTÁ AL SURESTE DE LA CIUDADELA

3.4.2.1 DISCONTINUIDADES

Son los rasgos estructurales más abundantes. Se trata de superficies de fractura en los que el movimiento es imperceptible; se generan a partir de esfuerzos deformacionales propios de la geodinámica terrestre, y ejercen control mecánico en las principales exposiciones de los macizos rocosos. Santa Rosa, reposa en el corredor de influencia de un anticlinal asimétrico y cerrado (bautizado como el Anticlinal de Zipa), con

dirección aproximada desde N20E hasta N40E, es decir se encaja en una pendiente estructural si se el enfoque se fija al occidente y en una contrapendiente si se circunscribe al oriente, sin traslocaciones o cambios de polaridad relevantes en los flancos.

La secuencia estratigráfica descansa con dirección de buzamiento medio 265 e inclinación de 50 grados, pero con variaciones locales que discurren desde los 40 grados hasta los 60 grados, en lo que respecta al cinturón occidental, y de 116 y 57 en lo que atañe a la franja oriental. Lo anterior remarca que Santa Rosa está surcada por dos dominios estructurales. La estratificación es plana rugosa a plana suave (postulado plasmado en la *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 fijarlos como principio o de lanzar un juicio definitivo.



FOTO 3.4 PLANO DE ESTRATIFICACIÓN EN LOS NIVELES DE ARENISCAS AL NOROCCIDENTE DE LA CUENCA

3.5 GEOMORFOLOGÍA

La geomorfología es una disciplina que analiza los paisajes y los factores que los producen y modifican, con el propósito de definir y estructurar soluciones a los problemas condicionados o desencadenados por cambios en las condiciones de equilibrio. El desarrollo de surcos y cárcavas fruto de la alteración o de la suplantación en la cobertura vegetal, y los cortes y los rellenos en las laderas con fines urbanísticos, son algunos ejemplos de los eventos que promueven el desequilibrio.

La inclinación y la forma de las laderas depende en gran medida del material que las constituye (i.e de la litología), de esta manera en horizontes competentes las pendientes son fuertes, mientras que en paquetes blandos, caso particular de los suelos, las pendientes son suaves (Van Zuidam, 1985, véase la *Tabla 3.1*). El paisaje de las vertientes de la cuenca alta de la quebrada Los Toches, plataforma de estudio, es el producto, principal, de la combinación de procesos volcánicos formadores del relieve, de procesos tectónicos, relacionados con el levantamiento de la Cordillera, y de procesos erosivos recientes, que han dado lugar a vertientes montañosas, matizadas por laderas escarpadas que contrastan con las moderadamente inclinadas a extremadamente escarpadas provocadas por las transformaciones de finales del eoceno y del cuaternario.

3.5.1 MORFOLOGÍA ESTRUCTURAL (FORMAS)

Consiste en la descripción de las formas del relieve acorde con la morfometría, con parámetros cuantificables de caracterización (entre ellos la forma y la pendiente de ladera, la diferencia de relieve y el patrón de drenaje), con la erodabilidad relativa (o con la competencia de los materiales ante la meteorización), con la disposición estructural de los macizos rocosos y con la morfogénesis (en otras palabras con los ambientes de formación de la geoforma). Parámetros que siguen, según sea la escala de trabajo, un método preestablecido en la clasificación geomorfológica, que va desde formas regionales (provincias morfológicas) hasta la unidad geomorfológica básica (la geoforma). En este orden de ideas se hace una caracterización morfológica desde una escala regional hasta una particular que contiene la zona de estudio.

TABLA 3.1 CLASIFICACIÓN DE LAS PENDIENTES

PARÁMETRO	UNIDAD CARTOGRÁFICA DE PARÁMETRO	INCLINACIÓN (EN GRADOS)
INCLINACIÓN DE LA PENDIENTE	PLANA O CASI PLANA	0 – 2
	LIGERAMENTE INCLINADA	2 – 4
	INCLINADA	4 – 8
	MODERADAMENTE ESCARPADA	8 – 16
	ESCARPADA	16 – 35
	MUY ESCARPADA	35 – 55
	EXTREMADAMENTE ESCARPADA	> 55

FUENTE: VAN ZUIDAM (1985)

Santa Rosa descansa en la franja alta de una sucesión de laderas denudacionales, plegadas (inmersas en el Anticlinal de Zipa), con buzamientos hacia el occidente o hacia el oriente, acorde con el flanco del pliegue que se trate, originadas en su arreglo morfológico primario por la inversión de la secuencia lito estratigráfica cretáceo-terciaria de los cerros orientales de la ciudad (pues yace en el corredor de influencia de la Falla de Bogotá), y seguidamente por eventos fluviales y de glaciación, relacionados con el retroceso de las masas de hielo. Las laderas naturales tenían inclinaciones promedios de 17°, superiores en tres grados a la vigentes hoy día, diferencia explicada por el accionar antrópico a manera de cortes y de rellenos para minería en los materiales de cobertura y en el substrato rocoso, y para urbanización. Alteraciones últimas forjadas en las dos últimas décadas del siglo pasado.

Posteriormente, se adelantaron indiscriminadas labores de minería a cielo abierto para la extracción de materiales de construcción (en particular arcillas para la fabricación de ladrillos) 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 concebida, en la última década del siglo XX.

El proceso de urbanización relleno parcialmente el valle de La quebrada Los Toches con residuos mineros o provenientes de las proximidades, es decir, con arcillas y rellenos moldeados por cortes, dispuestos en las laderas sin compactación ni tratamiento de estabilización o confinamiento alguno, y reconformo los vallecitos de los afluentes (en algunos casos hasta desaparecerlos), que eran y son espacios naturales de acumulación de agua con las implicaciones que esto involucra para la resistencia en materiales de media y alta plasticidad, sin considerar las acumulaciones hídras y los desvíos promovidos durante la producción de materiales de construcción cerámicos. Sobre estos horizontes se dispusieron a su vez, rellenos antrópicos, en las unidades más bajas y en el cauce de Los Toches (las que más concentran humedad) con el fin de reducir pendientes y mantener el nivel de las vías.

En este orden de ideas y sin perder el concepto geomorfológico de pendientes y contrapendientes estructurales originales, según lo confirman las aerofotos de 1955, se identifican dos unidades básicas de ladera: la moderadamente intervenida y la de alta intervención por actividades extractivas. Esta última sometida a procesos morfodinámicos (de pequeña magnitud), que involucran principalmente los rellenos; 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 LADERA ESTRUCTURAL CON INTERVENCIÓN INTENSA POR ACTIVIDADES MINERA: LEIM

Agrupar las superficies libres moldeadas en alternancias de lodolitas y areniscas de matriz arcillosa, dispuestas con rumbo modal N13E y buzamientos entre 35 y 79 al NW, sometidas, como parte de la extracción de las arcillas, a los cortes más amplios y de mayor envergadura. Si bien la actividad minera fue trascendental en el pasado, pocas evidencias quedan de su acción, con excepción de los escarpes al norte y al noroccidente de Santa Rosa (huellas reproducidas en la [Foto 3.5](#)), en parte enmascarados por la vegetación.

La explotación antaño en nada fue tecnificada y se limitó a la extracción desordenada de arcilla donde así se pudiera; plan de trabajo responsable de la formación de cortes cuasiverticales, y de la incubación de los más importantes frentes de erosión pluvial (que involucra parte de la vertiente derecha de la cuenca, tal y como se ilustra en el [Plano 5](#)).

3.5.1.2 UNIDAD DE LADERA DENUDACIONAL CON INTERVENCIÓN INTENSA POR MINERÍA: LDIM

Comparte con la ladera estructural (LEIM) el ordenamiento estratigráfico y el arreglo estructural, la incidencia antrópica, los antecedentes de explotación, los rasgos morfodinámicos y algunas de las características morfométricas y morfológicas. Se diferencia de ella en la amplia injerencia de los rellenos en el arreglo litoestratigráfico (al punto de ser la cubierta superficial por excelencia), y en la capacidad de incubarse flujos de tierra y deslizamientos traslacionales en los taludes, y en la posición en la cuenca, pues reposa entre las dos ventanas de la unidad LEM.

3.5.1.3 LADERA DENUDACIONAL POCO INTERVENIDA: LDPI

Ocupa el pasillo menos perturbado por el laboreo y las prácticas humanas. Su cubierta superficial está demarcada por masas coluviales, posiblemente, delgadas, que sobreyacen las lodolitas de la formación Bogotá. Fue receptora durante de las décadas del 70 y del 80 de corredores viales, posiblemente usados en la industria minera, y de senderos peatonales, que aún resisten el paso del tiempo. Toma lugar en un pedazo de la divisoria de aguas, gobernado por pendientes desde moderadamente escarpadas hasta escarpadas (i.e entre 15° y 21°) y retrabajado por la erosión laminar y por algunos surquillos, pero libre de la influencia de los movimientos en masa.

3.5.1.4 EXPLANACIONES POR ACTIVIDAD MINERA: DLIMU

Son los cortes a manera de terrazas, reconformados o no por compactación del material allanado o por llenado y nivelación de las depresiones topográficas; lucen pendientes entre 2° y 5° (clasificadas entre ligeramente inclinada e inclinada, Van Zuidam, 1985), y coinciden con antiguos patios de operación de canteras o de fábricas de ladrillo, a posteriori convertidos en plataformas de acopio. Están modeladas en paquetes de arcillolitas y de suelos residuales, y por su baja pendiente desarrollan focos erosivos laminares. Se abren paso alrededor de la divisoria de aguas, escenario ilustrado en el Plano 5.

3.5.1.5 CAUCE NATURAL: LDCN

Se designa así a la depresión natural producto del entallamiento generado por la corriente de la quebrada Los Toches, poco o nada modificada por las prácticas humanas, especialmente por la minera y por la urbanística. Se entallan al norte de la ciudadela, entre los suelos residuales de las lodolitas y las unidades de roca, y en los corredores de morfología rugosa que permitían la acumulación de agua (véase el Plano 5). Sus pendientes oscilan entre los 2° y los 16°, y es identificable en las fotografías aéreas y por los cambios morfométricos que dan forma al nivel base de la cuenca. El único y más claro ejemplo de estos escenarios se plasma en la Foto 3.6.

3.5.1.6 LADERA DENUDACIONAL CON INTERVENCIÓN INTENSA POR URBANIZACIÓN: LDIU

Es producto de cortes y de rellenos antrópicos reconformados para la implantación de las unidades habitacionales, ejecutados en los valles de vertiente sur de la quebrada (panorama proyectado en la Foto 3.7). Delinean pendientes entre inclinada y escarpada, es decir entre 7° y 27° (Van Zuidam, 1985). Abarca los predios en los que se yerguen la Ciudadela Santa Rosa, y sus más de novecientas unidades habitacionales, y el barrio Moralba (conjuntos duplicados en el Plano 5). Puede recibir el halo transformador de deslizamientos sencillos, o de flujos de tierra locales y subsuperficiales. Actividad morfodinámica e hidrogeológica de especial trascendencia en la urbanización, en el que la unidad litológica de mayor potencial de movilización es el relleno antrópico, y designado bajo el símbolo LDIU.

3.5.1.7 LADERA DENUDACIONAL CON MODERADA INTERVENCIÓN POR URBANISMO: LDMIU

Integra los escenarios sometidos a las mismas acciones de los urbanizados, y conexos a ellos. Recogen por lo tanto extracciones, alteraciones mineras, cortes irregulares, desviaciones o canalizaciones u obturaciones

de cursos de agua, y en algunos casos reconfiguraciones morfológicas con rellenos pobremente seleccionados. Anomalías que alteran el ordenamiento estratigráfico, al incorporar o sustraer materiales, que redefinen los modelos morfológicos, al disminuir las pendientes medias desde los 17° hasta órdenes inferiores a los nueve grados, y que dejan a la erosión en surcos como el principal proceso transformador y a los deslizamientos (sean rotacionales o traslacionales) como los eventos potenciales más severos y de especial significancia en la transformación de los entornos de riesgo. Estos elementos sumados a la ausencia de edificaciones son los diferenciadores frente a la unidad LDIU.



FOTO 3.5 HUELLAS DE EXPLOTACIÓN EN LAS LADERAS ESTRUCTURALES TALLADAS EN LODOLITAS Y EN ARENISCAS DE LA FORMACIÓN BOGOTÁ



FOTO 3.6 CAUCE NATURAL DE LA QUEBRADA LOS TOCHES: LA IMAGEN REMARCA EL TRAMO NATURAL REMANENTE DEL CAUCE, EL LECHO SE MOLDEA EN SUELOS RESIDUALES Y EN VENTANAS DE LODOLITAS.

3.5.1.8 **CONTRAPENDIENTE ESTRUCTURAL MODERADAMENTE INTERVENIDA POR ACTIVIDAD MINERA: CEMM**

Simboliza el reflejo morfogenético de la ladera estructural altamente intervenida por el trabajo minero (la unidad LEIM), peculiaridad que deja en evidencia su posición en el flanco este del anticlinal y la inclinación de los estratos al sureste. Yace enfrentada a su contraria (la unidad LEIM), en uno de los predios más conservados de la cuenca y de la vertiente derecha, al norte de las manzanas 71 y 63. En ella toman lugar no sólo la misma sucesión rocosa y las mismas pendientes sino los mismos eventos morfodinámicos. Distintivos captados en la *Foto 3.8* y en el *Plano 5*.



FOTO 3.7 LADERA DENUDACIONAL CON INTERVENCIÓN INTENSA POR URBANIZACIÓN, EN ELLA SE ADOSA LA CIUDADELA SANTA ROSA Y MORALBA



FOTO 3.8 CONTRAPENDIENTE ESTRUCTURAL MODERADAMENTE INTERVENIDA POR ACTIVIDAD MINERA AL NORTE DE LA CIUDADELA SANTA ROSA

3.5.1.9 ESCARPE ESTRUCTURAL: EE

Es la expresión morfoestructural incubada por la principal fractura en el suroriente: la falla de Bogotá, y por la que se hace patente su superficie de despegue. Está labrado por las lodolitas (o arcillolitas) de la formación Bogotá y por las areniscas de la formación Cacho, y sirve de superficie de liberación a los acuíferos y al agua almacenado en ellos, una de las fuentes de formación de la cuenca de la quebrada Chiguaza y de su ramal la quebrada Los Toches. Revela buzamientos heterogéneos pero normalmente superiores a los cuarenta grados.

3.5.1.10 CONOS DE DESLIZAMIENTO: DCP

Si bien son parte constitutivas o de la contrapendiente estructural o de la ladera denudacional moderadamente intervenida por urbanismo, LDMIU, la participación tanto de los residuos mineros, que alcanzan los diez metros de espesor, y de los rellenos antrópicos, como de los más notorios y activos cuerpos de inestabilidad los separan y discriminan de una y otra unidad. Son los escenarios móviles por excelencia, ostentan buzamientos entre 11° y 25°, y se circunscriben a dos flujos locales de tierra y a un deslizamiento traslacional; este último el de mayor cobertura espacial y de incidencia hoy día en la ciudadela, en particular

en las manzanas 71 y 78, y el modelador de las superficies libres en el extremo nororiental del cuadrángulo de trabajo. Composición ilustrada en la *Foto 3.9* y en el *Plano 5*.



FOTO 3.9 CONO DE DESLIZAMIENTO EN LA ESQUINA NOROESTE DE LA MANZANA 78

3.5.2 MORFODINÁMICA

En este apartado se abordan los procesos que modifican el relieve y los agentes que inciden en estos cambios, principalmente aquellos que tienen algún grado de importancia para la ciudadela. Cada unidad de morfodinámica posee rasgos morfológicos particulares que dependen, entre otros elementos, de los agentes y de los eventos denudativos que en ella se desarrollan. Tales rasgos permiten dilucidar el tipo de fenómeno esperado, las causas intrínsecas y extrínsecas (o detonantes), y su estado de actividad y desarrollo, variables y características definidas acorde con los derroteros fijados por Varnes (1978), IAEG (1990), Cruden y Varnes (1996) y Vargas (1999). Entre los más relevantes procesos se tienen:

3.5.2.1 METEORIZACIÓN

Es el conjunto de transformaciones externas (físico-químicos) que causa la alteración y la desintegración de la roca in situ. Para la cuenca de la quebrada Los Toches el principal factor de meteorización es el hídrico. Este modifica las propiedades físicas y químicas originales de cada litología, creando condiciones que facilitan la incisión del agua en los materiales que pierden cementantes, lavado de minerales y concentración de otros, y que por lo tanto las hace más susceptibles a la erosión y a los procesos de remoción en masa; cuando la mutación es muy avanzada lleva al cambio de los macizos rocosos a suelos residuales.

El perfil de meteorización se traduce, entonces, para la formación Bogotá, en un horizonte arcilloso de colores amarillo o gris amarillento (apariencia recapitulada en el sondeo S-5), o en una costra de fragmentos líticos embebidos o no en matriz arenosa o lodosa (arreglo dictado por la perforación SM-1), propios de los horizontes IB, IC o IIA del perfil de Deer y Patton (1971), que alcanza espesores diversos, pero que en el marco espacial del estudio no superan los dos metros, escenario preferencial para la formación de deslizamientos traslacionales, y flujos de tierras que se movilizan toda vez que los horizontes de suelo se saturan o se reblandezcan, especialmente en las temporadas de lluvias intensas.

3.5.2.2 PROCESOS DE EROSIÓN

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

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

La mayor parte de los procesos erosivos se promueven en masas denudadas, y en cortes para urbanización o en frentes de canteras; los materiales tienden a desarrollar surcos y cárcavas que exhiben entallamientos mayores a 1.0 m y formas características en U y en V, cuando interrumpen algún flujo superficial de escorrentía; en pendientes suavemente inclinadas el arrastre genera erosión difusa y flujos laminares. En Santa Rosa, la actividad extractiva ha dejado frentes libres denudados y rellenos irregularmente configurados en los que la erosión, laminar y en sucos ante todo, tiene asidero por la ausencia o la deficiencia en el manejo de las aguas superficiales y por la ausencia o deficiencia en la cobertura vegetal, lo que provoca la incisión preferencial en las superficies expuestas, sean éstas taludes o patios. Así, entonces, la erosión se marca en casi todas las laderas retrabajadas por la actividad extractiva (reinante al norte y al oriente de la cuenca y de las viviendas), y en los taludes temporales inherentes al accionar minero y urbanístico, pero los focos de mayor intensidad (propios de la erosión en surcos) se abren paso en ventanas aisladas, figuradas entre unas y otros, en particular en la vertiente derecha de Los Toches, al norte de la manzana 93, y al oriente de la carrera 18 Este.

3.5.2.3 PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA (FRM)

Sus expresiones hoy día son de amplia representatividad y significado, puesto que ponen de manifiesto la susceptibilidad de las laderas y dan una idea (gruesa por demás) de los estadios de amenaza. Están simbolizados por dos desprendimientos, el DP-002AS y el DP-003AS; por dos deslizamientos traslacionales, el DT-001AC y el DT-004AA, y por un flujo de tierra, el FT-001IR. Su actividad y desarrollo, expresada en estado y distribución, es activo-avanzado (AA), activo simple (AS), y activo-confinado (AC). Tienen profundidades de hasta 9.5 m, con anchos en la parte media de cercana a los setenta metros en el DT-001AC, y entre cuatro y seis metros para los restantes; y longitudes de hasta trescientos veinte metros, sólo registrada en el DT-001AC. Los escarpes principales tocan los cinco metros, si se trata del principal (el DT-004AC), o se calcan con alturas inferiores al metro y medio, en lo que atañe a los menores. Su movilización es facilitada por el pronunciada buzamiento de las laderas, por el manejo inadecuado del drenaje, por la saturación parcial o por la presurización, por las altas pendientes del contacto suelo-roca (superiores a los ángulos de fricción básicos del lleno) y por el reblandecimiento del material.

De este conjunto de eventos el de mayor envergadura y trascendencia en el complejo es el DT-001AC, su volumen movilizado bordea los 16.000 m², su superficie de deslizamiento concuerda con el contacto suelo-

roca, su movilización se da a lo largo de las superficies más débiles, y su capacidad de destrucción redonda en daños leves a la infraestructura pluvial y a las viviendas, adicionado a la pérdida de vegetación y a la percepción del incremento de la vulnerabilidad. Sus indicios de actividad se remontan a los primeros años de este siglo (en particular al año 2000). La tasa de movimiento migra entre muy baja y baja (Varnes, 1978, citado por Cruden y Varnes, 1996) de centímetros por año. Si bien su repercusión es incuestionable, su extinción (o su control) es inaplazable: el uso venidero depende de su tratamiento y de su estabilización.

El Plano 5 integra la ubicación espacial de los procesos y delinea su apariencia, y el Anexo C.2, resaltan detalles adicionales de sus características geométricas y estratigráficas y de las causas intrínsecas y extrínsecas, entre otras: de la secuencia estratigráfica, de las propiedades de los materiales (fijadas con elementos del razonamiento aproximado), de la frecuencia del fenómeno, su actividad y desarrollo, y de los agentes detonantes y contribuyentes.

3.6 ANTECEDENTES DE LOS PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA

La reconstrucción y la descripción de los antecedentes históricos de los sucesos denudativos en la cuenca alta del Toche, están apuntaladas en la consulta e interpretación de fotografías aéreas de los años 40, 50, 52, 55, 77, 84, 90, 98 del siglo pasado y 2004, registro condensado en la Tabla 3.2, y en las imágenes de satélite de los años 2000, 2009, 2013 y 2016. Esta tarea se centra en la ubicación y diagramación de los rasgos tectónicos y de los procesos erosivos y de remoción en masa, y en la esquematización de la acción humana en las laderas, trabajo tangible en la extracción de materiales, en la creación de escarpes, en la desviación o canalización de los drenajes y en la conformación de rellenos para construcción de viviendas, etc.

La morfodinámica en la totalidad del polígono de estudio se incubó a partir de la extracción desordenada y no tecnificada de materiales arcillosos. Las fotografías aéreas previas a la intervención minera exponen laderas estables, moldeadas por deslizamientos incipientes que reflejan el sensible equilibrio geodinámico, disectadas por dos caños, uno aparentemente rellenado con material lateral de la explanación para la adecuación de la urbanización, y otro desplazado y canalizado.

3.6.1 AÑO 1955 (VUELO IGAC M-46)

Para ese entonces los predios hoy día ocupados por Santa Rosa son drenados y disectados por dos pequeños caños rectilíneos que bosquejan un patrón dendrítico. El primero, el de la quebrada El Toche, se abre paso inmediatamente al norte de la urbanización y nace metros arriba de su perímetro oriental; su cauce es continuo, curvilíneo y recibe los aportes de un afluente menor. El segundo surca desde la parte superior, del suroriente al noroccidente, los predios de la urbanización.

La infraestructura está regida por tres vías. Una, la más importante, con geometría horizontal y estructura de pavimento totalmente definida, es la antigua Vía a Villavicencio, hoy conocida como carretera a Oriente; y las otras dos, en afirmado, marcan sus alineamientos al sur de la urbanización, y llevan a sendas canteras (rotuladas con los códigos 2 y 3), una de ellas la de El Zuque, identificada con el número 3. La influencia antrópica si bien no es generalizada si es desmedida, errática e intensa. Los frentes mineros se concentran en el cinturón norte (en las exposiciones de rocas blandas), sus cortes descubren fuertes buzamientos y alturas, y su proceso de explotación es irregular, y las canteras se instalan en los bancos de roca dura, en dos

pequeñas ventanas al riente. Y los pulsos de urbanismo se circunscriben a los barrios San Blas II, Ramajal y Santa Inés Sur.

Las laderas encierran diversos tipos de materiales, los menos competentes, responden a depósitos fluvioglaciares o masas coluviales (unos y otros rotulados con el símbolo Qcl) modelan geoformas alongadas, regulares con inclinaciones entre moderadamente inclinadas y abruptas; y los de mayor resistencia responden en primer y segundo orden a las areniscas del Grupo Guadalupe (Ksg) y de la Formación Cacho (Tc), estas últimas de resistencia moderada, cierra el conjunto los paquetes blandas (de sucesiones de areniscas y lodolitas) de la Formación Bogotá (Tpb); en ellos se labran las cadenas montañosas circunvecinas, y los mayores buzamientos. Conjunto delimitado en la *Figura 3.1*.

La secuencia rocosa descansa en posición NE/SE al oriente, y NE/NW al norte y alrededor de la cuenca Los Taches, arreglo que da pie a trazar el eje de un anticlinal (rotulado en este trabajo como el Anticlinal de Zipa), pliegue que se prolonga hasta el entronque con el Río San Cristóbal. Pero esta no es la única fractura en el recuadro. Completa el complejo estructural la falla inversa de Bogotá, que se proyecta cerca del piedemonte oriental, un poco más debajo de las fuentes secundarias.

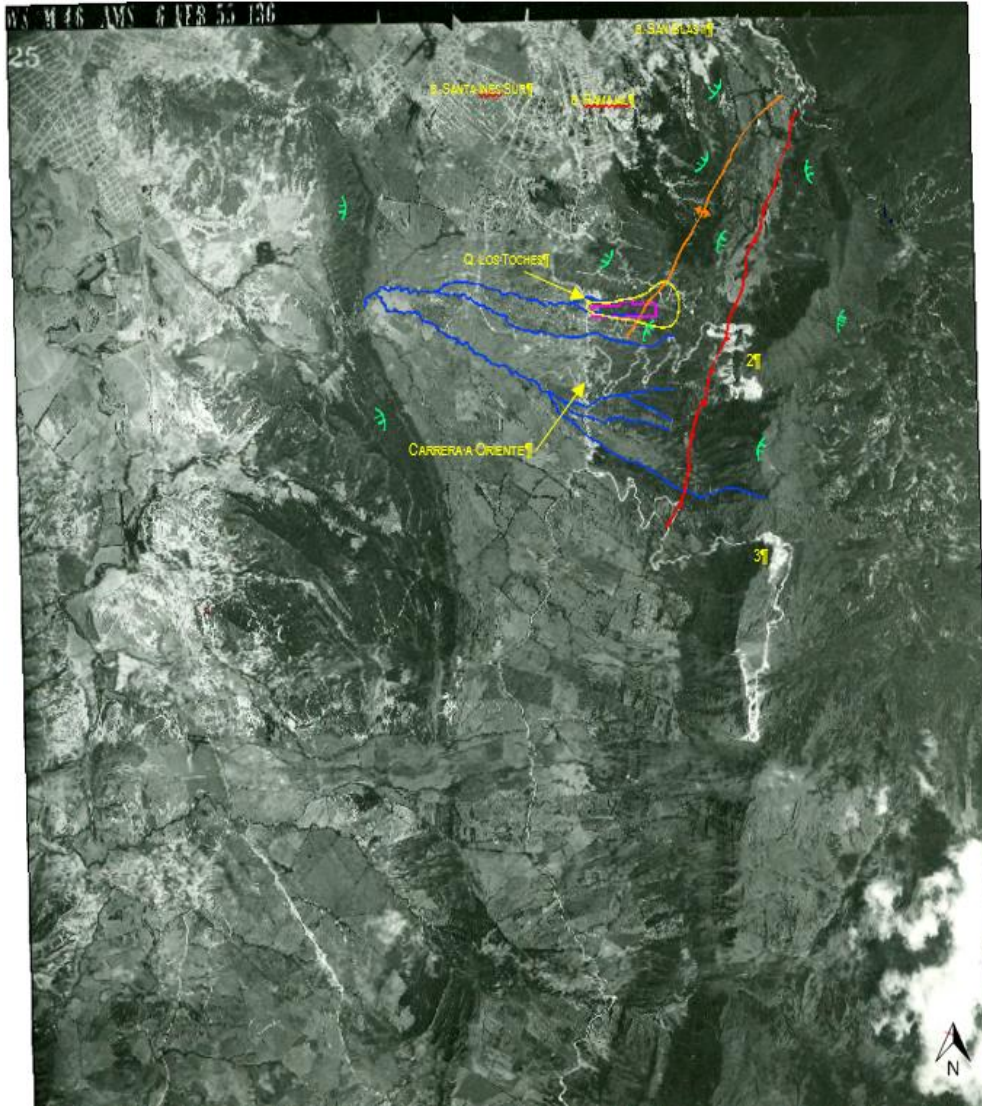
Las huellas morfodinámicas aunque reducidas en número son en extensión (o tamaño) y actividad de especial trascendencia. Los dos únicos deslizamientos se ciñen en la vecindad a Santa Rosa y en el espacio que hoy día se conoce con el nombre de El Paseito. Son activos, su longitud (sobre pendiente) supera los cientos de metros, y su ancho es de decena de metros.




TABLA 3.2 INFORMACIÓN AEROFOTOGRAFICA

VUELO	ESCALA	FECHA	FOTOS
C-35	1:22.000	1940	844-850
C-604	1:15.000	1950	52-71
C-619	1: 18.000	1952	01-32
C-636	1:10.000	1953	10-31
C-743	1:9.000	1955	956-993
C-743	1:9.000	1955	910-912
M-46	1:30.000	1955	4524-4527
C-1774	1:8.000	1977	69-72
C-2128	1:18.000	1984	149-152
C 2323	1:21.500	1987	125-126
R-1131	1:5.600	1990	2310-2313 y 3657-3663
R-1183/S-8600 A	1:19.000	1992	224-226
SAV 415	1:21.000	1998	146-148
C-2717	1:20.460	2004	45-49

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA 3.1 VUELO M-46, AÑO 1955, ESCALA 1:30.000, FOTO 4525



CONVENCIONES					
	Área de Estudio		Red de Drenaje		Falla de Cabalgamiento
	Eje Anticlinal		Buzamiento		Deposito

3.6.2 AÑO 1977 (VUELO IGAC C-1774)

La red y el patrón de drenaje se conservan relativamente incólumes alrededor de la ciudadela. La quebrada Los Toches y su tributario principal transitan hasta su encuentro con la Carretera a Oriente sin interrupciones

o modificaciones; a partir de allí las canalizaciones son frecuentes. La frontera urbana y la explotación minera avanzan desmedida y aceleradamente; los antiguos baldíos al sur, al norte y al occidente de Santa Rosa son ocupados ahora por los primeros indicios de los barrios Moralba, Ramajal, San José Suroriental, Altamira, Los Alpes y Los Altos del Zuque, muchos de ellos erigidos sin planificación y por autoconstrucción, basta señalar que las vías marcan alineamientos horizontales sin curvas o con tramos discontinuos y, en ocasiones, caprichosos.

Y los frentes de extracción, provenientes de chircales o de areneras, proliferan indiferentemente (y casi de manera exclusiva) en los dominios de la formación Bogotá, aunque con mayor frecuencia y extensión al norte y al nororiente, uno de los más prominentes se asienta en Los Alpes. En Altos del Zipa, toman lugar en la ventana occidental, adjunto a la Carretera a Oriente, y en las dos márgenes de la quebrada El Toche, aguas abajo de la carrera 16A Este. El marco restante de la cuenca, salvo por el impacto de dos carreteables: uno en el centro y otro en el boreal y que discurre (de oriente a occidente) cerca de la divisoria de aguas, permanece relativamente indemne. Contexto reproducido en la *Figura 3.2*

De los deslizamientos del 55, que tienen alguna repercusión en el entorno de la urbanización, sólo el de El Paseito deja entrever sus expresiones. La corona y buena parte del cuerpo, que se prolonga hasta por varias decenas de metros, descubren entre la vegetación sus trazos. Sin embargo, sus consecuencias son circunstancialmente intrascendentes: un número reducido de viviendas, distante de la pata del movimiento, se erige en Moralba.

3.6.3 AÑO 1984 (VUELO IGAC C-2128)







Aquí, como a lo largo de esta década, el papel transformador y destructor del hombre adquiere gran notoriedad. Los chircales abundan y se extiende sin rigor técnico ni ambiental, los cortes son irregulares, cuasi verticales y se marcan al margen de cualquier plan o diseño minero. A la par la industria extractiva inicia el abandono de los espacios ocupados y deja sus huellas sin acometer ningún programa de recuperación ambiental. Entre ellos los barrios Moralba, San José Suroriental, Ramajal y Los Alpes toman estructura urbanística completa. Pero la incidencia antrópica se extiende más allá. Uno de los caños que drenan el predio de la urbanización, al parecer, es rellenado con material de las explanaciones aledañas (alteraciones marcadas en la *Figura 3.3*). Excavaciones que en su franja media interviene los depósitos aledaños.

Los rasgos estructurales y tectónicos en el flanco oriental del anticlinal, que se prolonga hasta el bloque medio de la ciudadela, y la sistemática de fallas de Bogotá, que atraviesa de norte a sur la base de los cerros de Monserrate y Guadalupe, aún son evidentes; en contraposición los del flanco occidental han sido borrados por el accionar minero. El Grupo Guadalupe (Ksg) y las Formaciones Cacho (Tc) y Bogotá (Tb), revelan la incidencia de la falla de Bogotá al poner en contacto las rocas del cretáceo superior con las del Terciario y al invertir la secuencia en estas últimas.

Morfodinamicamente, se evidencia una corona de desprendimiento de material Superficial asociado a la falla de Bogotá y al parecer un antiguo depósito de materiales de ganga de una cantera abandonada, que genero un deposito coluvial importante que se extendió a lo largo de las márgenes del cauce de la Quebrada el Toche y el cauce Sur que atraviesa de Este a Oeste el sector en donde se ubica actualmente la ciudadela Santa Rosa. Deposito que su pata interesó la antigua vía a Villavicencio. Contexto sintetizado en la *Figura 3.3*

FIGURA 3.2 VUELO C-1774, AÑO 1977, ESCALA 1:8.000, FOTO 68



CONVENCIONES					
	Área de Estudio		Escarpe de Deslizamiento		Red de Drenaje
	Vía		Carreteable		Escarpe de Explotación

3.6.4 AÑO 1990 (VUELO IGAC R-1131)

La industria extractiva en el extremo noroccidental del lote, adyacente a la carretera a oriente, continúa su expansión, bajo los mismos principios de la explotación minera en la localidad: taludes irregulares, fuertes

pendientes, amplias y espesas acumulaciones de estériles, interrupción, supresión o extinción de drenajes e inocua recuperación de los medios, son las constantes. Tal es la incidencia de la cantera que menoscaba, los márgenes y el lecho de la quebrada El Toche y de dos de sus brazos (la Q1 y la Q2); afluentes que posteriormente serán intervenidos para la adecuación topográfica para la implantación de la Urbanización Santa Rosa. Transformaciones que se prolongan hasta el límite de las hoy manzanas 93 a 95, que se recapitulan en la [Figura 3.4](#), y que contrastan con el ambiente despoblado aguas arriba, labrado en laderas, posiblemente, de suelos residuales.

Los chircales restantes otrora activos han sido abandonados, en su lugar barrios y urbanizaciones, casi con estructura urbanística completa, tienen asiento, entre ellos están Bellavista Sur, Altos del Poblado y San Vicente. El crecimiento del corredor urbano, y más aún el poblamiento, en el último lustro es desmedido y se intensifica alrededor de la carretera a Oriente, al norte y al occidente de Santa Rosa. Y los antiguos procesos de inestabilidad en medida alguna yacen enmascarados, con excepción del de El Paseito (al oriente del barrio Moralba).

3.6.5 AÑO 1998 (VUELO SAV-415)

Contrario al escenario impenetrable exhibido por la cuenca alta en las décadas previas, en el cierre de los años 90 la actividad extractiva se disemina hasta ocupar las faldas libres de la cuenca media y alta (de El Toche), tanto así que interseca la última de las regresivas de la carretera a la cantera El Zuque, y Santa Rosa y la primeras etapas de la Urbanización El Paseito toman cuerpo cierto. Los cuerpos de deslizamiento, detonados entre los setenta y los ochenta, y sus partes, en específico la corona, los flancos y la pata, son desvanecidos o enmascarados por los cortes, las plataformas y los rellenos mineros, anomalías que impiden su identificación y su diagramación. Particularidad enmarcada en la [Figura 3.5](#).

Suerte similar corren las corrientes de agua, tan sólo el cauce de La Toche permanece, aunque por intervalos. La lámina de agua es evidente entre las manzanas 95 y 99, cerca de los bloques 63 y 78 (aquí consecuencia del desplazamiento del lecho), y en los primeros metros desde su nacimiento (premisa cotejada por la permanencia del valle y de los parches de bosque de galería o protección protectora en los márgenes); anomalía que permite suponer su canalización en los trayectos restantes en su paso por la urbanización, y la desaparición aguas arriba.

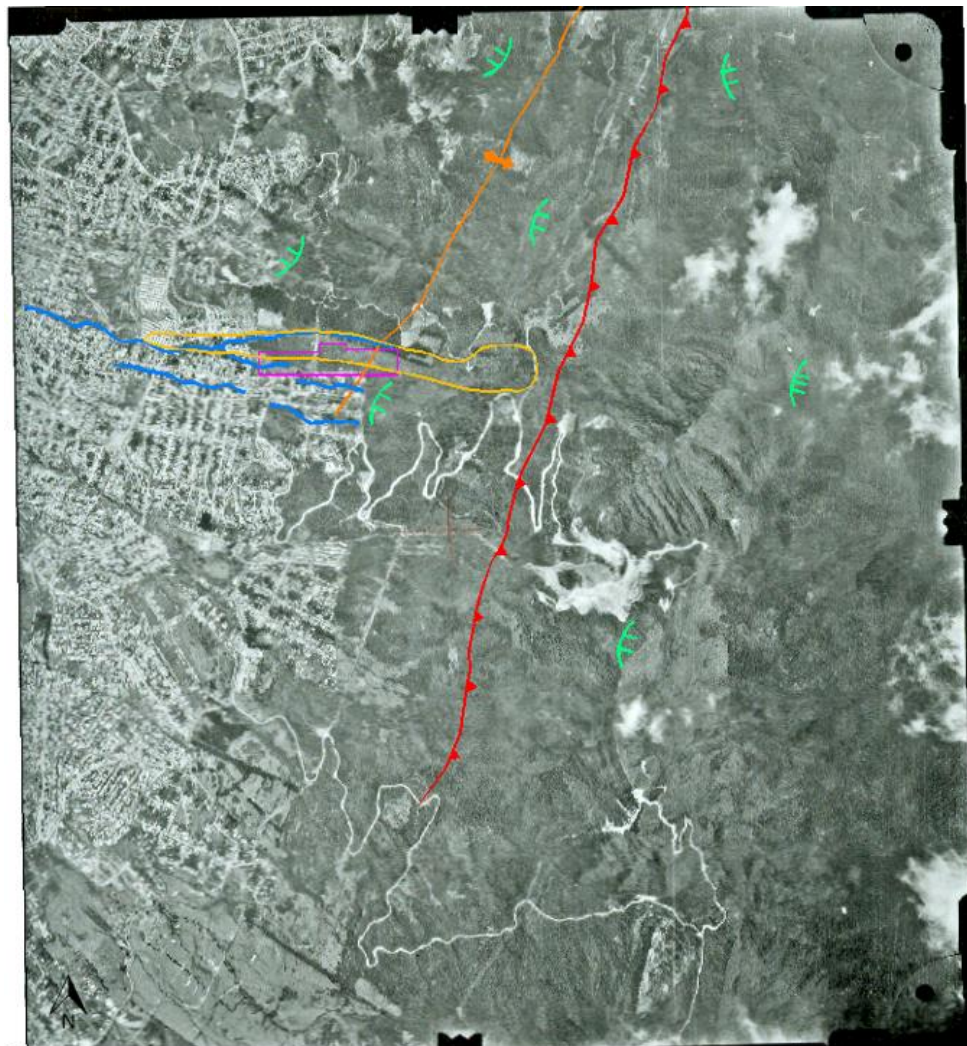
Aquí al igual que en 1984, el patrón estructural, con excepción del anticlinal de Zipa pues en su flanco oeste las evidencias de la orientación de los paquetes de roca han sido suprimidos, conserva sus más significativos atributos: la inversión del plano de estratificación (que revela buzamiento al este) en la base de los cerros, el grupo de planos de falla que dislocan el piedemonte, y la sucesión de laderas estructurales en la cuenca vecina a la del río San Cristóbal, integran este ramillete.

3.6.6 AÑO 2000 (IMAGEN SATELITAL GOOGLE EARTH)

Es en la primera imagen satelital en la que se enmarca en su totalidad el significativo cambio morfodinámico y morfométrico, en las laderas al norte y al este de la urbanización, resultado de la incontrolada actividad minera durante los 80 y los 90, que enmarca una serie de escarpes y de cañuelas. La urbanización Ciudadela Santa Rosa y la pavimentación de la Carrera 13c Este, la Carrera 14a Este, la Carrera 16a Este, la Carrera 17 Este y la Carrera 17a Este son las más novedosas incorporaciones urbanísticas, siendo así que

para la implantación de una y otra se reconformo la ladera, paso de ser un lomo, con el eje de este a oeste y las vertientes al norte y al sur, a una serie de terrazas escalonadas, espacio en el que descansan los bloques de las unidades habitacionales de la urbanización, se borraron los causes que drenaban por ese espacio, y se canalizo y desplazo hacia el sur la Quebrada los Toches a la altura de las manzanas 63, 78 y 71 (véase la *Figura 3.6*).

FIGURA 3.3 VUELO C-2128, AÑO 1984, ESCALA 1:18.300, FOTO 151






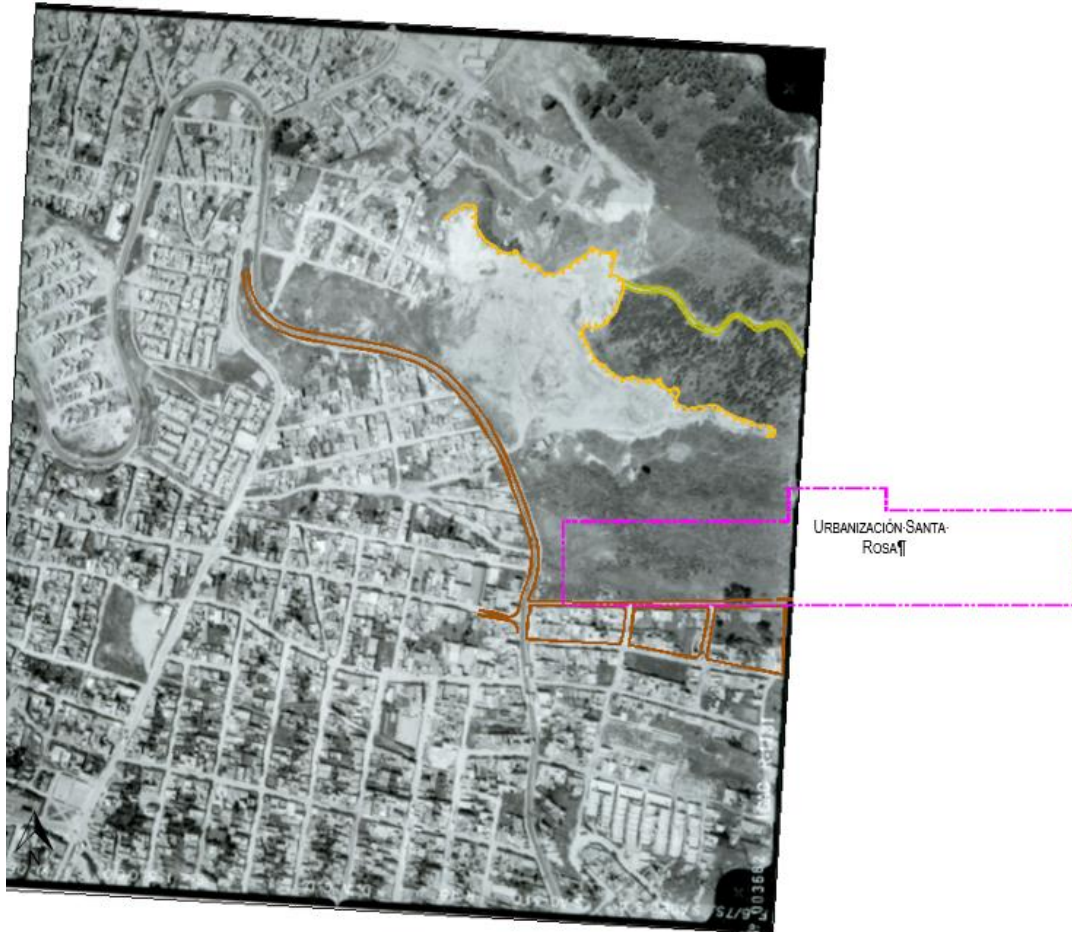




CONVENCIONES					
	Área de Estudio		Red de Drenaje		Falla de Cabalgamiento
	Eje Anticlinal		Buzamiento		Deposito

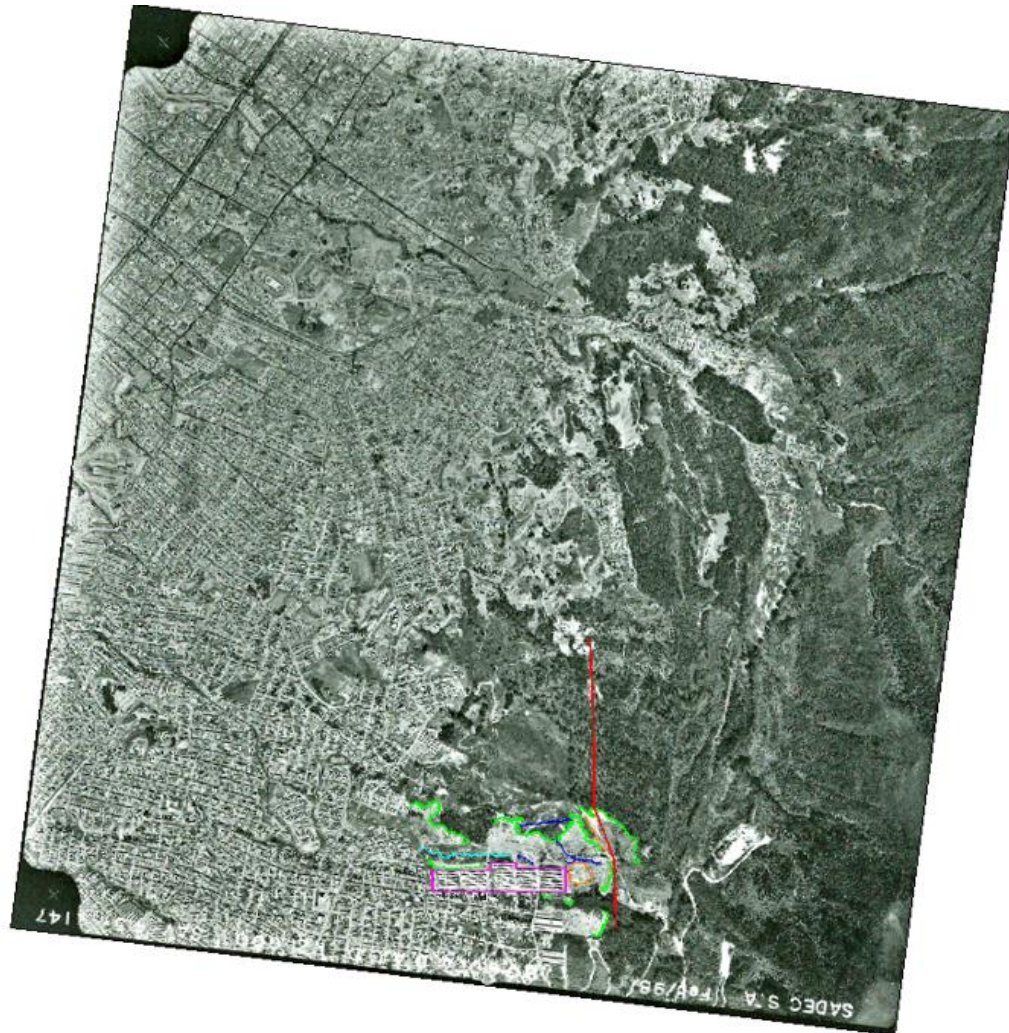
FIGURA 3.4 VUELO R-1131, AÑO 1990, ESCALA 1:5.000, FOTO 3662



CONVENCIONES			
	Área de Estudio		Vía
			Carreteable
			Escarpe de Deslizamiento

3.6.7 AÑO 2004 (VUELO IGAC C-2717)

La permanencia de la ciudadela, la pérdida de los afluentes en la cuenca, la reconfiguración morfológica, a priori, con estériles, de la vertiente norte y de parte de la cabecera (salvo el cinturón oriental a la carrera 18 Este), el abandono de la cantera (en el noroccidente), la rectificación de la quebrada Los Toches, ahora recostada contra la ciudadela, y la recolonización vegetal son los signos más fehacientes. Los procesos denudativos se concentran en erosión antrópica y pluvial, la primera ligada con los bancos y los residuos mineros y la segunda patente en los terrenos descubiertos al noroccidente, al norte y al oriente de la urbanización.

FIGURA 3.5 VUELO SAV-415, AÑO 1998, ESCALA 1:21.000, FOTO 3662

CONVENCIONES					
	Área de Estudio		Red de Drenaje		Canal
	Escarpe de Explotación		Falla		

3.6.8 AÑO 2009 (IMAGEN SATELITAL GOOGLE EARTH)







La mayoría de los cortes mineros yacen enmascarados por rellenos y capas vegetales que revisten las laderas reconformadas; el antiguo frente minero, imperante al norte y al oriente de la urbanización, conjuga cicatrices de movimiento, la corona y el cuerpo de la formación de un deslizamiento al nororiente de Santa Rosa de aproximadamente 300 m de longitud y 53 m de ancho, y procesos de erosión hídrica concentrada, transcritos bien como surcos o como cárcavas. Durante este periodo el desarrollo urbanístico en los barrios

Altos del Zipa, Bosques de los Alpes, Moraba y San José Sur Oriental se ha detenido: no hay nuevas edificaciones ni vías ni mejoras en la infraestructura., como se enmarca en la [Figura 3.7](#).

FIGURA 3.6 IMAGEN SATELITAL DE LA ZONA DE ESTUDIO: AÑO 2000



FUENTE: GOOGLE EARTH (2000)

CONVENCIONES					
	Área de Estudio		Límite de Manzanas		Red de Drenaje
	Canal		Escarpe de Explotación		Patio de Explotación

3.6.9 AÑO 2013 (IMAGEN SATELITAL GOOGLE EARTH)

En la vertiente derecha de la cuenca de la quebrada hay alteraciones en la vegetación, especialmente por la forma separada de los arbustos y la escasa cubierta de pastos, que pueden estar relacionadas con un cambio de la actividad de los depósitos, de modo que, la masa inestable, incubada al nororiente de la urbanización, avanza poco más de 20 m. La desaparición de antiguas cañuelas y carreteables y la concentración de agua en el suelo, abren espacio a un paisaje exuberante de tonalidad verde oscuro. La quebrada los Toches conserva su cauce y su sección hidráulica (véase la [Figura 3.8](#))

3.6.10 AÑO 2016 (IMAGEN SATELITAL GOOGLE EARTH)

Las diferencias frente a la imagen del 2013 son pocos trascendentes, excepto porque el proceso denudativo en la ladera activa expone que continua avanzando entre 5 m a 10 m y los predios al norte y al oriente de la

urbanización, antiguos frentes de explotación, se encuentra cubiertos de una capa vegetal más densa. El urbanismo en el sector parece haber parado y no se evidencia nuevas construcciones (véase la [Figura 3.9](#))

FIGURA 3.7 IMAGEN SATELITAL DE LA ZONA DE ESTUDIO: AÑO 2009



FUENTE: GOOGLE EARTH (2009)

CONVENCIONES					
	Área de Estudio		Límite de Manzanas		Red de Drenaje
	Canal		Escarpe de Explotación		Carreteable
			Deslizamiento		

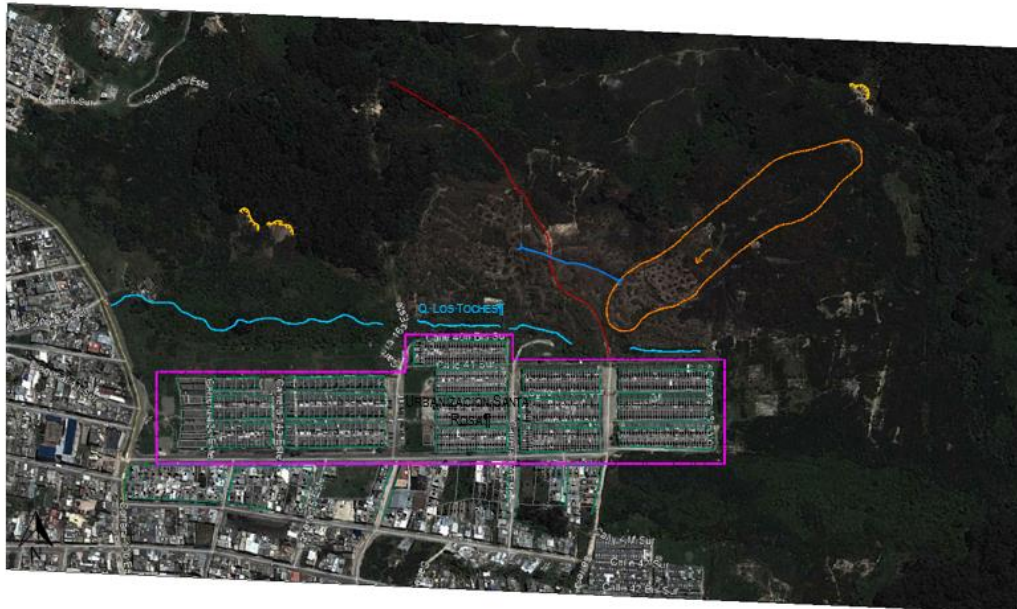
3.7 HIDROGEOLOGÍA

3.7.1 DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS








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

transmisividad (factibilidad del agua para circular horizontalmente por una Formación geológica teniendo en cuenta la permeabilidad y el espesor).

FIGURA 3.8 IMAGEN SATELITAL DE LA ZONA DE ESTUDIO: AÑO 2013



FUENTE: GOOGLE EARTH (2013)

CONVENCIONES					
	Área de Estudio		Límite de Manzanas		Red de Drenaje
	Canal		Escarpe de Explotación		Carreteable
			Deslizamiento		

Para describir el comportamiento hidrogeológico se utiliza la descripción litoestratigráfica esbozada en el *numeral 3.4.* de este capítulo y la percepción junto con el reconocimiento en campo. Los llenos antrópicos Qra1 y Qra2 y los llenos traslocados Qdd1 y Qdd2, 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 3.4

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

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

TABLA 3.4 DESCRIPCIÓN HIDROGEOLÓGICA DE LAS UNIDADES LITOESTRATIGRÁFICAS

NOMBRE		DESCRIPCIÓN	COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO
RELLENOS ANTRÓPICOS QRA1, QRA2 Y QDAUS		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 TRASLOCADOS QDD1, QDD2 Y QDAM			
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

FIGURA 3.9 IMAGEN SATELITAL DE LA ZONA DE ESTUDIO: AÑO 2016



FUENTE: GOOGLE EARTH (2016)

CONVENCIONES					
	Área de Estudio		Límite de Manzanas		Red de Drenaje
	Escarpe de Explotación		Carreteable		Deslizamiento

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.

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, N y SW en las superficies libres del norte de la ciudadela y de la cuenca los toches, respectivamente, parcialmente condicionado por la memoria hidrogeológica de los antiguos cursos de agua, extintos en la década de los 90 (véase el numeral 3.6.2). Los nichos de recarga del acuífero involucran los frentes más altos y los de descarga los más bajos.

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 los apiques A-1, A-2, A-4, A-8 y A-9, 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 3.5 condensa y discrimina las fuentes simogénicas relevantes consideradas por la AIS (1996), su tipo de evento y su aporte a la amenaza.

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 Ag y la mínima Ad, con sus periodos 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 pertenece la Urbanización Ciudadela Santa Rosa, está inmerso entre las Zonas Cerros y depósitos de ladera, y su aceleración (crítica) pico es de 0.22g para un periodo de retorno de 475 años. De las secciones de análisis se abstraigo por similitud morfológica, que la aceleración máxima en roca utilizada en los análisis pseudos estáticos es equivalente a la aceleración pico.

TABLA 3.5 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%

3.8.2 CUALIFICACIÓN DE AMENAZA LOCAL

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, Ms, entre 6.0 y 6.5. La aceleración máxima horizontal a nivel de roca es de 0.18g. Los acelerogramas típicos esperados son de corta duración y su periodo fundamental 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, Ms, de 7.5; la aceleración máxima horizontal esperada en roca es de 0.20g.

Fuente Lejana

Designa a los eventos producidos en la Zona de Subducción del Pacífico, a una distancia entre 350 Km y 400 Km de la urbanización 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 3.6](#). 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.

TABLA 3.6 FACTORES DE AMPLIFICACIÓN PARA DIFERENTES TIPOS DE SUELO (MEDVEDEV, 1965)

No	GRUPO DE ROCAS	SUELO TIPO NSR-10	FACTOR DE AMPLIFICACIÓN, Fa
1	ROCAS DURAS	A	0.1 - 0.8
2	ROCAS ALTERADAS	B	0.7 - 1.1
3	DEPÓSITOS GRANULARES NO COHESIVOS: BLOQUES, GRAVAS, ARENAS.	C	0.9 - 1.5
			1.2 - 1.8
4	DEPÓSITOS BLANDOS COHESIVOS: ARCILLAS, LIMOS.	D	1.2 - 1.6
			1.3 - 1.8
5	ANTRÓPICOS: ESCOMBRERAS, SUELOS ORGÁNICOS.	E	2.3 - 2.6
			2.6 - 3.0
6	DEPÓSITOS SATURADOS: BLOQUES, GRAVAS, ARENOSOS, ARCILLOSOS ANTRÓPICOS.	F	1.6 - 2.0
			2.0 - 2.4
			2.4 - 2.8
			3.3 - 3.9

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:

$$S_a = 1.20 * A_a * F_v * I / T$$

donde:

A_a : es la aceleración máxima horizontal en roca

F_v : 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: los llenos traslocados o los fluviotorrenciales.

CAPÍTULO 4

ESTUDIO GEOTÉCNICO

ESTUDIO GEOTÉCNICO

En este capítulo se develan e ilustran los resultados de las actividades de campo, laboratorio y oficina conducentes a la caracterización geomecánica de los materiales térreos, naturales y antrópicos, constitutivos de las laderas (también rotuladas como superficies libres –Goodman, 1989-) en la que se yergue La Ciudadela Santa Rosa (o Urbanización Altos del Zipa). En particular se circunscribe en el despliegue del programa de investigación geotécnica, que tiene como punto de partida la definición del arreglo estratigráfico superficial y en el análisis multitemporal. Todas las actividades se cotejan y retroalimentan para obtener un modelo geotécnico confiable del subsuelo, insumo indispensable para las evaluaciones de estabilidad y de amenaza.

4.1 INVESTIGACIÓN DEL SUBSUELO

4.1.1 MÉTODO DE TRABAJO

La diversa y compleja imagen hoy día revelada por la Ciudadela Santa Rosa, y, en medida alguna, por la escueta y velada actividad morfoodinámica, es sólo comparable con el acervo de interrogantes que envuelven su formación. Acervo que justifica el programa de exploración y que deja en evidencia sus pretensiones. Propósitos que involucran: a) reconocer, describir, contrastar, y completar, o en el peor escenario idealizar más allá de lo evidente, la cobertura espacial (en extensión superficial y en profundidad) y el papel del cuaternario y de las actividades antrópicas precedentes (se destaca que el corredor hizo parte de un antiguo chircal, pero sus rastros, al menos en imágenes, son muy limitados), en especial los de los rellenos antrópicos y los de los suelos residuales, en el comportamiento de las unidades de ladera y de las edificaciones (i.e de las viviendas); b) inferir y auscultar los arreglos estratigráfico e hidroestratificado y derivar sus parámetros; c) dilucidar el papel del macizo rocoso y de los planos de discontinuidad, específicamente de la estratificación, en la gestación de futuras masas inestables y en el condicionamiento del flujo hidrogeológico; d) validar o replantear el patrón estructural y su función en la respuesta de 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 tectónica; e) deducir el modo de la tabla de agua o de la cabeza de presión, gracias a una red de piezómetros, elementos trascendentes para el análisis y el estudio de la posibilidad de movimiento de las superficies libres y para la deducción de la dirección de flujo y de las conexiones hidráulicas entre las unidades hidrogeológicas; f) facilitar y coadyuvar en la exploración geológica y en la estructuración del modelo hidrogeológico, sea teórico o conceptual, o matemático, y g) permitir la selección del modelo hidrogeológico matemático, que puede ser agregado o

IDIGER	GIA LTDA	GIA-085-18		INFORME FINAL - PÁG. 111	
VERSIÓN:	3			FECHA	26/08/18
ELABORÓ:	JVG, EOD	REVISÓ:	JALG	APROBÓ:	JAM.

distribuido (aunque desde ya éste parece inviable en su aplicación pues las mediciones serán estrictamente discretas), predictivo o de seguimiento (Cruces De Abia y Martínez, 2006), de sus variables o parámetros, de sus condiciones de frontera, de su ecuación de continuidad y de su alimentación, quehacer último satisfecho a través de la simulación de los niveles piezométricos.

En este sentido, y a fe de dar respuesta a tan generoso esquema, el programa de investigación del subsuelo se define con base en las facilidades y limitaciones otorgadas por la zona de estudio, traducidas en el escaso número y extensión de los cortes o frentes expuestos, y se soporta en la hipótesis de que (a priori) morfoestructuralmente Santa Rosa descansa en el campo de un pliegue, en otras palabras en la transición entre una pendiente y una contrapendiente estructural, marcada por el trazo de un anticlinal, en la que el buzamiento de los planos de estratificación son asimétricos, al occidente la polaridad divaga entre N79W/73NE y N13E/60NW, pero matizada con variaciones en el buzamiento (que tocan los 79°) y con una media en N09W/45SW; y al oriente se posiciona con orientación N26E/56SE. Los sitios para la realización de las labores de exploración se seleccionaron cuidadosamente, y buscan la mayor calidad en la información.

El panorama descrito devela la necesidad de emplear como bastiones, indiferenciadamente, los métodos directos e indirectos, pero con alguna prelación de los primeros y con una rigurosa correlación entre los dos e interpretación de los segundos, y de diagramar un plan de acción por etapas. Plan cuya utilidad es surtir del mayor número de elementos de juicio a los contextos geológico, geotécnico e hidrogeológico, y en el que los sitios de exploración deben facilitar la correlación entre unidades, aportar el más confiable espectro de información, y permitir la construcción de los modelos estratigráfico e hidrogeológico conceptual, y confrontar y potenciar las pesquisas previas, fundamentalmente las dictadas en los múltiples Diagnósticos Técnicos, gracias a su generosa riqueza.

Los métodos indirectos, v.g. la refracción sísmica y las tomografías, en principio ponderados como una valiosa herramienta técnica (y económica) para complementar el arreglo estratigráfico (en profundidad) y descifrar la respuesta de la cabeza piezométrica (o la tabla de agua) y la prevalencia de la sistemática de fallas y del pliegue, poco a poco perdieron espacio frente a los sondeos en parte porque las variaciones estratigráficas arrojan expresiones ambiguas (es decir materiales distintos poseen velocidades de onda muy similares, caso particular de los residuales y los rellenos, o del macizo fracturado, configurado por las lodolitas y las areniscas lodosas, y de los suelos residuales, y en parte porque el espacio para el tendido de las líneas (y de la red) es reducido y por consiguiente la profundidad de prospección también lo es; los mayores réditos sólo pueden obtenerse en los cinturones verdes al nororiente y al norte, algo distantes de los hasta hoy ambientes críticos. La síntesis del conjunto de información se consolida en resúmenes gráficos que facilitan la caracterización de los materiales y su comprensión mediante secciones de análisis geológico-geotécnicas.

4.1.2 MÉTODOS DIRECTOS

La exploración se aborda entonces en cuatro 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 de suelo (en específico de los rellenos antrópicos y los suelos residuales: los cuaternarios de mayor hegemonía espacial) y a la obtención de muestras inalteradas en unas y otros; a la deducción de las alteraciones en el patrón de drenaje y de flujos locales de agua que puedan incidir en la actividad de las masas potenciales; al inventario de pozos; y a corroborar, si es posible, la calidad y el tipo de cimentación de las viviendas. Está solventada mediante el análisis multitemporal, en el que la cartografía de los 60 y de los ochenta, las aerofotografías, con escalas entre 1:5.000 y 1:20.00, de los años

1955, 1977, 198, 1990, 1998 y 2004, de los vuelos C-743, C-1774, C-2128, R-1131 y C-2717-1, respectivamente, y el estudio geotécnico para la construcción de la Urbanización, atendido por IGL (1994), son los insumos básicos, la toma de columnas estratigráficas, cuatro (4) en los afloramientos; el levantamiento de datos estructurales; la ejecución de diez (10) apiques, dos en el extremo oriental cerca de la carrera 18 Este, el A-1 y el A-2, y ocho, distribuidos en parejas al interior de las manzanas 74 a 73, 78 a 81, 93 a 95, 96 a 98, pero cerca del ecuador y entre ellas, o alrededor de las viviendas (nomenclados desde el A-3 hasta el A-10), y el inventario de procesos.

Las columnas, cortas por demás, se circunscriben a las mejores exposiciones de los materiales superficiales, en los límites noroccidental, nororiental y oriental de la cuenca alta de Los Toches y cerca al paso de la falla, una (1) en el primero (la T-1), una en el segundo (la T-2) y dos (2) en el tercero (la T-3 y la T-4). Y los levantamientos estructurales se concentran en la toma de los datos representativos para las familias de discontinuidades (primordialmente la estratificación) en las exposiciones del macizo rocoso, dentro y fuera del predio, en otras palabras en los escarpes noroccidentales, orientales y nortes, en los feudos de los antiguos chircales, del eje del pliegue y en el escarpe de falla. Tales datos incluyen, entre otros elementos, las tendencias generales de orientación: rumbo y buzamiento y las características físicas como abertura, espaciamiento, rugosidad y persistencia.

La segunda fase, función unívoca (e irrestricta) de los modelos estratigráfico y estructural, es sin lugar a dudas la de mayor incertidumbre y variabilidad puesto que debe satisfacer de respuestas tanto al marco hidrogeológico como al geotécnico, lo que implica, si se pretende tener variables medibles, recorrer entre pozos los mismos paquetes de roca, es decir los mismos materiales acuíferos. Está basada en cinco (5) sondeos mecánicos, apodados desde el S-1 hasta el S-5, bien con avance de percusión y lavado o bien con rotación, y en siete (7) líneas de refracción. Los dos primeros, el S-1 y el S-2, dispuestos entre las carreras 17 y 17A Este, en el cinturón este; uno al interior o en el extremo de la manzanas 64 a 66, el S-1; y el otro próximo, en el segundo gran grupo de viviendas (las de los bloques 71 a 73) y alineado con él, el S-2; otros dos, designados como el S-3 y el S-4, con profundidades de 30 metros, en el flanco oeste del pliegue y en el mando de las unidades centrales de habitación entre los bloques 78 y 81 y 93 a 95, afuera (caso del S-3) o adentro (circunstancia dictada por el S-4) de la urbanización; y el otro, el S-5, en la falda sur de la quebrada y al término de la carrera 16A Este. Y las segundas se tienden o en los vestigios de las excavaciones, al naciente del conjunto residencial, singularidad de la LRS-1, o en el cuerpo del deslizamiento más extenso y de mayor incidencia para los hogares del cinturón nororiental, esencia de la LRS-2 y de la LRS-5, o en la vertiente izquierda de la quebrada Los Taches, pero en la vecindad a las manzanas 74, singularidad de la LRS-3, y 78, atributo de la LRS-4, y en el ámbito de los rellenos que reconfiguran el valle de la cuenca, paralelo a los edificios, preferencia de la LRS-6, o ligeramente transversal a la dirección de flujo y al cauce, peculiaridad de la LRS-7.

Sus intenciones relacionar (sí es posible) las capas guías y los acuíferos (la secuencia en principio es arcillosa aunque con un marcado dominio de las arenisca al levante), es decir concluir sobre la continuidad longitudinal, o SE-NW (escenario para el que las perforaciones S-1, S-2 y S-4 ocupan lugar protagónico) del ordenamiento litoestratigráfico; deducir los cambios en la polaridad de los planos de estratificación; desentrañar la continuidad de las tendencias de falla -substantialmente las de rumbo- y del eje del anticlinal (principal estructura que transgrede las microcuencas), cometido, en primera instancia, asignado a la refracción sísmica; confirmar los espesores del cuaternario (a priori llenos), colegir el mejor lugar para la instalación de los piezómetros; y abstraer las posibles posiciones de las superficies de deslizamiento, de la tabla de agua subsuperficial y de la cabeza piezométrica. Su posición planimétrica y altimétrica se abstrae de un análisis de sensibilidad en el que se toma como variable relevante el buzamiento (modal) de los planos de

estratificación y se fija como puntos de partida los niveles estratigráficos en superficie y de las dos primeras perforaciones (entendidos éstos como condiciones y elementos de borde). Es por lo tanto iterativo y de ajuste permanente. Aunque este análisis, en principio, despreja los saltos provenientes de las fracturas, v.g las fallas de rumbo, y asume que el plano de estratificación es homogéneo y constante en uno u otro sentido (premisa que puede no ser completamente cierta), intenta su corrección al precisar franjas de traslapo entre los extremos de las perforaciones o de las perforaciones y las columnas. Razón de más que explica la mayor profundidad de investigación en las perforaciones S-3 y S-4, y su variabilidad.

La tercera etapa congrega un número finito de pozos (bautizados como: S-6, S.7, S-8 y S-9), surtido hasta agotar las longitudes de escrutinio. Está subordinada a los resultados de la segunda fase de investigación (y del presupuesto restante) y tiene como fundamentos (o finalidades) completar el patrón litoestratigráfico transversal, o NE-SW, indagar la composición (geotécnica) del primero y del segundo conjunto de espacios móviles más significativo en la vertiente y derivar la profundidad de los potenciales planos de despegue. Singularidades que disponen su énfasis en el cinturón norte, por fuera de los linderos de la ciudadela, pero entre ésta y el curso de la quebrada.

Y la cuarta etapa encierra la participación de las tomografías 2D (cuatro en cuantía máxima, lo que traería consigo la sustitución de algunos metros de perforación), de dos perforaciones manuales (el SM-1 y el SM-2) y de los SEV's (dos). Con estos elementos se intenta completar los puntos ciegos dejados por los trabajos de las etapas previas, y redondear la investigación sobre los modelos hidrogeológico, en lo que respecta a la alineación espacial de la cabeza de presión y el patrón de flujo, y estructural, i.e las fracturas, es decir, reconocer saltos o dislocaciones en la secuencia estratigráfica. Si bien la posición de las tomografías y de los sondeos geoelectrónicos pudo cambiar (en el curso de la exploración), su aproximación final apunta a los cinturones verdes (más amplios), si se trata de los terceros, entre y alrededor de las manzanas y en el más amplio depósito minero, ya sean paralelas al rumbo de los cortes o en el mismo sentido del azimut de buzamiento, en lo que respecta a las primeras y a los segundos.

Así las cosas, el trabajo de exploración deja entrever que la secuencia estratigráfica es normal pero heterogénea; enmarca variaciones laterales asociadas con el ambiente de depositación, con alternancia en el crecimiento del grano y en el grado de litificación, sin dislocaciones ligadas a trazas o brechas de falla pero con cambios de polaridad promovidas por el anticlinal cerrado y asimétrico que trasiega, con rumbo N22E o N12E, desde la divisoria de aguas y entre los bloques 71 a 73 y 78 a 81 (arreglo certificado por las líneas de refracción: véase el Anexo D.1); 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 cinco y siete metros de areniscas (v.g la Tpb-A1, la Tpb-A2), alternadas en sucesiones de estratificación delgada de grano fino, bien seleccionadas, cuarzosas o de matriz arcillosa, irregular y discordantemente cubiertos por rellenos antrópicos, modalmente delgados, de entre dos y siete metros de espesor (baste repasar la perforación S-7 en el Anexo D.1), por suelos residuales (denominados así al horizonte IB y a la roca altamente meteorizada, representada por el horizonte IIB del perfil de meteorización de Deer y Patton, 1971), discontinuos y con espesores inferiores a los dos metros, o por depósitos mineros trasladados (o de deslizamiento) o no, que en el mejor de los casos llega a los diez metros de talle, restringidos al norte, contiguos a la manzana 71, a la parte alta de la cuenca (diagramada al nororiente por fuera de los linderos de la Ciudadela, véase el Plano 4), y al noroccidente, en una pequeña ventana ligada al cauce de la quebrada Los Toches. Conjunto reproducido en el Anexo D.1.

En el Plano 4 (y también en el Anexo D.1.1.6) se puntualiza la distribución en planta de las columnas, de los sondeos, de los apiques, de las líneas de refracción sísmica, de las tomografías, de los SEV's, de los puntos

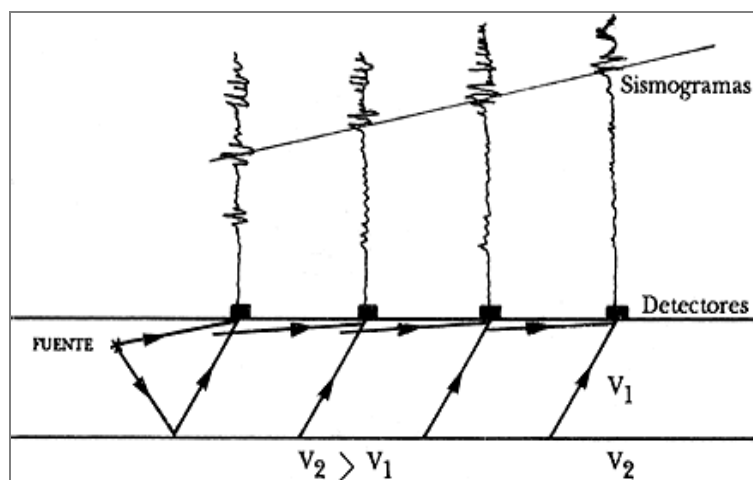
de control y de las estaciones de levantamientos estructural, superpuesta a la geología de superficie; y en el Anexo D.1 se disponen los registros en forma gráfica, y en los Planos 4B y 4C los modelos geológico-geotécnicos. De igual manera, en la Tabla 4.1 se citan la ubicación geográfica (en coordenadas planas) y las profundidades de los sondeos (mecánicos y geoelectrónicos), de los apiques, de las trincheras, de las líneas de refracción y de las tomografías, en la Tabla 4.2 se describen los horizontes detectados y en la Tabla 4.3 los programas de exploración acometidos por otros consultores.

4.1.3 MÉTODOS INDIRECTOS: GEOSÍSMICA Y TOMOGRAFÍAS

Sísmica de Refracción

Se enfoca en la detección de frentes de onda elástica propagadas a través del subsuelo, en particular las de cuerpo (sean compresionales, u ondas p, o cortantes, u ondas s), y en la medición del tiempo de propagación entre el sitio en el que se producen y diversos puntos de control sobre el terreno. Para esto se dispone una serie de geófonos (o sensores) en línea recta a distancias conocidas, y la fuente sísmica (directa pero artificial), asentada en uno de los extremos del tendido, en una posición conocida. Su aplicación más común es la establecer la profundidad del basamento rocoso, y de paso deducir las condiciones de meteorización, de fracturación y de competencia del macizo. La Figura 4.1 esquematiza el proceso de adquisición de los datos mediante sísmica de refracción:

FIGURA 4.1 ESQUEMA GENERAL DE ADQUISICIÓN DE DATOS MEDIANTE SÍSMICA DE REFRACCIÓN



FUENTE: [HTTP://BIBLIOTECADIGITAL.ILCE.EDU.MX](http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx)

MASW

La técnica de dispersión de ondas superficiales, MASW, radica en identificar las curvas de dispersión de los modos fundamentales de vibración del suelo, con el fin de obtener la combinación de velocidades de las ondas de corte (V_s) del perfil mediante un proceso apropiado de inversión. Los análisis se hacen de forma repetitiva en distintos puntos a lo largo de una misma línea, a fe de obtener múltiples respuestas y poder integrarlas en una sección, en la que se consolida y vislumbra, de manera gráfica, en un perfil bidimensional (tipo tomografía), la variación de la velocidad de las ondas de corte, V_s , a lo largo de la línea explorada.

TABLA 4.1 LOCALIZACIÓN DE LOS SITIOS DE EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO: DIRECTA E INDIRECTA

PUNTO DE EXPLORACIÓN	COORDENADAS		PROFUNDIDAD (M)	NIVEL FREÁTICO (M)
	NORTE (M)	ESTE (M)		
S-1	94 506.2	99 758.7	20.0	2.50.
S-2	94 540.1	99 664.3	20.0	3.50
S-3	94 462.5	99.612.1	30.0	1.50
S-4	94 516.4	99 525.5	30.0	11.00
S-5	94 570.4	99 541.4	30.0	1.50
S-6	94 550.3	99 357.3	15.0	2.00
S-7	94581.3	99 691.8	20.0	2.65
S-8	94 581.3	94 581.3	20.0	2.50.
S-9	94 672.1	99 902. 4	20.0	6.00
SM-1	94 688.4	99 537.7	3.72	N.E
SM-2	94 581.8	99 523.5	5.78	5.50
A-1	94 554.2	99 885.5	1.50	N.E.
A-2	94 495.6	99 885.4	1.50	N.E.
A-3	94 538.4	99 718.7	1.50	N.E.
A-4	94 515.4	99 799.1	1.50	N.E.
A-5	94 544.3	99 713.5	1.00	N.E.
A-6	94 513.0	99 645.2	1.50	N.E
A-7	94 544.4	99 490.8	1.00	N.E
A-8	94 518.7	99 491.3	1.50	0.80
A-9	94 544.7	99 419.3	1.50	1.1
A-10	94 584.2	99 390.2	1.50	N.E
LRS -1	94 529.6	100 001.4	30.0	S.R
LRS -2	94 673.1	99 834.5	30.0	S.R
LRS-2'	94 618.1	99 911.6	30.0	S.R
LRS -3	94 575.3	99 769.5	30.0	S.R
LRS -4	94 605.1	99 680.3	30.0	S.R
LRS -5	94 628.7	99 819.6	30.0	S.R
LRS -6	94 573.9	99 557.8	30.0	S.R
LRS -7	94 581.9	99 394.2	30.0	S.R
TM-1	94 554.8	99 944.8	30.0	S.R
TM-2	94 667.1	99 818.8	30.0	S.R
TM-3	94 579.1	99 621.4	30.0	S.R
TM-4	94 580.7	99 374.7	30.0	S.R
SEV-1	94 570.7	99 954.6	40.0	S.R
SEV-2	94 571.1	99 349.5	40.0	S.R

N.E: NO DETECTADO

S.R: SIN REPORTE

TABLA 4.2 DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES LITOESTRATIGRÁFICOS

NIVEL	SÍMBOLO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN
1	Qdd1	Depósitos de Deslizamiento	Aglutina bloques, cantos y gravas gruesas y medias tallados en areniscas cuarzosas, de colores amarillo o blanco, y en lodolitas, embebidos en arcillas o arcillas arenosas. Son matriz soportados, 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, negras y amarillas.
2	Qdd2		
3	Qdaus	Relleno Antrópico Urbanístico Seleccionado	Bajo esta designación se conjugan las acumulaciones de material seleccionado, compactado al 90% (o más) del proctor modificado, cubiertas por una capa de concreto hidráulico o asfáltico. Su espesor apenas alcanza los 0.50m. La matriz es arenosa o arenoarcillosa y las partículas más gruesas son de tamaño grava media a gruesa. Sus rastros son notorios a lo largo de la calle 41B sur, de las Carreras 14A Este, 16A Este, y de la Carretera a Oriente.
4	Qra1	Relleno Antrópico de Reconformación 1	Involucra escombros (mineros) y residuos sólidos, entremezclados con suelos limo-arenosos o areno-limosos, de consistencia o compacidad medias, aglutinados y compactados para la configuración de terrazas para la urbanización y bloques y guijos de areniscas cuarzosas y lodolitas.
5	Qra2	Relleno Antrópico de Reconformación 2	Son escombros y residuos sólidos (entre 0.5 y 10 centímetros) aglutinados y compactados o no para el realce de las márgenes de la quebrada Los Taches, y bloques y guijos de areniscas cuarzosas y lodolitas, entremezclados con suelos arcillo-arenosos o arcillosos, de consistencia media. Dibujan una morfología suavemente inclinada y dan vida a los bordes sur y norte del cuadrángulo de estudio.
6	Qdam	Depósitos Antrópicos Mineros	Están configurado por bloques y fragmentos de areniscas de grano muy fino a fino, con pobre selección, resultado de la intensa actividad minera. Son heterométricos y despliega colores entre pardo claro y pardo rojizo. La fracción gruesa está embebida en una matriz arcillosa (o lodosa) o arcillo arenosa, semejante a la de los fluvio-glaciares; contiene residuos cerámicos (ladrillos y tuberías), esporádicas basuras y madera, que inicialmente tallaban los antiguos patios de cantera y luego se convirtieron en botaderos.
7	Qdc	Depósitos Coluviales	Comprende la acumulación de bloques moldeados en areniscas cuarzosas, de grano grueso, y arenas, que sirven de matriz. Su color muta entre beige y pardo. Reposan en espacios de humedad y de pendientes altas; yacen ante todo al norte de la Urbanización Santa Rosa y al este de la de El Paseito.
8	QTpb-sr-L	Suelo Residual Formación Bogotá	Reúne bloques, cantos y gravas gruesas de Lodolitas, de colores rojo y violeta con vetas grises; su plasticidad es media, su humedad es baja y su resistencia es blanda. Semeja al horizonte IIB del perfil de meteorización de Deer y Patton (1971).
9	Tpb-A	Areniscas de la Formación Bogotá	Integra secuencias de areniscas cuarzosas, granodecrecientes, pero con predominio del grano fino, masivas y de cemento arcilloso, intercaladas con los paquetes de arcillolitas. Se exponen en tonos blanco, blanco-amarillento amarillo y rojo; son friables; el tamaño del grano varía entre fino y medio y son bien seleccionadas (i.e. el grano es uniforme). La resistencia divaga de blanda a moderadamente dura, y las capas no siempre son continuas (posiblemente resultado de la explotación o de los cambios laterales de facie).
10	Tpb-L	Lodolitas de la Formación Bogotá	Son arcillolitas y lodolitas abigarradas, que exhiben colores violeta o rojo, con trazas amarillas (o habanas) y grises. Sus cambios de coloración parecen ser independientes del grado de alteración o del contenido de minerales ferruginoso. Su resistencia es blanda; y se exponen en capas gruesas.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 4.3 LOCALIZACIÓN DE LOS SITIOS DE EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO, IGL (1994)

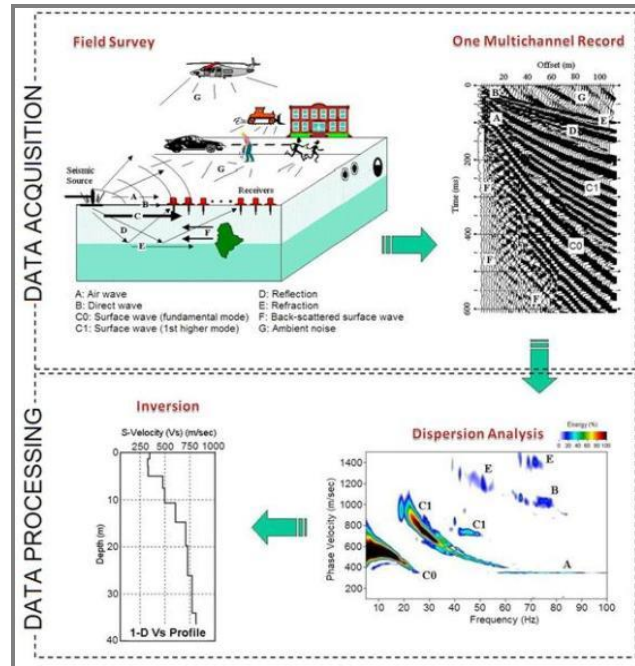
PUNTO DE EXPLORACIÓN	COORDENADAS		PROFUNDIDAD (M)	NIVEL FREÁTICO (M)
	NORTE (M)	ESTE (M)		
P- 1	94 534.1	99 437.4	6.50	N. E.
P- 2	94 504.3	99 437.3	8.40	N. E.
P- 3	94 558.4	99 452.1	9.40	1.50
P- 4	94 533.2	99 473.4	8.15	N. E.
P- 5	94 504.1	99 473.6	5.30	N. E.
P- 6	94 535.8	99 521.8	8.00	N. E.
P- 7	94 505.3	99 521.7	6.00	N. E.
P- 8	94 559.2	99 553.5	5.90	N. E.
P- 9	94 535.3	99 584.2	8.30	N. E.
P- 10	94 505.1	99 584.6	9.00	N. E.
P- 11	94 561.1	99 667.9	5.70	N. E.
P- 12	99 668.6	94 500.9	6.50	N. E.
P- 13	99 713.9	94 560.9	4.85	N. E.
P- 14	99 714.8	94 501.1	4.95	N. E.
P- 15	99 757.9	94 560.6	3.80	N. E.
P- 16	99 760.7	94 500.7	4.10	N. E.
P- 17	99 812.7	94 561.1	5.00	N. E.
P- 18	99 812.8	94 500.8	1.60	N. E.
P- 19	99 857.4	94 560.9	6.30	N. E.
P- 20	99 857.5	94 502.9	3.00	N. E.
P- 21	99 926.1	94 561.6	7.00	N. E.
P- 22	99 926.5	94 502.8	5.20	N. E.

FUENTE: TOMADO Y ADAPTADO DE INGENIERÍA Y GEOTECNIA LTDA., IGL (1994)

La información colectada en campo (sintetizada en gráficas distancia-tiempo) se procesa e integra simultáneamente. Con ella se identifican los distintos componentes del sismograma medido, se articula el modelo en concordancia con el arreglo estratigráfico del sitio, lo que significa que se coliga la distribución espacial (y en profundidad) de las capas u horizontes, se complementa la caracterización geotécnica, y se abstraen (o deducen) las propiedades dinámicas y los perfiles de rigidez. Todo en secciones bidimensionales (o 2D). La [Figura 4.2](#) bosqueja la técnica de ejecución y el procesamiento de las líneas sísmicas con este procedimiento.

La velocidad de onda de corte (\bar{V}_s), es uno de los parámetros más importante para la determinación de la calidad de los suelos y, en medida alguna, de las rocas. La Norma Colombiana de Construcciones Sismo Resistentes NSR-10, plantea la clasificación del perfil del subsuelo en los primeros 30 m, en función de este parámetro; guía (o pauta) reseñada en la [Tabla 4.4](#).

FIGURA 4.2 PROCEDIMIENTO DE EJECUCIÓN Y PROCESAMIENTO DE LÍNEAS SÍSMICAS: MÉTODO MASW



TOMADA DE WWW.MASW.COM.

TABLA 4.4 PERFILES DE SUELO BASADOS EN EL PARÁMETRO DE VELOCIDAD MEDIA DE LA ONDA DE CORTANTE, VS

TIPO DE PERFIL	DESCRIPCIÓN	DEFINICIÓN
A	PERFIL DE ROCA COMPETENTE.	$\bar{V}_s \geq 1500 \text{ m/s}$
B	PERFIL DE ROCA DE RIGIDEZ MEDIA.	$1500 \text{ m/s} > \bar{V}_s \geq 760 \text{ m/s}$
C	PERFILES DE SUELOS MUY DENSOS O ROCA BLANDA, QUE CUMPLAN CON EL CRITERIO DE VELOCIDAD DE LA ONDA DE CORTANTE.	$760 \text{ m/s} > \bar{V}_s \geq 360 \text{ m/s}$
D	PERFILES DE SUELOS RÍGIDOS QUE CUMPLAN CON EL CRITERIO DE VELOCIDAD DE ONDA DE CORTANTE.	$360 \text{ m/s} > \bar{V}_s \geq 180 \text{ m/s}$
E	PERFIL QUE CUMPLA EL CRITERIO DE VELOCIDAD DE LA ONDA DE CORTANTE.	$180 \text{ m/s} > \bar{V}_s$

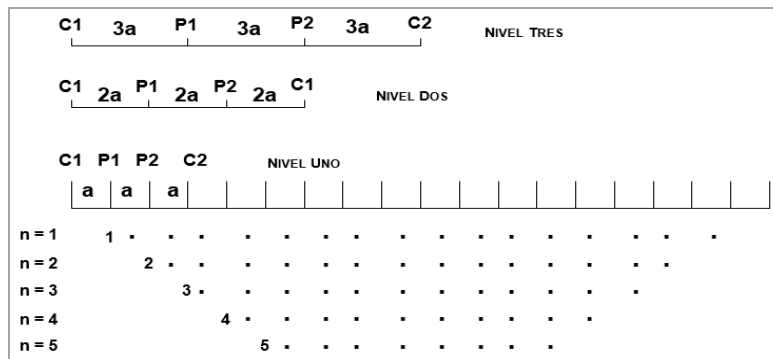
FUENTE: TABLA A.2.4-1, NSR (2010)

Tomografías Eléctricas

Se orienta en medir la resistividad del suelo con el método de Wenner (1915), que consiste en disponer a la misma profundidad y separación, y en línea recta, cuatro (4) electrodos: dos, el C1 y el C2 para inyectar corriente directa o de baja frecuencia, y dos, el P1 y el P2, para medir el potencial generado en los dos primeros. Las medidas de resistividad dependen de la distancia entre electrodos, del tipo de contacto que se

hace con el suelo y de la resistencia del material. La toma de datos en campo, como se muestra en la *Figura 4.3*, se divide en niveles, en función de la capacidad de la unidad potencial del equipo o de las condiciones petrofísicas del subsuelo, el primero, hace las lecturas con los cuatro electrodos separados a 10.0 m, de un extremo al otro de la línea, en forma fija (n=1), el segundo, amplía la distancia de los electrodos en un múltiplo de n=2, y del tercero en adelante, repite el procedimiento del segundo y se incrementa el espacio entre electrodos en múltiplos de n.

FIGURA 4.3 SECUENCIA DE REGISTRO EN LAS TOMOGRAFÍAS ELÉCTRICAS

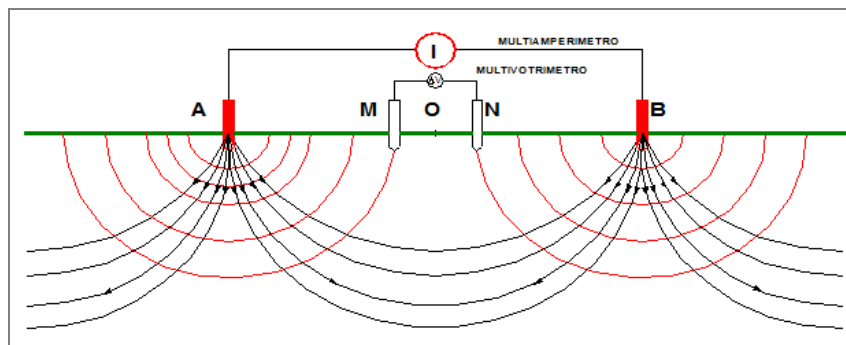


FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Sondeos Eléctricos Verticales - SEV

De manera similar a las tomografías eléctricas, busca medir la resistividad pero en capas más profundas sin necesidad de hacer tantas mediciones, gracias al método simétrico de Schlumberger (1996) que es una modificación del ensayo Wenner (1915). Emplea, también, cuatro (4) electrodos: el A, el B, el M y el N, y para crear el efecto eléctrico resistivo se utiliza una fuente externa o batería; con ésta se induce corriente al subsuelo a través de los electrodos A y B; la corriente da lugar un campo de potenciales que mide los electrodos M y N. El valor de la resistividad se obtiene en cada punto, siempre y cuando se conozca la intensidad de la corriente y la diferencia de potencia provocada al transmitir corriente al subsuelo. La configuración de la medición se diagrama en la *Figura 4.4*.

FIGURA 4.4 ARREGLO SCHLUMBERGER DE LOS SEV



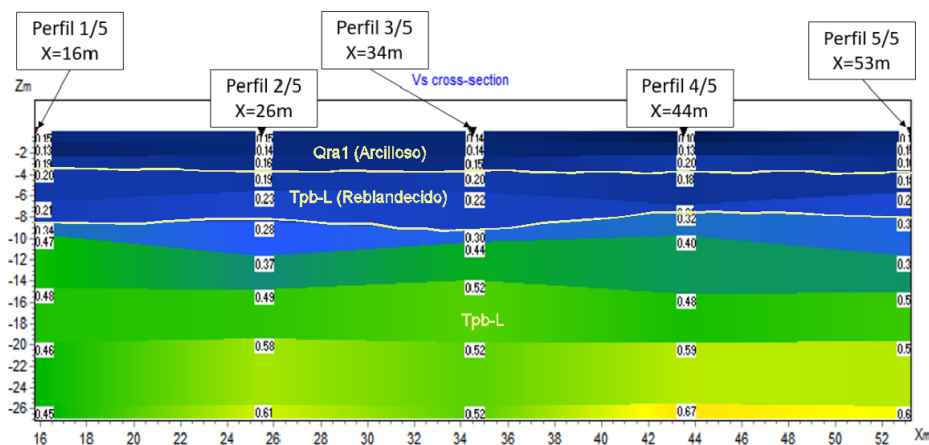
FUENTE: SCHLUMBERGER (1996)

De la aplicación de los procedimientos señalados los resultados más relevantes son:

Línea LRS-1

Ausculta en las laderas orientales, uno de los últimos reductos acondicionados para la expansión de la ciudadela (recuadro captado en el *Plano 4*). Está tendida en dirección cercana al azimut de buzamiento y desenmaraña en los dos (2) o tres (3) primeros metros, velocidades, V_s , cercanas a los 160m/s, propias de horizontes de consistencia no superior a la media, genéticamente ligadas a rellenos arcillosos o a suelos residuales reblanecidos; seguidamente la rigidez aumenta hasta los 6.5 m o 7.0 m, sus velocidades, V_s , son cercanas a los 200 m/s, lo que idealiza un suelo de rigidez apenas media; desde este horizonte en adelante parece tener cabida el macizo rocoso blando o muy blando (es decir el lodolítico), así parece ratificarlo los arreglos de velocidad que alcanzan los 340 m/s, hecho que se ratifica por debajo de los ocho metros, pues las velocidades de onda, V_s , migran desde los 460 m/s hasta los 600 m/s. Arreglo transcrito en la *Figura 4.5* y pormenorizado por abscisas en el *Anexo D.1.1.3*.

FIGURA 4.5 LRS-1: RESPUESTA V_s (EN KM/S) - PROFUNDIDAD



Línea LRS-2

Recorre el posible espacio del eje del anticlinal, fractura de la que poco o ningún rastro se abstrae, y el tercio bajo del deslizamiento principal pero irrumpe en los afloramientos de las lodolitas. Ratifica en los primeros ocho o diez metros de profundidad la concurrencia de los rellenos mineros, arcillosos, saturados, cubiertos por un paquete orgánico, de poco más de un metro de espesor. Conjunto corroborado por las velocidades de corte, encajadas en el intervalo 180 m/s a 360 m/s y las compresionales, que rondan los 990 m/s, y superpuesto, eventualmente, a las areniscas de la Fm. Bogotá; unidades en las que las velocidades de onda compresional ascienden hasta los 3330 m/s; superiores a las del agua y ligadas, por lo tanto, a paquetes más rígidos. Secuencia discriminada en la *Figura 4.6*.

Línea LRS-2'

Discorre, al igual que la línea LRS-2, en la pata del movimiento principal, pero adosada, sustancialmente, al flanco izquierdo, y tiene como finalidades básicas, colegir el espesor y la extensión del material movido, y la posición no sólo de la superficie de despegue sino de la cabeza de agua. Conserva el rumbo de su

enfrentada, la LRS-2, y es, en mayor o menor medida, su prolongación. Deja al descubierto en los primeros decímetros de profundidad un manto orgánico, en el que las velocidades de corte son inferiores a los 180 m/s. De allí y hasta los ocho metros, en el noroeste, o a los seis, en el sureste, se alojan arcillas saturadas, que poseen velocidades de corte por debajo de los 360 m/s, relacionadas con los vestigios mineros y comprometidas en la masa traslocada. Cierran la secuencia las potentes alternancias de lodolitas y arcillolitas, paquetes que descubren velocidades de más de 360 m/s y espesores de, al menos, 20 m de espesor, atributos recapitulados en la *Figura 4.7* y en el *Anexo D.1.1.3*.

FIGURA 4.6 LRS-2: RESPUESTA Vs (EN KM/S) - PROFUNDIDAD

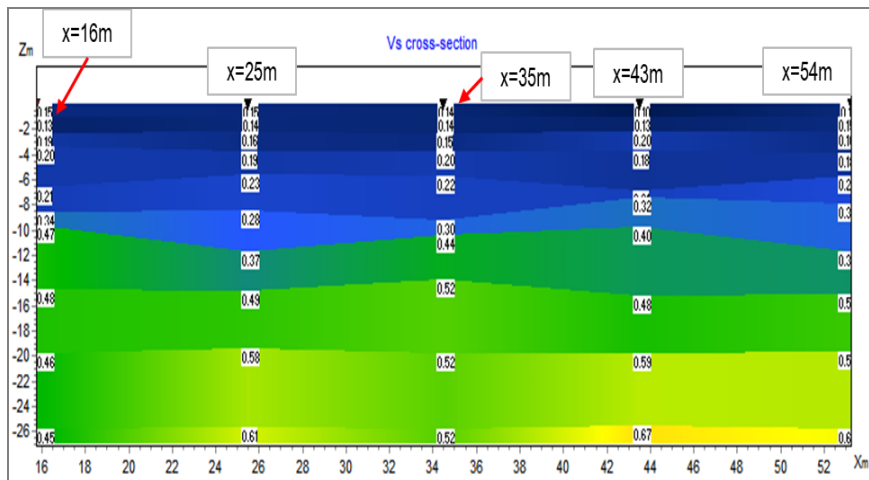
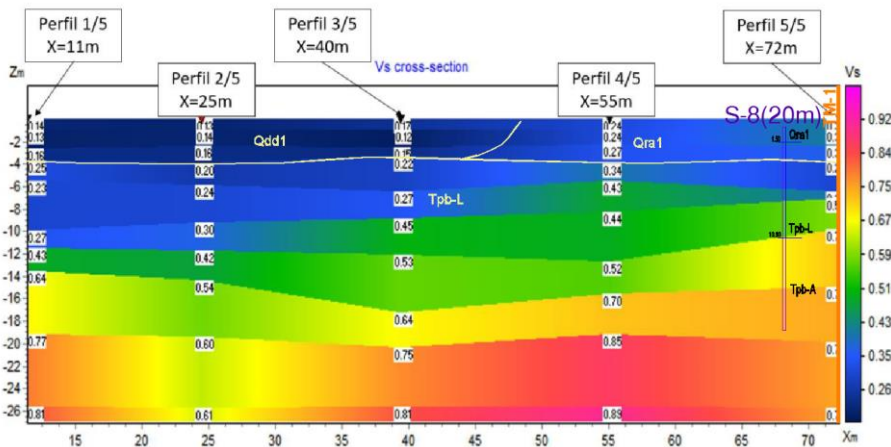


FIGURA 4.7 LRS-2': RESPUESTA Vs (EN KM/S) - PROFUNDIDAD

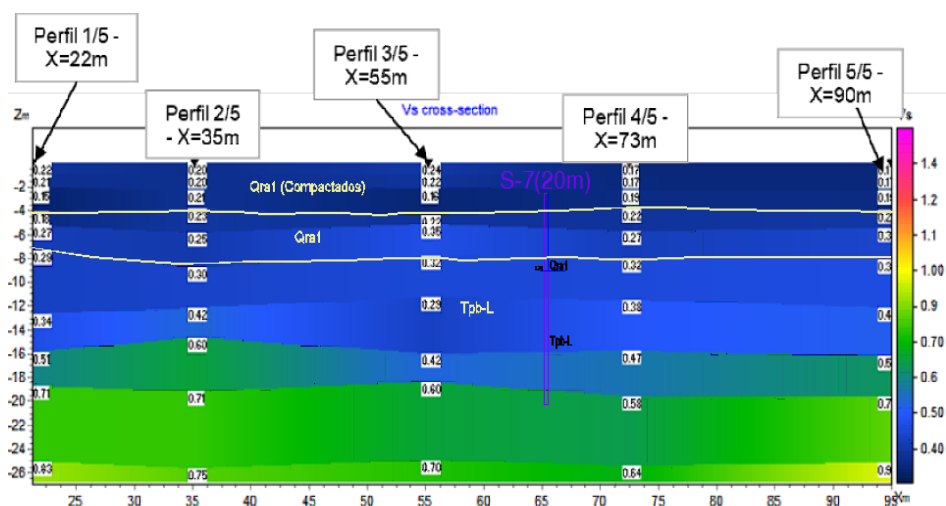


Línea LRS-3

Se destina a dilucidar el espesor de los rellenos en la margen izquierda de la quebrada y el cambio, por demás fallido, de la polaridad de los estratos, en otras palabras el trazo del eje del pliegue (atmosfera

reproducida en el *Plano 4*). Deja en evidencia en los primeros 4 m un horizonte de rigidez de baja a media y velocidades de onda promedio de 210 m/s, concatenado a los rellenos antrópicos compactados para urbanismo (concordante con los casi 7.40 m indagados en el sondeo S-7); a partir de allí y hasta los 9m, la rigidez se incrementa y las velocidades se mueven en el intervalo [250 m/s – 300 m/s], respuesta que deja entrever que se trata de los estratos más blandos de la Formación Bogotá, es decir los de las arcillolitas. La calidad de la roca y del macizo mejora notablemente en adelante, tanto así que hasta los 12 m la Vs se posiciona cerca a los 420 m/s, y a profundidades mayores oscila entre los 600 m/s y los 750 m/s. Singularidades plasmadas en el modelo bidimensional de la *Figura 4.8* y pormenorizadas en el *Anexo D*.

FIGURA 4.8 LRS-3: RESPUESTA Vs (EN KM/S) - PROFUNDIDAD



Línea LRS-4

Comparte las mismas pretensiones de la línea LRS-3, aunque está desplegada en el flanco occidental del anticlinal, en los linderos de la manzana 78 (véase el *Plano 4*). Y si bien, la aparente horizontalidad del contorno de isovelocidades, otorga muy pocas luces sobre el arreglo estructural, deja entrever que el espesor del relleno para urbanismo en ningún caso supera los seis metros, al menos así se depende de la velocidad de onda de corte que es inferior a los 220 m/s. La secuencia rocosa, blanda, se asienta inmediatamente debajo y toca los diez metros de profundidad, nivel en el que la Vs alcanza los 440 m/s (revelación delineada en la *Figura 4.9*), y los niveles más duros, o más rígidos, se posicionan hasta los 30 metros bajo la superficie, ellos exponen velocidades en el intervalo 440 m/s - 660 m/s (prototipo fincado en la *Figura 4.9* y en el *Anexo D.1.1.3*).

Línea LRS-5

Cubre tanto la transición entre la masa traslocada al nororiente y los rellenos de reconfiguración (el Qra2), como la ronda de la quebrada Los Toches (trazado vislumbrado en el *Plano 4*), lo que deja al descubierto dos de sus objetivos más relevantes: uno, conocer el espesor de la potencial masa deslizada, y otro, rastrear el antiguo cauce. En este espacio la irregularidad y la variabilidad en los primeros diez metros es la constante. Las velocidades de onda de corte y las rigidez oscilan pero sin exceder los 300 m/s o los estadios medios, respectivamente. Hasta el segundo metro la Vs migra de los 200m/s a los 300 m/s, sin embargo,

inmediatamente después y en un espesor de seis (6) metros, desciende a niveles entre los 100 m/s y los 200 m/s. Contexto que ratifica la participación de los depósitos antrópicos (sean mineros o no) en espesores próximos a los diez metros, pero no menores a los ocho. El basamento rocoso, que emite Vs entre los 300 m/s y los 400 m/s, completa la secuencia litoestratigráfica, y es el receptor del cuaternario, basta repasar la [Figura 4.10](#) (y las particularidades acopiadas en el [Anexo D.1.1.3](#)).

FIGURA 4.9 LRS-4: RESPUESTA Vs (EN KM/S) - PROFUNDIDAD

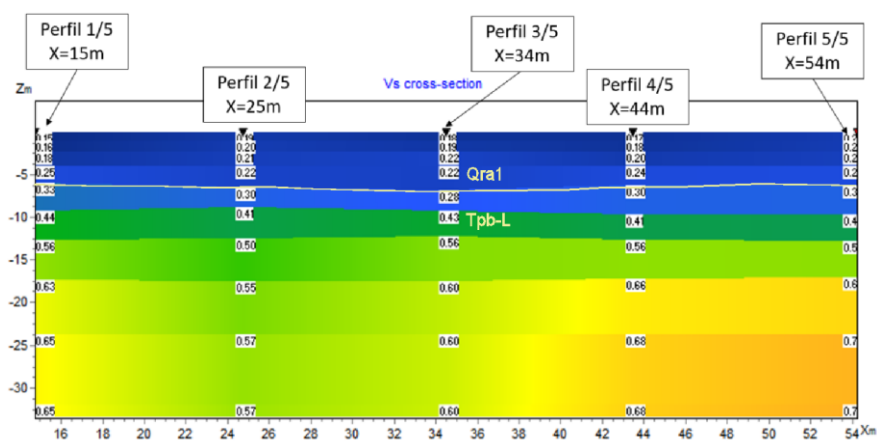
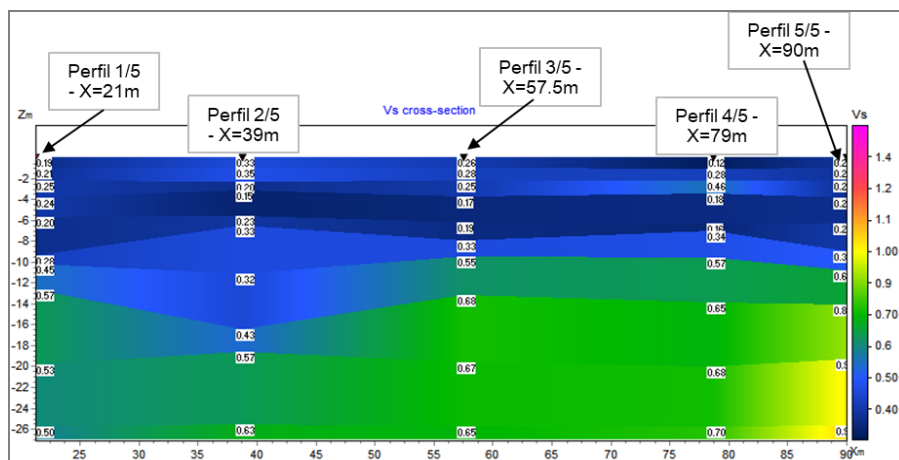


FIGURA 4.10 LRS-5: RESPUESTA Vs (EN KM/S) - PROFUNDIDAD

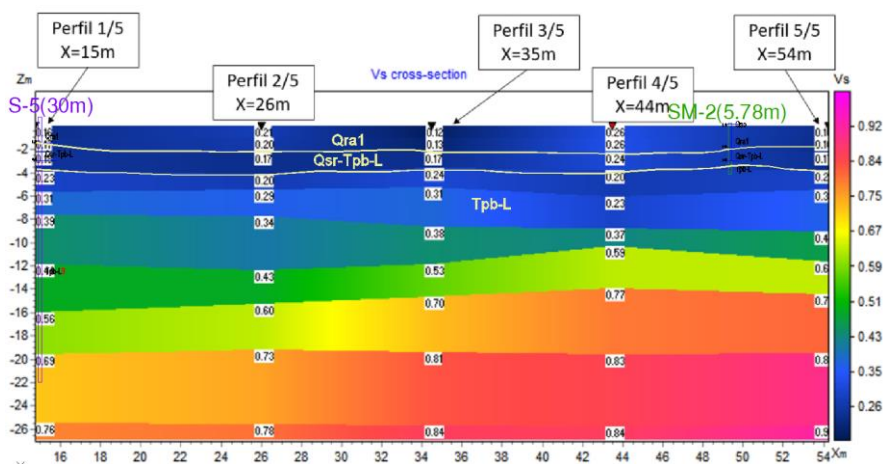


Línea LRS-6

Surca, paralela a la manzana 93, las vastas manchas del cuaternario al oeste de la ciudadela, y pone de manifiesto que los rellenos alcanzan espesores inferiores a los 3 m, premisa cotejada por las velocidades de onda de corte, que apenas rondan los 170 m/s, y por los hallazgos otorgados por las perforaciones S-5 y SM-2, en los que alcanzan los 2.90 m. Bajo ellos reposa en primera instancia, un paquete más rígido que se prolonga hasta los 6 m, y que exhibe Vs entre los 230 m/s y los 310 m/s, paquete propio de los suelos

residuales, tal como se deduce de la secuencia prevalente en los Sondeos S-5 y SM-2, en los que alcanzan los casi cinco metros de profundidad, y en segunda instancia la roca, que dicta niveles de Vs cercanos o superiores a 500m/s. Composición proyectada en la [Figura 4.11](#).

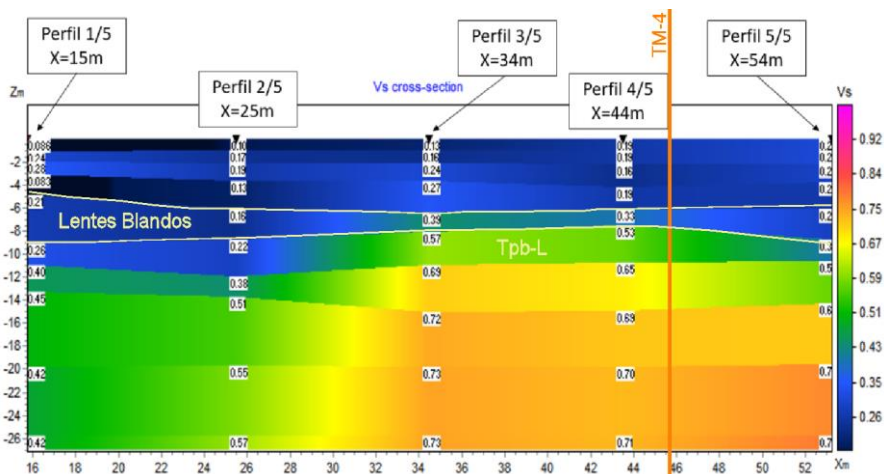
FIGURA 4.11 LRS-6: RESPUESTA Vs (EN KM/S) - PROFUNDIDAD



Línea LRS-7

Explora al igual que la LRS-6, pero en una dirección algo anómala, el perfil estratigráfico cerca al encuentro de la ciudadela con la Carretera a Oriente (véase el [Plano 4](#)). Testifica entre los seis y los nueve metros capas de rellenos, en los que las Vs se mueven entre los 200 m/s y los 280 m/s, que encierran lentes de 1 m de espesor muy blandos (y de muy baja rigidez), con Vs por debajo de los 80 m/s. Mantos que descansan en los potentes bancos de las lodolitas y las areniscas de la Fm. Bogotá, que tocan los 26 m, validados por Vs de 400 m/s a 450m/s (piloto referido en la [Figura 4.12](#) y en el [Anexo D](#)).

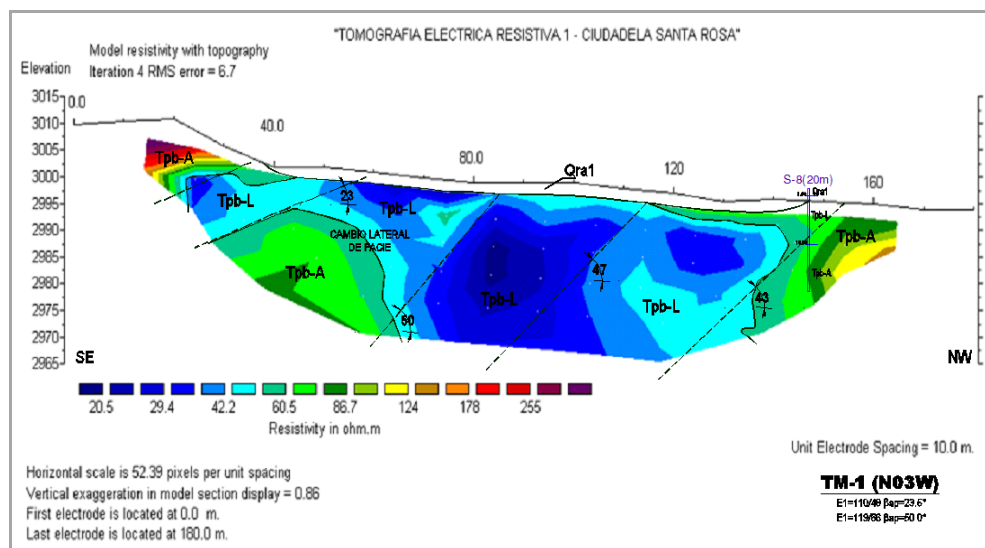
FIGURA 4.12 LRS-7: RESPUESTA Vs (EN KM/S) - PROFUNDIDAD



Tomografía TM-1

Está dispuesta al este de las manzanas 63, 64 y 65, en sentido S-N; ostenta valores de resistividad que oscilan entre los 20.5 Ohm-m y los 255 ohm-m, e ilustra claramente los cambios, de sur a norte, en la secuencia estratigráfica y estructural. Así, en la franja central, enmarcada entre los 45 m y los 160 m en superficie y gobernada por la urbanización, se abre paso una capa de suelo arcilloso (antrópico), con resistividad de 29 Ohm-m a 49 Ohm-m, que alcanza, por espacios, los 5.0 m de profundidad, seguido de un paquete de lodolitas, en el que el buzamiento de la estratificación toca los 66° y la resistividad divaga de los 20 Ohm-m a 42 los Ohm-m. Al sur y al norte, el monótono basamento rocoso es reemplazado, respectivamente, por intercalación de arenisca y de lodolitas, con, aparentes, cambios laterales de facie, en los que las resistividades migran desde los 29 Ohm-m hasta los 42 Ohm-m, y el buzamiento real ronda los 48°, y por una sucesión continua, hasta los 25.0 m, de arenisca (ensamblaje trazado en la [Figura 4.13](#)).

FIGURA 4.13 TOMOGRAFÍA TM-1: INTERPRETACIÓN ESTRATIGRÁFICA



Tomografía TM-2

Interseca el cinturón norte de la urbanización, a la altura de la carrera 17A este, y las líneas de refracción sísmicas 2 y 5. Su tendido (en superficie) es de 180 m, en dirección N10°W, y tiene cabida en el dominio en el que la estratificación dominante es N20E/48SE, y sus resistividades divagan entre los 25 Ohm-m y los 263 Ohm-m. El arreglo estratigráfico, en los primeros 80 m, está conformado por un relleno arcilloso, de entre 3.0 y 6.0 m de espesor, que emana resistividades desde los 25 Ohm-m hasta los 49 Ohm-m, y por un banco de lodolitas con resistividades en el intervalo de los 25 Ohm-m a los 49 Ohm-m. A partir de los 80 m y hasta el cierre, el sustrato rocoso recae en areniscas, que tocan los 15.0 m de profundidad, y en las que el tamaño del grano disminuye gradualmente, al punto de transformarse en lodolitas (véase la [Figura 4.14](#)).

Tomografía TM-3

Es cuasi paralela a la carrera 16 A Este, y explora el espesor de los llenos en el parque de Juegos y en las márgenes de la quebrada, y la divagación o el traslado del cauce. Arroja resistividades entre los 9 y los 60

Ohm*metro, de las que el tope, en el encuadre de los cinco metros y los 60 Ohmios*metro o menos, está dado por arcillas, limos y fragmentos de ladrillo, constitutivos de sucesiones de rellenos heterogéneos, salvo a partir de los 105 m, en el antiguo cauce de la quebrada, socavón en el que los antrópicos tocan los doce (12) metros. Bajo ellos surca una capa delgada (de poco menos de cuatro metros), discontinua del residual de las lodolitas (diagramada con la tonalidad verde oscura) y, posteriormente o las arcillolitas y las lodolitas (matizadas por resistividades entre los 8.9 y los 15.4 Ohmios*metro, y tonos azules, verdes y amarillos), o de éstas con niveles ocasionales de areniscas, a profundidades de 15 metros y sólo entre las abscisas 120 y 140; unas y otras depositadas en estratos orientados N56W/45SW (interpretación reproducida en la *Figura 4.15*).

FIGURA 4.14 TOMOGRAFÍA TM-2: INTERPRETACIÓN ESTRATIGRÁFICA

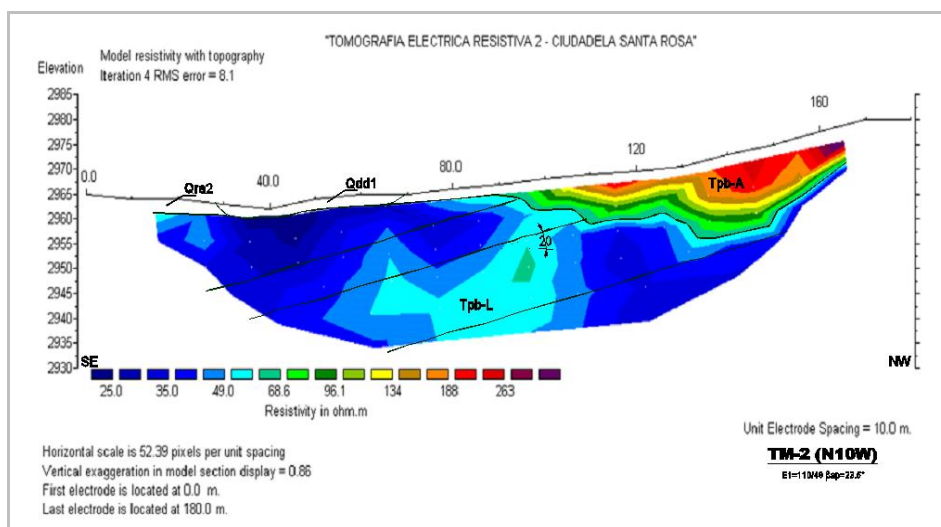
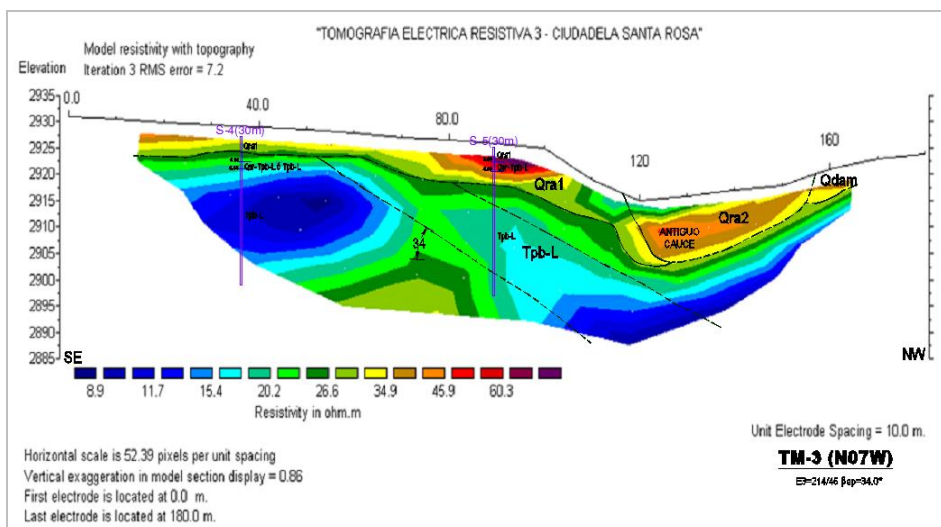


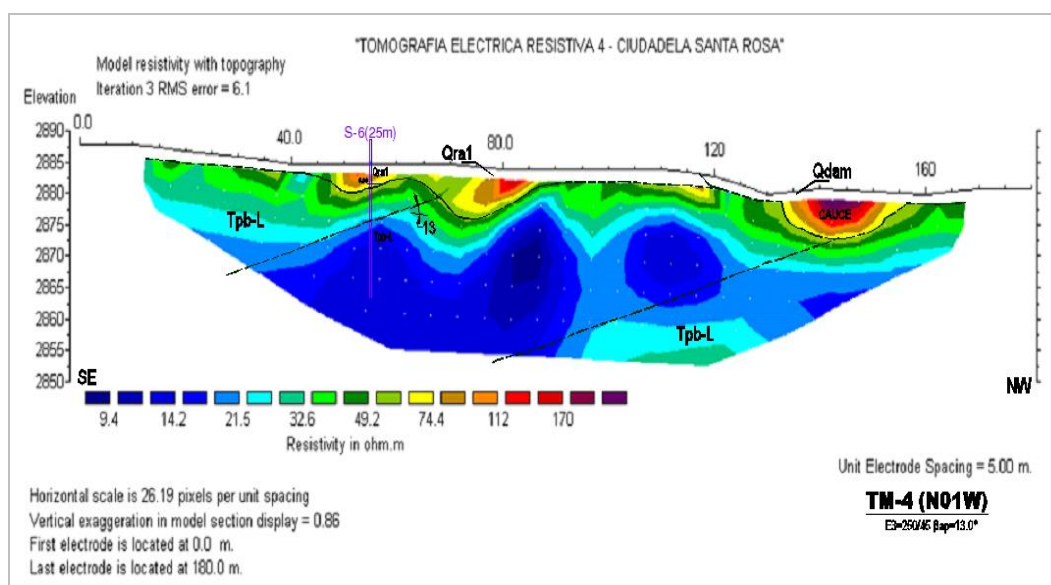
FIGURA 4.15 TOMOGRAFÍA TM-3: INTERPRETACIÓN ESTRATIGRÁFICA



Tomografía TM-4

Comparte las mismas finalidades, la cobertura y, en medida alguna, la interpretación de la TM-3, sin embargo el espectro de resistividades se amplía hasta los 170 Ohm*metro. En este orden de ideas, los rellenos antrópicos, integrados o por arcillas, limos y fragmentos de ladrillo, o por bloques de lodolitas embebidos en arcillas y más próximos a los depósitos coluviales, dictan espesores, irregulares y erráticos entre los dos (2) y los doce (12) metros, en el primer caso, o alcanzan los 13 metros de profundidad y redefinen el cauce de la quebrada en el segundo caso. Los dos soportados por espesos paquetes de arcillolitas o por secuencias de arcillolitas y lodolitas (marcadas con resistividades entre los 9 y los 21 Ohmios*metro, las primeras o desde los 32 y los 49 Ohmios*metro, las alternancias, y colores azules y verdes; abstracción simplificada y aboceteada en la [Figura 4.16](#)), que reposan, también, en capas delgadas o muy delgadas orientadas N56W/45SW.

FIGURA 4.16 TOMOGRAFÍA TM-4: INTERPRETACIÓN ESTRATIGRÁFICA



Sondeo Eléctrico SEV-1

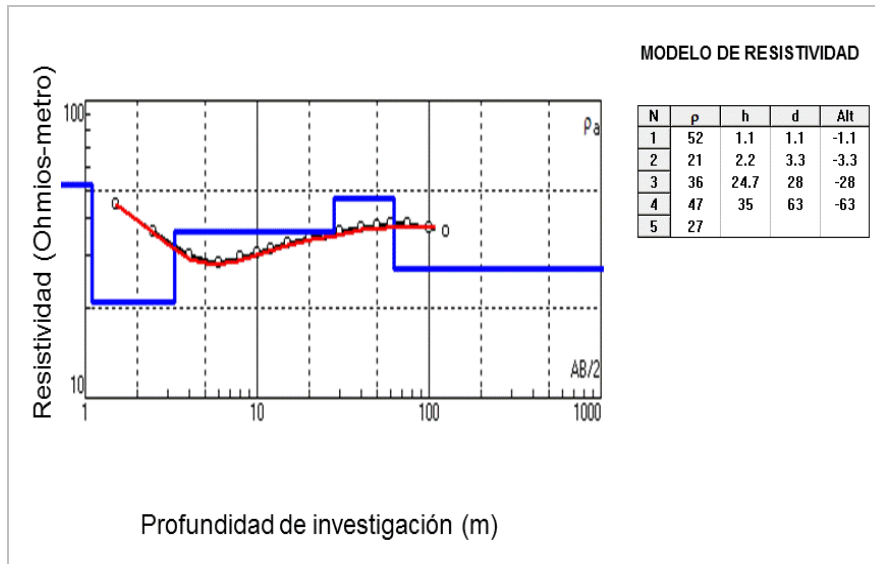
Está apostado en uno de los baldíos al oriente de la Ciudadela, muy cerca de la vivienda 62 de la Manzana 63, en una de las más amplias exposiciones de la Formación Bogotá. Ausculta 30 metros, y conjuga tres unidades en el perfil estratigráfico. La primera, es la mezcla entre la capa vegetal mezclada y los limos, posee un espesor de 1.1 m; la segunda, es un relleno de arcillas y limos con algo de materia orgánica (de 2.2 m de talle), y la tercera está dada por la espeso paquete de arcillolitas de la Formación Bogotá, aparentemente sin intercalaciones. Arquetipo esbozado, junto con la distribución de resistividad, en la [Figura 4.17](#) y en el [Anexo D.1.1.4](#).

Sondeo Eléctrico SEV-2

Se cimienta contiguo a la Carretera a Oriente, en la esquina noroccidental del parque y en la vertiente sur de la quebrada. Pone de relieve en la base, a partir del cuarto metro, a las arcillolitas y a las lodolitas de la Fm.

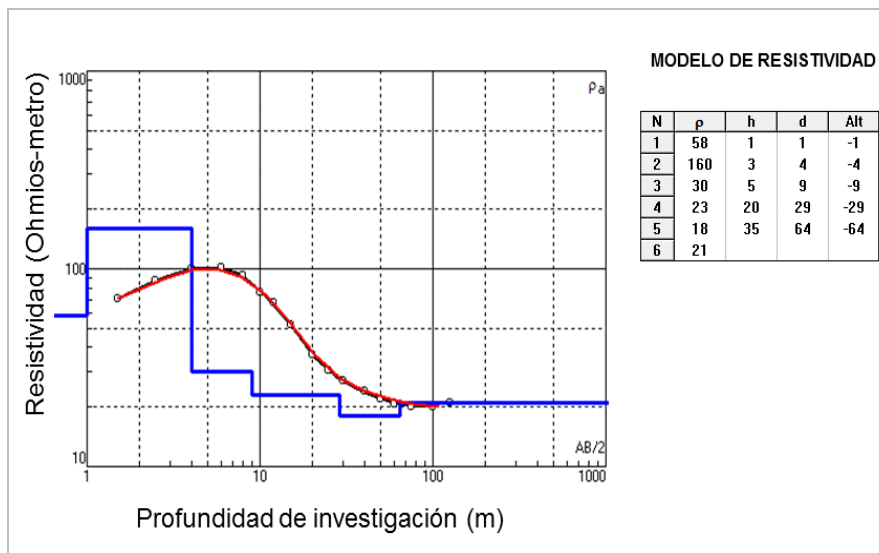
Bogotá, y en el tope resalta el manto vegetal, de 1.0 m espesor, mezclado con arenas y limos; y entre ellas permanece un nivel de rellenos antrópicos (posiblemente arcillosos o de matriz de esta naturaleza), de hasta 3 m de espesor, configurado por residuos de construcción. Estructura y modelo de resistividad simplificado en la Figura 4.18.

FIGURA 4.17 MODELO DE RESISTIVIDAD: SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL SEV-1



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA 4.18 MODELO DE RESISTIVIDAD: SONDEO ELÉCTRICO VERTICAL SEV-2



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

4.1.4 ENSAYOS DE CAMPO

El avance en los sondeos, en especial 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 o arcillo-arenosos, y la premisa de que el muestreo inalterado en este tipo de suelos se dificulta. Asimismo, con el desarrollo del ensayo se espera conseguir 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 ensayo se practica con equipo mecánico y pesa de 140 lb, el número de golpes registrado en campo (N_{45}) es normalizado con el objeto de tener en cuenta el confinamiento del material y la relación de energía promedio aplicada, de acuerdo con la siguiente expresión:

$$N_i^j = C_N * N * \eta_1 * \eta_2 * \eta_3 * \eta_4 \quad \text{Ec. 4.1}$$

en la que:

- N_i^j : 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, σ'_v . SE EVALÚA 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.
- η_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%.
- η_2 : SIMBOLIZA EL FACTOR DE CORRECCIÓN POR LONGITUD DEL VARILLAJE.
- η_3 : ES EL FACTOR DE CORRECCIÓN POR LA PRESENCIA DE REVESTIMIENTO. COMO NO SE UTILIZÓ REVESTIMIENTO ALGUNO, EL FACTOR DE CORRECCIÓN ES 1.0.
- η_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, ϕ_{eq} , se promedian los resultados obtenidos de las expresiones compiladas en adelante (constitutivas de la [Tabla 4.5](#)). Adicionalmente, y con el ánimo de evaluar cualitativamente los resultados del ensayo de penetración, en la [Tabla 4.6](#) y en la [Tabla 4.7](#) 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 también se relaciona en la [Tabla 4.8](#) y en la [Tabla 4.9](#). Nótese que los rellenos antrópicos (el Qra1 y el Qra2) se caracterizan por revelar consistencias modales entre blandas y medias; el suelo residual de la formación Bogotá (o QTpb-L-Sr) por fijar estadios en firme o muy firme, y la lodolita (o Tpb-L) por posicionarse recurrentemente en dura.

TABLA 4.5 EXPRESIONES PARA CORRELACIONAR EL ÁNGULO DE FRICCIÓN A PARTIR DEL SPT

KISHIDA	$\phi = 15 + \sqrt{(20 * N_{72})}$	Ec. 4.2
JRB	$\phi = 15 + \sqrt{(15 * N_{72})}$	Ec. 4.3
SHIOU & FUKUI	$\phi = 27 + 0.36 * N_{72}$	Ec. 4.4
JNR	$\phi = 27 + 0.30 * N_{72}$	Ec. 4.5

TABLA 4.6 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 4.7 RELACIÓN ENTRE LA CONSISTENCIA Y LA RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN

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

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

TABLA 4.8 RESUMEN DE PARÁMETROS DE RESISTENCIA EN CONDICIÓN DRENADA A PARTIR DEL SPT

NO	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	γ (TON/M ³)	COHESIÓN (TON/M ²)	ϕ (°)
1	QDD1	DEPÓSITO DE DESLIZAMIENTO	1.94	1.14	36.2
4	QRA1	RELLENO ANTRÓPICO DE RECONFORMACIÓN 1	1.94	0.14	27.6
5	QRA2	RELLENO ANTRÓPICO DE RECONFORMACIÓN 2	1.98	0.07	29.7
8	QSR-TPB-L	SUELO RESIDUAL DE LA FORMACIÓN BOGOTÁ	2.09	0.26	33.4
9	TPB-A	ARENISCAS DE LA FORMACIÓN BOGOTÁ	2.14	0.00	44.0
10	TPB-L	LODOLITAS DE LA FORMACIÓN BOGOTÁ	2.24	1.07	45.2

Así la ecuación de la envolvente de cada material y se expone en la *Figura 4.19*, en la *Figura 4.20*, en la *Figura 4.21*, en la *Figura 4.22*, en la *Figura 4.23*, en la *Figura 4.24*, en la *Figura 4.25* junto con los parámetros de resistencia, los que se resumen en la *Tabla 4.8*. Los grupos de materiales aparecen diferenciados por colores en ella y son obtenidos mediante la interpretación simultánea y retroalimentada de la información geológica (abreviada en planos y secciones), de los registros de exploración del subsuelo y de las propiedades físicas y geomecánicas. Adicionalmente, las particularidades del procedimiento descrito se pueden constatar en la *Tabla 4.9* y en la *Tabla 4.10* que incluye la normalización del ensayo (el SPT).

FIGURA 4.19 ENVOLVENTE Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA PROMEDIO PARA TODOS LOS MATERIALES

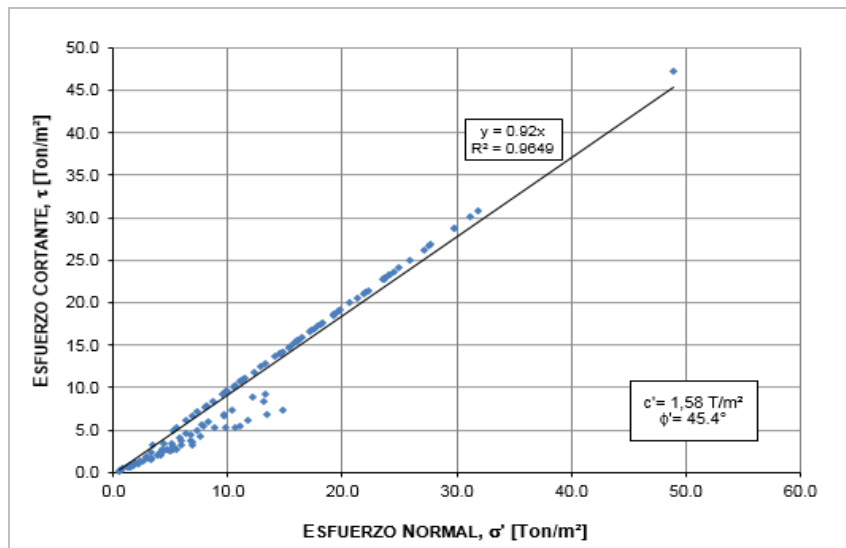


FIGURA 4.20 ENVOLVENTE Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA PROMEDIO DEL MATERIAL: QDD1

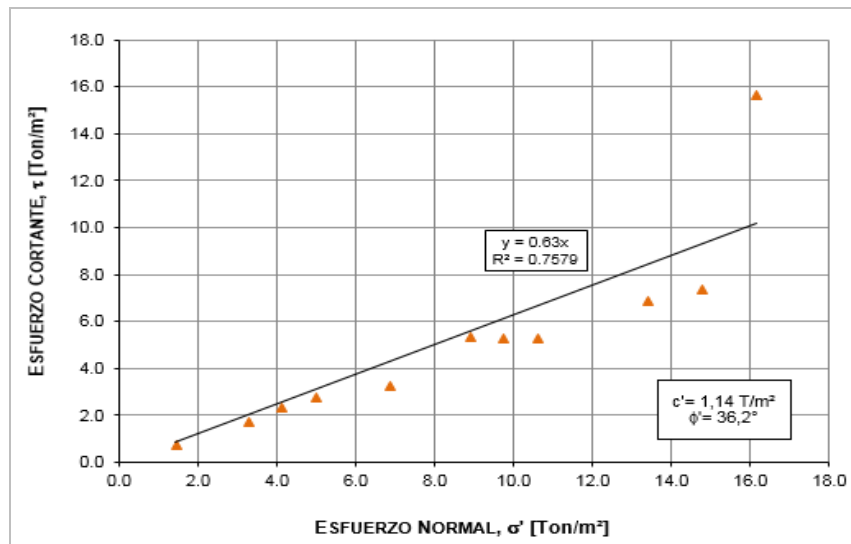
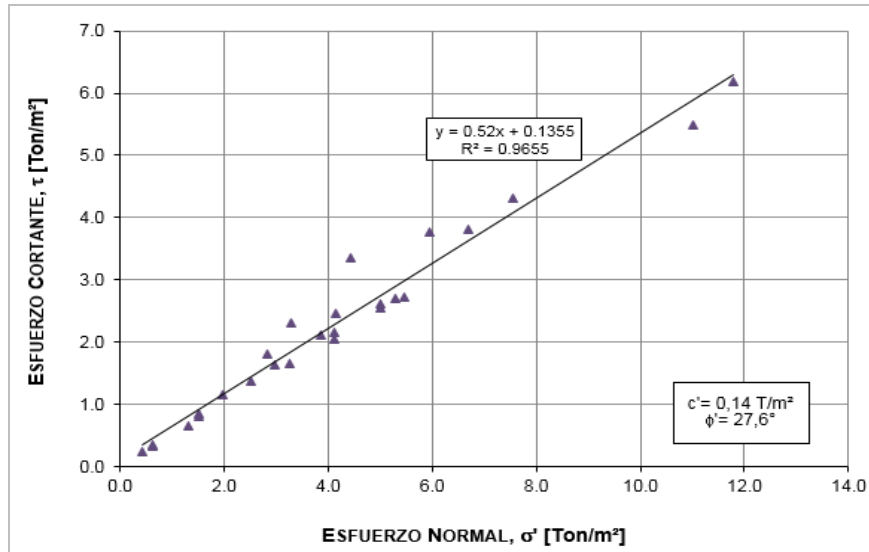
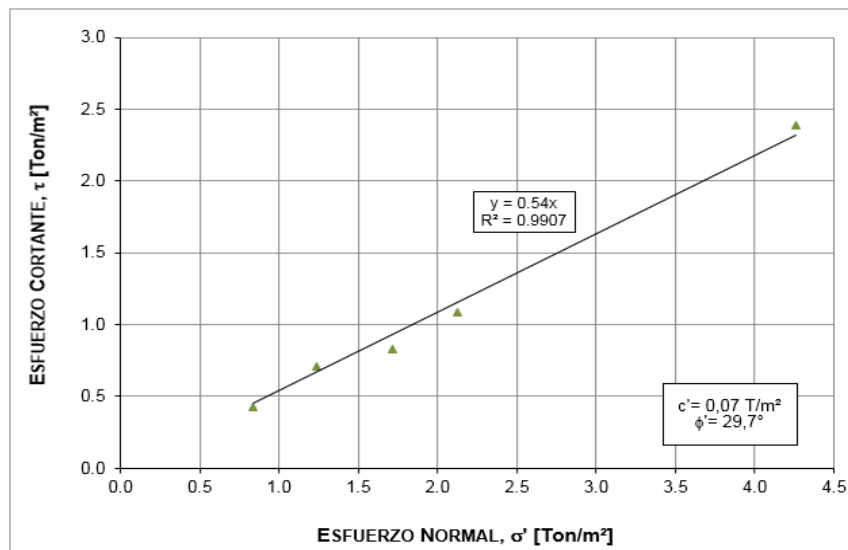


FIGURA 4.21 ENVOLVENTE Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA PROMEDIO DEL MATERIAL: QRA1



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA 4.22 ENVOLVENTE Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA PROMEDIO DEL MATERIAL: QRA2



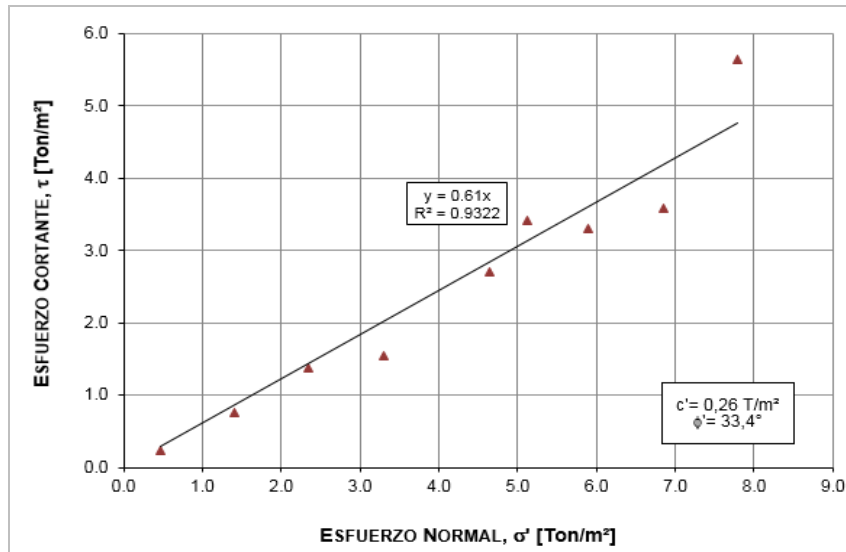
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

4.1.5 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 llevara a cabo un programa discreto de muestreo, en el que prevalece el barrido continuo, para la posterior

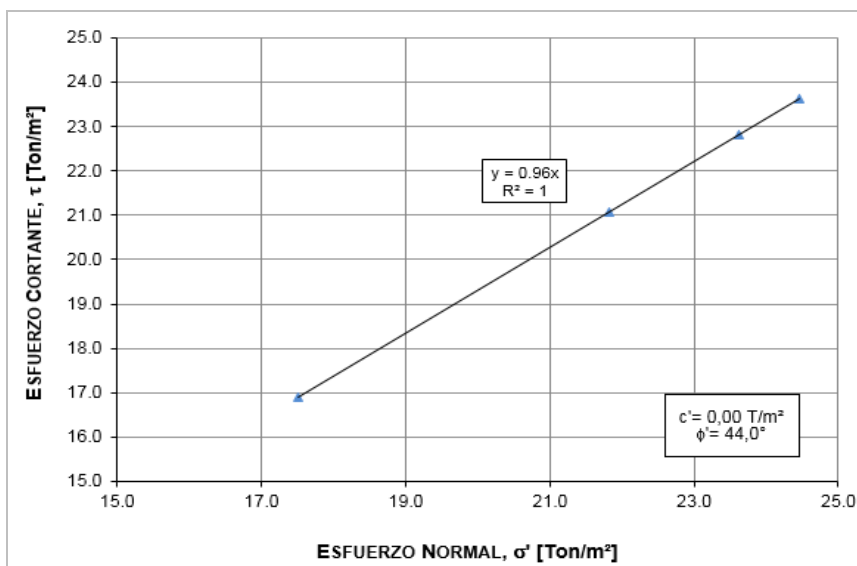
caracterización en laboratorio de los especímenes extraídos: inalterados, tipo shelby (con diámetros entre 3 y 4 pulgadas y longitudes de hasta 0.30 m) y bloque (prismáticos e irregulares con aristas medias de 0.20 m, 0.40 m y 0.50 m) y alterados split spoon. En la Tabla 4.13 se discrimina la cantidad y el tipo de ensayos de clasificación y resistencia.

FIGURA 4.23 ENVOLVENTE Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA PROMEDIO DEL MATERIAL: QSR-TPB-L



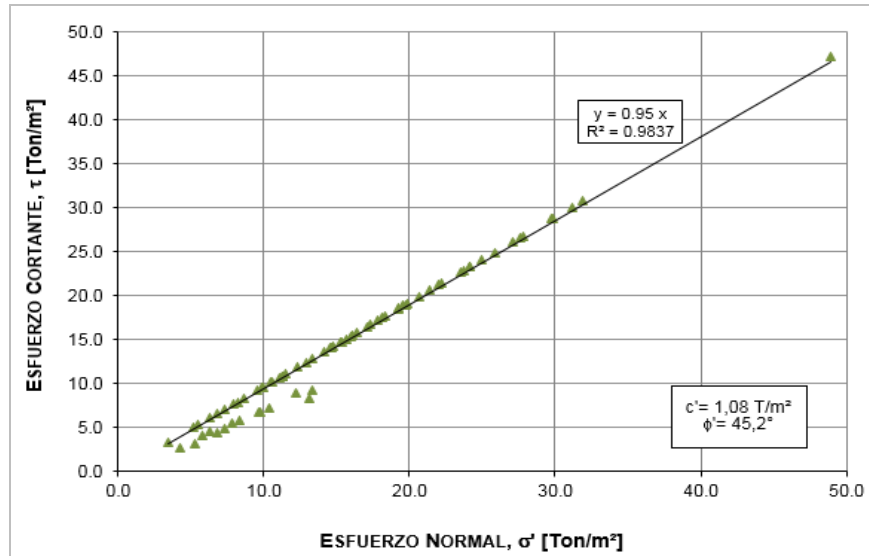
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA 4.24 ENVOLVENTE Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA PROMEDIO DEL MATERIAL: TPB-A



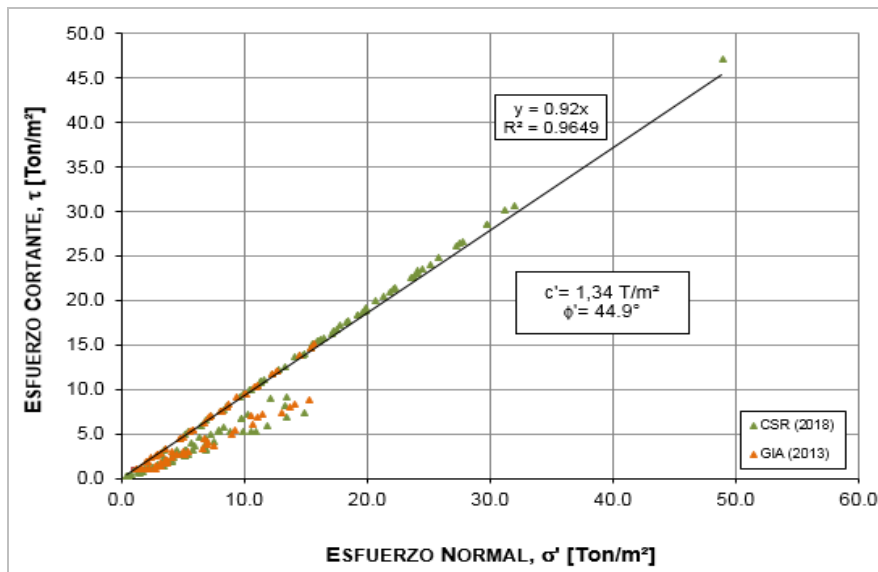
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA 4.25 ENVOLVENTE Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA PROMEDIO DEL MATERIAL: TPB-L



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA 4.26 ENVOLVENTE Y PARÁMETROS DE RESISTENCIA PARA TODOS LOS MATERIALES CSR (2018) Y GIA (2013)



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

La toma de muestras en los paquetes de la Formación Bogotá, se surte con el propósito de establecer las propiedades físicas y mecánicas tanto del material rocoso 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 y a los depósitos de deslizamiento, puesto que presiden gran parte de las superficies libres.

DISEÑO DETALLADO DE OBRAS DE MITIGACIÓN DE RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA EN LA URBANIZACIÓN CIUDADELA SANTA ROSA

CONSORCIO SANTA ROSA.

TABLA 4.9 NORMALIZACIÓN DEL SPT

Perif.	Muestra	Profundidad (m)			Golpes/golpe			N ₆₀	NF	Tipo	γ (T/m ³)	σ _v (Ton/m ²)	σ _{v'} (Ton/m ²)	R _i
		de	a	Media	1	2	3							
S-1	2	0.80	1.25	1.03	5	7	9	16	n.e.	4	1.91	1.96	1.96	0.20
	3	1.25	1.70	1.48	8	11	12	23	n.e.	4	1.91	2.82	2.82	0.28
	5	2.10	2.95	2.53	15	19	25	44	2.55	4	1.91	4.44	4.44	0.44
	6	2.55	3.00	2.78	22	32	42	50	2.55	10	2.35	5.40	5.17	0.52
	8	3.80	4.20	4.00	25	40	50	2.55	10	2.35	8.28	6.83	0.68	
	10	5.15	5.55	5.35	35	45	45	2.55	10	2.35	11.45	8.65	0.85	
	12	6.65	6.80	6.73	51	51	51	2.55	10	2.35	14.68	10.51	1.07	
	22	15.22	15.27	15.25	45	45	45	2.55	10	2.35	34.70	22.91	2.20	
22	16.77	16.90	16.84	45	45	45	2.55	10	2.35	38.44	24.16	2.42		
1.53 1.53														
S-2	3	1.50	1.95	1.725	13	17	15	32	n.e.	4	1.91	3.29	3.29	0.33
	4	1.95	2.40	2.175	16	19	18	38	n.e.	4	1.91	4.55	4.55	0.42
	7	4.45	4.90	4.675	30	20	20	40	3.5	10	2.25	9.01	7.83	0.78
	9	5.95	6.40	6.175	10	14	25	39	3.5	10	2.25	12.38	9.71	0.97
	11	7.40	7.50	7.450	50	50	50	3.5	10	2.25	15.25	11.30	1.13	
	14	10.00	10.15	10.075	45	45	45	3.5	10	2.25	21.16	14.58	1.46	
	16	11.20	11.35	11.275	45	45	45	3.5	10	2.25	23.88	16.08	1.61	
	18	12.85	13.00	12.925	18	18	18	3.5	10	2.25	27.91	18.33	1.83	
20	14.80	15.10	14.950	28	45	45	3.5	10	2.25	32.12	20.67	2.07		
22	16.85	16.23	16.190	45	45	45	3.5	10	2.25	34.91	22.22	2.22		
24	18.33	19.23	19.080	15	43	43	3.5	10	2.25	41.42	25.94	2.58		
2.87 2.87														
S-3	1	0.20	0.65	0.425	4	4	3	7	n.e.	5	1.98	0.83	0.83	0.08
	2	0.65	1.10	0.875	2	2	3	5	n.e.	5	1.98	1.72	1.72	0.17
	5	2.65	3.10	2.875	5	7	8	15	1.5	5	1.98	5.64	4.26	0.43
	7	4.15	4.60	4.375	10	16	20	38	1.5	10	2.24	8.64	5.76	0.58
	8	4.60	5.05	4.825	20	20	38	50	1.5	10	2.24	9.65	6.32	0.63
	10	6.10	6.55	6.325	40	43	20	50	1.5	10	2.24	13.01	8.18	0.82
	12	7.60	7.75	7.675	50	50	50	50	1.5	10	2.24	16.03	9.86	0.99
	14	8.80	9.25	9.025	30	40	50	50	1.5	10	2.24	19.05	11.53	1.15
16	11.05	11.20	11.125	50	50	50	50	1.5	10	2.24	23.76	14.13	1.41	
18	12.25	12.40	12.325	50	50	50	50	1.5	10	2.24	26.45	16.62	1.56	
22	15.45	15.60	15.525	50	50	50	50	1.5	10	2.24	33.81	19.59	1.98	
27	19.80	19.95	19.875	50	50	50	50	1.5	10	2.24	43.36	24.98	2.50	
29	21.45	21.75	21.600	27	45	45	50	1.5	10	2.24	47.22	27.12	2.71	
30	21.75	22.20	21.975	27	33	34	50	1.5	10	2.24	48.06	27.59	2.78	
32	23.70	23.80	23.750	50	50	50	50	1.5	10	2.24	52.04	29.79	2.98	
0.39 0.39														
S-4	1	1.30	1.75	1.525	4	5	7	12	n.e.	4	1.95	2.97	2.97	0.30
	4	1.75	2.20	1.975	5	6	7	13	n.e.	4	1.95	3.85	3.85	0.39
	6	3.20	3.65	3.425	8	10	10	20	n.e.	4	1.95	6.68	6.68	0.67
	8	5.15	5.60	5.375	11	11	11	22	n.e.	10	2.45	10.59	10.59	1.06
	10	6.20	6.65	6.425	10	12	22	34	n.e.	10	2.45	13.17	13.17	1.32
	12	7.15	7.45	7.300	17	45	45	50	n.e.	10	2.45	15.31	15.31	1.53
	14	8.95	9.25	9.100	28	45	45	50	n.e.	10	2.45	19.72	19.72	1.97
	16	10.75	11.05	10.900	30	45	45	50	n.e.	10	2.45	24.13	24.13	2.41
20	15.55	15.85	15.700	28	45	45	50	n.e.	10	2.45	35.89	31.19	3.12	
27	27.85	28.00	27.925	45	45	45	50	n.e.	10	2.19	65.62	48.90	4.89	
0.79 0.79														
S-5	1	0.40	0.85	0.625	7	7	6	13	n.e.	5	1.98	1.24	1.24	0.12
	2	0.85	1.30	1.075	4	4	4	8	n.e.	5	1.98	2.13	2.13	0.21
	5	2.95	3.40	3.175	4	7	11	18	n.e.	5	2.03	6.31	4.84	0.46
	8	4.90	5.35	5.125	10	12	20	32	1.5	10	2.02	10.37	6.75	0.67
	10	6.40	6.85	6.625	8	11	27	38	1.5	10	2.02	13.40	8.28	0.83
	12	7.65	8.10	7.875	17	21	30	50	1.5	10	2.02	15.93	9.55	0.96
	13	8.10	8.38	8.240	27	50	50	50	1.5	10	2.02	16.66	9.92	0.99
	15	9.43	9.73	9.580	25	50	50	50	1.5	10	2.02	19.37	11.29	1.13
17	10.43	10.70	10.565	27	48	48	50	1.5	10	2.02	21.36	12.29	1.23	
21	14.10	14.31	14.165	36	50	50	50	1.5	10	2.02	28.63	15.97	1.60	
25	15.37	15.65	15.510	17	50	50	50	1.5	10	2.02	31.34	17.33	1.73	
27	16.26	16.38	16.310	50	50	50	50	1.5	10	2.02	32.98	18.15	1.82	

N₆₀: Número de golpes para el 45% de energía del martillo (Estimado para Colombia)
 NF: Nivel fricción
 σ_v: Esfuerzo vertical total
 σ_{v'}: Esfuerzo vertical efectivo
 σ_{v'}: Parámetro utilizado para el C_u, R_i = α_vγ_v
 C_u: Factor de corrección por confinamiento efectivo
 γ_v: Factor de corrección por energía del martillo. La energía de USA es el 60% y la de Japón el 72%
 γ_f: Factor de corrección por tangente de la arena
 γ_r: Factor de corrección por revestimiento interno de tonamuestas
 γ_d: Factor de corrección por diámetro de la perforación
 γ_c: Número de golpes corregido
 γ_α: Ángulo de fricción interna
 σ_{v'}: Esfuerzo vertical efectivo

Material	
Qd01	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd02	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd03	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd04	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd05	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd06	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd07	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd08	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd09	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd10	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd11	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd12	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd13	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd14	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd15	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd16	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd17	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd18	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd19	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd20	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd21	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd22	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd23	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd24	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd25	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd26	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd27	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd28	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd29	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd30	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd31	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd32	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd33	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd34	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd35	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd36	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd37	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd38	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd39	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd40	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd41	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd42	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd43	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd44	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd45	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd46	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd47	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd48	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd49	Depósito de Deslaminatos Resacas
Qd50	Depósito de Deslaminatos Resacas

TABLA 4.10 NORMALIZACIÓN DEL SPT

Main table containing soil test data for 20 different samples (S-6 to S-20). Each sample has a table of test results with columns for depth, blow count, and various correction factors. A legend below the table defines the symbols used.

N45 = Número de golpes para el 45% de energía del martillo (Estimado para Colombia)
NF Nivel freático
NS Esfuerzo vertical total
NE Esfuerzo vertical efectivo
F1 Parametro utilizado para el Cu, Rn = α1β1
Cn Factor de corrección por confinamiento efectivo
γ1 Factor de corrección por energía del martillo: La energía de USA es el 60% y la de Japón el 72%
γ2 Factor de corrección por longitud de la punta
γ3 Factor de corrección por restamiento interno de tomamuestras
γ4 Factor de corrección por diámetro de la perforación
Vmed = Número de golpes corregido
α = Ángulo de fricción interna
E Esfuerzo vertical efectivo

Material table listing correction factors for different materials.
Material: Q001 (Deposito de Deslanchamientos Recientes), Q042 (Deposito de Deslanchamientos Recientes), Q045 (Deposito Antipozo Uniaxial Seleccionado), Q047 (Relleno Antipozo de Reconformación), Q048 (Relleno Antipozo de Reconformación), Q049 (Depositos Antipozos Menores), Q050 (Deposito Coloidal), Q051 (Suelto Residual), Tab-A (Formación Bogotí, Unidad Arenosa), Tab-L (Formación Bogotí, Unidad Lodosa), T01 (Formación Caucho).

TABLA 4.11 NORMALIZACIÓN DEL SPT: GIA (2013)

Table with columns: Perf., Muestra, Profundidad (m), Golpes/pie, N45, NF, Tipo, gamma (T/m^3), sigma, sigma', R_s, C_N, Peck, Seed, Meyerhoff, Ishihara, Liao-Whitman, Skempton, Seed-IDris, Schmertmann, González, C_N promedio, eta_1, eta_2, eta_3, eta_4, N_normalizada, Consistencia o Compacidad, Sondaje Muestra, Consecutivo, sigma' (Ton/m^2), tau (Ton/m^2).

N45 Número de golpes para el 45% de energía del martillo (Estimado para Colombia)
NF Nivel freático
sigma Esfuerzo vertical total
sigma' Esfuerzo vertical efectivo
R_s Parámetro utilizado para el C_N, R_s = sigma_v/sigma'_v
C_N Factor de corrección por confinamiento efectivo
eta_1 Factor de corrección por energía del martillo: La energía de USA es el 60% y la de Japón el 72%
eta_2 Factor de corrección por longitud de la vaina
eta_3 Factor de corrección por revestimiento interno de tomamuestras
eta_4 Factor de corrección por diámetro de la perforación
N_normalizada Número de golpes corregido
beta Angulo de fricción interna
sigma' Esfuerzo vertical efectivo

Table with 2 columns: Item (Qd1, Qd2, Qd3, Qd4, Qd5, Qd6, Qd7, Qd8, Qd9, Qd10) and Value (1, 2, 3, 4, 5).

Los cortes directos, unívocamente CD, 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 fin 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. Se ensayan muestras próximas a la superficie de deslizamiento del cuerpo principal, en las masas inalteradas de los llenos y en el suelo de fundación de las edificaciones (viviendas).

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 estabilidad, se acopian los resultados de laboratorio de barrios y 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 Geoingeniería (2000), Ingeniería y Geotecnia Ltda. (1994), Investigaciones Geotécnicas Ltda. (2000), Ingeniería y Georriesgos Ltda. (2005), Geocing Ltda. (2010 y 2007), Civiles Ltda (1999), Gia C. L. (2007), Hidrogeología y Geotecnia Ltda. (2000), Ifcaya (1998), Nivia (2000), Soitech (2012), Gia C. L. (2009) y Gia C. L. (2013). Estos dos últimos empleados en la determinación del espectro probable de los parámetros de resistencia por su relación genética y litoestratigráfica; tema que será tratado en la modelación de estabilidad.

TABLA 4.13 RELACIÓN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

ENSAYO			CANTIDAD (Un)
WN	:	CONTENIDO DE HUMEDAD NATURAL	61
LL Y LP.	:	LÍMITES DE CONSISTENCIA	37
	:	GRANULOMETRÍA	17
Pt200	:	PASA TAMIZ NO. 200	24
Gs	:	GRAVEDAD ESPECÍFICA	17
γ_T	:	PESO UNITARIO TOTAL	44
CD	:	CORTE DIRECTO	12
$q_u(S)$:	COMPRESIÓN INCONFINADA EN SUELO	3
$\sigma_C(R)$:	COMPRESIÓN SIMPLE EN ROCA	13
σ_C	:	CARGA PUNTUAL	10
CR Y Cc.	:	CONSOLIDACIÓN	5

Las memorias de cálculo de los ensayos (geomecánicos), ordenados bajo el amparo de otros consultores pero que involucran a la formación Bogotá se compilan en el [Anexo D.2](#), y los resultados de las pruebas de contenidos de humedad natural, límites de consistencia, pesos unitarios totales, tamizado, gravedad específica, compresión confinada, cortes directos, triaxial y expansión se sintetizan en la [Tabla 4.14](#) hasta la [Tabla 4.18](#), y los ensayos de laboratorio ordenados bajo el amparo de otros consultores se compilan en la [Tabla 4.19](#), en la [Tabla 4.20](#), en la [Tabla 4.21](#), en la [Tabla 4.22](#), en la [Tabla 4.23](#), en la [Tabla 4.24](#), en la [Tabla 4.25](#), en la [Tabla 4.26](#), en la [Tabla 4.27](#), y en el [Anexo D.2](#).

TABLA 4.14 RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO

SONDEO	MUESTRA	TIPO DE MUESTRA	MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)			USCS	w _n (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IL	IC	%G	%A	%F	γ _i (Ton/m ³)	γ _a (Ton/m ³)	G _s	PT200 (%)	q _u ROCA (Kg/cm ²)	q _u suelo (Kg/cm ²)	c' (Kg/cm ²)	φ' (°)	c/residual (Kg/cm ²)	φ residual (°)	EXPANSIÓN CONTROLADA EN CONSOLIDÓMETRO	EXPANSIÓN LAMBE		Tracción Brasiera (Kg/cm ²)					
				de	a	media																						Esfuerzo (Kg/cm ²)	Estado						
S-1	M-2	SS	Qra1	0.80	1.25	1.03	CL	15.00	32.00	16.00	16.00	-0.06	1.06																						
	M-4	SH	Qra1	1.70	2.10	1.90	CL	8.50	40.00	17.00	23.00						1.91	0.20	2.67				0.25	29.00											
	M-5	NQ	Qra1	2.10	2.55	2.33		9.00																											
	M-6	SS	Tpb-L	2.55	3.00	2.78									0.00	11.70	88.30			2.77	88.30														
	M-8	SS	Tpb-L	3.80	4.20	4.00	CL	10.00	31.00	14.00	17.00	-0.24	1.24																						
	M-10	SS	Tpb-L	5.15	5.55	5.35		10.00																											
	M-12	SS	Tpb-L	6.65	6.80	6.73		11.00																											
	M-14	SH	Tpb-A	8.90	9.80	9.35		15.84							1.19	17.91	80.90	2.14	1.93	2.70	80.90			0.14	31.91										
M-17	NQ	Tpb-A	10.72	12.22	11.47																														
S-2	M-2	SH	Qra1	0.80	1.50	1.15	CL	22.00	28.00	16.00	12.00	0.50	0.50							2.62															
	M-7	SS	Tpb-L	4.45	4.90	4.68		13.00																											
	M-9	SS	Tpb-L	5.95	6.40	6.18									0.00	15.30	84.70				84.70														
	M-10	SS	Tpb-L	6.40	7.40	6.90		22.00																											
	M-15	NQ	Tpb-L	10.15	11.20	10.68		10.00																											
	M-20	SS	Tpb-L	14.80	15.10	14.95		11.00																											
	M-21	NQ	Tpb-L	15.10	16.15	15.63												2.25																	
S-3	M-3	NQ	Qra2	1.10	2.15	1.63		33.00																											
	M-4	SH	Qra2	2.15	2.65	2.40	CL	27.40	46.00	19.00	27.00									2.66			0.49	0.42	13.72										
	M-6	NQ	Qra2	3.10	4.15	3.63	CL		43.00	20.00	20.00																								
	M-11	NQ	Tpb-L	6.55	7.60	7.08	CL		40.00	17.00	23.00																								
	M-14	SS	Tpb-L	8.80	9.25	9.03	CL	13.00	39.00	18.00	21.00	-0.24	1.24	0.00	15.90	84.10				84.10															
	M-17	NQ	Tpb-L	11.20	12.25	11.73		9.00																											
	M-25	NQ	Tpb-L	17.70	18.75	18.23												2.24																	
	M-27	SS	Tpb-L	19.80	19.95	19.88		8.00																											
S-4	M-2	SH	Qra1	0.70	1.30	1.00	CL	20.00	49.00	20.00	29.00						1.95					1.80	0.49	25.13											
	M-5	NQ	Qra1	2.20	3.20	2.70		33.00												2.65															
	M-6	SS	Qra1	3.20	3.65	3.43																													
	M-8	SS	Qsr-Tpb-L	5.15	5.60	5.38		25.00																											
	M-9	NQ	Qsr-Tpb-L	5.60	6.20	5.90	CL		43.00	20.00	23.00																								
	M-12	SS	Tpb-L	7.15	7.45	7.30		9.00																											
	M-18	NQ	Tpb-L	12.55	14.05	13.30	CL	14.00	30.00	15.00	15.00	-0.07	1.07																						
	M-19	NQ	Tpb-L	14.05	15.55	14.80									0.00	13.20	86.80				86.80														
	M-22	NQ	Tpb-L	17.35	18.85	18.10		9.00																											
	M-24	NQ	Tpb-L	20.35	21.85	21.10												2.45																	
M-27	NQ	Tpb-L	24.85	26.35	25.60		11.00										2.19	0.18		73.80															

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 4.15 RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO (CONTINUACIÓN)

SONDEO	MUESTRA	TIPO DE MUESTRA	MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)			USCS	w _n (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IL	IC	%G	%A	%F	γ _t (Ton/m ³)	γ _s (Ton/m ³)	G _s	PT200 (%)	q _u ROCA (Kg/cm ²)	q _u suelo (Kg/cm ²)	c' (Kg/cm ²)	φ' (°)	c' residual (Kg/cm ²)	φ residual (°)	EXPANSIÓN CONTROLADA EN CONSOLIDÓMETRO		EXPANSIÓN LAMBE		Tracción Brasiera (Kg/cm ²)				
				de	a	media																					Esfuerzo (Kg/cm ²)	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Estado						
S-5	M-3	SH	Qra1	1.30	1.90	1.60		24.70									1.98						0.14	25.08											
	M-5	SS	Qsr-Tpb-L	2.95	3.40	3.18	CL		44.00	20.00	24.00																								
	M-11	NQ	Tpb-L	6.85	7.65	7.25		13.00																											
	M-14	NQ	Tpb-L	8.38	9.43	8.91	CL		48.00	16.00	32.00				0.00	7.20	92.80			2.58	92.80														
	M-18	NQ	Tpb-L	10.70	11.40	11.05	CL		17.00	40.00	18.00	22.00	-0.05	1.05																					
	M-19	SS	Tpb-L	11.40	11.65	11.53																													
	M-27	SS	Tpb-L	16.26	16.36	16.31												2.02																	
	M-29	NQ	Tpb-L	17.40	18.90	18.15		19.00																											
S-6	M-30	NQ	Tpb-L	18.90	20.40	19.65	CL		27.50	14.70	12.80						2.19		2.75		37.09			32.89	39.96	0.00	14.23								
	M-34	NQ	Tpb-L	24.90	26.40	25.65											2.41																		
	M-4	SH	Qra1	1.45	2.05	1.75		15.00									2.06		2.60			0.80	0.29	26.29											
	M-8	NQ	Qra1	3.95	5.00	4.48	CH	19.00	67.00	27.00	40.00	-0.20	1.20					<																	
	M-11	SH	Qra1	6.50	6.90	6.70	CL	20.00	42.00	18.00	24.00	0.08	0.90				1.64	1.11					0.17	9.46											
	M-16	SS	Tpb-L	10.80	11.25	11.03	CL		41.00	22.00	19.00				0.00	5.60	94.40			94.40															
S-7	M-22	NQ	Tpb-L	16.09	17.59	16.84	CL	26.00	30.00	16.00	14.00	0.71	0.29																						
	M-26	NQ	Tpb-L	19.34	20.84	20.09											2.32																		
	M-31	SS	Tpb-L	23.93	24.13	24.03		18.00																											
	M-4	SS	Qra1	1.90	2.35	2.13														2.59															
	M-6	SH	Qra1	2.80	3.40	3.10	CL	27.00	37.00	18.00	19.00	0.47	0.50																						
	M-7	SH	Tpb-L	3.40	4.00	3.70		24.00										1.94	0.08			0.33		0.05	28.80										
	M-9	NQ	Tpb-L	4.45	5.45	4.95	CL	22.00	38.00	19.00	19.00	0.16	0.84				2.00	0.09																	
S-8	M-12	NQ	Tpb-L	6.35	7.35	6.85								0.40	11.70	87.90					87.90														
	M-14	NQ	Tpb-L	7.80	8.85	8.33		18.00																											
	M-17	NQ	Tpb-L	10.25	11.30	10.78	CL	22.00	28.00	16.00	12.00	0.50	0.50																						
	M-23	NQ	Tpb-L	16.00	17.50	16.75											2.24																		
	M-4	SS	Tpb-L	1.50	1.95	1.73		20.00							0.00	11.80	88.20					88.20													
	M-5	SS	Tpb-L	1.95	2.55	2.25		15.00	31.00	16.00	15.00	-0.07	1.07																						
M-10	NQ	Tpb-L	5.55	7.05	6.30		18.00							0.00	22.50	77.50					77.50														
M-12	NQ	Tpb-L	7.50	8.50	8.00		16.00	38.00	17.00	21.00	-0.05	1.05																							
M-15	SS	Tpb-L	10.45	10.90	10.68		16.00			NP	NP			0.00	22.20	77.80					77.80														
M-16	SS	Tpb-A	10.90	12.40	11.65		16.82							0.00	11.72	88.24	2.08	1.78	2.69	88.24	1.76		0.14	16.21											
M-17	SS	Tpb-L	12.40	12.55	12.48		16.00																												
M-22	SS	Tpb-L	18.50	18.65	18.58		17.00										2.00	0.11																	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 4.16 RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO (CONTINUACIÓN)

SONDEO	MUESTRA	TIPO DE MUESTRA	MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)			USCS	w _n (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IL	IC	%G	%A	%F	γ _t (Ton/m ³)	γ _s (Ton/m ³)	G _s	PT200 (%)	q _u ROCA (Kg/cm ²)	q _u suelo (Kg/cm ²)	c' (Kg/cm ²)	φ' (°)	c ['] residual (Kg/cm ²)	↓ residual (°)	CONSOLIDACIÓN (Kg/cm ²)		EXPANSIÓN LAMBE		Tracción Brasitera (Kg/cm ²)							
				de	a	media																					CR	CC	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Estado								
S-9	M-2	SS	Qdd	0.50	0.95	0.73	CL		46.00	21.00	25.00																											
	M-3	SH	Qdd	0.95	1.45	1.20	CL	17.00	38.00	17.00	21.00	0.00	1.00							2.58			0.25	33.37														
	M-5	SS	Qdd	1.90	2.35	2.13	CL		43.00	18.00	25.00									2.54	75.00																	
	M-8	SS	Qdd	3.30	3.75	3.53	CL		49.00	19.00	30.00										53.00																	
	M-9	SH	Qdd	3.75	4.45	4.10	CL	21.00	38.00	18.00	20.00		0.85							2.62			0.19	29.84														
	M-12	SS	Qdd	5.25	5.70	5.48	CL		45.00	19.00	26.00			3.80	24.50	71.70	1.80			71.70																		
	M-14	SS	Qdd	7.65	8.10	7.88	CH		56.00	23.00	33.00									2.52	78.00																	
	M-16	SS	Qdd	9.10	9.55	9.33	CH		60.00	20.00	40.00																											
	M-17	NQ	Qdd	9.55	10.60	10.08		4.00									2.41	2.31																				
	M-19	NQ	Tpb-L	11.05	12.55	11.80											2.54	2.44				43.38																
	M-21	NQ	Tpb-L	12.65	14.15	13.40		2.00									2.57	2.51				61.26																
	M-23	NQ	Tpb-L	14.25	15.75	15.00		4.00									2.56	2.44				61.52																
	M-24	NQ	Tpb-A	15.05	15.85	15.45		7.00									2.47	2.31				36.49																
M-25	NQ	Tpb-A	15.85	17.30	16.58		5.00									2.38	2.25				76.36																	
M-27	NQ	Tpb-L	14.75	18.95	16.85											2.47	2.31				62.83																	
SM-1	M-2	SS	QTpb-Sr-L	0.45	0.90	0.68	CH	29.00	57.00	28.00	29.00	0.03	0.97				1.79	1.14																				
	M-4	SS	QTpb-Sr-L	1.35	1.80	1.58	CL	29.00	44.00	26.00	18.00	0.17	0.83	0.00	12.40	87.60	1.29			87.60																		
	M-5	SS	Tpb-L	1.80	2.25	2.03														2.54	82.00																	
	M-6	SS	Tpb-L	2.25	2.70	2.48									0.00	18.30	81.70				81.70																	
	M-8	SS	Tpb-L	3.15	3.60	3.38		13.00										1.87	1.87	2.58																		
SM-2	M-2	SS	Qra1	0.10	0.55	0.33	CH	12.00	54.00	22.00	31.00	-0.32	1.31				1.75				47.00																	
	M-5	SS	Qra1	1.45	1.90	1.68															62.00																	
	M-7	SS	Qra1	2.35	2.50	2.43	CH	22.00	57.00	22.00	35.00	0.00	1.00	0.00	19.70	80.90	1.62				80.90																	
	M-8	SS	QTpb-Sr-L	2.80	3.25	3.03		20.00										1.53																				
	M-12	SS	Tpb-L	4.90	5.35	5.13		20.00										1.66				86.00																
	M-13	SS	Tpb-L	5.35	5.78	5.57		17.00										1.63			2.56																	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 4.17 CARGA PUNTUAL

ESPECIMEN No.	UNIDAD	L (cm)	D (cm)	W (cm)	De (cm)	De2 (cm ²)	P (Kgf)	P (KN)	Is (Kgf/cm ²)	F _{corrección}	Is ₅₀ (Kgf/cm ²)	Is ₅₀ (Kgf/cm ²)	σ_u (Kgf/cm ²)
M-17 S-1	Tpb-A	14.87	4.52	4.60	5.15	26.47	15.1	0.151	0.74	1.01	0.75	1.02	24.52
		8.19	4.57	4.57	5.16	26.59	34.9	0.349	1.67	1.01	1.69		
		6.77	4.48	4.48	5.06	25.55	19.3	0.193	0.96	1.00	0.96		
		11.30	4.58	4.58	5.17	26.71	20.4	0.204	0.97	1.01	0.98		
		10.80	4.51	4.51	5.09	25.90	18.3	0.183	0.90	1.01	0.91		
		5.54	4.45	4.45	5.02	25.21	18.6	0.186	0.94	1.00	0.94		
		5.37	4.45	4.45	5.02	25.21	18	0.18	0.91	1.00	0.91		
M-23 S-2	Tpb-L	5.97	4.59	4.59	5.18	26.82	1.7	0.017	0.08	1.02	0.08	0.08	1.81
		5.79	4.32	4.32	4.87	23.76	1.3	0.013	0.07	0.99	0.07		
M-24 S-3	Tpb-L	15.56	4.56	4.56	5.15	26.48	20.15	0.2015	9.69	1.01	9.82	4.07	97.59
		15.51	4.56	4.56	5.15	26.48	51.5	0.515	2.48	1.01	2.51		
		13.16	4.56	4.56	5.15	26.48	14.9	0.149	0.72	1.01	0.73		
		8.01	4.51	4.51	5.09	25.90	16.1	0.161	7.92	1.01	7.98		
		8.57	4.56	4.56	5.15	26.48	94.1	0.941	4.53	1.01	4.59		
		8.36	4.55	4.55	5.13	26.36	29.2	0.292	1.41	1.01	1.43		
		7.58	4.56	4.56	5.15	26.48	29	0.29	1.39	1.01	1.41		
M-34 S-3	Tpb-L	11.00	4.56	4.56	5.15	26.48	74.3	0.743	3.57	1.01	3.62	1.97	47.17
		11.58	4.57	4.57	5.16	26.59	6.5	0.065	0.31	1.01	0.31		
M-34 S-5	Tpb-L	7.22	4.38	4.38	4.94	24.43	19.7	0.197	1.03	0.99	1.02	1.61	38.58
		14.00	4.50	4.50	5.08	25.78	48.1	0.481	2.38	1.01	2.40		
		7.23	4.37	4.37	4.93	24.31	7	0.07	0.37	0.99	0.37		
		9.57	4.44	4.44	5.01	25.10	38.1	0.381	1.93	1.00	1.93		
		10.56	4.30	4.30	4.85	23.54	30.9	0.309	1.67	0.99	1.65		
		6.57	4.51	4.51	5.09	25.90	45.9	0.459	2.26	1.01	2.28		

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 4.18 CARGA PUNTUAL (CONTINUACIÓN)

ESPECIMEN No.	UNIDAD	L (cm)	D (cm)	W (cm)	De (cm)	De2 (cm ²)	P (Kgf)	P (KN)	Is (Kgf/cm ²)	F _{corrección}	Is ₅₀ (Kgf/cm ²)	Is ₅₀ (Kgf/cm ²)	σ _u (Kgf/cm ²)
M-30 S-6	Tpb-L	13.98	4.56	4.56	5.15	26.48	45.6	0.456	2.19	1.01	2.22	2.15	51.70
		72.70	4.57	4.57	5.16	26.59	72.7	0.727	3.48	1.01	3.53		
		24.30	4.66	4.66	8.64	27.65	24.3	0.243	1.12	1.28	1.43		
		7.51	4.67	4.67	5.27	27.77	29.2	0.292	1.34	1.02	1.37		
		9.25	4.66	4.66	5.26	27.65	64.9	0.649	2.99	1.02	3.06		
		6.75	4.66	4.66	5.26	27.65	40.6	0.406	1.87	1.02	1.91		
		7.37	4.68	4.68	6.43	41.40	1.89	0.0189	1.39	1.12	1.56		
M-20 S-7	Tpb-L	5.62	4.65	4.65	5.25	27.53	22.4	0.224	1.04	1.02	1.06	1.42	34.00
		6.50	4.60	4.60	5.19	26.94	27.5	0.275	1.30	1.02	1.32		
		8.49	4.65	4.65	8.64	27.53	25.2	0.252	1.17	1.28	1.50		
		13.75	4.63	4.63	5.22	27.29	32.2	0.322	1.50	1.02	1.53		
		15.47	4.66	4.66	5.26	27.65	14.3	0.143	0.66	1.02	0.68		
		7.08	4.65	4.65	5.25	27.53	44.8	0.448	2.07	1.02	2.12		
		8.44	4.71	4.71	6.43	41.40	34	0.34	1.53	1.12	1.71		
M-23 S-7	Tpb-L	10.02	4.63	4.63	5.22	27.29	157.9	1.579	7.37	1.02	7.52	5.79	139.05
		11.61	4.65	4.65	5.25	27.53	152	1.52	7.03	1.02	7.18		
		14.11	4.38	4.38	8.64	24.43	113.8	1.138	5.93	1.28	7.58		
		5.29	4.63	4.63	5.22	27.29	127.2	1.272	5.93	1.02	6.05		
		6.51	4.68	4.68	5.28	27.89	47.1	0.471	2.15	1.02	2.20		
		6.64	4.41	4.41	4.98	24.76	86.5	0.865	4.45	1.00	4.44		
		8.44	4.71	4.71	6.43	41.40	34	0.34	4.98	1.12	5.58		
M-18 S-8	Tpb-A	6.78	4.53	4.53	5.11	26.13	8.4	0.084	0.41	1.01	0.41	0.86	20.52
		6.88	4.55	4.55	5.13	26.36	12.7	0.127	0.61	1.01	0.62		
		7.57	4.58	4.58	8.64	26.71	22.1	0.221	1.05	1.28	1.34		
		8.99	4.56	4.56	5.15	26.48	19.6	0.196	0.94	1.01	0.95		
		9.28	4.53	4.53	5.11	26.13	19.2	0.192	0.94	1.01	0.95		
M-20 S-8	Tpb-A	10.10	4.63	4.63	5.22	27.29	106.2	1.062	4.95	1.02	5.05	3.21	77.09
		14.91	4.63	4.63	5.22	27.29	47	0.47	2.19	1.02	2.23		
		8.49	4.62	4.62	8.64	27.18	39.2	0.392	1.84	1.28	2.35		

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 4.19 RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO: OTROS CONSULTORES

SONDEO	MUESTRA	TIPO DE MUESTRA	MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)			USCS	w (%)	LL (%)	LP (%)	JP (%)	IL	IC	%G	%A	%F	q _a (Ton/m ²)	q _a (Ton/m ²)	G _s	PT200 (%)	q _a Penetrómetro (Kg/cm ²)	q _a Veleta Laboratorio (Kg/cm ²)	q _a ROCA (Kg/cm ²)	q _a s&lc (Kg/cm ²)	c' (Kg/cm ²)	f (°)	c' residual (Kg/cm ²)	f residual (°)	EXPANSION CONTROLADA EN		EXPANSIÓN LAMBE		Tracción Brasitera (Kg/cm ²)		
				de	a	media																							Estado		Estado				
																													Estado	Estado	Estado	Estado			
P-1	M-1	SPT	Ora	0.25	0.50	0.38	CL	12.00%	37%	19%	18%	0.39									17.50	17.50													
	M-2	SPT	Ora	1.00	1.40	1.20		12.00%														7.50	8.60												
	M-3	SPT	Ora	1.40	1.70	1.55	CL	32.00%	49%	21%	26%	0.39										8.00	9.00												
	M-4	SH	Ora	1.90	2.30	2.10		21.00%																											
	M-5	SPT	Ora	2.30	2.70	2.50	CL	29.00%	40%	21%	19%	0.42										2.00	1.65	1.65		1.61	80.00								
	M-6	SPT	Ora	2.70	3.25	2.95		28.00%														1.50	1.50	1.50											
	M-8	SH	Ora	3.30	3.80	3.55		43.00%														1.70	1.19	1.19				0.61	30.00						
	M-9	SPT	Ora	3.80	4.25	4.03		34.00%																											
	M-10	SPT	Ora	4.60	5.00	4.60		15.00%																											
	M-11	SPT	Ora	5.00	5.50	5.25	CL	16.00%	30%	17%	13%	-0.08																							
	M-NR	SPT	Ora	5.50	5.90	5.70																													
	M-12	SPT	Ora	6.00	6.45	6.23		27.00%																											
P-2	M-1	SPT	Ora	1.00	1.45	1.23	CL	17.00%						7%	26%	67%	2.10	1.79	1.79	7.00%											0.54	1.2 NC			
	M-2	SPT	Ora	1.50	1.90	1.70		31.00%																											
	M-3	SPT	Ora	2.00	2.40	2.20		34.00%														22.40	20.00												
	M-4	SPT	Ora	2.50	2.90	2.70		42.00%														2.00	1.41	1.41											
	M-5	SPT	Ora	3.30	3.80	3.45		47.00%																											
	M-6	SPT	Ora	3.60	4.10	3.85		30.00%														1.99	1.53	1.53											
	M-NR	SPT	Ora	4.10	4.50	4.30																													
	M-7	SPT	Ora	4.50	5.00	4.75		55.00%																											
	M-8	SPT	Ora	5.00	5.50	5.25		36.00%																											
	M-9	SPT	Ora	5.50	5.90	5.70	CL	24.00%	50%	26%	24%	-0.08										1.82	1.47	1.47											
	M-10	SPT	Ora	6.00	6.40	6.20																													
	M-11	SPT	Ora	6.50	7.00	6.75		36.00%																											
	M-12	SPT	Ora	7.00	7.50	7.25	CL	45.00%	41%	27%	14%	1.29																							
M-NR	SPT	Ora	7.50	8.00	7.75																														
M-13	SPT	Ora	8.00	8.40	8.20		18.00%																												
P-3	M-1	SPT	Ora	0.80	1.25	1.03																													
	M-2	SPT	Ora	1.50	1.90	1.70		15.00%													2.08	1.81	1.81												
	M-3	SPT	Ora	1.90	2.30	2.10		19.00%														2.07	1.74	1.74											
	M-NR	SPT	Ora	2.60	3.00	2.80																													
	M-4	SPT	Ora	3.00	3.50	3.25		34.00%														1.88	1.40	1.40											
	M-5	SPT	Ora	3.50	3.90	3.70	CL	28.00%	37%	20%	17%	0.47										1.91	1.49	1.49											
	M-6	SPT	Ora	4.10	4.50	4.30		19.00%														1.95	1.64	1.64											
	M-7	SPT	Ora	4.50	4.90	4.70	CL	32.00%	37%	19%	18%	0.72										2.50	1.89	1.89											
	M-8	SPT	Ora	5.25	5.60	5.43		23.00%														1.96	1.59	1.59											
	M-9	SPT	Ora	5.60	6.20	5.90		21.00%																											
	M-NR	SH	Ora	6.20	6.70	6.45																													
	M-10	SPT	Tpb-L	6.70	7.20	6.95		19.00%																											
	M-NR	SPT	Tpb-L	7.20	7.60	7.40																													
M-NR	SPT	Tpb-L	7.60	8.10	7.85																														
M-NR	SPT	Tpb-L	8.10	8.50	8.30																														
M-11	SPT	Tpb-L	8.50	8.90	8.70																														
M-12	SPT	Tpb-L	8.90	9.40	9.15																														
P-4	M-1	SPT	Ora	1.45	1.90	1.68																													
	M-2	SPT	Ora	1.90	2.40	2.15	CL	19.00%	42%	18%	24%	0.04									2.07	1.74	1.74												
	M-3	SPT	Ora	2.65	3.05	2.85		16.00%														2.10	1.81	1.81											
	M-4	SPT	Ora	3.05	3.50	3.28		19.00%															2.02	1.70	1.70										
	M-5	SPT	Ora	3.50	3.95	3.73	CL	17.00%	47%	19%	28%	-0.07										2.10	1.79	1.79											
	M-6	SPT	Oso	4.00	4.50	4.25		46.00%																											
	M-7	SPT	Oso	4.55	4.95	4.75	SC	20.00%																											
	M-8	SPT	Tpb-A	5.00	5.50	5.25		19.00%																											
	M-9	SPT	Tpb-A	5.50	5.95	5.73	SC	17.00%	18%	29%	-11%	1.09																							
	M-10	SPT	Tpb-A	6.00	6.50	6.25	SC	13.00%							33%	39%	29%																		
	M-11	SPT	Tpb-A	6.55	7.05	6.80		20.00%																											
	M-12	SPT	Tpb-A	7.20	7.65	7.43		17.00%																											
	M-13	SPT	Tpb-A	7.70	8.15	7.93		19.00%														2.30	1.97	1.97											

FUENTE: IGL (1994)

TABLA 4.20 RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO: OTROS CONSULTORES (CONTINUACIÓN)

SONDEO	MUESTRA	TIPO DE MUESTRA	MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)			USCS	w _e (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IL	IC	%G	%A	%F	q _t (Ton/m ²)	q _t (Ton/m ²)	G _s	PT200 (%)	q _u Penetrómetro (Kg/cm ²)	q _u Velela Laboratorio (Kg/cm ²)	q _u SOCA (Kg/cm ²)	q _u suelo (Kg/cm ²)	c' (Kg/cm ²)	f (°)	c' residual (Kg/cm ²)	f residual (°)	EXPANSION CONTROLADA EN		EXPANSIÓN LAMBE		Tracción Brasiera (Kg/cm ²)				
				de	a	media																							Esfuerzo (Kg/cm ²)	Estado	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Estado					
P-5	M-1	SPT	Qra	1.50	2.00	1.75		22.00%																													
	M-1	SPT	Qra	2.00	2.50	2.25																															
	M-2	SPT	Qra	2.50	3.00	2.75	CL	14.00%							25%	24%	51%	2.08	1.82	1.82	51.00%	22.60															
	M-3	SPT	Qra	2.95	3.45	3.20		19.00%													10.00%	22.20															
	M-3	SPT	Qra	3.50	4.00	3.75																22.60															
	M-4	SPT	Qra	4.05	4.45	4.25		28.00%														9.20															
	M-5	SPT	Qso	4.60	5.05	4.83		34.00%														6.00															
	M-6	SPT	Tpb-L	5.05	5.25	5.15	CL	19.00%	46%	23%	23%	-0.17						1.64	1.38	1.38	67.00%	18.00															
M-NR	SPT	Tpb-L	5.25	5.30	5.28																																
P-6	M-1	SPT	Qra	1.00	1.45	1.23		16.00%																													
	M-2	SPT	Qra	1.50	1.95	1.73		17.00%													65.00%																
	M-3	SPT	Qra	2.00	2.45	2.23		18.00%										2.10	1.78	1.78																	
	M-4	SPT	Qra	2.50	2.95	2.73		21.00%										2.10	1.74	1.74	66.00%																
	M-5	SPT	Qra	3.00	3.45	3.23		18.00%																													
	M-6	SPT	Qra	3.50	3.95	3.73		22.00%										2.04	1.67	1.67																	
	M-7	SPT	Qra	4.00	4.45	4.23																															
	M-8	SPT	Qra	4.50	4.95	4.73	CH	26.00%																													
	M-9	SPT	Tpb-L	6.00	6.45	6.23		41.00%										1.88	1.33	1.33																	
	M-10	SPT	Tpb-L	6.50	6.95	6.73		11.00%							37%	32%	31%				31.00%																
M-NR	SH	Tpb-L	7.00	7.45	7.23		9.00%																														
M-12	SPT	Tpb-A	7.50	8.00	7.75	CC													13.00%																		
P-7	M-1	SPT	Qra	0.90	1.40	1.15	CL														23.00																
	M-2	SPT	Qra	1.50	1.95	1.73												2.10	2.10	2.10		23.00															
	M-3	SPT	Qra	2.00	2.40	2.20												2.10	2.10	2.10	69.00%	22.80															
	M-NR	SPT	Qra	3.10	3.50	3.30																															
	M-4	SPT	Qra	3.80	4.25	4.03															69.00%																
	M-5	SPT	Qra	4.30	4.70	4.50																															
	M-6	SPT	Tpb-A	5.00	5.45	5.23	SC																														
M-7	SPT	Tpb-A	5.50	6.00	5.75	SC								18%	33%	49%				49.00%																	
P-8	M-1	SPT	Qra	1.00	1.50	1.25	CH	16.00%										2.10	1.81	1.81																	
	M-2	SPT	Qra	1.50	1.90	1.70		14.00%										1.96	1.72	1.72																	
	M-3	SPT	Qra	2.00	2.45	2.23		15.00%																													
	M-4	SPT	Qra	2.50	2.95	2.73	CL	21.00%	54%	27%	27%	-0.22																									
	M-5	SPT	Tpb-L	3.00	3.45	3.23	CL	19.00%	26%	18%	8%	0.13									55.00%																
	M-6	SPT	Tpb-L	3.75	4.25	4.00		27.00%													60.00%																
	M-7	SPT	Tpb-L	4.30	4.75	4.53		21.00%																													
	M-8	SPT	Tpb-L	5.00	5.50	5.25		23.00%										2.20	1.82	1.82					3.12	156.00											
	M-9	SPT	Tpb-L	5.50	5.90	5.70		22.00%																													
P-9	M-1	SPT	Qra	0.40	0.75	0.58	CL	20.00%	47%	23%	24%	-0.13		13%	15%	71%																					
	M-2	SPT	Qra	0.75	1.25	1.00		16.00%																													
	M-3	SPT	Qra	1.25	1.70	1.48		17.00%										2.02	1.73	1.73	73.00%	17.00															
	M-4	SPT	Qra	1.75	2.20	1.98		19.00%											2.03	1.71	1.71	77.00%	13.80														
	M-5	SPT	Qra	2.25	2.70	2.48	CL	19.00%	48%	23%	25%	-0.16																									
	M-6	SPT	Qra	2.75	3.15	2.95		19.00%														72.00%	16.30														
	M-NR	SPT	Qra	3.15	3.65	3.40																															
	M-7	SPT	Qra	3.65	4.00	3.83	CL	25.00%	49%	22%	27%	0.11						1.93	1.54	1.54		9.00															
	M-8	SPT	Qso	4.10	4.50	4.30		54.00%														13.00															
	M-9	SPT	Qso	4.50	5.00	4.75		37.00%																													
	M-10	SPT	Qso	5.00	5.50	5.25	NH	31.00%	52%	30%	22%	0.05						1.82	1.39	1.39		15.00															
	M-11	SPT	Qso	5.50	6.00	5.75		58.00%																													
	M-12	SPT	Qso	6.00	6.40	6.20	M	47.00%							21%	23%	56%				56.00%	7.00															
	M-13	SPT	Tpb-A	6.45	6.85	6.65	CH																														
	M-14	SPT	Tpb-A	6.90	7.40	7.15		23.00%																													
M-NR	SPT	Tpb-A	7.45	7.90	7.68													2.03	1.65	1.65	83.00%	10.80															
M-15	SPT	Tpb-A	7.90	8.30	8.10		25.00%																														

FUENTE: IGL (1994)

TABLA 4.21 RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO: OTROS CONSULTORES (CONTINUACIÓN)

SONDEO	MUESTRA	TIPO DE MUESTRA	MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)			USCS	W _c (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IL	IC	%G	%A	%F	q ₁ (Ton/m ²)	q ₂ (Ton/m ²)	G _s	PT200 (%)	q _s Penetrómetro (Kg/cm ²)	q _s Velela Laboratorio (Kg/cm ²)	q _s SOCA (Kg/cm ²)	q _s medio (Kg/cm ²)	c' (Kg/cm ²)	φ (°)	c' residual (Kg/cm ²)	f residual (°)	EXPANSION CONTRACTADA EN		EXPANSIÓN LAMBE		Tracción Brasiera (Kg/cm ²)			
				de	a	media																							Esfuerzo (Kg/cm ²)	Estado	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Estado				
P-10	M-1	SPT	Ora	1.00	1.45	1.23		15.00%												60.00%	22.80															
	M-2	SPT	Ora	1.50	1.95	1.73		15.00%													60.00%	22.80														
	M-3	SPT	Ora	2.00	2.45	2.23		14.00%														22.80														
	M-4	SPT	Ora	2.50	3.00	2.75	CL	21.00%	44%	18%	26%	0.12						2.13	1.87	1.87																
	M-5	SPT	Ora	3.35	3.75	3.55		21.00%													58.00%	6.00														
	M-6	SPT	Ora	3.80	4.20	4.00	CL	26.00%	49%	25%	24%	0.04						1.95	1.55	1.55																
	M-7	SPT	Oc	4.25	4.75	4.50		38.00%										1.86	1.35	1.35																
	M-7	SPT	Oc	4.75	5.25	5.00																														
	M-8	SPT	Oc	5.25	5.65	5.45																6.40														
	M-8	SPT	Oc	5.65	6.10	5.88		32.00%																												
	M-9	SPT	Tab-L	6.10	6.50	6.30	CL	38.00%	48%	23%	25%	0.60										6.80														
	M-10	SPT	Tab-L	6.50	7.00	6.75												2.06	1.76	1.76																
	M-11	SPT	Tab-L	7.00	7.40	7.20		29.00%														82.00%	6.00													
M-12	SPT	Tab-L	8.00	8.50	8.25		30.00%																													
M-13	SPT	Tab-A	8.50	8.90	8.70		10.00%														33.00%															
M-NR	SPT	Tab-A	8.90	9.00	8.95																															
P-11	M-1	SPT	Ora	1.00	1.25	1.13	CL	16.00%	43%	19%	24%	-0.13								95.00%	23.00															
	M-2	SPT	Ora	1.75	2.00	1.88		17.00%									2.05	1.75	1.75			19.80	19.00													
	M-3	SPT	Ora	2.00	2.45	2.23	CL	17.00%							10%	25%	65%				65.00%	22.20														
	M-4	SPT	Ora	2.50	2.90	2.70		18.00%														22.00														
	M-5	SPT	Ora	3.00	3.45	3.23		23.00%										2.00	1.63	1.63		8.00	9.40	1.99	99.00											
	M-6	SPT	Tab-A	3.50	3.90	3.70	CL	24.00%	36%	17%	19%	0.37									79.00%	8.00	12.00													
	M-7	SPT	Tab-A	4.00	4.40	4.20		18.00%														7.80	8.40													
	M-NR	SPT	Tab-A	4.50	4.90	4.70																7.80														
M-8	SPT	Tab-A	5.00	5.70	5.35		22.00%										2.10	1.72	1.72		7.80		2.45	122.00												
P-12	M-1	SPT	Ora	1.00	1.40	1.20		23.00%													16.50															
	M-NR	SPT	Ora	1.40	1.80	1.60																														
	M-2	SPT	Oso	1.80	2.40	2.10	MH	88.00%													4.60															
	M-3	SPT	Oso	2.40	2.60	2.50		83.00%										1.98	1.08	1.08		3.50														
	M-4	SPT	Oso	2.65	3.25	2.95												2.10	2.10	2.10		8.20														
	M-5	SPT	OTpb-L-er	3.60	4.10	3.85		26.00%										2.05	1.63	1.63		9.60														
	M-6	SPT	OTpb-L-er	4.20	4.60	4.40	CH	25.00%	55%	21%	34%	0.12									6.20															
	M-7	SPT	OTpb-L-er	4.65	5.10	4.88		27.00%														9.00														
	M-8	SPT	Tab-L	5.10	5.60	5.35		25.00%										2.00	1.60	1.60		11.00														
M-9	SPT	Tab-L	5.60	6.00	5.80		22.00%														22.60															
M-NR	SPT	Tab-L	6.00	6.50	6.25																															
P-13	M-1	SPT	Ora	0.00	0.50	0.25	CL	18.00%	44%	20%	24%	-0.08																								
	M-2	SPT	Ora	0.50	1.00	0.75																														
	M-3	SPT	Ora	1.05	1.50	1.28	CL	18.00%	44%	14%	30%	0.13									19.20															
	M-4	SPT	Ora	1.55	1.95	1.75																22.40														
	M-5	SPT	Ora	2.00	2.45	2.23	CL	19.00%	44%	20%	24%	-0.04										14.00														
	M-6	SPT	Ora	2.50	2.90	2.70																22.40														
	M-7	SPT	Tab-L	3.00	3.45	3.23																22.40														
	M-8	SPT	Tab-L	3.50	3.90	3.70																22.40														
	M-NR	SPT	Tab-L	3.90	4.40	4.15																22.40														
M-9	SPT	Tab-L	4.40	4.85	4.63																22.40															
P-14	M-1	SPT	Ora	0.00	1.70	0.85		16.00%	46%	23%	23%	-0.30									12.80															
	M-2	SPT	Ora	1.70	1.15	1.43		18.00%	46%	21%	25%	-0.12									16.00															
	M-3	SPT	Ora	1.20	1.60	1.40															68.00%	10.60														
	M-4	SPT	Ora	2.20	2.60	2.40		15.00%																												
	M-5	SPT	Ora	2.85	3.25	3.05																														
	M-6	SPT	Tab-L	3.40	3.70	3.55																22.20														
	M-7	SPT	Tab-L	3.75	4.25	4.00																22.20														
	M-8	SPT	Tab-L	4.50	4.90	4.70		22.00%														22.20														

FUENTE: IGL (1994)

TABLA 4.22 RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO: OTROS CONSULTORES (CONTINUACIÓN)

SONDEO	MUESTRA	TIPO DE MUESTRA	MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)			USCS	w _c (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IL	IC	%G	%A	%F	B ₁ (Ton/m ²)	B ₂ (Ton/m ²)	G _s	PT200 (%)	q _v Penetrómetro (Kg/cm ²)	q _v Velela Laboratorio (Kg/cm ²)	q _v ROCK (Kg/cm ²)	q _v suelo (Kg/cm ²)	c' (Kg/cm ²)	f (°)	c' residual (Kg/cm ²)	f residual (°)	EXPANSION CONTROLADA EN		EXPANSIÓN LAMBE		Tracción Brasiera (Kg/cm ²)
				de	a	media																							Esfuerzo (Kg/cm ²)	Estado	Esfuerzo (Kg/cm ²)	Estado	
P-15	M-1	SPT	Qra	0.00	0.70	0.35	CL	20.00%	47%	23%	24%	-0.13								48.00%	7.50												
	M-2	SPT	Qra	0.70	1.10	0.90																											
	M-3	SPT	Qra	1.75	2.25	2.00																											
	M-4	SPT	Qra	2.30	2.75	2.53		23.00%																									
	M-5	SPT	Tab-L	2.90	3.30	3.10		127.64%																									
	M-6	SPT	Tab-L	3.30	3.80	3.55		12.00%																									
P-16	M-1	SPT	Qra	0.80	1.20	1.00		16.00%													56.00%	22.80											
	M-2	SPT	Qra	1.25	2.15	1.70	CL	17.00%	48%	26%	22%	-0.41								66.00%	22.20												
	M-3	SPT	Qra	2.15	2.65	2.40		18.00%									2.05	1.74	1.74														
	M-4	SPT	Qso	2.70	3.20	2.95	MH	21.00%	65%	56%	29%	-1.21					2.05	1.69	1.69														
	M-5	SPT	Qso	3.25	3.65	3.45		18.00%																									
	M-6	SPT	Qso	3.65	4.10	3.88		22.00%									2.03	1.66	1.66														
P-17	M-1	SPT	Qra	1.50	2.00	1.75		18.00%																									
	M-2	SPT	Qso	2.10	2.40	2.25	MH	102.00%	102%	64%	38%	1.00				1.84	0.91	0.91															
	M-3	SPT	Qso	2.50	3.00	2.75		60.00%																									
	M-4	SPT	QTTab-L-Gr	3.00	3.40	3.20		16.00%									2.03	1.75	1.75														
	M-5	SPT	QTTab-L-Gr	3.60	4.00	3.80		14.00%																									
P-18	M-6	SPT	Tab-L	4.60	5.00	4.80		17.00%									2.10	1.79	1.79														
	M-1	SPT	Qra	0.75	1.20	0.98		10.00%																									
P-19	M-2	SPT	Tab-A	1.20	1.70	1.45		12.00%												34.00%	22.40												
	M-1	SPT	Qra	1.00	1.50	1.25		17.00%																									
	M-2	SPT	Qra	1.75	2.15	1.95		18.00%																									
	M-3	SPT	Qra	2.15	2.60	2.38		18.00%									2.90	2.46	2.46														
	M-NR	SPT	Qra	2.60	3.40	3.00																											
	M-4	SPT	Qra	3.40	3.80	3.60		22.00%																									
	M-NR	SPT	Qra	3.80	4.50	4.15																											
	M-5	SPT	Qso	4.75	5.10	4.93		69.00%																									
	M-6	SPT	Qso	5.15	5.65	5.40											2.50	2.50	2.50			9.20											
	M-7	SPT	Tab-L	5.65	6.10	5.88		14.00%																									
P-20	M-1	SPT	Qra	1.10	1.50	1.30		16.00%									2.20	1.90	1.90														
	M-2	SPT	Tab-L	1.60	2.00	1.80		18.00%																									
	M-3	SPT	Tab-L	2.50	3.00	2.75	CL	21.00%	31%	13%	18%	0.44																					
P-21	M-1	SPT	Qra	0.65	1.15	0.90		8.00%																									
	M-2	SPT	Qra	1.25	1.70	1.48	S	13.00%							21%	33%	46%				46.00%												
	M-3	SPT	Qra	2.00	2.40	2.20		14.00%																									
	M-4	SPT	Qra	2.70	3.20	2.95		19.00%																									
	M-5	SPT	Qra	3.35	3.75	3.55		13.00%									2.04	1.81	1.81														
	M-6	SPT	Qra	4.40	4.80	4.60	CL	15.00%	38%	16%	22%	-0.05																					
	M-7	SPT	Tab-L	5.00	5.40	5.20		48.00%									1.70	1.15	1.15														
	M-8	SPT	Tab-L	5.50	5.90	5.70		9.00%																									
	M-9	SPT	Tab-L	5.90	6.40	6.15		22.00%									1.88	1.54	1.54														
	M-10	SPT	Tab-A	6.50	7.00	6.75		8.00%													15.00%												
P-22	M-1	SPT	QTTab-L-Gr	0.65	1.15	0.90		22.00%									2.00	1.64	1.64														
	M-2	SPT	QTTab-L-Gr	1.20	1.60	1.40		11.00%																									
	M-3	SPT	QTTab-L-Gr	1.65	2.05	1.85																											
	M-4	SPT	Tab-L	2.20	2.60	2.40																											
	M-5	SPT	Tab-L	2.85	3.25	3.05																											
	M-6	SPT	Tab-L	3.25	3.75	3.50																											
	M-7	SPT	Tab-L	3.75	4.25	4.00																											
	M-8	SPT	Tab-L	4.75	5.20	4.98																											

FUENTE: IGL (1994)

TABLA 4.23 RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO: OTROS CONSULTORES

SONDEO	MUESTRA	TIPO DE MUESTRA	MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)			USCS	w _n (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IL	%G	%A	%F	γ _t (Ton/m ³)	γ _s (Ton/m ³)	G _s	PT200 (%)	q _u ROCA (Kg/cm ²)	q _u suelo (Kg/cm ²)	c' (Kg/cm ²)	φ' (°)	c' residuo al (Kg/cm ²)	φ residual (°)	EXPANSIÓN CONTROLADA EN CONSOLIDÓMETRO	EXPANSIÓN LAMBE		Tracción Brasiera (Kg/cm ²)				
				de	a	media																					Esfuerzo (Kg/cm ²)	Estado					
S-1	3	SPT	Qra1	1,60	1,87	1,74	CL	7,08	35,41	18,37	17,04	-0,66	18,60	4,60	76,80	2,27	2,12		76,80														
	5	SPT	Tpb-L1	3,90	3,97	3,94		11,76					0,20	13,40	86,40	2,26	2,02		86,40														
	6	NQ	Tpb-L1	3,97	5,60	4,79	CL	9,23	29,01	14,83	14,18	-0,39																					
	8	NQ	Tpb-L1	5,45	7,40	6,43															17,90		0,31	28,80	0,26	28,10						5,20	
S-2	1	SH	Qra1	0,60	1,00	0,80	CL	27,20	35,00	19,00	16,00	0,51							1,92	1,51	2,66	78,70		1,31									
	3	SPT	Qra1	1,55	2,00	1,78	CL	19,99	39,40	16,62	22,78	0,15	6,90	14,80	78,30	2,05	1,71		78,28														
	6	SPT	Qra1	4,25	4,67	4,46	CL	16,61	35,79	15,84	19,95	0,04	5,70	12,60	81,70	2,14	1,84		81,67														
	9	NQ	Tpb-L2	5,80	7,30	6,55		10,51																									
	11	NQ	Tpb-L2	7,35	8,80	8,08		11,70																									
S-3	13	NQ	Tpb-L2	8,85	10,20	9,53		6,60																									
	3	SH	Qra1	1,60	2,00	1,80	CH	22,20	56,00	23,00	33,00	-0,02				2,04	1,73	2,59	92,70			0,33	20,55										
	6	SPT	Qra1	3,05	3,50	3,28	CL	17,70	50,00	20,00	30,00	-0,08				2,09	1,77		90,50		4,31												
	8	SPT	Qra1	5,05	5,50	5,28	CL	17,63	34,15	15,78	18,37	0,10	0,00	41,20	58,80	1,80	1,53		58,80														
	10	SPT	Tpb-L1	7,05	7,50	7,28	CL	16,80	33,55	15,78	17,77	0,06	0,00	14,20	85,80	2,17	1,86		85,83														
	12	SPT	Tpb-L1	8,55	9,00	8,78	CL	16,86	31,54	15,33	16,21	0,09				2,14	1,83																
S-5	16	BW	Tpb-L1	12,12	14,00	13,06										2,46				57,80													8,40
	6	NQ	Tpb-L1	4,85	6,50	5,68										2,23																	
	10	NQ	Tpb-L2	8,12	9,90	9,01														74,01													
S-6	12	NQ	Tpb-L2	11,70	13,40	12,55														98,08													16,61
	1	SH	Qra1	0,90	1,40	1,15		19,30								2,16	1,81	2,64				1,47											
	3	SPT	Qra1	1,95	2,40	2,18	CL	17,85	42,95	18,71	24,24	-0,04	0,70	9,30	90,00	2,13	1,81		89,98														
S-8	13	NQ	Tpb-L3	10,80	12,50	11,65		5,10								2,23	2,12			94,24		0,21	31,62										
	2	SPT	Qra1	1,25	1,70	1,48	CH	28,00	69,87	24,49	45,38	0,08	0,00	16,34	83,66	1,90	1,90																
	3	SH	Qra1	2,00	2,20	2,10	CL	15,70	33,12	13,89	19,23	0,09				2,08	1,79					0,15	22,98										
S-7	6	SPT	Qra1	3,25	3,45	3,35	CH	18,20	50,56	18,94	31,62	-0,02				2,13	1,84																
	1	SH	Qra1	1,10	1,40	1,25	CL	17,20	39,00	18,00	21,00					2,15	1,83		79,30		3,69												
	4	SPT	Tpb-L2	2,45	2,70	2,58	CL	11,97	40,53	18,22	22,31	-0,28	0,00	6,70	93,30	2,26	2,02		93,31														
S-10	7	NQ	Tpb-L2	4,70	6,70	5,70		10,24								2,30	2,09																
	5	SH	Qra2	3,50	4,00	3,75	CL-ML	18,00	20,04	14,99	5,05	0,60				2,10	1,78					0,55	0,10	22,14									
T-1	1	BL	Qd2	0,60	0,80	0,70	CH	12,74	55,80	25,70	30,10	-0,43	1,70	21,61	76,68	2,12	1,88		76,68		3,26	0,40	21,50							0,09			
T-2	1	T	Tpb-L2	0,40	0,60	0,50		10,00								0,00	1,50	98,50		98,50			0,55	22,60	0,17	21,60							
	2	BL	Tpb-L2	0,40	0,70	0,55	CL	9,60	40,00	17,90	22,10	-0,38				2,25	2,05	2,67					0,50	29,40	0,00	23,90							
T-3	1	BL	Tpb-L4	0,30	0,60	0,45	CH	22,50	57,30	22,90	34,40	-0,01	0,00	14,50	85,50	2,02	1,65		85,50			0,17	27,80	0,13	26,60								
	2	BL	Tpb-L4	0,60	0,90	0,75		18,50								1,93	1,63						0,19	28,57	0,20	26,90							
	3	BL	Tpb-L4	0,70	1,00	0,85							0,70	21,44	77,85					77,85			0,50	29,40	0,00	23,90							
T-4	1	BL	Qra1	0,70	1,00	0,85									1,97							0,50	36,00	0,00	27,70		0,09						
T-5	1	BL	Tpb-L3	0,40	0,60	0,50	CL	7,80	40,90	18,60	22,30	-0,48				2,39	2,22	2,64		29,00		0,06	20,00	0,06	11,50							8,70	
	3	BL	Tpb-L3	0,60	0,80	0,70		6,80								2,38	2,23						0,68	48,64	0,39	55,10							
C-2	1	BL	Tpb-A3	0,90	1,10	1,00		6,30							2,03	1,91						0,40	54,27	0,29	51,00								

FUENTE: GIA C. L (2013)

TABLA 4.24 RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO: OTROS CONSULTORES (CONTINUACIÓN)

SONDEO	MUESTRA	TIPO DE MUESTRA	MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)			USCS	W _n (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IL	%G	%A	%F	γ _t (Ton/m ³)	γ _s (Ton/m ³)	G _s	PT200 (%)	q _u Penetrómetro (Kg/cm ²)	q _u ROCA (Kg/cm ²)	q _u suelo (Kg/cm ²)	c' (Kg/cm ²)	φ' (°)	c'/residual (Kg/cm ²)	φ'/residual (°)	Expansión Lambe		Cc	Cr					
				de	a	media																					Esfuerzo (Kg/cm ²)	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	16,00	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																	
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																		
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																			
14		NX	Tpb-L2	8,10	9,00	8,55								0,80	35,70	63,50	2,19																		
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	8,85	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	1,35		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	2,95									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 4.25 RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO: OTROS CONSULTORES (CONTINUACIÓN)

SONDEO	MUESTRA	TIPO DE MUESTRA	MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)			USCS	w _n (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IL	%G	%A	%F	γ _t (Ton/m ²)	γ _a (Ton/m ²)	G _s	PT200 (%)	q _u Penetrómetro (Kg/cm ²)	q _u ROCA (Kg/cm ²)	q _u suelo (Kg/cm ²)	c' (Kg/cm ²)	φ' (°)	c' residual (Kg/cm ²)	φ' residual (°)	Expansión Lambe		Cc	Cr					
				de	a	media																					Esfuerzo (Kg/cm ²)	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 4.26 RESUMEN DE ENSAYOS DE LABORATORIO: OTROS CONSULTORES (CONTINUACIÓN)

SONDEO	MUESTRA	TIPO DE MUESTRA	MATERIAL	PROFUNDIDAD (m)			USCS	W _n (%)	LL (%)	LP (%)	IP (%)	IL	%G	%A	%F	γ _t (Ton/m ³)	γ _a (Ton/m ³)	G _s	PT200 (%)	q _u Penetrómetro (Kg/cm ²)	q _u ROCA (Kg/cm ²)	q _u suelo (Kg/cm ²)	c' (Kg/cm ²)	φ' (°)	c' residual (Kg/cm ²)	φ' residual (°)	Expansión Lambe		C _c	C _r					
				de	a	media																					Esfuerzo (Kg/cm ²)	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															
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	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	23,06 (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															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																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																85,00													
E10	1	BL	Tpb-A1	-	-	-																	0,19	30,30	0,12	30,00									
E11	1	BL	Tpb-A2	-	-	-																	0,18	31,30	0,11	29,94									

FUENTE: GIA C. L., (2009)

TABLA 4.27 CARGA PUNTUAL: OTROS CONSULTORES

UNIDAD	ESPECIMEN No.	L (cm)	D (cm)	W (cm)	De (cm)	De2 (cm ²)	P (Kgf)	Is (Kgf/cm ²)	F _{corrección}	Is ₅₀ (Kgf/cm ²)	Is ₅₀ (Kgf/cm ²)	σ_u (Kgf/cm ²)
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: GIA C. L (2013)

4.2 CARACTERIZACIÓN GEOMECÁNICA

4.2.1 SUELOS

En este acápite 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, mecánicos y geoelectrónicos, en las columnas, en los apiques, en las líneas de refracción sísmica, en las tomografías, y en la caracterización planteada por GIA (2013 y 2009), la que se complementa y adapta a los hallazgos en geología y en geotecnia. En resumen se tienen los siguientes tipos de materiales:

Material 1:	Depósito de deslizamiento (Qd1)
Material 2	Depósito de deslizamiento (Qd2)
Material 3:	Relleno Antrópico Urbanístico Seleccionado (Qdaus)
Material 4:	Rellenos Antrópicos de Reconformación (Qra1)
Material 5:	Rellenos Antrópicos de Reconformación (Qra2)
Material 6:	Deposito Antrópico Minero (Qdam)
Material 7:	Depósitos Coluviales (Qdc)
Material 8:	Suelos Residuales ($Q_{Tpb-sr-L}$ y $Q_{Tpb-sr-A}$)

4.2.1.1 MATERIALES 1 Y 2: DEPÓSITOS DE DESLIZAMIENTO, QD1 Y QD2

Integran los cuerpos de los deslizamientos, activos avanzados o suspendidos. Son mal gradados, matriz soportados, arcillosos, e idénticos en su textura y en sus propiedades índice al Qra1 (y en medida alguna al Qra2), 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 bordea los diez metros (dimensión ratificada por el sondeo S-9), sus colores dominantes son el café, el habano, el gris, aunque encierra diversidad de matices: expresadas en manchas, vetas y lunares 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 CL o CH, aunque predominio de la primera. En la [Tabla 4.28](#) se repasan las propiedades geomecánicas.

4.2.1.2 MATERIAL 3: RELLENO ANTRÓPICO URBANÍSTICO SELECCIONADO, QDAUS

Congrega las acumulaciones de material seleccionado, compactado, al menos, al 90% del proctor modificado, que dan vida a la estructura de pavimento (base y subbase) de la red vial en la ciudadela. Descansan en rampas de hasta el 25% de pendiente y sus mejores expresiones se marcan en las Calle 41b sur y en las Carreras 13b este, 14a este, 16a este, 17 este, 17a este y 18 este. Yacen cubiertos por una capa de concreto, neumático o asfáltico, y su espesor es inferior a los 0.60 m, pormenor que inhibe su investigación geotécnica. Son areno-gravosos, bien gradados o arcillo arenosos, su humedad es baja a media, y su compacidad es densa. Su peso unitario es cercano a los 1.80 Ton/m³ y sus coeficientes de resistencia pueden fijarse en: $c' = 1$ Ton/m² y $\phi' = 32^\circ$ (datos asumidos). Carece de protagonismo en la gestación de los procesos de inestabilidad. En la [Tabla 4.29](#) se relacionan sus características más relevantes.

TABLA 4.28 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DE LOS MATERIALES 1 Y 2: QDD1 Y QDD2

PROPIEDAD		VALOR	CALIFICACIÓN
Clasificación (USCS)		CH****, CL***	
Contenido de Humedad, w (%)		9.50*** – 29.30***	Bajo a medio
Límite Líquido, LL (%)		25.9*** – 60.0	Baja a alta compresibilidad*
Índice de Plasticidad, IP (%)		11.30*** - 40.0	Bajo a alta*
Gravedad Específica, Gs		2.52 - 2.76***	
Peso Unitario Húmedo (Ton/m ³)		1.45 - 2.12****	
Peso Unitario Seco (Ton/m ³)		1.43*** - 1.88****	
Granulometría	G (%)	1.70**** – 11.60***	
	A (%)	21.61**** - 41.50***	
	F (%)	46.80*** – 78.00	
Resistencia a la Compresión Simple, q _u (Kg/cm ²)		0.191*** – 3.260****	Muy blanda a muy firme
Coeficiente de Compresión, C _c (Kg/cm ²)		0.18***	
Coeficiente de Recompresión, C _r		0.04***	
Cohesión, c (Kg/cm ²)		0.06*** – 0.40(CD)****	
Ángulo de Fricción, φ (°)		15.70 (CD)*** - 33.37 (CD, S9M3)	
Cohesión Residual, c _r (Kg/cm ²)		0.00 (CD)****	
Ángulo de Fricción Residual, φ _r (°)		30.80 (CD)****	

*FUENTE: GÓMEZ J (2008). "NOTAS DE CLASE". **FUENTE: SOWERS G. F. (1979), CITADO POR KULHAWY AND MAYNE (1990). ***GIA (2009). ****GIA (2013)

4.2.1.3 MATERIAL 4: RELLENOS ANTRÓPICOS DE RECONFORMACIÓN, QRA1

Responden bien a arcillas arenosas o a arcillas, de plasticidad y de humedad variables entre baja y alta, y de consistencia modalmente media pero con umbrales en firme, que entrelazan residuos sólidos de origen doméstico (ladrillos, plásticos y escombros) y bloques, cantos y gravas gruesas, subangulares, de areniscas cuarzosas y lodolitas; o bien a fragmentos de cuarzoareniscas, de grano fino, en ocasiones bien cementadas, y lodolitas de tamaños gravas, guijos y cantos (decimétricos en sus aristas), embebidos en arcillas algo arenosas, de consistencia media y ocasionalmente firme, estructura reinante bajo las manzanas de Santa Rosas, en los que la plasticidad migra de baja a alta. Su humedad alcanza el límite de media y su espesor (aparente) máximo colinda los siete (7) metros (dictamen arrojado por las perforaciones S-6 y S-7), y su comportamiento geomecánico está gobernado por la matriz, similar en los dos tanto física como mecánicamente. Estas y otras propiedades físicas y mecánicas se condensan en la [Tabla 4.30](#).

4.2.1.4 MATERIAL 5: RELLENOS ANTRÓPICOS DE RECONFORMACIÓN, QRA2

Son en su composición, en su distribución granulométrica y en su ordenamiento estratigráfico muy similares al Qra1, pero difieren en su génesis, en su compactación y en posición geográfica, pues están, respectivamente, más atados a eventos mineros que a urbanísticos, son promovidos por el paso de los vehículos y de la

maquinaria pesada, distantes del procedimiento urbanístico, en el que se controla el porcentaje de compactación, la morfometría y la morfología, y ocupan los márgenes de la quebrada Los Toches más que las superficies libres construidas. En este orden de ideas, aunque en la *Tabla 4.31* se establecen algunos de sus parámetros geomecánicos se adoptan en su lugar, para el abordaje de la amenaza, los del Qra1.

TABLA 4.29 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 2: QDAUS

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 ³)	1.90***	
Peso Unitario Seco (Ton/m ³)	1.63***	
Cohesión, c (Kg/cm ²)	0***	
Angulo de Fricción, ϕ (°)	32***	

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

TABLA 4.30 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 3: QRA1

PROPIEDAD	VALOR	CALIFICACIÓN
Clasificación (USCS)	CL, CH	
Contenido de Humedad, w (%)	8.50 - 33.00	Bajo a Medio
Límite Líquido, LL (%)	18.28 - 67.00	Baja A Alto
Índice de Plasticidad, IP (%)	12.00 - 40.00	Bajo a Alto*
Gravedad Específica, Gs	2.59 - 2.68	
Peso Unitario Húmedo (Ton/m ³)	1.64 - 2.29	
Peso Unitario Seco (Ton/m ³)	1.11 - 2.13	
Granulometría	G (%)	0**** - 18.6****
	A (%)	4.6**** - 41.2****
	F (%)	58.8**** - 80.9
Resistencia a la Compresión Simple, q_u (Kg/cm ²)	0.80 - 1.80	Media a Firme
Coefficiente de Compresión, Cc (Kg/cm ²)	0.10	
Cohesión, c (Kg/cm ²)	0.14 - 0.49	
Ángulo de Fricción, ϕ (°)	13.72 (CD, S3M4) - 29.00 (CD, S1M4)	
Cohesión Residual, c_r (Kg/cm ²)	0.00 (CD)**** - 0.06 (CD)***	
Ángulo de Fricción Residual, ϕ_r (°)	13.72 (CD, S3M4) - 27.7 (CD)****	

*FUENTE: GÓMEZ J (2008). "NOTAS DE CLASE". **FUENTE: SOWERS G. F. (1979), CITADO POR KULHAWY AND MAYNE (1990). ***GIA (2009). ****GIA (2013)

TABLA 4.31 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 4: QRA2

PROPIEDAD		VALOR	CALIFICACIÓN
Clasificación (USCS)		CL	
Contenido de Humedad, w (%)		27.40 – 33.00	Medio
Límite Líquido, LL (%)		43.00 – 46.00	Medio
Índice de Plasticidad, IP (%)		20.00 – 27.00	Medio*
Gravedad Específica, Gs		2.66	
Peso Unitario Húmedo (Ton/m ³)		1.96	
Peso Unitario Seco (Ton/m ³)		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 _u (Kg/cm ²)		0.49	
Coeficiente de Compresión, C _c (Kg/cm ²)		0.1***	
Coeficiente de Recompresión, C _r		0.03***	
Cohesión, c (Kg/cm ²)		0.42	
Ángulo de Fricción, φ (°)		13.72	
Cohesión Residual, c _r (Kg/cm ²)		0.00 (CD)**** - 0.06 (CD)***	
Ángulo de Fricción Residual, φ _r (°)		13.72 (CD, S3M4) - 27.7 (CD)****	

*FUENTE: GÓMEZ J (2008). "NOTAS DE CLASE". **FUENTE: SOWERS G. F. (1979), CITADO POR KULHAWY AND MAYNE (1990). ***GIA (2009). ****GIA (2013)

4.2.1.5 MATERIAL 6: DEPÓSITOS ANTRÓPICOS MINEROS, QDAM

Se despliegan y dan forma a gran parte de la vertiente norte de la quebrada Los Toches. Descienden de los antiguos depósitos fluvio-glaciares y coluviales residentes, previo a los años setenta, en los valles, que fueron removidos y, redistribuidos y reconfigurados por la industria minera, máxime en el primer lustro de la década de los noventa (derrotero pormenorizado en el inciso 3.6.1 del capítulo 3). Congregan cantos y bloques (con aristas de hasta un metro y medio de longitud) tallados en areniscas cuarzosas, de grano fino o muy fino, bien seleccionadas y cementadas, y lodolitas, y arenas arcillosas, arcillas arenosas o arcillas, pero con dominio de estas últimas, que le sirven de esqueleto (orgánico). Son matriz soportado y su comportamiento geomecánico está gobernado por ella, su consistencia es media y ocasionalmente muy firme, su plasticidad y su compresibilidad transitan entre baja y alta, y su humedad se mueve e los intervalos de baja y media. Conjunto de índices acopiado en la [Tabla 4.32](#).

4.2.1.6 MATERIAL 7: DEPÓSITOS COLUVIALES, QDC

Están armados por fragmentos decimétricos y métricos, angulares y subangulares, y gravas gruesas (i.e. detritos) tallados en areniscas cuarzo feldespáticas, de grano fino o medio y de cemento silíceo (que poseen como minerales accesorios micas y, algunos, feldespatos), y en lodolitas con algún contenido de sílice, desprendidos de los escarpes labrados en el Grupo Guadalupe, inmersos en limos orgánicos o en arcillas o

en arcillas arenosas. Son, por lo tanto, y ante todo, matriz soportados y de colores entre negro, café oscuro y claro y amarillo, aunque en pequeños espacios se abren ventanas clastosoportadas y mal gradadas. Descansan, restringidos, en y cerca de la divisoria de aguas norte de la microcuenca (Los Toches). Su espesor, aunque incierto, en el mejor de los casos alcanza los dos metros (abstracción derivada de las observaciones de campo). Carecen de participación alguna en los procesos de inestabilidad, particularidad que explica (y en medida alguna justifica) el porqué se obvió su exploración (geotecnia) y su caracterización. Para subsanar este aparente impasse, de manera conservadora, se le asignan las mismas propiedades geomecánicas de los rellenos trasladados (el Qdd1 y el Qdd2). De esta manera los coeficientes de resistencia se extraen de la [Tabla 4.28](#).

TABLA 4.32 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 5: QDAM

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

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

4.2.1.7 MATERIAL 8: SUELOS RESIDUALES, QTPB-SR-L O QTPB-SR-A

Si bien genéticamente provienen de materiales diferentes, la composición de su matriz –predominantemente arcillosa-, y la similar respuesta mecánica del esqueleto mineral permiten 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, y sus mejores expresiones se exponen en las laderas noroccidentales de la microcuenca (Los Toches), fungen cubiertos por los rellenos antrópicos de reconfiguración en capas de menos de dos metros, según lo ratifican las perforaciones S-4, S-5, SM-1 y SM-2, singularidad que le sustrae incidencia en la incubación de los e de inestabilidad. Exhiben colores rojo o violeta con manchas habanas y grises. Tienen plasticidad entre baja y media, consistencia esencialmente firme, y se clasifican como CL. Otros elementos y los índices de resistencia se fijan en la [Tabla 4.33](#).

TABLA 4.33 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 7: QTPB-L-SR O QTPB-A-SR

PROPIEDAD	VALOR	CALIFICACIÓN
Clasificación (USCS)	CL	
Contenido de Humedad, w (%)	25.00	Medio
Límite Líquido, LL (%)	43.00 – 44.00	Medio
Índice de Plasticidad, IP (%)	23.00 – 24.00	Medio
Peso Unitario Húmedo (Ton/m ³)	2.02*** – 2.48***	
Peso Unitario Seco (Ton/m ³)	1.82*** – 1.99***	
Resistencia a la Compresión Simple, q _u (Kg/cm ²)	3.184***	Muy firme
Cohesión, c (Kg/cm ²)	0.39 (CD)***	
Ángulo de Fricción, ϕ (°)	25.70 (CD)***	
Cohesión Residual, c _r (Kg/cm ²)	0.16*** – 0.40***	
Ángulo de Fricción Residual, ϕ_r (°)	24.10*** – 28.80***	

*FUENTE: GÓMEZ J (2008). "NOTAS DE CLASE". **FUENTE: SOWERS G. F. (1979), CITADO POR KULHAWY AND MAYNE (1990). ***GIA (2019). **** GIA (2013)

4.2.2 MACIZO ROCOSO

Está integrado por las unidades líticas de la Formación Bogotá, unívocamente por las intercalaciones de lodolitas y de areniscas diseminadas a lo largo y ancho de las superficies libres. A continuación se reseñan las propiedades de las unidades de roca, de los planos de discontinuidad y del macizo rocoso.

Material 9: Lodolitas de la Formación Bogotá (Tpb-L)

Material 10: Areniscas de la Formación Bogotá (Tpb-A)

4.2.2.1 MATERIAL ROCOSO

4.2.2.1.1 Material 9: Lodolitas de la Formación Bogotá, Tpb-L

En esta denominación se reúnen los horizontes de lodolitas (algo arenosas), algunas de composición silícea, y de arcillolitas diferenciados en su litología y en su grado de litificación y denominados Tpb-L1, Tpb-L2 y Tpb-L3. Su color es violeta o rojo con vetas gris o gris con manchas y vetas rojas o violetas. Son de humedad baja y de resistencia muy blanda a blanda (ISRM, 1981, citado por González Vallejo, 2004). Son los elementos constitutivos por excelencia de las laderas vertientes, y los cuerpos rocosos de mayor resistencia pero de mayor potencial de degradación; su respuesta mecánica está regida por los planos de discontinuidad, especialmente por el de la estratificación. A pesar de las diferencias litológicas, sus propiedades mecánicas y algunas físicas como el color y la matriz, parecen responder a un mismo universo, salvo por sutiles cambios en el ángulo de fricción; la [Tabla 4.34](#) condensa algunas de las más importantes.

4.2.2.1.2 Material 10: Areniscas de la Formación Bogotá, Tpb-A

Son cuarzosas, friables, de colores blanco amarillento o rojo; el tamaño del grano es fino, aunque en algunos niveles alcanza el medio, su grado de selección es bueno, su matriz es arcillosa, su humedad es baja y su

resistencia es sustancialmente blanda (ISRM, 1981, citado por González Vallejo, 2004), pero desciende hasta el orbe de muy blanda. Debido a su posición estructural (al interior del anticlinal); al espacio limitado donde trabajan; a la morfometría en general, definida por la explotación minera, ni coadyuvan, ni son gestoras de los procesos morfodinámicos. El resumen de sus parámetros geomecánicos básicos se acopia en la [Tabla 4.35](#).

TABLA 4.34 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 8: TPB-L

PROPIEDAD		VALOR	CALIFICACIÓN
Clasificación (USCS)		CL	
Contenido de Humedad, w (%)		8.00 – 26.00	Bajo a Medio
Límite Líquido, LL (%)		27.50 – 48.00	Bajo a Medio
Índice de Plasticidad, IP (%)		12.00 – 32.00	Bajo a Alto
Gravedad Específica, Gs		2.58 – 2.77	
Peso Unitario Húmedo (Ton/m ³)		1.94 – 2.45	
Peso Unitario Seco (Ton/m ³)			
Granulometría	G (%)	0.00 – 0.70	
	A (%)	5.60 – 22.50	
	F (%)	77.50 – 94.40	
Resistencia a la Compresión Simple, q _u (Kg/cm ²)		20.50 - 90.00***	
Coeficiente de Compresión, C _c (Kg/cm ²)			
Coeficiente de Recompresión, C _r			
Cohesión, c (Kg/cm ²)		0.05 (CD, S7M7) – 32.89 (CD, S5M30)	
Ángulo de Fricción, φ (°)		22.60**** – 39.96 (CD, S5M30)	
Cohesión Residual, c _r (Kg/cm ²)		0.00	
Ángulo de Fricción Residual, φ _r (°)		14.23	

*FUENTE: GÓMEZ J (2008). "NOTAS DE CLASE". **FUENTE: SOWERS G. F. (1979), CITADO POR KULHAWY AND MAYNE (1990). ***GIA (2009). **** GIA (2013)

4.2.2.2 DISCONTINUIDADES

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 toma como base los procedimientos sugeridos por la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas, ISRM (1981). Las mediciones en campo alcanzan los 200 datos estructurales (que abarcan el rumbo y buzamiento de la estratificación y de las diaclasas), distribuidos 56 en Santa Rosa y 144 en barrios aledaños, con una cobertura de veintisiete (27) estaciones, incluidas las del I y II Sector de Buena Vista, y la del III Sector (GIA, 2013 y 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 4.27*). De allí es posible precisar la tendencia general de las familias de discontinuidad y concluir, como es presumible por la incidencia del pliegue, que las laderas vertientes pertenecen a dos regiones estructurales o subdominios, constituidos cada uno, por seis familias de discontinuidades, incluida la estratificación, representadas por sus promedios así: E1= 281/53, D2= 81/60, D3= 56/57, D4= 32/78, D5= 16/56, D6= 250/86, en lo que respecta a la Región I (que copa la pendiente estructural), y E1= 123/54, D2= 81/60, D3= 56/57, D4= 32/78, D5= 16/56, D6= 250/86, si se trata de la Región II (y que simboliza la contrapendiente estructural), y en los que las familias de diaclasas son extrapoladas de las microcuencas vecinas. El resumen de las familias obtenidas (al menos de la estratificación) se recopila en la *Figura 4.27*.

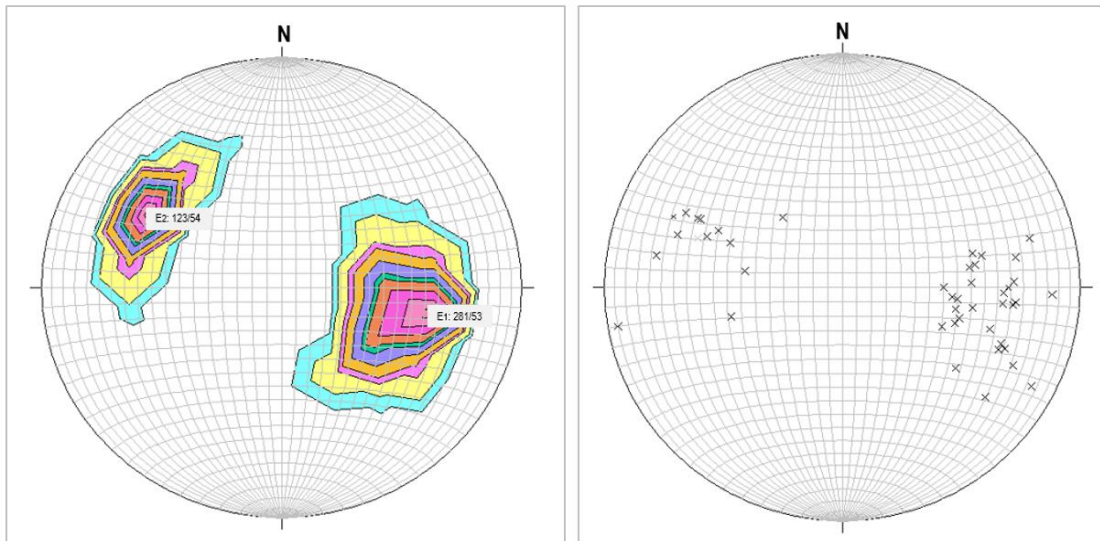
TABLA 4.35 PARÁMETROS GEOTÉCNICOS DEL MATERIAL 9: TPB-A

PROPIEDAD		VALOR	CALIFICACIÓN
Contenido de Humedad, w (%)		15.48 – 16.82	Medio
Gravedad Específica, Gs		2.69 – 2.70	
Peso Unitario Húmedo (Ton/m ³)		2.08 – 2.35	
Peso Unitario Seco (Ton/m ³)		1.78 – 1.93	
Granulometría	G (%)	0.00 - 1.19	
	A (%)	11.72 - 17.91	
	F (%)	80.90 – 88.24	
Resistencia a la Compresión Simple, q _u (Kg/cm ²)		1.76	
Cohesión, c (Kg/cm ²)		0.14	
Ángulo de Fricción, φ (°)		16.21 - 31.91	
Cohesión Residual, c _r (Kg/cm ²)		0.08*** - 0.29 (CD)****	
Ángulo de Fricción Residual, φ _r (°)		30.0*** - 51.0 (CD)****	

*FUENTE: GÓMEZ J (2008). "NOTAS DE CLASE". **FUENTE: SOWERS G. F. (1979), CITADO POR KULHAWY AND MAYNE (1990). ***GIA (2009). ****GIA (2013)

Los cambios de polaridad en la estratificación, evidentes en el universo y reflejo del ensamblado estructural (i.e confirmación del anticlinal), son poco significativos por región, la densidad máxima ronda el 10%, expresión que pone de relieve la moderada confiabilidad. El azimut de buzamiento se enmarca en el dominio [260-325] o [110 – 127], según sea el entorno (estructural) que se trate, y el buzamiento en ningún caso supera los 66 o es inferior a los 35. 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) desde poco continua hasta continuidad media, abertura de cerrada a ligeramente abierta; relleno indeterminado. La rugosidad de las paredes en términos descriptivos puede clasificarse, al amparo de la ISRM (1981), como tipo VII y VIII, es decir, de 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. Y las paredes operan secas. El *Anexo C.2* desglosa las más notorias cualidades de las familias de discontinuidades, que fue posible captar en campo.

FIGURA 4.27 ANÁLISIS DE FRECUENCIA DE LAS FAMILIAS DE DISCONTINUIDADES

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Características Geomecánicas

Al considerar que las características físicas son similares en todas las discontinuidades, se toman todos los ensayos de corte realizados, indistinta sea la fuente (en otras palabras el consultor), 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 4.36](#).

TABLA 4.36 PROPIEDADES GEOMECÁNICAS DE LAS FAMILIAS DE DISCONTINUIDAD

MATERIAL	INTERCEPTO DE COHESIÓN c (Ton/m ²)	ÁNGULO DE FRICCIÓN ϕ (°)
Tpb-A	1.8 – 1.9	30.30 – 31.30
Tpb-L	1.6 – 3.0	24.10 – 30.40

4.2.2.3 CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

Una vez caracterizados el material rocoso y las discontinuidades, se procede 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 destina el primero como sistema de calibración. Los índices de compresión inconfiada y del espaciamiento son recopilados de los ensayos de laboratorio y de la inspección geométrica de las discontinuidades, el primero compilado en las [Tablas 4.14, 4.15, 4.16, 4.17 y 4.18](#) (aunadas a las [Tablas 4.19 a 4.27](#)) y al [Anexo D.2.2](#), y el segundo ilustrado en el [Anexo C.1](#). El RQD se estima bien de los registros de perforación (con valores entre el 18% y el 70%) o de los afloramientos con base en correlaciones empíricas

como la de Palmstrom (1975, en ISMR, 1981, citado por González de Vallejo y otros, 2004 y Salcedo, 1996) y de González de Vallejo (2004) y que versan, respectivamente, así:

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

en el que J_v : Índice de control volumétrico (número de diaclasas/metro), o

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

en la que λ : es el Inverso del espaciamiento medio de diaclasas.

En la *Tabla 4.37*, se compilan, indistinto de la región estructural de que se trate, los extremos de la calificación y la clasificación del macizo para ambos sistemas y en la *Tabla 4.40* y en la *Tabla 4.41* su distribución espacial y la zonificación del macizo rocoso. Así del ejercicio se desprende que el macizo posee índices de resistencia (o GSI) y RMR en el dominio [30 – 45], lo que permite clasificarlo entre los intervalos de pobre y regular, pero con predominio del primero: la resistencia a la compresión simple, reinante ante todo en el intervalo [34 Kg/cm² – 77 Kg/cm²], la generosa prevalencia de las lodolitas en el patrón estratigráfico y de los espaciamientos inferiores a 0.20 m, así lo justifican.

TABLA 4.37 CLASIFICACIÓN DEL MACIZO ROCOSO

Región Estructural		Dominio I y II		Dominio I y II	
Criterio de Evaluación		Dominio I y II		Dominio I y II	
σ_c (Kg/cm ²)	Valor	34.0	98.0	17.9	261.7
	Calificación/15	1	1	0	4
RQD (%)	Valor	18	30	18	70
	Calificación/20	3	8	3	13
S (m)	Valor	0.15	0.2	0.5	0.9
	Calificación/30	10	10	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	26	31	35	49
	Descripción	Macizo pobre	Macizo pobre	Macizo pobre	Macizo regular
GSI		30	40	35	45

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

4.2.2.4 PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DEL MACIZO ROCOSO

Con base en la clasificación del macizo y las propiedades del material rocoso y de las discontinuidades, se establecieron las propiedades mecánicas del macizo con ayuda de la formulación propuesta por Hoek (1996). El método trata la masa como un material isotrópico, homogéneo y elástico (Salcedo, 1996) y utiliza como variables de entrada, el GSI, referido en el numeral 4.2.2.3, la resistencia a la compresión inconfiada (fincada en el intervalo $17.90 \text{ Kg/cm}^2 \leq \sigma_c \leq 98.08 \text{ Kg/cm}^2$), y una constante m_i , que depende de las propiedades del material rocoso (equivalente a 9 si son intercalaciones de lodolitas –o arcillolitas- y areniscas, o a 4 si la secuencia estratigráfica responde a lodolitas).

A manera de ejemplo se presenta la deducción de los parámetros de resistencia en la *Tabla 4.38* y en la *Tabla 4.39*, para dos de los escenarios más desfavorables, uno propio de la menor respuesta esperada del macizo (dictada por el GSI de 30) y otro para el macizo reblandecido (posición emanada de la menor resistencia a la compresión simple del material rocoso, la $\sigma_c = 17.9 \text{ Kg/cm}^2$, aplicada a la mejor calidad – aparente- del macizo). 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 4.2.2.2.

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 unidades de terreno (o 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, parámetro transcrito en la *Tabla 4.37*).

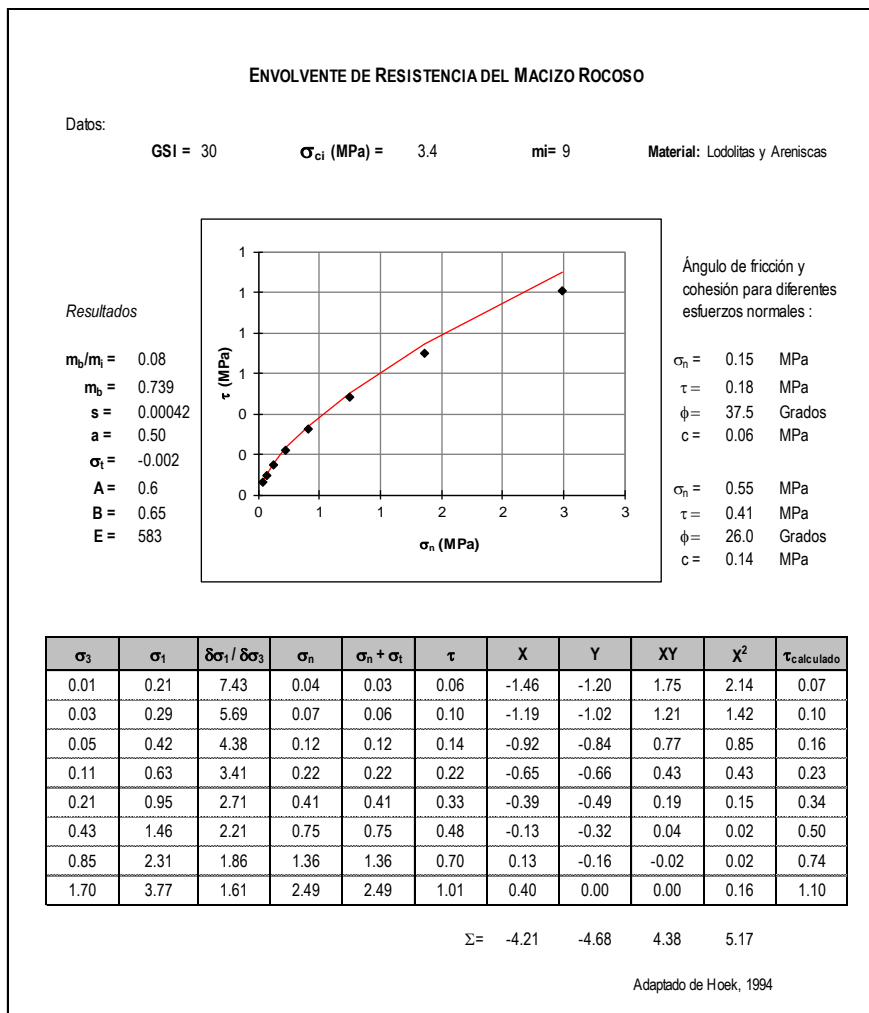
Las cuatro primeras variables son ponderadas y están contempladas en las unidades geomorfológicas, que condensan superficies libres (o laderas) con morfología, morfogenética, materiales y morfometría similares. La quinta variable (condición estructural) posee poca incidencia debido a que el comportamiento 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 sufren 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, Qra2 y Qdam). La codificación de las zonas conserva la nomenclatura de la unidad geomorfológica original, y se le añade a cada subdivisión un identificador alfanumérico compuesto por un número romano y uno arábigo: el primero (el 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 “Contrapendiente Estructural Moderadamente Intervenida por Actividad Minera”: CEMM, se discretiza en CEMM-II-1, CEMM-II-2, y CEMM-II-3, en la que cada una agrupa unidades con mecanismos de falla similar y están separados espacialmente.

Mención particular merece la unidad “Ladera Denudacional con Intervención Intensa por Urbanización”, LDIU, que se subdividió en: LDIU-I-1, LDIU-I-3, LDIU-II-1 y LDIU-II-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.

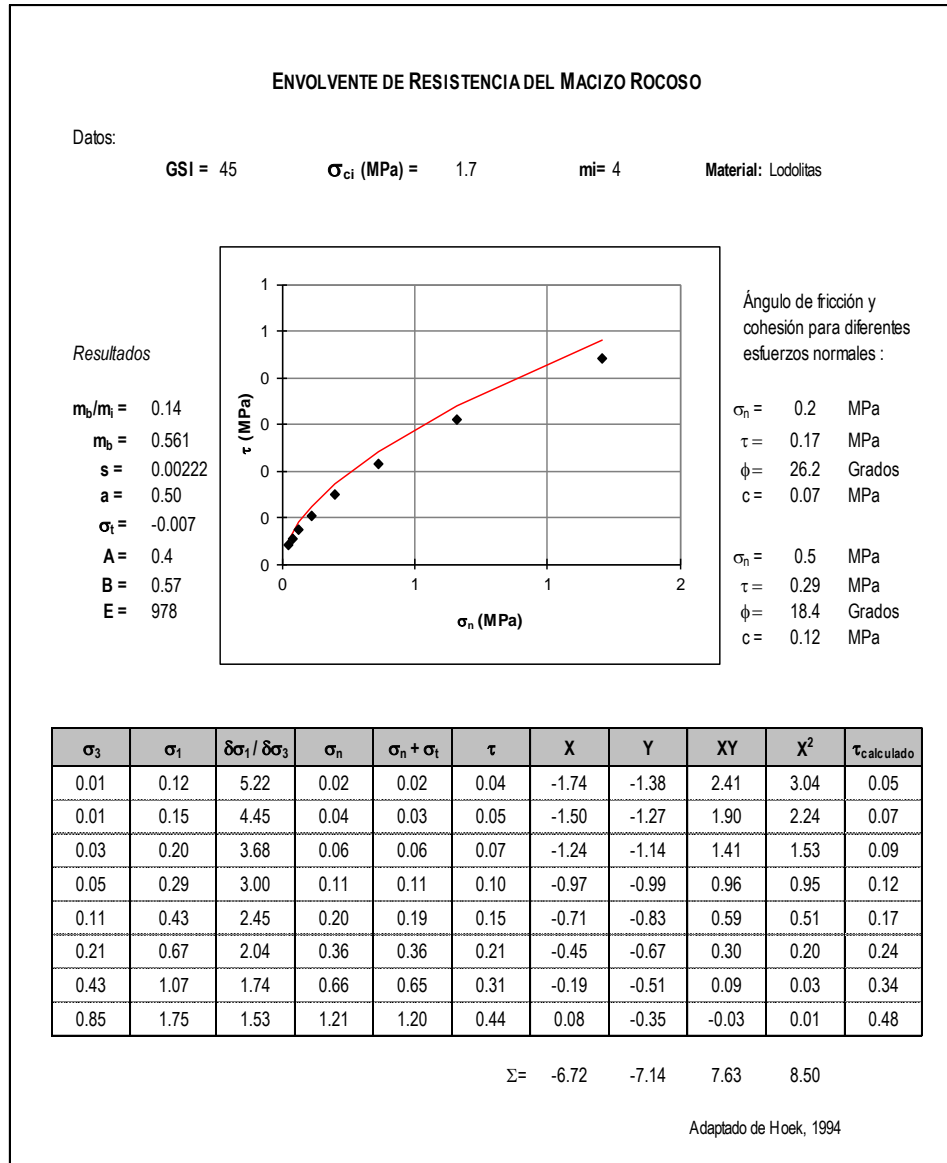
TABLA 4.38 PARÁMETROS DE RESISTENCIA DEL MACIZO ROCOSO POBRE



La conjunción de los elementos anteriores dio como resultado la división de las vertientes en veintinueve (29) zonas homogéneas, que son estudiadas por lo menos con una sección de análisis sí y sólo sí exista la

posibilidad de gestación de procesos de inestabilidad o tengan incidencia directa en la ciudadela Santa Rosa. En este sentido las subunidades DLIMU-I-3, LDP-I-2, LDP-I-3, LDIM-II-2, LDIM-II-3 y LDIM-I-3, por sus bondades geométricas, traducidas en planicies con buzamientos inferiores a los quince grados, en algunos casos, de apenas 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 4.40 y en el Plano 6. 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 4.39 PARÁMETROS DE RESISTENCIA DEL MACIZO ROCOSO (CONTINUACIÓN)



FUENTE: ADAPTADO DE HOEK (1994)

TABLA 4.40 ZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA

SÍMBOLO ZONA	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA	MORFOLOGÍA	ORIGEN	SECUENCIA LITOLÓGICA	DISCONTINUIDADES	REGIÓN ESTRUCTURAL	GSI	MECANISMOS DE FALLA (POTENCIALES Y ACTIVAS)				
LDIM-I-1	LDIM	Inclinada a muy escarpada (Van Zuidam 1985) (7° - 28°)	Denudacional Antrópico	Qra2 Tpb-L	E = 281/53 D = 81/60 D = 56/57 D = 196/34 D = 16/56 D = 250/86	I	30-45	Deslizamientos rotacionales y traslacionales y flujos de tierra.				
LDIM-I-2												
DLIMU-I-2	DLIMU	Ligeramente inclinada a inclinada (Van Zuidam 1985) (4° - 7°)		Qdam Tpb-L				No hay posibilidad cinemática de gestación de procesos inestables				
DLIMU-I-3												
LDP-I-2	LDP	Inclinada a muy escarpada (Van Zuidam 1985) (7° - 28°)		Qdc Tpb-L				Deslizamientos rotacionales y traslacionales en roca.				
LDP-I-3		Plana a inclinada (Van Zuidam 1985)							No hay posibilidad cinemática de gestación de procesos inestables			
LDMIU-I-1	LDMIU	Moderadamente inclinada a escarpada (Van Zuidam 1985) (12° - 25°)		Qra2 Tpb-L				Deslizamientos rotacionales y traslacionales y flujos de tierra.				
LDMIU-I-2												
LEIM-I-2	LEIM	Moderadamente inclinada a muy escarpada (Van Zuidam 1985) (9° - 46°)		Estructural Denudacional				Deslizamientos rotacionales y traslacionales en roca.				
LDIU-I-1	LDIU	Moderadamente inclinada a escarpada (Van Zuidam 1985) (11° - 27°)		Denudacional Antrópico					Qra1 Tpb-L Tpb-A	Deslizamientos rotacionales y traslacionales y flujos de tierra.		
LDIU-I-3												
LDIM-I-3	LDIM	Plana a inclinada (Van Zuidam 1985)		Qdam Tpb-L	No hay posibilidad cinemática de gestación de procesos inestables							
LDIM-II-2	LDIM	Plana a inclinada (Van Zuidam 1985)	Denudacional Antrópico	Qdam Tpb-L	E = 123/54 D = 81/60 D = 56/57 D = 196/34 D = 16/56 D = 250/86	II	30-45	Deslizamientos rotacionales y traslacionales y flujos de tierra.				
LDIM-II-3												
LDMIU-II-1	LDMIU	Inclinada a escarpada (Van Zuidam 1985) (5° - 23°)		Qra2 Tpb-L								
LDMIU-II-2												
LDIU-II-1	LDIU	Moderadamente inclinada a escarpada (Van Zuidam 1985) (14° - 33°)		Qra-1 Tpb-L Tpb-A					Qra-1 Tpb-L Tpb-A	Deslizamientos rotacionales y traslacionales en roca.		
LDIU-II-2												
LDIU-II-3												
CEMM-II-1	CEMM	Inclinada a muy escarpada (Van Zuidam 1985) (5° - 39°)		Estructural Denudacional					Tpb-L Tpb-A	Deslizamientos rotacionales y traslacionales en roca.		
CEMM-II-2									Tpb-A Tpb-L		Deslizamientos rotacionales y traslacionales y flujos de tierra.	
CEMM-II-3									Tpb-L Tpb-A			
DCP-II-1	DCP	Inclinada a escarpada (Van Zuidam 1985) (6° - 31°)	Denudacional Antrópico	Qdd1 Tpb-L Tpb-A	Deslizamientos compuestos y flujos de tierra.							

CAPÍTULO 5

HIDROLOGÍA, COBERTURA Y USOS DEL SUELO

HIDROLOGÍA, COBERTURA Y USOS DEL SUELO

El agua es el factor más comúnmente vinculado con la incubación de los procesos de inestabilidad y la movilización de los taludes y de las laderas, debido, en buena parte, a que la mayor parte de los deslizamientos ocurre después de lluvias fuertes o durante periodos lluviosos como consecuencia del aumento en las presiones de poros, de la reducción de la succión o del reblandecimiento del material. El agua también produce alteración y cambios en la estructura de los materiales, erosión y pérdida de la cobertura vegetal. Efectos precedentes o subsecuentes a los deslizamientos que subrayan la importancia no sólo de conocer el régimen temporal y espacial de la precipitación y su influencia como agente detonante o contribuyente, sino de dilucidar la participación de la cobertura vegetal y del uso del suelo como condicionantes en las expresiones morfodinámicas.

5.1 ESTUDIOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS

5.1.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO

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

- Revisión de la cartografía disponible en entidades oficiales (en particular el IGAC) y privadas.
- Consulta en el IDEAM y en el Acueducto de la información hidrológica de la subcuenca.
- Análisis hidrológico e hidráulico

En el Instituto Geográfico se obtienen las planchas L-60 (de los años 1960 y 1983), a escala 1:2000. La información cartográfica se contrasta y complementa gracias a imágenes satelitales de Google Earth y al levantamiento planimétrico y altimétrico de Catastro Distrital. Por otra parte, en el Acueducto, en el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), se acopia la información hidrometeorológica.

5.1.2 CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA BÁSICA

Con el propósito de establecer el comportamiento climático en la urbanización de Santa Rosa, se toma como punto de partida el “Estudio de la Caracterización Climática de Bogotá y Cuenca Alta del Río Tunjuelo”

DIGER	CONSORCIO SANTA ROSA	GIA-085-18		INFORME FINAL - PÁG. 170	
VERSIÓN:	2			FECHA	04/09/18
ELABORÓ:	LEBV, JVGA,	REVISÓ:	JALG5	APROBÓ:	JAM

elaborado por el IDEAM en el año 2007, en el que se seleccionan y estudian 26 estaciones meteorológicas a lo largo y ancho de la sabana de Bogotá, y la auscultación y el tratamiento de la información hidrológica de las cuatro (4) estaciones meteorológicas más cercanas a la subcuenca de la quebrada Los Toches (dominio hidrológico en el que yace Santa Rosa): la Juan Rey, la Santa Lucía, El Delirio y Vitelma, y cuyas características se delinearán en la Tabla 5.1 y en el Anexo E.1.

TABLA 5.1 ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS

ESTACIÓN	CUENCA	SUBCUENCA	LATITUD	LONGITUD	CATEGORÍA	ELEVACIÓN (M.S.N.M)	CÓDIGO	PERIODO	ENTIDAD ADM
JUAN REY	BOGOTÁ	PALOBLANCO	04°31'N	74°05'W	PLUVIOGRÁFICA	2985	20204 (P-081)	1990-2017	EAAB
SANTA LUCÍA	BOGOTÁ	TUNJUELO	04°35'N	74°08'W	PLUVIOGRÁFICA	2630	20052 (P-042)	1190-2017	EAAB
EL DELIRIO	BOGOTÁ	SAN CRISTÓBAL	04°33'N	74°04'W	PLUVIOGRÁFICA	3000	20013 (P-035)	1990-2017	EAAB
VITELMA	BOGOTÁ	SAN CRISTÓBAL	04°35'N	74°05'W	CLIMATOLÓGICA ORDINARIA	2800	20524(P-047)	1941-2017	EAAB

5.1.2.1 ANÁLISIS MULTITEMPORAL

Está fundado en la cartografía del IGAC de los años 1960 y 1983 (transcrita en las planchas L-60) en escala 1:2.000, y de Catastro Distrital (de la plataforma IDECA), 2016, en escala 1:1.000, y se circunscribe en la diagramación de los drenajes principales y secundarios, de sus cuencas, y de las alteraciones en sus cauces y en sus trazados, promovidas por la actividad minera o urbanística.

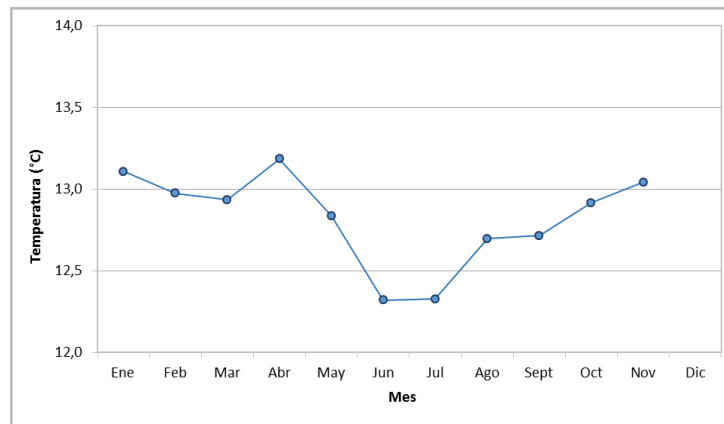
Pone de manifiesto que las cuencas y los cauces principales entre los años 1960 y 1983 carecen de variaciones sustanciales, normalidad aparente rota en la década de los noventa (según se desprende la forointerpretación, copiada en el inciso 3.6 del capítulo 3) y en el 2016, con la puesta en marcha (al oriente, al norte y al nororiente), durante la expansión de la industria minera, de canales interceptores que desvían las aguas que atravesaban las laderas en las que está asentada la urbanización (patrones reflejados en la Figura 2.11), la canalización (en la proximidad a lo que hoy son las manzanas 68, 71 y 78) y el realineamiento parcial del cauce de Los Toches, hacia el sur, ante todo en el cinturón nororiental de la Ciudadela, y la desaparición de sus afluentes; aspectos abordados en el capítulo 2.

5.1.2.2 TEMPERATURA

La temperatura, entendida como el estado térmico del aire con respecto a su capacidad de transmitir calor, tiene un valor medio de 12,82°C y poca fluctuación a lo largo del año (particularidades evidenciadas en la Figura 5.1), aunque el promedio mensual más bajo se abre paso al inicio del descenso de la precipitación. Durante todo el año la temperatura oscila significativamente durante el día, con fuertes descensos en horas de la noche, que con frecuencia causan heladas de corta duración. Los registros en la estación Vitelma, expone su máximo absoluto en el mes de octubre del año 1991 con 16,6°C, mientras que la mínima absoluta

se da en julio de 2016 al tocar los 7,5°C. Los registros de la temperatura media mensual de la estación Vitelma se compilan en el [Anexo E.1.1](#).

FIGURA 5.1 TEMPERATURA: ESTACIÓN VITELMA

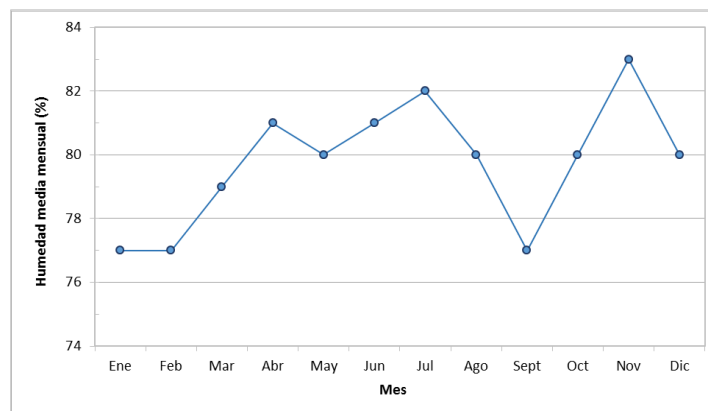


FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

5.1.2.3 HUMEDAD RELATIVA

El vapor de agua o humedad, es uno de los componentes de la atmósfera que tiene relación estrecha con la estabilidad atmosférica, y por consiguiente con la ocurrencia y la distribución de la precipitación. Su comportamiento temporal en Santa Rosa devela los más elevados valores medios en los meses de lluvias altas, es decir en abril, junio, julio y noviembre, los menores umbrales ocurren en los periodos relativamente secos o de bajas lluvias como enero, febrero, marzo y septiembre. En los meses restantes la humedad se considera de transición (puesto que se conjugan masas húmedas y secas). Patrón transcrito en la [Figura 5.2](#), gracias a los registros medios mensuales multianuales.

FIGURA 5.2 HUMEDAD RELATIVA: ESTACIÓN VITELMA



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

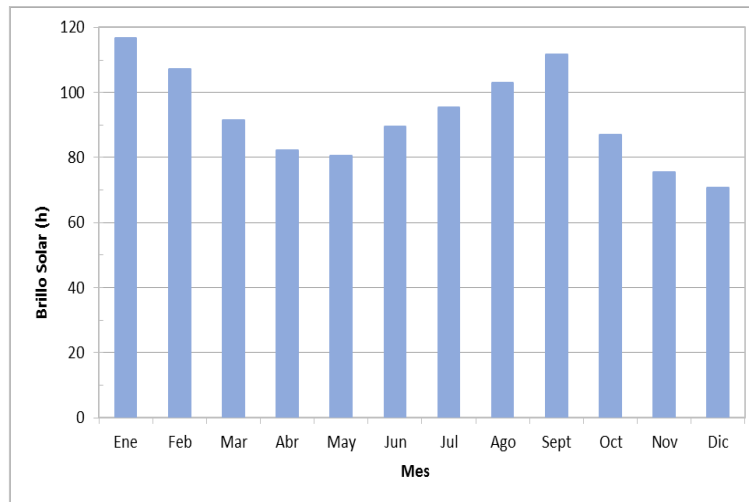
Según el IDEAM (2007), la localidad de San Cristóbal, y el barrio Altos del Zipa, son parte de una región súper húmeda, matizada por poseer una buena distribución de lluvias, y suelos y condiciones topográficas favorables para el desarrollo de la vegetación arbórea (y arbustiva). Los registros de la humedad media mensual se compilan en el [Anexo E.1.1](#).

5.1.2.4 **BRILLO SOLAR**

La cantidad de insolación que se recibe es uno de los factores más importantes en la caracterización climática. Los niveles de insolación o brillo solar están relacionados en forma inversa con otros elementos como la nubosidad y la precipitación. Para la región, los máximos se evidencian en los meses de enero, febrero, agosto y septiembre, y los mínimos en noviembre y diciembre, cambios plasmados en la [Figura 5.3](#).

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 71 horas en el mes de diciembre, lo que indica la influencia del relieve y por consiguiente la mayor presencia de nubosidad. Los registros del brillo solar mensual de la estación Vitelma se delinear en el [Anexo E.1.1](#).

FIGURA 5.3 BRILLO SOLAR: ESTACIÓN VITELMA



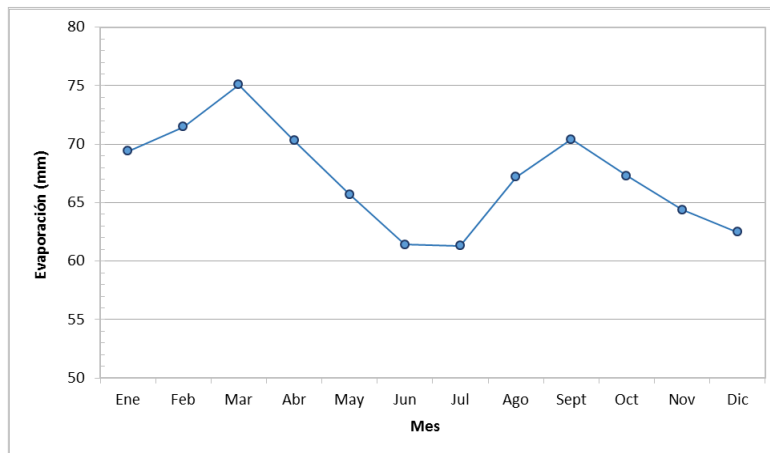
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

5.1.2.5 **EVAPORACIÓN**

La evaporación es un proceso físico por el cual el agua 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 una unidad de superficie en unidad de tiempo, se mide en milímetros (mm) de agua evaporada. Sus picos (o máximos) a lo largo del año, en Santa Rosa, tienen lugar durante los meses de enero, febrero, marzo, abril y septiembre, en concordancia con los máximos establecidos de la radiación solar y en relación inversa con la precipitación y la humedad relativa. Los mínimos toman lugar en mayo, junio, julio, noviembre y diciembre, considerados lluviosos y por tanto de menor evaporación. La [Figura 5.4](#),

transcribe el patrón descrito y enfatiza la importancia de la primera temporada de lluvia, los registros de la evaporación total mensual de la estación Vitelma se compilan en el [Anexo E.1.1](#).

FIGURA 5.4 EVAPORACIÓN: ESTACIÓN VITELMA

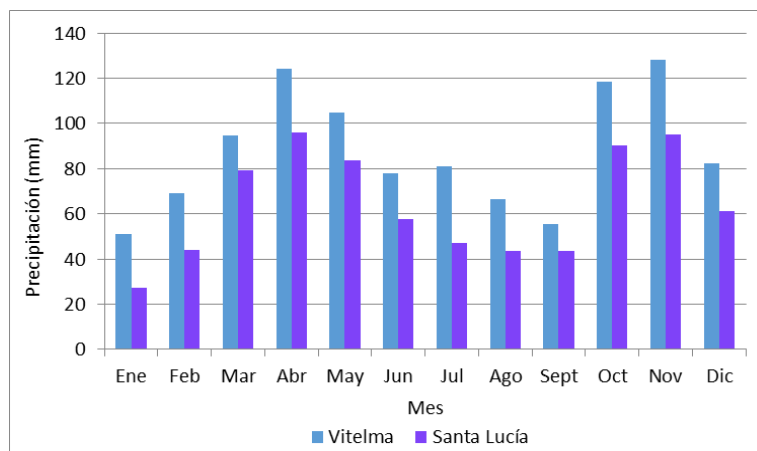


FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

5.1.2.6 PRECIPITACIÓN

La precipitación en la Ciudadela Santa Rosa, exhibe un comportamiento bimodal, pero con un incremento de las lluvias acumuladas críticas en la último lustro. En las estaciones se reporta una precipitación media mensual multianual de 1053.3 mm/año, 1221.3 mm/año, 1350.6 mm/año y 769.2 mm/año para la estaciones Vitelma, Juan Rey, el Delirio y Santa Lucía, respectivamente. El mes más seco es enero, con registros de 50,9 mm en Vitelma, de 54 mm en el Delirio, de 44,2mm en Juan Rey y de 27,3mm en Santa Lucía.

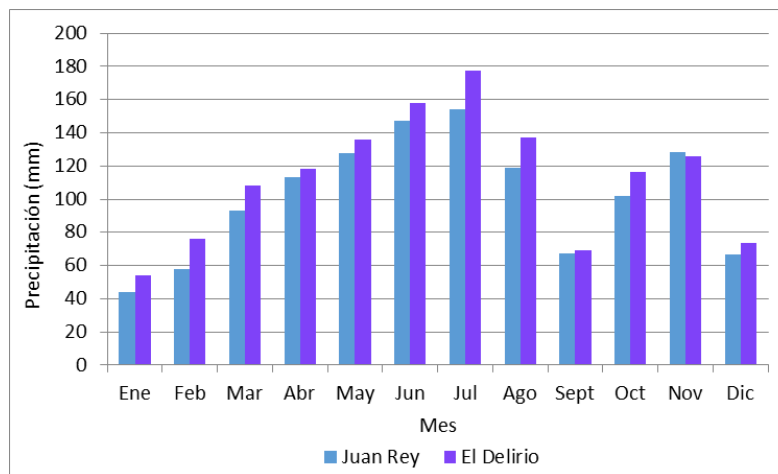
FIGURA 5.5 PRECIPITACIÓN: ESTACIONES VITELMA, SANTA LUCÍA



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

En las estaciones Vitelma y Santa Lucía los meses más lluviosos son abril y noviembre, en los que se registran valores de 124,1 mm y 96,1mm para abril, y de 128,1mm y 95,1mm para noviembre, patrón corroborado en la [Figura 5.5](#). Para las estaciones el Delirio y Juan Rey, los meses más lluviosos son junio y julio, con láminas de agua para junio de 158mm y de 117,2mm, respectivamente, y para julio de 177,3mm y de 154,1mm, respectivamente, valores plasmados en la [Figura 5.6](#). Los valores medios mensuales de precipitación de las cuatro estaciones se compilan en el [Anexo E.1.2](#).

FIGURA 5.6 PRECIPITACIÓN: ESTACIONES EL DELIRIO, JUAN REY



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

5.1.2.7 CLASIFICACIÓN CLIMÁTICA

Al amparo de los parámetros descritos y analizados a lo largo del capítulo, la urbanización Santa Rosa se clasifica como Zona Superhúmeda (A) que de acuerdo con el IDEAM (2007), la define como parte de "... áreas caracterizadas por lluvias anuales que se sitúan entre los 1200 a 1400mm o más. La identifican sectores más detallados al norte de Bogotá, como: Torca, el sector correspondiente a la parte central sobre los cerros orientales y límite de la divisoria de aguas en el Verjón (carretera a Chipaque), sector de La Alemana(nacimiento de la quebrada Yomasa), hasta el sector El Bosque, al sur(carretera antigua a Villavicencio), igualmente, en la zonas más alta del nacimiento del río Tunjuelo (río Chisacá), entre cotas superiores a 3400 msnm y las estaciones Bocagrande, Salitre y la Laguna de Los Tunjos" [sic]

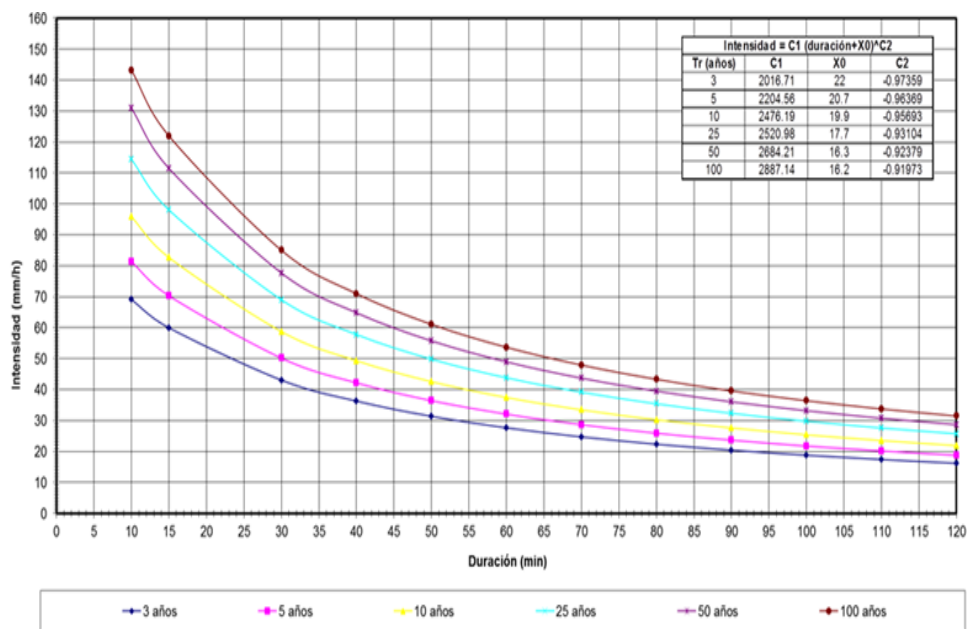
5.1.2.8 PRECIPITACIONES DE CORTA DURACIÓN

La determinación de las características de la precipitación en el diseño de obras hidráulicas, parte de la utilización de una tormenta o evento extremo (descrita por la lluvia máxima en 24 horas), que involucre la relación entre su intensidad, en un intervalo de tiempo, su duración y las frecuencias o periodos de retorno para la obra o el sitio. En ese sentido, las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia) son representaciones de un evento máximo (definido acorde con el período de retorno) para un sitio o localidad; con ellas el diseñador, apoyado en criterios técnicos y económicos, establece las secciones hidráulicas para el control y manejo del drenaje.

Ahora bien, para la obtención de las curvas generalizadas IDF, se analiza la información de la estación Vitelma y se emplea la [Ecuación 5.1](#), desarrollada en el estudio “Análisis y Caracterización de Tormentas en la Sabana de Bogotá” por la firma consultora Ingeniería y Recursos Hídricos Ltda y actualizado por Ingetec S.A (2004), considerando que los términos C_1, C_2 y X_0 son coeficientes que varían con la ubicación del nodo y con el periodo de retorno. La urbanización corresponde al nodo 999690N y 994548E y los coeficientes son suministrados por el Acueducto de Bogotá.

$$INTENSIDAD = C_1 (DURACIÓN + X_0)^{C_2} \quad \text{Ec. 5.1}$$

FIGURA 5.7 CURVA IDF, ESTACIÓN VITELMA



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

5.1.2.9 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE LAS INTENSIDADES

La distribución temporal y espacial de la precipitación en la ciudad de Bogotá aumenta de sur a norte, con valores mínimos en las localidades de Ciudad Bolívar y Bosa y con valores máximos en Chapinero y Usaquén, además, la precipitación para una duración determinada, generalmente decrece desde el centro de las tormentas a medida que la distancia se incrementa a partir de este punto, escenario corroborado en el [Anexo E.1.3](#).

5.1.2.10 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

$$Ll_{crit} = 0.3609 * Ll_{an} \quad Ec \ 5.2$$

$$D = 3.2829 * Ll_{crit}^{0.4157} \quad Ec \ 5.3$$

y los Cerros Orientales

$$Ll_{crit} = 12.6326 + 0.1418 * Ll_{an} \quad Ec \ 5.4$$

$$D = 0.04923 * Ll_{crit} \quad Ec \ 5.5$$

en la que:

D = Duración en días

Ll_{crit} = Lluvia crítica en mm

Ll_{an} = Lluvia anual en mm

Ahora bien, como la ciudadela hace parte de la unidad territorial Cerros Orientales, la precipitación crítica es de 211.86 mm y su duración es de 10 días.

5.1.2.11 RELACIÓN LLUVIA – DESLIZAMIENTO

Los fenómenos de remoción en masa proliferan y adquieren lugar protagónico durante los periodos lluviosos; circunstancia que deja en claro que la precipitación es uno de sus factores detonantes. La intensidad y la duración de la precipitación, pertinentes para disparar un movimiento, dependen de las condiciones iniciales de humedad y de la posición o del nivel freático o de la cabeza piezométrica; estas variables guardan una estrecha relación con la precipitación precedente a que ha estado sometido el talud o la ladera. El aumento de la humedad del suelo y la posición del nivel freático o piezométrico está altamente influenciado por el factor antrópico; Santa Rosa no es la excepción. A lo largo del proceso de urbanización se elimina la cobertura vegetal, se altera la morfología, y por tanto las áreas de aporte y el patrón de drenaje, se adicionan nuevas descargas y se propenden por el control, no del todo exitoso, del agua superficial y subsuperficial. Lo anterior repercute en que la escorrentía y la infiltración, dan lugar a la formación de frentes erosivos y de procesos de remoción en masa en las laderas intervenidas, en especial en las nororientales y las del norte.

Uno de los procedimientos más útiles (y prácticos) para deducir el vínculo lluvia deslizamiento es el empleo de relaciones constitutivas extraídas de fuentes secundarias, dos de las más importantes recaen en Castellanos y González (1997), y González y Mayorga (2004), y otro reside en inferir las ecuaciones de regresión a través de la precipitación antecedente, conocidas la frecuencia y las fechas de los eventos. Ahora bien, ante la dificultad de emplear este segundo camino, pues se desconocen las fechas de detonación de los eventos, y de la aplicación del primer esquema, se **concluye** para la urbanización que la precipitación acumulada bordea los 211.86 mm, que su duración acumulada es de 10 días y que su periodo de retorno es de 32 años.

5.1.2.12 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN CRÍTICA

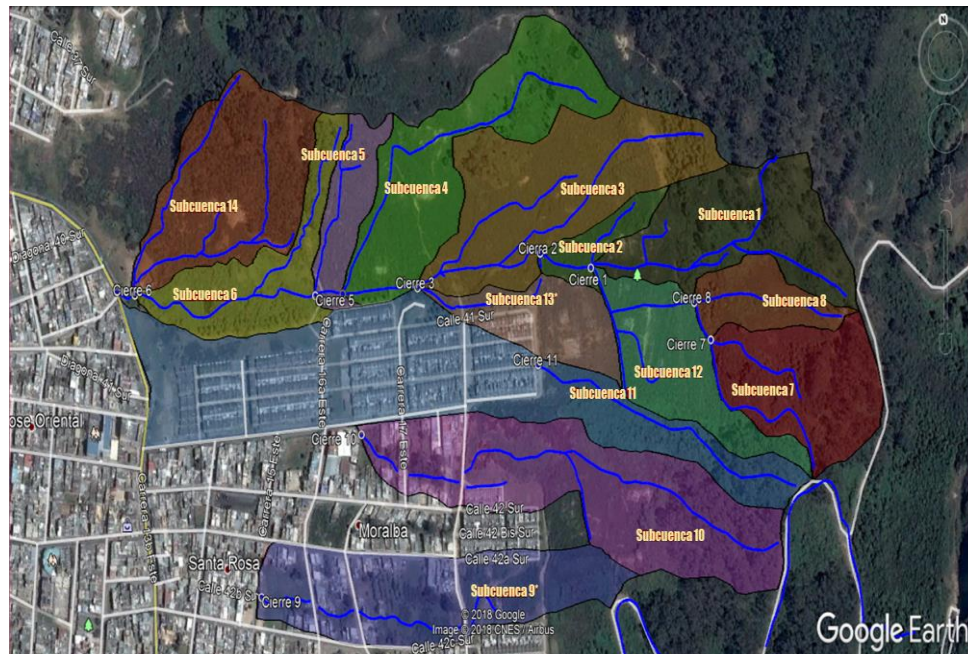
La distribución temporal y espacial de la precipitación crítica, en Bogotá, aumenta de oriente a occidente, contrario al comportamiento del periodo de retorno, que tiene los valores mínimos en cercanías al río Bogotá y valores máximos en los cerros orientales y en los cerros de la localidad de Ciudad Bolívar. Comportamientos evidenciados en la *figura 6* y en la *figura 7* del *Anexo E.1.3*

5.1.3 CARACTERÍSTICAS DE LAS CUENCAS AFERENTES

A fe de describir la variación de los procesos hidrológicos es necesario conocer no solo las características hidrológicas, sino las condiciones climáticas, físicas y de vegetación del medio. La precipitación promedio anua multianual en la cuenca es del orden de 1098.25mm, el régimen pluviométrico es esencialmente bimodal como se evidencia los histogramas de precipitación media anual. La temperatura media oscila entre los 12.3°C y los 13.2°C, la humedad relativa media es del orden de 80%, y la vegetación predominante responde al retamo espinoso y a arbustos de poca altura.

Santa Rosa está irrigada y limitada por la quebrada Los Toches. Ella discurre al norte de la urbanización, su cuenca drena un área de 28.59 Ha, y su perímetro es de 3 km. La longitud del cauce principal es de cercano a los 1320 m, su pendiente ponderada, derivada por el método de Taylor – Schwarz, es del orden del 14% (singularidades sintetizada en el *Anexo E.1.4*). Pero Los Toches no es el único drenaje, otras quebradas surcan al sur, y hacen parte de una cuenca vecina. En la *Figura 5.8* se plasman los rasgos morfométricos de las subcuencas aferentes a la urbanización.

FIGURA 5.8 RED DE DRENAJE EN LA CIUDADELA SANTA ROSA



FUENTE: TOMADO Y ADAPTADO DE GOOGLE EARTH (2016)

5.1.3.1 SUBCUENCAS Y ÁREA DE DRENAJE

La subcuenca principal, la de Los Toches, está integrada por catorce microcuencas, once de aporte directo y tres adicionales participes en escenarios contiguos, conjunto distribuido como se evidencia en la *Figura 5.8*. En la *Tabla 5.2* se compilan, tanto las características morfométricas de cada una de las microcuencas como sus áreas aferentes aportantes.

TABLA 5.2 CARACTERÍSTICAS DE LAS SUBCUENCAS

CUENCA	PERÍMETRO (KM)	ÁREA (HA)	LONGITUD	CIERRE CUENCA	SUBCUENCAS AFERENTES	ÁREA AFERENTE (HA)
1	1.00	3.6	0.44	1		3.6
2	0.53	0.74	0.12	2	1, 7, 8, 12	11.16
3	1.22	5.00	0.23	3	1, 2, 7, 8, 12, 13	17.91
4	1.27	4.40	0.14	4	1, 2, 3, 7, 8, 12, 13	22.31
5	0.63	1.24	0.07	5	1, 2, 3, 4, 7, 8, 12, 13	23.55
6	1.00	2.51	0.32	6	1, 2, 3, 4, 5, 7, 8, 12, 13, 14	30.06
7	0.75	3.00		7		3.00
8	0.60	1.28		8	7	4.28
12	0.99	2.54				
13	0.76	1.75				
14	0.89	4.00				
TOTAL	9.64	30.06	1.32			
9	1.28	4.67	0.8	9		4.67
10	1.53	6.33	0.44	10		6.33
11	2.4	9.11	0.59	11		9.11

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

5.1.3.2 TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

Definido como el tiempo mínimo necesario para que todos los puntos de una cuenca estén aportando agua de escorrentía de forma simultánea al punto de cierre. Si la lluvia se mantiene con la misma intensidad desde el inicio de la tormenta hasta el final, el caudal de agua que irá saliendo por el punto de cierre irá aumentando a

partir del momento inicial hasta alcanzar un valor máximo, y a partir de ese momento se mantendrá constante hasta que cese la precipitación. Para su cálculo se empleó la expresión de Kirpich:

$$T_c = 0,02 \cdot L^{0,77} S^{-0,385} \quad \text{Ec 5.6}$$

dónde:

T_c = Tiempo de concentración en minutos.

L = Longitud del cauce desde el sitio más alejado de la cuenca hasta el punto de cierre en m

S = Pendiente ponderada del cauce principal de la cuenca en estudio en m/m

Finalmente, el tiempo de concentración calculado es de 10 minutos, no obstante, por recomendaciones planteadas en la Norma Técnica [NS-085/2017](#) del Acueducto de Bogotá, se empleará un tiempo de 15 minutos.

5.1.3.3 CAUDALES DE DISEÑO

La quebrada Los Toches carece de información hidrométrica histórica, por lo que es necesario aplicar un modelo matemático sintético para obtener los caudales máximos. El modelo considera las características hidrológicas y morfométricas de la cuenca y permite relacionar la precipitación máxima con los caudales generados, que se calculan para diferentes periodos de retorno, asumiendo que los caudales así estimados tienen el mismo periodo de recurrencia que la precipitación que los genera.

Para áreas de drenaje con extensión menor a **10 Ha**, los caudales máximos suelen abstraerse gracias al empleo del método racional; técnica que se ajusta apropiadamente a cuencas pequeñas.

5.1.3.3.1 Método Racional

La metodología comúnmente utilizada en hidrología para generar caudales máximos en cuencas pequeñas en las que no hay información hidrométrica consiste en la estimación del caudal máximo suponiendo una intensidad uniforme de la precipitación durante el tiempo de concentración de la cuenca. La suposición de la uniformidad de la precipitación durante el tiempo de concentración, es una aproximación que se hace teniendo en cuenta que en la realidad un evento de lluvia es uniforme durante el tiempo de concentración de la cuenca. De esta forma, el caudal en un punto dado de la cuenca crecerá paulatinamente hasta alcanzar un valor máximo cuando la totalidad de la cuenca este contribuyendo a la escorrentía en el área de concentración de las aguas. El método racional se expresa mediante la relación:

$$Q = \frac{C \cdot I \cdot A}{3,6} \quad \text{Ec 5.7}$$

dónde:

Q = Caudal máximo en m³/s

C = Coeficiente de escorrentía

I = Intensidad de la lluvia en mm/h

A = Área de drenaje, km²

Coefficiente de Escorrentía

El coeficiente de escorrentía relaciona el caudal máximo generado producido después de descontar las pérdidas por almacenamiento, por retención y por infiltración con la intensidad de precipitación que lo genera, es propio de cada cuenca y depende principalmente del tipo de suelo, de la cobertura vegetal y de la pendiente de la cuenca.

Del recorrido en campo se determina que el terreno tiene una cobertura vegetal de pastos, retamo espinoso y arbustos de pequeña altura y pendiente del terreno del 18%. De los valores recomendados plasmados por Chow, Maiden y Mays (1994) se selecciona el valor acorde a las condiciones de la urbanización (véase la [Tabla 5.3](#)).

TABLA 5.3 COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA SELECCIONADO

CARACTERÍSTICA	COEFICIENTE DE ESCORRENTÍA					
	3 AÑOS	5 AÑOS	10 AÑOS	25 AÑOS	50 AÑOS	100 AÑOS
COBERTURA DE PASTOS > 75% DEL ÁREA PENDIENTE SUPERIOR AL 7%	0.34	0.37	0.4	0.44	0.47	0.51

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Intensidad de la Precipitación

La intensidad de precipitación se selecciona para un lapso igual al tiempo de concentración calculado para la cuenca y para el periodo de retorno establecido; consecuentemente, el caudal calculado corresponde a la creciente con una frecuencia igual a la intensidad seleccionada. Para efectos de la determinación de la intensidad de diseño de cada periodo de retorno, se usaron las curvas IDF del [numeral 5.1.2.8](#), los resultados se plasman en la [Tabla 5.4](#).

TABLA 5.4 INTENSIDADES (MM/H)

CUENCA	TIEMPO DE CONCENTRACIÓN (MIN)	INTENSIDAD (MM/H)					
		3 AÑOS	5 AÑOS	10 AÑOS	25 AÑOS	50 AÑOS	100 AÑOS
QUEBRADA LOS TOCHES CUENCA 9, CUENCA 10, CUENCA 11	15	60	70.3	82.7	98.1	111.5	122

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Caudales Máximos

Empleando la ecuación 5.7 se calculan los caudales máximos instantáneos para la cuenca de la quebrada Los Toches y otras subcuencas, resultados resumidos en la [Tabla 5.5](#).

TABLA 5.5 CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS

CUENCA	No.	ÁREA (HA)	COEFICIENTE ESCORRENTÍA						INTENSIDAD (MM/H)						CAUDAL PROPIO DE LA CUENCA (M ³ /S)						
			PERIODO DE RETORNO (EN AÑOS)						PERIODO DE RETORNO (EN AÑOS)						PERIODO DE RETORNO (EN AÑOS)						
			CUENCA	3	5	10	25	50	100	3	5	10	25	50	100	3	5	10	25	50	100
QUEBRADA LOS TOCHES	1	3,60	0,34	0,37	0,4	0,44	0,47	0,51	60	70,3	82,7	98,1	111,5	122	0,204	0,26	0,331	0,432	0,524	0,622	
	2	0,74	0,34	0,37	0,4	0,44	0,47	0,51	60	70,3	82,7	98,1	111,5	122	0,042	0,053	0,068	0,089	0,108	0,128	
	3	5,00	0,34	0,37	0,4	0,44	0,47	0,51	60	70,3	82,7	98,1	111,5	122	0,283	0,361	0,459	0,6	0,728	0,864	
	4	4,40	0,34	0,37	0,4	0,44	0,47	0,51	60	70,3	82,7	98,1	111,5	122	0,249	0,318	0,404	0,528	0,641	0,76	
	5	1,24	0,34	0,37	0,4	0,44	0,47	0,51	60	70,3	82,7	98,1	111,5	122	0,07	0,09	0,114	0,149	0,181	0,214	
	6	2,51	0,34	0,37	0,4	0,44	0,47	0,51	60	70,3	82,7	98,1	111,5	122	0,142	0,181	0,231	0,301	0,365	0,434	
	7	3,00	0,34	0,37	0,4	0,44	0,47	0,51	60	70,3	82,7	98,1	111,5	122	0,17	0,217	0,276	0,36	0,437	0,519	
	8	1,28	0,34	0,37	0,4	0,44	0,47	0,51	60	70,3	82,7	98,1	111,5	122	0,073	0,092	0,118	0,153	0,186	0,221	
	12	2,54	0,34	0,37	0,4	0,44	0,47	0,51	60	70,3	82,7	98,1	111,5	122	0,144	0,184	0,233	0,305	0,37	0,439	
	13	1,75	0,34	0,37	0,4	0,44	0,47	0,51	60	70,3	82,7	98,1	111,5	122	0,099	0,126	0,161	0,21	0,255	0,302	
	14	4,00	0,34	0,37	0,4	0,44	0,47	0,51	60	70,3	82,7	98,1	111,5	122	0,227	0,289	0,368	0,48	0,582	0,691	
	OTRAS CUENCAS	9	4,67	0,34	0,37	0,4	0,44	0,47	0,51	60	70,3	82,7	98,1	111,5	122	0,265	0,337	0,429	0,56	0,68	0,807
		10	6,33	0,34	0,37	0,4	0,44	0,47	0,51	60	70,3	82,7	98,1	111,5	122	0,359	0,457	0,582	0,759	0,921	1,094
		11	9,11	0,34	0,37	0,4	0,44	0,47	0,51	60	70,3	82,7	98,1	111,5	122	0,516	0,658	0,837	1,092	1,326	1,575

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 5.6 CAUDALES EN LOS PUNTOS DE CIERRE DE LA CUENCA

PUNTO DE CIERRE	ÁREA AFERENTE (HA)	CAUDAL (M ³ /S) TR=10 AÑOS
1	3,60	0,331
2	11,16	1,025
3	17,91	1,646
4	22,31	2,050
5	23,55	2,164
6	30,06	2,762
7	3,00	0,276
8	4,28	0,393
9	4,67	0,429
10	6,33	0,582
11	9,11	0,837

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

5.1.4 CARACTERIZACIÓN HIDRÁULICA**5.1.4.1 CRITERIOS PARA SELECCIONAR EL PERIODO DE RETORNO DE DISEÑO**

Dado que la Santa Rosa es una zona urbana, con tráfico vehicular y comercio, es necesario que la selección del periodo de retorno esté de acuerdo con la importancia del área de estudio. Para efectos de diseño, el periodo seleccionado es de 10 años (véase [Tabla 5.7](#)), en concordancia con los criterios del Acueducto de Bogotá.

TABLA 5.7 CAUDALES EN LOS PUNTOS DE CIERRE DE CUENCA

	PERIODO DE RETORNO (EN AÑOS)	BORDE LIBRE		
		TUBERÍAS	BOX CULVERT	CANALES
CANALIZACIONES ABIERTAS, ADECUACIÓN DE CAUCES DE RÍOS Y QUEBRADAS EN CUALQUIER ZONA CON ÁREA TRIBUTARIAS HASTA DE 1000 HECTÁREAS	10	N.A	N.A	BORDE LIBRE EQUIVALENTE AL 30% DE LA PROFUNDIDAD DE LA LÁMINA PARA UN TR DE 10 AÑOS, MÍNIMO DE 0.50M

FUENTE: NORMA NS-082, ACUEDUCTO DE BOGOTÁ

5.1.4.2 DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING

El valor de n es una medida de la rugosidad superficial que tiene una influencia muy grande en la ecuación de la resistencia del flujo, incluso una pequeña variación de su valor puede influenciar dramáticamente los resultados. Todas las valoraciones hidráulicas de caudales requieren una estimación de la rugosidad del canal y de sus zonas aledañas por donde discurre el agua, dado que este representará el valor del defecto colectivo de todas las características de las asperezas o rugosidades en un cauce (Barnes, 1849).

Dos factores importantes que afectan la selección de los coeficientes de la rugosidad son: a) El tipo y tamaño de los materiales que componen el lecho, orillas y zonas inundables adenañas; b) La forma del cauce. Para calcular las rugosidades de las bancas de la quebrada, se emplea el procedimiento desarrollado por Cowan, en el que se estiman los efectos que estas características tienen sobre el valor de n de un cauce, y se calcula con la ecuación 5.8.

$$n = (n_b + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) \times m \quad \text{Ec 5.8}$$

en la que:

N_b = Valor base de n para un canal recto, uniforme y en materiales naturales.

N_1 = Factor de corrección para las irregularidades superficiales.

N_2 = Valor para las variaciones de forma y tamaño de la sección representativa del cauce.

N_3 = Valor para obstrucciones

N_4 = Valor para la vegetación y condiciones de flujo

M = Factor de corrección por meandros presentes en el cauce.

Los valores son subjetivos y son abstraídos de Arcement y Schneider (1989, en particular de tablas 1 y 2 de Guide for Selecting Manning's Roughness coefficients for Natural Channels and Flood Plain), los autores describen las características de cada componente de la ecuación, coeficientes acopiados en la [Tabla 5.8](#). Una vez definida la rugosidad, se compara con el de corrientes similares a fe de garantizar su confiabilidad.

TABLA 5.8 RUGOSIDAD DE MANNING DOMINANTE

CUENCA	NB	N1		N2		N3		N4		M		N
	BASE	IRREGULARITY		ALIGNMENT		OBSTRUCTIONS		VEGETATION		MEANDER		
QUEBRADA LOS TOCHES	0.03	0.001	MINOR	0.001	ALTERNATING OCCASIONALLY	0.001	NEGLIGIBLE	0.002	SMALL	1	MINOR	0.035

FUENTE: USGS, WATER SUPPLY PAPER 2339.

5.1.4.3 MODELACIÓN HIDRÁULICA

Con el propósito de establecer el comportamiento de la quebrada Los Toches, en términos de capacidad del cauce, niveles y de posibles desbordamientos, se efectúa el análisis hidráulico para simular los cambios de los niveles entre secciones transversales adyacentes del canal natural, empleando el modelo HEC-RAS desarrollado por el U.S ARMY CORPS OF ENGINEERS. Se estima la condición de funcionamiento del cauce para la creciente de periodo de retorno de 10 años, de acuerdo con los criterios mencionados con anterioridad, considerando el aporte en cada cierre de las subcuencas, demarcado en la [Figura 5.8](#), que son:

- Cierre 1: Sección transversal 31
- Cierre 2: Sección transversal 26
- Cierre 3: Sección transversal 20
- Cierre 4: Sección transversal 16
- Cierre 5: Sección transversal 10

Se considera que los resultados obtenidos del modelo HEC-RAS son suficientes para inferir conclusiones con miras a establecer si se requiere de diseños para aumentar la capacidad hidráulica del cauce en caso de que sea insuficientes para el caudal del periodo de retorno establecido. En este orden de ideas, se determinan 20 secciones transversales (acopiadas en el [Anexo E.1.5](#)) en la quebrada Los Toches, convenientemente seleccionadas y abstraídas o interpoladas de la topografía del 2018 y la del IDECA (2016).

TABLA 5.9 RESULTADOS DE LA MODELACIÓN HIDRÁULICA

HEC-RAS Plan: Plan 04 River: Qda Los Toches Reach: Tramo 1 Profile: PF 1												
Reach	River Sta	Profile	Q Total (m3/s)	Min Ch El (m)	W.S. Elev (m)	Crit W.S. (m)	E.G. Elev (m)	E.G. Slope (m/m)	Vel Chnl (m/s)	Flow Area (m2)	Top Width (m)	Froude # Chl
Tramo 1	49	PF 1	0.33	3134.00	3134.17	3134.17	3134.23	0.025902	1.04	0.32	2.91	1.01
Tramo 1	47	PF 1	0.33	3130.00	3130.12	3130.12	3130.15	0.026647	0.73	0.45	7.23	0.94
Tramo 1	45	PF 1	0.33	3114.70	3114.81	3114.81	3114.84	0.030152	0.77	0.43	7.07	0.99
Tramo 1	43	PF 1	0.33	3104.90	3105.01	3105.01	3105.05	0.028525	0.83	0.40	5.65	0.99
Tramo 1	39	PF 1	0.33	3080.00	3080.09	3080.09	3080.12	0.030261	0.74	0.45	7.90	0.98
Tramo 1	36	PF 1	0.33	3048.80	3048.98	3048.98	3049.03	0.028904	0.98	0.34	3.69	1.04
Tramo 1	31	PF 1	0.33	3009.90	3010.10	3010.10	3010.15	0.026909	1.00	0.33	3.32	1.01
Tramo 1	26	PF 1	1.03	2984.30	2984.56	2984.56	2984.64	0.022371	1.20	0.85	5.70	0.99
Tramo 1	25	PF 1	1.65	2979.00	2979.35	2979.35	2979.45	0.021771	1.40	1.17	6.05	1.02
Tramo 1	22	PF 1	1.65	2959.80	2960.02	2960.02	2960.06	0.026077	0.96	1.71	18.06	0.99
Tramo 1	20	PF 1	1.65	2944.97	2945.11	2945.11	2945.16	0.026536	0.98	1.68	17.51	1.01
Tramo 1	18	PF 1	2.05	2930.00	2930.74	2930.74	2930.93	0.020253	1.93	1.06	2.89	1.01
Tramo 1	16	PF 1	2.05	2923.49	2923.92	2923.92	2924.05	0.019476	1.63	1.26	4.74	1.01
Tramo 1	14	PF 1	2.16	2914.49	2915.06	2915.06	2915.13	0.024024	1.19	1.82	13.03	1.01
Tramo 1	10	PF 1	2.16	2899.59	2900.06	2900.06	2900.12	0.025680	1.05	2.06	18.61	1.01
Tramo 1	9	PF 1	2.76	2895.00	2895.48	2895.48	2895.62	0.018749	1.65	1.68	6.05	1.00
Tramo 1	6	PF 1	2.76	2885.00	2885.45	2885.45	2885.58	0.020395	1.59	1.74	7.13	1.02
Tramo 1	4	PF 1	2.76	2879.50	2880.10	2880.10	2880.18	0.023643	1.22	2.27	15.47	1.01
Tramo 1	3	PF 1	2.76	2878.32	2878.70	2878.70	2878.81	0.019105	1.41	1.96	9.11	0.97
Tramo 1	1	PF 1	2.76	2874.00	2874.44	2874.44	2874.55	0.020567	1.48	1.87	8.53	1.01

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

En la [Tabla 5.9](#) se acopian los resultados de la modelación, con parámetros que caracterizan el flujo en las secciones como lo son caudal, elevación de la lámina de agua, velocidad media, pendientes de la línea de energía y número de Froude, entre otros. Como se evidencia en la tabla, en la sección 49, correspondiente al extremo aguas arriba, alcanza los 0.71m de altura y en la sección 1, correspondiente al extremo aguas abajo, alcanza una altura de 0.44m.

Dadas las características evidenciadas previamente y en el [Anexo E.1.5](#), en el que se incorpora la localización de las secciones utilizadas a lo largo del cauce de la quebrada, y la forma y la geometría de éstas, deja en evidencia que el cauce es suficiente para dejar pasar la creciente con periodo de retorno de 10 años, sin embargo, dista de cumplir con los criterios establecidos en la norma NS-085.

5.1.4.4 ESTABLECIMIENTO DE CAPACIDAD ÓPTIMA

Al amparo del caudal máximo obtenido en el estudio hidrológico y con las condiciones establecidas en el modelo HEC-RAS para el cauce de la quebrada Los Toches para el tramo comprendido entre el Cierre 3

(sección transversal 20) hasta el Cierre 6 (sección transversal 1), se calculan los requerimientos de capacidad con la fórmula de Manning.

$$Q = \frac{1}{n} AR^{2/3} S^{1/2} \quad \text{Ec 5.9}$$

De acuerdo con la norma NS-085, se establece que para canalizaciones abiertas, en cauces de ríos y de quebradas en cualquier medio con áreas tributarias de hasta 1000 hectáreas, es necesario fijar un borde libre, que es equivalente al 30% de la profundidad de la lámina de agua para el caudal de los 10 años de periodo de retorno, pero que en ningún caso puede ser inferior a los 0.50m.

Ahora bien, al considerar el caudal para el tramo igual a 2.76 m³/s, se deducen las dimensiones apropiadas para recomfortar el tramo comprendido entre el Cierre 3 y el Cierre 6, al implantar un canal trapezoidal con base de 1m, altura de 0.5m, borde libre de 0.5m y pendientes laterales de 1:1, y longitudinal del 18% (véase el [Anexo E.1.5](#)). Con las dimensiones, la capacidad del canal trapezoidal es igual a 15.83 m³/s, que es superior al caudal calculado para un periodo de retorno de 10 años en el Cierre 6, de 5.2 m³/s.

5.1.5 BALANCE HÍDRICO

Como se establece en los párrafos anteriores, el agua infiltrada al interior de los suelos de ladera tiene gran incidencia en los procesos de inestabilidad debido al aumento de la presión de poros que se induce en el suelo. En el caso particular del área objeto de este estudio, no es clara la procedencia de las aguas que aparecen en los pisos y paredes de las edificaciones, aunque pudiera inferirse que corresponden a flujos subsuperficiales procedentes de la parte oriental donde se intervinieron, durante los procesos de urbanización, algunos cursos de agua que constituían los drenajes naturales de la misma y de aguas que se empozan en áreas aledañas al límite oriental de la urbanización. El cálculo de la cantidad de agua infiltrada se llevó a cabo mediante el balance de aguas que entran a un volumen de control y las que salen de él, en función de la ecuación de continuidad. En tal sentido, se tiene que el volumen de agua que entra al volumen de control es igual al volumen que sale, más el almacenamiento en él, en un tiempo determinado. En la ecuación del balance hídrico concurren además de la precipitación, el almacenamiento en el suelo debido a la infiltración y la escorrentía, los procesos de evapotranspiración, intercepción por la superficie foliácea de la vegetación y el almacenamiento en depresiones del suelo. Estos últimos se incluyen en la determinación de la escorrentía superficial, mediante la selección del coeficiente de escorrentía del área o de la precipitación efectiva. En este caso particular, el objetivo de la elaboración del balance es la obtención de la cantidad de agua precipitada que se infiltra en el subsuelo.

Precipitación Efectiva

Los cálculos de la precipitación efectiva se basan en la precipitación máxima media multianual que ocurre en el área en 24 horas y que corresponde a una frecuencia de ocurrencia de 50 años. Para efectos de cálculo, se toma la serie de máxima en 24 horas de la estación pluviométrica de Vitelma del periodo comprendido entre 1941 a 2007. La serie tiene las siguientes características estadísticas: Precipitación Máxima Media, P_{max} = 46.9 mm, Desviación Estándar, σ = 12,43 mm y Coeficiente De Asimetría, γ = 1,05

El valor de la variable para una frecuencia dada está dado por la expresión $P_{Tr} = P_{med} + K^* \sigma$, en la que P_{Tr} es el valor de la precipitación de recurrencia, T_r años; P_{med} el valor medio de la serie de precipitación y K el Factor de frecuencia para la distribución seleccionada (para las distribuciones de frecuencia Pearson Tipo III y

Gumbel o de Valores Extremos, los valores de K son 2.56 y 2.84, respectivamente). El valor resultante adoptado para la precipitación máxima en 24 horas fue de 82 mm. Para determinar la precipitación efectiva se implementó la metodología del SCS, en función del tipo de suelo y el uso dado al mismo.

El área en la que presumiblemente tienen lugar los procesos de infiltración se sitúa, por una parte, al oriente de la urbanización y está conformada por una extensión aproximada de 1,57 Ha de gran pendiente en la que predominan suelos de capacidad de infiltración media cubiertos por rastrojo, arbustos y algunos cultivos, un área de extensión de 3.79 Ha en la cual se asienta la urbanización, conformada, además, por andenes de concreto con fisuras y algunas áreas verdes.

Los valores de curva CN seleccionados de acuerdo con las características anteriores son 86 y 90 para la primera y segunda de las áreas citadas, respectivamente. El valor integrado para el área total se tomó como el promedio ponderado del valor del número de curva, el cual resultó ser de 88. La precipitación efectiva se obtiene de la expresión

$$P_{ef} = (\Sigma P - 0.2S)^2 / (P + 0.8S)$$

En la que:

$$S = (25400/CN) - 254 = 34,6 \text{ mm}$$

$$P_{ef} = (82 - 0,2*34,6)^2 / (82 + 0,8*34,6) = 51,3 \text{ mm}$$

De donde resulta que el valor de la infiltración es:

$$I = P_{max} 50 - P_{ef} = 82 - 51,3 = 30,7 \text{ mm}$$

5.1.6 DRENAJE NATURAL

La red de drenaje natural, latente en las planchas L-60 (de 1960 y 1983, reproducidas en la *Figura 2.11*) y en las aerofotografías C-636 de 1953, C1774 de 1977, C2128 de 1984, R-1131 de 1990 y C-2717-1 de 2004, ha sufrido al pasar de los años drásticas modificaciones, algunos cursos han sido trasladados, en particular los del corredor norte de la urbanización, y otros simplemente han desaparecido, los de las franjas sur y centro (cambios puntualizados en el acápite 3.6 del capítulo 3 y en el *Plano 5*), al punto que hoy día sus divisorias son erráticas, la cuenca es drenada exclusivamente por el cauce de la quebrada Los Toches y, parcialmente, pues se pierde en su paso por las manzanas 95, 94 y 96, por su principal tributario. Anomalías que coartan la evacuación de las aguas de escorrentía, y que propenden o inciden, ante la ausencia de sistemas de drenaje superficial eficientes, en la recarga (o en el incremento) de las aguas subsuperficiales bajo las cuerdas y las edificaciones de la Ciudadela, y resaltan su importancia como promotoras de los daños en ellas.

La ronda hídrica, es esencialmente irregular y dista de responder a criterios hídricos ligados con las franjas de desbordamiento, basta señalar que los trazos son rectilíneos. Tiene en la parte baja, en el corredor occidental, ancho variable, pero nunca superior a los 80 m, y aguas arriba apenas toca los 40 m. Aunque la franja de protección no cumple con los 30 m de borde libre, establecidos en el Artículo 83 del Decreto 2811 de 1974, las edificaciones de la urbanización en ningún espacio la intervienen, sí sus redes de aguas residuales y lluvias, ante todo las de las manzanas 63, 71, 78, 93 y 96, las que por daños o por deterioros locales desaguan libremente en las laderas y en la quebrada, y promueven focos de reblandecimiento. De esta manera la quebrada Los Toches hoy día hace las veces de un drenaje mixto y está intervenida con tres obras de canalización, configuradas cada una por dos tubos de 36" de diámetro. La primera, de cerca de 35m, dispuesta al norte de la carrera 16 a este, la segunda, de aproximadamente 10m, emplazada en la

prolongación de la carrera 17 este, y la tercera, de aproximadamente 54m, asentada cerca a la intersección de la carrera 17 A este y la calle 40 B Bis Sur.

5.1.7 DRENAJE ARTIFICIAL

Este párrafo cubre el diagnóstico e investigación de las redes de acueducto y de alcantarillado, normalmente, agentes detonantes o contribuyentes de los fenómenos de remoción en masa. Las deficiencias en la construcción de las acometidas domiciliarias, las fugas, las conexiones erradas y la mala calidad de los materiales utilizados, son algunas de las razones que sopesan su papel como catalizador o activador. Más aún en ambientes como el de Santa Rosa, en el que el accionar antrópico ha sido desmedido y está patente en la reconfiguración morfométrica, en el predominio de los rellenos (con espesores de hasta siete metros bajo las edificaciones), en la desaparición y en el taponamiento del drenaje natural, en los escurrimientos y en los vertimientos.

Ambiente, además, forjado en basamentos rocosos de areniscas y arcillolitas, muy blandos, sometidos a esfuerzos tectónicos promovidos por la falla de Bogotá, que dieron lugar a la inversión de la secuencia y a la formación de un anticlinal cerrado y asimétrico, cuyo eje se calca cerca de la mitad de la ciudadela, en el que los planos de estratificación reposan con buzamiento modal de 55 grados al occidente y entre 35 y 66 al oriente, en su trasegar de sur a norte. Configuración que le sustrae injerencia al patrón hidrogeológico subterráneo (o profundo) como gestor de los procesos de inestabilidad, y como causante no sólo del deterioro de las edificaciones sino de la proliferación de los focos de humedad, y que reseña (indirectamente) al agua subsuperficial, y por consiguiente a las deficiencias en las redes (de aguas blancas y grises) como su responsable primario, y a los aportes de los acuíferos liberados como grandes partícipes. Sin embargo, las evasivas institucionales marcan el derrotero en el desarrollo de este numeral. Pese a los ingentes esfuerzos adelantados, a fe de conocer los registros de las emergencias en las que han estado involucradas las redes principales y secundarias del acueducto y del alcantarillado en el barrio, no ha sido posible la entrega de esta información por parte de la entidad. Aun así, en lo que sigue, se plasma la perspectiva que ofrece la información acopiada en campo, la suministrada por la comunidad y la adquirida por el Consorcio Santa Rosa.

5.1.7.1 SISTEMA DE ACUEDUCTO

Según la información provista por el acueducto, la red de servicio de agua potable en la urbanización, está configurada por tuberías de PVC y de asbesto cemento, con diámetros que van desde las 3" hasta las 12" y una red de impulsión de tubería reforzada con cilindro de acero y varilla con un diámetro de 2" (sistema reproducido en la Figura 5.9), garantizan el suministro de agua sin caídas notorias de presión. Si bien no hay información de las emergencias que las involucran, tal como lo corrobora la respuesta emitida por el acueducto y que reposa en el Anexo A.3, la posibilidad de fugas y roturas es latente, la abundancia de problemas de humedad en los bloques 63, 71, 72, 73, 78, 79 y 80, la carencia de olores en las paredes de las edificaciones, y las opiniones de los habitantes parecen confirmarlo.

5.1.7.2 SISTEMA DE AGUAS RESIDUALES Y LLUVIAS

El entramado oficial que soporta al Sistema de Aguas Lluvias es muy exiguo y su capacidad por ende muy limitada. Está integrado por cunetas rectangulares en concreto, de 0.30 m de base y altura variable desde los 0.10 m hasta los 0.34 m, que captan parte de las lluvias y desaguan por entre las manzanas, y por sumideros,

31 en número, receptores de los caudales (prototipo reproducido en la *Figura 5.10* y en la *Figura 5.11*). Casi la totalidad de las vías, con excepción de la calle 40b Bis Sur y de la carrera 16 a Este, dotadas con cuatro tramos en concreto, dos sin refuerzo de 10 y 16 pulgadas de diámetro y dos en gres de 12", respectivamente (elementos delineados en la *Figura 5.10* y en la *Figura 5.11*) están privadas de redes de alcantarillado pluvial. Hecho que deja en evidencia que las descargas de las cubiertas (pues carecen de canaletas) y de las bajantes se dan, en buena medida, de manera libre (y descontrolada) a través de los peatonales, de las Carreras 16 A Este, 17 Este, 17 A Este y 18 Este, por entre las viviendas o directamente a la quebrada, o se convierte en flujo subsuperficial. Lo que invariablemente repercute en la patología de las edificaciones y de las laderas, en otras palabras, en la propagación de los focos de humedad, explicados en parte por el impacto de las gotas de lluvia contra las placas de los senderos, y en la incubación de los deslizamientos.

Por su parte el *Alcantarillado Sanitario (o Mixto)* reúne líneas talladas en concreto sin refuerzo, en las que los diámetros oscilan entre las 8 y las 16 pulgadas, y 147 pozos, prospección compilada en el *Anexo E.2.1*. Del grueso de los pozos, el 30% carece de información; 14 yacen ocultos por la vegetación, o están sellados con concreto o reposan colmatados, alrededor de una décima parte no hace parte del sistema de alcantarillado y otros 14 pertenecen a otras empresas de servicios públicos. Tres de las cámaras, el Pz-39, el Pz-62, fundados en la intersección de la carrera 41B sur con la carrera 16A este, y el Pz-102, instalado en la calle 41 bis sur con carrera 17A, están dotadas con válvulas de registro.

De los 116 restantes, más de 10 exhiben fisuras visibles, 5, los asentados alrededor de la manzana 81, develan infiltración y otros 10, dentro de los que se destaca el Pz-140 y el Pz-128, tienen represamiento de material de arrastre, escombros y basura. Al margen de estas irregularidades, plasmadas en la *Tabla 5.10*, cerca del 75% de los pozos y las tuberías principales están en (aparente) buen estado; sin embargo, requieren de limpieza y mantenimiento preventivo, máxime si se destaca que la red data de 1995, es decir ya tiene 23 años de servicio, y que hasta ahora dista de tener programas de reforzamiento o de optimización.

Por su parte la red secundaria, moldeada en 8, 10 y 12 pulgadas de diámetro, y que alimenta a las tuberías principales, armadas exclusivamente en 16 pulgadas y dispuesta por entre las Calles 41A Sur y 41B Sur, hace sus entregas hasta de seis ductos por pozo, hecho que deja en evidencia la participación de conexiones erradas. En ella las irregularidades son recurrentes; algunos tramos como los de las manzanas 78, 79, 80 y 81 están deteriorados, otros hacen su descarga indirectamente a la quebrada o media ladera, caso particular de los bloques 63, 71, 78 y son desencadenantes de los procesos de inestabilidad, y otros como los de las manzanas 63, 64 y 65 operan de forma clandestina, basta precisar que las viviendas están legalmente desalojadas. Contrario a esto último, el sistema (sanitario), aun cuando recibe aportes de aguas lluvias, funciona apropiadamente, pero su reforzamiento parece inevitable.

TABLA 5.10 IRREGULARIDADES DE LOS POZOS

IRREGULARIDAD	Pozos	MANTENIMIENTO	Pozos
UNIDADES SIN TRAMOS DE LLEGADA	10, 74, 80, 117, 118, 123	SUSTITUCIÓN	140 y 53
COLMATACIÓN	66, 108, 111, 124, 128 y 141	REPARACIÓN PROGRAMADA	2, 6, 15, 67, 124
OBSTRUCCIÓN	22, 109 y 143	MANTENIMIENTO PREVENTIVO	7, 78, 68, 106, 107, 109 y 135
DESPRENDIMIENTO DE MATERIAL	50 y 60	REPARACIÓN DE EMERGENCIA	66, 67, 11 y 128
INCLINACIÓN VERTICAL	25		

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA 5.9 RED DE ACUEDUCTO MAYOR Y MENOR

FIGURA 5.10 RED DE ALCANTARILLADO

FIGURA 5.11 RED DE ALCANTARILLADO

5.1.8 OTRAS REDES DE SERVICIOS PÚBLICOS

5.1.8.1 TELEFONÍA

La red telefónica y de datos es el servicio público de mayor cobertura, de mayor número de usuarios, y el sistema de comunicación más complejo y versátil del que dispone la humanidad. Permite establecer una llamada o enlace de datos entre usuarios en cualquier parte, de manera distribuida, automática y, prácticamente, instantánea. Es el conjunto de líneas que, dispuestas con criterios de optimización, hacen posible el trasiego de información (ETB, 2018).

En Santa Rosa la red, dilucidada en la *Figura 5.12*, operada por la empresa de Teléfonos de Bogotá (ETB), encierra mensajeros aéreos, esto es cables de acero que soportan a los multipares, los alambres de bajada, los coaxiales o fibras ópticas en redes aéreas; canalizaciones bajo los andenes, las vías vehiculares y los peatonales, las calzadas y otros espacios públicos; armarios (que almacenan los puertos de conexión) y cámaras subterráneas (que alojan los empalmes de cables y se derivan hacia canalizaciones laterales o acometidas).

El tendido integra alrededor de 2.669 metros de cable mensajero; 1.274 metros de canalización en PVC distribuidos así: acometidas 19 metros diámetro 3", bajantes 76 metros diámetro 2" y línea canalizadora 1.179 metros diámetro 4"; 70 postes en concreto de altura 8 metros; 31 cámaras tipo T13, 5 tipo T4, una tipo T16 y 5 tipo T18 y 3 armarios en servicio tipo 2.000, 2.500 y 700.

Las cámaras están compuestas por una placa de piso fundida en concreto de 2000 Psi con espesor de 0.22m; Pendiente hacia el drenaje central de 0.40m x 0.40m x 0.10m; Las paredes van formadas con bloque macizo curvo de concreto de 3.000 Psi con espesor 0.10m y refuerzo en los empates con varillas de ½". La losa superior es concreto de 3.000 Psi con espesor de 0.225m y refuerzo tipo arañado-espiral con disposición radial en varilla de ½" entre bloques y varillas de 3/8" en espiral cada 0.12m. El acceso circular a la cámara con diámetro 0.60m está centrado con los ejes de la tubería y centrado con el sumidero para permitir el desagüe vertical de la cámara (ETB, 2018). (Véase el *Anexo E.2.2*).

5.1.8.2 GAS NATURAL

El gas natural recibe este nombre porque se extrae directamente de la naturaleza y llega a su punto de consumo sin haber experimentado prácticamente ninguna transformación química. Es la energía fósil menos contaminante y su rendimiento energético es superior al de cualquier otra fuente combustible. Este hecho, añadido a la expansión de su comercio y la extensión de las redes y sistemas de distribución, hace que su utilización esté aumentando en todo el mundo.

Desde que es extraído de las profundidades de la Tierra hasta que llega a los lugares donde se consume, el gas natural hace un largo viaje en el que apenas experimenta transformaciones. Los gasoductos, los barcos metaneros, los camiones cisterna o las redes de distribución son algunos de los elementos que forman parte del sistema de transporte y distribución del gas natural. El buen funcionamiento y conocimiento de este sistema garantiza la llegada de este recurso energético hasta el consumidor, haciendo posible que un gran número de actividades humanas se lleven a cabo. (Gas Natural, 2002)

En Colombia se reglamentó el uso y distribución de gas natural con la ley 142 de 1994, a partir de esta fecha se evidencio el consumo masivo de este servicio y consecuentemente la demanda de información por parte de los constructores acerca de la instalación de las redes y especificaciones de las mismas.

En santa Rosa, la red, reproducida en la [Figura 5.13](#), es operada por la empresa Gas Natural y abarca alrededor de 3.745 metros de tubería en polietileno, material termoplástico obtenido de la polimerización del Etileno. El polietileno es una cadena larga de átomos de carbono con 2 átomos de hidrogeno unidos a cada átomo de carbono (Extracol, 2018).

La red está integrada por 603 metros de tubería con diámetro de 3", que configuran la red matriz que alimenta a la urbanización y que deriva a las redes secundarias, desplegados entre la Avenida carrera 13B Este y la Avenida carrera 17A Este; por 2.577 metros con diámetro de 3/4", tendido secundario que rodea a las manzanas y a su vez conecta a las acometidas de cada una de las viviendas; por 488 metros de tendido de 1" de diámetro, línea secundaria que rodea las manzanas 93, 94 y 95, y que conecta con la red principal, y finalmente por 77 metros de diámetro de 2", cuya función es conectar a la urbanización con la red del barrio Moralba, unión que se da en la Avenida carrera 17 Este.

Pero además de los ductos, la red también posee una serie de accesorios, entre ellos cinco (5) válvulas de anillo en polietileno instalado, accesorios, que hacen parte de la red secundaria y que forman las mallas del tendido, y una válvula troncal que separa la red matriz de la urbanización con la del barrio Moralba, dispuesta en la Avenida carrera 17 Este.

5.1.8.3 ENERGÍA ELÉCTRICA

Un sistema eléctrico de potencia tiene como finalidad la producción de energía eléctrica en los centros de generación (centrales térmicas e hidráulicas) y transportarla hasta los centros de consumo (ciudades, poblados, centros industriales, turísticos, etc). Incluye las etapas de generación, transmisión, distribución y utilización de la energía eléctrica, y su función primordial es la de llevar energía desde los centros de generación hasta los centros de consumo y entregarla al usuario en forma segura y con los niveles de calidad exigidos. Aproximadamente las 2/3 partes de la inversión total del sistema de potencia, están dedicados a la conducción del servicio, lo que implica necesariamente un trabajo cuidadoso en el planeamiento, el diseño, la construcción y la operación del sistema de distribución, lo que requiere manejar una información voluminosa (Universidad Nacional, 2004).

En Santa Rosa las líneas aéreas de energía, ilustradas en la [Figura 5.14](#), son operadas por Codensa, y abarcan no sólo alrededor de 1.150 metros de cable ACSR desnudo, de media tensión, en aluminio (son alambres de aluminio cableados alrededor de un núcleo de acero galvanizado), conectados a la central eléctrica de la Victoria; sino una cámara de inspección ubicada en la Avenida carrera 13C Este y 131 postes en concreto que transportan entre ellos las redes de baja tensión.

Redes que a su vez están conformadas por: 57 postes de altura de 10m, estructura tipo 1PO, tensión media transportada 510-1050Vatios; 72 postes de altura de 12 metros, estructura tipo 1PO, tensión medios transportada 510-1050Vatios y 2 postes de altura de 14 metros, estructura tipo 1PO, tensión media transportada 510-1050Vatios. Tienen origen en las subestaciones de transformación de energía y reparten la energía en la urbanización mediante anillos que rodean el centro de consumo hasta llegar a las estaciones transformadoras de distribución: los Transformadores (arquetipo puntualizado el [Anexo E.2.3](#)).

FIGURA 5.12 RED TELEFÓNICA

FIGURA 5.13 RED DE GAS NATURAL

FIGURA 5.14 RED DE ENERGÍA ELÉCTRICA

5.2 COBERTURA Y USOS DEL SUELO

El levantamiento de la cobertura y uso del suelo puede definirse como el análisis y la clasificación de los diferentes componentes del medio en superficie y de los usos asociados que el hombre practica en un espacio determinado. La COBERTURA es un elemento integrante del paisaje y junto con la geoforma constituyen su expresión visible, y el USO es el empleo que el hombre da a los diferentes tipos de cobertura, ya sea de forma cíclica o permanente, para satisfacer sus necesidades. Es evidente que las características del uso del suelo son el resultado de la interrelación entre los factores físicos o naturales y los factores culturales o humanos.

5.2.1 MÉTODO DE TRABAJO

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

En el presente estudio se utiliza el sistema de clasificación de uso y cobertura del suelo CIAF, éste sistema es análogo al propuesto por el ITC, pero se diferencia de él en que fija criterios de jerarquización de clases correspondientes a categorías menores de manera que sean congruentes con las escalas de trabajo (Vargas, 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, o directamente en campo. La clasificación involucra cuatro niveles de jerarquización que van de lo general a lo detallado (Vargas, 1992) 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 5.11 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: el de detalle, exclusivamente apoyado en cartografía directa (i.e. con trabajo de campo).

Dentro de la recolección de información secundaria no existen estudios detallados de usos y coberturas de suelo en la Urbanización Santa Rosa. No obstante, la secretaria distrital del habita hizo entrega del polígono de Monitoreo 075, el Quindío, localizado al norte y al oriente de la Urbanización, creado en el año 2008 y que se encuentra catalogado con prioridad de prevención, y el acueducto suministro el polígono de la ronda hídrica de la Quebrada Los Toches o el Paseito al Norte de la Urbanización. Los polígonos mencionados se presentan en la Plano 7.

5.2.2 CLASIFICACIÓN DEL USO Y COBERTURA DEL SUELO

La morfología natural en San Cristóbal, en la urbanización ciudadela Santa Rosa ha sido alterada por la intervención del hombre; en sus casi seis (6) hectáreas ha tenido lugar la explotación minera informal y la construcción sobre los cuerpos de agua, transcriben los rasgos más relevantes de la configuración paisajística hoy día. La cobertura, entendida como los atributos de la superficie del terreno, está integrada por seis componentes: vegetación herbácea, en su mayoría arbustiva (retamo espinoso), tierras eriales, propias de afloramientos rocosos masivos, particularmente areniscas, cuerpos de agua naturales, enmarcados por la microcuenca de la quebrada denominada Los Toches o Paseito, bosques o montes naturales, cultivos confinados de horticultura, y obras humanas, estas últimas como elementos trascendentes.

TABLA 5.11 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	INTEGRA LAS VIVIENDAS ASENTADAS ENTRE LOS AÑOS 1994 Y 2000. LAS EDIFICACIONES FORMALES SON DE DOS PISOS, APARTAMENTOS DE TRES PISOS Y CASAS INFORMALES HASTA DE 3 PISOS.
		2. EDUCATIVOS	HOGARES DE ICBF.
		3. COMERCIAL	CONGREGA TIENDAS, PANADERÍAS, VENTAS DE COMIDA RÁPIDA, PAPELERÍAS.
		4. COMERCIAL INVADIDO	AGRUPA LOS LOCALES UBICADOS EN LA ENTRADA DE LA URBANIZACIÓN
		5. RECREATIVO	CONJUGA LA CANCHA DE BALONCESTO ASENTADA AL NORTE DE LA PARROQUIA MADRE DEL DIVINO AMOR Y EL PARQUE SITUADO EN LA ENTRADA DE LA URBANIZACIÓN.
		6. TRANSPORTE COMUNICACIÓN, SERVICIOS PÚBLICOS	AGRUPA LAS VÍAS PEATONALES Y VEHICULARES, DOS PRINCIPALES Y ALGUNAS SECUNDARIAS, ADOQUINADAS EN PAVIMENTO RÍGIDO A EXCEPCIÓN DE LA CARRERA 18 ESTE.
		7. DOTACIONAL	HACE REFERENCIA AL SALÓN COMUNAL DE LA PARROQUIA MADRE DEL DIVINO AMOR Y UN SEGUNDO UBICADO AL NORTE DE ESTA.
II. CULTIVOS Y PARCELAS	A. CONFINADOS	1. HORTICULTURA	CILANTRO, LECHUGA, ESPINACA, HACELGA, KALE, ZANAHORIA, PAPA, TOMATE, AROMÁTICAS (CALÉNDULA, MENTA Y PEREJIL).
III. VEGETACIÓN HERBÁCEA	A. PASTIZALES	1. HERBÁCEOS	SON LOS ESPACIOS CUBIERTOS POR EL RASTROJO BAJO Y POR LOS PASTOS NATURALES.
		2. ARBUSTIVOS	DOMINA EL RETAMO ESPINOSO QUE ABARCA LOS COSTADOS NORTE Y ORIENTAL DE LA URBANIZACIÓN, ACOMPAÑADOS DE PASTOS PERO POR SU MAYOR DOMINIO ESPACIAL Y ALTIMÉTRICO SE CLASIFICAN EN ESTE NIVEL.
IV. BOSQUES O MONTES	A. NATURAL	1. LATIFOLIADAS	ESPECIES DE EUCALIPTO, ACACIA Y SAUCO
V. CUERPOS DE AGUA	A. SUPERFICIES LIBRES	1. NATURAL	QUEBRADA LOS TOCHES, LOCALIZADA EN EL NORTE DE LA URBANIZACIÓN
		2. BORRADOS	INCLUYE LOS CUERPOS DE AGUA BORRADOS
VI. TIERRAS ERIALES	A. ROCA EXPUESTA	1. MASIVOS	FRENTE DE ARENISCAS ADOSADO A LA CARREA 17ª ESTE CON CALLE 41 B SUR.

El uso es esencialmente urbano. Calles vehiculares pavimentadas, accesos peatonales, construcciones formales e informales, unifamiliares y multifamiliares, hogares del ICBF, y corredores comerciales asentados desde los años 1994 y 2000, y algunos espacios de recreación, moldeados por una cancha de baloncesto y por juegos infantiles, dan el matiz dominante al medio. Los predios cimentados en las franjas de amenaza media y alta por fenómenos de remoción en masa (dictamen emanado del plano normativo del POT, pero ajeno a los hallazgos de este estudio), y la sentencia proferida por el Tribunal Administrativo de Cundinamarca el 12 de marzo de 2004, en la que promulga que "dadas las características del terreno donde la urbanización se levanta, correspondiente al nivel de alto riesgo, la potencialidad del riesgo es cierto, inminente y grave.", enmarcan la llamativa muestra de la problemática del sector.

La cobertura vegetal como recurso exhibe una función estrictamente parcial y su despliegue es muy limitado: hay pequeñas parcelas de cultivos de lechuga, brócoli, repollo, arveja, habas, frijol, cebolla larga, cilantro, papa, uchuva y aromáticas. En contraposición, los pastizales, incluida la cubierta arbustiva (en particular el retamo espinoso), mezclados con basuras y desechos, son, a lo largo de la urbanización y de la vertiente derecha de la subcuenca, el manto reinante. El Conflicto de uso, resultado de la diferencia entre el uso que el hombre da al medio natural y el que debería tener, es, en este contexto, patente e ineludible, tanto así que de las 5,46 hectáreas, que debieron conservarse bien para recreación pasiva o bien para recuperación, se destinaron a la formalización de la urbanización ciudadela. A lo anterior se le suma el generoso tramado de redes de agua potable y servida que se desempeñan como factores contribuyentes o detonantes de los procesos de inestabilidad, al aumentar la cabeza de presión y al reblandecer los materiales. Componentes, al igual que la participación de las edificaciones, que se incorporan en la evaluación de la amenaza, o como cargas, o en los parámetros de resistencia de los materiales (i. e. en la cohesión y en el ángulo de fricción), o en la tabla de agua, o en el periodo de recurrencia de la lluvia crítica.



**Diseño Detallado de Obras de Mitigación de Riesgo por
Movimientos en Masa en la Urbanización Ciudadela
Santa Rosa Localidad de San Cristóbal en Bogotá D. C**



CLASIFICADO

**Diseño Detallado de Obras de Mitigación de Riesgo por Movimientos en Masa en la Urbanización
Ciudadela Santa Rosa Localidad de San Cristóbal en Bogotá D. C**

**Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático
IDIGER**

**Diagonal 47 N° 77A-09 Interior 11.
PBX 4292801.
www.idiger.gov.co
Bogotá- Colombia**

Consorcio Santa Rosa.

Contrato N°471 de 2017

**Volumen 1 – Informe Final
Parte 2 (pp. 112- 212) de 2 partes**

**TEXTO
ORIGINAL**

Noviembre de 2019

De acuerdo con el Artículo 20 de la Ley 23 de 1982, modificado por el Artículo 28 de la Ley 1450 de 2011, los Derechos de Autor pertenecen al IDIGER. La solicitud para reproducir este documento parcial o totalmente, se debe dirigir por escrito al director del IDIGER.

ÍNDICE DE MODIFICACIONES

VERSIÓN	SECCIÓN MODIFICADA	FECHA DE MODIFICACIÓN	OBSERVACIONES
0			

HOJA DE CONTROL

ENTIDAD	RESPONSABLE	EJEMPLARES
IDIGER	SUPERVISOR	ORIGINAL

ESTADO DE REVISIÓN Y APROBACIÓN

Aprobado por (Director de Consultoría):	Jairo A. Lozano. G.
Firma:	
Fecha:	Noviembre de 2019
Aprobado por (Supervisión):	IDIGER
Firma:	
Fecha:	Noviembre de 2019

TABLA DE CONTENIDO

6.1	GENERALIDADES	218
6.2	CLASIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA BÁSICA	219
6.2.1	CUENCA Y PROVINCIA HIDROGEOLÓGICA	219
6.2.2	DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS	219
6.2.3	PUNTOS DE OBSERVACIÓN	223
6.2.3.1	RED DE PIEZÓMETROS: PREMISAS DE DISEÑO	223
6.2.3.2	POZOS EXPLORATORIOS	224
6.2.3.3	CABEZA PIEZOMÉTRICA	225
6.2.4	CARACTERÍSTICAS DE FLUJO	231
6.2.5	RELEVAMIENTO DE PUNTOS DE AGUA	233
6.2.6	PRUEBAS DE BOMBEO	233
6.2.7	PRUEBAS FÍSICOQUÍMICAS Y BACTERIOLÓGICAS	233
6.3	MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL	236
6.3.1	RECARGAS Y DESCARGAS NATURALES	238
6.3.2	PROSPECCIÓN GEOFÍSICA	239
6.3.3	OBSERVACIONES EN TIEMPO SECO Y LLUVIOSO	239
6.3.4	SISTEMA DE FLUJO	239
6.3.5	PROSPECTIVA DE LA MODELACIÓN NUMÉRICA	240
6.4	MODELO NUMÉRICO DISTRIBUIDO	240
6.4.1	PROPIEDADES HIDRÁULICAS E HIDROGEOLÓGICAS	243
6.4.2	CONDICIONES DE FRONTERA	244
6.4.3	ANÁLISIS DE FLUJO: ELEMENTOS FINITOS	246
6.4.4	RESULTADOS	247
6.4.5	CRITERIOS PARA EL MANEJO DEL FLUJO SUBSUPERFICIAL	253
6.5	CONCLUSIONES	254

7.1	AUSCULTACIÓN DE LOS PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA Y DE EROSIÓN	263
7.1.1	PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA	264
7.1.2	PROCESOS DE EROSIÓN	274
7.2	ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE ESTABILIDAD	276
7.2.1	HIPÓTESIS DE TRABAJO	276
7.2.1.1	PARÁMETROS DE RESISTENCIA	277
7.2.1.2	MECANISMOS DE FALLA	281
7.2.1.3	EVENTOS DETONANTES	283
7.2.1.4	MODELACIÓN DE ESTABILIDAD	285
7.2.2	EVALUACIÓN DE LA AMENAZA	286
7.2.2.1	CONSIDERACIONES	286
7.2.2.2	ANÁLISIS DE RESULTADOS	286
7.2.3	ZONIFICACIÓN DE AMENAZA	304
8.1	MÉTODO DE EVALUACIÓN	307
8.1.1	MÉTODO DE EVALUACIÓN	307
8.1.2	CRITERIOS APLICADOS	308
8.1.2.1	INFORMACIÓN PRIMARIA	311
9.1	INTRODUCCIÓN	315
9.2	ALTERNATIVAS	316
9.2.1	ALTERNATIVA 1: REASENTAMIENTO (PARCIAL)	316
9.2.2	ALTERNATIVA 2: DRENAJE Y SUBDRENAJE	316
9.2.3	ALTERNATIVA 3: CONFINAMIENTO Y SUBDRENAJE	317
9.2.4	ALTERNATIVA 4: REFORZAMIENTO Y SUBDRENAJE	317
9.3	AMENAZA Y RIESGO FUTUROS (AMENAZA Y RIESGO CON OBRAS)	318
9.4	DECISIÓN BAJO INCERTIDUMBRE: COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS	331
9.5	PLAN DE ACCIÓN	343
9.5.1	PERSPECTIVA Y DIRECTRIZ	343
9.5.2	DIAGNÓSTICO PREDIAL	344
10.1	CRITERIOS BÁSICOS	348

10.2	DISEÑO GEOTÉCNICOS _____	349
10.2.1	TRINCHERAS DRENANTES _____	349
10.2.2	DRENES HORIZONTALES _____	355
10.2.3	PANTALLAS DE MICROPILOTES _____	355
10.2.4	PERFILADO _____	362
10.3	DISEÑOS ESTRUCTURALES _____	363
10.4	DISEÑOS HIDRÁULICOS _____	363
10.4.1	OBRAS PROPUESTAS _____	364
10.4.2	DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES DE DISEÑO _____	364
10.4.3	MANTENIMIENTO Y RECONSTRUCCIÓN DE LA RED DE DRENAJE SUPERFICIAL _____	366
10.4.4	RECONSTRUCCIÓN DE LA RED DE ALCANTARILLADO: MANZANA 71 _____	367
10.4.5	MANTENIMIENTO Y LIMPIEZA DE SUMIDEROS, REJILLAS Y POZOS _____	368
10.4.6	OTROS ASPECTOS _____	369
10.5	CANTIDADES DE OBRA, PRESUPUESTO Y CRONOGRAMA _____	369
10.6	PROCESOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN _____	370
10.7	PLANES DE GESTIÓN: SOCIAL Y AMBIENTAL _____	371
10.8	PLAN DE MANTENIMIENTO _____	373
10.9	POBLACIÓN BENEFICIADA _____	374
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS _____	379

LISTA DE TABLAS

TABLA 6.1	CLASIFICACIÓN DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS DE ACUERDO CON SU COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO_____	220
TABLA 6.2	CLASIFICACIÓN GENERAL DE LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS _____	221
TABLA 6.3	UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DE LA URBANIZACIÓN CIUDADELA SANTA ROSA _____	222
TABLA 6.4	LECTURA PIEZOMÉTRICAS: SONDEOS _____	226
TABLA 6.5	LECTURA PIEZOMÉTRICAS: SONDEOS (CONTINUACIÓN] _____	227
TABLA 6.6	MONITOREO DE PIEZÓMETROS_____	228
TABLA 6.7	VALORES MÍNIMOS Y MÁXIMOS DEL MONITOREO DE PIEZÓMETROS _____	231
TABLA 6.8	PRECIPITACIÓN DE LA ESTACIÓN MORALBA_____	232
TABLA 6.9	ENSAYOS PRACTICADOS EN LOS POZOS _____	234
TABLA 6.10	ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DE AGUA _____	235
TABLA 6.11	PROFUNDIDADES DEL CARGA HIDRÁULICA PARA LOS ESTADIOS NORMAL Y CRÍTICO.____	248
TABLA 7.1	PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE LOS MATERIALES _____	282
TABLA 7.2	PROBABILIDADES DE AGENTES EXÓGENOS _____	285
TABLA 7.3	ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD: DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES _____	288
TABLA 7.4	ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD: DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES (CONTINUACIÓN)_____	289
TABLA 7.5	ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD: DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES (CONTINUACIÓN)_____	290
TABLA 7.6	ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD: DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES (CONTINUACIÓN)_____	291
TABLA 7.7	ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD: DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES (CONTINUACIÓN)_____	292
TABLA 7.8	ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD: FALLA PLANAR INFINITA _____	293
TABLA 7.9	ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD: FALLA PLANAR INFINITA (CONTINUACIÓN)____	294
TABLA 7.10	ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD: MACIZO ALTERADO_____	295
TABLA 7.11	RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL: DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES _____	296

TABLA 7.12	RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL: DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES _____	297
TABLA 7.13	RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL: DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES _____	298
TABLA 7.14	RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL: DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES _____	299
TABLA 7.15	RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL: FALLA PLANAR INFINITA _____	300
TABLA 7.16	RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL: FALLA PLANAR INFINITA (CONTINUACIÓN) _____	301
TABLA 7.17	RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL: MACIZO ALTERADO _____	302
TABLA 7.18	CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA (ADAPTADO DE GONZÁLEZ Y MILLÁN, 1999) _____	305
TABLA 8.1	EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE RESPUESTA DE LA EDIFICACIÓN _____	309
TABLA 8.2	CALIFICACIÓN PARA LA VARIABLE: SISTEMA ESTRUCTURAL _____	309
TABLA 8.3	CALIFICACIÓN PARA LA VARIABLE: PARTES ESTRUCTURALES _____	309
TABLA 8.4	CALIFICACIÓN DEL NIVEL DE DAÑO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES _____	310
TABLA 8.5	CALIFICACIÓN PARA LA VARIABLE: CALIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN _____	310
TABLA 8.6	CALIFICACIÓN PARA LA VARIABLE: SISTEMA DE CIMENTACIÓN _____	310
TABLA 8.7	CALIFICACIÓN PARA LA VARIABLE: DAÑO EN TODA LA CONSTRUCCIÓN (TOMADO Y ADAPTADO DE DAY, 1999) _____	311
TABLA 8.8	EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD Y RIESGO ACTUAL _____	314
TABLA 9.1	RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LAS PROBABILIDADES CONDICIONALES DE FALLA: ALTERNATIVA 2, DRENAJE Y SUBDRENAJE _____	332
TABLA 9.2	RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LAS PROBABILIDADES CONDICIONALES DE FALLA: ALTERNATIVA 2, DRENAJE Y SUBDRENAJE (CONTINUACIÓN) _____	333
TABLA 9.3	RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LAS PROBABILIDADES CONDICIONALES DE FALLA: ALTERNATIVA 2, DRENAJE Y SUBDRENAJE (CONTINUACIÓN) _____	334

TABLA 9.4	RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LAS PROBABILIDADES CONDICIONALES DE FALLA: ALTERNATIVA 3, CONTENCIÓN Y SUBDRENAJE_____	335
TABLA 9.5	RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LAS PROBABILIDADES CONDICIONALES DE FALLA: ALTERNATIVA 3, CONTENCIÓN Y SUBDRENAJE (CONTINUACIÓN)_____	336
TABLA 9.6	RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LAS PROBABILIDADES CONDICIONALES DE FALLA: ALTERNATIVA 4, REFORZAMIENTO Y SUBDRENAJE_____	337
TABLA 9.7	RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LAS PROBABILIDADES CONDICIONALES DE FALLA: ALTERNATIVA 4, REFORZAMIENTO Y SUBDRENAJE (CONTINUACIÓN)_____	338
TABLA 9.8	PRESUPUESTO COMPARATIVO _____	340
TABLA 9.9	CONTRASTACIÓN DE ALTERNATIVAS _____	341
TABLA 9.10	CONTRASTACIÓN DE ALTERNATIVAS (CONTINUACIÓN) _____	342
TABLA 10.1	ALTURA CRÍTICA Y FACTORES DE SEGURIDAD PARA LAS ZANJAS DE EXCAVACIÓN _____	350
TABLA 10.2.	CÁLCULO DE LA ESTABILIDAD DE FONDO PARA LAS EXCAVACIONES _____	351
TABLA 10.3	CÁLCULO DE PRESIONES PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE ENTIBADOS _____	353
TABLA 10.4	MÓDULOS DE REACCIÓN: PROCESO 2_____	358
TABLA 10.5	MÓDULOS DE REACCIÓN: PROCESO 3 _____	360
TABLA 10.6.	MÓDULOS DE REACCIÓN: PROCESO 4 _____	361
TABLA 10.7	CÁLCULO DE PRESIÓN PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE ENTIBADOS _____	365
TABLA 10.8	PROVEEDORES _____	370
TABLA 10.9	CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO _____	371
TABLA 10.10.	CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO (CONTINUACIÓN)_____	372
TABLA 10.11.	CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO (CONTINUACIÓN)_____	373
TABLA 10.12	PLAN DE MANTENIMIENTO DE OBRAS _____	373

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 6.1	PIEZÓMETRO Pz-1 (S-1*) _____	229
FIGURA 6.2	PIEZÓMETRO Pz-5 (S-5*) _____	229

FIGURA 6.3	PIEZÓMETRO PZ-6 (S-6*) _____	230
FIGURA 6.4	PIEZÓMETRO PZ-8 (S-8*) _____	230
FIGURA 6.5	INCIDENCIA ENTRE LA PRECIPITACIÓN DIARIA ACUMULADA Y DE LA CABEZA PIEZOMÉTRICA _____	246
FIGURA 6.6	VARIACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL CON EL TIEMPO _____	247
FIGURA 6.7	VARIACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL CON EL TIEMPO-ESTACIÓN VITELMA. _____	248
FIGURA 6.8	MODELO DE ELEMENTOS FINITOS Y FRONTERAS PARA LAS SECCIONES 1-1' _____	249
FIGURA 6.9	MODELO DE ELEMENTOS FINITOS Y FRONTERAS PARA LAS SECCIONES 2-2' _____	249
FIGURA 6.10	MODELO DE ELEMENTOS FINITOS Y FRONTERAS PARA LAS SECCIONES 3-3' _____	250
FIGURA 6.11	MODELO DE ELEMENTOS FINITOS Y FRONTERAS PARA LAS SECCIONES 4-4' _____	250
FIGURA 6.12	MODELO DE ELEMENTOS FINITOS Y FRONTERAS PARA LAS SECCIONES 5-5' _____	251
FIGURA 6.13	MODELO DE ELEMENTOS FINITOS Y FRONTERAS PARA LAS SECCIONES 6-6' _____	251
FIGURA 6.14	SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA PARA LAS CONDICIONES NORMAL Y EXTREMA: SECCIÓN 1- 1' _____	255
FIGURA 6.15	SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA PARA LA CONDICIÓN NORMAL Y EXTREMA: SECCIÓN 2-2' _____	256
FIGURA 6.16	SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA PARA LA CONDICIÓN NORMAL Y EXTREMA: SECCIÓN 3-3' _____	257
FIGURA 6.17	SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA PARA LA CONDICIÓN NORMAL Y EXTREMA: SECCIÓN 4-4' _____	258
FIGURA 6.18	SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA PARA LA CONDICIÓN NORMAL Y EXTREMA: SECCIÓN 5-5' _____	259
FIGURA 6.19	SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA PARA LA CONDICIÓN NORMAL Y EXTREMA: SECCIÓN 6-6' _____	260
FIGURA 7.1	PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA Y DE EROSIÓN CONCENTRADA: CIUDADELA SANTA ROSA _____	266
FIGURA 7.2	AÑO 2000: EXPRESIONES MORFOLÓGICAS Y MORFODINÁMICAS _____	267
FIGURA 7.3	AÑO 2009: PROCESOS MORFODINÁMICOS _____	267
FIGURA 7.4	AÑO 2009: EVOLUCIÓN MORFODINÁMICA EN EL NORORIENTE DE LA MICROCUENCA _____	268
FIGURA 7.5	AÑO 2013: EVOLUCIÓN MORFODINÁMICA EN EL NORORIENTE DE LA CIUDADELA _____	268
FIGURA 7.6	AÑO 2016: APARIENCIA Y TRANSFORMACIÓN DEL EVENTO PRINCIPAL _____	269
FIGURA 7.7	ENVOLVENTE DE LARSON, QRA1 _____	278
FIGURA 7.8	ENVOLVENTE DE LARSON, TPB-L _____	279
FIGURA 7.9	RETROANÁLISIS: DESLIZAMIENTO DT-001-AA (SECCIÓN 1-1', TOMADO DE GIA, 2009) _____	279

FIGURA 9.1	ALTERNATIVA 1: REASENTAMIENTO PARCIAL_____	319
FIGURA 9.2	ALTERNATIVA 2: DRENAJE Y SUBDRENAJE _____	320
FIGURA 9.3	DETALLES DE LA ALTERNATIVA 2: DRENAJE Y SUBDRENAJE_____	321
FIGURA 9.4	DETALLES DE LA ALTERNATIVA 2: DRENAJE Y SUBDRENAJE_____	322
FIGURA 9.5	ALTERNATIVA 3: CONTENCIÓN Y SUBDRENAJE _____	323
FIGURA 9.6	DETALLES DE LA ALTERNATIVA 3: CONTENCIÓN Y SUBDRENAJE _____	324
FIGURA 9.7	DETALLES DE LA ALTERNATIVA 3: CONTENCIÓN Y SUBDRENAJE _____	325
FIGURA 9.8	ALTERNATIVA 4: REFORZAMIENTO Y SUBDRENAJE _____	326
FIGURA 9.9	DETALLES DE LA ALTERNATIVA 4: REFORZAMIENTO Y SUBDRENAJE _____	327
FIGURA 9.10	DETALLES DE LA ALTERNATIVA 4: REFORZAMIENTO Y SUBDRENAJE _____	328
FIGURA 10.1.	ESQUEMA GENERAL DEL ENTIBADO TIPO ED-1 _____	352
FIGURA 10.2.	DIAGRAMA DE PRESIONES PARA EL DISEÑO Y VERIFICACIÓN ESTRUCTURAL DE LOS ENTIBADOS_____	354
FIGURA 10.3	CARTAS DE EVALUACIÓN DE CAPACIDAD DE CARGA LATERAL PARA PILOTES CORTOS Y LARGOS RESPECTIVAMENTE _____	357

LISTA DE PLANOS

PLANO 1	LOCALIZACIÓN
PLANO 2A	MAPA BASE: LEVANTAMIENTO CONVENCIONAL
PLANO 2B	MAPA BASE: LEVANTAMIENTO UAV
PLANO 3	GEOLOGÍA REGIONAL
PLANO 4	GEOLOGÍA LOCAL
PLANO 4A	MODELOS GEOLÓGICOS - GEOTÉCNICOS
PLANO 4B	MODELOS GEOLÓGICOS – GEOTÉCNICOS
PLANO 4C	MODELOS GEOLÓGICOS - GEOTÉCNICOS
PLANO 5	GEOMORFOLOGÍA
PLANO 6	ZONAS HOMOGÉNEAS
PLANO 7	COBERTURA Y USOS DEL SUELO
PLANO 8	HIDROGEOLOGÍA

PLANO 8A	SISTEMA DE FLUJO
PLANO 8B	LOCALIZACIÓN DE MODELOS HIDROGEOLÓGICOS: LÍNEAS PIEZOMÉTRICAS
PLANO 8C	LÍNEAS PIEZOMÉTRICAS
PLANO 8D	LÍNEAS PIEZOMÉTRICAS
PLANO 10	AMENAZA CON OBRAS
PLANO 11	LOCALIZACIÓN GENERAL DE OBRAS
PLANO 12	DISEÑOS HIDRÁULICOS: PERFILES
PLANO 13	DISEÑOS HIDRÁULICOS: DETALLES
PLANO 14	DISEÑOS HIDRÁULICOS: ZONA DE CAMBIO Y REPARACIÓN ALCANTARILLADO
PLANO 15	DRENES HORIZONTALES
PLANO 16	PANTALLAS DE PILOTES PP1, PP2 Y PP3
PLANO 17	PANTALLAS DE PILOTES PP4, PP5, PP6 Y PP7
PLANO 18	PANTALLAS DE PILOTES PP8, PLP9 Y PP10
PLANO 19	RECONFORMACIÓN GEOMÉTRICA LADERA
PLANO 20	RECONFORMACIÓN GEOMÉTRICA LADERA
PLANO 21	PANTALLA DE PILOTES 1-PP1: PLANTA DE LOCALIZACIÓN – PERFIL – CORTES - CUADRO GENERAL DE CANTIDADES
PLANO 22	PANTALLA DE PILOTES 1-PP1: PLANTA – CORTES – PILOTE - DIMENSIONES Y REFUERZO
PLANO 23	PANTALLA DE PILOTES 2-PP2: PLANTA DE LOCALIZACIÓN – PERFIL – CORTES - CUADRO GENERAL DE CANTIDADES
PLANO 24	PANTALLA DE PILOTES 2-PP2: PLANTA – CORTES – PILOTE - DIMENSIONES Y REFUERZO
PLANO 25	PANTALLA DE PILOTES 3-PP3: PLANTA DE LOCALIZACIÓN – PERFIL – CORTES - CUADRO GENERAL DE CANTIDADES
PLANO 26	PANTALLA DE PILOTES 3-PP3: PLANTA – CORTES – PILOTE - DIMENSIONES Y REFUERZO
PLANO 27	PANTALLA DE PILOTES 4-PP4: PLANTA DE LOCALIZACIÓN – PERFIL – CORTES - CUADRO GENERAL DE CANTIDADES

PLANO 28	PANTALLA DE PILOTES 4-PP4: PLANTA – CORTES – PILOTE - DIMENSIONES Y REFUERZO
PLANO 29	PANTALLA DE PILOTES 5-PP5: PLANTA DE LOCALIZACIÓN – PERFIL – CORTES - CUADRO GENERAL DE CANTIDADES
PLANO 30	PANTALLA DE PILOTES 5-PP5: PLANTA – CORTES – PILOTE - DIMENSIONES Y REFUERZO
PLANO 31	PANTALLA DE PILOTES 6-PP6: PLANTA DE LOCALIZACIÓN – PERFIL – CORTES - CUADRO GENERAL DE CANTIDADES
PLANO 32	PANTALLA DE PILOTES 6-PP6: PLANTA – CORTES – PILOTE - DIMENSIONES Y REFUERZO
PLANO 33	PANTALLA DE PILOTES 7-PP7: PLANTA DE LOCALIZACIÓN – PERFIL – CORTES - CUADRO GENERAL DE CANTIDADES
PLANO 34	PANTALLA DE PILOTES 7-PP7: PLANTA – CORTES – PILOTE - DIMENSIONES Y REFUERZO
PLANO 35	PANTALLA DE PILOTES 8-PP8: PLANTA DE LOCALIZACIÓN – PERFIL – CORTES - CUADRO GENERAL DE CANTIDADES
PLANO 36	PANTALLA DE PILOTES 8-PP8: PLANTA – CORTES – PILOTE - DIMENSIONES Y REFUERZO
PLANO 37	PANTALLA DE PILOTES 9-PP9: PLANTA DE LOCALIZACIÓN – PERFIL – CORTES - CUADRO GENERAL DE CANTIDADES
PLANO 38	PANTALLA DE PILOTES 9-PP9: PLANTA – CORTES – PILOTE - DIMENSIONES Y REFUERZO
PLANO 39	PANTALLA DE PILOTES 10-PP10: PLANTA DE LOCALIZACIÓN – PERFIL – CORTES - CUADRO GENERAL DE CANTIDADES
PLANO 40	PANTALLA DE PILOTES 10-PP10: PLANTA – CORTES – PILOTE - DIMENSIONES Y REFUERZO
PLANO 41	ESTRUCTURA DE DESARENADORES SUBDREN 1 Y 3
PLANO 42	ESTRUCTURA DE DESARENADORES SUBDREN 2
PLANO 43	ESTRUCTURA DE ENTREGA DE CUNETAS A POZO PZ-140: DETALLES – SECCIÓN TÍPICA SUBDREN 1 –DIMENSIONES Y REFUERZO

PLANO 44 ESTRUCTURA DE CAÍDA TÍPICA – DETALLE DE CUNETA TIPO – DIMENSIONES Y REFUERZO

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A DIAGNÓSTICOS

- ANEXO A.1 DIAGNÓSTICOS
- ANEXO A.2 FICHAS DE SÍNTESIS
- ANEXO A.3 CORRESPONDENCIA

ANEXO B TOPOGRAFÍA

- ANEXO B.1 CARTERA ELECTRÓNICA
- ANEXO B.2 COORDENADAS Y CIERRE
- ANEXO B.3 AMOJONAMIENTO
- ANEXO B.4 CERTIFICADOS
- ANEXO B.5 FOTOGRAFÍAS Y VIDEO DE RECORRIDO
- ANEXO B.6 ARCHIVOS DE CONTROL O GCPS
- ANEXO B.7 PLAN DE VUELO
- ANEXO B.8 MDS, MDT Y ORTOMOSAICO

ANEXO C GEOLOGIA Y GEOMORFOLOGÍA

- ANEXO C.1 LEVANTAMIENTO ESTRUCTURAL
- ANEXO C.2 INVENTARIO DE PROCESOS

ANEXO D GEOTECNIA

- ANEXO D.1 EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO
 - ANEXO D.1.1 CSR (2018)
 - ANEXO D.1.1.1 APIQUES
 - ANEXO D.1.1.2 SONDEOS
 - ANEXO D.1.1.3 LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICA - LRS
 - ANEXO D.1.1.4 SEV Y TOMOGRAFÍAS
 - ANEXO D.1.1.5 REGISTRO FOTOGRÁFICO
 - ANEXO D.1.2 OTROS CONSULTORES

- ANEXO D.2 ENSAYOS DE LABORATORIO
 - ANEXO D.2.1 CSR (2018)
 - ANEXO D.2.2 OTROS CONSULTORES
- ANEXO E HIDROLOGIA Y USO DEL SUELO
 - ANEXO E.1 HIDROLOGÍA
 - ANEXO E.1.1 PARÁMETROS CLIMÁTICOS
 - ANEXO E.1.2 REGISTRO PLUVIOMÉTRICO
 - ANEXO E.1.3 DISTRIBUCIÓN DE INTENSIDAD Y PRECIPITACIÓN
 - ANEXO E.1.4 CÁLCULO DE LA PENDIENTE PONDERADA
 - ANEXO E.1.5 ESQUEMA DE LOCALIZACIÓN Y SECCIONES TRANSVERSALES
 - ANEXO E.2 REDES
 - ANEXO E.2.1 RED SANITARIA Y PLUVIAL
 - ANEXO E.2.1.1 RED SANITARIA
 - ANEXO E.2.1.2 RED FLUVIAL
 - ANEXO E.2.2 CÁMARAS ETB
 - ANEXO E.2.3 INVENTARIO DE POSTES
- ANEXO F HIDROGEOLOGIA**
 - ANEXO F.1 PROVINCIA HIDROGEOLÓGICA
 - ANEXO F.2 DATOS DE PRECIPITACIÓN
 - ANEXO F.3 REPORTE DE LLUVIAS
 - ANEXO F.4 ENSAYOS FISICO-QUÍMICOS
- ANEXO G AMENAZA**
 - ANEXO G.1 ANÁLISIS PARAMÉTRICO
 - ANEXO G.1.1 ESTADÍSTICA DESCRIPTIVA
 - ANEXO G.1.2 ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD
 - ANEXO G.1.3 MACIZO ROCOSO: VARIABILIDAD
 - ANEXO G.2 CALIBRACIÓN
 - ANEXO G.3 SUPERFICIES CRÍTICAS
 - ANEXO G.3.1 RELLENOS SUPERFICIES ROTACIONALES

ANEXO G.3.2 SUELO RESIDUAL SEMIINFINITO

ANEXO G.3.3 MACIZO POBRE

ANEXO G.3.4 MACIZO REGULAR

ANEXO G.4 FS Y PR DE FALLA: OTROS MECANISMOS

ANEXO G.4.1 RELLENOS SUPERFICIES ROTACIONALES

ANEXO G.4.2 SUELO RESIDUAL SEMIINFINITO

ANEXO G.4.3 MACIZO POBRE

ANEXO G.4.4 MACIZO REGULAR

ANEXO G.5 DISTANCIAS DE VIAJE

ANEXO G.6 EVALUACIÓN DE AMENAZA

ANEXO H VULNERABILIDAD

ANEXO H.1 INSUMOS

ANEXO H.1.1 INSTRUCTIVO

ANEXO H.1.2 FORMATO

ANEXO H.2 INVENTARIO DE VIVIENDAS

ANEXO H.3 REGISTRO FOTOGRÁFICO

ANEXO I ALTERNATIVAS

ANEXO I.1 PREDISEÑO ALTERNATIVAS

ANEXO I.2 AMENAZA CON OBRAS

ANEXO I.3 CANTIDADES DE OBRA

ANEXO I.4 APUS DE REFERENCIA

ANEXO J VIABILIDAD PREDIAL

ANEXO J.1 PROYECCIÓN URBANÍSTICA

ANEXO J.2 DISTRIBUCIÓN CATASTRAL

ANEXO J.2.1 OFICIOS

ANEXO J.2.2 DISTRIBUCIÓN CATASTRAL

ANEXO J.3 CONCEPTOS PREDIALES

ANEXO J.3.1 CERTIFICADO DE BIENES

ANEXO J.3.2 PREDIOS TRANSFERENCIA DADEP

ANEXO J.3.3 SENTENCIAS

ANEXO J.4 CERTIFICADO DE TRADICIÓN Y LIBERTAD

ANEXO J.5 ESTUDIO TÍTULOS

ANEXO K ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

ANEXO K.1 ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

ANEXO K.2 CONST: CAMPAMENTO

ANEXO K.3 LOCALIZACIÓN REDES SUBTERRÁNEAS

ANEXO L DISEÑOS

ANEXO L.1 MEMORIAS DE CÁLCULO GEOTÉCNICO

ANEXO L.2 DISEÑO ESTRUCTURAL

ANEXO L.3 DISEÑO HIDRÁULICO

ANEXO L.4 PRESUPUESTO

ANEXO L.4.1 APU Y CANTIDADES DE OBRA

ANEXO L.4.2 ESTUDIO DE MERCADOS

ANEXO L.5 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES Y FLUJO MENSUAL

ANEXO L.6 MANUAL DE DETALLES Y PROCESOS CONSTRUCTIVOS

ANEXO M PGS - PMA - PMT

ANEXO M.1 PLAN DE GESTIÓN SOCIAL

ANEXO M.2 PLAN DE MANEJO AMBIENTAL

ANEXO M.3 PLAN DE MANEJO DE TRÁNSITO

CAPÍTULO 6

HIDROGEOLOGÍA

HIDROGEOLOGÍA

“...En opinión de algunos autores la Sabana de Bogotá es una cuenca hidrogeológica “cerrada”, completamente saturada y por consiguiente los acuíferos no reciben la recarga, en particular el del Grupo Guadalupe (Rodríguez, 1994). Otros afirman que se está sacando más agua de la que se está recargando, llevando la cuenca a una sobreexplotación y que hay desconocimiento inaceptable de la hidrogeología (Álvarez, 1997; Van der Hammen, 1998)...” (Velandia y De Bermoudes, 2002). Estas discrepancias demuestran que el conocimiento hidrogeológico de la Sabana de Bogotá, y por consiguiente del suroriente del distrito capital y de la localidad de San Cristóbal, aún es insuficiente y debe ser mejorado.

Estructuralmente la Sabana de Bogotá responde a una cuenca intramontana de origen tectono-sedimentario, conformada por una secuencia de unidades litológicas consolidadas y no consolidadas, con edades que van desde el Cretácico Superior hasta el Reciente. Los paquetes más antiguos, de carácter regional, están representados por el Grupo Guadalupe, sobre éstos reposa una espesa capa de rocas paleógenas con predominancia de las litologías arcillosas (propias de las Formaciones Guaduas, Bogotá y Usme) y algunos niveles arenosos (provenientes de las Formaciones Cacho y Arenisca La Regadera). Las unidades de roca están fracturadas y sus contactos desplazados por fracturas longitudinales con dirección predominante al NE. Fallas catalogadas como estructuras inversas, en mayor número de cabalgamiento, que exhiben distinto ángulo de inclinación, y movimientos hacia el SE y NW, y que dieron lugar a las alturas y a las depresiones topográficas que se extienden longitudinalmente en sentido NE y N. La interacción de los dos sistemas de fallas forma un enrejado bastante irregular de bloques tectónicos hundidos y levantados, que influyen en el sistema hidrogeológico.

En uno de estos bloques, más complejo que lo que las cartografías geológicas hasta hoy día señalan, gobernado por la Falla de Bogotá y matizado por un pliegue, está inmersa la Ciudadela Santa Rosa. Este es el eje de las siguientes páginas, y de él se abstrae el arreglo estratigráfico y estructural (bidimensional), se describen sus unidades hidrogeológicas, y se estructuran los modelos hidrogeológicos, tanto el conceptual de cuenca, como el cuantitativo (fundado en los elementos finitos). Este último destinado a explicar el flujo subsuperficial, gestor de buena parte de los perjuicios en las viviendas y en la urbanización.

6.1 GENERALIDADES

Las singularidades y complejidades regionales y locales de la Subcuenca de La Pichosa y de la Microcuenca de Los Toches, medio en el que reposa la Urbanización Ciudadela Santa Rosa, que abarcan la integración de

IDIGER	CONSORCIO SANTA ROSA	GIA-085-18		INFORME FINAL - PÁG. 218	
VERSIÓN:	3			FECHA	18/10/18
ELABORÓ:	CRL	REVISÓ:	JALG5	APROBÓ:	JAM.

la secuencia estratigráfica por sedimentos terciarios y cuaternarios, la inversión y transgresión de los paquetes de roca por una falla inversa (la Falla de Bogotá) y su plegamiento derivado por el Anticlinal de Zipa, y la alteración del ordenamiento y del drenaje por el accionar minero, unidas a la investigación geológica y geotécnica, y a la información regional permiten estructurar e inferir la respuesta esperada de las aguas subterráneas y la potencialidad de acuíferos. En este ideario, las unidades hidrogeológicas se componen de unidades especialmente porosas en la parte superior, y de intercalaciones arcillo arenosas en la inferior, los primeros pertenecen a los cuerpos cuaternarios de origen fluvial, hidrogravitacional y antrópico, y los segundos hacen parte de la Formación Bogotá.

6.2 CLASIFICACIÓN HIDROGEOLÓGICA BÁSICA

6.2.1 CUENCA Y PROVINCIA HIDROGEOLÓGICA

A fe de idealizar el orbe local de la microcuenca Los Toches (espacio en esencial del proyecto), y de entender e interpretar el por qué del comportamiento de las aguas subterráneas dentro de la Urbanización Santa Rosa, incluida la potencialidad de acuíferos, es pertinente ilustrar el marco al que pertenece, en escala regional e intermedia. Para satisfacer este requerimiento se recurre a la zonificación propuesta por el IDEAM (2014), en la que se clasifica y se codifica el medio continental en provincias hidrogeológicas y sistemas de acuíferos. Las provincias hidrogeológicas son en sentido estricto las unidades mayores referidas a escalas menores (entre 1:10.000.000 y 1:500.000), definidas acorde con el dominio geográfico y geológico regional o suprarregional, y los sistemas acuíferos, contenidos en las provincias hidrogeológicas, responden a “acuíferos formados por material poroso de diversas permeabilidades que pueden constituir una fuente de recursos de ámbito regional” (OMM, 2012).

Al amparo de esta doctrina, el país se discretiza en 16 provincias hidrogeológicas, entre costeras, montañas e intramontañas y pericratónicas. Santa Rosa está emplazada en la de la Cordillera Oriental Sabana de Bogotá, y en el sistema de acuífero PM4 cordillera oriental. Corolario acopiado en el [Anexo F.1](#)

6.2.2 DESCRIPCIÓN DE LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

Las unidades hidrogeológicas se clasifican en función de su capacidad para almacenar y transmitir el agua, de esta forma se habla de ellas en términos de acuitardos, acuífugos, acuícludo y acuíferos, marco relacionado y definido en la [Tabla 6.1](#). Ahora bien, desde el punto de vista del comportamiento hidráulico y desde su posición estratigráfica y estructural se distinguen tres tipos de acuíferos:

- Acuíferos libres: Son aquellos en los que el nivel superior de la saturación se encuentra a presión atmosférica.
- Acuíferos Semiconfinados: en ellos la condición confinante está dada por acuitardos, los que permiten un aporte de aguas hacia el espacio saturado.
- Acuíferos confinados: yacen en medio de dos formaciones impermeables, sean éstas acuífugos o acuícludos.

De otro lado, si el enfoque recae en la capacidad específica, en consonancia con los lineamientos del Geominas (2000), fijados en el Atlas de Aguas Subterráneas de Colombia, los acuíferos se clasifican en:

- Tipo A: toda vez que los sedimentos y los macizos posean flujo esencialmente intergranular.
- Tipo B: si el flujo en las rocas se da a través de las fracturas (rocas fracturadas y/o carstificadas)
- Tipo C: se refiere a los sedimentos y rocas con limitado a ningún recurso de aguas subterráneas.

Y estos a su vez subdivididos en función de su continuidad, de su extensión, de su productividad, de la composición petrofísica o litológica de los sedimentos y de su capacidad hidráulica. Compendio recapitulado en la [Tabla 6.2](#).

TABLA 6.1 CLASIFICACIÓN DE LAS FORMACIONES GEOLÓGICAS DE ACUERDO CON SU COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO

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

FUENTE: GIA C. L. (2009)

Bajo esta perspectiva, la discretización y la codificación del comportamiento hidrogeológico en la microcuenca Los Toches, y en la ciudadela, está soportada en la descripción litológica, esbozada en el numeral 3.4.1 del capítulo 3, en la posición estratigráfica de cada unidad, en la investigación geotécnica (sustancialmente en los ensayos de laboratorio) y en la percepción y el reconocimiento en campo. Así, entonces, los depósitos coluviales, o Qdc, los depósitos antrópicos mineros, o Qdam y los rellenos seleccionados, los Qra3, se comportan como acuíferos; los paquetes sedimentarios que lo componen tienen las características petrofísicas pertinentes para poder no sólo almacenar agua sino también transmitirla aunque con alguna dificultad en los dos primeros (los Qdc y los Qdam), que contrasta con la marcada facilidad del último (el Qra3). 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 reconfiguración, el Qra1 y el Qra2, y los rellenos traslocados, el Qdd1 y Qdd2, aunque al igual que los Qdc y Qdam son acuíferos freáticos, se diferencian de estos por sus mayores restricciones para transmitir el agua, restricciones soportadas en la matriz modalmente arcillosa (ordenamiento sintetizado en la [Tabla 6.3](#)).

TABLA 6.2 CLASIFICACIÓN GENERAL DE LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

A. SEDIMENTOS Y ROCAS CON FLUJO ESENCIALMENTE INTERGRANULAR.		
CONVENCIONES	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS	CAPACIDAD ESPECÍFICA PROMEDIO (L/S/M)
A1	Acuíferos continuos de extensión regional, de muy alta productividad, conformados por sedimentos cuaternarios no consolidados de ambiente fluvial. Acuíferos libres y confinados con agua generalmente de buena calidad química.	Muy Alta Mayor de 5.0
A2	Acuíferos continuos de extensión regional, de alta productividad, integrados por sedimentos cuaternarios no consolidados y rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas de ambiente fluvial, glaciﬂuvial, marino y volcánoclastico. Acuíferos libres y confinados con agua de buena calidad química.	Alta Entre 2.0 y 5.0
A3	Acuíferos continuos de extensión regional de mediana productividad, forjados por sedimentos cuaternarios no consolidados y rocas sedimentarias terciarias poco consolidados de ambiente fluvial, glaciﬂuvial, marino y volcánoclastico. Acuíferos generalmente confinados con agua de buena calidad química.	Media Entre 1.0 y 2.0
A4	Acuíferos discontinuos de extensión local de baja productividad, dispuestos por sedimentos cuaternarios y rocas sedimentarias terciarias poco consolidadas de ambiente aluvial, lacustre, coluvial, eólico y marino marginal. Acuíferos libres y confinados con agua de regular calidad química.	Baja Entre 0.05 y 1.0
B. ROCAS CON FLUJO ESENCIALMENTE A TRAVÉS DE FRACTURAS (ROCAS FRACTURADAS Y/O CARSTIFICADAS)		
CONVENCIONES	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS	CAPACIDAD ESPECÍFICA PROMEDIO (L/S/M)
B1	Acuíferos discontinuos de extensión regional de muy alta productividad, conformados por rocas sedimentarias carbonatadas cretácicas, consolidadas de ambiente marino. Acuíferos generalmente confinados con agua de buena calidad química.	Muy Alta Mayor de 5.0
B2	Acuíferos continuos de extensión regional de mediana productividad, moldeados por rocas sedimentarias y volcánicas piroclásticas de ambiente marino continental. Acuíferos libres y confinados con aguas de buena calidad química. Con frecuencia se encuentran fuentes termales asociadas a la tectónica.	Media Entre 1.0 y 2.0
B3	Acuíferos discontinuos de extensión regional y local, de baja productividad, que engloban rocas sedimentarias y volcánicas, terciarias a paleozoicas consolidadas, de ambiente marino y continental. Acuíferos generalmente confinados con aguas de buena calidad química.	Baja Entre 0.05 y 1.0
C. SEDIMENTOS Y ROCAS CON LIMITADOS A NINGÚN RECURSO DE AGUAS SUBTERRÁNEAS.		
CONVENCIONES	CARACTERÍSTICAS HIDROGEOLÓGICAS	CAPACIDAD ESPECÍFICA PROMEDIO (L/S/M)
C1	Complejo de sedimentos y rocas con muy baja productividad, constituidos por depósitos cuaternarios no consolidados de ambientes lacustres, deltáicos y marinos y por rocas sedimentarias terciarias a cretácicas poco consolidadas a muy consolidadas, de origen continental o marino. Almacenan aguas de regular a mala calidad química, aislada en las regiones costeras.	Muy Baja Menor de 0.05
C2	Complejo de rocas ígneo-metamórficas con muy baja a ninguna productividad, muy compactas y en ocasiones fracturadas, terciarias a precámbricas. Almacenan aguas de buena calidad química. Con frecuencia se encuentran fuentes termales asociadas a la tectónica.	Muy Baja a ninguna Menor de 0.05

FUENTE: INGEOMINAS (2000)

TABLA 6.3 UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS DE LA URBANIZACIÓN CIUDADELA SANTA ROSA

POROSIDAD	COMPORTAMIENTO HIDROGEOLÓGICO	UNIDADES ESTRATIGRÁFICAS	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	COMP. HIDRÁULICO	UNIDAD HIDROGEOLÓGICA	
Sedimentos y Rocas con Flujo Esencialmente Intergranular	Acuífero	Qdd1	Depósitos de Deslizamiento	Aglomera bloques, cantos y gravas gruesas y medias tallados en areniscas cuarzosas, de colores amarillo o blanco, y en lodolitas, embebidos en arcillas o arcillas arenosas.	Libres o Freáticos	A4	
		Qdd2					
		Qdaus	Relleno Antrópico Urbanístico Seleccionado	Conjuga las acumulaciones de material seleccionado, compactado al 90% (o más) del proctor modificado, cubiertas por una capa de concreto hidráulico o asfáltico.			
		Qra1	Relleno Antrópico de Reconformación 1	Involucra escombros (mineros) y residuos sólidos, entremezclados con suelos limo-arenosos o arenolimosos, de consistencia o compactidad medias, aglutinados y compactados para la configuración de terrazas para la urbanización y bloques y guijos de areniscas cuarzosas y lodolitas.			
		Qra2	Relleno Antrópico de Reconformación 2	Reúne escombros y residuos sólidos (entre 0.5 y 10 centímetros) agrupados y compactados o no para el realce de las márgenes de la quebrada Los Taches, y bloques y guijos de areniscas cuarzosas y lodolitas, entremezclados con suelos arcillo-arenosos o arcillosos, de consistencia media.			
		Qdam	Depósitos Antrópicos Mineros	Integra bloques y fragmentos de areniscas de grano muy fino a fino, con pobre selección, resultado de la intensa actividad minera.			
	Qdc	Depósitos Coluviales	Comprende la acumulación de bloques moldeados en areniscas cuarzosas, de grano grueso, y arenas, que sirven de matriz.				
	Acuitardos (Salvo las Areniscas que Operan con Acuíferos)	QTpb-sr-L	Suelo Residual Formación Bogotá	Engloba bloques, cantos y gravas gruesas de Lodolitas. Semeja al horizonte IIB del perfil de meteorización de Deer y Patton (1971).			Confinados
		Tpb-A	Areniscas de la Formación Bogotá	Envuelve secuencias de areniscas cuarzosas, granodecipientes, pero con predominio del grano fino, masivas y de cemento arcilloso, intercaladas con los paquetes de arcillolitas.			
		Tpb-L	Lodolitas de la Formación Bogotá	Abarca arcillolitas y lodolitas abigarradas, que despliegan colores violeta o rojo, con trazas amarillas (o habanas) y grises.			

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

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 lodolitas y las arcillolitas de la formación Bogotá (o Tpb-L) desempeñan el rol de acuitardos, ellas tienen capacidad de almacenar agua pero no pueden cederla con facilidad, más aún pues descansan con buzamientos superiores a los 35 grados. Los bancos de areniscas, o Tpb-A, pueden comportarse como acuíferos, pero confinados, puesto que se encuentran sometidos a la presión que le ejercen las unidades supra e infrayacentes, unas y otras configuradas por las lodolitas. El compendio de las características hidrogeológicas para las unidades litológicas circunscritas en la propiedad de la urbanización se expresa en la Tabla 6.3.

Ahora bien, desde una perspectiva, litoestratigráfica y estructural, integral, en la que el Anticlinal de Zipa es pieza esencial, Santa Rosa se enmarca en la Unidad Hidrogeológica A4 (dictamen abstraído de la Tabla 6.2). El eje del pliegue, gracias a sus buzamientos modales que oscilan entre los 35° y los 66° en los dos flancos, y que incrementan progresivamente de sur a norte, evita la acumulación del agua subterránea y redirecciona los potenciales flujos hacia afuera de la urbanización. Por lo tanto, la presencia de aguas subterráneas propias de un acuífero de condiciones explotables es, al abrigo de los hallazgos y de los modelos geológicos inferidos (y concebidos) aquí (reproducidos en los Plano 4A, 4B y 4C), inviable.

En gracia de estas consideraciones, se infiere y concluye (o clasifica), a la luz en parte de los lineamientos propuestos por el INGEOMINAS (2000), y en parte de la investigación geológica e hidrogeológica, del inventario de fuentes de aguas subterráneas, soportada en conceptos de permeabilidad e impermeabilidad, emanados de las características litoestratigráficas de cada unidad geológica, que la parte alta de la microcuenca (i.e el complejo de estudio) funge como una sola zona hidrogeológica homogénea, la A4 (proposición recapitulada en la Tabla 6.3).

Tesis que objeta los principios del IDEAM (2010 y 2014) que señalan a la Formación Bogotá como un ámbito de importancia hidrogeológica y la cataloga como acuífero. En lo que atañe a la Ciudadela Santa Rosa, en la Unidad hidrogeológica, bautizada con el mismo nombre de la urbanización, el Anticlinal El Zipa priva que se le pueda considerar así, éste restringe la acumulación de las aguas subterráneas (aspecto abordados atrás).

6.2.3 PUNTOS DE OBSERVACIÓN

6.2.3.1 RED DE PIEZÓMETROS: PREMISAS DE DISEÑO

A fe de facilitar la estructuración del modelo conceptual hidrogeológico, y de dilucidar el patrón (o la red) de flujo (el subsuperficial) y el comportamiento de las variables hidrogeológicas, en específico el de la cabeza piezométrica, y de reconocer el papel de los drenajes borrados y del drenaje subsuperficial, y al amparo del modelo estratigráfico en el que gobiernan las laderas estructurales al occidente y las contrapendientes estructurales al oriente, forjadas por potentes bancos de lodolitas, en los que los planos de estratificación exhiben buzamientos de entre 30° y 65° (esos últimos reinantes aguas abajo a partir de las manzanas 71, 72 y 73) que inhiben la posibilidad de que el régimen hidrogeológico sea el gestor de los problemas en las viviendas y en los edificios o el detonante de los procesos de inestabilidad, se diseñó paralelo con el

programa de exploración una red de piezómetros abiertos (en concordancia con lo prescrito por los términos de referencia), constituida por cuatro elementos (rotulados con la sigla Pz e irradiados en el Plano 4).

Los dos primeros, el S-8 (en adelante el Pz-8) y el S-6 (o Pz-6), instalados en los flancos del anticlinal y en los extremos de la urbanización, el Pz-8 frente a los predios 61 y 62 de la manzana 63 y el Pz-6 en el parque de ingreso a la ciudadela, contiguo al Centro Comercial Santa Rosa, pretenden corroborar la hipótesis de que el flujo se da estrictamente a lo largo del cuaternario (ya sea en los rellenos antrópicos, que sirven de suelo de cimentación a las viviendas de la ciudadela, o en los depósitos coluviales, responsables del modelamiento del relieve en la vertiente derecha de la quebrada), es éste el manto de recepción y de transmisión de las aguas tanto de escorrentía y de infiltración como de las residuales, estas últimas provenientes del deterioro o de los daños de las redes de alcantarillado. Y los dos restantes, el S-5 (que acoge al Pz-5) y el S-1 (receptor del Pz-1), cimentados en los probables corredores de los cauces borrados durante la implantación de la urbanización, o muy cerca de ellos, están destinados a reafirmar la participación de los afluentes, a intuir su papel en la réplica de las estructuras y de las masas de suelo, ante todo en las manzanas con los mayores antecedentes (o evidencias) de focos de humedad o con el registro histórico de fugas de los sistemas de acueducto y de alcantarillado (indicios forjados con la información proveída por los habitantes), y a completar la malla de flujo subsuperficial. El prototipo de la red de monitoreo se reseña (o delinea) junto con el plan de investigación geotécnica en el Plano 4.

Los piezómetros están armados en tubería PVC, ranurada en toda su longitud, cubiertas con un geotextil de manera que las ranuras no se taponen (con partículas muy finas) e impidan que el agua pueda filtrarse. En pocas palabras son en stricto sensu abiertos. En este contexto, se hicieron durante la exploración del subsuelo mediciones diarias de la cabeza de agua, y al menos dos veces a la semana, una vez instalados los ductos. Uno y otro complementado con el registro diario de la presencia/ausencia de lluvias, lo anterior de manera que se derive su influencia en la variación en la cabeza piezométrica.

6.2.3.2 POZOS EXPLORATORIOS

Bajo esta designación se congrega al universo de sondeos, manuales o mecánicos, que configuran el programa de investigación del subsuelo. Si bien son instrumentos temporales, de no más de una semana de vida, y subjetivos (en mayor o menor medida puesto que es de injerencia antrópica, a través de las inyecciones de agua), permiten, por reconocimiento directo, reunir y observar las variaciones en la cabeza de presión, y coadyuvar en la predicción de los estadios mínimos y máximos de presurización del flujo subsuperficial.

En este marco, los más altos niveles de presión se marcan en las perforaciones S-2, S-3 y S-5, en ellos la tabla de agua, casi como una constante, están cerca de la superficie muy cerca del metro, (las lecturas en las horas de la mañana tienen valores mayores, lo que en ocasiones distorsiona su interpretación) y los mínimos se posicionan entre los -6 m y los -11 m, muy cerca del contacto depósito-roca o suelos residual-lodolita. Los Sondeos S-4, S-5, S-7, S-9, SM-1 y SM-2 distan de revelar una tendencia clara, el nivel de agua, oscila entre los -3 m y los -11 m., para el primero, desde los -0.50 m y los -7.0 m, en lo que atañe al segundo, de -3.0 m a -6.0 m, si se trata del tercero, y entre -4.70 m y -10.6 m, toda vez que se aborde el último (composición copiada en la Tabla 6.4 y en la Tabla 6.5). Perspectiva que se contrapone a las limitadas desviaciones en los pozos S-1, S-6 y S-8. Esta singular asimetría ratifica por una parte la subordinación de los rellenos como acuíferos libres, su comportamiento lábil y la esencia del flujo intergranular, y por otra parte permite, desde ya, suponer que el escenario crítico encierra el trabajo casi totalmente presurizado de los rellenos.

6.2.3.3 CABEZA PIEZOMÉTRICA

Es deducida de la integración y la simbiosis de la respuesta de los pozos exploratorios (los sondeos S-1 a S-9) y del monitoreo de los piezómetros, el Pz-1, el Pz-5, el Pz-6 y el Pz-8, que es la suma de la inspección, el registro y el estudio de la tabla de agua para un ciclo de tiempo, en este caso cuatro (4) meses, demarcados entre mayo y agosto (del 2018), que cubren la transición entre el primer periodo de lluvia y el inicio de la segunda temporada seca. Es insumo básico para la configuración del modelo predictivo del flujo subsuperficial (tarea que se afronta en el acápite 6.3 de este documento).

Los piezómetros Pz-1 y Pz-6 fundados en la microcuenca del afluente principal de la quebrada Los Toches, despliegan tendencias similares pero asincrónicas. Si bien exponen en la primera etapa un descenso continuo, luego un rebote y finalmente una caída, los incrementos en el Pz-1 suceden entre el 15 de junio y el 12 de julio, y el 24 y 30 de agosto, justo cuando el Pz-6 reporta las menores cabezas de presión (trayectoria relacionada en la [Tabla 6.6](#)). Desviación explicada en el tiempo de recorrido del flujo, pues los piezómetros poseen posición diametralmente opuesta, y el Pz-6 se encaja en el punto más bajo (de la urbanización y de la microcuenca) próximo a la entrega del afluente (hoy borrado o tapado), indicativo ineludible de la descarga de las aguas (se reitera las subsuperficiales), favorecido por la participación del anticlinal y por consiguiente por la ladera estructural reinante en el flanco occidental (bloque que cobija al piezómetro).

El esquema previo contrasta con el de los elementos Pz-5 y Pz-8, fundados no sólo en la microcuenca del cauce principal de Los Toches, sino en la misma vertiente (la sur) y más próximos que el Pz-1 y el Pz-6. Éstos se llenan y luego se abaten. Arquetipo que, a priori, tiene una función directa con las precipitaciones, sin ser lo suficientemente confiable, al menos así se infiere de la tendencia, rigurosamente observacional, de presencia ausencia de lluvia. Tarea atendida por uno de los residentes del barrio, en parte del ciclo monitoreado (específicamente en las tres cuartas partes). La [Tabla 6.6](#) y la [Tabla 6.7](#), la [Figura 6.2](#), la [Figura 6.3](#) y la [Figura 6.4](#) documentan y justifican los juicios y los principios formulados.

De otro lado, de las lecturas se desprende que los máximos se posicionan entre los -0.70 m, estadio marcado por el Pz-1 y el Pz-5, y los -3.0 m, referente marcado en el Pz-8 y en el Pz-6, al inicio y al cierre de la cuenca alta; y los mínimos se fijan cerca del tercio del espesor del relleno, es decir entre los cuatro y los cinco metros (se recalca que el espesor del Qra1 transita entre los 2.5 m, en la cabeza, y los 8 m en la franja central). Radiografía que deja patente que el escenario crítico involucra la presurización casi total de la masa, con coeficientes de presurización, ru (estimados grosso modo) superior a los 0.40, y el normal (a vuelo) ronda el intervalo {0.14 - 0.18}. Solicitaciones, en especial la crítica, que indefectiblemente inciden en la respuesta geomecánica de las superficies libres, esto es en la estabilidad de la urbanización. El descenso o el ascenso de la cabeza de presión se da en pocos días, y está condicionado por el régimen de lluvias, por las descargas de la urbanización, y por la dirección y la velocidad del flujo (variables atadas a la petrografía del cuaternario y al paleorelieve). La [Tabla 6.6](#) y la [Tabla 6.7](#) sintetizan el diagnóstico referido y compilan la variación de la tabla de agua en los instrumentos de observación.

Los piezómetros Pz-1, Pz-8 y Pz-5 ostentan una tendencia de reducción de la profundidad de la lámina libre del agua (que significa un incremento en la lámina barométrica) entre los meses de abril y julio, ligada (parcialmente) con los meses más lluviosos, tal y como lo ratifica el registro medio anual multianual de la precipitación (variable estudiada en las secciones 5.1.2.6 y 5.1.2.12 del capítulo 5). Planteamiento del que se desprende, como parece obvio, la relación experimental entre el incremento del nivel de agua y la precipitación. La [Tabla 6.6](#), la [Tabla 6.7](#), la [Tabla 6.8](#), la [Figura 6.1](#), la [Figura 6.2](#), la [Figura 6.3](#) y la [Figura 6.4](#), recoge en cifras la evolución y la transformación del nivel de agua en los piezómetros.

TABLA 6.4 LECTURA PIEZOMÉTRICAS: SONDEOS

PUNTO DE EXPLORACIÓN	COORDENADAS		ELEVACIÓN (M.S.N.M)	PROFUNDIDAD (M)	NIVEL PIEZOMÉTRICO (M)	PERIODO	
	NORTE (M)	ESTE (M)				FECHA	HORA
S-1*	94 506.2	99 758.7	2 975	20.0	2.50	2/05/2018	5:00 PM
					2.50	3/05/2018	8:00 AM
					4.00	3/05/2018	5:00 PM
					5.50	4/05/2018	8:00 AM
					2.50	7/05/2018	5:00 PM
S-2	94 540.1	99 664.3	2 925.3	20.0	0.50	28/04/2018	4:00 PM
					3.10	30/04/2018	11:00 AM
					8.00	4/05/2018	11:00 AM
S-3	94 462.5	99.612.1	2 936	30.0	3.00	6/04/2018	3:30 PM
					4.20	7/04/2018	8:00 AM
					2.00	7/04/2018	3:00 PM
					8.00	11/04/2018	9:00 AM
					7.20	12/04/2018	8:00 AM
					2.30	12/04/2018	4:30 AM
					1.50	13/04/2018	8:00 AM
					1.00	14/04/2018	8:00 AM
					2.00	16/04/2018	8:00 AM
					3.00	16/04/2018	5:00 PM
					3.00	17/04/2018	8:00 AM
					2.00	17/04/2018	5:00 PM
S-4	94 516.4	99 525.5	2 926.5	30.0	1.20	9/05/2018	7:00 AM
					2.00	9/05/2018	5:00 PM
					4.90	10/05/2018	8:00 AM
					7.50	11/05/2018	
					8.10	12/05/2018	
					8.00	15/05/2018	
					9.50	16/05/2018	
					11.00	17/05/2018	11:00 AM
					11.00	18/05/2018	7:00 AM
3.00	18/05/2018	4:00 PM					

TABLA 6.5 LECTURA PIEZOMÉTRICAS: SONDEOS (CONTINUACIÓN)

PUNTO DE EXPLORACIÓN	COORDENADAS		ELEVACIÓN (M.S.N.M)	PROFUNDIDAD (M)	NIVEL PIEZOMÉTRICO (M)	PERIODO	
	NORTE (M)	ESTE (M)				FECHA	HORA
S-5*	94 570.4	99 541.4	2 924.8	30.0	4.70	7/04/2018	4:00 PM
					3.00	9/04/2018	9:00 AM
					5.00	9/04/2018	5:00 PM
					1.50	10/04/2018	9:00 AM
					2.00	10/04/2018	4:00 PM
					7.00	11/04/2018	9:00 AM
					1.50	16/04/2018	8:00 AM
					0.50	20/04/2018	
S-6*	94 550.3	99 357.3	2 888.5	15.0	7.00	10/05/2018	7:00 AM
					2.00	10/05/2018	4:30 PM
					4.00	11/05/2018	7:00 AM
					4.00	11/05/2018	
					5.00	12/05/2018	8:00 AM
					5.00	12/05/2018	4:30 PM
					5.00	15/05/2018	8:00 AM
					2.00	15/05/2018	4:30 PM
					2.00	16/05/2018	7:30 AM
					2.00	17/05/2018	7:00 AM
S-7	94581.3	99 691.8	2 951.7	20.0	3.40	21/05/2018	
					6.10	23/05/2018	10:50 AM
					6.00	25/05/2018	9:00 AM
					3.00	25/05/2018	2:00 PM
S-8*	94 581.3	94 581.3	2 992.5	20.0	2.50	25/04/2018	8:00 AM
					4.50	26/04/2018	5:00 PM
					4.00	27/04/2018	8:00 AM
					5.20	27/04/2018	
S-9	94 672.1	99 902.4	2 988.7	20.0	4.70	14/06/2018	4:40 PM
					6.00	15/06/2018	8:00 AM
					10.57	16/06/2018	4:00 PM
SM-1	94 688.4	99 537.7	2 910	3.72	N.E		
SM-2	94 581.8	99 523.5	2 912	5.78	5.50	7/06/2018	

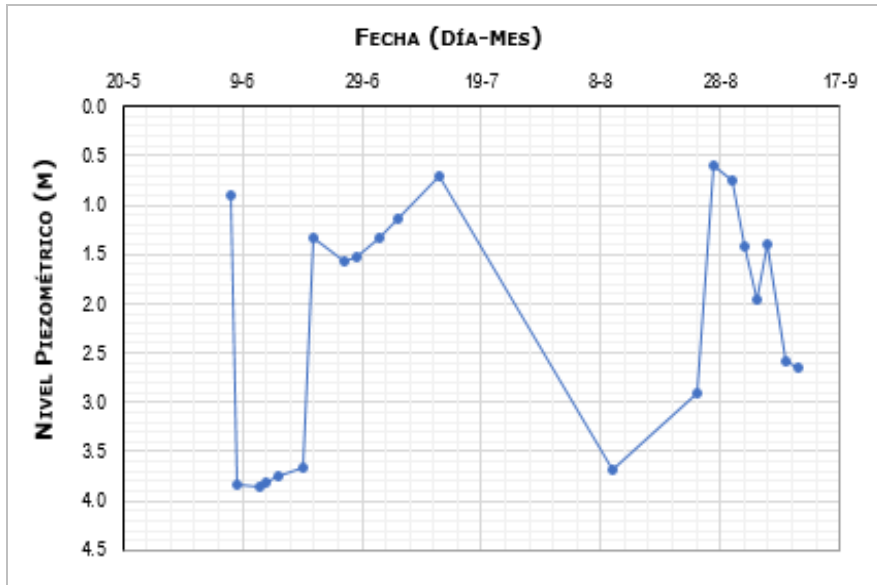
TABLA 6.6 MONITOREO DE PIEZÓMETROS

PIEZÓMETRO Pz-1 (S-1*)		PIEZÓMETRO Pz-5 (S-5*)		PIEZÓMETRO Pz-6 (S-6*)		PIEZÓMETRO Pz-8 (S-8*)	
FECHA	LECTURA (M)	FECHA	LECTURA (M)	FECHA	LECTURA (M)	FECHA	LECTURA (M)
07/06/2018	SE INSTALÓ	20/04/2018	SE INSTALÓ	18/05/2018	SE INSTALÓ	28/04/2018	SE INSTALÓ
07/06/2018	0,91	30/04/2018	1,46	24/05/2018	3,16	30/04/2018	4,00
08/06/2018	3,83	02/05/2018	1,27	01/06/2018	4,15	02/05/2018	3,90
12/06/2018	3,85	04/05/2018	1,22	07/06/2018	4,32	04/05/2018	3,90
13/06/2018	3,82	07/05/2018	1,30	08/06/2018	4,17	07/05/2018	3,90
15/06/2018	3,76	11/05/2018	1,02	12/06/2018	4,44	11/05/2018	3,85
19/06/2018	3,67	15/05/2018	0,89	13/06/2018	4,59	15/05/2018	3,73
21/06/2018	1,34	18/05/2018	0,81	15/06/2018	4,67	18/05/2018	3,65
26/06/2018	1,58	24/05/2018	0,90	19/06/2018	4,74	24/05/2018	3,72
28/06/2018	1,52	01/06/2018	0,90	21/06/2018	4,56	01/06/2018	4,15
02/07/2018	1,33	07/06/2018	1,00	26/06/2018	4,77	07/06/2018	3,72
05/07/2018	1,14	08/06/2018	0,97	28/06/2018	4,83	08/06/2018	3,71
12/07/2018	0,70	12/06/2018	1,04	02/07/2018	4,71	12/06/2018	3,66
10/08/2018	4,02	13/06/2018	1,04	05/07/2018	4,57	13/06/2018	3,64
24/08/2018	3,24	15/06/2018	0,99	12/07/2018	4,20	15/06/2018	3,67
27/08/2018	0,95	19/06/2018	0,89	10/08/2018	3,73	19/06/2018	3,55
30/08/2018	1,09	21/06/2018	0,67	24/08/2018	5,05	21/06/2018	3,48
01/09/2018	1,76	26/06/2018	0,98	27/08/2018	4,67	26/06/2018	3,46
		02/07/2018	0,96	30/08/2018	4,79	28/06/2018	3,52
		05/07/2018	0,78	01/09/2018	5,06	02/07/2018	3,47
		12/07/2018	0,95			05/07/2018	3,52
		10/08/2018	1,73			12/07/2018	3,45
		24/08/2018	1,95			10/08/2018	3,45
		27/08/2018	1,48			24/08/2018	4,78
		30/08/2018				27/08/2018	4,86
						29/08/2018	5,00
						01/09/2018	4,21

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

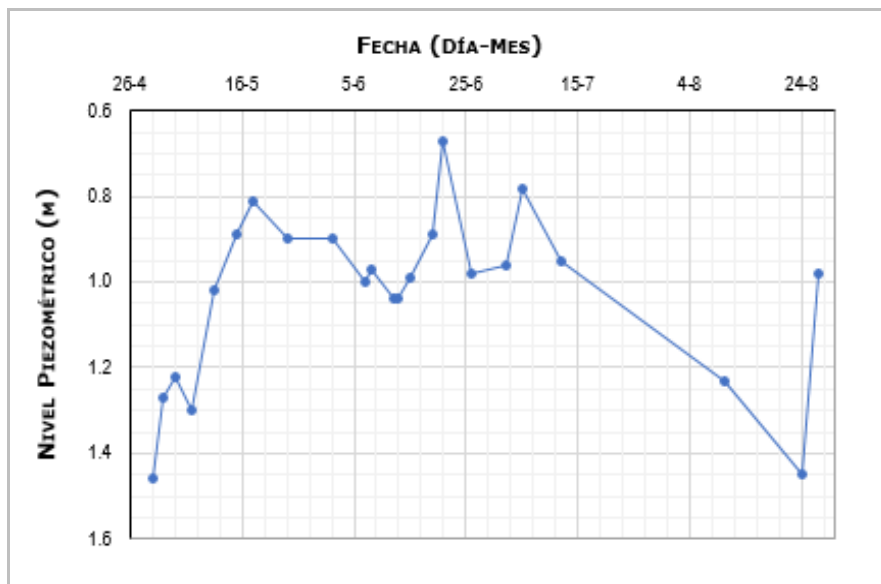
NOTA: LA LECTURA EN EL PIEZÓMETRO Pz-8 DEL 01 DE JUNIO SE CONSIDERA IRREGULAR Y MAL TOMADA POR EL OPERARIO, Y POR TANTO ANÓMALA. JUICIO JUSTIFICADO EN EL RETORNO AL MISMO VALOR DE LA FECHA PREVIA AL REGISTRO DEL 24 DE MAYO DE 2018.

FIGURA 6.1 PIEZÓMETRO Pz-1 (S-1*)



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA 6.2 PIEZÓMETRO Pz-5 (S-5*)

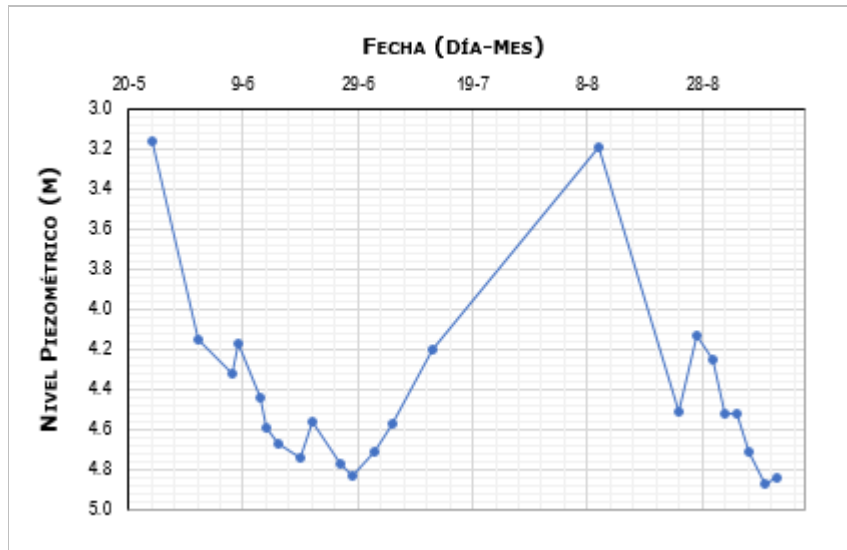


FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Así, entonces, aunque es poco factible establecer una función predictiva (cuantitativa) confiable entre la cabeza de presión y la precipitación, es inadmisibles desconocer que la lluvia incide en el nivel del agua subsuperficial, pero la respuesta en ambientes, como el de la ciudadela, regidos por depósitos

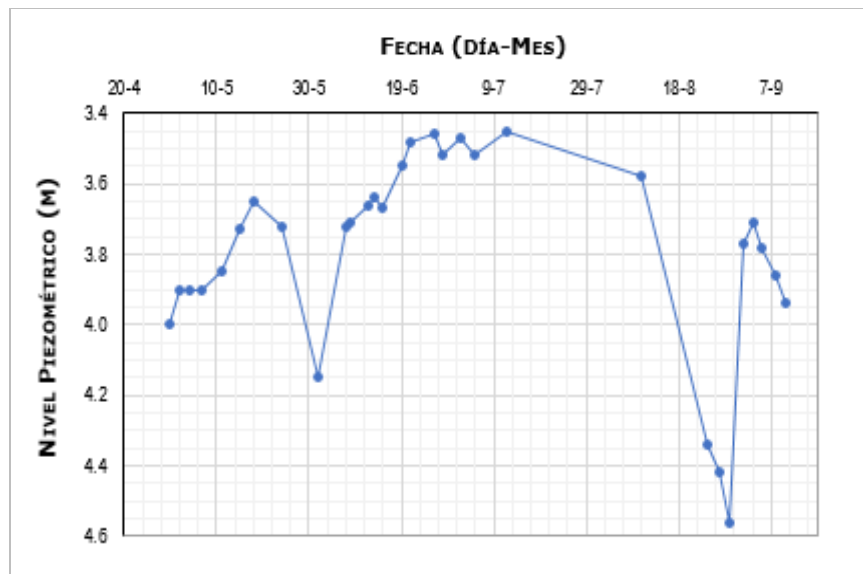
predominantemente arcillosos redundan en que la cabeza piezométrica o el nivel freático ante un evento de precipitación despliegue un retardo importante. En este contexto, para determinar tal incidencia es pertinente contar con registros diarios de precipitación y con niveles de agua durante periodos de tiempo amplios (Turner y Schuster, 1996).

FIGURA 6.3 PIEZÓMETRO Pz-6 (S-6*)



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA 6.4 PIEZÓMETRO Pz-8 (S-8*)



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 6.7 VALORES MÍNIMOS Y MÁXIMOS DEL MONITOREO DE PIEZÓMETROS

PIEZÓMETRO	VALOR MÍNIMO (M)		VALOR MÁXIMO		VARIACIÓN NIVEL
	NIVEL (M)	FECHA	NIVEL (M)	FECHA	
Pz-1 (S-1*)	0,70	12/07/2018	4,02	10/08/2018	3,32
Pz-5 (S-5*)	0,67	21/06/2018	1,95	24/08/2018	1,28
Pz-6 (S-6*)	3,16	24/05/2018	5,06	01/09/2018	1,90
Pz- 8 (S-8*)	3,45	12/07/2018	5,00	29/08/2018	1,55
	3,45	10/08/2018			

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

6.2.4 CARACTERÍSTICAS DE FLUJO

Son el producto ineludible de la simbiosis de los secuencia estratigráfica, de los patrones estructural (eje de los capítulos 3 y 4) y de drenaje, de la observación y registro de los puntos de monitoreo, del inventario de los puntos de agua y de las expresiones topográficas. Interpretan y delinear (a grandes líneas) el movimiento de las corrientes superficiales, sub superficiales y subterráneas. Aunque de estas últimas es parcialmente incierto precisar el movimiento del agua en su extensión, debido a la porosidad de los rellenos y a los vacíos en el marco estructural en profundidad.

En el cuaternario, es decir en los depósitos naturales y antropogénicos, la precipitación, convertida en escorrentía y en infiltración traza un vector de desplazamiento predominantemente de oriente a occidente, en concordancia con el azimut de buzamiento de las laderas y del contacto depósito-roca, que varía entre 7° y 27°. Y en el manto rocoso, moldeado ante todo en lodolitas y arcillolitas, el flujo discurre preferencialmente hacia el oriente o hacia el occidente, siguiendo los planos de estratificación, disposición ligada al anticlinal y derivada de la falla de Bogotá, así entonces, el agua en los niveles arenosos se aleja y dista de acumularse.

La Falla de Bogotá, además de invertir la secuencia estratigráfica, de transgredir el arreglo litológico e incidir en su plegamiento, condiciona (parcialmente) la circulación de caudales importantes por el subsuelo, que puedan acumularse en los planos verticales de la Urbanización; su mayor contribución recae en la liberación (por arrastre) de uno de los principales acuíferos (los niveles de arenisca de la Formación Arenisca Dura) y de parte de su corriente (premisa surgida de los empozamientos de agua residentes inmediatamente debajo de la zona de falla, luego de los días de lluvia), que se suma a la escorrentía. Pero esta aparente ventaja raya con la canalización y con el relleno de parte de los antiguos canales naturales, sucedida durante la construcción de la urbanización, aspectos abordados en los numerales 2.5, y 3.6 de los capítulos 2 y 3, respectivamente, que parecen incidir en el tránsito de las aguas subsuperficiales, pero no así en las subterráneas. Al menos así se desprende de los manaderos o sitios de resurgencia en los bloques 63 y 65, y de la proliferación de focos de humedad en la ciudadela, aún en los apartamentos de pisos elevados (diagnóstico obtenido del inventario de viviendas, reseñado en el Anexo H, e ilustrado en el Plano 8).

Por último, la información de la Estación Moralba (transcrita en la Tabla 6.8), si bien es limitada e incompleta, y su uso es muy limitado, permite colegir una dependencia (en principio cualitativa) entre el incremento de las precipitaciones y el rebote en la cabeza piezométrica (si se compara con la de los piezómetros), pero con un retardo de entre dos y tres días (basta repasar la Tabla 6.6 y la Tabla 6.8).

TABLA 6.8 PRECIPITACIÓN DE LA ESTACIÓN MORALBA

FECHA	DÍA DE REGISTRO	PRECIPITACIÓN (MM)	FECHA	DÍA DE REGISTRO	PRECIPITACIÓN (MM)	FECHA	DÍA DE REGISTRO	PRECIPITACIÓN (MM)
01/06/2018	1	1.1	06/07/2018	35	3.3	10/08/2018	69	1.4
02/06/2018	2	2.3	07/07/2018	36	10.2	11/08/2018	70	0.7
03/06/2018	3	6.5	08/07/2018	37	7.8	12/08/2018	71	3.9
04/06/2018	4	17.3	09/07/2018	38	0.6	13/08/2018	72	5.8
05/06/2018	5	3.8	10/07/2018	39	5.5	14/08/2018	73	2
06/06/2018	6	0.1	11/07/2018	40	4.2	15/08/2018	74	1.1
07/06/2018	7	5.1	12/07/2018	41	3.1	16/08/2018	75	0.2
08/06/2018	8	5.2	13/07/2018	42	1.9	17/08/2018	76	6.9
09/06/2018	9	1.8	14/07/2018	43	0.6	18/08/2018	77	1.9
10/06/2018	10	4.8	15/07/2018	44	0.9	19/08/2018	78	1.2
11/06/2018	11	3.7	16/07/2018	45	17.1	20/08/2018	79	0.2
12/06/2018	12	0	17/07/2018	46	10	21/08/2018	80	3.3
13/06/2018	13	0.3	18/07/2018	47	0.7	22/08/2018	81	1.5
14/06/2018	14	5.2	19/07/2018	48	1.6	23/08/2018	82	2.5
15/06/2018	15	6.3	20/07/2018	49	1.8	24/08/2018	83	0
16/06/2018	16	2.1	21/07/2018	50	2.1	25/08/2018	84	1.7
17/06/2018	17	3.6	22/07/2018	51	0.4	26/08/2018	85	22
18/06/2018	18	10.1	23/07/2018	52	1.5	27/08/2018	86	6.3
19/06/2018	19	20.5	24/07/2018	53	15	28/08/2018	87	1.6
20/06/2018	20	16.5	25/07/2018	54	3	29/08/2018	88	1.4
21/06/2018	21	3	26/07/2018	55	1.6	30/08/2018	89	0.8
22/06/2018	22	0.8	27/07/2018	56	12.2	31/08/2018	90	0.1
23/06/2018	23	0.6	28/07/2018	57	1.2	01/09/2018	91	0
24/06/2018	24	5	29/07/2018	58	1.1	02/09/2018	92	0
25/06/2018	25	1.4	30/07/2018	59	2.8	03/09/2018	93	0.8
26/06/2018	26	2.9	31/07/2018	60	1.8	04/09/2018	94	0.3
27/06/2018	27	5.5	01/08/2018	61	1.8	05/09/2018	95	1.3
28/06/2018	28	9	02/08/2018	62	0.5	06/09/2018	96	0.8
29/06/2018	29	0.7	03/08/2018	63	0	07/09/2018	97	6
30/06/2018	30	4.6	04/08/2018	64	9.8	08/09/2018	98	5.2
01/07/2018	31	0	05/08/2018	65	1.4	09/09/2018	99	0.1
02/07/2018	32	0	06/08/2018	66	0	10/09/2018	100	0
03/07/2018	33	1.1	07/08/2018	67	3.3	11/09/2018	101	0
04/07/2018	34	11	08/08/2018	68	5.6			

FUENTE: IDIGER (2018)

6.2.5 RELEVAMIENTO DE PUNTOS DE AGUA

Paralelo con la investigación de campo (la geológica y la geotécnica) se realiza un censo de puntos de agua (que cubre además de las perforaciones, pozos de bombeo, manantiales, etc.) en la microcuenca y en los predios y barrios circunvecinos. Empero, no se identificaron pozos, ni manantiales ni otros tipos de afloramiento de aguas, dentro o fuera del territorio de trabajo, salvo los vestigios del cauce de la cuenca al oriente de ella, próximo al corredor ocupado por el paleodrenaje (antecedente examinado y desplegado en las secciones 3.6.1 y 3.6.2 del Capítulo Geología y Geomorfología y en el *Plano 4*), y un afloramiento de agua ligado a la Falla de Bogotá, retirado más de 250 m del borde oriental de la urbanización (detalle citado en el acápite previo).

6.2.6 PRUEBAS DE BOMBEO

Las Pruebas de Bombeo y las de Lugeon, por su específico uso y por su aplicabilidad, se descartaron y se reemplazaron por cuatro pruebas fisicoquímicas, con la finalidad de obtener información sobre el origen y la dirección de flujo subsuperficial. Decisión acordada con el IDIGER y fundamentada en que los resultados de ellas son indicativos, exclusivamente, de la Transmisividad, que no es otra cosa que la capacidad de la roca para permitir el paso del agua, y del potencial de extracción de agua; y en que la presencia de un acuífero (libre o confinado) en el macizo es muy baja, puesto que el buzamiento de los planos de estratificación (superior a los treinta y cinco grados) facilita que el agua salga en lugar de almacenarse, y que el único medio con este potencial es el cuaternario (en particular los rellenos antrópicos y las masas coluviales).

Respuesta última explicada en que el contacto suelo-roca sirve de barrera impermeable, en que el movimiento del agua de escorrentía es desde las partes altas hasta las bajas (o hasta las quebradas) con posible flujo subparalelo a la pendiente general de la ladera (arquetipo puntualizado en el inciso 6.2.4) y en que el flujo descendente del agua lluvia alimenta el flujo subsuperficial, más aun en las áreas verdes y en los corredores con presencia de agrietamientos locales.

6.2.7 PRUEBAS FISICOQUÍMICAS Y BACTERIOLÓGICAS

Pretenden conocer los elementos constitutivos de las aguas de cada uno de los piezómetros, e inferir relaciones de procedencia (o conexión) entre los pozos y de conductividad que ratifiquen el patrón de evacuación (planteamiento esbozado en las divisiones 6.2.3.3 y 6.2.4) y faciliten la simulación de la red de flujo. Se llevan a cabo irrestrictamente en los Piezómetros Pz-1, Pz-6 y Pz-8, sin considerar el Pz-5 puesto que fue dañado por terceros inescrupulosos días antes de la toma de las muestras.

Si bien la quebrada Los Toches capta y conduce gran parte de la escorrentía emanada al oriente del barrio, proveniente de las exfiltraciones (subsuperficiales) graduales de los paquetes saturados de la Arenisca Dura, dispuestos hacia el suroriente, y es el eje del balance hidráulico, en ningún caso se consideró como parte del muestreo hidrobiológico, ante todo porque recibe en su recorrido aportes de aguas servidas que hacen inviable su rastreo y su correlación con los efluentes de los demás puntos de investigación. Fuentes que se cree tienen poco contenido de contaminantes. Su justificación recae en que una parte de la escorrentía del borde oriental es transportada por cárcavas pequeñas y otra parte, junto con el agua lluvia, se infiltra en el cuaternario y en el horizonte superior de suelo residual de las arcillolitas y de las lodolitas, lo que, a su vez, favorece el tránsito hacia los rellenos distribuidos bajo el barrio y en sus alrededores.

“...Aunque la composición media del agua subterránea suele considerarse invariable en un acuífero o porción de él, no debe olvidarse que las interacciones agua-medio, que determinan tal composición, son procesos dinámicos que se desarrollan, a ritmo diverso, tanto en el espacio como en el tiempo. En consecuencia la composición del agua subterránea natural debe contemplarse con la perspectiva de su posible variación espacio-temporal. Una composición química concreta por ende no queda completamente definida si no se refiere a un lugar y momento determinados.” [sic] (Eoi, 2007).

En gracia de estas consideraciones, y manteniendo en perspectiva el elevado poder disolvente del agua, los ensayos practicados, ya sean fisicoquímicos o Microbiológicos, integran el E. Coli, el recuento de hongos y las levaduras, el DQO, el oxígeno, el PH y la temperatura, y los Metales (entre ellos el cobre, el hierro, el manganeso, el mercurio, el magnesio, el plomo). Los tres primeros decretados para reconocer las contribuciones de las fugas de las redes sanitarias, el cuarto y el quinto derivan su importancia de la capacidad de oxidación de algunos constituyentes y de modificar la solubilidad (basta señalar que el contenido de oxígeno disuelto en aguas subterráneas profundas puede ser notable), el séptimo y la octava introducidos por su importancia en fenómenos de solubilización (en específico de algunas sales), y los últimos seleccionados por ser constituyentes Minoritarios o traza (el universo pormenorizado de las sustancias indagadas se reúnen en la [Tabla 6.9](#)). La [Tabla 6.10](#) contrasta (o compara) las cuantías halladas en las muestras, ordenados, de izquierda a derecha, y en el sentido de flujo, en otras palabras desde la más alta hasta la más baja, y dictamina su variación. Cualificación última plasmada en una columna con el mismo nombre.

TABLA 6.9 ENSAYOS PRACTICADOS EN LOS POZOS

ANÁLISIS FISICOQUÍMICOS	ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS
CADMIO SUB	E. COLI
COBRE	RECuento PSEUDOMONA AERUGINOSA
HIERRO	RECuento TOTAL HONGOS
IN SITU CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	RECuento TOTAL LEVADURAS
IN SITU OXÍGENO DISUELTO	
IN SITU PH	
D.Q.O	
IN SITU SÓLIDOS SEDIMENTABLES	
IN SITU TEMPERATURA	
MAGNESIO TOTAL	
MANGANESO	
MERCURIO	
NITRATOS	
NITRITOS	
NITRÓGENO AMONICAL – AMONIO	
PLOMO	

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 6.10 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS DE AGUA

No.	ELEMENTO	UNIDAD	PIEZÓMETRO			VARIACIÓN
			Pz - 1	Pz - 6	Pz - 8	
ENSAYOS FÍSICOQUÍMICOS						
1	CADMIO SUB	CD	MG/L	MG/L	MG/L	SIN VALOR
2	COBRE	MG/L CU	<0,05	<0,05	<0,05	NO VARÍA
3	HIERRO	MG/L FE	43,40	25,3	2,65	AUMENTA / DISMINUYE
4	IN SITU CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA	μS/CM A 25°C	1.186	1.196	1.149	AUMENTA
5	IN SITU OXIGENO DISUELTO	MG/L O ₂	2,40	2,20	3,10	DISMINUYE
6	IN SITU PH	UNIDADES	4,49	5,68	5,55	DISMINUYE / AUMENTA
7	D.Q.O.	MG/L O ₂	41	56	18	AUMENTA
8	IN SITU SÓLIDOS SEDIMENTABLES	ML/L	0,20	<0,10	<0,10	AUMENTA / DISMINUYE
9	IN SITU TEMPERATURA	°C	32,50	30,9	21,1	AUMENTA / DISMINUYE
10	MAGNESIO TOTAL	MG/L MG	10,70	9,70	2,90	AUMENTA / DISMINUYE
11	MANGANESO	MG/L MN	1,63	0,73	0,41	AUMENTA / DISMINUYE
12	MERCURIO	MG/L HG	0,006	0,003	<0,002	AUMENTA / DISMINUYE
13	NITRATOS	MG/L N	5,90	0,30	0,70	AUMENTA / DISMINUYE
14	NITRITOS	MG/L N	0,031	<0,007	0,027	AUMENTA / DISMINUYE
15	NITRÓGENO AMONICAL - AMONIO	MG/L N	1,40	1,00	0,90	AUMENTA / DISMINUYE
16	PLOMO	MG/L PB	<0,02	<0,02	<0,02	NO VARÍA
ENSAYOS MICROBIOLÓGICOS						
17	E. COLI	UFC/100 ML	1,5x10E3	8,3x10E2	<1	AUMENTA / DISMINUYE
18	RECuento PSEUDOMONA AERUGINOSA	UFC/100 ML	0	0	1x10E2	DISMINUYE
19	RECuento TOTAL HONGOS	1 UFC/ML	3x10E1	1,2x10E4	9	AUMENTA
20	RECuento TOTAL LEVADURAS	UFC/ML	0	5x10E3	0	AUMENTA

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

A la luz de este universo parece evidente que la migración de aguas dista de responder a un ciclo hidrológico (e hidrogeológico) natural. El flujo subsuperficial, además de la infiltración, recibe el aporte de aguas servidas a lo largo de la ciudadela, contribuciones que migran por los canales (de la desarticulada red de aguas lluvias) o por las zonas verdes (los jardines y los antejardines), o que emergen de las fugas o daños de la red de alcantarillado. Dictamen emergido del aumento progresivo (entre los piezómetros) en la concentración por

una parte del DQO, de la Conductividad Eléctrica, y del Recuento Total Hongos y de Levaduras, y por otra del E. Coli, de hierro, de los sólidos sedimentables, del magnesio total, del manganeso, del mercurio, de los nitratos, de los nitritos, y del nitrógeno amoniacal – amonio, constituyentes que develan tendencias ambiguas puesto que los máximos se concentran en el Pz-1, y los mínimos en el Pz-6. Concentraciones que responden a aguas no aptas para el consumo humano, y que dejan entrever que su procedencia para nada es exclusiva de las aguas infiltradas, y que congrega el tránsito desde los cuaternarios asentados al oriente, en la microcuenca alta.

Los cambios de temperatura (en especial entre el Pz-8 y el Pz-1) si bien son llamativos difieren de tener una clara explicación. Igual suerte acontece con el mercurio: aunque exhibe concentraciones ligeramente superiores a los permitidos para las aguas potables, su incremento entre el Pz-8 y el Pz-1 es incierto, máxime que (del inventario de viviendas y de los reportes de los habitantes), en apariencia, no hay fuente alguna de aporte, en singular talleres de joyería o chatarrerías. Réplica antagónica exponen los Coliformes Totales, el Oxígeno Disuelto y la Pseudomona Aeruginosa; ellos disminuyen progresivamente, al punto que la pseudomona aeruginosa desaparece. Su variación está concatenada inequívocamente con el incremento de aguas residuales al interior del medio en circulación.

El PH, aunque, al igual que otros parámetros, oscila a lo largo de la cuenca, pues disminuye desde la cabecera (en el Pz-8) hasta la franja central (en el Pz-1), y luego aumenta en el corredor occidental (en el Pz-6), permite rotular a las aguas subsuperficiales como ácidas. Singularidad también atada con las descargas (de aguas servidas) de la comunidad. Distante del carácter ácido, el plomo y el Cobre dibujan trazas casi constantes, por debajo del umbral admisible del agua potable.

En síntesis las aguas subsuperficiales en la ciudadela Santa Rosa, no son aptas para el consumo humano, poseen altas cargas de contaminantes, y son en líneas gruesas una mezcla de efluentes de infiltración y servidos, en otras palabras, son hoy día aguas residuales. Las variaciones en la cabeza piezométrica, por lo tanto, no están exclusivamente atadas a la precipitación. Sin embargo, es incierto el peso relativo de su contribución, pero se deduce acorde con los niveles de las componentes, que son reflejo de la capacidad de dilución, que es mayoritaria. La contaminación tiene sus focos de incubación en las actividades de los residentes, en las prácticas laborales, en las descargas irregulares o clandestinas y en los aportes de la red de alcantarillado sanitario, lo que dejaría al descubierto daños en el sistema. Al menos así puede entrecerse de la valoración de los constituyentes, principales o de traza, entre los puntos de muestreo, que de ninguna manera descubren una clara relación.

6.3 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

El concepto de modelo es tan general que su uso requiere siempre de matizaciones (Cruces y Martínez, 2006). En general puede decirse que es la representación de un fenómeno físico, aunque algunos autores lo extienden hasta la representación matemática. En este marco, el *modelo conceptual* de un sistema se asigna al espectro de ideas, leyes, y relaciones que permiten la representación de un fenómeno físico (Cruces y Martínez, 2006). Este a su vez acorde con su naturaleza puede ser: a) gráfico, b) físico, el que colateralmente puede ser de dos tipos: analógicos o de escala reducida.

En gracia de estas consideraciones, se emplea aquí un modelo conceptual de acuífero (homogéneo e isotrópico), analítico, agregado, bidimensional, gráfico y de escala reducida. Sus objetivos esenciales son

permitir: a) una visión holística del sistema de flujo en la microcuenca Los Toches; b) el análisis de la influencia de los principales factores que intervienen en el proceso, entre ellos la secuencia estratigráfica, el arreglo estructural, las precipitaciones, y el papel del hombre; c) la predicción del comportamiento del régimen hidrogeológico, lo que se traduce en la determinación de las cabezas piezométricas máximas y mínimas; y d) la obtención de conclusiones relativas de las variables y magnitudes que intervienen en el modelo de flujo (subterráneo).

Al amparo de los principios enunciados y de los frutos de los estudios básicos (pilares de los capítulos previos, entre el segundo y el quinto), se desprende que, desde el punto de vista de la acumulación, no existen aguas subterráneas, en su lugar los flujos subsuperficial y superficial, procedentes de las precipitaciones y del escurrimiento, ocupan las componentes hidrogeológicas principales. En el entorno de la urbanización y de los planos imaginarios verticales que la limitan, de ninguna manera hay aportes adicionales de las aguas subterráneas o subsuperficiales, suscitadas e impulsadas dentro de la zona de influencia, territorio marcado a una distancia cercana a los 200 m desde el borde oriental, límite justificado por la posición de la falla de Bogotá, y que abarcan la cabecera de la microcuenca. La descarga se da en la parte baja (como lo revalida el Piezómetro Pz-6), aunque en el resto de la microcuenca la tabla de agua exhibe ascensos y descensos sin un (aparente) patrón definido (prototipo documentado en los incisos 6.2.3.3 y 6.2.4).

Las oscilaciones en y entre los piezómetros son reflejo de las lluvias (individuales y acumuladas) depositadas en la microcuenca alta, del comportamiento lábil del cuaternario (en singular de los rellenos de conformación y mineros), y, en medida alguna, de la traslación de las aguas subsuperficiales, que lucen dirección preferencial al oeste. Aspecto último, a su vez, justificado por la ausencia de filtros en el cuerpo de los piezómetros, omisión que facilita se llenen los pozos o se evacue el flujo. Régimen en el que el contacto lleno-roca tiene incidencia primordial, y que por consiguiente da lugar a incrementos o disminuciones en la presión de agua (o en el nivel piezométrico).

Ahora bien, la distribución y el posicionamiento de los piezómetros distan de tener incidencia en respuestas desiguales, de presurización o despresurización, frente a los momentos de precipitación y de sequía; información tomada de la estación Moralba, operada por el Idiger, y cotejada por experimentos observacionales llevados a cabo por un residente de la urbanización, en los que se documenta diariamente la presencia o no de la lluvia y su intensidad cualitativa; registros transcritos en el Anexo F.2, en el Anexo F.3 y en la Tabla 6.6. En este orden de ideas, el incremento y la reducción de la altura piezométrica si bien son dependientes de las precipitaciones su función predictiva no está plenamente esclarecida.

El flujo subterráneo, al resguardo del modelo lito-estructural (acopiado en los Planos 4, 4A, 4B y 4C) parece no tener cabida. Esto quiere decir que no hay acumulación de aguas subterráneas, aunque el Anticlinal de Zipa, cuyo eje se calca (o se infiere) por el extremo occidental de las manzanas 71, 72 y 73, condiciona el flujo (potencial) residente en los flancos, a lo largo de las capas porosas y en la dirección del azimut de buzamiento de los planos de estratificación (i.e. bien al sureste o bien al noroccidente), a las profundidades: entorno que de ninguna manera da la posibilidad de acumulación bajo la Ciudadela. Proposición corroborada por la exploración geofísica (las tomografías, las líneas de refracción sísmica y los Sondeos geoelectricos): ninguna de sus componentes capta u otorga rastros o elementos de juicio para la inferencia de acuífero alguno.

La Falla de Bogotá cumple una doble función. Por una parte obstaculiza el ingreso de las aguas lluvias y de escorrentía, máxime las procedentes de la cabecera, y por otra faculta la salida de la carga de algunos de los

acuíferos, inhiben que las aguas se almacenen o se profundicen en el occidente y las retienen y las direccionan localmente al este como reflejo del buzamiento del plano de estratificación y del de falla (que se posan en el mismo sentido, véase los planos 4A, 4B y 8A), gracias al arrastre de las capas y al movimiento de los bloques. Mecanismo que, a su vez, se expresa en pliegues de la misma naturaleza (i.e. de arrastre).

Condicionantes y arquetipo estructural que ratifican el papel de la falla como sello. Postulado (o teorema), además asistido por uno de los productos colaterales de la tectónica, y porque no de la misma falla, el Anticlinal de Zipa. Él, como ya se advirtió (en los párrafos previos y en la sección 6.2.4), coarta la acumulación de las aguas subterráneas, y contribuye para que se propague el tránsito por los paquetes cuaternarios. Todo este acervo reafirma la importancia del patrón estructural como el regulador por excelencia de la entrada del agua subterránea y del Modelo Hidrogeológico.

Pero las secuelas de la articulación de la Falla de Bogotá como barrera de flujo se extienden más allá, hasta encauzar el modelo hidrogeológico local. Las aguas subterráneas y subsuperficiales derivadas de la fracción oriental, en la zona de cizalla, se acopian, se rebosan en las superficies libres (o laderas), y discurren sobre las arcillolitas y sus suelos residuales, al punto de formar una red de cárcavas con profundidades de hasta 2 m., que cerca de su encuentro con la unidad residencial se interconectan para moldear una ladera uniforme en la que el caudal avanza lentamente para luego concentrarse en las cañuelas de la urbanización o moverse libremente por las áreas comunes hasta el sistema de alcantarillado o descargar en la quebrada Los Toches, o infiltrarse a través de los rellenos de reconfiguración y avanzar bajo las manzanas y la urbanización en general. Las líneas de flujo se marcan subparalelas a la pendiente media del terreno, y la velocidad es muy lenta, condicionantes que justifican que hacia la base de laderas, las de mayor pendiente, el nivel de agua se aproxime a la superficie.

El agua subsuperficial, en consecuencia, transcurre, exclusivamente, por entre los cuerpos cuaternarios, en dirección este-oeste, sin almacenarse en ellos. Sin embargo, su carga es tan importante que las masas operan casi sustancialmente presurizadas: la cabeza piezométrica máxima yace muy cerca de la superficie, entre unos pocos centímetros y el metro, aunque con algunas variaciones locales, lo que se traduce en coeficientes de presurización, ru , medios de 0.42, y la mínima se posiciona entre los cuatro y los cinco metros bajo la rasante. Premisa (o Prototipo) surgida del monitoreo de los piezómetros y de la auscultación de los pozos de exploración, escrutinio acopiado y sopesado en los apartados 6.2.3.3 y 6.2.4, en la [Tabla 6.4](#), en la [Tabla 6.5](#), en la [Tabla 6.6](#) y en la [Tabla 6.7](#), en las [Figuras 6.1 a 6.4](#) y en el [Plano 8](#), pero carente de una función matemática entre las precipitaciones y la descarga.

6.3.1 RECARGAS Y DESCARGAS NATURALES

En el ámbito de la microcuenca Los Toches y de la Ciudadela Santa Rosa, el único lugar de aporte o de recarga de las aguas de escorrentía y subsuperficiales se circunscribe en las faldas orientales, delimitadas entre la proyectada Carrera 18 Este y la falla de Bogotá. Las aguas migran hacia la urbanización, favorecidas por la morfología, por el azimut de buzamiento de las laderas (o taludes), marcado predominantemente hacia el SW o hacia NW, y por la participación de pequeños canales (entre naturales y artificiales), algunos intervenidos por el hombre. Pero estos no son los únicos aportes, la recarga encierra una contribución importante de aguas residuales, y un escenario prevalente: la ciudadela; proposición colegida de las proporciones arrojadas por los ensayos físico-químicos y bacteriológicos (particularidades desglosadas en el numeral 6.2.7). Aportes que dejan al descubierto o daños o desempates en la red de alcantarillado sanitario, o incapacidad de la red, o descargas inapropiadas, emanadas de los residentes o por fuera del conjunto

habitacional (premisa desprendida de las concentraciones en el piezómetro Pz-6) o redes clandestinas aisladas o deficientemente conectadas al sistema de alcantarillado de la ciudadela. La descarga, al igual que la zona de recarga, se posiciona por fuera del perímetro imaginario de la urbanización, uno de los corredores es por diseño geomorfológico el cauce de la quebrada.

6.3.2 PROSPECCIÓN GEOFÍSICA

Permite reconocer o derivar y extrapolar la secuencia estratigráfica y estructural y la posición de la tabla de agua en la microcuenca y ante todo en la vertiente sur. Es junto con los sondeos (mecánicos) y los pozos de monitoreo los insumos (e instrumentos) de mayor trascendencia para el diseño de los modelos geológicos bidimensionales y por ende para la estructuración del modelo hidrogeológico conceptual analítico. Aglutina siete (7) Líneas de Refracción, LRS (MASW), cuatro (4) Tomografías (rotuladas TM-1, TM-2, TM-3 y TM-4) y dos (2) Sondeos Geoelectrónicos, que surcan de norte a sur y de este a oeste el entorno de trabajo: universo referido en el inciso 4.1.1, en la Tabla 4.1 y en el Plano 4 y, desglosado en el apartado 4.1.3 y en las Figuras 4.5 a 4.16, del capítulo 4. Otorga los elementos de juicio y los vestigios suficientes para aseverar que los rellenos alcanzan los ocho metros de espesor, que el agua migra exclusivamente a través de las capas y de los niveles del cuaternario, con rumbo hacia el occidente, favorecido por el buzamiento del contacto suelo-macizo, y que el flujo superficial es constante, sin opción de acumulación (de las aguas) dentro y bajo del polígono de la Urbanización.

6.3.3 OBSERVACIONES EN TIEMPO SECO Y LLUVIOSO

De las inspecciones acometidas entre mayo y final de septiembre, época en la que se acomete parte del trabajo de campo, se establece que durante los días de lluvias la escorrentía superficial a lo largo del sistema de drenaje es alta, favorecida por las laderas moldeadas por el alto cárcavamiento, que expone dirección preferencial EW, pero con ligeras variaciones debidas al cambio de resistencia del material en el que se labran. Adicional a esto, los ambientes que acogen cambios de pendiente ligados a la participación de suelos residuales muy impermeables, favorecen la retención de las aguas de escorrentía, lo que da lugar a corredores muy húmedos, saturados. De la auscultación de estos espacios, y con el solo hecho de pisar fuerte se desata la salida o el escurrimiento de las aguas retenidas.

En concomitancia con estos indicios (y teoremas) se puede vislumbrar que el espesor de la lámina de agua retenida es inferior a los 0.10 m y que rápidamente se retorna a la desecación. Durante los periodos sin lluvia estos espacios fungen, relativamente, secos, razón por la que se ratifica que las precipitaciones son las gestoras exclusivas de las corrientes superficiales. Las fotografías puntualizan el entorno en los periodos de lluvia y secos citados.

6.3.4 SISTEMA DE FLUJO

Emerge de la aplicación del Método inductivo. Es la integración analítica de la microcuenca, de la radiografía estratigráfica y estructural del subsuelo, y de sus procesos evolutivos recientes (pues sólo se tienen documentados desde la década de los 50, tal y como se desprende del artículo 3.6 del capítulo 3). Abarca la observación, la clasificación y el estudio, la derivación y la contrastación de las expresiones morfológicas y morfométricas en superficie, de las transformaciones del sistema hidráulico, de la investigación del subsuelo, de la geología, y de los modelos geológicos.

Aspectos puntualizados en los capítulos previos y sintetizados en el Mapa Hidrogeológico, el *Plano 8*, y el *Plano 8A*. De ellos se desglosa que las unidades litoestratigráficas reinantes en la ciudadela, con excepción de la Formación Bogotá, poseen características similares; elementos que hacen posible agruparlas en una única Unidad Hidrogeológica Homogénea, la A4, y ratificar los enunciados citados en el numeral 6.2.2, en la *Tabla 6.2*, en la *Tabla 6.3*, y las características de flujo subsuperficial delineadas en el acápite 6.2.4.

6.3.5 PROSPECTIVA DE LA MODELACIÓN NUMÉRICA

La estructuración del modelo matemático hidrogeológico, confiable y preciso, sea éste Agregado, Distribuido de Parámetros Agregados, Particulares Englobados, Distribuidos de Parámetros Distribuidos o Diferencias Finitas, entre otros, requiere de un riguroso y exigente espectro de variables, entre ellas el volumen de almacenado en condiciones mínimas, normales y extremas, las salidas del acuífero, la Transmisividad (en la dirección de flujo), la Permeabilidad (para todos los horizontes comprometidos), el coeficiente de almacenamiento, etc. Singularidades imposibles de cumplir o de satisfacer al amparo del contrato, en parte porque implican el seguimiento y el monitoreo entre periodos secos y lluviosos sucesivos (al menos dos), que rayan con el tiempo contractual, y en parte porque hacen necesaria la práctica de pruebas particulares y la complementación del programa de exploración del subsuelo.

Al margen de los impasses señalados y con el propósito de dilucidar los estadios, aparentes, de presurización normal y extremo (máximas y mínimas) en las siguientes páginas se desglosa un método numérico simplificado, agregado (de parámetros agregados, que no es otra cosa que la suposición de que los materiales son homogéneos e isotrópicos). Valido, unívocamente, para definir el régimen de flujo subsuperficial, en el que la unidad de muestreo por excelencia es el cuaternario. Único sistema hidrogeológico que tiene aplicabilidad en la microcuenca, para los objetivos del estudio. Más aún si se reseña que el anticlinal y el macizo rocoso, sello impermeable por naturaleza (puesto que es fundamentalmente arcillolíticos y lodolíticos), en absoluto favorecen la acumulación de las aguas subterráneas (presunción explicada en el título 6.2.2 y simplificada en el *Plano 8A*), y que tampoco se emplaza en la urbanización un sinclinal o una falla que permitan la retención del flujo. Así, entonces, el marco descrito convierte a los antrópicos en los conductos preferentes de tránsito, y por consiguiente en el medio de análisis.

6.4 MODELO NUMÉRICO DISTRIBUIDO

Uno de los aspectos más importantes en la evaluación de estabilidad es la abstracción de los estadios operativos del agua subsuperficial. Estos son algunos de los factores más significativos en la gestación y en la propagación de los procesos de inestabilidad. En Santa Rosa no son la excepción. Pero aquí junto con las aguas superficiales además detonan o catalizan, en buena parte, los problemas estructurales de las unidades habitacionales, de los senderos peatonales y de la plataforma de recreación. Sus efectos se manifiestan no sólo en los fenómenos de erosión concentrada, en los flujos de tierra y en los deslizamientos locales, en los que su actividad está íntimamente ligada con el nivel de agua dentro del depósito afectado, sino en la alta humedad en las viviendas, explicada por las emanaciones de agua en los cortes de conformación a través del contacto suelo roca, en la incisión y en la profundización de las cárcavas y de los drenajes naturales. Acorde con las presiones manométricas en los piezómetros, con los niveles de agua en los pozos exploratorios, con los afloramientos de agua, y con la distribución y la geometría de los depósitos y el ordenamiento estructural, se deducen las superficies piezométricas, normal y extrema; sus intenciones cubren: el acometer la

evaluación de la amenaza por remoción en masa, el identificar los posibles efectos del agua en las viviendas y en el medio circunvecino, e inferir la posición más apropiada tanto de las obras de drenaje como de las de estabilización.

En otro orden de cosas, como antesala a la modelación de la red de flujo, es pertinente ilustrar y hacer una valoración de las maniobras y de los medios destinados al manejo del agua en Santa Rosa, que inciden en la respuesta del flujo subsuperficial. Unas y otros desprendidos de la auscultación de los componentes de la infraestructura, entre ellos de los senderos peatonales, de las vías internas y externas, y de los sistemas de alcantarillado, y que abarcan:

- Los canales adosados a las vías internas exponen humedad. Perturbación provocada, casi exclusivamente, por las aguas servidas, arrojadas o descargadas por los residentes desde los lavaderos y lavaplatos, a través de desagües clandestinos (incidente duplicado en la [Foto 6.1](#)).



FOTO 6.1 CUNETAS OBSTRUIDAS CON BASURA EN LA ESQUINA SUROCCIDENTE DEL PREDIO 31 DE LA MANZANA 64

- El caudal en los canales aumenta progresivamente de oriente a occidente, en la misma medida en que se incrementan las descargas de los pobladores. Práctica cotejada de la información suministrada por algunos habitantes.
- Los llozaderos disseminados en el corredor sur del barrio y este de algunas carreras, carecen de evidencias de haber permitido, por lo menos en los últimos meses, la evacuación de agua (singularidades ilustradas en la [Foto 6.2](#)). Únicamente algunos de los elementos irradiados al occidente de la carrera 17 Este, revelan huellas de la descarga del agua (trazas captadas en la [Foto 6.2](#), en la [Foto 6.3](#) y en la [Foto 6.4](#)).
- En el muro del borde oriental de la carrera 17 Este con calle 41 Sur, que moldea la diferencia altimétrica entre el andén y la banca vial (y que toca los 4,50 m), los llozaderos yacen totalmente

secos, sin estelas de emanaciones de agua, al menos en los último semestre (como lo sugiere un grupo de residentes, y es aboceteado en la [Foto 6.2](#) y en la [Foto 6.3](#)). Singularidad que da pie a suponer que las aguas no surcan en caudales relevantes por debajo de esta parte de la urbanización, de manera tal que puedan promover focos de inestabilidad.



FOTO 6.2 LLORADEROS SECOS O INOPERANTES EN LA CR 17 ESTE CON CL 41 SUR

- El fracturamiento concatenado al desplazamiento del andén, en el cinturón norte dista de aglutinar aguas superficiales.
- Sólo la esquina noreste de la intersección de la carrera 17 Este con la Calle 41 Sur, exhibe deformaciones y hundimientos, inducidos por el rompimiento de la tubería de alcantarillado sanitario. Su falta de canalización posibilita el empantanamiento del espacio verde, y la propagación de malos olores (impresión irradiada en la [Foto 6.3](#)).



FOTO 6.3 LLORADEROS EN LA CR 17 ESTE CON CL 41 SUR: EL CINTURÓN VERDE OPERA HÚMEDO PRODUCTO DE LAS DESCARGAS DE ESCORRENTÍA DE LA CALLE Y DE LA LADERA.



FOTO 6.4 FOCOS DE HUMEDAD EN LA FRANJA NORORIENTE DEL PREDIO 64 DE LA MANZANA 78.

- Los corredores peatonales son en esencia callejones de escaleras, separados por jardineras y bordeados en sus extremos por canales, que colectan aguas lluvias y servidas descargadas de las viviendas. Algunos tramos de los canales están rotos o fracturados y desplazados; anomalías que redundan en que parte del agua que transportan pueda infiltrarse y tomar rumbos desconocidos por entre los rellenos y por los horizontes de suelo natural, que soportan a la Urbanización, tanto así que su salida es incierta (averías resaltadas en la Foto 6.5).



FOTO 6.5 ROMPIMIENTO DE LA PLACA DEL ANDEN EN LA ESQUINA NOROCCIDENTE DEL PREDIO 32 DE LA MANZANA 63

- A diferencia de los lloraderos y de la esquina de la carrera 17, ninguna otra salida de agua se ha rastreado o descubierto. Por otra parte, la cabeza de presión en los piezómetros Pz-1, Pz-5, Pz-6 y Pz-8, en afinidad con las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas, involucra la contribución de aguas residuales.

6.4.1 PROPIEDADES HIDRÁULICAS E HIDROGEOLÓGICAS

A partir del análisis multitemporal, de la exploración geológica y geotécnica, de los ensayos de laboratorio y de la caracterización geomecánica (abordada en el capítulo 4) se abstraen (y, en medida alguna, simplifican) el arreglo estratigráfico, litológico (y geotécnico) y estructural, y, por ende, los modelos geológico-geotécnicos (que son representados por secciones de análisis). Acervo destinado a descifrar el movimiento del agua, es decir enfocado a la predicción de las superficies piezométricas o cargas hidráulicas (máxima, mínima y media o “normal”), en sensu stricto colgadas y limitadas por el lecho rocoso de la formación Bogotá, y de las líneas de flujo, bajo el auxilio de una simulación numérica (aproximada).

Al mismo tiempo, del espectro de las propiedades hidrogeológicas, que involucran el coeficiente de almacenamiento, la transmisividad y la permeabilidad, sólo esta última se toma en consideración para la aproximación teórica. En gracia de esta consideración la permeabilidad de los depósitos es bastante mayor que la de las capas de suelo residual, y esta a su vez superior a la del lecho rocoso, hecho justificado en el agrietamiento de los horizontes residuales producto de los cambios estacionales de humedad entre las épocas de invierno y de verano. Tesis que bajo el prisma de los ensayos de laboratorio (en específico de las consolidaciones) se traduce en coeficientes, k , para los cuaternarios de $1.45E-7$ m/s, para los suelos residuales y para las lodolitas (o arcillolitas) muy alteradas de $1.0E-8$ m/s y para el lecho de arcillolita de alrededor de $9.41E-10$ m/s.

Bajo los preceptos subrayados y como reflejo de las disposiciones geológicas, geomorfológicas y topográficas de la vertiente, de los procesos morfodinámicos, de los problemas de humedad, se fijan seis secciones de trabajo, rotuladas desde la 1-1' hasta la 6-6', universo esquematizado en el Plano 8, en el Plano 8A, en el Plano 8B y en el Plano 8C). Las dos primeras, la 1-1' y la 2-2, surcan por las franjas norte y sur del barrio, respectivamente, en la dirección preferencial de movilización de las superficies libres y del flujo subsuperficial. La tercera, la 3-3', se emplaza, al nororiente del barrio, a lo largo del principal cuerpo de inestabilidad, que ostenta más de 200 m de longitud, 50 m de ancho y 10 m de profundidad, y del que sus rastros iniciales de actividad se remontan a la década del cincuenta, y los más recientes datan del 2009. Y la tres últimas, la 4-4', la 5-5' y la 6-6' se marcan diagonal a la ciudadela, con rumbo al noroccidente, pretenden idealizar la red de flujo, y en medida alguna la carga hidráulica hacia la quebrada, de las laderas más altas (superiores a los 8 m), pronunciadas (con buzamientos próximos a los 30°) y susceptibles de desplazarse.

6.4.2 CONDICIONES DE FRONTERA

Son emanadas de la aplicación de procesos de investigación exploratorios, descriptivos y explicativos, de orbe más cualitativo que cuantitativo, no experimental y transversal, es decir basados estrictamente en la observación del comportamiento del medio en un momento concreto o bajo la misma temporalidad (en este caso los meses entre abril y septiembre de 2017), y que congrega la medición (discreta) de algunas (pocas) variables (entre ellas la carga hidráulica, la lluvia acumulada, las propiedades físico-químicas del agua) pero sin partir de funciones claramente definidas. En palabras simples se fijan de las observaciones e investigaciones (se reitera descriptivas y explicativas) de campo, entendidas éstas como el inventario de deslizamientos, el monitoreo de la cabeza piezométrica y del régimen de precipitaciones, la auscultación de las componentes geotécnicas (baste señalar la exploración del subsuelo, los materiales y sus coeficientes geomecánicos) y la cobertura vegetal. Elementos que permiten justificar los niveles de agua, para los escenarios normal y crítico o máximo, en espacios o puntos específicos de la microcuenca.

En este orden de ideas, de las pesquisas observacionales directas se desprende que en las laderas orientales, delimitadas entre el cierre de las viviendas y 200 m arriba del trazo de la Falla de Bogotá, corre agua libre en superficie. El flujo, superficial y subsuperficial disperso, proviene desde los afloramientos orientales a la Falla de Bogotá, y desde los planos de exfiltración, patentes en el fondo y en los taludes de las cárcavas, talladas en las arcillolitas (en ocasiones alteradas y fisuradas) de la Formación Bogotá. Y dada su permanencia en el tiempo, se concibe que la carga hidráulica, tanto normal como crítica, yace en la superficie del terreno.

El monitoreo (de los piezómetros), por su parte, deja entrever que las profundidades de la cabeza de agua, exponen variaciones estacionales relativamente pequeñas. Así, la desviación en el piezómetro Pz-1 está próxima a los 2 m, con la profundidad máxima en 3.80 y la mínima en 0.50; en el Pz- 5 apenas toca el medio metro, su mínimo se posa en 0.70 y su máximo en 1.20 m; en el Pz-6 bordea los 2.3 m, dictada por una altura máxima de 3.20 y una mínima de 5.50 m, y finalmente, el Pz-8 transcribe apenas un metro, fijado entre una mínima de 3.5m y una máxima de 4.5 m; examen y perspectiva esbozado en la Figura 6.5.

En ella se perfila, también, el cambio de la precipitación diaria acumulada para 5, 10, 15 y 30 días, y se descifra que sus máximos ocurren entre la mitad de junio y la mitad de agosto, a partir de allí es evidente la entrada del periodo seco y por consiguiente su descenso. Las fluctuaciones en los niveles piezométricos del Pz-1 y del Pz-6 infieren los cambios más drásticos y desvelan cierta correspondencia con la precipitación acumulada; el Pz-5 y el Pz-8 dejan en claro una reducción en la cabeza en concordancia con el declive de la

lluvia, aunque de manera tenue, por lo que es prácticamente despreciable; en este sentido, su comportamiento obedece al estado de flujo decretado desde la parte alta de la ladera.

En el intento por estructurar una función (matemática) y en específico la regla entre la precipitación anual y la infiltración, manifiesta (indirectamente) en la presión de agua, es evidente, desde una formulación empírica, que la primera incide (e incrementa) la segunda, en especial en los corredores verdes circunvecinos a las unidades residenciales. Pero su relación dista de ser constante, más aún si se reseña que la precipitación varía con los ciclos temporales, y que en rigor es una serie de tiempo. Singularidad que obliga a revisar el comportamiento de la lluvia, al menos desde la perspectiva de la investigación descriptiva y cualitativa, con la pretensión de abstraer una hipótesis del cambio en la norma de la cabeza hidráulica.

Entre 1990 y 2017 la precipitación, en Santa Rosa, se ha incrementado significativamente. La máxima anual pasa de 1400 mm, regente entre las décadas del 40 y del 90, a 1835 mm en el año 2011, extremo jamás alcanzado en los 70 años previos, y es excedida en los últimos casi treinta años (i.e. entre 1990 y 2017) en repetidas ocasiones: doce (12) en la estación El Delirio, seis (6) en la de Juan Rey, y cinco (5) en la de Vitelma, y el promedio anual, en esta misma época, se ha incrementado en más de 300 mm, frente al promedio histórico hasta 1990 (axioma sustentado y diagramado en la *Figura 6.6*). Este notable incremento incide directamente en la inestabilidad de las laderas con mayor susceptibilidad, tal como lo ratifica el incremento en la tasa de actividad del deslizamiento principal (el flujo o el deslizamiento de tierras moldeado al nororiente de la microcuenca, en la vertiente derecha) posterior al 2010, conclusión despreñada al repasar el análisis multitemporal (enunciado 3.6 del capítulo 3). Bajo este nuevo paradigma, y a fe de simular el nivel de agua crítico para el periodo de retorno de 50 años, parece apropiado asumir que la precipitación anual sea superior a los 1400 mm, y fijar la descarga de 1600 mm, apoyados en que en el curso reciente ésta ha tenido lugar en dos ocasiones en los últimos diez años, como parámetro discriminante.

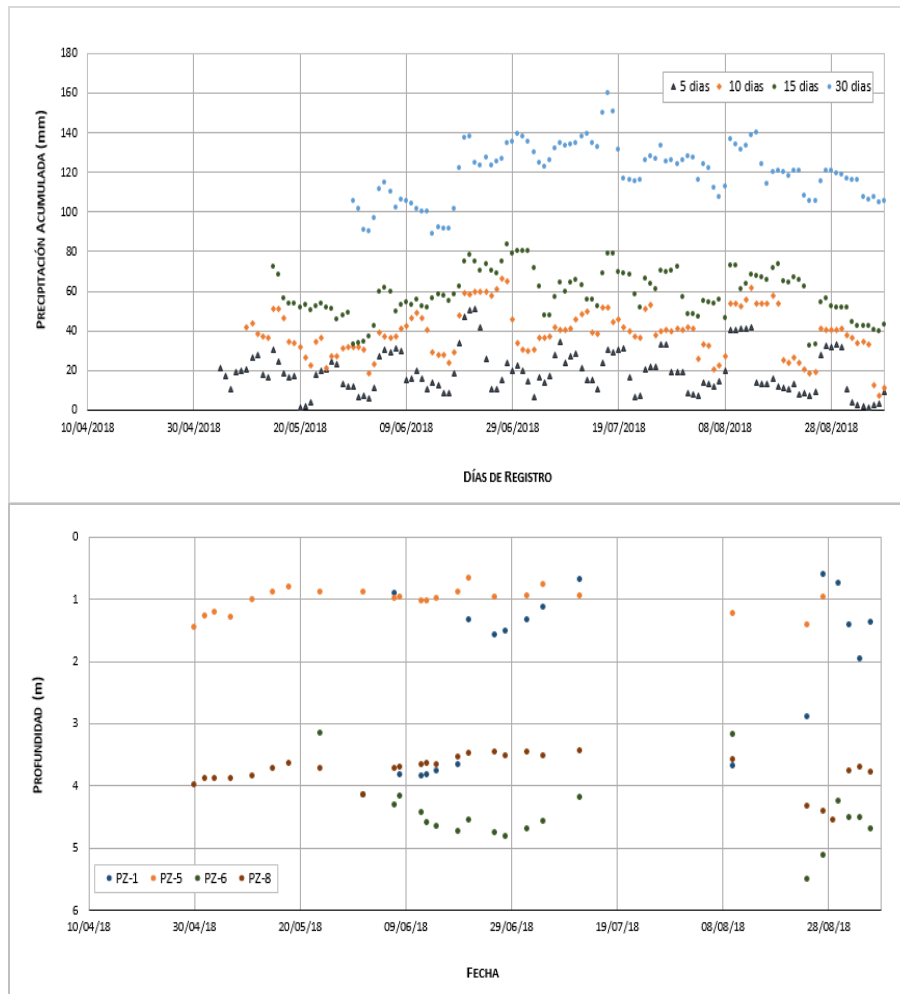
Desde este mismo marco pero desde una orilla diferente, una de las variables que puede ayudar a entender el posible incremento del nivel de presurización en las vertientes, es la lluvia crítica. Variable fijada, a la luz del estudio hidrológico, en 211 mm. Frontera esperada toda vez que el registro precedente y el periodo de retorno se acerquen a los 10 días y a los 32 años, respectivamente, y que en función de los registros mensuales (y ante la ausencia a la mano de series diarias) puede haberse superado eventualmente a partir de 1985, y con marcada frecuencia desde el 2010, así parecen indicarlo las altas cantidades de agua caídas en los meses de abril, mayo y noviembre (concepción respaldada por la *Figura 6.7*).

La lluvia acumulada mensual entre los años 40 y 80, indistinto del mes del año, apenas supero la crítica, y para el caso extremo por 50 mm, en unas siete (7) ocasiones. Sin embargo, entre los 80 y el 2017 la barrera es rebasada en veintiocho (28) oportunidades en más de 40 mm en promedio y en 110 mm en el evento más severo. Lo que revela por una parte un incremento sustancial de la precipitación en los últimos 40 años, y por otra la amplia posibilidad hoy día de exceder la lluvia crítica al menos una vez cada dos años. En este orden de ideas es fácil predecir que en los espacios verdes baldíos y en los reinantes dentro de la ciudadela el nivel de presurización extremo (también rotulado como crítico) es casi total; en otras palabras, la carga hidráulica máxima se posiciona en o muy cerca de la superficie del terreno. Y la mínima se deriva, discrecionalmente, de las menores cabezas registradas en los piezómetros y en los pozos de inspección.

Por último, en lo que atañe a la cobertura vegetal, los terrenos forjados en suelos arcillosos, en especial los aledaños a la urbanización, producto de los desplazamientos diferenciales sufridos por los depósitos, se abren paso agrietados. Alteración que hace que su retención sea alta y por eso se infiltre una proporción significativa de la precipitación, cantidad ponderada para los pasajes verdes en el 80%, lo que se traduce en

que la infiltración esperada es de 1280 mm. Cantidad que adquiere especial relevancia, pues de acuerdo con la metodología del Servicio Geológico, para el escenario crítico se recomienda incrementar el nivel piezométrico en una magnitud igual a la infiltración anual esperada (en este caso 1.28 m).

FIGURA 6.5 INCIDENCIA ENTRE LA PRECIPITACIÓN DIARIA ACUMULADA Y DE LA CABEZA PIEZOMÉTRICA



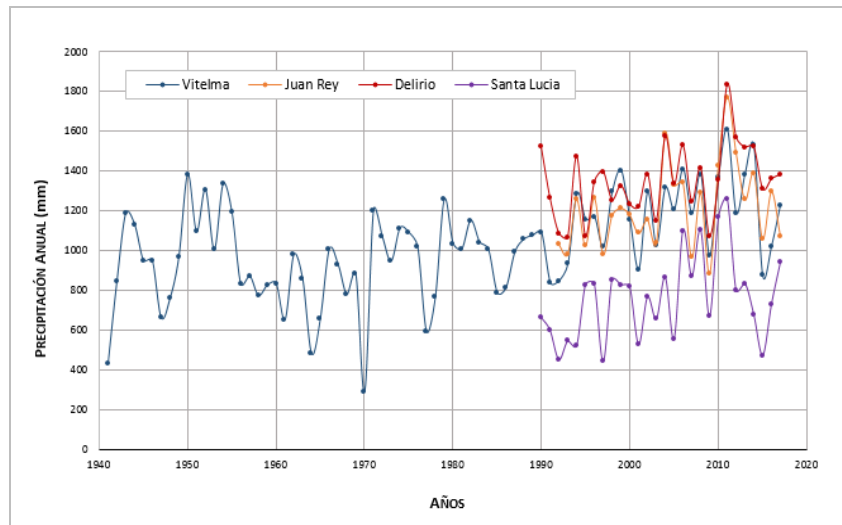
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

6.4.3 ANÁLISIS DE FLUJO: ELEMENTOS FINITOS

Es un modelo agregado, basado en una solución analítica de acuífero homogéneo e isotrópico de extensión semiinfinita. Asume como punto de partida un estado estable de flujo, y pretende inferir las superficies piezométricas para los estadios normal y extremo. Emplea como herramienta de trabajo el programa Slide 5.0, y en particular el módulo Groundwater, que desglosa el medio en una malla de elementos triangulares y define fronteras cerradas de flujo. Tiene como insumos los niveles piezómetros de control (i.e. el de Pz-1, el del Pz-5, el del Pz-6 y el del Pz-8), y las circunstancias específicas de campo, entre ellas la lámina de agua en

la quebrada, las acumulaciones de flujo y las tasas de infiltración. Derrotero aplicado a las seis (6) secciones de estudio (conjunto recapitulado en los Planos 8 a 8D y desde la Figura 6.8 hasta la Figura 6.13).

FIGURA 6.6 VARIACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL CON EL TIEMPO



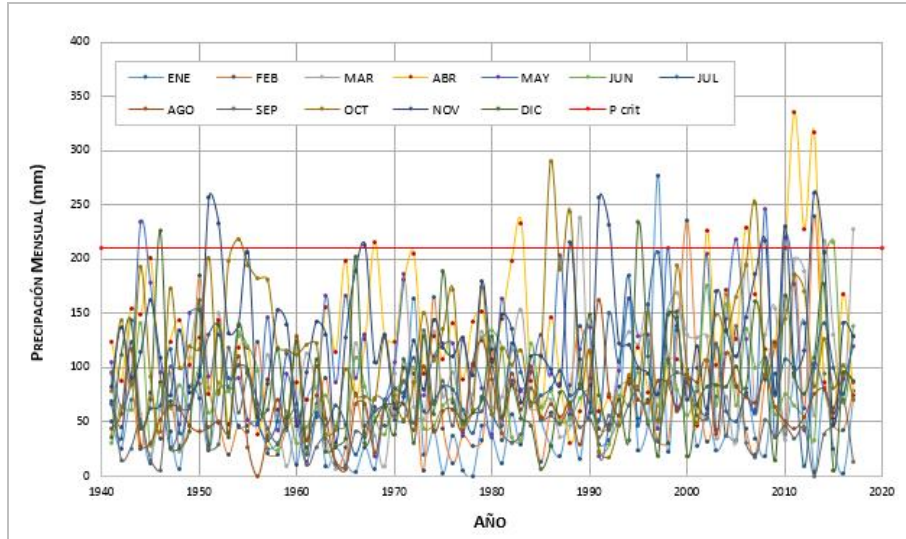
FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

La discretización de los elementos finitos y las condiciones de frontera, simbolizadas por círculos Azules con interrogante, que idealizan los puntos incógnita para la evaluación de flujo, y por círculos parcialmente llenos en azul, que reproducen los sitios en los que la cabeza piezométrica es igual a las presión atmosférica, que no son otra cosa que los puntos de control, son proyectados en la Figura 6.17, en la Figura 6.18 y en la Figura 6.19. Para todos los modelos se adopta que su base y los laterales responden a fronteras cerradas de flujo. En este entorno, se admite que por la participación del lecho rocoso de arcillolitas y de lodolitas, el flujo transita desde la superficie en el tope de las vertientes, a través de los depósitos, hasta la base de las laderas, en los cauces naturales. Sentado este precepto, acto seguido para el escenario extremo tanto en los puntos de control como en las secciones, previendo que por los rasgos y los atributos topográficos y por la tasa de filtración puede alcanzarse la saturación o la presurización total de los suelos, la presión crítica se desplaza a la superficie del terreno.

6.4.4 RESULTADOS

En adelante se acopian y discuten los efectos y las emanaciones de la evaluación del modelo distribuido de flujo para los estadios de trabajo extremo y normal. Los más importantes se circunscriben en la posición de la línea Piezométrica a lo largo de la vertiente (discretizada en las secciones), en sus derivaciones en la respuesta geomecánica de las laderas, basta señalar que es insumo esencial para atender el análisis de estabilidad y la evaluación de amenaza actual, en su incidencia en el flujo frente a la presencia de focos de humedad y de emanaciones de agua en algunos sectores del medio; y en la idealización y proyección de los elementos estructurales (y si es posible no estructurales) de drenaje y subdrenaje para el control de flujo subsuperficial y para la reducción de la presión hidrostática en espacios claves de las laderas que impacten positivamente la estabilidad global y local de la urbanización.

FIGURA 6.7 VARIACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL CON EL TIEMPO-ESTACIÓN VITELMA.



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 6.11 PROFUNDIDADES DEL CARGA HIDRÁULICA PARA LOS ESTADIOS NORMAL Y CRÍTICO.

SECCIÓN 1-1'				SECCIÓN 2-2'				SECCIÓN 3-3'			
ELEMENTO DE FLUJO		NIVEL PIEZOMÉTRICO		ELEMENTO DE FLUJO		NIVEL PIEZOMÉTRICO		ELEMENTO DE FLUJO		NIVEL PIEZOMÉTRICO	
SONDEO	COTA (MSNM)	NORMAL (M)	CRÍTICO (M)	SONDEO	COTA (MSNM)	NORMAL (M)	CRÍTICO (M)	SONDEO	COTA (MSNM)	NORMAL (M)	CRÍTICO (M)
	>3000	0	0		>3000	0	0		>3000	1,5	0
(S-8)	2292	3,5	0	(S-8)	2292	3,5	0	(S-9)	2988	3,5	0
(S-7)	2959	3,5	0	(S-1)	2970	1,5	0	(QDA)	2960	0	0
(S-5)	2925	1	0	(S-2)	2952	1,5	0	(QDA)	2954	0	0
(S-6)	2888	4	0	(S-4)	2923.5	1	0	(S-7)	2952	3,5	0
				(S-6)	2888	4	0				
SECCIÓN 4-4'				SECCIÓN 5-5'				SECCIÓN 6-6'			
ELEMENTO DE FLUJO		NIVEL PIEZOMÉTRICO		ELEMENTO DE FLUJO		NIVEL PIEZOMÉTRICO		ELEMENTO DE FLUJO		NIVEL PIEZOMÉTRICO	
SONDEO	COTA (MSNM)	NORMAL (M)	CRÍTICO (M)	SONDEO	COTA (MSNM)	NORMAL (M)	CRÍTICO (M)	SONDEO	COTA (MSNM)	NORMAL (M)	CRÍTICO (M)
(S-3)	2936	2	0		>3000	0	0	(S-2)	2952	1,5	0
(S-5)	2925	1	0	(S-1)	2970	1,5	0	(QDA)	2929	0	0
(QDA)	2942	0	0	(S-7)	2959	3,5	0				
				(QDA)	2940	0	0				

FIGURA 6.8 MODELO DE ELEMENTOS FINITOS Y FRONTERAS PARA LAS SECCIONES 1-1'

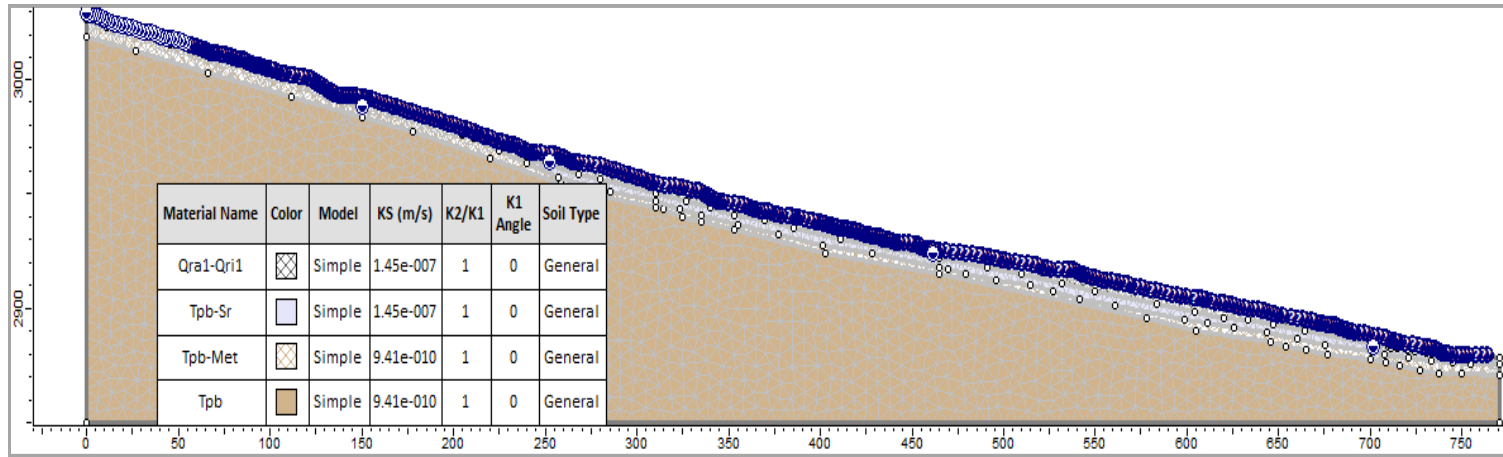


FIGURA 6.9 MODELO DE ELEMENTOS FINITOS Y FRONTERAS PARA LAS SECCIONES 2-2'

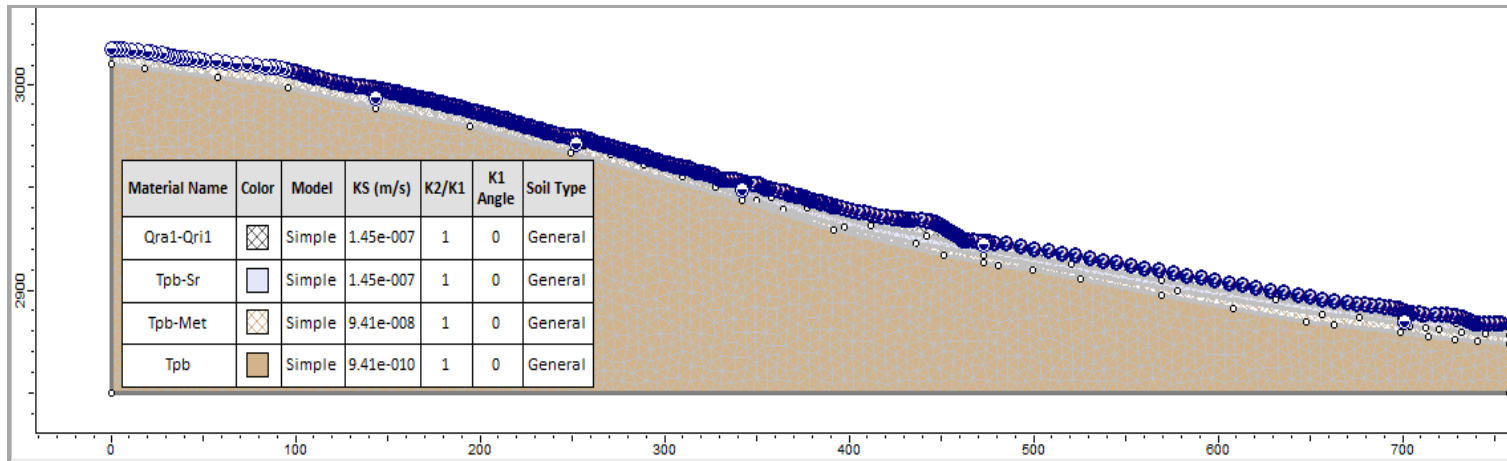


FIGURA 6.10 MODELO DE ELEMENTOS FINITOS Y FRONTERAS PARA LAS SECCIONES 3-3'

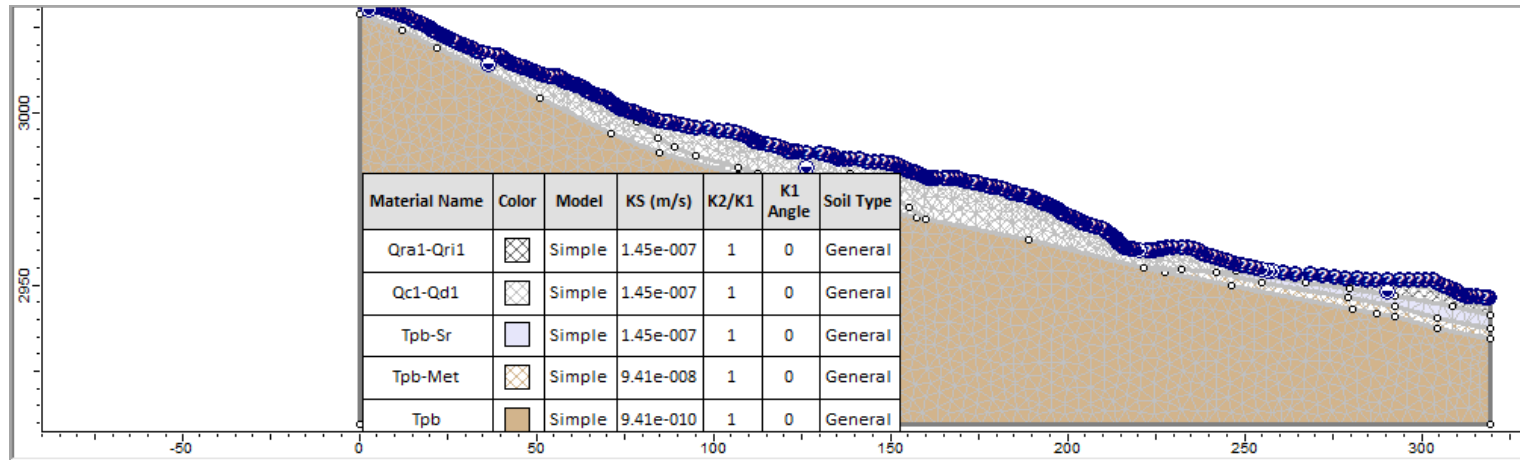


FIGURA 6.11 MODELO DE ELEMENTOS FINITOS Y FRONTERAS PARA LAS SECCIONES 4-4'

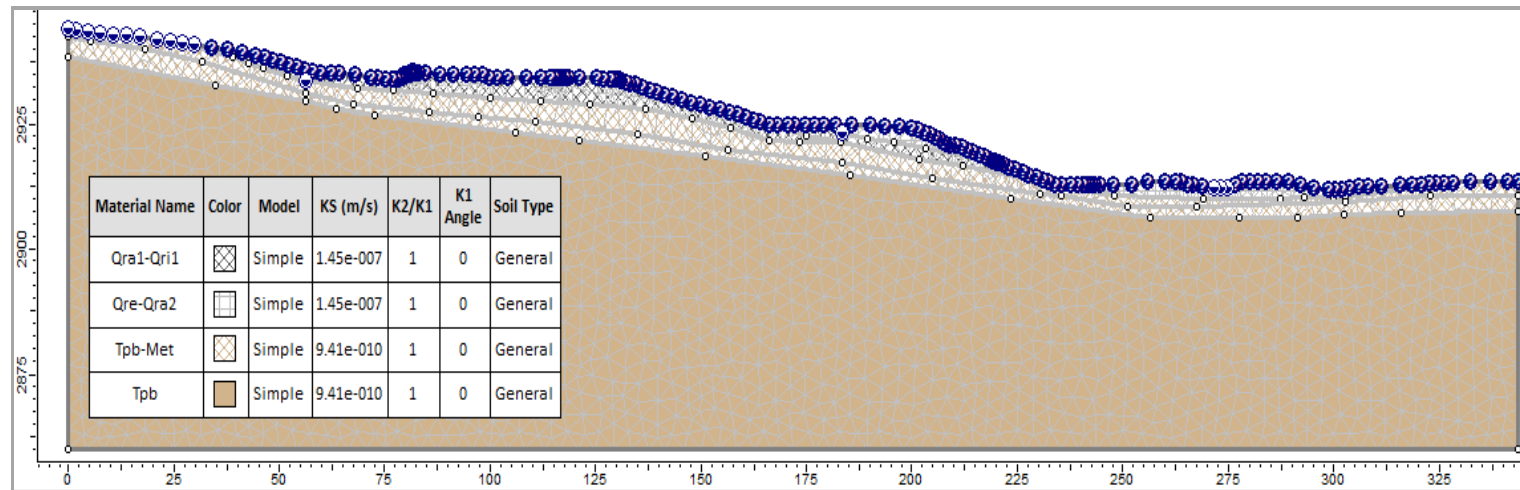


FIGURA 6.12 MODELO DE ELEMENTOS FINITOS Y FRONTERAS PARA LAS SECCIONES 5-5'

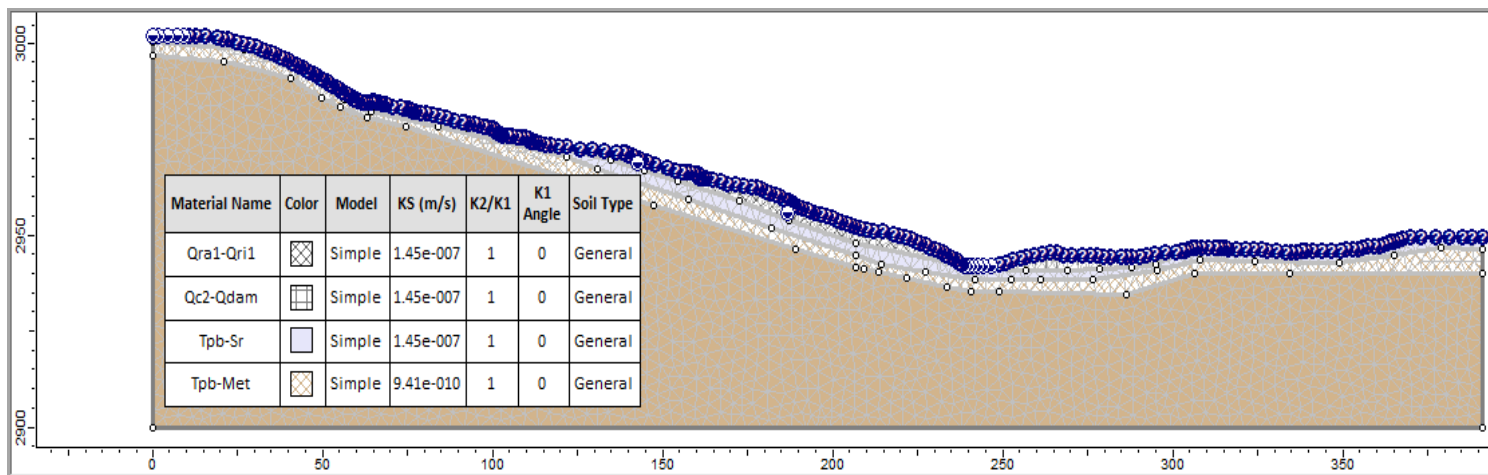
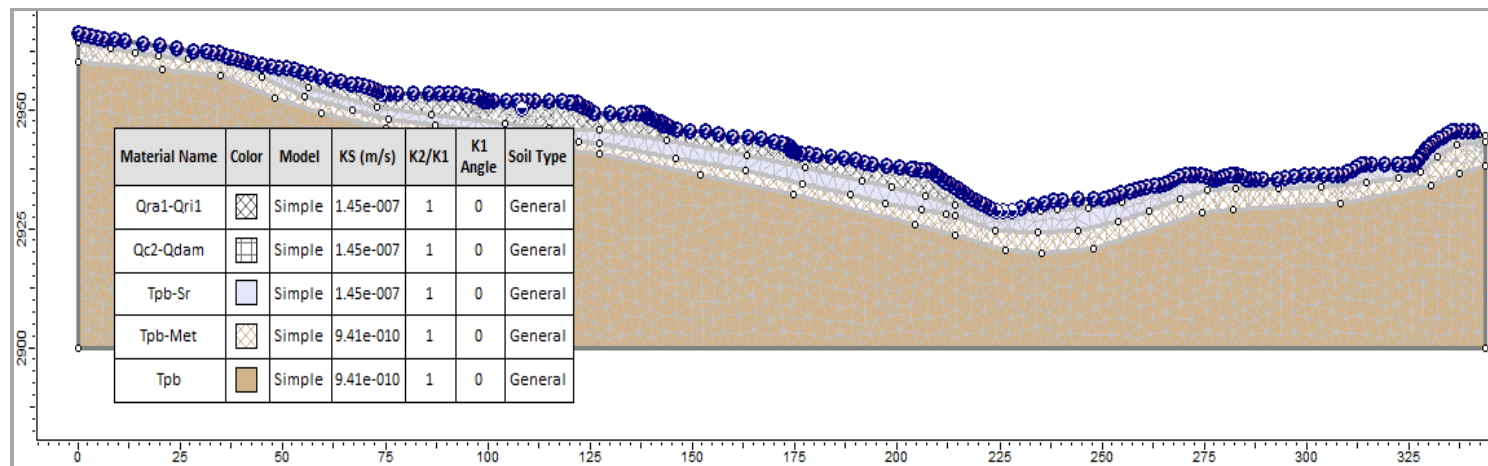


FIGURA 6.13 MODELO DE ELEMENTOS FINITOS Y FRONTERAS PARA LAS SECCIONES 6-6'



El arreglo litoestratigráfico y la red de flujo longitudinales, perfilados por la unidad 1-1 (o sección 1.1'), bajo estados operativos normales, revelan que la línea piezométrica se aproxima a la superficie en la franja media, máxime en el tramo demarcado por las manzanas 78 y 79, y entre las carreras 16A Este y 17 Este. Condición que trasciende, muy posiblemente, en la intersección de la superficie de flujo con la cimentación de las viviendas y con los desniveles tallados para la conformación de sus plataformas de implantación (planteamiento esbozado en el Plano 8B, en el Plano 8C y en el Plano 8D). Evento que permite advertir que los problemas de humedad y que las emanaciones de agua en las viviendas son debidos a la proximidad del nivel de agua a la superficie. Circunstancia que contrasta con los dominios de las manzanas 63 y 71, y 93 y 98, en el que unos y otras son de menor impacto, el nivel del agua aquí se posa a más de 2 m de profundidad y no abarca la cimentación ni los taludes de las viviendas. En condición extrema, en casi toda la vertiente (y la urbanización) la cabeza hidráulica colinda con la superficie, por lo que los frentes de humedad y la entrada de flujo en las edificaciones se generalizan.

La superficie libre 2-2' para el escenario normal, en el entorno de las manzanas 64, 65, 72, 73, 80 y 81 transcribe la línea piezométrica a 3.5 m por debajo las viviendas y de su posible nivel de fundación; la posición relativa se reduce en los predios de los bloques 95 y 98, a cerca de 2.5 m por debajo de las terrazas para la adecuación, singularidades que dictan una perspectiva más satisfactoria que la de la sección 1-1' y que menguan los efectos negativos del flujo. Sin embargo, no se descarta que en algunos recintos se libere flujo hacia las viviendas. El contexto en el estadio extremo es poco prometedor: la cabeza piezométrica surca a pocos centímetros de la superficie, con abatimientos locales en los cortes más notorios, y se agudiza en las épocas de altas precipitaciones (postulados esquematizados en la Figura 6.15 y en el Plano 8C); así que las sucuelas de humedad y las salidas de agua en las construcciones se incrementan.

En el cuerpo del deslizamiento principal la línea de presión en la situación normal surca entre los 3.5 m y los 6 m de profundidad, aunque en la pata se mantiene a menos de 2 m y en las depresiones toca la superficie (discernimiento plasmado en la Figura 6.10 y en el Plano 8D), y la tasa de actividad (en su pronóstico), expresada en la velocidad de movimiento, se espera (a la luz de la respuesta en los últimos diez años) no supere la frontera de muy baja (Cruden y Varnes, 1996). El panorama cambia radicalmente si el contexto es el extremo: el depósito se presuriza casi en su totalidad, la reactivación es evidente, la velocidad de viaje aumenta hasta convertirse en baja (lo que significa 1.3 m/año) o en intermedia (Cruden y Varnes, 1996) y la descarga, como es apenas obvio, se da en la base del deslizamiento.

Las regiones simplificadas por las secciones 4-4' y 6-6' dejan entrever que la carga hidráulica para la escena normal descansa a 3.5 m bajo la rasante de las manzanas y se asienta en la superficie del terreno en la vecindad al cauce de la quebrada Los Toches, atributo lógico pues ella controla las isopiezas (y el nivel de agua, distribución reproducida en la Figura 6.11 y en la Figura 6.14 y el Plano 8D). Sin embargo, esta ventaja (relativa) se desvanece para el modelo de flujo extremo, la presurización es casi total, imperativo que cataliza la incubación de flujos lentos y de todo tipo de proceso de inestabilidad, promotores del agrietamiento de los andenes y de las viviendas del cinturón norte.

El principio hidrogeológico en el amplio frente de la unidad 5-5' para los estadios normal y extremo, es casi idéntico: la presurización casi completa de las masas de rellenos, las desviaciones entre una y otra sollicitación son casi intrascendentes (normas aboceteadas en la Figura 6.12 y en el Plano 8D). Esto debido a que la cabeza hidráulica en los puntos de control, indistinto del estadio de trabajo y del periodo estacional (sea de altas o bajas lluvias), fluctúa bastante próxima a la superficie del terreno, ante todo en el tope de la vertiente y en casi todo el territorio ocupado por la urbanización, pormenor que da pie a la proliferación de frentes de humedad y de descargas en las viviendas.

Al amparo de los preceptos y de las derivaciones desplegados en los párrafos previos, es de primer orden concebir y proyectar un plan de acción integrado por sistemas de drenaje y de subdrenaje (profundo); que permita intersectar el flujo subsuperficial, reducir la cabeza hidráulica en la ciudadela, coartar la incubación y la propagación de los eventos de inestabilidad, restringir la aparición y la permanencia de los frentes de humedad y de las descargas en los saltos y desniveles, desacelerar el reblandecimiento de los horizontes de relleno y del suelo de fundación, evitar el deterioro estructural de las edificaciones, en especial de la cimentación. Tarea central del capítulo 9.

6.4.5 CRITERIOS PARA EL MANEJO DEL FLUJO SUBSUPERFICIAL

La secuencia litoestratigráfica y sus tensiones (de origen tectónico) o sus distorsiones (Ragan, 1980), que dan lugar a configuraciones curviplanas, expresadas en el anticlinal, inhiben la acumulación del agua subterránea bajo las manzanas y los bloques de edificios, y repercuten en que el flujo se aleje de la cresta y, casi, del eje de la ciudadela hacia los flancos: el oriental y el occidental. En su lugar la participación de los rellenos y de los suelos residuales de la Formación Bogotá, a lo largo y ancho de la vertiente, las descargas del agua de escorrentía y de las (re)surgencia, emanadas o procedentes del corredor oriental (en el que la falla de Bogotá es su límite), y los aportes sanitarios, dan forma y lugar protagónico al flujo subsuperficial bajo la urbanización. En éste las líneas de corriente son subparalelas a la pendiente general de las laderas, el campo de fuerzas es en buena parte hidrogravitacional y geoestático, y el zócalo está diagramado por el contacto de los depósitos con las lodolitas y arcillolitas.

Las líneas equipotenciales máximas (o de presurización), para el escenario extremo, pueden tocar la superficie. Predicción soportada en el monitorio de los piezómetros, en especial en las altas cabezas de agua registradas, provocadas por lluvias distantes de las críticas, e inmersas en el ámbito de un invierno próximo al típico (multianual), en las descargas de precipitación e infiltración (posibles), y en los resultados de los modelos numéricos (los elementos finitos). Vaticinio que se extiende y es factible, también, bajo estadios de trabajo normales, y que explica (o deja patente), y justifica los problemas de humedad, las descargas en partes del barrio, y la latente posibilidad de movilización de algunas masas de suelo en la ribera de la quebrada y la vecindad a las viviendas, y la aceleración o reactivación del deslizamiento principal.

Bajo este ámbito es de primer orden la implantación de una red de subdrenajes (sea con trincheras profundas, de más de tres metros de altura, o con drenes –horizontales- de penetración), asistida o no por la revisión y reparación o reforzamiento del sistema de alcantarillado, por el tendido de cunetas o por estructuras de confinamiento (o de contención), de manera que se abata y controle el nivel piezométrico, se reduzcan los focos humedad y las emanaciones de agua en las viviendas y se mejore notablemente la estabilidad general y local en las superficies libres del barrio. Red que debe enfatizarse en la base de los taludes y de las laderas. Los principios, derroteros, beneficios, predimensionamientos y distribución de esta y otras alternativas se discuten en los capítulos venideros, y son el pilar central del capítulo nueve.

La incidencia de esta medida se extiende más allá de las fronteras de la ciudadela, y abarca las laderas poco intervenidas de la franja oriental. Allí durante los periodos de lluvia, la carga de los paquetes de arenisca depositados sobre el plano de falla, las altas tasas de escorrentía, los empozamientos y las concentraciones de agua, y el patrón de drenaje natural fomentan el escurrimiento lento y la infiltración, lo que, a su vez, redundará en la presurización de los rellenos y de las capas de suelo residual reinantes bajo el perímetro urbanizado, en su reblandecimiento, en la proliferación de los focos de humedad y en los, eventuales, afloramientos de agua al interior de algunas viviendas. Premisa cotejada por las investigaciones de campo y

por el dictamen observacional. Es en este contexto, muy importante la intersección del flujo, a través de una unidad profunda, sea ésta una trinchera o una mini galería, o un pozo, y de un sistema de cunetas, destinado a captar el escurrimiento superficial. Una y otro proyectados para descargar en la quebrada Los Toches o en uno de sus tributarios.

6.5 CONCLUSIONES

- Si bien la Formación Bogotá ha sido catalogada en el orbe regional como un acuífero (OMM, 2012 e IDEAM, 2015), al sur de la localidad de San Cristóbal y al interior de la microcuenca Los Toches y de la Ciudadela Santa Rosa, pasa, como reflejo del modelamiento estructural y de deformación, en el que el Anticlinal El Zipa y la falla de Bogotá son eslabones sustanciales, a tener funciones más de acuitado o de acuífugono, y a imposibilitar la acumulación de aguas subterráneas, pero a facilitar y a favorecer el tránsito subsuperficial.
Paradigma revalidado, en parte, por la prospección geofísica, configurada por las líneas de refracción sísmica, por las tomografías eléctricas resistivas y por los sondeos eléctricos verticales, pues ninguno de estos componentes descubre o deja entrever concentraciones o de niveles de agua bajo la Ciudadela o en los planos imaginarios que la circundan, y en parte por las lecturas en los piezómetros. De ellas se infiere que el agua, por efecto de la gravedad, migra hacia los corredores de abatimiento o hacia el cauce de la quebrada. El sello impermeable en el fondo hace que el caudal se mantenga estacionario durante cierto periodo.
- El agua se abre paso en el régimen superficial y subsuperficial a través de las unidades cuaternarias: los rellenos y los suelos residuales. Sus espesores migran desde los pocos centímetros, en la microcuenca alta, hasta los ocho (8) metros en las franjas central y baja, cerca del perímetro de las manzanas 71, 80, 83 y 99, como lo cotejan los Sondeos S-2, S-4, S-6 y S-7.
- Si bien es poco factible establecer una función predictiva entre la carga hidráulica (en los piezómetros) y la precipitación, es infundado desconocer que la lluvia incide en las variaciones del nivel de agua subsuperficial, sin embargo, la respuesta en ambientes, como el de la ciudadela, regidos por depósitos predominantemente arcillosos despliegan un retardo importante (en este caso de entre uno y dos días). Indistinto de esto, los vertimientos se enfatizan en el cinturón norte de barrio
- Los constituyentes físico-químicos y microbiológicos aun cuando poca o ninguna luz arrojan acerca del movimiento del agua, y menos de la circulación entre los piezómetros, ponen de manifiesto que no es apta para el consumo humano, que posee altas cargas de contaminantes, y que en líneas gruesas es una mezcla entre efluentes de infiltración y servidos, y que las variaciones en la cabeza piezométrica, por lo tanto, no están, exclusivamente, atadas a la precipitación, aunque, es incierto el peso relativo de su contribución
- La humedad en las viviendas es sustancialmente de dos clases, o por subidas capilares o por infiltración lateral, y es determinada por la permanencia y circulación de las aguas superficiales y subsuperficiales en los rellenos antrópicos (los de conformación y los de deslizamiento).
- Las canalizaciones en la Urbanización distan de congregarse o de condicionar la gestación de nichos o cuerpos de inestabilidad, de carcavamiento, de socavamiento o hundimientos; singularidades que desestiman estén favoreciendo o auspiciando acumulaciones de agua.
- A la luz de las investigaciones de campo, por los callejones y las vías perimetrales, los lloraderos, emplazados en especial en las carreras, difieren de exhibir huellas de descargas. Hecho que da pie a suponer que operan obstruidos o que el agua discurre a una profundidad mayor. En este marco el nivel de agua en los piezómetros descansa por encima del contacto terciario - cuaternario.

FIGURA 6.14 SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA PARA LAS CONDICIONES NORMAL Y EXTREMA: SECCIÓN 1-1'

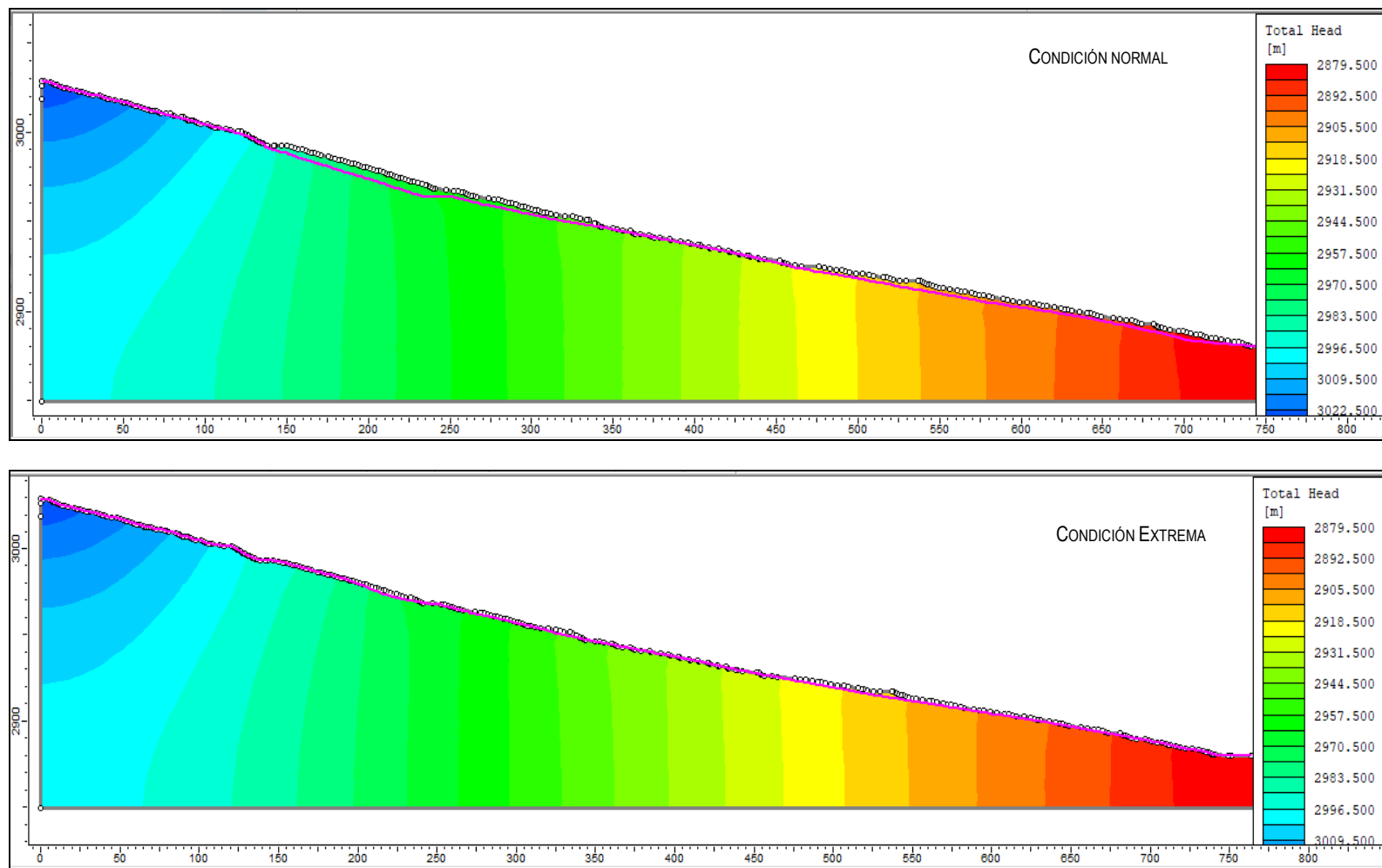


FIGURA 6.15 SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA PARA LA CONDICIÓN NORMAL Y EXTREMA: SECCIÓN 2-2'

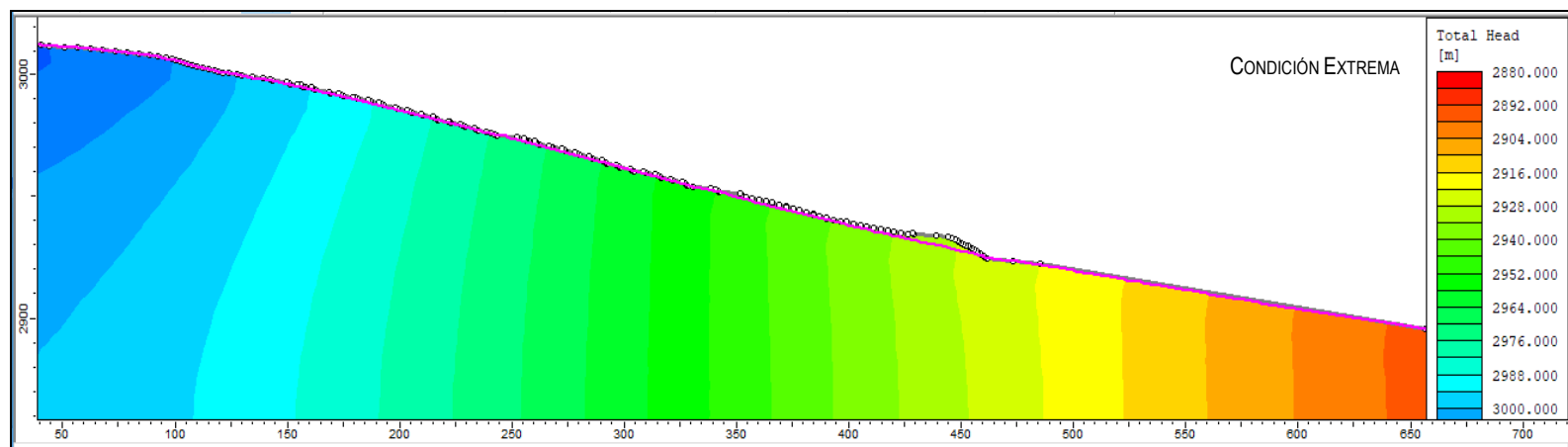
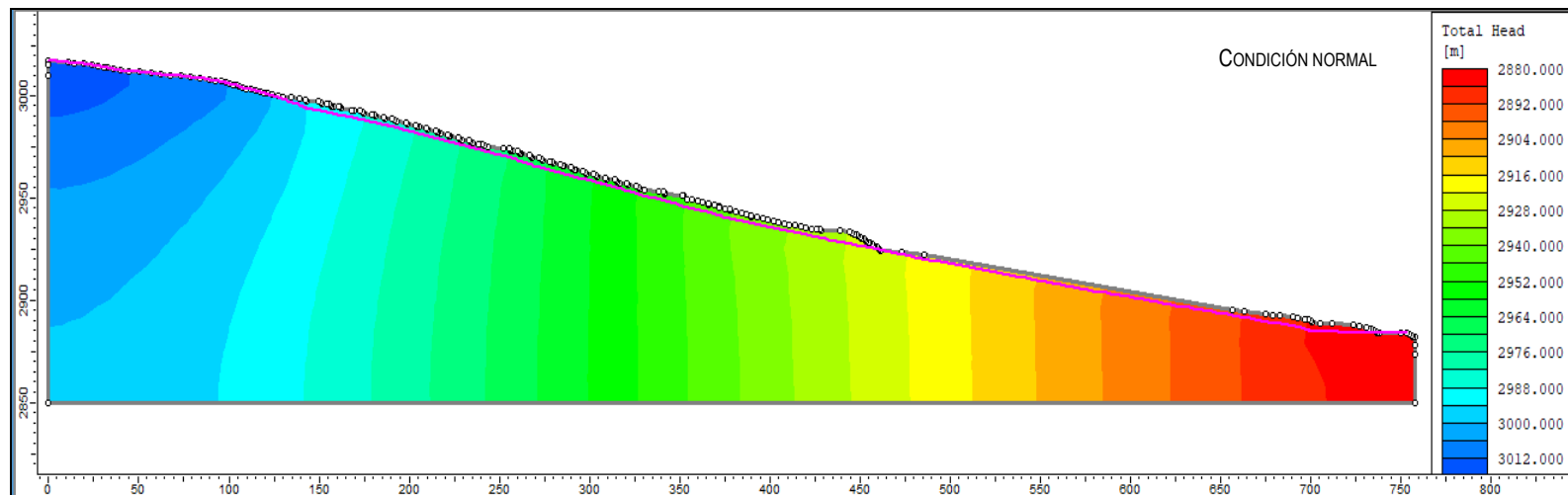


FIGURA 6.16 SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA PARA LA CONDICIÓN NORMAL Y EXTREMA: SECCIÓN 3-3'

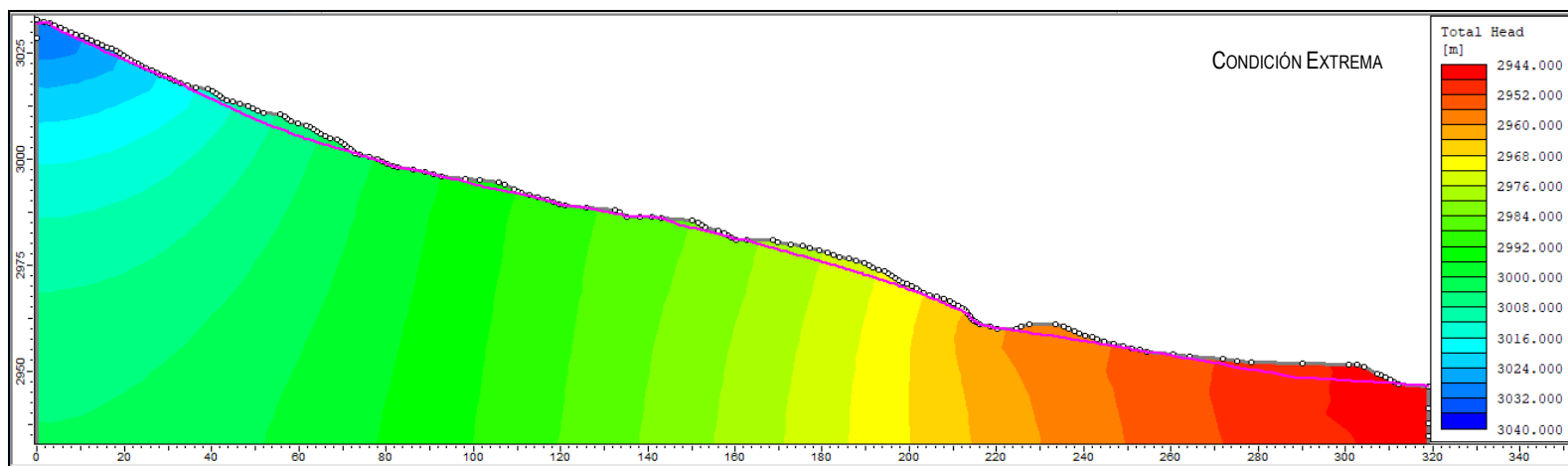
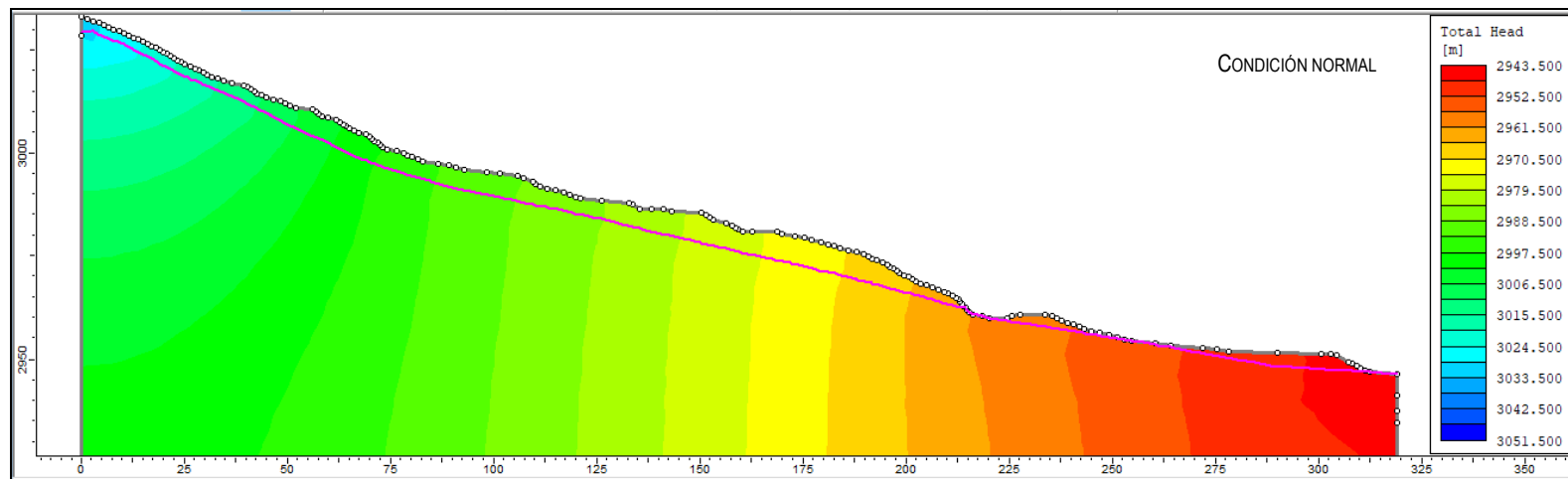


FIGURA 6.17 SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA PARA LA CONDICIÓN NORMAL Y EXTREMA: SECCIÓN 4-4'

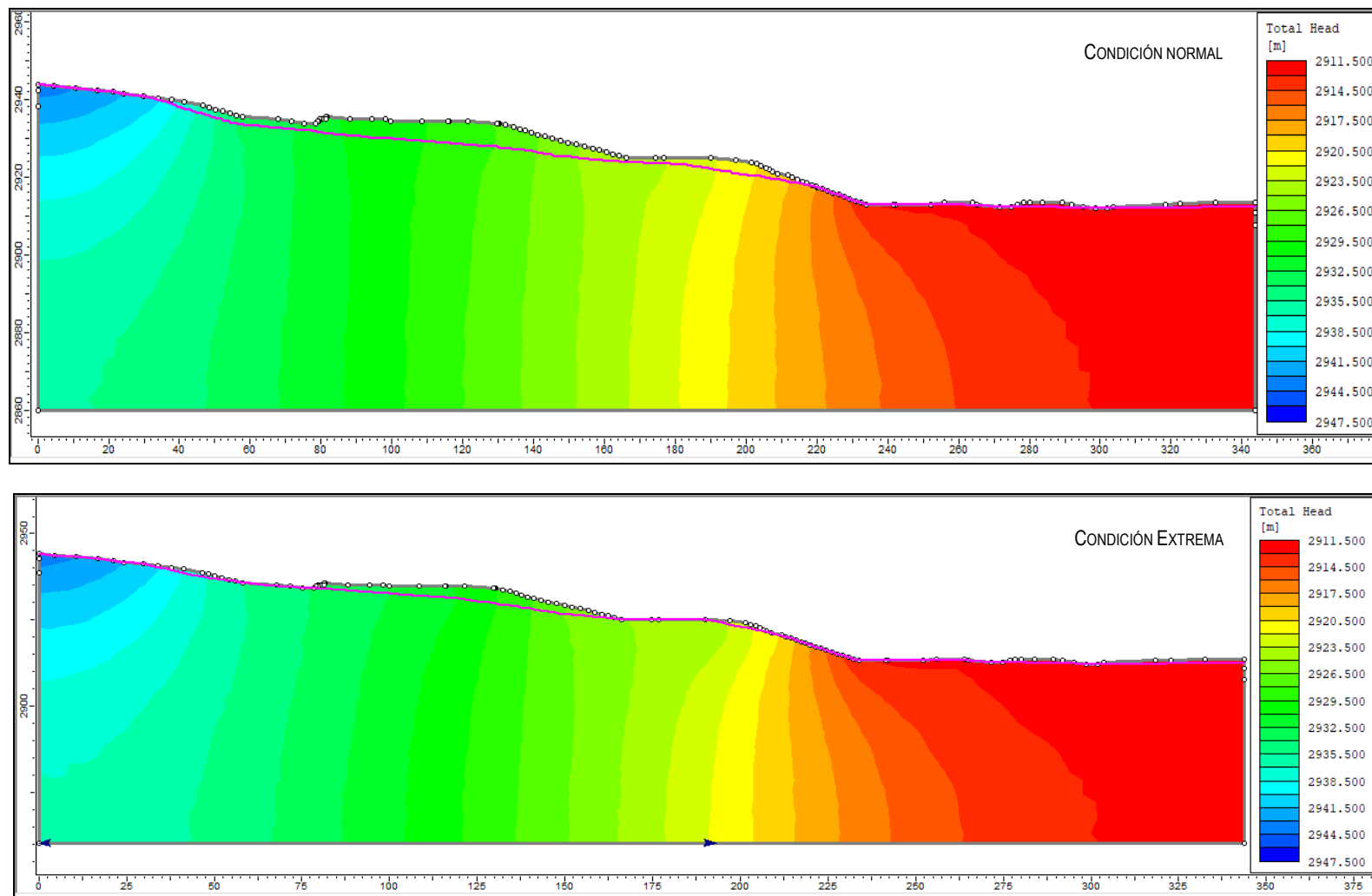


FIGURA 6.18 SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA PARA LA CONDICIÓN NORMAL Y EXTREMA: SECCIÓN 5-5'

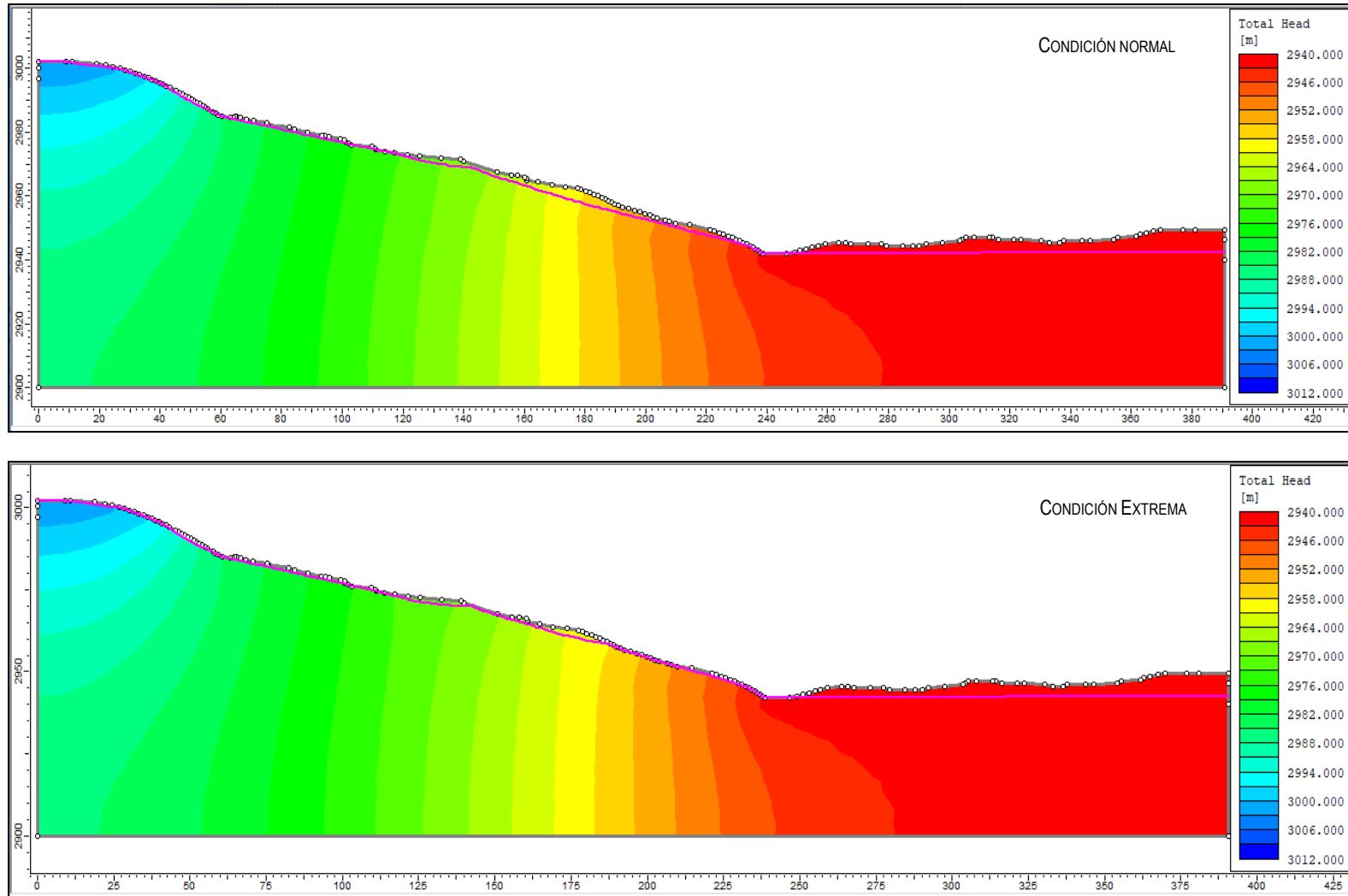
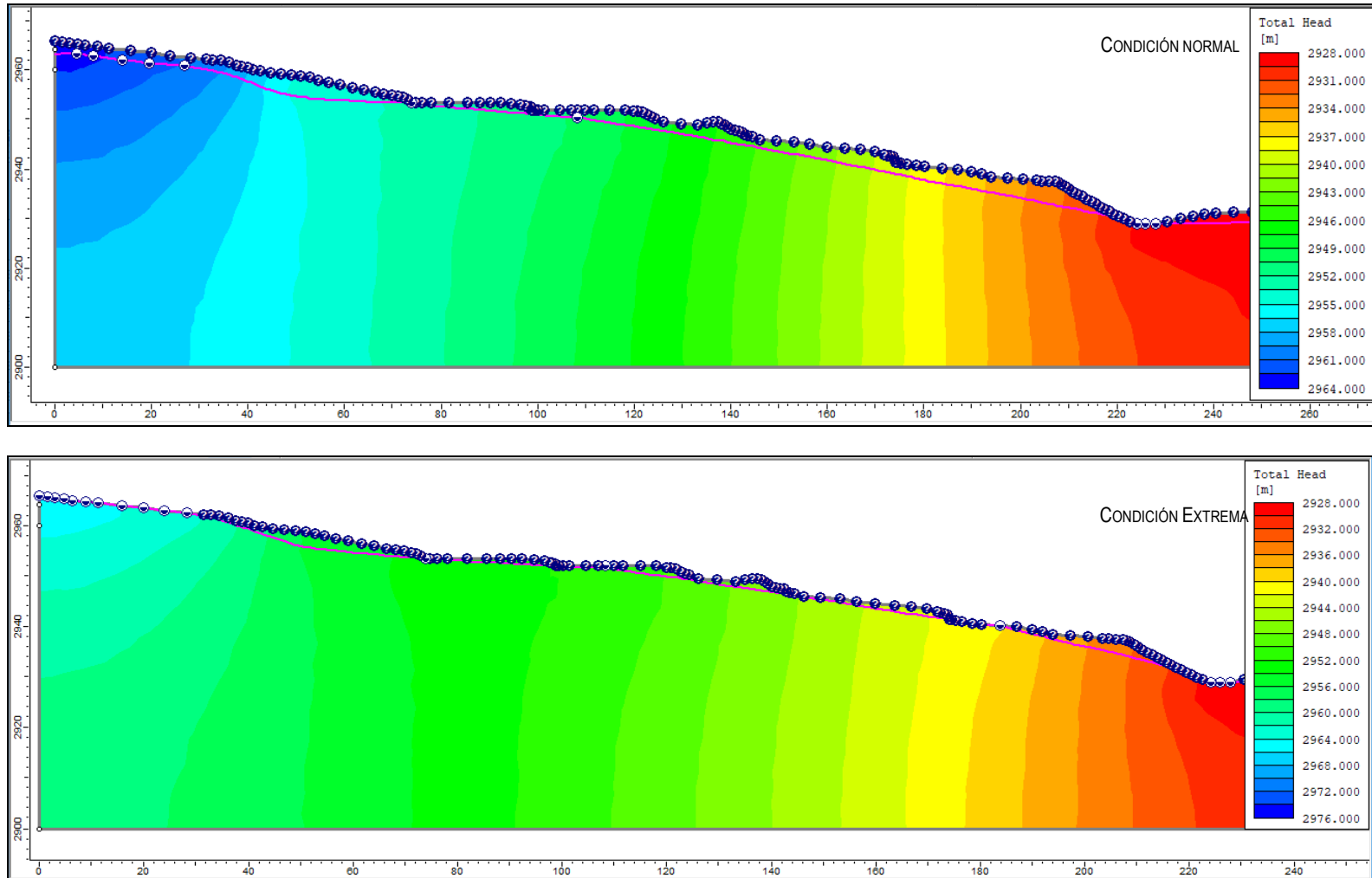


FIGURA 6.19 SUPERFICIE PIEZOMÉTRICA PARA LA CONDICIÓN NORMAL Y EXTREMA: SECCIÓN 6-6'



- Las alturas piezométricas, mínimas y máximas, son, cualquiera sea el escenario de trabajo, inferiores o iguales a los espesores de lo cuaternarios, depósitos que descansan discordantemente sobre las lodolitas de la Formación Bogotá, y en ningún caso superiores a los ocho metros, para el entorno de la urbanización, o a los diez metros en la masa del deslizamiento principal, y la dirección de flujo es, preferentemente, hacia el noroeste, pero con componentes principal hacia el oeste. Particularidades que incide en que el manejo y el tratamiento que se les dé a los cuaternarios debe cubrir todo su espesor.
- Los flancos del anticlinal inciden en que las aguas subterráneas, en caso de tener cabida, tomen rumbo al este y al oeste, en concomitancia con los planos de estratificación, pero sin condicionamiento alguno para retenerlas.
- Las precipitaciones diarias y la tendencia de las lluvias mensual multianual y anual, develan que en los últimos 30 años ha tenido lugar un incremento gradual de la precipitación. Razón que, bajo la aplicación del principio de analogía, permite inferir el aumento gradual de la carga hidráulica en los suelos, y fijarlo para al caso extremo en la superficie o muy cerca de ella (en gran parte del barrio) Contexto que se traduce en un coeficiente de presión de poros (ru) entre 0.42 y 0.45, y en una generalización de los problemas de humedad y de flujo.
- Se recomienda utilizar para el análisis de amenaza en condiciones normal y extrema, las líneas piezométricas simuladas para las secciones de análisis. Ellas representan de una manera más fidedigna, y confiable, el régimen hidrogeológico y la distribución espacial de la presión de poros en la masa de suelo y a largo de las superficies potenciales de deslizamiento.

CAPÍTULO 7

AMENAZA: ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

CAPÍTULO 7

AMENAZA: ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

La evaluación de amenaza, abarca en las primeras páginas las tesis y los axiomas fijados para la llevar a cabo el análisis determinístico y probabilístico de estabilidad. Tiene como eslabón de partida la auscultación del inventario de los procesos morfodinámicos, quehacer que permite justificar las secciones de análisis, la definición de los mecanismos de deslizamiento y coadyuva en el planteamiento de las alternativas de mitigación, y congrega dos etapas.

La primera se enfoca en el estudio direccional de los modos y posibilidades (cinemáticas) de movimiento de las masas activas y potenciales, a la deducción de los parámetros de resistencia operativos en cada uno de los materiales, gracias a los análisis estadístico (descriptivos y de pruebas de bondad), a la recreación de los mecanismos de falla, y a la determinación de la influencia de las superficies de discontinuidad en los mecanismos de movilización de los depósitos cuaternarios recientes (los rellenos antrópicos), todo ello a partir de la aplicación del retroanálisis (González, 1989), del análisis paramétrico (Mora, 1993 y Larson, 1995, entre otros), y de la revisión de los antecedentes.

Y la segunda se destina al modelamiento, con ayuda de los métodos de equilibrio límite, de la respuesta pseudoestática de los modos probables de movilización (según el tipo de material y su disposición estratigráfica) en los principales cuerpos del cuaternario, únicos escenarios potencialmente móviles, mediante deslizamientos rotacionales y traslacionales; 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.

7.1 AUSCULTACIÓN DE LOS PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA Y DE EROSIÓN

Aunque en el capítulo 3 se aborda el inventario y la descripción de los procesos morfodinámicos activos y potenciales, en este apartado se ahonda en los de mayor trascendencia, involucrando factores como la disposición espacial y el tipo de material, los mecanismos de falla, sus posibles causas, sus consecuencias, la tipología y el estado, la distribución y el modo de actividad (IAG, 1990). En este contexto, se revelan en primer lugar cuatro movimientos de trascendencia, pero con nivel y tasa de actividad y avance variables, uno al nororiente de la urbanización, por fuera de ésta, dos que colindan con las manzanas 71 y 78, respectivamente, y uno gestado en el corredor verde del parque; y en el segundo lugar la erosión concentrada laminar, en surcos y en cárcavas, que ocupa amplias unidades de ladera al oriente y al nororiente de la ciudadela. Universo delineado y rotulado en la *Figura 7.1*.

IDIGER	CONSORCIO SANTA ROSA	GIA-085-18		INFORME FINAL - PÁG. 263	
VERSIÓN:	1			FECHA	13/10/18
ELABORÓ:	EJV, EOD	REVISÓ:	JALG	APROBÓ:	JAM.

7.1.1 PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA

Deslizamiento Principal: DT001AC

Responde a un deslizamiento (aunque con trazas de flujo), incubado en residuos mineros, su longitud es de 320 m, aproximadamente, y su ancho medio varía entre 50 y 70 m. Su espesor movilizado bordea los 10 m (expresión extraída del sondeo S-9), y encierra cantos y gravas gruesas de formas subangulares, moldeados en cuarzoareniscas de grano fino, bien seleccionadas y cementadas, y lodolitas, embebidos en arcillas de colores gris, marrón y violeta; su plasticidad es baja, y revela, a diferentes profundidades, capas de material orgánico, evidencia de eventos pasados de desplazamiento en su historia. Es activo, simple, pero con capacidad de alargarse y de ensancharse, y su velocidad de viaje es lenta, aunque estacionaria, es decir con aumentos temporales de la velocidad durante los periodos de mayor precipitación.

Aunque sus primeras manifestaciones datan de los 50, su reactivación es posterior al 2000. Para este año sólo son patentes las huellas de las explanaciones y de la reconfiguración, para la implantación de la segunda etapa de la Ciudadela (rasgos reproducidos en la *Figura 7.2*), y de algunos canales (marcados con trazos azules) que exhiben alineamientos continuos de sur a norte por el costado oriental, y de este a oeste, por el norte. Las evidencias del deslizamiento permanecen ocultas, pero en su lugar son patentes los frentes de erosión laminar y concentrada en surcos y cárcavas, favorecidos por la pérdida de la cobertura vegetal, que deja expuestos los niveles arcillosos, altamente erodables.

El movimiento se revela nuevamente con claridad para el año 2009. Su detonación se da en un espacio ampliamente recuperado en su cubierta vegetal, matizado por algunos pocos parches desprotegidos afectados por erosión concentrada. Para ese momento la masa deslizada roza los 220 m longitud, su ancho medio, aunque variable, oscila entre los 40 y los 50 m, y su desplazamiento provoca la destrucción de uno de los canales de drenaje (sinos transcritos en la *Figura 7.3*). La pata del evento y del de un flujo menor de tierras conexas, están dotados de sendos muros en gaviones, este último posiblemente construido para la mitigación de sus efectos, pero con resultados poco benéficos, puesto que avanzan con él.

El avance toca los 282 m para el 2010; lo que se traduce en un incremento de poco más o menos 60 m en apenas un mes, periodo inferido si se comparan las fechas de las imágenes (escenario esbozado en la *Figura 7.4*). Patrón de velocidad alta, reflejo de un alto contenido de humedad y de una mayor fluidez de la masa. La propagación de la masa se circunscribe casi exclusivamente en el tercio inferior, sin cambios significativos en la corona, respuesta provocada, posiblemente, por la acumulación de esfuerzos en la base del depósito producto de la presión del frente avance. El flujo secundario y los muros de gaviones conservan sus expresiones, rastros que permiten afirmar que las estructuras se desplazan con los cuerpos de los fenómenos.

La propagación prosigue hasta alcanzar, en el 2013, los 310 m de longitud (apariencia delineada en la *Figura 7.5*), en otras palabras hasta marcar una progresión ponderada de 30 m en 3 años. Hecho que envuelve una reducción en la velocidad, enmascarada por el aumento de la cobertura vegetal en la mitad superior de la masa traslocada. Aumento que se propaga también al flujo secundario, pero que contrasta con la apreciable reducción de su actividad. Sobresale la proximidad de la pata del deslizamiento principal a las manzanas de la urbanización, distantes menos de 40 m; singularidad que deja en evidencia la capacidad que tiene no sólo de taponar el cauce de la quebrada El Toche, sino de descansar sobre las manzanas 63 y 71. Situación a todas luces indeseable. La actividad y la velocidad de viaje se reducen gradual pero ostensiblemente para los siguientes años, al punto que para el 2016, la longitud sobre pendiente llega a los 320 m, aproximadamente

(patrón esbozado en la [Figura 7.6](#)); esto representa un aumento de 10 m en 3 años. Diagnóstico ratificado por la diseminación de la vegetación en la totalidad del cuerpo deslizado. Por su parte las huellas y el cuerpo del flujo secundario pasan inadvertidos, en parte explicado por la copiosa vegetación, rasgo ineludible que su actividad es mucho menor al del proceso principal.

Hoy día, acorde con la auscultación de campo, se preservan algunos trazos de actividad aunque la velocidad del movimiento es baja. Las dos masas y sus alrededores operan muy bien protegidas por arbustos, ante todo por el retamo espinoso, que por su sistema radicular controlan la humedad en el depósito. En la pata del movimiento se levanta un muro de gaviones, de 20 m de longitud y 4 m de altura, aparentemente destinado a la contención de la masa, pero inoperante, pues yace volcado sobre el depósito en movimiento. Señal que indica que la superficie de deslizamiento surca por debajo de la base de los gaviones, premisa cotejada por el Sondeo S-9 y las líneas de refracción LRS-2 y LRS-2'.

De la observancia de la evolución y de los rasgos del movimiento se desprenden como causas condicionantes el desfavorable asiento del depósito antiguo sobre el lecho meteorizado de arcillolita, la acción antrópica a través de la explotación minera y la reconfiguración de los residuos excavados en la ladera, que promovió la pérdida de confinamiento en la parte inferior y la sobrecarga en la superior. A todo esto se le suma el papel trascendente del régimen de lluvias en la reactivación temporal del fenómeno, gracias al alto grado de infiltración de la escorrentía que se da a través del masivo sistema de grietas de tracción, transversales al eje del fenómeno, que se convierten en estanques naturales, saturan la masa inestable y facilitan el remoldeo del suelo y la traslación.

A la luz de la cronología y de la tipología del movimiento, dos de las acciones más relevantes para su estabilización recaen en reducir el nivel piezométrico y en permitir la evacuación rápida del agua lluvia infiltrada, en otras palabras se funda en el manejo de las aguas de escorrentía y sub-superficial. En este sentido, es benéfico implantar árboles nativos de sistema radicular profundo y pivotante y con alta capacidad de succión, o de extracción del agua del subsuelo, de manera que actúe como refuerzo del depósito y anclaje al suelo subyacente. La [Foto 7.1](#), la [Foto 7.2](#) y la [Foto 7.3](#) ilustran algunos de estos aspectos.

Proceso 2: FT001IR

Responde a un flujo lento forjado en los rellenos antrópicos (los del Qra1), en la vecindad norte a la manzana 71, y compromete, al menos, la fila norte de las viviendas. Su longitud sobre pendiente es de 40 m y el ancho redondea los 85 m. El espesor movilizado varía entre los 3.0 y los 5.5 m (indicio abstraído de la perforación S-7). Las evidencias de actividad se circunscriben en grietas calcadas en el andén, paralelas al paramento de las viviendas, que exponen aberturas de hasta 0.10 m, máximas marcadas en el extremo oriental de la manzana, pero que se cierran gradualmente en el borde occidental, y en el basculamiento de algunos árboles y postes de las redes de servicios públicos. Sus repercusiones recaen desde la vivienda 27 hasta la 52, y se manifiestan en grietas verticales en la estructura principal y en el muro de cierre del patio. Huellas acopiadas entre la [Foto 7.4](#) y la [Foto 7.7](#).

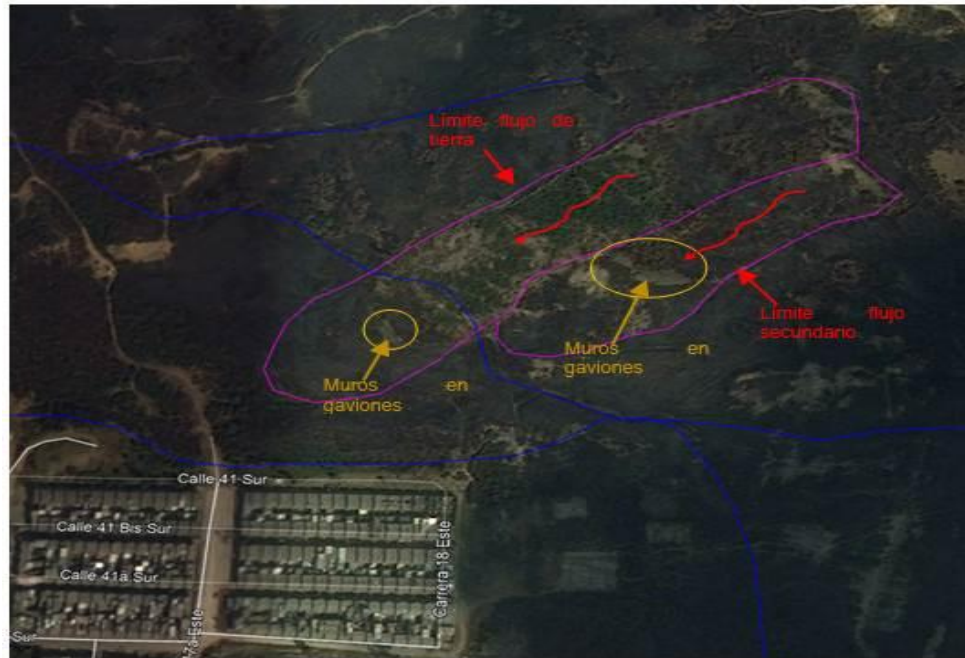
La dirección de movilización es N45W, en consonancia con el azimut de buzamiento de la ladera y hacia el cauce de la quebrada El Toche. La masa potencial devela buzamiento medio próximo a los 20°, y su altura bordea los 20 m; sin embargo, descubre pendientes locales de 30°, en alturas de alrededor de 7.50 m, rasgos que unidos a los aportes subsuperficiales, inducen y facilitan el estado de flujo. Pero las infiltraciones no son las únicas causas, las contribuyentes abarcan: la composición arcillosa del relleno en estado plástico, el aporte del agua sub-superficial, proveniente de la cuenca alta, en especial durante las épocas de lluvias, que incrementan el nivel piezométrico y reducen los esfuerzos efectivos, y la relajación de la ladera.

FIGURA 7.1 PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA Y DE EROSIÓN CONCENTRADA: CIUDADELA SANTA ROSA



FUENTE: TOMADO Y ADAPTADO DE GOOGLE EARTH (2016)

FIGURA 7.4 AÑO 2009: EVOLUCIÓN MORFODINÁMICA EN EL NORORIENTE DE LA MICROCUENCA

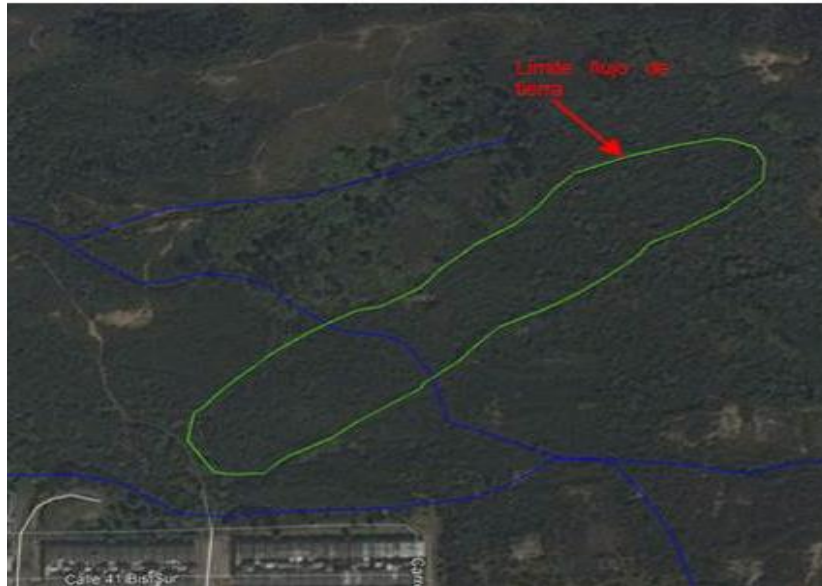


FUENTE: TOMADO Y ADAPTADO DE GOOGLE EARTH (2010)

FIGURA 7.5 AÑO 2013: EVOLUCIÓN MORFODINÁMICA EN EL NORORIENTE DE LA CIUDADELA



FUENTE: TOMADO Y ADAPTADO DE GOOGLE EARTH (2013)

FIGURA 7.6 AÑO 2016: APARIENCIA Y TRANSFORMACIÓN DEL EVENTO PRINCIPAL

FUENTE: TOMADO Y ADAPTADO DE GOOGLE EARTH (2016)

Desprendimientos DP002AS y DP003AS (Proceso 3)

Se calca en la ladera norte de la manzana 78 y se promueve hacia la quebrada. Es, al igual que el deslizamiento DT001IR, en esencia lento, comparte sus causas intrínsecas (una de ellas la relajación de esfuerzos) y extrínsecas, y se gesta en los rellenos antrópicos para urbanismo (o Qra1), que rebasan (ligeramente) los seis metros de profundidad (tal y como lo ratifican los sondeos S-5 y S-7), y en los que cualquier incremento pequeño de humedad puede deformarlos plásticamente, y un aporte significativo de agua los ponen en estado de flujo.

Es el responsable del desplazamiento de los andenes, separados de las edificaciones poco más o menos 0.05 m, incide, levemente, en la respuesta estructural de algunas viviendas, y fomenta la aparición de grietas angostas en la unión entre las unidades residenciales, y la pérdida de la verticalidad. Su mayor impacto está patente en la esquina noroccidental del bloque 78 (huellas captadas desde la [Foto 7.8](#) hasta la [Foto 7.12](#)). Allí la descarga inadecuada de la red sanitaria (o mixta) reblandece el depósito y acelera su traslocación y su desplazamiento y el del andén, en más de 0.10 m en el sentido horizontal y de 0.20 m en el vertical, pero sin perjuicio (aparente) en la vivienda 36. En el corredor noroccidental de la masa móvil, en específico en la pata, y en el lecho de la quebrada Los Toches y transversal al cauce, reposa un muro en concreto, de 5 m de altura, que, colateralmente, funciona como dique de contención no sólo de los rellenos de conformación de la vía y del cuerpo potencial. Hacia aguas abajo del muro y a lo largo de la proyección de la manzana (unos 90 m) se encuentra un talud de hasta 10 m de altura, que tiene la corona a 3 m del paramento de las viviendas y a un metro del borde el andén y la base colinda con el lecho de la quebrada, la inclinación es uniforme de 29°.

Deslizamiento DT-004AA

Se forja en las superficies libres del parque, enmarcadas al occidente de los bloques 79, 80 y 81 y labradas con pendientes regulares de 24°, en rellenos urbanísticos (el Qra1). Tiene 24 m de longitud, 65 m de ancho,

y entre 3 y 4 m de profundidad, de los casi 6 m de espesor que tiene el cuaternario (dimensión cotejada por el sondeo S-4). Se clasifica como un deslizamiento traslacional. Es simple pero con capacidad de ampliarse (Unesco, 1993), inactivo dormido y estabilizado (Varnes, 1978) y sus expresiones reúnen el abombamiento del corte, el perfilado de la corona de deslizamiento en la esquina sur de la unidad de juegos, manifiesta en deformaciones verticales en el adoquín, la propagación de la grieta longitudinal de la cancha múltiple, la exposición de fisuras en las viviendas y, colateralmente, la separación entre éstas y los andenes, lo que permite inferir deformaciones o por asentamientos o por desplazamientos menores (vestigios captados y reproducidos desde la [Foto 7.13](#) hasta la [Foto 7.16](#)).

El incremento del nivel piezométrico y de la humedad, en particular a lo largo de los meses de lluvias fuertes, pueden acarrear, en el mediano plazo, cambios en el estado de actividad, convirtiéndolo en intermitente, e intensificar y propagar los niveles de daño y desatar problemas de serviciabilidad. Sin embargo, los desplazamientos y los hundimientos hoy día son inferiores a los 0.05 m. Signos que le restan trascendencia, máxime si se destaca que la urbanización supera los 20 años de longevidad.

Estas singularidades acompañadas con la composición arcillosa del depósito y con su carácter plástico, con el aporte subsuperficial, y con las lluvias locales (intensas o prolongadas), que acentúan la humedad del suelo y consecuentemente lo degradan y reblandecen, configuran el espectro de causas.



FOTO 7.1 EXPRESIÓN MORFOLÓGICA DE LA PATA DEL DESLIZAMIENTO PRINCIPAL



FOTO 7.2 EVIDENCIAS DE ACTIVIDAD EN EL DESLIZAMIENTO: VOLCAMIENTO DEL MURO DE GAVIONES CIMENTADO EN LA PARTE ALTA



FOTO 7.3 MUROS DE GAVIONES FALLADOS EN LA PARTE BAJA DEL FLUJO DE TIERRAS SECUNDARIO. LAS DOS ESTRUCTURAS YACEN DESPLAZADAS Y BASCULADAS EN SENTIDO HORARIO, REFLEJO DE UNA PROFUNDA SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO.



FOTO 7.4 LADERAS CIRCUNVECINAS A LA MANZANA 071. ESTÁN MOLDEADAS POR EL FLUJO DE TIERRA FT-002PA Y POR OTROS FLUJOS LOCALES. LA VEGETACIÓN ENMASCARA LOS CUERPOS DE DESLIZAMIENTO.



FOTO 7.5 PANORÁMICA DEL FOCO DE DESLIZAMIENTO 2. LA VEGETACIÓN Y LA RED ELÉCTRICA EXPONEN LAS HUELLAS DEL MOVIMIENTO.



FOTO 7.6 SEPARACIÓN ENTRE EL ANDÉN Y LA EDIFICACIÓN DE HASTA 10 CM, EVIDENCIA DEL DESPLAZAMIENTO LENTO DE LA LADERA



FOTO 7.7 INDICIOS DEL FLUJO DE TIERRAS FT-001IR: SE DESTACAN LA ABERTURA EN EL MURO DEL PATIO Y EL DESPLOME DEL POSTE DE ALUMBRADO



FOTO 7.8 DEFORMACIONES EN LAS SUPERFICIES LIBRES Y EN LOS CUERPOS DE LOS RELLENOS DE LA MARGEN SUR DE LA QUEBRADA, PROMOVIDAS POR EL FOCO DE INESTABILIDAD.



FOTO 7.9 DISTORSIONES ENTRE EL ANDÉN Y LAS EDIFICACIONES: LA ABERTURA ALCANZA LOS 0.05 M



FOTO 7.10 LADERA NOROCCIDENTAL DE LA MANZANA 78: ESTÁ SOMETIDA A ABUNDANTES DESCARGAS RESIDUALES, QUE HAN PROVOCADO EL BASCULAMIENTO DE LOS POSTES DE ENERGÍA.



FOTO 7.11 RUPTURA DEL ANDÉN INCUBADA POR EL FLUJO LENTO DEL CUATERNARIO: TOMA LUGAR EN LA ESQUINA NORORIENTAL DEL PREDIO 62 DE LA MANZANA 78.



FOTO 7.12 ESQUINA NOROCCIDENTAL DE LA MANZANA 78, ES EL ESPACIO QUE ENCIERRA LAS MÁS CLARAS HUELLAS DE ACTIVIDAD DEL PROCESO DP-003. LA RUPTURA Y EL DESPLOME DEL ANDÉN Y LAS DEFORMACIONES DE LA MASA DE SUELO SON ALGUNAS DE ELLAS.



FOTO 7.13 TRAZAS DE ACTIVIDAD DEL DESLIZAMIENTO Dt004AA: LAS GRIETAS POSEEN 0.05 M DE ABERTURA Y SURCAN DE NORTE A SUR



FOTO 7.14 PATRONES DE TRASLOCACIÓN EN EL FLANCO SUR DEL PARQUE. LOS HUNDIMIENTOS DE HASTA 10 CM Y LAS DEFORMACIONES EN EL ADOQUÍN CALCAN LA CORONA DE DESLIZAMIENTO.



FOTO 7.15 CORTE OCCIDENTAL DEL PARQUE: LOS ABOMBAMIENTO Y LA INCLINACIÓN DE LOS ÁRBOLES PERMITEN INFERIR LA INCUBACIÓN DEL DESLIZAMIENTO



FOTO 7.16 ABERTURAS Y DESPLAZAMIENTOS EN EL MURO DE CONTENCIÓN DEL PERÍMETRO NORTE DEL PARQUE Y GRIETAS VERTICALES Y HORIZONTALES EN LOS MUROS DE CONFINAMIENTO Y EN LAS ESCALERAS.

7.1.2 PROCESOS DE EROSIÓN

La microcuenca alta de Los Toches, recinto de las dos etapas de la ciudadela, y en particular los cinturones oriental y nororiental, ha sido en los últimos casi cuatro lustros sometida a drásticos cambios morfológicos, y a la pérdida y a la transformación de la vegetación, y, con ellos, a la aparición y proliferación de frentes erosivos. Perturbaciones últimas por una parte favorecidas por el carácter dispersivo, blando y poco litificado de las arcillolitas y por el escaso o inocuo cementante de las areniscas, y por otra parte recuperadas por la proliferación de la cubierta vegetal. Hoy día, aunque no son tan amplios ni su origen es unívocamente antrópico, se destacan tres focos activos de erosión pluvial concentrada.

Frente Erosivo 1

Reposa al oriente de la urbanización, y congrega surcos y cárcavas moldeados en los niveles de las lodolitas y de las arcillolitas, que exhiben profundidades de entre unos pocos centímetros y, al menos, 2 m, que facilitan el escurrimiento proveniente de la cabecera de la microcuenca; expresiones reproducidas de la [Foto 7.17](#) a la [Foto 7.21](#). Procesos, en parte, controlados en la franja media en su incisión, gracias a la exposición de dos niveles de arenisca de 4 metros de espesor, orientados NS e inclinados hacia el oriente. Cabe reseñar que el aporte continuo del flujo subsuperficial y superficial del tope de las vertientes mantiene casi saturados los horizontes residuales y de rellenos asentados bajo la urbanización.

Frente Erosivo 2

Responde a surcos y cárcavas retrabajadas en costras de suelo residual y en bancos de arcillolitas y de lodolitas, de tonos marrón con materia orgánica y amarillo, respectivamente, formados por saltación pluvial y por escurrimiento superficial (véase la [Foto 7.22](#)). Ocupa la vertiente derecha de la quebrada Los Toches.

Frente Erosivo 3

Retrabaja las intercalaciones de lodolitas y de arcillolitas de la Formación Bogotá, y sus suelos residuales, patentes en los vestigios de antiguos frentes de explotación; vestigios tallados al noroccidente del polígono de trabajo, en la vertiente norte de la quebrada Los Toches. Entrelaza surcos pequeños pero profundos moldeados por la escorrentía superficial (prototipo ejemplificado en la [Foto 7.23](#)).



FOTO 7.17 EROSIÓN CONCENTRADA Y FORMACIÓN DE SURCOS EN LOS NIVELES DE ARCILLOLITA DE LA FORMACIÓN BOGOTÁ. NÓTESE LA PRESENCIA DE FLUJO EN EL FONDO DEL SURCO



FOTO 7.18 SURCOS QUE CONDUCE FLUJO PERMANENTE QUE NACE EN LA PARTE INICIAL DEL SURCO Y EN LAS PARECES.



FOTO 7.19 CÁRCAVAS LABRADAS EN LAS LODOLITAS: SU PROFUNDIDAD SUPERA EL METRO, Y SE EXPONEN EN LA VERTIENTE DERECHA DE LA MICROCUENCA. EL FLUJO EMANA POR LAS PARECES DE LA CÁRCAVA.



FOTO 7.20 FRENTES DE INCUBACIÓN DE SURCOS DE EROSIÓN: COINCIDEN CON PEQUEÑOS NACEDEROS SUBSUPERFICIALES QUE EMANAN EN EL CONTACTO DE LAS LODOLITAS Y DE LAS ARENISCAS



FOTO 7.21 CONTROL LITOLÓGICO DE LOS SURCOS Y DE LAS CÁRCAVAS. TAREA QUE RECAE EN LOS PAQUETES DE ARENISCA.



FOTO 7.22 FRENTE DE EROSIÓN 2: ES DE TIPO LAMINAR Y SE CIRCUNSCRIBE EN LAS INMEDIACIONES DEL SEGUNDO FOCO DE INESTABILIDAD.



FOTO 7.23 FRENTES DE EROSIÓN LAMINAR EN LAS LADERAS DEL NORTE Y DEL NORORIENTE

7.2 ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE ESTABILIDAD

7.2.1 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 articula 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 (en ocasiones el más conservador). 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: μ_{FS} y σ_{FS} , i.e el promedio y la desviación estándar.

La solución a la relación predictiva entre estas dos variables (Pf y Fs) y la obtención de ellas, se plantea aquí con el empleo de métodos aproximados, ante todo 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 movimientos en masa o MM o 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 enuncian sus términos, es función de las probabilidades condicionales de presentarse el deslizamiento para todas las posibles combinaciones de agua (concatenada con la lluvia), interpretada y transcrita en ciclos (o de presurización), 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 genere 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.

$p(\overline{LS})$: 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 supuestos: 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 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 hipótesis de trabajo.

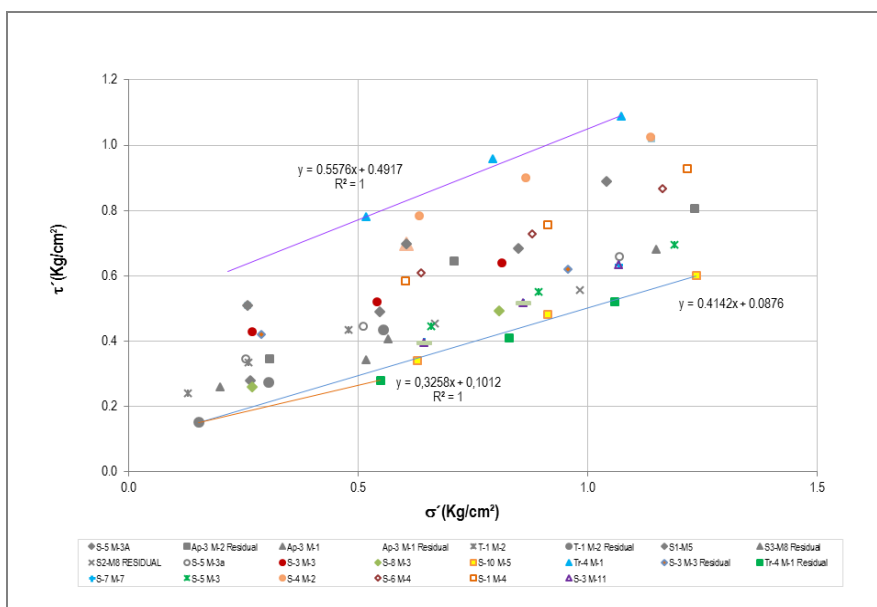
7.2.1.1 PARÁMETROS DE RESISTENCIA

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 4.8 y 4.14 a 4.18, en las Figuras 4.20 a 4.25 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 apropiada de los estudios de riesgo para Villa de los Alpes (Geoingeniería, 2000 y Geocing, 2007), para el barrio Moralba (Geocing, 2010), para la margen derecha de la Quebrada Morales, (Investigaciones Geotécnicas Ltda., IGL, 2000), para Buenavista I y II Sector (GIA, 2013) y III Sector (GIA, 2009), para un sector del barrio Atenas, (Ingeniería y Georriesgos Ltda., IGR, 2005), para Nueva España (UT Geotecnia San Cristóbal, 2007 y Consorcio Civiles – Hidroconsulta, 1999) y para el barrio Ramajal (Ifcaya, 1998), y de los estudios geotécnicos para la urbanización Los Alpes del Zipa (Ingeniería y Geotecnia Ltda, IGL, 1994) y Los Alpes del Zipa - Zona B (IGL, 1995); 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 τ/σ máximas y se incorporan en una gráfica τ' vs σ' , los coeficientes (c' , ϕ') de las regresiones lineales superior e inferior representan los parámetros geomecánicos efectivos buscados; la Figura 7.7 y la Figura 7.8 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 presurización mínima (rotulados como 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 rellenos antrópicos de reconfiguración (Qra1 y Qra2), y en los suelos residuales (Qtpb-L-sr), unos y otros representados en las superficies libres 1-1', 2-2', 3-3', 4-4', 5-5', 6-6', 7-7' y 8-8' y 5) análisis retrospectivo: pilar para la deducción de los parámetros mínimos operativos en los llenos trasladados durante la falla; esquema recapitulado en esencia de Buenavista III Sector (GIA, 2009), pero de inocua implementación (y desarrollo) en el deslizamiento principal el DT001AC (cuerpo diagramado en el Plano 5), por el desconocimiento tanto de la condición de agua como de la morfología previa a la detonación del deslizamiento, máxime si se destaca que es un evento antiguo (que data de los años 50), con dos pulsos evolutivos, que tienen su diferenciación en el primer lustro de los noventa, periodo en el que primero la minería y luego la urbanización remoldan el medio y el ordenamiento estratigráfico.

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, sólo puede tener

cabida con el empleo del criterio de similitud geomorfológica propuesto por Hoek y Bray (1.974). Los autores sostienen que es posible obtener los parámetros útiles de una ladera (o de un talud), a partir de otros, siempre y cuando su litología y mecanismo de falla sean similares, aunque su geometría no. De esta forma, las curvas c' vs. ϕ' 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 la cabeza de agua ocasionan dispersiones en los resultados, razón por la que se demarca un intervalo para el dominio de los parámetros, que a su vez coadyuva a precisar los coeficientes máximos y mínimos para los materiales involucrados.

FIGURA 7.7 ENVOLVENTE DE LARSON, QRA1

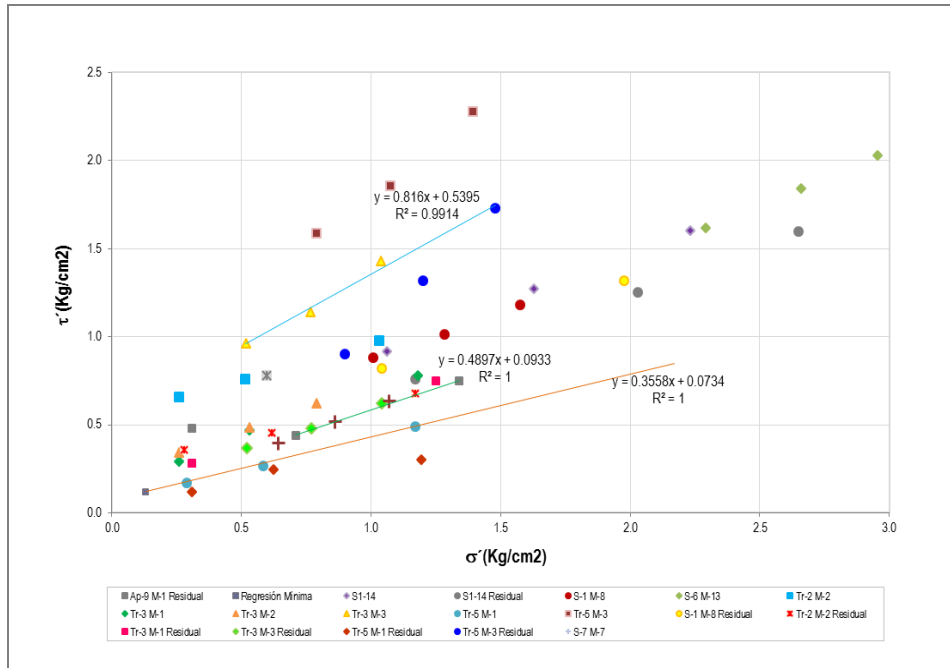


FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

Bajo el amparo de estos axiomas, es, entonces, procedente emplear el retroanálisis de los deslizamientos DT001AA y DT002AA de Buenavista III Sector (Gía, 2009), esquematizados éstos como ensayos a escala natural, para deducir los parámetros operativos en la falla. Quehacer último suplido con 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.

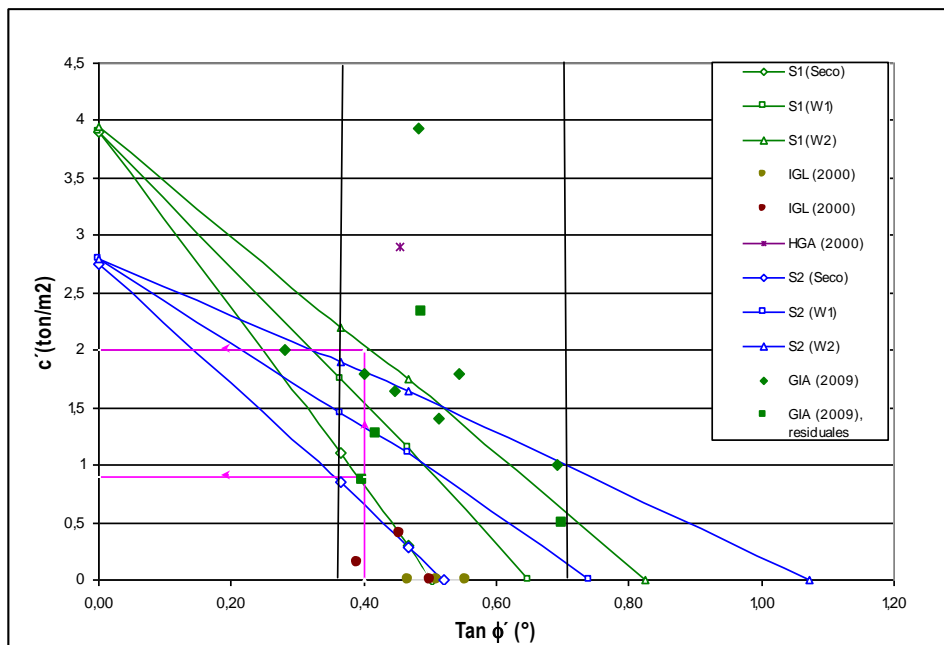
El trabajo así descrito se acopia y se expresa en la *Figura 7.9*. De él se abstraen, luego del empleo de elementos de juicio adicionales -entre los que sobresalen la probabilidad condicional de falla y el estado de deformación de las masas deslizadas, cercano al 17% (estadio asociado por Cornforth, 2005 a la “Resistencia residual”)-, como coeficientes operativos en la falla $c'=0.20$ kg/cm² 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 apuntala el ángulo de fricción como la aproximación al máximo (o $\phi'max$), y la cohesión se ajusta próxima a cero (en $c'=0.87$ Ton/m²) y se fija como coeficiente mínimo (o $c'min$). Tema que se reevalúa como un escenario nuevo de trabajo y que se reanuda en el numeral 7.2.2.2.

FIGURA 7.8 ENVOLVENTE DE LARSON, TPB-L



FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

FIGURA 7.9 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 contruidos los espacios muestrales para los coeficientes de resistencia (c' y ϕ') de todos y cada uno de los materiales, y como preludeo a la selección de sus espectros operativos (i.e. los de los eventos compuestos), se aborda el estudio básico (o simplificado) de confiabilidad de las endógenas, que implica inferir la dispersión. Cometidos satisfechos por una parte con la estimación de las medidas de localización y de desviación de los datos (medidas arropadas en el Anexo G.1.1, bajo el nombre de estadística descriptiva, 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, como la de chi cuadrado (análisis compilado en el Anexo G.1.2).

Contrario a los innegables beneficios esperados, los resultados son poco plausibles. Si bien las variables se ajustan, en buen número, a funciones de distribución normal (marco valido para los coeficientes de resistencia en las lodolitas, en las areniscas, en los rellenos antrópicos de reconfomación y en los suelos residuales), algunas con sesgo negativo y otras con sesgo positivo (panorama transcrito en el Anexo G.1.1), y a funciones exponencial y lognormal, como sucede con el c' y el ϕ' , respectivamente, en el Qar2 y en el Qdam, la dispersión es excesiva; los coeficientes de variación, indistinto del parámetro y del material en consideración, son cercanos o superiores a 0,60 (pero con topes en 4,36), y las desviaciones estándar son muy amplias (por encima de 0.11 y máximos de hasta 8,4). Comportamiento explicado en algunos escenarios, como el de las areniscas (Tpb-A), el de los suelos residuales (QTpb-sr-L) y el de los depósitos de deslizamiento (Qdd1), 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 (el Qra1 o el Qra2) y el de las lodolitas (Tpb-L), por la amplia diversidad de los resultados. Conclusiones y respuestas sintetizadas gráficamente en el Anexo G.1.

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 de las pautas fijadas por la DPAE (2000) y de criterios como los de Lee et al (1983), Fredlund y Dahlman (1972), Schultze (1975, citado por Sánchez-Silva, 2005), Lacasse y Nadim (1996) y Lumb (1966) en lo referente a la variabilidad de los parámetros (aspecto atendido bajo el amparo del coeficiente de variabilidad). Así, los parámetros promedio por material se obtienen bien como la media aritmética de la información fuente disponible (primaria y secundaria) o desde de los extremos; y los máximos y mínimos esperados, se deducen 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' , ϕ' (provenientes de los cortes directos), esquema valido no sólo para los llenos antrópicos: Qra1 y Qra2, y para los depósitos de deslizamiento, el Qdd1, sino para la lodolita Tpb-L, en el entendido que representa al macizo alterado (en particular a los horizontes IIA y IIB), 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:

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

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

o lo que es lo mismo:

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

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

La tarea así expuesta, involucra estudiar el modelo de falla de los posibles deslizamientos (véase el numeral 7.2.1.2) enmarcados en las secciones de análisis que se ilustran en el [Anexo G.3](#), mediante el ensayo de varios juegos de parámetros (rotulados con el nombre de intervalos de calibración y esquematizados en las Figuras y en las Tablas del [Anexo G.4](#)). Procedimiento de gran trascendencia para fijar el borde inferior (c'_{min} , ϕ'_{min}) en el Qra1 y en el Qra2, que, por una parte sustenta la selección de los coeficientes de los testigos S6-M3 (HGA, 2000) y de la envolvente inferior de Larson, y que por otra parte, indistinto del origen del cuaternario, rotula a la fricción mínima en los 15.70°. Límite apuntalado en uno de los ensayos triaxiales (un corte directo), el del S1-M10 (GIA, 2009).

La suma de las líneas descritas se profiere en la [Tabla 7.1](#). 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 Figuras del [Anexo G.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 relativamente 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 eslabón 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 17,9 Kg/cm² (GIA, 2013) y se reduce el índice de calidad del macizo hasta 30. De su aplicación se obtiene: $c'_{min} = 1.20$ Ton/m², $\phi'_{min} = 18.40$ y $c'_{máx} = 3.00$ Ton/m², $\phi'_{máx} = 24.10$, si se trata del macizo alterado, y $c'_{min} = 1.60$ o 1.20 Ton/m², $\phi'_{min} = 18.40$ y $c'_{máx} = 2.47$ Ton/m², $\phi'_{máx} = 26.20$ (véase el [Anexo G.2](#)) en lo que atañe al suelo residual. 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.

7.2.1.2 MECANISMOS DE FALLA

Se coligen 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 están:

- a) Deslizamientos rotacionales o compuestos, simples o sucesivos, locales y generales, con y sin grieta de tracción, en los llenos antrópicos y en los depósitos de deslizamiento: Qra-1, Qdd1 y Qdd2, gestados por reblandecimiento o por presurización (i.e por cambios en el régimen de aguas).

A este conjunto hacen parte las laderas de las regiones CEMM-II-2, LDIU-II-1, LDIU-II-3, LDIM-I-1, y la progresión y retrogresión de los cuerpos de deslizamiento (el DT-001AC, el DT-004AA y el FT-0011R,

TABLA 7.1 PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE LOS MATERIALES

No.	NOMBRE	DESCRIPCIÓN	γ (Ton/m ³)	γ _{sat} (Ton/m ³)	SPT (y Ensayos de Campo)		CORTE DIRECTO		VALOR PROMEDIO		VALOR MÍNIMO		VALOR MÁXIMO		OBSERVACIONES
					Cohesión, c' (Ton/m ²)	φ (°)	Cohesión máx. c _{max} (Ton/m ²)	φ _{máx} (°)	ESTADÍSTICOS		ESTADÍSTICOS		ESTADÍSTICOS		
									Cohesión, c' (Ton/m ²)	φ (°)	Cohesión, c' (Ton/m ²)	φ (°)	Cohesión, c' (Ton/m ²)	φ (°)	
1 y 2	Odd1 y Odd2 Qra2	Depósitos de Deslizamiento		1.94	1.14	36.2	4.00	21.50	1.19	19.34	0.87	15.70	1.50	22.98	Los parámetros son deducidos a partir del retroanálisis y de la aplicación del criterio de retroalimentación iterativa en los cuerpos de deslizamiento, pero justificados por ensayos de corte directo. El c _{mín} abstraído del ensayo del deslizamiento DT-001AA (GIA, 2009) y el c _{máx} justificado de la muestra Ap3-M1 (GIA, 2009). Por su parte el φ _{mín} se toma del logdo S6-M3 (GIA, 2013), pero jamás inferior al deducido del retroanálisis, y el φ _{mín} del S1-M10 (GIA, 2009).
							2.50	37.00							
							2.50	33.37							
							1.90	29.84							
3	Qdaus	Relleno Antrópico Urbanístico Seleccionado		1.80				1.00	32.00					Valores asumidos con base en la experiencia del consultor en este tipo de materiales	
4 y 5	Qra1	Relleno Antrópico de Reconformación	1.98	1.94	0.14	27.6	3.30	20.55	1.70	23.94	0.80	19.06	2.60	28.81	Los coeficientes mínimos se fijan gracias al uso del criterio de retroalimentación iterativa, pero condicionados por los cortes directos (de fuentes primarias o secundarias) y por las envolventes de Larson; el φ _{mín} de la muestra S6-M3 (HGA, 2000), y el c _{mín} de la envolvente inferior, pero justificado por la muestra S9-M6 (Geotecnología, 2000). El φ _{máx} se abstrae tanto de la envolvente superior de Larson como al aplicar el coeficiente de variación, pero justificado con los ensayos de las unidades S1-M4 (C&R, 2016) y T1-M2 (GIA, 2009); y la cohesión máxima se infiere de los cortes Ap3-M1 (GIA, 2009) y S9-M6 (GEOTECNOLOGÍA, 2000). Los promedios son estimados a partir de los coeficientes de variación (cv _c =0.04 y cv _φ =0.20).
							3.20	16.67							
							1.50	22.98							
							1.00	22.14							
							0.00	27.70							
							2.50	29.00							
							2.50	29.00							
							4.90	25.13							
							1.40	25.08							
							2.90	26.29							
6	Qdam	Depósitos Antrópicos Mineros		20.00	0.00	25.1	1.20	26.6	1.15	20.90	0.80	17.60	1.50	24.00	El c _{mín} y el c _{máx} son abstraídos, por el uso del criterio de similitud morfológica y litológica (Hoek y Bray, 1974) de los depósitos de deslizamiento, los Qd61; aunque el c _{máx} condicionado por el CD de la muestra S5-M2 (GIA, 2011). El φ _{mín} se extrae del universo muestral disponible, en particular del CD S2-M11 (GIA, 2011), y el φ _{máx} se deriva con base en el coeficiente de variación, y de la envolvente inferior del SPT (GIA, 2011). Los parámetros promedio se coligen con los coeficientes de variación, así el cv _c =0.30 y cv _φ =0.17.
1.70	27.2														
1.80	23.2														
3.00	17.60														
7	Qdc	Depósitos Coluviales		1.94			3.00	17.60	1.15	20.90	0.80	17.60			Aunque distan de tener participación en la gestación de los procesos de inestabilidad, por su génesis y por su similitud en la textura y (en medida alguna) en la estructura con los depósitos mineros, Qdam, los parámetros geométricos se retoman y se coligen de estos últimos, en particular los promedios y los mínimos.
8	QTpb-sr-L	Suelo Residual Formación Bogotá	2.04	2.09	0.26	33.4	4.00	28.80	1.90	24.40	1.20	20.00	2.60	28.80	Los coeficientes de resistencia son justificados por ensayos de corte directo en las muestras alteradas de las Lodolitas, o por las envolventes de Larson, así el c _{máx} por el CD, S1-M8 (GIA, 2013), el c _{mín} por el CD, S1-M26 (GIA, 2011). El φ _{mín} y φ _{máx} se infiere de la propuesta de Skempton (citado por Cornforth, 2005) aplicada a las envolventes inferior y superior de Larson de las Lodolitas alteradas. Los parámetros promedio se toman del universo muestral, y los coeficientes de variación son cv _c =0.37 y cv _φ =0.18.
							1.60	24.10							
							2.30	14.00							
9	Tpb-A	Areniscas de la Formación Bogotá		2.14	0.00	44.4	4.00	54.27	2.56	20.35	2.10	16.60	3.00	24.10	Los coeficientes máximos y mínimos responden a resultados de corte directo, así el c _{máx} justificado por el CD, S1-M14 (GIA, 2009), el φ _{máx} se deduce del CD, (HGA, 2000), y el c _{mín} y el φ _{mín} se infieren con los coeficientes de variación, cv _c =0.18 y cv _φ =0.18.
							2.90	51.00							
							1.90	30.30							
							1.80	31.30							
							1.40	31.91							
10	Tpb-L	Lodolitas de la Formación Bogotá (y Macizo de Calidad Regular)		2.240	1.07	45.2	3.10	28.80	3.00	26.20	2.60	22.60	5.00	31.60	Los parámetros son deducidos a partir del espacio muestral y de la aplicación del criterio de retroalimentación iterativa, pero justificados por coeficientes de variación y ensayos de corte directo. El c _{máx} es respaldado por el CD de los logdos S3-M10 (GIA, 2009), T4-M1 y T3 M3 (GIA, 2013), el c _{mín} por el S1-M8 (GIA, 2013), el φ _{máx} por el S6-M13 (GIA, 2013), el φ _{mín} por T2-M2 (GIA, 2013). Los promedios se ponderan con los coeficientes de variación, el cv _c =0.32 y el cv _φ =0.17.
							2.60	28.10							
							2.10	31.62							
							1.70	21.60							
							1.70	27.80							
	Macizo Fracturado y de Calidad Pobre					44.0	1.30	26.60	1.90	24.40	1.2 (1.20)	20.0 (18.40)	2.6 (2.47)	28.8 (26.20)	Son frías, en particular el f _{máx} , el f _{mín} , y el c _{máx} , de la aplicación tanto de los criterios de falla de Hoek y Brown (1974) y Hoek et al (1995, 1996) para los más desfavorables índices del GSI y de la resistencia a la compresión simple; los primeros demarcado entre 25 y 35, y la segunda desde 0.20 Mpa hasta 1.79 Mpa, toda vez que la probabilidad de confinamiento oscile entre los 7 m y los 20 m, como de la propuesta de Skempton (citado por Cornforth, 2005) en los parámetros del macizo fracturado, de calidad entre pobre y regular. El c _{mín} se abstrae si el coeficiente de variación, cv _c , es de 0.35.
							1.90	28.57							
							2.00	26.90							
							5.00	29.40							
							0.00	23.90							
0.60	20.00														
0.50	36.00														
0.10	28.80														

CSR (2018)
GIA (2013)

fuerza de las unidades LDIU-I-1, LDIU-I-3 y DCP-II-1). 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 (derivada de los valores del RQD, posicionados entre el 6.6% y el 80.0%, pero circunscritos, modalmente, entre el 11.40% y el 28.0%), patente en los corredores norte y oriental, diagramados por las zonas homogéneas: LDIU-II-1, LDIU-I-3, LEIM-I-2, CEMM-II-1, CEMM-II-2, LDMIU-II-1 y LDMIU-II-1, y ratificada en los sondeos S-2, S-3, S-5 y S-8, pero extrapolada a toda la urbanización, es decir a las unidades LDIU-I-1, LDIU-I-3, LDIU-II-1, LDIU-II-3 (véase el [Plano 6](#)).

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 dos fases; la primera introduce el macizo tal y como opera hoy día (estadio denominado macizo sano); y la segunda incorpora horizontes infinitos, propios de estadios ulteriores, homogéneos, esquema retomado de la variación de la calidad del macizo en los sondeos S-2, S-3, S-5, S-6 y S-8.

- c) Fallas planares infinitas en los rellenos y en los suelos residuales (simuladas 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 D.1](#)); el plano de despegue se forja paralelo 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, expuestas en las regiones LDIU-I-1, LDIU-II-1, LDIU-II-2, LDMIU-II-1, LDMIU-II-2, LDIM-I-1 y LDIM-II-2, 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 detonación recae en la saturación o en la presurización del manto potencial promovida por el movimiento descendente del agua lluvia, conjugado o no con la fluctuación de la cabeza de presión (subsuperficial).

El modelo de falla progresiva, se descarta puesto que las laderas, en especial las del norte y las del nororiente mantienen sus expresiones morfológicas en los últimos veinte años, conclusión ratificada por la contrastación morfológica entre las imágenes satelitales (Google Earth, 2000, 2009, 2013 y 2016), y entre éstas y la cartografía del estudio. En la [Tabla 4.40](#) se señalan para las distintas zonas homogéneas del escenario hoy día, los mecanismos de falla y los materiales involucrados en la secuencia estratigráfica.

7.2.1.3 **EVENTOS DETONANTES**

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

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 se estructura un

modelo predictivo, de acuífero, analítico, gráfico y numérico, agregado, bidimensional, y de escala reducida sustentado en el arreglo estratigráfico y estructural (compendiado en los Planos 4A, 4B y 4C), en pruebas fisicoquímicas y bacteriológicas, en investigaciones experimentales y en el monitoreo de la cabeza piezométrica (instrumentado en los pozos exploratorios y en cinco piezómetros abiertos; insumos de los acápite 6.3 y 6.4, del capítulo 6), durante buena parte del tiempo del estudio, tal y como lo ratifica la Tabla 6.4, la Tabla 6.5 y la Tabla 6.6. Labor que deja al descubierto la casi saturación de los llenos: la cabeza máxima de presión reposa o en superficie o a 0.70m bajo la superficie. En este sentido se fijan como premisas (o proposiciones) 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 o la presurización casi total de las capas de suelo –los rellenos, traslocados o no, y los suelos residuales (vigentes o proyectados)–, expresada en el contexto de la continuidad, cualquiera sea el escenario de trabajo, en alturas piezométricas, mínimas y máximas, inferiores o iguales a los espesores de lo cuaternarios, que se traducen en coeficientes de presión de poros (ru) extremos de 0.43 y 0.45 y normales (y en mayor o menor medida mínimos) de 0.17 (tal y como lo ratifican las predicciones del modelo numérico distribuido, abordado en el numeral 6.4 del capítulo 6), pero bajo condiciones de flujo libre. Unos y otros promovidos por el patrón hidrogeológico, por los aportes, casi permanentes, provenientes de la rotura, del deterioro o de los daños de las redes de servicio o de conexiones erradas (marco reproducido en las regiones LDIU-II-1, LDIU-I-3 y LDIU-I-1), y de las actividades rutinarias de los residentes (entre ellas el lavado de pisos y de antejardines), por las descargas (instantáneas) de los tejados, de especial impacto por la carencia de la red de alcantarillado pluvial, y por la migración descendente de las aguas de escorrentía y subsuperficiales de los acuíferos superiores durante los períodos invernales, contribuyentes últimos aplicables a lo largo y ancho de la ciudadela. Principio favorecido por la residencia de los cuaternarios sobre el sello hidrogeológico por excelencia en las vertientes de Santa Rosa: las lodolitas de la formación Bogotá (e integrado y delineado en los Planos 8, 8A, 8B y 8C).

Sismo

En cuanto a la variable sismo, se toman como bastiones: a) El Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia, EGASC (AIS, 1996), 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 define la aceleración pico efectiva Ag y la aceleración mínima Ad , con sus períodos de retorno y su recurrencia. Para las Zonas Cerros y Depósitos de Ladera universos espaciales entre los que reposa la Urbanización, en los que gobiernan las primeras, el estudio reporta, respectivamente, valores de aceleración pico en roca y de aceleración máxima en superficie de 0.18g y de 0.22g, tal como se explica en el numeral 3.7 del Capítulo 3. Sin embargo, la generosa concurrencia de los rellenos (mineros y antrópicos), con espesores modales de entre 6 m y 10 m, a lo largo y ancho de la microcuenca alta, en contravía con la amplia diseminación de los chircales, con las pronunciadas pendientes de las laderas y con la enriquecida sistemática tectónica, que dan pie a intuir el control de los macizos rocosos, permiten reclasificar el medio y vincularlo con el de Depósitos de Ladera, y asignarle una aceleración de 0.22g.

Finalmente, la probabilidad de ocurrencia y de no ocurrencia de todas las combinaciones de sismo y lluvia (o presurización) críticos se calcula 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 5.1.2.11 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 despliegan en la Tabla 7.2.

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

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

en la que:

P^+ = probabilidad de ocurrencia del evento crítico

P^- = probabilidad de no ocurrencia del evento crítico

T = período de retorno

n = período de análisis

TABLA 7.2 **PROBABILIDADES DE AGENTES EXÓGENOS**

PERÍODO DE ANÁLISIS	CORTO PLAZO (1AÑO)		MEDIANO PLAZO (10 AÑOS)		LARGO PLAZO (50 AÑOS)	
	OCURRENCIA	NO OCURRENCIA	OCURRENCIA	NO OCURRENCIA	OCURRENCIA	NO OCURRENCIA
Agua, $T = 32$ años	0.031	0.969	0.272	0.728	0.796	0.204
Sismo, $T = 475$ años	0.002	0.998	0.021	0.979	0.051	0.9479

7.2.1.4 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 y en macizos pobres (moderadamente fracturados), las técnicas de las dovelas de Jambu (1954 y 1973, citado por Duncan and Wright, 2005), de Bishop (1955, citado por Duncan and Wright, 2005) y de 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 y wright, 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 diez (10) secciones de trabajo (rotuladas desde la S1 hasta la S10) para la condición actual y futura, que se ilustran en planta en el Plano 4 y en perfil en los Planos 4A, 4B y 4C. 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 (Santa Rosa, Sta), la sección de análisis, el modelo de falla y

el número consecutivo de superficie analizada; v.g., el archivo Sta_S1_1R 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 Sta_S1_30_1, ejemplifica la falla en la ladera de la sección S-1, para inclinaciones de 30 grados y masas de un metro de espesor.

7.2.2 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA

7.2.2.1 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), a mediano plazo (10 años) y a largo plazo (50 años), a fe de establecer su sensibilidad con respecto a esta variable. Con los factores de seguridad (F.S) se ponderan 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.

7.2.2.2 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El compendio completo de los factores de seguridad y de las probabilidades de falla $FS-P_i$, agrupados entre la [Tabla 7.3](#) y la [Tabla 7.10](#), y desde la [Tabla 7.11](#) hasta la [Tabla 7.17](#) y en el [Anexo G.4](#), permite definir las condiciones que mejor develan el comportamiento de las laderas hoy día. De éstas se extrae que los rellenos antrópicos (el Qra1 y el Qra2), y los cuerpos de deslizamiento (esquemáticos por los taludes S2 y S6), poseen probabilidades de falla en un año, inferiores al 11%, tope propio de las superficies Sta_S1_5R, Sta_S2_1R, Sta_S6_1R y Sta_S8_1R; su activación (movilización) se produce o como superficies rotacionales o como traslacionales, con la participación o del sismo, o de la lluvia, o la combinación de los dos agentes exógenos, si opera la cohesión mínima. La esperanza del factor de seguridad $E(F_s)$ es superior a 0.485, límite inferior circunscrito al depósito de deslizamiento, Qdd1, (DT-001AC, superficie Sta_S2_1R) y al Qra2 (DP-002AS, superficie Sta_S6_1R). Respuesta apenas lógica: los deslizamientos y las masas susceptibles de desplazarse han tenido y tienen asidero en los rellenos, y los procesos de inestabilidad hoy día son suspendidos o inactivos (Unesco, 1993, citado por Millán, 1999). Corolario ratificado por las probabilidades de falla en la [Tabla 7.11](#), en la [Tabla 7.12](#), en la [Tabla 7.13](#), en la [Tabla 7.14](#), en la [Tabla 7.15](#), en la [Tabla 7.16](#), en la [Tabla 7.17](#) y en los [Anexos G.3](#) y [G.4](#).

Los antrópicos más propensos a deslizarse recorren las regiones DCP-II-1, LDIU-I-1, LDIU-II-1, LDIU-II-2, CEMM-II-2 y LDIU-II-2. Allí los rellenos, traslocados (rotulados como depósitos de deslizamiento, el Qdd1 y el Qdd2) y de conformación (el Qra1), y algunos suelos residuales revelan, toda vez que el periodo de exposición sea corto (inferior a dos años), probabilidades condicionales entre el 6.7% y el 10.8%, cuando el movimiento es rotacional (con o sin grieta) o desde 3.1% hasta el 6.4%, si el deslizamiento es traslacional, panorama idealizado en la [Tabla 7.11](#), en la [Tabla 7.12](#), en la [Tabla 7.13](#), en la [Tabla 7.14](#) y en la [Tabla 7.15](#); el desplazamiento de las masas críticas sucede, si participa por lo menos uno de los agentes detonantes, y no opera la cohesión máxima o concurren los coeficientes mínimos. La respuesta es aún más crítica en el

tiempo; las probabilidades condicionales, indiferentes del mecanismos de deslizamiento, se posan entre el 9.5% y el 27.6%, si el periodo de exposición es de 10 años, y supera el 25.6%, si se extiende a 50 años.

La reactivación, la retrogresión y la ampliación del deslizamiento principal, parecen, incuestionables. La faceta de movilización Sta_S2_3R, trasiega al respaldo de las primitivas masas deslizadas, y expone estadios de falla aún con la participación de uno de los agentes detonantes (la presurización o el sismo) si dispone de la cohesión mínima. Las probabilidades condicionales apenas tocan el 6.7% en el primer año, y superan el 17% y el 40% en cuanto el período de trabajo (i.e. la exposición) se posiciona en 10 años o en 50 años, respectivamente (véase la [Tabla 7.11](#)). Tesis ligada a la presurización de los llenos y a su reblandecimiento, y a la aparición de manchas de suelo residual en los lugares antes ocupados por el macizo rocoso (mutación diagramada en las superficies críticas Sta_S2_5R y Sta_S2_6R en el [Anexo G.3.1](#)), es decir a la generalización de los parámetros del Qtpb-L-sr.

Predicción, modo y distribución de actividad, y activación similar develan las unidades de ladera en el parque y en el perímetro norte del bloque 78 (la S4, la S6 y la S1), receptoras de los procesos DT-004AA (o proceso 4) y, DP002AS y DP003AS (inmersos en el frente 3). Las superficies potenciales de deslizamiento críticas (descifradas por la Sta_S1_1R, la Sta_S1_2R, la Sta_S1_3R, la Sta_S6_1R, la Sta_S6_2R, la Sta_S6_4R, la Sta_S6_5R y la Sta_S6_6R) exhiben posibilidades de deslizamiento entre el 1% y el 10.8%, en el primer año, y se posicionan en los intervalos {7.98% – 27.60%}, si el escenario temporal de trabajo toca los 10 años, y {26-04% - 64.04%}, toda vez que se alcance los 50 años. Las superficies restantes, cualquiera sea el periodo de recurrencia, dictan probabilidades totales inferiores al 17.7%. Dictamen que pone de relieve a las viviendas 24 y 25 de las manzanas 79, 80 y 81, y el conjunto norte del bloque 73 (configurado por las casas 34 a 64) como los más encumbrados escenarios de riesgo, y que resalta la importancia de protegerlas.

Réplica en menor escala, pero no menos trascendente, se enmarca en las regiones homogéneas LDMIU-II-1 y LDIU-II-1, recinto del FT0011R (sino del proceso 2) y de los cuerpos potenciales orientales, tipificadas por las secciones S-5, S-7 y S-8. Los depósitos diagraman modestos estadios de trabajo; los taludes esbozan condiciones seguras en ausencia de los agentes detonantes o si la presurización máxima tiene cabida: las esperanzas del factor de seguridad se circunscriben entre 1,00 y 2,33 (marco acopiado entre la [Tabla 7.5](#) y la [Tabla 7.7](#)); la activación tiene asidero toda vez que participe los coeficientes de resistencia mínimos (véase la [Tabla 7.12](#) y la [Tabla 7.13](#), y las superficies Sta_S5_1R, Sta_S7_1R, Sta_S7_2R, Sta_S8_1R y Sta_S8_2R) y los condicionantes (el agua y el sismo) simultáneamente o uno de ellos, y las masas críticas provienen de deslizamientos rotacionales sin grieta de tracción y de traslacionales de poco más de 5 metros de espesor (pero nunca superiores a los 7.5 m). La probabilidad de falla alcanza el 12.3% a los 10 años (estado actual), si las superficies libres se enclavan en el cinturón verde anexo a la manzana 63, o 7% si se demarcan al nororiente de la manzana 78, o rondan como máximo el 26% y el 17%, si la vida útil se extiende hasta los 50 años. Horizonte (y perspectiva) que sumado a los precarios sistemas de confinamiento y, en medida alguna, de mitigación de los dos corredores, deja en evidencia las desfavorables consecuencias que tendría en las viviendas 34 a 78 de la manzana 63, y 28 a 51 del bloque 71, y en sus habitantes.

Los pasajes más seguros se encajan en la franja noroccidental de la margen austral de la quebrada, que colinda con la Calle 41 S, y en los cortes orientales circunvecinos a la carrera 18 Este. Las posibilidades condicionales, cuales quiera sea el nivel de presurización y de estimulación sísmica y el periodo de recurrencia, en ningún caso superan el 22%. Y los factores de seguridad transitan entre 0.47, umbral arrojado sí y sólo sí se conjuguen los dos condicionantes (la presurización y el sismo) y los coeficientes de resistencia mínimos, y 2.40, tope desplegado si los operativos se encajan en los máximos, y hay ausencia de cualquier agente externo (espectro cotejado en la [Tabla 7.13](#) y en la [Tabla 7.14](#)).

TABLA 7.3 ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD: DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES

SECCIÓN	SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO	MATERIAL	VARIABLES DE ANÁLISIS					E(FS)				
			ϕ' PROM	c' (T/M ²)	α (G)	LLUVIA	SISMO					
1-1'	STA_S1_1R	QRA1	23.9	1.7	0.22	SIN	SIN	1.398				
						SIN	CON	0.852				
						CON	SIN	0.989				
						CON	CON	0.578				
	STA_S1_2R					SIN	SIN	1.463				
						SIN	CON	0.874				
						CON	SIN	1.060				
						CON	CON	0.605				
	STA_S1_3R					SIN	SIN	1.533				
						SIN	CON	0.870				
						CON	SIN	1.104				
						CON	CON	0.597				
	STA_S1_4R					SIN	SIN	2.409				
						SIN	CON	1.301				
						CON	SIN	1.838				
						CON	CON	0.966				
	STA_S1_5R					SIN	SIN	1.844				
						SIN	CON	1.282				
						CON	SIN	1.531				
						CON	CON	1.048				
	STA_S1_6R					SIN	SIN	2.294				
						SIN	CON	1.249				
						CON	SIN	1.769				
						CON	CON	0.939				
	STA_S1_7R					SIN	SIN	2.670				
						SIN	CON	1.240				
						CON	SIN	2.036				
						CON	CON	0.917				
	STA_S1_8R					TPB-L	38	27.1	0.22	SIN	SIN	3,513
										SIN	CON	1,732
										CON	SIN	3,068
										CON	CON	1,494

TABLA 7.4 ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD: DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES (CONTINUACIÓN)

SECCIÓN	SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO	MATERIAL	VARIABLES DE ANÁLISIS					E(FS)	
			ϕ' PROM	c' (τ/m^2)	α (G)	LLUVIA	SISMO		
2-2'	STA_S2_1R	QDD	19.34	1.70	0.22	SIN	SIN	1.355	
						SIN	CON	0.706	
						CON	SIN	0.982	
						CON	CON	0.485	
	STA_S2_3R					SIN	SIN	1.380	
						SIN	CON	0.731	
						CON	SIN	1.025	
						CON	CON	0.510	
	STA_S2_4R					SIN	SIN	1.774	
						SIN	CON	0.851	
						CON	SIN	1.312	
						CON	CON	0.604	
3-3'	STA_S3_1R	QRA2	19.34	1.19	0.22	SIN	SIN	2.202	
						SIN	CON	1.443	
						CON	SIN	1.899	
						CON	CON	1.228	
	STA_S3_2R	QRA1	23.9	1.7	0.22	SIN	SIN	2.482	
						SIN	CON	1.576	
						CON	SIN	2.137	
						CON	CON	1.343	
	STA_S3_3R		SIN	SIN	3.240				
			SIN	CON	1.821				
			CON	SIN	2.792				
			CON	CON	1.553				
	STA_S3_4R		SIN	SIN	3.730				
			SIN	CON	1.930				
			CON	SIN	3.192				
			CON	CON	1.633				
4-4'	STA_S4_1R		QRA2	19.34	1.19	0.22	SIN	SIN	1.951
							SIN	CON	1.148
							CON	SIN	1.582
							CON	CON	0.914

TABLA 7.5 ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD: DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES (CONTINUACIÓN)

SECCIÓN	SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO	MATERIAL	VARIABLES DE ANÁLISIS					E(FS)					
			ϕ' PROM	c' (T/M ²)	α (G)	LLUVIA	SISMO						
4-4'	STA_S4_2R	QRA1	23.9	1.7	0.22	SIN	SIN	2.116					
						SIN	CON	1.183					
						CON	SIN	1.785					
						CON	CON	0.951					
	STA_S4_3R	QRA1	23.9	1.7	0.22	SIN	SIN	2.770					
						SIN	CON	1.379					
						CON	SIN	2.230					
						CON	CON	1.086					
						STA_S4_4R	QRA1	23.9	1.7	0.22	SIN	SIN	1.875
											SIN	CON	1.164
											CON	SIN	1.504
											CON	CON	0.915
5-5'	STA_S5_1R	QRA1	23.9	1.7	0.22	SIN	SIN	1.916					
						SIN	CON	1.045					
						CON	SIN	1.449					
						CON	CON	0.762					
	STA_S5_2R	QRA1	23.9	1.7	0.22	SIN	SIN	1.842					
						SIN	CON	0.988					
						CON	SIN	1.372					
						CON	CON	0.707					
	STA_S5_3R	QRA1	23.9	1.7	0.22	SIN	SIN	2.028					
						SIN	CON	1.100					
						CON	SIN	1.544					
						CON	CON	0.809					
6-6'	STA_S6_1R	QRA2	19.34	1.19	0.22	SIN	SIN	1.208					
						SIN	CON	0.806					
						CON	SIN	0.921					
						CON	CON	0.597					
	STA_S6_2R	QRA2	19.34	1.19	0.22	SIN	SIN	1.251					
						SIN	CON	0.797					
						CON	SIN	0.962					
						CON	CON	0.592					

TABLA 7.6 ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD: DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES (CONTINUACIÓN)

SECCIÓN	SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO	MATERIAL	VARIABLES DE ANÁLISIS					E(FS)
			ϕ' PROM	c' (τ/m^2)	α (g)	LLUVIA	SISMO	
6-6'	STA_S6_3R	QRA2	19.34	1.19	0.22	SIN	SIN	2.239
						SIN	CON	1.303
						CON	SIN	1.651
						CON	CON	0.933
	STA_S6_4R					SIN	SIN	1.423
						SIN	CON	0.892
						CON	SIN	1.123
						CON	CON	0.688
	STA_S6_5R	QDD	19.34	1.70	0.22	SIN	SIN	1.258
						SIN	CON	0.836
						CON	SIN	0.995
						CON	CON	0.644
STA_S6_6R						SIN	SIN	1.272
						SIN	CON	0.820
						CON	SIN	0.997
						CON	CON	0.624
7-7'	STA_S7_1R	QRA1	23.9	1.7	0.22	SIN	SIN	1.832
						SIN	CON	1.159
						CON	SIN	1.498
						CON	CON	0.924
	STA_S7_2R					SIN	SIN	2.051
						SIN	CON	1.084
						CON	SIN	1.549
						CON	CON	0.790
	STA_S7_3R					SIN	SIN	2.332
						SIN	CON	1.206
						CON	SIN	1.794
						CON	CON	0.879
8-8'	STA_S8_1R	QRA1	23.9	1.7	0.22	SIN	SIN	1.655
						SIN	CON	1.056
						CON	SIN	1.280
						CON	CON	0.792

TABLA 7.7 ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD: DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES (CONTINUACIÓN)

SECCIÓN	SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO	MATERIAL	VARIABLES DE ANÁLISIS					E(FS)
			ϕ' PROM	c' (T/M ²)	α (G)	LLUVIA	SISMO	
8-8'	STA_S8_2R	QRA1	23.9	1.7	0.22	SIN	SIN	1.622
						SIN	CON	0.993
						CON	SIN	1.251
						CON	CON	0.741
	STA_S8_3R					SIN	SIN	2.031
						SIN	CON	1.137
						CON	SIN	1.602
						CON	CON	0.873
	STA_S8_4R					SIN	SIN	2.273
						SIN	CON	1.317
						CON	SIN	1.861
						CON	CON	1.057
9-9'	STA_S9_1R	QRA1	23.9	1.7	0.22	SIN	SIN	1.790
						SIN	CON	1.067
						CON	SIN	1.389
						CON	CON	0.802
	STA_S9_2R					SIN	SIN	1.787
						SIN	CON	1.042
						CON	SIN	1.396
						CON	CON	0.789
10-10'	STA_S10_1R	QRA1	23.9	1.7	0.22	SIN	SIN	1.681
						SIN	CON	1.022
						CON	SIN	1.277
						CON	CON	0.750
	STA_S10_2R					SIN	SIN	1.697
						SIN	CON	1.068
						CON	SIN	1.316
						CON	CON	0.804
	STA_S10_3R					SIN	SIN	1.520
						SIN	CON	0.821
						CON	SIN	1.367
						CON	CON	0.726

TABLA 7.8 ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD: FALLA PLANAR INFINITA

SECCIÓN	SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO	MATERIAL	VARIABLES DE ANÁLISIS					E(FS)
			ϕ' PROM	c' (T/M ²)	α (G)	LLUVIA	SISMO	
2-2'	S2_24_1	QDD1	19.34	1.2	0.22	SIN	SIN	2.275
						SIN	CON	1.864
						CON	SIN	2.009
						CON	CON	1.647
	S2_24_1,5					SIN	SIN	1.727
						SIN	CON	1.415
						CON	SIN	1.461
						CON	CON	1.198
	S2_24_2					SIN	SIN	1.453
						SIN	CON	1.191
						CON	SIN	1.187
						CON	CON	0.973
4-4'	S4_25_1	QDD1	19.34	1.2	0.22	SIN	SIN	2.195
						SIN	CON	1.799
						CON	SIN	1.937
						CON	CON	1.588
	S4_25_1,5					SIN	SIN	1.663
						SIN	CON	1.363
						CON	SIN	1.405
						CON	CON	1.152
5-5'	S5_20_1	QRA1	23.9	1.7	0.22	SIN	SIN	3.625
						SIN	CON	2.971
						CON	SIN	3.235
						CON	CON	2.652
	S5_20_1,5					SIN	SIN	2.748
						SIN	CON	2.252
						CON	SIN	2.358
						CON	CON	1.933
6-6'	S6_30_1	QDD1	19.34	1.2	0.22	SIN	SIN	1.883
						SIN	CON	1.543
						CON	SIN	1.655
						CON	CON	1.357

TABLA 7.9 ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD: FALLA PLANAR INFINITA (CONTINUACIÓN)

SECCIÓN	SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO	MATERIAL	VARIABLES DE ANÁLISIS					E(FS)
			ϕ' PROM	c' (T/M ²)	α (G)	LLUVIA	SISMO	
6-6'	S6_30_1,5	QDD1	19.34	1.2	0.22	SIN	SIN	1.413
						SIN	CON	1.158
						CON	SIN	1.185
						CON	CON	0.971
7-7'	S7_25_1	QRA1	23.9	1.7	0.22	SIN	SIN	2.970
						SIN	CON	2.434
						CON	SIN	2.642
						CON	CON	2.166
	S7_25_1,5					SIN	SIN	2.234
						SIN	CON	1.831
						CON	SIN	1.906
						CON	CON	1.563
8-8'	S8_25_1	QRA1	23.9	1.7	0.22	SIN	SIN	2.970
						SIN	CON	3.965
						CON	SIN	1.974
						CON	CON	1.627
	S8_25_1,5					SIN	SIN	2.234
						SIN	CON	1.831
						CON	SIN	1.906
						CON	CON	1.563
9-9'	S9_21_1	QRA1	23.9	1.7	0.22	SIN	SIN	3.467
						SIN	CON	2.842
						CON	SIN	3.092
						CON	CON	2.535
	S9_21_1,5					SIN	SIN	2.624
						SIN	CON	2.151
						CON	SIN	2.250
						CON	CON	1.844
10-10'	S10_24_1,5	QRA1	23.9	1.7	0.22	SIN	SIN	2.318
						SIN	CON	1.901
						CON	SIN	1.981
						CON	CON	1.624

TABLA 7.10 ESPERANZA DEL FACTOR DE SEGURIDAD: MACIZO ALTERADO

SECCIÓN	SUPERFICIE DE DESLIZAMIENTO	MATERIAL	VARIABLES DE ANÁLISIS					E(FS)
			ϕ' PROM	c' (T/M ²)	α (G)	LLUVIA	SISMO	
1-1'	STA_S1_8R	TPB-L (O TPB-L-SR)	24.40	1.9	0.22	SIN	SIN	3.481
						SIN	CON	1.432
						CON	SIN	3.041
						CON	CON	1.206
	STA_S1_9R					SIN	SIN	2.354
						SIN	CON	1.105
						CON	SIN	1.958
						CON	CON	0.898
	STA_S1_10R					SIN	SIN	2.996
						SIN	CON	1.278
						CON	SIN	2.534
						CON	CON	1.062
2-2'	STA_S2_5R	TPB-L (O TPB-L-SR)	24.40	1.9	0.22	SIN	SIN	1.792
						SIN	CON	0.938
						CON	SIN	1.492
						CON	CON	0.761
	STA_S2_6R					SIN	SIN	2.914
						SIN	CON	1.368
						CON	SIN	2.510
						CON	CON	1.161
6-6'	STA_S6_7R	TPB-L (O TPB-L-SR)	24.40	1.9	0.22	SIN	SIN	2.008
						SIN	CON	1.152
						CON	SIN	1.747
						CON	CON	0.988
8-8'	STA_S8_5R	TPB-L (O TPB-L-SR)	24.40	1.9	0.22	SIN	SIN	2.040
						SIN	CON	1.131
						CON	SIN	1.757
						CON	CON	0.958
9-9'	STA_S9_3R	TPB-L (O TPB-L-SR)	24.40	1.9	0.22	SIN	SIN	1.991
						SIN	CON	1.164
						CON	SIN	1.708
						CON	CON	0.983

TABLA 7.11 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL: DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL											
				CONDICION DE ANÁLISIS											
				SECCIÓN		1-1'	1-1'	1-1'	1-1'	1-1'	1-1'	1-1'	1-1'	2-2'	2-2'
SUPERFICIE DE FALLA				Sta_S1_1R_C	Sta_S1_2R_C	Sta_S1_3R_C	Sta_S1_4R_C	Sta_S1_5R_C	Sta_S1_6R_C	Sta_S1_7R_C	Sta_S1_8R_C	Sta_S2_1R_C	Sta_S2_3R_C	Sta_S2_4R_C	Sta_S3_1R_C
FRICCIÓN	COHESIÓN (Tn/m ²)	LLUVIA	SISMO	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	
φ _{max}	C _{max}	Sin	Sin	1,560	1,759	1,760	3,138	2,582	3,051	3,508	4,217	1,651	1,705	2,164	2,541
φ _{min}	C _{max}	Sin	Sin	1,439	1,516	1,577	2,448	2,216	2,358	2,663	3,454	1,245	1,229	1,644	2,324
φ _{max}	C _{min}	Sin	Sin	1,362	1,414	1,493	2,370	1,469	2,229	2,676	3,573	1,464	1,495	1,903	2,084
φ _{min}	C _{min}	Sin	Sin	1,231	1,164	1,303	1,681	1,108	1,536	1,832	2,809	1,058	1,089	1,383	1,860
φ _{max}	C _{max}	Sin	Con	0,946	1,052	0,998	1,701	1,813	1,674	1,639	2,083	0,862	0,893	1,040	1,673
φ _{min}	C _{max}	Sin	Con	0,889	0,925	0,910	1,350	1,587	1,315	1,265	1,724	0,660	0,692	0,802	1,543
φ _{max}	C _{min}	Sin	Con	0,820	0,827	0,834	1,250	0,974	1,182	1,214	1,741	0,751	0,769	0,901	1,345
φ _{min}	C _{min}	Sin	Con	0,753	0,692	0,739	0,901	0,752	0,824	0,840	1,381	0,550	0,568	0,662	1,209
φ _{max}	C _{max}	Con	Sin	1,114	1,299	1,287	2,435	2,197	2,407	2,730	3,705	1,203	1,257	1,608	2,198
φ _{min}	C _{max}	Con	Sin	1,057	1,162	1,186	2,007	1,973	1,953	2,173	3,075	0,948	1,002	1,276	2,064
φ _{max}	C _{min}	Con	Sin	0,928	0,962	1,027	1,670	1,086	1,584	1,898	3,061	1,016	1,047	1,348	1,738
φ _{min}	C _{min}	Con	Sin	0,857	0,815	0,917	1,241	0,867	1,132	1,343	2,430	0,761	0,792	1,015	1,597
φ _{max}	C _{max}	Con	Con	0,646	0,744	0,696	1,288	1,525	1,292	1,243	1,809	0,596	0,628	0,742	1,430
φ _{min}	C _{max}	Con	Con	0,628	0,687	0,659	1,090	1,404	1,074	1,015	1,521	0,485	0,517	0,604	1,360
φ _{max}	C _{min}	Con	Con	0,534	0,528	0,541	0,841	0,691	0,804	0,818	1,467	0,485	0,503	0,604	1,099
φ _{min}	C _{min}	Con	Con	0,504	0,459	0,493	0,643	0,573	0,586	0,592	1,178	0,373	0,392	0,465	1,023
			R _{max}	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,18	0,45	0,45	0,45	0,45
			R _{min}	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,00	0,17	0,17	0,17	0,17
			Material	Qra1	Qra1	Qra1	Qra1	Qra1	Qra1	Qra1	Tpb-L	Qdd	Qdd	Qdd	Qra2
			Sismo (g)	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
Valores paramétricos empleados en cada sección			φ _{max}	28,81	28,81	28,81	28,81	28,81	28,81	28,81	28,81	31,60	22,98	22,98	22,98
			φ _{min}	19,06	19,06	19,06	19,06	19,06	19,06	19,06	22,60	15,70	15,70	15,70	15,70
			C _{max} (Kn/m ²)	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	50,00	15,00	15,00	15,00	15,00
			C _{min} (Kn/m ²)	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	26,00	8,70	8,70	8,70	8,70
			Probabilidad de falla (P _f) a 1 año Método PEM	1,91%	2,58%	0,94%	0,36%	7,48%	0,85%	0,28%	0,00%	7,01%	6,65%	0,70%	0,00%
			Probabilidad de falla (P _f) a 10 años Método PEM	16,35%	12,53%	7,98%	1,37%	10,26%	2,36%	1,23%	0,01%	20,23%	17,39%	3,83%	0,06%
			Probabilidad de falla (P _f) a 25 años Método PEM	33,03%	24,42%	16,67%	3,29%	13,78%	4,83%	3,18%	0,04%	35,52%	30,00%	8,30%	0,26%
			Probabilidad de falla (P _f) a 50 años Método PEM	48,59%	36,32%	26,04%	6,55%	17,67%	8,57%	6,68%	0,10%	49,85%	42,23%	14,40%	0,72%

TABLA 7.12 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL: DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL											
				CONDICION DE ANÁLISIS											
				SECCIÓN		3-3'	3-3'	3-3'	4-4'	4-4'	4-4'	4-4'	5-5'	5-5'	5-5'
SUPERFICIE DE FALLA				Sta_S3_2R_C	Sta_S3_3R_C	Sta_S3_4R_C	Sta_S4_1R_C	Sta_S4_2R_C	Sta_S4_3R_C	Sta_S4_4R_C	Sta_S5_1R_C	Sta_S5_2R_C	Sta_S5_3R_C	Sta_S6_1R_C	Sta_S6_2R_C
FRICCIÓN	COHESIÓN (Tn/m ²)	LLUVIA	SISMO	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	
φ _{max}	C _{max}	Sin	Sin	3,102	4,259	5,174	2,180	2,694	3,638	2,156	2,524	2,409	2,706	1,427	1,467
φ _{min}	C _{max}	Sin	Sin	2,862	3,813	4,390	1,988	2,370	2,976	1,993	1,905	1,800	2,108	1,192	1,232
φ _{max}	C _{min}	Sin	Sin	2,108	2,671	3,070	1,914	1,864	2,564	1,764	1,927	1,883	1,948	1,224	1,270
φ _{min}	C _{min}	Sin	Sin	1,854	2,218	2,286	1,720	1,736	1,901	1,586	1,309	1,274	1,349	0,987	1,033
φ _{max}	C _{max}	Sin	Con	1,971	2,404	2,696	1,293	1,468	1,822	1,335	1,387	1,302	1,480	0,959	0,939
φ _{min}	C _{max}	Sin	Con	1,851	2,186	2,320	1,181	1,316	1,516	1,253	1,066	0,990	1,175	0,808	0,797
φ _{max}	C _{min}	Sin	Con	1,308	1,480	1,539	1,117	1,005	1,242	1,082	1,023	0,985	1,024	0,805	0,798
φ _{min}	C _{min}	Sin	Con	1,173	1,235	1,164	1,002	0,944	0,935	0,986	0,703	0,674	0,719	0,651	0,652
φ _{max}	C _{max}	Con	Sin	2,701	3,726	4,514	1,780	2,196	2,985	1,743	1,950	1,832	2,112	1,097	1,134
φ _{min}	C _{max}	Con	Sin	2,569	3,448	3,975	1,654	2,000	2,548	1,656	1,545	1,437	1,734	0,951	0,988
φ _{max}	C _{min}	Con	Sin	1,715	2,141	2,409	1,512	1,573	1,912	1,360	1,352	1,306	1,355	0,893	0,937
φ _{min}	C _{min}	Con	Sin	1,564	1,854	1,871	1,383	1,369	1,473	1,255	0,949	0,912	0,976	0,744	0,787
φ _{max}	C _{max}	Con	Con	1,698	2,083	2,332	1,038	1,170	1,467	1,056	1,039	0,956	1,121	0,719	0,705
φ _{min}	C _{max}	Con	Con	1,650	1,967	2,091	0,970	1,095	1,283	1,024	0,848	0,773	0,950	0,632	0,624
φ _{max}	C _{min}	Con	Con	1,045	1,144	1,174	0,860	0,812	0,889	0,814	0,676	0,640	0,669	0,563	0,561
φ _{min}	C _{min}	Con	Con	0,977	1,017	0,935	0,788	0,726	0,703	0,765	0,485	0,457	0,495	0,475	0,478
			R _{max}	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
			R _{min}	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17
			Material	Qra1	Qra1	Qra1	Qra2	Qra1	Qra1	Qra1	Qra1	Qra1	Qra1	Qra2	Qra2
			Sismo (g)	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
Valores paramétricos empleados en cada sección			φ _{max}	28,81	28,81	28,81	22,98	28,81	28,81	28,81	28,81	28,81	28,81	22,98	28,81
			φ _{min}	19,06	19,06	19,06	15,70	19,06	19,06	19,06	19,06	19,06	19,06	15,70	19,06
			C _{max} (Kn/m ²)	26,00	26,00	26,00	15,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	15,00	26,00
			C _{min} (Kn/m ²)	8,00	8,00	8,00	8,70	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,70	8,00
Probabilidad de falla (P _f) a 1 año Método PEM		N		0,22%	0,34%	0,73%	0,02%	0,18%	0,27%	0,05%	1,79%	2,04%	1,78%	10,80%	6,73%
Probabilidad de falla (P _f) a 10 años Método PEM		N		0,58%	0,68%	1,19%	0,57%	0,92%	0,95%	0,74%	4,82%	5,71%	4,52%	27,60%	21,88%
Probabilidad de falla (P _f) a 25 años Método PEM		N		1,19%	1,22%	1,88%	2,45%	2,59%	2,24%	2,65%	9,27%	10,89%	8,53%	46,76%	39,28%
Probabilidad de falla (P _f) a 50 años Método PEM		N		2,12%	2,00%	2,82%	6,61%	5,77%	4,45%	6,57%	15,31%	17,65%	13,99%	64,06%	55,29%

TABLA 7.13 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL: DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL												
				CONDICION DE ANÁLISIS												
				SECCIÓN		6-6'	6-6'	6-6'	6-6'	7-7'	7-7'	7-7'	8-8'	8-8'	8-8'	8-8'
SUPERFICIE DE FALLA				Sta. S6_3R_C	Sta. S6_4R_C	Sta. S6_5R_C	Sta. S6_6R_C	Sta. S7_1R_C	Sta. S7_2R_C	Sta. S7_3R_C	Sta. S8_1R_C	Sta. S8_2R_C	Sta. S8_3R_C	Sta. S8_4R_C	Sta. S9_1R_C	
FRICCIÓN	COHESION (Tn/m²)	LUVIA	SISMO	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	
φ _{max}	C _{max}	Sin	Sin	2,417	1,699	1,363	1,380	2,496	2,708	3,115	2,257	2,187	2,656	3,073	2,373	
φ _{min}	C _{max}	Sin	Sin	2,219	1,427	1,279	1,289	2,030	2,056	2,430	1,843	1,742	2,142	2,460	1,935	
φ _{max}	C _{min}	Sin	Sin	2,260	1,420	1,239	1,256	1,634	2,046	2,235	1,468	1,501	1,919	2,085	1,645	
φ _{min}	C _{min}	Sin	Sin	2,060	1,147	1,131	1,161	1,169	1,395	1,549	1,053	1,056	1,405	1,473	1,205	
φ _{max}	C _{max}	Sin	Con	1,409	1,070	0,915	0,886	1,576	1,442	1,624	1,455	1,353	1,496	1,794	1,424	
φ _{min}	C _{max}	Sin	Con	1,298	0,909	0,861	0,841	1,295	1,115	1,290	1,215	1,102	1,231	1,461	1,189	
φ _{max}	C _{min}	Sin	Con	1,309	0,874	0,814	0,802	1,021	1,053	1,123	0,898	0,884	1,042	1,172	0,947	
φ _{min}	C _{min}	Sin	Con	1,196	0,713	0,755	0,752	0,744	0,726	0,788	0,656	0,633	0,778	0,839	0,709	
φ _{max}	C _{max}	Con	Sin	1,783	1,349	1,092	1,081	2,076	2,091	2,453	1,793	1,731	2,136	2,567	1,883	
φ _{min}	C _{max}	Con	Sin	1,678	1,177	1,040	1,035	1,745	1,669	2,014	1,548	1,456	1,804	2,143	1,620	
φ _{max}	C _{min}	Con	Sin	1,625	1,069	0,953	0,962	1,249	1,429	1,574	1,012	1,045	1,401	1,578	1,159	
φ _{min}	C _{min}	Con	Sin	1,518	0,896	0,895	0,910	0,922	1,007	1,134	0,765	0,771	1,068	1,155	0,893	
φ _{max}	C _{max}	Con	Con	1,009	0,833	0,702	0,673	1,296	1,079	1,217	1,127	1,042	1,175	1,475	1,098	
φ _{min}	C _{max}	Con	Con	0,958	0,740	0,686	0,659	1,118	0,887	1,028	1,007	0,907	1,022	1,261	0,979	
φ _{max}	C _{min}	Con	Con	0,909	0,636	0,606	0,593	0,730	0,693	0,730	0,580	0,575	0,724	0,852	0,629	
φ _{min}	C _{min}	Con	Con	0,854	0,543	0,582	0,572	0,553	0,499	0,539	0,455	0,438	0,571	0,639	0,503	
			R _{max}	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	
			R _{min}	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17	
			Material	Qra1	Qra2	Qod	Qod	Qra1	Qra1	Qra1	Qra1	Qra1	Qra1	Qra1	Qra1	
			Sismo (g)	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	
Valores paramétricos empleados en cada sección			φ _{max}	28,81	22,98	22,98	22,98	28,81	28,81	28,81	28,81	28,81	28,81	28,81	28,81	
			φ _{min}	19,06	15,70	15,70	15,70	19,06	19,06	19,06	19,06	19,06	19,06	19,06	19,06	
			C _{max} (Kn/m²)	26,00	15,00	15,00	15,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	
			C _{min} (Kn/m²)	8,00	8,70	8,70	8,70	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	
			Probabilidad de falla (P _f) a 1 año Método PEM	N	0,01%	2,12%	1,99%	1,82%	4,44%	1,29%	0,90%	7,29%	6,65%	1,17%	1,41%	3,35%
			Probabilidad de falla (P _f) a 10 años Método PEM	N	0,49%	8,58%	16,03%	15,71%	7,08%	3,75%	2,57%	12,28%	11,98%	3,21%	2,76%	7,14%
			Probabilidad de falla (P _f) a 25 años Método PEM	N	2,46%	16,70%	32,26%	31,78%	10,70%	7,55%	5,33%	18,62%	18,78%	6,37%	4,81%	12,27%
			Probabilidad de falla (P _f) a 50 años Método PEM	N	6,99%	25,67%	47,46%	46,85%	15,19%	13,01%	9,56%	25,64%	26,40%	10,94%	7,67%	18,53%

TABLA 7.14 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL: DESLIZAMIENTOS ROTACIONALES

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL										
				CONDICION DE ANALISIS										
				9-9'	10-10'	10-10'	10-10'	10-10'						
SECCIÓN				Sta_S9_2R_C	Sta_S10_1R_C	Sta_S10_2R_C	Sta_10_3R_C_C	Sta_10_3R_C						
SUPERFICIE DE FALLA														
FRICCIÓN	COHESIÓN (Tn/m ²)	LLUVIA	SISMO	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.						
φ _{max}	C _{max}	Sin	Sin	2,288	2,192	2,162	2,401	2,004						
φ _{min}	C _{max}	Sin	Sin	1,921	1,765	1,842	1,837	1,584						
φ _{max}	C _{min}	Sin	Sin	1,655	1,597	1,555	1,851	1,457						
φ _{min}	C _{min}	Sin	Sin	1,284	1,168	1,228	1,286	1,035						
φ _{max}	C _{max}	Sin	Con	1,341	1,339	1,362	1,334	1,089						
φ _{min}	C _{max}	Sin	Con	1,151	1,103	1,190	1,041	0,885						
φ _{max}	C _{min}	Sin	Con	0,935	0,942	0,950	0,999	0,757						
φ _{min}	C _{min}	Sin	Con	0,742	0,705	0,771	0,705	0,551						
φ _{max}	C _{max}	Con	Sin	1,821	1,698	1,704	1,816	1,816						
φ _{min}	C _{max}	Con	Sin	1,601	1,444	1,527	1,464	1,464						
φ _{max}	C _{min}	Con	Sin	1,192	1,111	1,109	1,270	1,270						
φ _{min}	C _{min}	Con	Sin	0,968	0,853	0,922	0,917	0,917						
φ _{max}	C _{max}	Con	Con	1,037	1,003	1,041	0,973	0,973						
φ _{min}	C _{max}	Con	Con	0,944	0,885	0,969	0,811	0,811						
φ _{max}	C _{min}	Con	Con	0,638	0,618	0,646	0,643	0,643						
φ _{min}	C _{min}	Con	Con	0,536	0,493	0,559	0,478	0,478						
			R _{max}	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45						
			R _{min}	0,17	0,17	0,17	0,17	0,17						
Material				Qra1	Qra1	Qra1	Qra1	Qra1						
Sismo (g)				0,22	0,22	0,22	0,22	0,22						
Valores paramétricos empleados en cada sección	φ _{max}			28,81	28,81	28,81	28,81	28,81						
	φ _{min}			19,06	19,06	19,06	19,06	19,06						
	C _{max} (Kn/m ²)			26,00	26,00	26,00	26,00	26,00						
	C _{min} (Kn/m ²)			8,00	8,00	8,00	8,00	8,00						
Probabilidad de falla (Pf) a 1año Método PEM				N	1,82%	3,46%	2,46%	1,84%	6,50%					
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM				N	5,15%	8,25%	6,49%	5,50%	9,45%					
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM				N	9,87%	14,59%	11,96%	10,68%	13,59%					
Probabilidad de falla (Pf) a 50 años Método PEM				N	16,02%	22,09%	18,67%	17,45%	19,10%					

TABLA 7.15 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL: FALLA PLANAR INFINITA

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL											
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS											
				SECCIÓN		2-2'	2-2'	2-2'	4-4'	4-4'	5-5'	5-5'	6-6'	6-6'	7-7'
SUPERFICIE DE FALLA				S2_24_1	S2_24_1,5	S2_24_2	S4_25_1	S4_25_1,5	S5_20_1	S5_20_1,5	S6_30_1	S6_30_1,5	S7_25_1	S7_25_1,5	S8_25_1
FRICCIÓN	COHESION (tn/m ²)	LLUVIA	SISMO	F.S	F.S	F.S	F.S	F.S	F.S	F.S	F.S	F.S	F.S	F.S	F.S
φ _{max}	C _{max}	Sin	Sin	2,839	2,146	1,799	2,740	2,067	5,245	3,903	2,354	1,758	4,313	3,187	4,313
φ _{min}	C _{max}	Sin	Sin	2,584	1,890	1,543	2,497	1,824	4,791	3,450	2,162	1,567	3,965	2,839	3,965
φ _{max}	C _{min}	Sin	Sin	1,965	1,563	1,362	1,892	1,502	2,459	2,046	1,604	1,258	1,974	1,628	1,974
φ _{min}	C _{min}	Sin	Sin	1,710	1,307	1,106	1,649	1,259	2,005	1,592	1,412	1,067	1,627	1,280	1,627
φ _{max}	C _{max}	Sin	Con	2,327	1,759	1,474	2,246	1,694	4,299	3,199	1,929	1,441	3,535	2,612	3,535
φ _{min}	C _{max}	Sin	Con	2,118	1,549	1,265	2,046	1,495	3,927	2,828	1,772	1,284	3,250	2,327	3,250
φ _{max}	C _{min}	Sin	Con	1,611	1,281	1,116	1,551	1,231	2,015	1,677	1,314	1,032	1,618	1,335	1,618
φ _{min}	C _{min}	Sin	Con	1,401	1,072	0,907	1,352	1,032	1,643	1,305	1,158	0,875	1,333	1,049	1,333
φ _{max}	C _{max}	Con	Sin	2,520	1,826	1,479	2,430	1,757	4,766	3,424	2,079	1,484	3,910	2,785	3,910
φ _{min}	C _{max}	Con	Sin	2,372	1,678	1,331	2,291	1,618	4,490	3,149	1,980	1,385	3,712	2,586	3,712
φ _{max}	C _{min}	Con	Sin	1,646	1,243	1,042	1,582	1,192	1,979	1,567	1,329	0,984	1,572	1,226	1,572
φ _{min}	C _{min}	Con	Sin	1,498	1,096	0,894	1,443	1,053	1,704	1,291	1,230	0,885	1,374	1,028	1,374
φ _{max}	C _{max}	Con	Con	2,065	1,497	1,213	1,992	1,440	3,906	2,807	1,704	1,217	3,205	2,283	3,205
φ _{min}	C _{max}	Con	Con	1,944	1,376	1,091	1,878	1,327	3,681	2,581	1,623	1,135	3,043	2,120	3,043
φ _{max}	C _{min}	Con	Con	1,349	1,019	0,854	1,297	0,977	1,622	1,284	1,090	0,807	1,289	1,005	1,289
φ _{min}	C _{min}	Con	Con	1,228	0,898	0,733	1,183	0,863	1,397	1,009	0,726	0,507	1,126	0,842	1,126
		β (°)		24	24	24	25	25	20	20	30	30	25	25	25
		R _c		0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45
		Z (m)		1,00	1,50	2,00	1,00	1,50	1,00	1,50	1,00	1,50	1,00	1,50	1,00
		Sismo (g)		0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22
		Material		Qdd1	Qdd1	Qdd1	Qdd1	Qdd1	Qra1	Qra1	Qdd1	Qdd1	Qra1	Qra1	Qra1
		Valores paramétricos empleados en cada sección		φ _{max} (°)	22,98	22,98	22,98	22,98	22,98	28,81	28,81	22,98	22,98	28,81	28,81
				φ _{min} (°)	15,70	15,70	15,70	15,70	15,70	19,06	19,06	15,70	15,70	19,06	19,06
				C _{max} (Kn/m ²)	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	2,60	2,60	1,50	1,50	2,60	2,60
				C _{min} (Kn/m ²)	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,80	0,80	0,87	0,87	0,80	0,80
		Probabilidad de falla (P) a 1 año Método PEM	N	0,25%	1,17%	3,94%	0,34%	1,62%	3,12%	3,35%	1,15%	6,42%	4,77%	6,13%	4,77%
		Probabilidad de falla (P) a 10 años Método PEM	N	0,48%	2,50%	8,41%	0,63%	3,35%	3,71%	4,36%	1,95%	10,96%	5,61%	7,73%	5,61%
		Probabilidad de falla (P) a 25 años Método PEM	N	0,78%	4,24%	14,02%	1,01%	5,59%	4,42%	5,57%	2,99%	16,58%	6,61%	9,65%	6,61%
		Probabilidad de falla (P) a 50 años Método PEM	N	1,12%	6,24%	20,05%	1,45%	8,12%	5,12%	6,76%	4,16%	22,51%	7,59%	11,56%	7,59%

TABLA 7.16 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL: FALLA PLANAR INFINITA (CONTINUACIÓN)

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL													
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS													
				SECCIÓN		8-8'	9-9'	9-9'	10-10'	10-10'	4-4'	5-5'	6-6'	7-7'	8-8'	9-9'	10-10'
SUPERFICIE DE FALLA				S8_23_1,5	S9_21_1	S9_21_1,5	S10_24_1	S10_24_1,5	S4_25_2	S5_20_2	S6_30_2	S7_25_2	S8_25_2	S9_21_2	S10_24_2		
FRICCIÓN	COHESIÓN (Tn/m²)	LLUVIA	SISMO	F.S	F.S	F.S	F.S	F.S	F.S	F.S	F.S	F.S	F.S	F.S	F.S		
Φ _{max}	C _{max}	Sin	Sin	3,187	5,020	3,731	4,465	3,304	1,731	3,903	1,461	2,624	2,624	3,086	2,724		
Φ _{min}	C _{max}	Sin	Sin	2,839	4,591	3,302	4,099	2,939	1,487	3,450	1,269	2,276	2,276	2,658	2,359		
Φ _{max}	C _{min}	Sin	Sin	1,628	2,343	1,946	2,055	1,698	1,307	2,046	1,086	1,455	1,455	1,748	1,519		
Φ _{min}	C _{min}	Sin	Sin	1,280	1,914	1,518	1,689	1,332	1,063	1,592	0,894	1,107	1,107	1,319	1,154		
Φ _{max}	C _{max}	Sin	Con	2,612	4,114	3,058	3,660	2,709	1,418	3,199	1,197	2,151	2,151	2,530	2,233		
Φ _{min}	C _{max}	Sin	Con	2,327	3,763	2,707	3,360	2,409	1,219	2,828	1,040	1,866	1,866	2,178	1,933		
Φ _{max}	C _{min}	Sin	Con	1,335	1,920	1,595	1,684	1,392	1,071	1,677	0,890	1,193	1,193	1,433	1,245		
Φ _{min}	C _{min}	Sin	Con	1,049	1,569	1,244	1,384	1,092	0,872	1,305	0,733	0,907	0,907	1,081	0,945		
Φ _{max}	C _{max}	Con	Sin	2,785	4,559	3,271	4,050	2,890	1,421	3,424	1,187	2,222	2,222	2,626	2,310		
Φ _{min}	C _{max}	Con	Sin	2,586	4,302	3,013	3,839	2,678	1,282	3,149	1,088	2,024	2,024	2,369	2,098		
Φ _{max}	C _{min}	Con	Sin	1,226	1,883	1,486	1,640	1,283	0,997	1,567	0,812	1,053	1,053	1,288	1,105		
Φ _{min}	C _{min}	Con	Sin	1,028	1,625	1,228	1,429	1,072	0,858	1,291	0,713	0,855	0,855	1,030	0,893		
Φ _{max}	C _{max}	Con	Con	2,283	3,737	2,681	3,320	2,369	1,164	2,807	0,973	1,821	1,821	2,153	1,893		
Φ _{min}	C _{max}	Con	Con	2,120	3,526	2,470	3,147	2,195	1,051	2,581	0,891	1,659	1,659	1,941	1,720		
Φ _{max}	C _{min}	Con	Con	1,005	1,543	1,218	1,345	1,052	0,817	1,284	0,665	0,863	0,863	1,056	0,906		
Φ _{min}	C _{min}	Con	Con	0,842	1,332	1,007	1,171	0,878	0,703	1,058	0,584	0,700	0,700	0,844	0,732		
				β (°)	25	21	21	24	25	25	20	25	25	21	24		
				R _v	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	0,45	
				Z (m)	1,50	1,00	1,50	1,00	1,50	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	2,00	
				Sismo (g)	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	
Material				Qra1	Qra1	Qra1	Qra1	Qra1	Odd1	Qra1	Odd1	Qra1	Qra1	Qra1	Qra1		
Valores paramétricos empleados en cada sección				Φ _{max} (°)	28,81	28,81	28,81	28,81	28,81	22,98	28,81	22,98	28,81	28,81	28,81	28,81	
				Φ _{min} (°)	19,06	19,06	19,06	19,06	19,06	15,70	19,06	15,70	19,06	19,06	19,06	19,06	19,06
				C _{max} (Kn/m²)	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60	1,50	2,60	1,50	2,60	2,60	2,60	2,60	2,60
				C _{min} (Kn/m²)	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,87	0,80	0,87	0,80	0,87	0,80	0,80	0,80
Probabilidad de falla (P _f) a 1 año Método PEM				N	6,13%	3,41%	3,81%	4,40%	5,47%	5,55%	3,68%	20,82%	7,84%	7,84%	4,34%	6,82%	
Probabilidad de falla (P _f) a 10 años Método PEM				N	7,73%	4,05%	4,93%	5,19%	6,95%	11,09%	5,20%	31,20%	10,48%	10,48%	6,06%	9,23%	
Probabilidad de falla (P _f) a 25 años Método PEM				N	9,65%	4,81%	6,27%	6,12%	8,72%	17,95%	7,03%	43,40%	13,66%	13,66%	8,14%	12,12%	
Probabilidad de falla (P _f) a 50 años Método PEM				N	11,56%	5,56%	7,60%	7,05%	10,48%	25,17%	8,86%	55,07%	16,83%	16,83%	10,21%	15,01%	

TABLA 7.17 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA CONDICIONAL: MACIZO ALTERADO

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL											
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS											
SECCIÓN				1-1'	1-1'	1-1'	1-1'	2-2'	2-2'	2-2'	6-6'	8-8'	9-9'		
SUPERFICIE DE FALLA				Sta. S1_8R	Sta. S1_9R	Sta. S1_10R	Sta. S1_9R	Sta. S2_5R	Sta. S2_6R	Sta. S2_5R	Sta. S6_7R	Sta. S8_5R	Sta. S9_3R		
FRICCIÓN	COHESIÓN (Tn/m ²)	LLUVIA	SISMO	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.		
φ _{max}	C _{max}	Sin	Sin	4,299	2,862	3,547	2,862	2,154	3,561	2,154	2,425	2,454	2,451		
φ _{min}	C _{max}	Sin	Sin	3,191	1,987	2,631	1,987	1,551	2,636	1,551	1,867	1,899	1,864		
φ _{max}	C _{min}	Sin	Sin	3,770	2,721	3,360	2,679	2,032	3,192	1,997	2,149	2,181	2,119		
φ _{min}	C _{min}	Sin	Sin	2,662	1,846	2,444	1,802	1,429	2,267	1,394	1,590	1,626	1,531		
φ _{max}	C _{max}	Sin	Con	1,773	1,345	1,513	1,345	1,128	1,674	1,128	1,393	1,363	1,439		
φ _{min}	C _{max}	Sin	Con	1,329	0,939	1,130	0,939	0,819	1,251	0,819	1,085	1,066	1,106		
φ _{max}	C _{min}	Sin	Con	1,535	1,271	1,425	1,247	1,056	1,485	1,035	1,219	1,196	1,222		
φ _{min}	C _{min}	Sin	Con	1,091	0,865	1,042	0,842	0,747	1,061	0,726	0,911	0,898	0,890		
φ _{max}	C _{max}	Con	Sin	3,963	2,385	3,004	2,385	1,795	3,075	1,795	2,111	2,119	2,111		
φ _{min}	C _{max}	Con	Sin	2,789	1,672	2,251	1,672	1,310	2,314	1,310	1,659	1,668	1,637		
φ _{max}	C _{min}	Con	Sin	3,165	2,244	2,816	2,204	1,674	2,706	1,639	1,836	1,846	1,778		
φ _{min}	C _{min}	Con	Sin	2,261	1,530	2,064	1,490	1,188	1,946	1,153	1,383	1,395	1,304		
φ _{max}	C _{max}	Con	Con	1,501	1,095	1,258	1,095	0,917	1,425	0,917	1,195	1,158	1,220		
φ _{min}	C _{max}	Con	Con	1,148	0,774	0,952	0,774	0,677	1,086	0,677	0,954	0,924	0,961		
φ _{max}	C _{min}	Con	Con	1,263	1,021	1,171	1,000	0,845	1,236	0,825	1,021	0,992	1,004		
φ _{min}	C _{min}	Con	Con	0,911	0,700	0,865	0,679	0,605	0,897	0,585	0,780	0,757	0,745		
				R _{max}	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18	0,18		
				R _{min}	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00		
				Material	Tpb-L	Tpb-L	Tpb-L	Tpb-L	Tpb-L	Tpb-L	Tpb-L	Tpb-L	Tpb-L		
				Sismo (g)	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22		
Valores paramétricos empleados en cada sección	φ _{max}			28,80	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80	28,80		
	φ _{min}			20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00		
	C _{max} (Kn/m ²)			26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00		
	C _{min} (Kn/m ²)			12,00	12,00	12,00	8,00	12,00	12,00	8,00	12,00	12,00	12,00		
Probabilidad de falla (Pf) a 1año Método PEM		N		0,01%	0,18%	0,02%	0,21%	0,66%	0,02%	0,82%	0,09%	0,08%	0,19%		
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM		N		0,16%	1,05%	0,31%	1,16%	2,49%	0,20%	2,82%	0,67%	0,74%	0,86%		
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM		N		0,56%	3,00%	1,15%	3,23%	5,65%	0,68%	6,17%	2,05%	2,33%	2,35%		
Probabilidad de falla (Pf) a 50 años Método PEM		N		1,38%	6,74%	2,91%	7,10%	10,81%	1,69%	11,44%	4,77%	5,46%	5,16%		

La estabilidad en las unidades de ladera adquiere tintes adversos en la medida en la que los rellenos incrementen su espesor, o mantengan estadios extremos de presurización o se debiliten, o el suelo residual haga su aparición bajo ellos (simulación casi incontrovertible en las superficies libres S-1, S-2, S-6, S-8 y S-9) o continúe su expansión (o progresión) hacia aguas abajo (imaginario de alta posibilidad de ocurrencia en las laderas S-6, S-9 y S-10, y transcrito en el [Anexo G.4](#)) y se reblandezca al punto que la cohesión caiga a los umbrales de los rellenos. Indicio que lo convierte en un modelo predictivo. La posibilidad de activación permanece constante o se incrementa entre el 0.6% y el 10.5%, si el marco de trabajo es a 10 años, o desde el 4.8% hasta el 25.5%, si la exposición es a 50 años, y las esperanzas del factor de seguridad descienden desde 2.19 hasta 1.05, cualquiera sea el periodo de exposición (véase la [Tabla 7.17](#)). Corolario que se desprende de contrastar la respuesta esperada otorgada por las superficies críticas en uno y otro ambiente, representadas por la Sta_S1_8R, Sta_S1_9R, Sta_S1_10R, Sta_S2_5R, Sta_S2_6R, Sta_S6_7R, Sta_S8_5R y Sta_S9_3R. Diagnóstico sintetizado en la [Tabla 7.17](#).

Principios (o proposiciones) y previsiones que dejan en evidencia que su detonación (o su movilización), al igual que lo fue la de los cuerpos de deslizamiento (el DT001AC, y el FT001IR, desglosados en el inciso 7.1.1), es asunto de tiempo. Los factores condicionantes en éstos y en aquellos, antes y ahora, permanecen vigentes. En otras palabras, salvo que se tomen algunos correctivos como la despresurización de los depósitos (bien con baterías de subdrenes horizontales, bien con trincheras drenantes –profundas-, o bien con una combinación de éstos, elementos que aprovechan el mediano a generoso espesor del cuaternario), la reducción de las masas activas (traducida en el perfilado), la intercepción del agua de escorrentía (con cunetas, con la implantación de la red de alcantarillado pluvial y con el mantenimiento o la optimización de la red de alcantarillado), y la puesta en marcha de sistemas de confinamiento 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, sin lugar a dudas, cualquiera sea el espesor comprometido, aun si ronda los dos metros, los eventos con menor posibilidad de gestación y los de más inocua trascendencia espacial. Basta señalar que ellos tienen asidero fractal en las laderas S-2, S-4, S-5, S-6, S-7, S-8, S-9 y S-10, en las regiones LDIM-I-1, LDIU-I-1, LDIU-II-1, LDIU-II-2 y DCP-II-1 (véanse la [Tabla 7.8](#), en la [Tabla 7.9](#), en la [Tabla 7.15](#) y en la [Tabla 7.16](#)) y que su disposición cinemática es limitada, tanto así que la pendiente longitudinal media de la vertiente apenas toca los 13° y las transversales transitan por debajo de los 25°. Allí los factores de seguridad se enmarcan en el dominio [0.72 – 5.25], y las probabilidades condicionales mutan del 0.5% al 8.4%, del 0.6% al 3.35%, del 3.7% al 4.4%, del 1.9% al 11% y del 4% al 5%, en los cortes S-2, S-4, S-5, S-6 y S-9, respectivamente, y entre 5.6% y el 7.7% en lo que atañe a las superficies S-7 y S.8, sí y sólo sí el periodo de recurrencia toque los 10 años, o del 1.1% al 20%, del 1.5% al 8.1%, del 5.1% al 6.8%, del 4.2% al 22.5% y del 5.6% al 7.6%, y desde el 7.6% hasta el 11.6%, toda vez que se conserve el mismo orden y la exposición circunde los 50 años. Conjunto refrendado en la [Tabla 7.15](#), en la [Tabla 7.16](#), y en el [Anexo G.4](#). A todo esto se le suma que su potencial de daño y sus consecuencias son muy inferiores; los cuerpos de deslizamiento, los volúmenes y la capacidad de desplazamiento (i.e. la distancia de viaje) son sustancialmente limitados frente a los movimientos rotacionales. Son estos últimos los gestores de los más amplios escenarios de amenaza.

El comportamiento del macizo rocoso, idealizado por horizontes sanos y alterados (semi-infinitos), ejemplificado por las superficies libres y críticas S-1 (Sta_S1_8R, Sta_S1_9R y Sta_S1_10R), S-2 (Sta_S2_5R y Sta_S2_6R), S-6 (Sta_S6_7R), S-8 (Sta_S8_5R), S-9 (Sta_S9_3R), no sólo es halagüeño, sino tranquilizador. Él permanece estable toda vez que no incidan simultáneamente el sismo y la lluvia, ni se movilice la cohesión o la fricción mínima o los parámetros mínimos: c_{\min} , ϕ'_{\min} , conjuntamente. Los factores de seguridad recorren el intervalo [0.61 - 4.30] y las probabilidades de falla oscilan entre el 0.01% y el 10.8%,

cualquiera sea el escenario de estudio (uno o cincuenta años). Valores y deducciones 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 la Ciudadela estos son los ambientes más estables, sin que 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 G.4. 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 recaería en él en la construcción de los escenarios de amenaza y de riesgo, y la atención en la estabilización y mitigación se centraría en los rellenos.

Así, entonces, la reducción de la tasa de alteración del material rocoso es una responsabilidad inaplazable, más aún en ambientes lodosos y blandos como los que gobiernan y circundan en Santa Rosa. No obstante, contrario a las amplias bondades de este modelo (ya descritas), la preservación del macizo es una tarea compleja, que depende de múltiples factores, uno de ellos es la despresurización de los rellenos antrópicos y otro el mantener el medio inalterado, exigencia que obliga a desestimar cualquier proceso urbanístico al alrededor, en especial al oriente y al norte, a recuperar morfológicamente parte de la vertiente derecha, y a salvaguardar el medio, incluida la ronda de la quebrada, con especies arbóreas y arbustivas endémicas, lo que implica erradicar el retamo espinoso.

7.2.3 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 los espacios de afectación esperados por los procesos. Tales áreas son limitadas una vez estimadas las distancias probables de viaje de las masas. Distancias definidas así: a) en los rellenos y los depósitos de desliamiento, 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:

$$\text{LogL} = C0 + C1 \times I1 + C2 \times I2$$

en la que:

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 que impone el medio (representadas por las edificaciones, los cerramientos, los muros de contención y el cauce de la quebrada Los Toches, entre otros).

En el Anexo G.5 se condensan las longitudes calculadas (tanto para los coeficientes máximos como para los promedios, reconocidos como los más apropiados, de acuerdo con los registros de los deslizamientos ocurridos en las tres etapas de Buena Vista y en otros barrios de la localidad de San Cristóbal) 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 microcuenca alta de Los Toches (la 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 Santa Rosa (véase la [Tabla 7.18](#)).

El [Plano 9](#) 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 cuatro cuerpos y focos de deslizamiento, las regiones homogéneas DCP-II-1, LDIU-I-1, LDMIU-I-1, LDIU-I-1, CEMM-II-2 causantes de la zozobra en la población en el 2010, en el 2011 y en el 2017, y de los daños en los bloques 71 y 78 (véase el [Plano 9](#)); y en el espacio de ampliación del deslizamiento principal, la zona LDMIU-II-2, LDMIU-II-1 y LDIU-II-2, que no es otra cosa que la generosa exposición de los rellenos mineros. Escenario regido por el flujo FT0021R, circunstancia reinante en la superficie vecina a la S-2. Le siguen en importancia las regiones LDIM-I-1, LDIU-I-2, LDIU-II-1, LDIU-II-3, LDMIU-II-1, CEMM-II-1 y la franja occidental de la LDIU-I-1, todas con categoría de amenaza baja.

TABLA 7.18 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 el futuro: a los 50 años. Las otrora regiones de amenaza media, generadoras y receptoras de las masas inestables, mutan a alta: los deslizamientos rotacionales en los llenos y la propagación y ampliación o retrogresión no sólo del deslizamiento principal, el DT001AC, y del flujo conexo (calcado inmediatamente al sur), sino del incubado en el parque y de los desprendimientos, tendrían lugar protagónico. La puesta en marcha de sistemas de contención y de mitigación allí, ya sea con pantallas de pilotes y perfilados (reconformación morfológica), invariablemente acompañados con redes de drenaje superficial (que reúnen cunetas, zanjas de coronación, descoles, etc) y de subdrenaje (configurados por trincheras o por baterías de subdrenes horizontales) es por tanto necesario. Más aún si se quiere preservar la vida y los bienes en la ciudadela. Sólo los espacios habitados y moldeados en los cuaternarios más delgados (con espesores de hasta cuatro metros) o en los macizos rocosos, i.e. los ambientes LDMIU-II-1, CEMM-II-1, LDIU-I-3, LDIU-II-3 y LDIU-II-1 (véase el [Planos 9](#)), exhiben los mejores réditos, su condición de amenaza es sustancialmente media. Ellas acogen unidades de ladera sensibles, al punto que la ejecución de cualquier corte o excavación, o que 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.

CAPÍTULO 8

VULNERABILIDAD Y RIESGO FÍSICOS

VULNERABILIDAD Y RIESGO FÍSICOS

La vulnerabilidad puede ser definida 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), o como la inseguridad y sensibilidad del bienestar de los individuos, hogares y comunidades en situaciones de cambio, e implícitamente en su respuesta y resiliencia a los riesgos que ellos enfrentan durante estos cambios negativos (Moser, 1998). Es, por lo tanto, multidimensional, dinámica y función de la escala, del entorno (Van Westen et al, 2011) y, de la exposición y de la resistencia. Variables últimas dependientes a su vez de la solicitud v.g. un deslizamiento.

Es conmensurable con el nivel de gravedad de las consecuencias esperadas. Se parametriza 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 (Lang, 2002). Su evaluación es parte fundamental para la estimación del riesgo por medio de interacciones entre el sujeto susceptible con el ambiente o cambio peligroso; en otras palabras, y para este caso, tiene como objetivo analizar la respuesta de los elementos (i.e. las viviendas, las redes de servicios públicos, las vías, etc) frente a los diferentes fenómenos de remoción en masa, potenciales o activos y, junto con la estimación de la amenaza, pretende puntualizar el(los) tratamiento(s) por adelantar. Dentro del contexto citado, por ejemplo, si las edificaciones no se localizan en la zona de influencia o se no 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 la implementación de obras para su mitigación o a programas de reubicación.

8.1 MÉTODO DE EVALUACIÓN

8.1.1 MÉTODO DE EVALUACIÓN

A la luz de la concepción de vulnerabilidad adoptada (esbozada en la primera página de este capítulo) la determinación de un índice que permita evaluarla, involucra las variables: resistencia y solicitud. Su asignación, en grandes ambientes, trae consigo grados de incertidumbre que aunados a la ausencia de modelos objetivos, universales y de apropiado sustento teórico, hacen que esta tarea recaiga en los métodos de racionamiento aproximado y heurísticos, sean estos de análisis simple o de asignación de calificaciones (Lang, 2002), por ende, encierre algún nivel de subjetividad. Sin embargo, y en aras de subsanar estas limitaciones, el modelo empleado en este estudio, está fundado en la propuesta de Leone (1996) y Leone et al (1996) con algunas modificaciones introducidas por el consultor. Este procedimiento expresa la vulnerabilidad en función de los posibles daños que pueden sufrir los elementos inmersos en la zona de afectación previsible

IDIGER	CONSORCIO SANTA ROSA	GIA-085-18		INFORME FINAL - PÁG. 307	
VERSIÓN:	1			FECHA	18/10/18
ELABORÓ:	JVG, NFS, JALG	REVISÓ:	JALG5	APROBÓ:	JAM

por el fenómeno, daños definidos, en forma teórica y porcentual, a partir de la intensidad de daño, la que a su vez es función directa de la exposición y de la capacidad de resistencia del elemento.

8.1.2 CRITERIOS APLICADOS

Leone (1996) en su intento por estructurar una aproximación cuantitativa de la vulnerabilidad, pasa por la clasificación de los elementos expuestos, entendida bajo el concepto de tipología, por la deducción de la naturaleza de las sollicitaciones (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 sollicitación: gracias al empleo de criterios físicos simples. Suplidas y estudiadas estas componentes desembocan en la matriz de daño, corazón del procedimiento. Quehacer que implica una nueva clasificación del evento amenazante, al incluir 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.

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 otras variables como: la calidad de la construcción, los sistemas de cimentación, la estructura y el recubrimiento de la cubierta, y los daños en la construcción. Las citadas variables son discriminadas y ponderadas, gracias a criterios de razonamiento, proceso sintetizado desde la [Tabla 8.1](#), hasta la [Tabla 8.7](#), y 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 o más con 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.

Ahora bien, la asignación de la vulnerabilidad de los predios, parte de los atributos espaciales brindados por la división catastral, atributos que son a su vez sus limitaciones, baste señalar que no hay diferencia entre el predio y el área construida. Por lo tanto, se adopta la totalidad del predio como la unidad de análisis, pese a que solo el uso urbanístico, para ese entonces, sea de una fracción. En los baldíos, al margen de su potencial construcción, explotación y usufructo, su categorización abarca la totalidad del predio independiente de su uso y de su cobertura.

TABLA 8.1 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 ó G.

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 8.2 CALIFICACIÓN PARA LA VARIABLE: SISTEMA ESTRUCTURAL

CATEGORIZACIÓN	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
BUENO	PÓRTICO COMPLETO, MAMPOSTERÍA ESTRUCTURAL Y MUROS PORTANTES CONFINADOS	20 – 14
REGULAR	PÓRTICO INCOMPLETO, MUROS PORTANTES NO CONFINADOS O COMBINACIÓN DE CONFINADOS Y PÓRTICO CON MUROS NO CONFINADOS	10
MALO	VIVIENDA DE 3 O MÁS PISOS CON MUROS PORTANTES NO CONFINADOS, ESTRUCTURAS EN MATERIALES DE RECUPERACIÓN O VIVIENDAS PREFABRICADAS.	6 - 5

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 8.3 CALIFICACIÓN PARA LA VARIABLE: PARTES ESTRUCTURALES

CATEGORIZACIÓN	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
BUENO	ENTREPISOS Y/O PISOS EN CONCRETO O METAL Y VIGA DE AMARRE	17 – 15
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	13
MALO	ENTREPISOS Y/O PISOS EN MADERA Y SISTEMA DE CIMENTACIÓN MIXTO O EN CONCRETO CICLÓPEO	8
PÉSIMO	ENTREPISOS Y/O PISOS METÁLICOS Y SISTEMA DE CIMENTACIÓN MIXTO	3

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 8.4 CALIFICACIÓN DEL NIVEL DE DAÑO DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES

CATEGORIZACIÓN	DESCRIPCIÓN
NINGUNO	NO PRESENTA DAÑOS
BAJO	FISURAS APRECIABLES (+ 1MM) EN EL ELEMENTO
INTERMEDIO	GRIETAS CONTINUAS DIAGONALES CON ABERTURAS HASTA DE 5 MM. FISURAS EN JUNTAS HORIZONTALES EN EL EXTREMO SUPERIOR E INFERIOR DEL ELEMENTO GRIETAS DIAGONALES DE CORTANTE CON ABERTURAS HASTA DE 5 MM. DESPRENDIMIENTO DE DINTELES (FISURAS).
ALTO	GRIETAS ABIERTAS CONTINUAS (DE 5 A 9 MM.) Y MECANISMO DE ROTURA ESCALONADO UNIDADES DE MAMPOSTERÍA ROTAS. DESPLAZAMIENTO RELATIVO O MOVIMIENTO EN EL PLANO FUERA DE ÉL PÉRDIDA DE RECUBRIMIENTO DE REFUERZO PANDEO APRECIABLE O ROTACIÓN (TORSIÓN) DEL ELEMENTO. CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO PÉRDIDA PARCIAL DE APOYOS. ROTURA DE AMARRE DE VINCULACIÓN MURO-CUBIERTA
SEVERO	GRIETAS (> 9 MM.) Y DESPLAZAMIENTOS QUE PRESENTEN MECANISMOS DE COLAPSO. INCLINACIONES DEL ELEMENTO FUERA DE SU PLANO VERTICAL. UNIDADES DE MAMPOSTERÍA ROTAS. PÉRDIDA DE RECUBRIMIENTO DE REFUERZO, ROTURA DE LAS VARILLAS DE REFUERZO. CORROSIÓN MUY AVANZADA EN EL ACERO DE REFUERZO (PÉRDIDAS DE SECCIÓN SUPERIORES AL 20%) PÉRDIDA DE APOYOS DE LOS ELEMENTOS CON MECANISMO DE COLAPSO.
NO APLICA	ELEMENTO NO EXISTE EN LA CONSTRUCCIÓN

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 8.5 CALIFICACIÓN PARA LA VARIABLE: CALIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN

CATEGORIZACIÓN	DESCRIPCIÓN	CALIFICACIÓN
BUENA	MUROS PLOMADOS, MAMPOSTERÍA DE BUENA CALIDAD, PIEZAS HOMOGÉNEAS, ELEMENTOS ESTRUCTURALES DEFINIDOS GEOMÉTRICAMENTE. 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 APROPIADAMENTE LIGADAS	10
REGULAR	MUROS CON DESPLOME, CON ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES IRREGULARMENTE DEFINIDOS, HORMIGUEO, LOSAS ANÓMALAS. MAMPOSTERÍA DE BUENA O BAJA CALIDAD, CON PIEZAS NO HOMOGÉNEAS. HORMIGÓN DE REGULAR CALIDAD Y JUNTAS MAL CONSTRUIDAS, DEFICIENTE RECUBRIMIENTO DEL REFUERZO	7
MALA	HORMIGUEO INTENSO, MUROS CON INCLINACIONES SEVEROS, PIEZAS NO HOMOGÉNEAS CON JUNTAS TOTALMENTE IRREGULARES.	3

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 8.6 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 LAS ANTERIORES O ES INEXISTENTE	6-3

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

TABLA 8.7 CALIFICACIÓN PARA LA VARIABLE: DAÑO EN TODA LA CONSTRUCCIÓN (TOMADO Y ADAPTADO DE DAY, 1999)

NIVEL	CATEGORIZACIÓN	DESCRIPCIÓN	ABERTURA DE LA GRIETA (AI)	CALIFICACIÓN
1	NINGUNO	SIN FISURAS, NI FRACTURA ALGUNA O CON GRIETAS MUY DELGADAS	<0,1MM	20
2	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	16
3	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	14
4	ALTO PARCIAL	GRIETAS GRANDES QUE REQUIEREN UN EXTENSO TRABAJO DE REPARACIÓN, QUE INCLUYE LA DEMOLICIÓN Y EL REEMPLAZO DE SECCIONES DE PAREDES (SOBRETODAS 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)	11
5	ALTO TOTAL	GRIETAS GRANDES QUE REQUIEREN UN EXTENSO TRABAJO DE REPARACIÓN QUE INCLUYE LA DEMOLICIÓN Y EL REEMPLAZO DE SECCIONES DE PAREDES (SOBRETODAS CERCA A LAS PUERTAS Y A LAS VENTANAS). LOS MARCOS OPERAN 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
6	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 APUNALADAS; LAS VENTANAS SE REVELAN ROTAS POR DEFORMACIÓN, Y EXISTE PELIGRO POR INESTABILIDAD ESTRUCTURAL EN UN SÓLO ELEMENTO DE LA ESTRUCTURA	AI≥25MM (DEPENDE DEL NÚMERO DE ELEMENTOS INVOLUCRADOS)	4
7	SEVERO TOTAL	ÁLBERGA TRABAJOS DE REPARACIÓN MAYOR, RECONSTRUCCIÓN PARCIAL O COMPLETA DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y NO ESTRUCTURALES. ES PATENTE LA PÉRDIDA DE PORTE EN LAS VIGAS; LAS PAREDES DEBEN SER APUNALADAS; LAS VENTANAS ESTÁN 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

FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

8.1.2.1 INFORMACIÓN PRIMARIA

La recopilación de los datos que permiten evaluar la capacidad de respuesta de las estructuras y determinar su nivel de daño y el de sus alrededores, se solventa a través del inventario de 323 edificaciones (aunque los términos de referencia fija un número inferior), emplazadas en los corredores de mayor amenaza por FRM evidenciada, es decir, que poseen algún tipo de sollicitación ante los eventos potenciales o activos. En tanto que la sollicitación se fundamenta (y se fija) gracias a los resultados del análisis de amenaza compilados en el

Capítulo 6. Una fracción de las construcciones, cerca del 80% (percentil representado en las 276 viviendas de la acción popular) se auscultó desde el exterior, bien porque el IDIGER así lo solicitó, o bien porque los propietarios manifestaron su desinterés o su rechazo. El Anexo H congrega el inventario de las viviendas.

Inventario de Viviendas

El estudio de la vulnerabilidad de los elementos expuestos, en este caso las viviendas, se realiza 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 H.1 se dispone el formato de campo con el instructivo que sirvió como guía para su utilización, y en el Anexo H.2 se compilan los inventarios de las 276 edificaciones.

Contrario a las recomendaciones emitidas por el IDIGER de limitar el inventario, hay un marcado interés por un amplio grupo de residentes para que se haga extensivo a toda la urbanización, pero no sólo desde el exterior. Petición que el consultor ha atendido con el sano interés de tener un mejor diagnóstico tanto del problema que afecta a la ciudadela como de la respuesta de las edificaciones, de hacer una más asertiva gestión social y de enriquecer el planteamiento de alternativas y la selección de las medidas de mitigación.

Al margen de lo anterior, el reconocimiento deja en evidencia la notable divergencia en la calidad constructiva entre las componentes de la ciudadela: en los multifamiliares sobresalen las faltas en las prácticas de la constructora y, en las modificaciones ejecutadas por los propietarios, la mayor parte de ellas atendidas con un muy bajo nivel técnico; y en los unifamiliares las ampliaciones modifican drásticamente el sistema estructural. Por parte de la constructora son recurrentes que los antepechos y los muros del último nivel operen sin viga cinta de remate. Y por parte de los propietarios, las deficiencias abarcan la exposición del refuerzo en elementos como placas de entepiso, el hormiguo intenso, y la irregular (o pésima) calidad de la mampostería del tercer nivel, allí los bloques son diversos en tipo, calidad y dimensiones, y los muros o carecen de amarre alguno o distan de tener continuidad con el sistema estructural. El panorama descrito se ilustra de la Foto 8.1 a la Foto 8.6.

Pero estas no son las únicas irregularidades. A lo anterior se le suman: a) las casi permanentes huellas de humedad, patentes, indistintamente, en las paredes tanto de las casas y de los apartamentos, incluso las de los segundos pisos, como de las zonas comunes de los multifamiliares; b) los permanentes flujos de agua, aún durante los días secos, en los senderos peatonales, ante todo entre los bloques 94 y 95, prueba de ello es el caudal emanado frente al predio 14 de la manzana 94; c) las grietas transversales y longitudinales, las primeras se exponen con mayor intensidad en sólo en cuatro edificaciones incorporadas a las manzanas 93 y 94, y las segundas reinan a lo largo y ancho de las manzanas 78, 93 y 94, en el límite de los predios; d) las deformaciones angulares en elementos estructurales y no estructurales, y los asentamientos deferenciales, patología que toma lugar protagónico en las residencias 35 a 64 del bloque 78, pero que alcanza su máxima expresión en las casas 35 y 36; y e) la dotación de servicios informales en las cuadras 63, 64 y 65.



FOTO 8.1 DAÑOS EN FACHADA DE VIVIENDAS, DETERIORO DE LA ESTRUCTURA



FOTO 8.2 PROBLEMAS DE HUMEDAD EN LAS VIVIENDAS



FOTO 8.3 PREDIOS CON DETERIORO EN FACHADAS Y POSIBLES DAÑOS ESTRUCTURALES



FOTO 8.4 DETERIORO DE SENDEROS PEATONALES



FOTO 8.5 AGRIETAMIENTO DE MUROS



FOTO 8.6 AGRIETAMIENTO EN MUROS PARTE DE LA ESTRUCTURA DE LA VIVIENDA

TABLA 8.8 EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD Y RIESGO ACTUAL

MITIGACIÓN: PLANTEAMIENTO DE ALTERNATIVAS

9.1 INTRODUCCIÓN

Uno de los más importantes frutos 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 pueda mitigar, conservar, controlar o sustraer los niveles de amenaza; es decir, disminuir la influencia de los agentes detonantes y contribuyentes (ante todo la del agua subsuperficial), o modificar los escenarios expuestos. Ergo, su estructuración es en lato sensu secuencial. Así a lo largo del desarrollo de los temas precedentes, algunas alternativas son bosquejadas (o idealizadas), con capacidad para 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 respuesta esperada actual y futura, para los diferentes espacios 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 escenarios. Ahora bien, como la condición prevalente de amenaza en el corto y en largo plazo (i.e. a 50 años) exhibe dos contextos contrastes, el primero regido por probabilidades condicionales bajas, interrumpidas por generosos, pero restringidos, espacios distribuidos en la vertiente norte, en los que ascienden a media, gracias a la participación del deslizamiento principal y de flujos locales de tierra; y el segundo para el que los antaño medios pasan a ser altos y los medios abarcan casi la totalidad de las superficies libres restantes, es imperativo incorporar diferentes programas de intervención para evitar que los niveles de riesgo se incrementen sustancialmente.

La función principal de las medidas es reducir, al menor costo, los niveles (y las exigencias) 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, económica y social, de las entidades que tienen injerencia activa y continua en los temas de habitabilidad y seguridad en el Distrito: entre ellas la Secretaría Distrital de Ambiente, el IDIGER, el IDRD, El Acueducto y el IDU.

Pero su aplicabilidad más allá de los costos de inversión y de su beneficio (técnico) como mitigador de los estados de amenaza o de vulnerabilidad, en otras palabras como agente estabilizador de las masas inestables o como mecanismo protector de la infraestructura y por consiguiente como opción 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

IDIGER	CONSORCIO SANTA ROSA	GIA-085-18		INFORME FINAL - PÁG. 315	
VERSIÓN:	1			FECHA	18/10/18
ELABORÓ:	JVG, NFS, JALG	REVISÓ:	JALG5	APROBÓ:	JAM

del distrito?, son de uso público?, son de resguardo ambiental? Pormenores que ligados a un aspecto no menos importante: el grado de protección de la quebrada, 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, y con ella, incluso, la alternativa, a simple vista, óptima o de mayores réditos, desestimada o revaluada. Temas que se abordan al final de este capítulo.

9.2 ALTERNATIVAS

Al amparo del cumplimiento de los propósitos (y por ende de los capítulos) fijados, se han delineado (y estudiado) las variables detonantes o condicionantes que alteran desfavorablemente las condiciones de amenaza, y se ha idealizado el escenario actual y la evolución 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 se enuncian en lo que sigue.

9.2.1 ALTERNATIVA 1: REASENTAMIENTO (PARCIAL)

Excluye cualquier tipo de labor de mitigación, de control o de estabilización, que mejore la respuesta mecánica de las laderas y atenúe su evolución morfodinámica. Pretende, en su lugar, la sustracción de los más altos estadios de vulnerabilidad y de riesgo actual y futuro (o de amenaza a 50 años); cometido satisfecho con la relocalización permanente de 102 predios, algunos posiblemente incluidos en el proceso de reasentamiento dictado en la sentencia 25000-23-27-0002001-00029-01, del 18 de octubre de 2007, de la Sala de lo Contencioso Administrativo, Sección Tercera, del Consejo de Estado (premisa que no es posible cotejar pues no hay información disponible del programa de reasentamiento del Idiger), y otros contemplados por su nivel de riesgo futuro. Del primer grupo hacen parte los predios 09 a 13 de la manzana 63; 54 a 56, del bloque 64; y el segundo conjunto está compuesto por las propiedades 34 a 64 de la manzana 78; 27 a 45, 47 y 50 del bloque 71 y 32 a 62 de la manzana 63. Es en medida alguna un programa discrecional (pero muy básico) de ajuste urbanístico, puesto que también encierra el perfilado de las masas movidas y de algunos de los cuerpos potencialmente críticos y la adecuación de parte de los terrenos. Su desarrollo, idealizado esencialmente en etapas, está formulado para entre dos 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 esquematizado en la [Figura 9.1](#).

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, de manera tal que por una parte se impida se conviertan en focos de inseguridad, en los que se propicien actividades delictivas, y que por otra parte se evite la reaparición de la problemática; y en segunda instancia engrosaran los cinturones verdes y se dotarán de equipamiento, p.e. peatonales, silletas o bancas e iluminación.

9.2.2 ALTERNATIVA 2: DRENAJE Y SUBDRENAJE

Se enfoca en el manejo del principal agente detonante: el agua, y de sus secuelas más relevantes, el aumento en la cabeza piezométrica, la tasa de degradación (o el reblandecimiento) del material, la

tubificación, la meteorización y el deterioro de las edificaciones, y en la reconfiguración o el confinamiento de dos de las masas antrópicas con mayor capacidad de daño. Encargos que implican tanto la captación y el transporte de las aguas superficiales y sub superficiales a lo largo de las plataformas de evacuación de la ciudadela, es decir a través de las Carreras 18 Este, 17A Este, 17 Este y 16A Este; horizontes inmersos en las zonas homogéneas LDIU-I-1, LDIU-II-1 y DCP-II-1, y de los cuerpos de deslizamiento (los del norte, en las manzanas 71 y 78, y del noroeste), a fin de reducir la tasa de degradación y la presurización de los rellenos antrópicos de reconfiguración (el Qra1), de los depósitos de deslizamiento (el Qdd1) y de los residuales (Tpb-L-sr), susceptibles de moverse; como la descarga del más amplio frente activo de movilización, el DT-001 (o FT-001), y la mejora en el confinamiento de las superficies libres en el parque.

Todo lo anterior satisfecho a través de la instalación de tres baterías de subdrenes horizontales de penetración, de 2" de diámetro y de entre 25 m y 30 m de longitud cada uno, tendidos con ángulos cercanos a los 5° con respecto a la horizontal; de una red de trincheras drenantes rectangulares de 1.50 m de ancho y hasta tres metros de profundidad, dotadas de cunetas trapezoidales de concreto, de 0.30 m de base, y de descoles en concreto, responsables de captar y conducir las aguas (de infiltración y de escorrentía) hasta la quebrada; de la limpieza y rehabilitación de la red de alcantarillado y de las obras de canalización de la quebrada El Toche; del realce del muro en la unidad de juegos; y del perfilado de la masa del deslizamiento principal. Conjunto que descarga en la red principal de alcantarillado pluvial de los barrios y en el cauce de la quebrada, y que es abocetado espacialmente en la [Figura 9.2](#) y detallado en la [Figura 9.3](#) y en la [Figura 9.4](#).

9.2.3 ALTERNATIVA 3: CONFINAMIENTO Y SUBDRENAJE

Apunta a la contención de los potenciales deslizamientos o por lo menos a la mitigación de sus efectos, a la intersección (o interceptación) de las superficies de deslizamiento (fijadas cerca al contacto suelo-macizo alterado o depósito-roca), a la reducción de los empujes activos de las masas inestables y al confinamiento de las masas que configuran las superficies libres más pronunciadas y con mayores restricciones espaciales (en lo que a la implantación de las medidas de mitigación se refiere); para ello se recurre a sistemas de estabilización pasivos y externos, a la reconfiguración morfológica y al drenaje y subdrenaje. Unos en cabeza ya sea de pantallas de pilotes en concreto, con diámetros de 0.30 m y 0.50 m., y longitudes de 10 m., y 14m., rematadas con vigas de coronación, o de micropilotes, y la reconfiguración de los espacios en los que la reducción del espesor de los cuaternarios, es más apropiado que las pantallas ancladas, instaladas al occidente de las manzanas 79, 80 y 81, en el cinturón verde y en las amplias exposiciones del cuaternario, regentes de la unidad LDIU-II-1 (véase el [Plano 6](#)). Otra confiada a cortes con buzamientos de 1.5H:1.0V, 1H:1V, y 2.5H:1.0V, y bermas de hasta 3.0 metros de ancho, protegidos con cespedones, y otro a cargo de trincheras drenantes (o filtros) de hasta tres metros de profundidad y de cunetas rectangulares, elementos y estructuras extraídas de la alternativa 2 y descritas en el numeral 8.2.2. Variedad pormenorizada en la [Figura 9.5](#), [Figura 9.6](#) y en la [Figura 9.7](#).

9.2.4 ALTERNATIVA 4: REFORZAMIENTO Y SUBDRENAJE

Apunta al incremento de la resistencia al corte de las masas de suelo, a la captación del agua subsuperficial, y a la reducción de la cabeza de presión y de los potenciales deslizamientos y del deslizamiento principal, o por lo menos a la mitigación de sus efectos; lo que indefectiblemente recae en limitar las probabilidades condicionales (i.e. la amenaza) y los escenarios de riesgo. Encomiendas otorgadas a los anclajes (activos por naturaleza), para los medios en las laderas norte, a las subdrenes (o trincheras drenantes) y a las

cunetas, en lo que respecta a las faldas al interior y al oriente de la ciudadela, y a la reconfiguración morfológica de la masa deslizada gestada en la margen derecha de la quebrada y al nororiente de la Ciudadela.

Los anclajes se concentran en las laderas y en las expresiones morfológicas atendidas por las pantallas de pilotes. Intentan, con la inclusión de la lechada como ligante, aglutinar los fragmentos de roca, sellar las fracturas y las diaclasas, y mejorar el empaquetamiento, y en medida alguna la estructura, de los depósitos. Consta de cincuenta (50) unidades de 10 ton de capacidad individual y veinticinco (25) metros de profundidad, distribuidos uniformemente, instalados en perforaciones, de entre 3" y 4" de diámetro, y armados con varillas o torones de una pulgada de diámetro, ligadas al macizo entre 6 y 10 metros, con concreto fluido de 30 Mpa y a la cara de los taludes con dados en concreto de 0.40 m de lado, que a su vez recaen en una pantalla de 0.30 m de espesor y 40 Mpa. Su radio de acción se espera alcance los cinco (5) metros.

El subdrenaje y el drenaje comparten, al igual que en la alternativa 2, las mismas finalidades, configuración, estructura y arreglo geométrico. En concordancia congrega la red de trincheras drenantes de hasta tres metros de profundidad, dotadas de cunetas trapezoidales de concreto, tendidas al interior y en la periferia a la ciudadela, en otras palabras a lo largo de las Carreras 18 Este, 17A Este, 17 Este y 16A Este, en el cuerpo del deslizamiento principal (la región DCP-II-1). Alternativa que se encuentra plasmada en la [Figura 9.8](#) y los detalles en la [Figura 9.9](#) y en la [Figura 9.10](#).

9.3 AMENAZA Y RIESGO FUTUROS (AMENAZA Y RIESGO CON OBRAS)

Las condiciones de amenaza futura (sin obras) oscilantes entre baja y alta, pero con preponderancia entre media y alta, son el reflejo de las particulares condiciones topográficas, estructurales, estratigráficas y de uso del suelo. Las laderas, reconfiguradas en antiguos frentes de explotación y en territorios aparentemente protegidos (declarados así en el POT, 2015) en los que se intervino y desplazo el afluente principal (el de la quebrada Los Toches) y se borraron gran parte de los drenajes secundarios, que aún hoy mantienen su accionar silencio bajo las edificaciones de la ciudadela, están labradas en masas irregulares de suelos residuales, de rellenos, de entre dos y diez metros de espesor, y de dispersos coluviales (antiguos o recientes, estos últimos rotulados como deslizamientos recientes), son fuente de múltiples procesos de inestabilidad y del accionar del flujo subsuperficial, provenientes no sólo de las aguas de infiltración sino de las daños y deficiencias del sistema de alcantarillado sanitario, de la inexistencia (parcial) del de aguas lluvias, o de conexiones erradas.

Masas dispuestas sobre potentes bancos de lodolitas y arcillolitas, de más de 50 m de espesor, relacionados con la formación Bogotá (Tpb-L), forjadores de taludes con pendientes desde los 13 hasta los 60 grados (pero en espacios locales), con alguna consonancia geométrica con el patrón estructural sólo en el flanco occidental, insuficiente para dar lugar a predisposición cinemática alguna. El escaso sistema de transporte del agua, la desaparición del drenaje natural, las fugas de agua y los aportes de las redes formales o clandestinas, son otros de los componentes que repercuten ampliamente en el nivel de riesgo.

Al amparo de esta perspectiva, la abstracción de la probabilidad de falla implica la ponderación de los factores de seguridad en las secciones de análisis y en las zonas homogéneas (definidas y marcadas en los [Planos 4, 4A, 4B y 6](#)) con la incorporación de la medida correctiva, tanto para los parámetros de resistencia y las variables ambientales esperadas (la cabeza de presión y el sismo) como para los extremos probables. Senda

FIGURA 9.1 ALTERNATIVA 1: REASENTAMIENTO PARCIAL

FIGURA 9.2 ALTERNATIVA 2: DRENAJE Y SUBDRENAJE

FIGURA 9.3 DETALLES DE LA ALTERNATIVA 2: DRENAJE Y SUBDRENAJE

FIGURA 9.4 DETALLES DE LA ALTERNATIVA 2: DRENAJE Y SUBDRENAJE

FIGURA 9.5 ALTERNATIVA 3: CONTENCIÓN Y SUBDRENAJE

FIGURA 9.6 DETALLES DE LA ALTERNATIVA 3: CONTENCIÓN Y SUBDRENAJE

FIGURA 9.7 DETALLES DE LA ALTERNATIVA 3: CONTENCIÓN Y SUBDRENAJE

FIGURA 9.8 ALTERNATIVA 4: REFORZAMIENTO Y SUBDRENAJE

FIGURA 9.9 DETALLES DE LA ALTERNATIVA 4: REFORZAMIENTO Y SUBDRENAJE

FIGURA 9.10 DETALLES DE LA ALTERNATIVA 4: REFORZAMIENTO Y SUBDRENAJE

atendida acorde con lo referido en el Capítulo 7. Pero con una salvedad. Los parámetros geomecánicos, indistinto de la región homogénea, de la alternativa de mitigación y de sus beneficios directos, en especial los provenientes del subdrenaje, que implican una mejora en la resistencia al corte, fruto del incremento de la succión y de la disminución de la carga hidráulica y de la humedad, se asumen invariables; en otras palabras se preservan en el tiempo (singularidad que se traduce en afirmar los del tratamiento sin obras de mitigación).

Las contribuciones de las estructuras de contención (p.e. las pantallas de pilotes o los micropilotes), se fijan, exclusivamente, en función de la resistencia al corte básica disponible del elemento, en especial la del concreto simple (postura algo conservadora pero justificada), de la separación de los elementos (definida como máximo en tres veces el diámetro, de manera tal que se favorezca el efecto de arco y coarte las fuerzas activas que promueven el flujo del suelo entre los individuos) y, en medida alguna, de su longitud, deducida a fe de garantizar el empotramiento bajo la franja de superficies de mínimo factor de seguridad.

Análogamente, la incorporación y los beneficios de los anclajes recaen en tres aspectos: la longitud del ancla, la resistencia a la tensión, la separación e inclinación, y el bulbo. La primera se infiere de manera que el bulbo se emplace por detrás de las superficies, potenciales o activas, de deslizamiento (o las de menor factor de seguridad) y en cualquier caso descansa en la secuencia rocosa, su propósito es garantizar el mejor comportamiento de la unidad durante el tensionamiento. La segunda y la tercera, la tensión y la separación, se infieren de un proceso iterativo en el que el factor de seguridad es la variable discriminante, que busca el estadio más seguro para el arreglo óptimo, pero partiendo de una inclinación próxima a los 20° con respecto a la horizontal, de manera que se tenga el mejor desempeño (Suárez, 2009); si la tensión excede los 200 kN, se reduce la separación entre los anclajes, la que en su punto de partida se fija en 3 m. Y la longitud del bulbo se abstrae de la expresión de Littlejohn y Bruce (1975, citado por Suárez, 2009), y en función de la resistencia a la compresión simple de la roca, aun que su punto de partida se marca en 10 m.

En gracia de estas consideraciones y bajo el marco teórico acotado, sin perder de vista el enfoque 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, el drenaje y el subdrenaje, el confinamiento y el subdrenaje, y el reforzamiento y el drenaje, respectivamente.

El reasentamiento Parcial (rotulada bajo el apelativo de Alternativa 1) como sintetizan la convivencia con el problema, preserva los focos y los mecanismos de deslizamiento, los modelos de análisis y las probabilidades condicionales estudiados y obtenidos (o deducidos) para el escenario sin obras. En resumen revive el análisis de amenaza plasmado en el capítulo 7, en el Plano 9 y en la Figura 7.31, y lo mantienen vigente, siempre y cuando se desprecien pequeñas diferencias que emergen en la distancia de viaje de las masas potencialmente inestables. Diferencias explicadas toda vez que se reasienten las familias con el mayor índice de riesgo y que se configuren algunos perfilados, decisión ineludible puesto que la vida es inalienable, y se demuelan las edificaciones.

La esencia de parte de estas medidas (por lo menos de tres de ellas) es atender la amenaza más que la vulnerabilidad de los elementos expuestos (en especial la de las viviendas), y de paso mitigar el riesgo. Pretensión saldada al plantear sistemas redundantes de estabilización o mitigación. En este contexto, para el estudio de la efectividad de las alternativas de mitigación, se utilizan las mismas secciones de la evaluación de amenaza actual, incluidos los elementos estructurales de contención, las obras de subdrenaje y las adecuaciones geométricas o re conformaciones proyectadas, es decir se emplean las secciones 1-1' a 8-8' (instrumentos puntualizados en el Plano 4A y en el Plano 4B, en la Figura 9.3, en la Figura 9.4, en la Figura 9.6, en la Figura 9.7, en la Figura 9.9, en la Figura 9.10 y en el Anexo I.

El drenaje y subdrenaje fundado en la instalación de múltiples baterías de subdrenes horizontales y de trincheras (o filtros) de hasta 2.5 m de profundidad y de una red de cunetas, garantiza estadios operativos medianamente seguros. La probabilidad condicional, cualquiera sea la zona homogénea, divaga del 0.03% al 17.3% (véase la [Tabla 9.1](#), 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, S6 y S8, superficies Sta_S1_5R_A2, Sta_2-2_1R_A2, Sta_2-2_2R_A2, Sta_S6_1R_A2, Sta_S6_2R_A2, Sta_S8_1R_A2 y Sta_S8_2R_A2, respectivamente, los factores de seguridad se posicionan entre el 2.66 y 1.04 (como lo ratifica la [Tabla 9.1](#) y la [Tabla 9.3](#)), en ausencia de cualquier agente exógeno; la activación tendría lugar bajo la participación del sismo o de la presurización (el agua), sí y sólo sí opere uno de 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 1.4% y el 43.5%, si el escenario temporal de análisis toca los 50 años. Las superficies Sta_S1_1Rc, Sta_S1_2Rc, Sta_S2_1Rc, Sta_S2_3Rc, Sta_S6_1Rc, Sta_S6_2Rc, Sta_S8_1Rc, y Sta_S8_2Rc exhiben las respuestas más anómalas; su probabilidad condicional supera el 18.8% (según se expresa en la [Tabla 9.1](#), 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, por una parte, para garantizar la viabilidad de la Etapa II del Conjunto Residencial, o de cualquier proyecto de renovación urbanístico, excepto tal vez el de un parque, pero de recreación pasiva (contexto sintetizado en la [Figura 9.2](#)), y por otra parte, para promover el deterioro de las edificaciones hoy asentadas. 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 o muy efectivos de subdrenaje y drenaje (simbolizados por rus de entre 0.11 y 0.17, para los escenarios normal y extremo, respectivamente): panorama transcrito en el [Anexo 1.2](#); las posibilidades de movilización en ningún caso supera el 5.3% y el 15.5%, 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.

En este orden de ideas, las superficies libres 7-7' y 8-8' toda vez que la eficiencia de los sistemas de subdrenaje sean medianamente eficientes, en otras palabras mientras mantengan para el escenario extremo la cabeza piezométrica cerca de los umbrales operativos normales, dan lugar a estadios de amenaza medios. Predicción que hace necesaria, como medida redundante, la inclusión de drenes horizontales, en arreglos similares a los de la alternativa 1, y extrapolarlos, por la similitud en el ámbito geotécnico, a las secciones 4-4', 5-5' y 6-6'.

Direccionamiento que adquiere mayor validez a la luz del diagnóstico forjado por la comunidad. Los pobladores afirman que durante los periodos invernales el ascenso del nivel de agua es patente y que sus emanaciones en las caras orientales de las viviendas (fundadas bajo la rasante) son recurrentes. Para mitigar la propagación del problema y evitar el convivir con él, la profundidad de las trincheras debe ser tal que abata la línea piezométrica, al menos, hasta el nivel de cimentación de las unidades habitacionales. Requerimiento que obliga a que la base de las trincheras repose, mínimo, 1.5 m bajo las terrazas de conformación de las manzanas.

El confinamiento y el subdrenaje, entendida como el retiro de parte del cuaternario (en el cuerpo del deslizamiento principal) y la participación de las pantallas con pilotes o con pilas, o los micropilotes, elementos sustantivos para el confinamiento de los rellenos, se traduce en una significativa mejoría en la estabilidad, en

especial en los sectores LDIU-I-3, DCP-II-1, LDIU-I-1 y LDIU-II-1. Las posibilidades de movilización de los rellenos descienden desde el 64% (sección 1-1', 2-2' y 6-6', véase la [Tablas 6.19](#), la [Tabla 6.20](#) y la [Tabla 6.21](#)) hasta niveles por debajo del 2% (topes evidenciados por las superficies críticas: Sta_S6_1R, y refrendados en la [Tabla 9.4](#) y en la [Tabla 9.5](#)), en otras palabras la amenaza trasiega desde alta hasta baja y media para 10 años y 50 años, correspondientemente (tesis abreviada en el [Plano 10](#)). Los deslizamientos tendrían cabida en las instancias más adversas, es decir, si participan los dos agentes exógenos extremos, y los coeficientes efectivos de resistencia mínima al mismo tiempo, tal y como lo sugiere la [Tabla 9.4](#) y la [Tabla 9.5](#). El comportamiento esperado en condiciones de trabajo normales (i.e presurización mínima) es siempre satisfactoria, las esperanzas del factor de seguridad oscilan entre 0.86 y 2.34.

El reforzamiento con anclajes pasivos, es sin lugar a dudas una de las medidas más generosa de estabilización. Su éxito está representado con probabilidades condicionales hoy día (esto es a 10 años) entre el 0.1% y el 3.9% (véase la [Tabla 9.6](#) y la [Tabla 9.7](#)), si se entrelazan con el subdrenaje, o hasta 8.8%, si sólo tiene cabida la despresurización. Los mayores inconvenientes se ciñen en la ladera S5, S6, S8 (unidad LDIU-II-1 del [Plano 6](#)), su activación, simbolizada por las masas potenciales Sta_S5_1R_A4, Sta_S6_2R_A4, Sta_S6_5R_A4, Sta_S7_1R_A4 y Sta_S8_1R_A4 (señaladas en la [Tabla 9.7](#)), acaecería bajo la participación del sismo (máximo) o con participación de los dos agentes exógenos (la presurización 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 1.11 y 5.4 ([Tabla 9.6](#) y [Tabla 9.7](#)) en ausencia de cualquier agente exógeno o si actúa sólo la lluvia; la detonación se forja 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 17%, si el escenario temporal de análisis toca los 50 años (según se expresa en la [Tabla 9.6](#) y en la [Tabla 9.7](#)), sin embargo los cuerpos potencialmente móviles poco comprometen el entorno general y la permanencia de las viviendas y de la ciudadela.

Por lo tanto y en concordancia con los pronósticos puntualizados, la alternativa 3, apunta desde ya, si el enfoque se circunscribe no sólo en el manejo de los procesos de inestabilidad, potenciales o activos, sino en la despresurización del cuaternario y en el manejo del flujo subsuperficial, a ser la más favorable (i.e. la viable) técnicamente, pero recibe un fuerte contrapeso del reforzamiento (la 4), si el horizonte de trabajo y el tratamiento se amplían hasta los cincuenta años y al riesgo holístico; sus rentas en las probabilidades condicionales, cercanas a las del confinamiento y el subdrenaje, en la vulnerabilidad institucional y social son innegables. Calificativo realizado en medida y proporción en que el destino final de uso de las manzanas ocupadas por buena parte de las estructuras, recaiga en el (urbano o rural) de protección. Su selección como la propuesta recomendada es función unívoca de su beneficio económico frente a las demás alternativas. Tema que se trata en adelante.

9.4 DECISIÓN BAJO INCERTIDUMBRE: COMPARACIÓN DE ALTERNATIVAS

La toma de decisiones asertivas es el propósito último del análisis de riesgo (Sánchez, 2005). Éste es la herramienta que proporciona la información necesaria. Pero su determinación (y su discernimiento) involucra aspectos de distinto índole y es un problema difícil puesto que su naturaleza es compleja, máxime por la dificultad en el manejo de la incertidumbre. En este contexto, el objetivo esencial de una estrategia de decisión es desarrollar un procedimiento sistemático para mejorar la calidad de los resultados (Sánchez, 2005). Múltiples son las herramientas a disposición para tal fin, los modelos costo/beneficio, beneficio/pérdida, oportunidad/riesgo, y los criterios minimax y maximax, son algunas de ellas.

TABLA 9.1 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LAS PROBABILIDADES CONDICIONALES DE FALLA: ALTERNATIVA 2, DRENAJE Y SUBDRENAJE

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL												
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS												
				1-1'	1-1'	1-1'	1-1'	1-1'	1-1'	1-1'	1-1'	2-2'	2-2'	2-2'	3-3'	3-3'
Superficie de Falla				Sta. S1_1R_A2	Sta. S1_2R_A2	Sta. S1_3R_A2	Sta. S1_4R_A2	Sta. S1_5R_A2	Sta. S1_6R_A2	Sta. S1_7R_A2	Sta. S2_1R_A2	Sta. S2_3R_A2	Sta. S2_4R_A2	Sta. S3_1R_A2	Sta. S3_2R_A2	
Fricción	Cohesión (T/m ²)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.		
φ _{max}	C _{max}	Sin	Sin	1,656	1,858	1,862	3,140	2,664	3,189	3,674	1,748	1,801	2,283	2,615	3,188	
φ _{min}	C _{max}	Sin	Sin	1,522	1,592	1,661	2,450	2,268	2,444	2,768	1,309	1,362	1,723	2,380	2,925	
φ _{max}	C _{min}	Sin	Sin	1,456	1,511	1,594	2,730	1,552	2,367	2,843	1,560	1,591	2,022	2,158	2,192	
φ _{min}	C _{min}	Sin	Sin	1,312	1,239	1,386	1,680	1,159	1,623	1,937	1,121	1,152	1,462	1,917	1,917	
φ _{max}	C _{max}	Sin	Con	1,011	1,119	1,062	1,700	1,875	1,756	1,724	0,918	0,950	1,104	1,725	2,033	
φ _{min}	C _{max}	Sin	Con	0,945	0,977	0,964	1,350	1,626	1,367	1,319	0,698	0,730	0,844	1,582	1,897	
φ _{max}	C _{min}	Sin	Con	0,883	0,892	0,898	1,250	1,035	1,264	1,299	0,808	0,825	0,965	1,398	1,365	
φ _{min}	C _{min}	Sin	Con	0,808	0,742	0,792	0,900	0,790	0,876	0,894	0,587	0,605	0,705	1,248	1,215	
φ _{max}	C _{max}	Con	Sin	1,256	1,447	1,440	2,621	2,320	2,614	2,980	1,347	1,401	1,787	2,308	2,830	
φ _{min}	C _{max}	Con	Sin	1,180	1,275	1,312	2,124	2,051	2,083	2,331	1,043	1,097	1,394	2,148	2,663	
φ _{max}	C _{min}	Con	Sin	1,066	1,106	1,177	1,855	1,209	1,791	2,148	1,160	1,191	1,526	1,849	1,841	
φ _{min}	C _{min}	Con	Sin	0,976	0,927	1,040	1,358	0,944	1,261	1,500	0,856	0,887	1,133	1,682	1,657	
φ _{max}	C _{max}	Con	Con	0,741	0,843	0,793	1,397	1,617	1,414	1,370	0,682	0,713	0,838	1,508	1,786	
φ _{min}	C _{max}	Con	Con	0,712	0,763	0,740	1,159	1,463	1,152	1,096	0,541	0,573	0,667	1,419	1,715	
φ _{max}	C _{min}	Con	Con	0,624	0,622	0,634	0,950	0,781	0,924	0,945	0,570	0,588	0,699	1,178	1,129	
φ _{min}	C _{min}	Con	Con	0,582	0,533	0,575	0,711	0,630	0,662	0,671	0,430	0,449	0,528	1,083	1,039	
	R _{umax}			0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	
	R _{umin}			0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	
Material				Qra1	Qra1	Qra1	Qra1	Qra1	Qra1	Qra1	Qdd	Qdd	Qdd	Qra2	Qra1	
Sismo (g)				0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	
Valores paramétricos empleados en cada sección	φ _{max}			28,81	28,81	28,81	28,81	28,81	28,81	28,81	22,98	22,98	22,98	22,98	28,81	
	φ _{min}			19,06	19,06	19,06	19,06	19,06	19,06	19,06	15,70	15,70	15,70	15,70	19,06	
	C _{max} (Kn/m ²)			26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	15,00	15,00	15,00	15,00	26,00	
	C _{min} (Kn/m ²)			8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,70	8,70	8,70	8,70	8,00	
Probabilidad de falla (P _f) a 1 año Método PEM				N	0,58%	1,15%	0,32%	0,26%	6,08%	0,56%	0,18%	4,15%	3,07%	0,42%	0,00%	0,14%
Probabilidad de falla (P _f) a 10 años Método PEM				N	5,25%	6,18%	3,02%	0,93%	8,17%	1,47%	0,78%	11,70%	9,25%	2,44%	0,03%	0,36%
Probabilidad de falla (P _f) a 25 años Método PEM				N	11,40%	12,82%	7,10%	2,25%	10,88%	3,08%	2,09%	20,88%	16,96%	5,79%	0,12%	0,76%
Probabilidad de falla (P _f) a 50 años Método PEM				N	18,80%	20,75%	12,98%	4,54%	13,96%	5,69%	4,57%	30,49%	25,45%	11,12%	0,33%	1,38%

TABLA 9.2 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LAS PROBABILIDADES CONDICIONALES DE FALLA: ALTERNATIVA 2, DRENAJE Y SUBDRENAJE (CONTINUACIÓN)

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL												
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS												
				3-3'	3-3'	4-4'	4-4'	4-4'	4-4'	5-5'	5-5'	5-5'	6-6'	6-6'	6-6'	
Sección				Sta_S3_3R_A2	Sta_S3_4R_A2	Sta_S4_1R_A2	Sta_S4_2R_A2	Sta_S4_3R_A2	Sta_S4_4R_A2	Sta_S5_1R_A2	Sta_S5_2R_A2	Sta_S5_3R_A2	Sta_S6_1R_A2	Sta_S6_2R_A2	Sta_S6_3R_A2	
Superficie de Falla				Sta_S3_3R_A2	Sta_S3_4R_A2	Sta_S4_1R_A2	Sta_S4_2R_A2	Sta_S4_3R_A2	Sta_S4_4R_A2	Sta_S5_1R_A2	Sta_S5_2R_A2	Sta_S5_3R_A2	Sta_S6_1R_A2	Sta_S6_2R_A2	Sta_S6_3R_A2	
Fricción	Cohesión (Tn/m ²)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	
φ _{max}	C _{max}	Sin	Sin	4,374	5,325	2,265	2,801	3,778	2,244	2,647	2,530	2,833	1,498	1,538	2,262	
φ _{min}	C _{max}	Sin	Sin	3,891	4,489	2,060	2,449	3,068	2,065	1,983	1,877	2,188	1,244	1,285	2,087	
φ _{max}	C _{min}	Sin	Sin	2,785	3,222	2,000	2,172	2,704	1,851	2,050	2,007	2,075	1,296	1,343	2,105	
φ _{min}	C _{min}	Sin	Sin	2,296	2,385	1,792	1,815	1,992	1,658	1,387	1,352	1,429	1,039	1,087	1,928	
φ _{max}	C _{max}	Sin	Con	2,473	2,779	1,348	1,532	1,898	1,302	1,461	1,427	1,557	1,010	0,990	1,311	
φ _{min}	C _{max}	Sin	Con	2,234	2,374	1,227	1,364	1,566	1,395	1,113	1,056	1,224	0,846	0,834	1,215	
φ _{max}	C _{min}	Sin	Con	1,529	1,622	1,172	1,164	1,318	1,140	1,098	1,135	1,100	0,857	0,848	1,211	
φ _{min}	C _{min}	Sin	Con	1,282	1,218	1,049	0,991	1,094	1,034	0,750	0,721	0,767	0,690	0,689	1,112	
φ _{max}	C _{max}	Con	Sin	3,897	4,735	1,909	2,356	3,195	1,876	2,134	2,018	2,303	1,202	1,240	1,910	
φ _{min}	C _{max}	Con	Sin	3,565	4,117	1,762	2,119	2,686	1,764	1,661	1,554	1,854	1,028	1,066	1,787	
φ _{max}	C _{min}	Con	Sin	2,311	2,631	1,641	1,731	2,122	1,490	1,537	1,492	1,546	0,999	1,044	1,752	
φ _{min}	C _{min}	Con	Sin	1,971	2,014	1,492	1,487	1,610	1,361	1,064	1,028	1,096	0,822	0,866	1,626	
φ _{max}	C _{max}	Con	Con	2,187	2,454	1,120	1,266	1,581	1,145	1,151	1,067	1,236	0,795	0,781	1,089	
φ _{min}	C _{max}	Con	Con	2,037	2,170	1,037	1,166	1,358	1,098	0,918	0,843	1,022	0,688	0,680	1,025	
φ _{max}	C _{min}	Con	Con	1,246	1,297	0,942	0,905	1,002	0,900	0,788	0,751	0,783	0,640	0,637	0,989	
φ _{min}	C _{min}	Con	Con	1,087	1,013	0,857	0,796	0,777	0,836	0,556	0,527	0,567	0,531	0,534	0,923	
	R _{max}			0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	
	R _{min}			0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	
Material				Qra1	Qra1	Qra2	Qra1	Qra1	Qra1	Qra1	Qra1	Qra1	Qra2	Qra2	Qra2	
Sismo (g)				0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	
Valores paramétricos empleados en cada sección	φ _{max}			28,81	28,81	22,98	28,81	28,81	28,81	28,81	28,81	28,81	22,98	22,98	22,98	
	φ _{min}			19,06	19,06	15,70	19,06	19,06	19,06	19,06	19,06	19,06	15,70	15,70	15,70	
	C _{max} (Kn/m ²)			26,00	26,00	15,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	15,00	15,00	15,00	
	C _{min} (Kn/m ²)			8,00	8,00	8,70	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,70	8,70	8,70	
Probabilidad de falla (Pf) a 1año Método PEM				N	0,25%	0,55%	0,01%	0,04%	0,18%	0,02%	1,17%	1,29%	1,18%	6,01%	3,45%	0,00%
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM				N	0,47%	0,87%	0,35%	0,46%	0,60%	0,41%	3,03%	3,41%	2,87%	17,33%	12,50%	0,26%
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM				N	0,84%	1,36%	1,58%	1,56%	1,46%	1,62%	6,06%	6,89%	5,58%	30,62%	23,35%	1,27%
Probabilidad de falla (Pf) a 50 años Método PEM				N	1,39%	2,04%	4,37%	3,78%	2,98%	4,27%	10,66%	12,18%	9,65%	43,48%	34,32%	3,60%

TABLA 9.3 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LAS PROBABILIDADES CONDICIONALES DE FALLA: ALTERNATIVA 2, DRENAJE Y SUBDRENAJE (CONTINUACIÓN)

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL											
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS											
				6-6'	6-6'	6-6'	7-7'	7-7'	7-7'	8-8'	8-8'	8-8'	8-8'		
Sección				6-6'	6-6'	6-6'	7-7'	7-7'	7-7'	8-8'	8-8'	8-8'	8-8'		
Superficie de Falla				Sta_S6_4R_A2	Sta_S6_5R_A2	Sta_S6_6R_A2	Sta_S7_1R_A2	Sta_S7_2R_A2	Sta_S7_3R_A2	Sta_S8_1R_A2	Sta_S8_2R_A2	Sta_S8_3R_A2	Sta_S8_4R_A2		
Fricción	Cohesión (Tn/m ²)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.		
Φ _{max}	C _{max}	Sin	Sin	1,774	1,445	1,444	2,659	2,840	3,260	2,355	2,284	2,768	3,181		
Φ _{min}	C _{max}	Sin	Sin	1,480	1,330	1,344	2,112	2,140	2,520	1,905	1,804	2,215	2,528		
Φ _{max}	C _{min}	Sin	Sin	1,495	1,301	1,320	1,833	2,179	2,380	1,566	1,598	2,030	2,194		
Φ _{min}	C _{min}	Sin	Sin	1,200	1,181	1,215	1,288	1,478	1,640	1,114	1,117	1,477	1,541		
Φ _{max}	C _{max}	Sin	Con	1,109	0,960	0,932	1,690	1,520	1,670	1,524	1,420	1,565	1,863		
Φ _{min}	C _{max}	Sin	Con	0,936	0,899	0,880	1,370	1,160	1,310	1,259	1,144	1,276	1,504		
Φ _{max}	C _{min}	Sin	Con	0,916	0,859	0,847	1,120	1,130	1,180	0,967	0,951	1,111	1,240		
Φ _{min}	C _{min}	Sin	Con	0,749	0,792	0,790	0,800	0,770	0,839	0,699	0,676	0,822	0,882		
Φ _{max}	C _{max}	Con	Sin	1,447	1,185	1,176	2,230	2,289	2,666	1,940	1,878	2,304	2,729		
Φ _{min}	C _{max}	Con	Sin	1,245	1,117	1,117	1,842	1,793	2,148	1,641	1,548	1,912	2,245		
Φ _{max}	C _{min}	Con	Sin	1,169	1,044	1,055	1,403	1,628	1,787	1,157	1,191	1,567	1,741		
Φ _{min}	C _{min}	Con	Sin	0,976	0,971	0,991	1,018	1,132	1,267	0,857	0,862	1,176	1,257		
Φ _{max}	C _{max}	Con	Con	0,903	0,770	0,741	1,401	1,195	1,367	1,231	1,141	1,277	1,578		
Φ _{min}	C _{max}	Con	Con	0,790	0,743	0,718	1,184	0,960	1,129	1,072	0,970	1,089	1,325		
Φ _{max}	C _{min}	Con	Con	0,709	0,672	0,659	0,832	0,808	0,868	0,681	0,673	0,827	0,955		
Φ _{min}	C _{min}	Con	Con	0,597	0,637	0,629	0,618	0,572	0,628	0,518	0,501	0,637	0,703		
	R _{max}			0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11		
	R _{min}			0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36		
Material				Qra2	Qdd	Qdd	Qra1	Qra1	Qra1	Qra1	Qra1	Qra1	Qra1		
Sismo (g)				0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22		
Valores paramétricos empleados en cada sección				Φ _{max}	22,98	22,98	22,98	28,81	28,81	28,81	28,81	28,81	28,81	28,81	
				Φ _{min}	15,70	15,70	15,70	19,06	19,06	19,06	19,06	19,06	19,06	19,06	19,06
				C _{max} (Kn/m ²)	15,00	15,00	15,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00
				C _{min} (Kn/m ²)	8,70	8,70	8,70	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método PEM				N	1,13%	0,71%	0,53%	2,43%	0,84%	0,59%	5,35%	4,78%	0,77%	1,03%	
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM				N	4,83%	6,17%	4,83%	4,33%	2,34%	1,63%	8,83%	8,42%	2,04%	1,93%	
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM				N	9,99%	13,10%	10,51%	7,03%	4,92%	3,45%	13,41%	13,30%	4,20%	3,36%	
Probabilidad de falla (Pf) a 50 años Método PEM				N	16,70%	21,03%	17,44%	10,54%	9,03%	6,37%	18,83%	19,22%	7,60%	5,46%	

TABLA 9.4 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LAS PROBABILIDADES CONDICIONALES DE FALLA: ALTERNATIVA 3, CONTENCIÓN Y SUBDRENAJE

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'	3-3'
Superficie de Falla				Sta_S1_1R_A3	Sta_S1_2R_A3	Sta_S1_5R_A3	Sta_S1_6R_A3	Sta_S1_7R_A3	Sta_S2_1R_A2	Sta_S2_3R_A2	Sta_S2_4R_A2	Sta_S3_1R_A2	Sta_S3_2R_A2	Sta_S3_3R_A2	Sta_S3_4R_A2	
Fricción	Cohesión (Tn/m ²)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	
φ _{max}	C _{max}	Sin	Sin	2,400	3,670	2,664	3,189	3,674	1,748	1,801	2,283	2,615	3,188	4,374	5,325	
φ _{min}	C _{max}	Sin	Sin	2,200	2,970	2,268	2,444	2,768	1,309	1,362	1,723	2,380	2,925	3,891	4,489	
φ _{max}	C _{min}	Sin	Sin	2,150	2,870	1,552	2,367	2,843	1,560	1,591	2,022	2,158	2,192	2,785	3,222	
φ _{min}	C _{min}	Sin	Sin	1,940	2,180	1,159	1,623	1,937	1,121	1,152	1,462	1,917	1,917	2,296	2,385	
φ _{max}	C _{max}	Sin	Con	1,380	2,000	1,875	1,756	1,724	0,918	0,950	1,104	1,725	2,033	2,473	2,779	
φ _{min}	C _{max}	Sin	Con	1,280	1,650	1,626	1,367	1,319	0,698	0,730	0,844	1,582	1,897	2,234	2,374	
φ _{max}	C _{min}	Sin	Con	1,230	1,540	1,035	1,264	1,299	0,808	0,825	0,965	1,398	1,365	1,529	1,622	
φ _{min}	C _{min}	Sin	Con	1,120	1,190	0,790	0,876	0,894	0,587	0,605	0,705	1,248	1,215	1,282	1,218	
φ _{max}	C _{max}	Con	Sin	2,000	3,150	2,320	2,614	2,980	1,347	1,401	1,787	2,308	2,830	3,897	4,735	
φ _{min}	C _{max}	Con	Sin	1,850	2,640	2,051	2,083	2,331	1,043	1,097	1,394	2,148	2,663	3,565	4,117	
φ _{max}	C _{min}	Con	Sin	1,740	2,350	1,209	1,791	2,148	1,160	1,191	1,526	1,849	1,841	2,311	2,631	
φ _{min}	C _{min}	Con	Sin	1,600	1,850	0,944	1,261	1,500	0,856	0,887	1,133	1,682	1,657	1,971	2,014	
φ _{max}	C _{max}	Con	Con	1,130	1,700	1,617	1,414	1,370	0,682	0,713	0,838	1,508	1,786	2,187	2,454	
φ _{min}	C _{max}	Con	Con	1,070	1,475	1,463	1,152	1,096	0,541	0,573	0,667	1,419	1,715	2,037	2,170	
φ _{max}	C _{min}	Con	Con	0,980	1,243	0,781	0,924	0,945	0,570	0,588	0,699	1,178	1,129	1,246	1,297	
φ _{min}	C _{min}	Con	Con	0,910	0,999	0,630	0,662	0,671	0,430	0,449	0,528	1,083	1,039	1,087	1,013	
	R _{max}			0,36	0,36	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	
	R _{min}			0,11	0,11	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	
Material				Ora1	Ora1	Ora1	Ora1	Ora1	Odd	Odd	Odd	Ora2	Ora1	Ora1	Ora1	
Sismo (g)				0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	
Valores paramétricos empleados en cada sección	φ _{max}			28,81	28,81	28,81	28,81	28,81	22,98	22,98	22,98	22,98	28,81	28,81	28,81	
	φ _{min}			19,06	19,06	19,06	19,06	19,06	15,70	15,70	15,70	15,70	19,06	19,06	19,06	
	C _{max} (Kn/m ²)			26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	15,00	15,00	15,00	15,00	26,00	26,00	26,00	
	C _{min} (Kn/m ²)			8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,70	8,70	8,70	8,70	8,00	8,00	8,00	
Probabilidad de falla (P _f) a 1 año Método PEM				N	0,00%	0,02%	6,08%	0,56%	0,18%	4,15%	3,07%	0,42%	0,00%	0,14%	0,25%	0,55%
Probabilidad de falla (P _f) a 10 años Método PEM				N	0,22%	0,11%	8,17%	1,47%	0,78%	11,70%	9,25%	2,44%	0,03%	0,36%	0,47%	0,87%
Probabilidad de falla (P _f) a 25 años Método PEM				N	1,10%	0,39%	10,88%	3,08%	2,09%	20,88%	16,96%	5,79%	0,12%	0,76%	0,84%	1,36%
Probabilidad de falla (P _f) a 50 años Método PEM				N	3,10%	0,99%	13,96%	5,69%	4,57%	30,49%	25,45%	11,12%	0,33%	1,38%	1,39%	2,04%

TABLA 9.5 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LAS PROBABILIDADES CONDICIONALES DE FALLA: ALTERNATIVA 3, CONTENCIÓN Y SUBDRENAJE (CONTINUACIÓN)

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL																								
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS																								
				4-4'		4-4'		5-5'		5-5'		5-5'		6-6'		6-6'		7-7'		7-7'		8-8'		8-8'		8-8'		
Sección				Sta_S4_1R_A3	Sta_S4_2R_A3	Sta5_1R_A3	Sta5_2R_A3	Sta5_3R_A3	Sta_S6_1R_A3	Sta_S6_2R_A3	Sta_S7_1R_A3	Sta_S7_2R_A3	Sta_S8_1R_A2	Sta_S8_2R_A2	Sta_S8_3R_A2													
Superficie de Falla				Sta_S4_1R_A3	Sta_S4_2R_A3	Sta5_1R_A3	Sta5_2R_A3	Sta5_3R_A3	Sta_S6_1R_A3	Sta_S6_2R_A3	Sta_S7_1R_A3	Sta_S7_2R_A3	Sta_S8_1R_A2	Sta_S8_2R_A2	Sta_S8_3R_A2													
Fricción	Cohesión (Tn/m ²)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.			
Φ _{max}	C _{max}	Sin	Sin	3,784	4,445	2,967	2,785	3,212	2,633	3,169	3,049	3,030	2,355	2,768	3,181													
Φ _{min}	C _{max}	Sin	Sin	3,416	3,706	2,252	2,207	2,458	2,371	2,994	2,274	2,297	1,905	2,215	2,528													
Φ _{max}	C _{min}	Sin	Sin	3,156	3,400	2,478	1,932	2,391	2,419	2,978	2,382	2,448	1,566	2,030	2,194													
Φ _{min}	C _{min}	Sin	Sin	2,783	2,660	1,601	1,355	1,638	2,157	2,802	1,607	1,715	1,114	1,477	1,541													
Φ _{max}	C _{max}	Sin	Con	2,131	2,245	1,618	1,699	1,741	1,759	1,950	1,614	1,589	1,524	1,565	1,863													
Φ _{min}	C _{max}	Sin	Con	1,948	1,899	1,272	1,370	1,353	1,597	1,850	1,220	1,225	1,259	1,276	1,504													
Φ _{max}	C _{min}	Sin	Con	1,766	1,689	1,355	1,135	1,259	1,609	1,827	1,229	1,258	0,967	1,111	1,240													
Φ _{min}	C _{min}	Sin	Con	1,578	1,342	0,881	0,807	0,871	1,446	1,726	0,836	0,893	0,699	0,822	0,882													
Φ _{max}	C _{max}	Con	Sin	3,355	3,862	2,255	2,348	2,676	2,346	2,848	2,495	2,484	1,940	2,304	2,729													
Φ _{min}	C _{max}	Con	Sin	3,099	3,326	1,791	1,933	2,122	2,162	2,724	1,926	1,954	1,641	1,912	2,245													
Φ _{max}	C _{min}	Con	Sin	2,731	2,820	1,746	1,495	1,855	2,133	2,658	1,829	1,903	1,157	1,567	1,741													
Φ _{min}	C _{min}	Con	Sin	2,468	2,281	1,283	1,080	1,301	1,947	2,533	1,259	1,373	0,857	1,176	1,257													
Φ _{max}	C _{max}	Con	Con	1,878	1,934	1,222	1,411	1,426	1,561	1,745	1,294	1,278	1,231	1,277	1,578													
Φ _{min}	C _{max}	Con	Con	1,761	1,696	0,996	1,189	1,155	1,453	1,679	1,019	1,029	1,072	1,089	1,325													
Φ _{max}	C _{min}	Con	Con	1,518	1,381	0,918	0,847	0,944	1,412	1,623	0,910	0,949	0,681	0,827	0,955													
Φ _{min}	C _{min}	Con	Con	1,394	1,140	0,692	0,626	0,673	1,302	1,555	0,635	0,699	0,518	0,637	0,703													
				R _{umax}	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11			
				R _{umin}	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36			
Material				Ora1	Ora1	Ora1	Ora1	Ora1	Ora2	Ora2	Ora1	Ora1	Ora1	Ora1	Ora1													
Sismo (g)				0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22													
Valores paramétricos empleados en cada sección				Φ _{max}	28,81	28,81	28,81	28,81	28,81	22,98	22,98	28,81	28,81	28,81	28,81	28,81												
				Φ _{min}	19,06	19,06	19,06	19,06	19,06	15,70	15,70	19,06	19,06	19,06	19,06	19,06	19,06											
				C _{max} (Kn/m ²)	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	15,00	15,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00										
				C _{min} (Kn/m ²)	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00										
Probabilidad de falla (Pf) a 1 año Método PEM				N	0,00%	0,00%	0,13%	1,85%	0,52%	0,00%	0,00%	0,48%	0,19%	5,35%	0,77%	1,03%												
Probabilidad de falla (Pf) a 10 años Método PEM				N	0,00%	0,04%	1,07%	4,05%	1,59%	0,00%	0,00%	1,72%	1,00%	8,83%	2,04%	1,93%												
Probabilidad de falla (Pf) a 25 años Método PEM				N	0,00%	0,15%	3,06%	6,72%	3,30%	0,00%	0,00%	3,81%	2,70%	13,41%	4,20%	3,36%												
Probabilidad de falla (Pf) a 50 años Método PEM				N	0,00%	0,34%	6,41%	9,81%	5,77%	0,00%	0,00%	7,00%	5,57%	18,83%	7,60%	5,46%												

TABLA 9.6 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LAS PROBABILIDADES CONDICIONALES DE FALLA: ALTERNATIVA 4, REFORZAMIENTO Y SUBDRENAJE

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'	3-3'	3-3'	4-4'
Superficie de Falla				Sta_S1_1R_C	Sta_S1_2R_C	Sta_S1_5R_A2	Sta_S1_6R_A2	Sta_S1_7R_A2	Sta_S2_1R_A2	Sta_S2_3R_A2	Sta_S2_4R_A2	Sta_S3_1R_C	Sta_S3_2R_C	Sta_S4_1R_A2	Sta_S4_2R_A2	
Fricción	Cohesion (Tn/m ²)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	
φ _{max}	C _{max}	Sin	Sin	4,044	2,228	2,664	3,189	3,674	1,748	1,801	2,283	12,598	8,683	2,265	2,801	
φ _{min}	C _{max}	Sin	Sin	3,190	1,916	2,288	2,444	2,768	1,309	1,362	1,723	11,040	7,963	2,060	2,449	
φ _{max}	C _{min}	Sin	Sin	2,958	1,794	1,552	2,367	2,843	1,560	1,591	2,022	8,358	6,159	2,000	2,172	
φ _{min}	C _{min}	Sin	Sin	2,104	1,474	1,159	1,623	1,937	1,121	1,152	1,462	6,804	5,445	1,792	1,815	
φ _{max}	C _{max}	Sin	Con	2,074	1,402	1,875	1,756	1,724	0,918	0,950	1,104	4,580	4,117	1,348	1,532	
φ _{min}	C _{max}	Sin	Con	1,659	1,229	1,626	1,367	1,319	0,698	0,730	0,844	4,074	3,835	1,227	1,364	
φ _{max}	C _{min}	Sin	Con	1,048	1,110	1,035	1,264	1,299	0,808	0,825	0,965	2,968	2,875	1,172	1,164	
φ _{min}	C _{min}	Sin	Con	1,063	0,929	0,790	0,876	0,894	0,587	0,605	0,705	2,456	2,577	1,049	0,991	
φ _{max}	C _{max}	Con	Sin	3,461	1,800	2,320	2,614	2,980	1,347	1,401	1,787	11,339	7,926	1,909	2,356	
φ _{min}	C _{max}	Con	Sin	2,822	1,597	2,051	2,083	2,331	1,043	1,097	1,394	10,192	7,402	1,762	2,119	
φ _{max}	C _{min}	Con	Sin	2,357	1,374	1,209	1,791	2,148	1,160	1,191	1,526	7,112	5,408	1,641	1,731	
φ _{min}	C _{min}	Con	Sin	1,735	1,161	0,944	1,261	1,500	0,856	0,887	1,133	5,955	4,866	1,492	1,487	
φ _{max}	C _{max}	Con	Con	1,753	1,106	1,617	1,414	1,370	0,682	0,713	0,838	4,100	3,737	1,120	1,266	
φ _{min}	C _{max}	Con	Con	1,457	1,007	1,463	1,152	1,096	0,541	0,573	0,667	3,748	3,543	1,037	1,166	
φ _{max}	C _{min}	Con	Con	1,158	0,824	0,781	0,924	0,945	0,570	0,588	0,699	2,493	2,502	0,942	0,905	
φ _{min}	C _{min}	Con	Con	0,861	0,714	0,630	0,662	0,671	0,430	0,449	0,528	2,132	2,288	0,857	0,796	
				R _{max}	0,36	0,36	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,36	0,11	0,11	
				R _{min}	0,11	0,11	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,11	0,11	0,36	0,36
Material				Qra1	Qra1	Qra1	Qra1	Qra1	Qdd	Qdd	Qdd	Qra1	Qra1	Qra2	Qra1	
Sismo (g)				0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	
Valores paramétricos empleados en cada sección				φ _{max}	28,81	28,81	28,81	28,81	28,81	22,98	22,98	22,98	28,81	28,81	22,98	28,81
				φ _{min}	19,06	19,06	19,06	19,06	19,06	15,70	15,70	15,70	19,06	19,06	15,70	19,06
				C _{max} (Kv/mf)	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	15,00	15,00	15,00	26,00	26,00	15,00	26,00
				C _{min} (Kv/mf)	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,70	8,70	8,70	8,00	8,00	8,70	8,00
Probabilidad de falla (P _f) a 1año Método PEM				N	0,15%	0,16%	6,08%	0,56%	0,18%	4,15%	3,07%	0,42%	0,01%	0,00%	0,01%	0,04%
Probabilidad de falla (P _f) a 10 años Método PEM				N	0,00%	1,59%	8,17%	1,47%	0,78%	11,70%	9,25%	2,44%	0,02%	0,00%	0,35%	0,46%
Probabilidad de falla (P _f) a 25 años Método PEM				N	1,21%	4,22%	10,88%	3,08%	2,09%	20,88%	16,96%	5,79%	0,03%	0,00%	1,58%	1,56%
Probabilidad de falla (P _f) a 50 años Método PEM				N	2,12%	8,36%	13,96%	5,69%	4,57%	30,49%	25,45%	11,12%	0,06%	0,01%	4,37%	3,78%

TABLA 9.7 RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LAS PROBABILIDADES CONDICIONALES DE FALLA: ALTERNATIVA 4, REFORZAMIENTO Y SUBDRENAJE (CONTINUACIÓN)

VARIABLES DE ANÁLISIS				DISTRIBUCIÓN NORMAL													
				CONDICIÓN DE ANÁLISIS													
				4-4'	4-4'	5-5'	5-5'	5-5'	6-6'	6-6'	7-7'	7-7'	8-8'	8-8'	8-8'		
Sección				Sta_S4_3R_A2	Sta_S4_4R_A2	Sta_S5_1R_C	Sta_S5_2R_C	Sta_S5_3R_C	Sta_S6_1R_C	Sta_S6_2R_C	Sta_S7_1R_C	Sta_S7_1R_A4	Sta_S8_1R_A2	Sta_S8_2R_A2	Sta_S8_3R_A2		
Superficie de Falla																	
Fricción	Cohesion (Tn/m ²)	Lluvia	Sismo	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.	F.S.		
				φ _{max}	C _{max}	Sin	Sin	3,778	2,244	2,607	2,782	3,172	2,068	1,915	2,907	3,117	2,355
φ _{min}	C _{max}	Sin	Sin	3,068	2,065	1,938	2,099	2,436	1,804	1,607	2,164	2,338	1,905	2,215	2,528		
φ _{max}	C _{min}	Sin	Sin	2,704	1,851	2,046	2,127	2,351	1,836	1,652	2,277	2,410	1,566	2,030	2,194		
φ _{min}	C _{min}	Sin	Sin	1,992	1,658	1,378	1,445	1,614	1,567	1,339	1,535	1,631	1,114	1,477	1,541		
φ _{max}	C _{max}	Sin	Con	1,898	1,302	1,421	1,540	1,655	1,258	1,184	1,524	1,646	1,524	1,565	1,863		
φ _{min}	C _{max}	Sin	Con	1,566	1,395	1,075	1,181	1,301	1,102	1,001	1,153	1,254	1,259	1,276	1,504		
φ _{max}	C _{min}	Sin	Con	1,318	1,140	1,083	1,141	1,195	1,099	1,001	1,160	1,237	0,967	1,111	1,240		
φ _{min}	C _{min}	Sin	Con	0,984	1,034	0,737	0,783	0,829	0,939	0,816	0,789	0,845	0,699	0,822	0,882		
φ _{max}	C _{max}	Con	Sin	3,195	1,876	2,079	2,264	2,574	1,715	1,574	2,343	2,537	1,940	2,304	2,729		
φ _{min}	C _{max}	Con	Sin	2,686	1,764	1,607	1,773	2,060	1,530	1,358	1,809	1,973	1,641	1,912	2,245		
φ _{max}	C _{min}	Con	Sin	2,122	1,490	1,518	1,609	1,775	1,481	1,308	1,713	1,829	1,157	1,567	1,741		
φ _{min}	C _{min}	Con	Sin	1,610	1,361	1,046	1,119	1,239	1,290	1,089	1,180	1,266	0,857	1,176	1,257		
φ _{max}	C _{max}	Con	Con	1,581	1,145	1,104	1,226	1,321	1,022	0,954	1,198	1,310	1,231	1,277	1,578		
φ _{min}	C _{max}	Con	Con	1,358	1,098	0,875	0,984	1,084	0,920	0,834	0,948	1,043	1,072	1,089	1,325		
φ _{max}	C _{min}	Con	Con	1,002	0,900	0,767	0,828	0,854	0,862	0,770	0,834	0,902	0,681	0,827	0,955		
φ _{min}	C _{min}	Con	Con	0,777	0,836	0,538	0,587	0,615	0,754	0,647	0,585	0,634	0,518	0,637	0,703		
				R _{max}	0,11	0,11	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,36	0,11	0,11	0,11	
				R _{min}	0,36	0,36	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,11	0,36	0,36	0,36	
Material				Qra1	Qra1	Qra1	Qra1	Qra1	Qra2	Qra2	Qra1	Qra1	Qra1	Qra1	Qra1		
Sismo (g)				0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22	0,22		
Valores paramétricos empleados en cada sección				φ _{max}	28,81	28,81	28,81	28,81	28,81	22,98	22,98	28,81	28,81	28,81	28,81	28,81	
				φ _{min}	19,06	19,06	19,06	19,06	19,06	15,70	15,70	19,06	19,06	19,06	19,06	19,06	19,06
				C _{max} (Kn/mf)	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	15,00	15,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00	26,00
				C _{min} (Kn/mf)	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,70	8,70	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00	8,00
Probabilidad de falla (P) a 1 año Método PEM				N	0,18%	0,02%	1,21%	0,95%	0,59%	0,04%	0,26%	0,64%	0,46%	5,35%	0,77%	1,03%	
Probabilidad de falla (P) a 10 años Método PEM				N	0,60%	0,41%	3,94%	2,95%	2,00%	0,96%	2,40%	2,33%	1,69%	8,83%	2,04%	1,93%	
Probabilidad de falla (P) a 25 años Método PEM				N	1,46%	1,62%	7,70%	5,84%	4,22%	3,50%	5,92%	5,05%	3,76%	13,41%	4,20%	3,36%	
Probabilidad de falla (P) a 50 años Método PEM				N	2,98%	4,27%	12,63%	9,77%	7,42%	8,23%	11,27%	9,03%	6,89%	18,83%	7,60%	5,46%	

El modelo de decisión probabilístico, instrumento de decisión empleado aquí, es otro 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 o del profesional. Contiene como variables relevantes la probabilidad de falla y el costo de la solución, involucradas aquí como independientes pero complementarias, y está basado en un análisis comparativo entre el nivel de riesgo alcanzado por una medida de mitigación y su costo esperado en pesos. Este último fijado como el valor presente de la obra (incluida la compra de los predios para su emplazamiento), estimativo sintetizado en la [Tabla 9.8](#) y derivados con base en los prediseños diagramados en el [Anexo I.1](#), y en los estimativos recogidos en los [Anexos I.3 e I.4](#).

Este precepto (o pauta) pretende no sólo impedir que se caiga en el paradigma exclusivo de los “Árboles de Decisión Hipotéticos” o de los Árboles de Falla, y en definiciones del riesgo similares a la Wu et al (1996), que lo fijan como el producto entre la probabilidad de falla y el costo de falla, sino incorporar elementos sociales, ambientales y constructivos (como beneficios o limitantes) en la estrategia de selección.

Ahora bien, aun cuando el proceso de decisión puede adelantarse de manera discreta, es decir considerando a las vertientes (y por consiguiente a la ciudadela) en función de las unidades de ladera (o de análisis) o de las zonas homogéneas, su integralidad, en este caso en particular, reduce el sesgo (por lo menos así se concluye desde la perspectiva del razonamiento aproximado), abre la posibilidad a que se haga una mejor ponderación de las alternativas, permite una mejor composición del plan de acción (i.e. de la solución de mitigación) y de manera colateral modula los costos de inversión.

La convolución de los elementos reseñados, delineados en el numeral 9.3, en la [Tabla 9.9](#), en la [Tabla 9.10](#), revela, en el orbe general, al drenaje y al subdrenaje como la medida esencial de la reducción de la amenaza, y a la Contención y Subdrenaje (la Alternativa 3), cualquiera sea la región y el momento de aplicación (i.e el tiempo de exposición) en consideración, como el camino más razonable a seguir. Ella si bien dista de tener la mejor relación beneficio-costos en el corto plazo, revela los más notables réditos, toda vez que el horizonte de trabajo se incrementa. Juicio sustentado en parte en las limitadas probabilidades condicionales de movilización que pueden darse, inferiores al 3%, si el periodo de exposición supera los 10 años y si se conjugan las dos unidades constitutivas de mitigación: las pantallas y el subdrenaje, y en parte en el menor impacto ambiental, en su generosa adaptación al medio, expresada gracias a su fácil proceso constructivo y a su escasa visibilidad operativa, en la mayor vida útil de las pantallas, en la conservación del tejido social, en la reducción de la vulnerabilidad social y, en mayor o menor medida, del riesgo total (matices acopiados en la [Tabla 9.10](#)). Aspectos en buena parte, compartidos, junto con la condición pública de las laderas y de los predios adyacentes que intervendrá, premisa sugerida parcialmente por el Sinupot y por las planchas L-50 y L-60 (integrada al [Anexo J](#)), pero incierta, imprecisa o parcial, hasta la fecha, con la viabilidad predial requerida para su implementación, con la alternativa 2, que es parte sustantiva. Su lunar se aloja en el mayor costo de inversión directa inicial, que superan los 1300 millones de pesos (cifra pormenorizada, en el orbe de la factibilidad, en la [Tabla 9.8](#)).

El drenaje y el subdrenaje, si bien ofrece el menor valor de inversión no alcanza niveles de mitigación equiparables a los de las alternativas 3 y 4, ante todo en el mediano y en largo plazo. El reasentamiento, al margen de que su viabilidad predial es la más expedita, es sin lugar a dudas la medida menos atractiva; su alto valor de inversión, aún si no se acompaña por otras actividades como la ocupación y redefinición de uso de las laderas nororientales, sumado al incremento en la vulnerabilidad social (en parte favorecido por la reducción en el valor de los inmuebles y por la pérdida de los tejidos comunitarios), a la preservación de los problemas humedad, de flujo subsuperficial y de tubificación, y a la innegable generación de inseguridad y zozobra que desataría la gestación de cualquier proceso de inestabilidad, así lo ratifican.

TABLA 9.8 PRESUPUESTO COMPARATIVO

Nº	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANT ALT 1	CANT ALT 2	CANT ALT 3	CANT ALT 4	V/UNIT	Alt 1	Alt 2	Alt3	Alt4
								Reasentamiento (Parcial)	Drenaje y Subdrenaje	Confinamiento y Subdrenaje	Reforzamiento y Subdrenaje
1 PRELIMINARES Y MOVIMIENTO DE TIERRA											
1-1	Localización y replanteo****	m²	5522	37312	37312	37312	\$ 1.890	\$ 10.436.580	\$ 70.519.680	\$ 70.519.680	\$ 70.519.680
1-2	Campamento e Instalaciones Provisionales***	und	1	1	1	1	\$ 3.154.629	\$ 3.154.629	\$ 3.154.629	\$ 3.154.629	\$ 3.154.629
1-3	Aislamiento y protección de la zona a intervenir en polissombra H= 2.2 m*	m2	943	5318	5318	5318	\$ 2.158	\$ 2.034.994	\$ 11.476.244	\$ 11.476.244	\$ 11.476.244
1-4	Compra de Viviendas	und	97				\$ 72.000.000	\$ 6.984.000.000	\$ 0	\$ 0	\$ 0
1-6	Descapote manual y retiro de cobertura vegetal, espesor de 0,1m a 0,15m *****	m²		1000	1000	1000	\$ 3.000	\$ 0	\$ 3.000.000	\$ 3.000.000	\$ 3.000.000
1-7	Valla informativa de obra 1.50X2.50m (sum+insta) ****	und	3				\$ 605.472	\$ 1.816.416	\$ 0	\$ 0	\$ 0
1-8	Señal de Identificación Obra (0.40x0.70m)sum+ins ****	und		8	8	8	\$ 145.061	\$ 0	\$ 1.160.488	\$ 1.160.488	\$ 1.160.488
1-9	Adecuación de predios (cerramiento 8 hileras de alambre de púas calibre 12.5, con poste de madera rolliza de 0,08 m de diámetro y 2,00 m de altura, enterrado como min. 0,40, con 2,00 m.)	ml	429	2417	2417	2417	\$ 34.538	\$ 14.816.802	\$ 83.481.800	\$ 83.481.800	\$ 83.481.800
2 EXCAVACIONES Y DEMOLICIONES											
2-1	Demolición construcciones de 2 hasta 3 pisos. incluyen el cargue, transporte y disposición final de escombros en sitio autorizado, contemplando una distancia de transporte de 28 km *****	m²	3157	0	0	0	\$ 31.096	\$ 98.170.388	\$ 0	\$ 0	\$ 0
2-2	Excavación mecánica en suelo de consistencia media o blanda, incluye retiro, en volquetas de 6m3 **	m³		14961	14961	14961	\$ 10.123	\$ 0	\$ 151.453.371	\$ 151.453.371	\$ 151.453.371
2-3	Nivelación y conformación de taludes****	m²		14961	14961	14961	\$ 10.077	\$ 0	\$ 150.762.017	\$ 150.762.017	\$ 150.762.017
3 OBRAS DE ARTE											
3-1	Dren horizontal de 2" de diámetro, incluye la perforación del filtro horizontal de 2in y el cabezote de concreto **	ml		645	215	215	\$ 160.467	\$ 0	\$ 103.501.092	\$ 34.500.364	\$ 34.500.364
3-2	Filtro en gravilla 3/4", 0.7x3m, esta actividad incluye el suministro y extendido en forma manual del material, el geotextil nt cr=700n, la tubería corrugada de d=6in y la excavación para la implantación del filtro en el terreno *****	ml		766	766	766	\$ 185.000	\$ 0	\$ 141.621.200	\$ 141.621.200	\$ 141.621.200
3-3	Caja inspeccion 0,80 x 0,80 x 0,95 m. incluye la base, la cañuela y la tapa con marco metálico *****	und		6	6	6	\$ 644.366	\$ 0	\$ 3.866.194	\$ 3.866.194	\$ 3.866.194
3-4	Cuneta de drenaje ancho= 0.50m en concreto premezclado de 3000 psi fundido in situ, profundidad variable (entre 0.10m y 0.50m). (incluye construcción de placa de fondo y muros en concreto impermeabilizado, mediacañas y mortero de nivelación, ángulos metálicos para soporte de rejillas prefabricadas). *****	ml		459	459	459	\$ 80.598	\$ 0	\$ 36.975.938	\$ 36.975.938	\$ 36.975.938
3-5	Pozo de inspeccion d=1.7 m (incl. suministro e instalacion). Incluye cilindro pozo de inspeccion en mamposteria, cono prefabricado, placa fondo. *	Und		8	8	8	\$ 2.537.512	\$ 0	\$ 20.300.095	\$ 20.300.095	\$ 20.300.095
4 CONTENCIÓN											
4-1	Micropilote diametro 0.3m (Incluye excavación, concreto, cargue y retiro de sobrantes, movilización, montaje y desmontaje equipo) *****	ml			2000		\$ 54.846	\$ 0	\$ 0	\$ 109.692.000	\$ 0
4-2	Concreto 3500 psi para construcción de caisson de 1.20m de diametro ,incluye excavacion manual, suministro de camisa metalica perdida con un espesor de 3/8", formaleteo y colocacion, sumin de concreto premezclado, no incluye refuerzo y curado). *****	m³			149		\$ 1.490.625	\$ 0	\$ 0	\$ 222.103.125	\$ 0
4-3	Concreto 3500 psi para muro estructural premezclado e incluye suministro del concreto, formaleteo, bombeo, curado y colocación, pero no incluye refuerzo *****	m³		90			\$ 324.586	\$ 0	\$ 29.251.690	\$ 0	\$ 0
4-4	Acero de Refuerzo (incluye suministro, figurado y fijacion) *	kg		4379	85000		\$ 2.500	\$ 0	\$ 10.946.811	\$ 212.500.000	\$ 0
4-5	Suministro e Instalación de Anclajes de 300 kN (Incluye Perforación, Torón de 1/2" calidad 270K, platina de acero 0.4mx0.4mx3/4", tubería PVC 1", protector en polietileno de 1/2" e inyección de lechada de cemento)**	ml				1440	\$ 250.000	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 360.000.000
4-6	Excavación proveniente de la instalacion de los anclajes en suelo de consistencia media o blanda, incluye retiro, en volquetas de 6m3 **	m3				2880	\$ 10.123	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 29.154.586
4-7	Concreto lanzado de 3000psi incluye malla electrosoldada	m2				1440	\$ 70.361	\$ 0	\$ 0	\$ 0	\$ 101.319.811
Esta valoración no contempla la adquisición ni la reparación de los bienes que se pueden ver afectados por la ejecución del proyecto. De igual forma no considera actividades como: excavación mecánica en roca, relleno con base B600, retiro y disposición de materiales de escombros; no incluye la ejecución de obras de protección, de resaneamiento, ni el monitoreo de predios que se encuentren en situación de riesgo inminente.											
COSTOS DIRECTOS								\$ 7.114.429.809	\$ 821.471.250	\$ 1.256.567.145	\$ 1.202.746.417
AIU (30%)								\$ 2.134.328.943	\$ 246.441.375	\$ 376.970.144	\$ 360.823.925
COSTO TOTAL ALTERNATIVA								\$ 9.248.758.751	\$ 1.067.912.625	\$ 1.633.537.289	\$ 1.563.570.342

Fuentes: **IDU(2018) ***INVIAS (2018) ****DCCEE (2018) *****IDRD (2017) *****DATAUCA(2018) *****COLOMBIA.GENERADORA.PRECIOS

TABLA 9.9 CONTRASTACIÓN DE ALTERNATIVAS

ALTERNATIVA	AMENAZA					COSTOS DE INVERSIÓN (\$)	IMPLICACIONES	
	TIEMPO DE EXPOSICIÓN	ACTUAL		CON OBRAS			BENEFICIOS	DESVENTAJAS Y LIMITACIONES
		P.F.	CATEGORÍA	P.F.	CATEGORÍA			
REASENTAMIENTO PARCIAL	ACTUAL	[0.1 - 27.6]*	BAJA Y ALTA	[0.1 - 27.6]*	BAJA Y ALTA	\$ 9.248.758.751	Incrementa los corredores comunitarios, verdes y de protección ambiental, destinados a recreación pasiva.	Afecta el modelo urbanístico de la ciudadela y del Barrio, al reformar el contexto urbanístico inicial Generando espacios residuales que promueven la reocupación y el deterioro social.
	FUTURA (50 AÑOS)	[0.7 - 64.1]	MEDIA Y ALTA	[0.7 - 64.1]	MEDIA Y ALTA		Sustraer las unidades más expuestas y con mayor índice de riesgo.	Incrementa los focos de inseguridad y amplía la vulnerabilidad social.
DRENAJE Y SUBDRENAJE	ACTUAL	[0.1 - 27.6]*	BAJA Y ALTA	[0.0 - 17.3]	BAJA Y MEDIA	\$ 1.067.912.625	Encaja sin irrumpir bruscamente en el entorno, puesto que el proceso se limita a excavaciones en corredores viales ya intervenidos, sin perjudicar el bienestar y la calidad visual de la población.	Requiere mantenimiento y reparación periódica, a fe de garantizar su efectividad
	FUTURA (50 AÑOS)	[0.7 - 64.1]	MEDIA Y ALTA	[0.3 - 43.48]	MEDIA Y ALTA		Disminuye la vulnerabilidad institucional y social, y promueve planes de mejoramiento Reduce y controla el nivel piezométrico, previniendo el deterioro de las edificaciones y el confinamiento del suelo con mayor posibilidad de daño. Direcciona el agua de escorrentía superficial e infiltración a la quebrada Los Toches.	Soluciona la infiltración en la zona de las viviendas al direccionar el agua pero no controla la inestabilidad que se genera por infiltración en el talud lo anterior.

TABLA 9.10 CONTRASTACIÓN DE ALTERNATIVAS (CONTINUACIÓN)

ALTERNATIVA	AMENAZA					COSTOS DE INVERSIÓN (\$)	IMPLICACIONES	
	TIEMPO DE EXPOSICIÓN	ACTUAL		CON OBRAS			BENEFICIOS	DESVENTAJAS Y LIMITACIONES
		P.F.	CATEGORÍA	P.F.	CATEGORÍA			
CONTENCIÓN Y SUBDRENAJE	ACTUAL	[0.1 - 27.6]*	BAJA Y ALTA	[0.0 - 11.7]	BAJA	\$ 1.633.537.289	<p>Mitiga los efectos de los deslizamientos potenciales a desarrollarse.</p> <p>Disminuye la vulnerabilidad institucional y social, al promover planes de mejoramiento urbanístico e integración de los servicios públicos.</p> <p>Minimiza el impacto ambiental siendo la opción menos perjudicial.</p> <p>Confina el suelo mediante un sistema de contención económico y de rápida ejecución frente a otros métodos.</p>	<p>Implica el cumplimiento y revisión de técnicas específicas de diseño en el proceso constructivo. Sin embargo este proceso no es tan complejo como la alternativa 4.</p> <p>Genera alteraciones sobre el medio ambiente, a través de barreras visuales que delimitan y configuran los espacios exteriores, sin embargo, no perjudica el bienestar ni la calidad visual de la población.</p>
	FUTURA (50 AÑOS)	[0.7 - 64.1]	MEDIA Y ALTA	[0.0 - 30.5]	MEDIA Y ALTA			
REFORZAMIENTO Y SUBDRENAJE	ACTUAL	[0.1 - 27.6]*	BAJA Y ALTA	[0.0 - 11.7]	BAJA	\$ 1.563.570.342	<p>Conlleva un proceso constructivo maleable con el entorno, que implica un reducido impacto paisajístico, que no perjudica el bienestar ni la calidad visual de la población.</p> <p>Disminuye la vulnerabilidad institucional y social, y por consiguiente promueve planes de mejoramiento urbanístico y la integración de los servicios públicos.</p> <p>Encaja con el entorno sin irrumpir bruscamente en él y no influye en la calidad visual de la población.</p> <p>Aumenta la resistencia al corte, minimiza el potencial de deslizamiento y reduce sus efectos.</p> <p>Reduce el tiempo de construcción, movimiento de suelo y el área afectada.</p>	<p>Representa el proceso constructivo más engorroso y costoso frente a las otras alternativas.</p> <p>Demanda protección especial contra la corrosión en las zonas de refuerzo.</p> <p>Requiere mantenimiento por daño y deterioro de los cabezales de los anclajes por vandalismo y erosión.</p> <p>Solicita adecuar unas plataformas para la instalación de la maquinaria y su movilización en el proceso constructivo.</p>
	FUTURA (50 AÑOS)	[0.7 - 64.1]	MEDIA Y ALTA	[0.0 - 30.5]	MEDIA Y ALTA			

Por último, la alternativa 4, aunque es ligeramente más económica que el Confinamiento y el Subdrenaje (premisa esbozada en la [Tabla 9.8](#)), a largo plazo requerirá inversión mayor para el mantenimiento y la revisión permanente de las obras, debido a que sus probabilidades condicionales (y los estadios de amenaza) son superiores y a que los anclajes pueden deteriorarse o dañarse por vandalismo o por erosión (máxime en los cabezales). Anomalía que se traduce en reproducir los niveles (máximos globales y locales) y los escenarios de amenaza sin obras. Reúne las mismas limitaciones catastrales de la alternativa 3, contexto apenas lógico puesto que ocupan casi los mismos espacios, pero se distancia de ella en su mayor perturbación del medio.

9.5 PLAN DE ACCIÓN

9.5.1 PERSPECTIVA Y DIRECTRIZ

Está configurado por la implantación de pantallas de micropilotes, en la unidad de juegos y contiguo a las manzanas 71, 79, 78, 80 y 81, (unidades LDIU-I-3, LDIU-I-1, LDIU-II-1 del [Plano 6](#)), por el drenaje y el subdrenaje y por la preservación de la ronda hídrica, lo que implica la custodia del uso actual de los predios baldíos, de manera tal que se destinen a la recreación pasiva, y por el retiro de parte del cuaternario (especialmente de los rellenos y de los principales cuerpos inestables), por la redefinición morfológica y morfométrica del cuerpo del deslizamiento principal, inmerso en las laderas de las regiones DCP-II-1, quehaceres satisfechos con el perfilado de los taludes, y que repercuten en la prohibición de la propagación de la frontera urbana allí (es decir, la exclusión de cualquier intento de urbanización). Constitutivos por excelencia de la Alternativa 3, agrupados en la [Figura 9.5](#).

Si bien el papel del [Plan de acción](#) como agente transformador de los escenarios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, trazado en concordancia con los lineamientos planteados en los capítulos 6, 7 y 8, es por espacios muy básico, tal y como lo evidencia la [Figura 9.4](#), la [Figura 9.5](#), la [Figura 9.6](#) y la [Figura 9.7](#), 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 de la dinámica institucional del distrito capital. Sus costos directos de inversión se aproximan a los mil seiscientos millones de pesos, incluido el rubro de AIU (como lo ilustra en la [Tabla 9.8](#)), y su ejecución tendría cabida en un plazo cercano a los cuatro meses. Finalmente, el monitoreo de las laderas, a través de inspecciones visuales, al menos dos durante cada periodo invernal, o de piezómetros abiertos (en número incierto por ahora, pero superior a la media docena), destinados a la deducción de las cabezas de presión máximas, y a la contrastación del modelo hidrogeológico (subsuperficial) y de las respuestas mecánicas (i.e. de los pronósticos), es decir a 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 relevancia del plan de acción, y a su vez de mayor complejidad social, reside en la modificación del uso del suelo de los predios hoy baldíos. Cometido que requiere desestimar (y de alguna manera rechazar) y prohibir la incorporación de cualquier asomo de urbanización en las laderas naturales, antaño intervenidas por la minería, y pobremente recuperadas, catalogadas como de amenaza media y alta para el escenario futuro (modelos simplificados en el [Planos 9](#)), y que incluye los terrenos al oriente y al norte (congregados en las unidades CMM-II-1, CMM-II-2, CMM-II-3, LEIM-I-2, LDIM-I-2, DCP-II-1, LDP-I-2, LDP-I-3, entre la LDMIU-I-2 y LDMIU-I-2, y desde la LDIM-I-1 hasta la LDIM-II-3, proyectadas en el [Plano 6](#)), que sirven de

corredor de protección de la quebrada Los Toches, y en particular los destinados a la Etapa II de la Ciudadela (agrupados en las manzanas 058 a 060, 066 a 069 y 074 a 076, y delimitadas en el Anexo J.2), destinados exclusivamente para engorde. Tarea solventada con la creación de un parque, que requiere (y requerirá) la compra o la expropiación de los lotes o predios que aún no están en poder del Distrito; misión para nada fácil, toda vez que es innegable la enorme presión por la tierra. Prospecto urbanístico, 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 plan de acción tengan pleno establecimiento o materialización. De otra manera el problema seguramente se incrementa (y por consiguiente las predicciones de la amenaza y riesgo aquí planteadas, y bosquejados en el Plano 9, se queden cortas) y su solución se torne más compleja y costosa.

Cualquier modificación en la morfología y morfometría de las laderas, en la franja definida como de protección, y queda forma a la ronda de la quebrada Los Toches, emanada de cualquier corte o relleno o de una defectuosa implantación de un proyecto urbanístico o de una edificación (más aún si están comprometidas las redes de aguas, sean estas blancas, negras o grises), puede tener serias y adversas repercusiones en la estabilidad de la vertiente, y por ende en las viviendas y en las personas que hoy la habitan, 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 (inclusive menor al deducido en este proyecto) o bien al ensancharlos.

Finalmente, pero no menos importante, son el cambio en la cubierta vegetal, el mantenimiento y la reparación de las redes de acueducto y alcantarillado, y el sellado de las líneas clandestinas y artesanales. Labores que serán una constante en el tiempo. La primera puesto que el retamo espinoso es invasivo, no es una especie endémica, se regenera con facilidad (aun después del fuego) y es susceptible a incendios forestales por su baja humedad y cantidad de taninos. Y la segunda y la tercera porque a la luz de los resultados emanados en los capítulos 6 y 7, son contribuyentes principales del flujo subsuperficial (y en mayor o menor medida de los problemas de humedad en las viviendas), e inclusive pueden señalarse como detonadores de algunos de los movimientos en los últimos años. Su responsable directo, es El Acueducto.

9.5.2 DIAGNÓSTICO PREDIAL

Es un aspecto ineludible para la viabilidad del plan de acción (o de los diseños), 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 a medidas que requieran de la menor ocupación. Aunque este tema es abordado por momentos implícitamente (en el marco del numeral 8.4), 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), pero parcialmente, por su trascendencia se deja como cierre.

Pretende dar respuesta a tres 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?, la segunda, pueden usarse?, la que, a su vez, desemboca en la tercera: es viable (predialmente) el esquema de mitigación? Interrogantes zanjados gracias a la consulta con las entidades responsables, tanto del inventario y registro de los predios y de la defensa del patrimonio inmobiliario público: Planeación Distrital, Catastro, el Departamento

Administrativo de la Defensoría del Espacio Público, DADEP, la Superintendencia de Notariado y Registro, como de la gestión del riesgo, el Idiger y la Caja de Vivienda, y de la auscultación de la información predial disponible en ellas, en las curadurías y en la junta de acción comunal. Acervo compilado en el Anexo J.

Sus frutos, aunque ambiguos, arrojan claras luces sobre la viabilidad de las obras pero hacen pertinente la necesidad de ahondar sobre la propiedad de los lotes (en particular la de los receptores de las medidas de mitigación). Es decir, ponen de manifiesto la importancia de abordar el estudio de títulos (tarea, en medida alguna, está distante del alcance de este estudio). Contrario a la favorecedora prospectiva, mediana certeza y claridad hay acerca de si todos los espacios que ocuparán las obras, son públicos o privados.

Mientras Catastro Distrital (en cabeza de la Gerencia de Información Catastral) y Planeación Distrital, en la página digital del Sistema de Información Urbana y Plan de Ordenamiento Territorial, Sinupot, plantea la proyección de las manzanas 062, 070 y 083, que acogen a la ronda de la quebrada Los Toches, al oriente de la carrera 16A Este, 082, en los dominios del Parque de la Ciudadela, 036, unidad que cubre, al occidente de la Carrera 16A Este, la quebrada, su ronda y parte de su vertiente derecha, y 058, 059, 060, 066 a 069, 074, 075 y 076, es decir da vía libre a la progresión de la segunda etapa de la Ciudadela, tal como se coteja en las planchas 2018ER1172, L-38 y L-39 (documentos visibles en la página www.sdp.gov.co y en el Anexos J.1), la Dependencia de legalización, adscrita a la Secretaría Distrital de Planeación (con información entregada a la mano) y el DADEP, en el concepto 2018-400-023849-2 (aunado al Anexo J.3.1), proponen que parte de las laderas son bienes del distrito, específicamente que los predios con RUPIS 839-23 (o Mz-082), 839-24 (o Mz-083), 839-25 (o Mz-070), 839-26 (o Mz-070), 839-27 (o Mz-062) y 839-28 (o Mz-062), inmersos en el barrio Altos del Zipa y en la Ciudadela Santa Rosa (y delimitados en los Anexos J.2.2 y J.3.1) engrosan los dominios de uso público y del Distrito Capital. Titularidad consignada en la escritura pública 00236 del 23 de febrero de 2005, otorgada en la notaria 60 de Bogotá, tal como lo ratifica la escritura pública (tal y como se ratifica en los certificados de libertad y tradición, consignados en el Anexo J.4, y en el concepto jurídico de la consultoría recogido en el Anexo J.5).

Los predios restantes, integrados en las manzanas 058 a 060, 066 a 069, 074 a 076, jurisdicción político administrativa del Barrio Altos del Zipa, y 036, adscrita al barrio Bosques de Los Alpes, presuntamente son propiedad del Banco Central Hipotecario o de la extinta DMG. Diagnóstico que se desprende del inventario predial que configura el Anexo J.3.2 y de la auscultación de una muestra discreta de los certificados de libertad y tradición (documentos reunidos en el Anexo J.4). El único inmueble del que no fue posible obtener información alguna responde a la manzana 036, identificado con folio de matrícula 50S-40015459. De éste ni en la Superintendencia de Notariado y Registro, SNR, fue posible obtener el certificado de la matrícula, ni catastro arrojó luz alguna.

Con base a lo expuesto anteriormente se generó un panorama representativo de la situación actual de la Urbanización Ciudadela Santa Rosa.

Los problemas en los inmuebles os propietarios

Algunos propietarios de La Ciudadela, al evidenciar problemas en los inmuebles, y basados en que los adquirieron de buena Fe y que para ellos era inexplicable porque la construcción llegó a la fase de comercialización sin el menor reparo, obteniendo licencias y permisos, cuando los problemas en el terreno, en el diseño y en la ejecución del proyecto eran latentes, deciden aunar esfuerzos en búsqueda de la indemnidad que consideraban legítima. Como consecuencia el 8 de noviembre de 2001, en ejercicio de la acción de grupo, interponen demanda contra el Distrito Capital de Bogotá – Alcaldía Mayor – Alcaldía Menor de San

Cristóbal Sur como responsables del perjuicio. Proceso, el Tribunal Administrativo de Cundinamarca, Sección cuarta, Subsección B, declaró, el 12 de mayo de 2004, responsables a los demandados por los daños mencionados, condenando al pago de los perjuicios materiales y morales, además de los costos del proceso interpuesto. Dicha sentencia fue fallada a favor, el día 18 de octubre del 2007, por el Consejo de Estado Sala de lo Contencioso Administrativo, Sección Tercera. Este último confirma la veredicto y modifica el monto de DIEZ Y NUEVE MIL CIENTO VEINTIDÓS MILLONES CUATROCIENTOS SESENTA MIL QUINIENTOS PESOS Moneda Legal Colombiana (\$19.122.460.500.00 MLC) a los integrantes del grupo (se Anexa la lista de los implicados en el ANEXO J.4 y la Figura J.4.7.

Se generó a partir de la información recolectada un panorama completo con la delimitación y patrimonio inmueble de la Urbanización Ciudadela Santa Rosa, a partir del esquema obtenido se plasmaron alternativas para solucionar.

CAPÍTULO 10

PROGRAMA DE INTERVENCIÓN: DISEÑO DE OBRAS

PROGRAMA DE INTERVENCIÓN: DISEÑO DE OBRAS

Los hallazgos de los estudios básicos aunados a los pronósticos (o esperanzas) de la amenaza y de la vulnerabilidad y a la prospectiva de intervención, debatida en el capítulo 9, alcanzan su mayor repercusión en la estructuración y materialización del plan de mitigación. Plan que reúne el conjunto de obras dirigido al tratamiento de los factores endógenos y exógenos, desencadenantes (o gestores) de la amenaza o de la vulnerabilidad, y que se resume en las medidas para el control, protección y mejoramiento de las superficies libres, lo que redundará de manera colateral en la salvaguarda de la vida y de los bienes (muebles e inmuebles). Por medio de la contención y la estabilización de los cuerpos inestables, de la mitigación de sus efectos, de la interceptación de las superficies de deslizamiento y de la reorganización del drenaje, se atiende la reducción o la mitigación de las condiciones y de los escenarios de riesgo. Los pormenores y particularidades del dimensionamiento de estos elementos constituyen el eje central de las siguientes páginas.

10.1 CRITERIOS BÁSICOS

En la Alternativa 3 prima la reducción de la amenaza y de la vulnerabilidad, en una combinación entre la contención y el manejo de las aguas superficiales y subsuperficiales. Elementos delineados en la planta de diseño condensada en el *Plano 11*, detallados en los *Planos 12*, a *44*, y en las Especificaciones Técnicas de Construcción, consignadas en el *Anexo K*, y sustentadas técnicamente en las memorias de diseño (integradas en el *Anexo L*). Sumado a las obras de drenaje, de contención y de reconfiguración, es necesario hacer intervenciones complementarias, que congregan: i) la reconstrucción o el mantenimiento y la limpieza de algunos tramos de cunetas de drenaje superficial ii) la limpieza de sumideros y pozos de inspección, que están colmatados debido al aporte de desechos del barrio, compuestos principalmente por basuras y sedimentos, iii) el sellado de grietas entre los andenes y las viviendas y entre los andenes y las cunetas, para minimizar la infiltración de aguas lluvias al subsuelo, iv) realizar la reconstrucción del tramo de alcantarillado y pozo destruido en la esquina noroccidental de la manzana 78.

Aunque las medidas propuestas se enmarcan dentro de la capacidad operativa y económica de las entidades distritales involucradas, i.e. el Idiger (antiguo Fopae), requiere indefectiblemente de la participación activa y continua, entre otras, del Acueducto, de la Secretaría Distrital de Ambiente, del IDU y del IDRD. Instituciones que tienen a su cargo dilucidar (y resolver) entre otras tareas: la clasificación de propiedad (como público o privado) del complejo predial a intervenir, la revisión, su destino de uso y el mantenimiento de las redes de servicio. Labores que envuelven su puesta en marcha. Sin embargo, los atenuantes no se limitan sólo a los

IDIGER	CONSORCIO SANTA ROSA	GIA -085-18		INFORME FINAL PAG. 348	
VERSIÓN:	1			FECHA	11/01/19
ELABORÓ:	MASSL	REVISÓ:	JALG	APROBÓ:	JALM

anteriores, la puesta en marcha del plan de acción conjuga también el limitado espacio de maniobra en algunos frentes de obra, pormenor que pone de manifiesto la importancia de vincular, por lo menos desde las plataformas de convivencia e inversión (ligado a su cuidado), a la comunidad.

10.2 DISEÑO GEOTÉCNICOS

Reúne: la definición de los estadios (factibles) de trabajo, la selección de los parámetros geotécnicos involucrados en la modelación estructural, los diseños de las trincheras drenantes, incluidas sus excavaciones, y de las pantallas o arreglos micropilotes (en particular la profundidad y el espaciamiento de los elementos, la longitud de las estructuras, la distribución del refuerzo y la respuesta esperada de la interacción suelo-estructura). Todo lo anterior enriquecido con plantas y secciones, longitudinales y transversales, que pormenorizan la implantación de obras (es decir, describen y detallan las singularidades de las obras).

10.2.1 TRINCHERAS DRENANTES

Tienen a su cargo la intercepción, la captación y el transporte del agua subsuperficial, y el abatimiento de la cabeza de presión total (y piezométrica), en las superficies potenciales o activas de deslizamiento y bajo los niveles de fundación de las edificaciones, de manera tal que se mejore la estabilidad relativa de las masas y se mengue el impacto de la humedad. Cometidos delegados tanto en el ambiente de influencia directa de la ciudadela como en los dominios del movimiento principal (el DT-001).

En el último escenario (o caso) se distribuyen en dos grupos. Uno dispuesto por los flancos y en la base de la masa inestable, y otro trazado en diagonal desde los costados hasta su eje, en arreglo de espina de pescado, de manera que penetre la masa traslocada y aproveche las depresiones topográficas que promueven la acumulación de agua. Los subdrenes poseen profundidades mínimas de 2 m mínimo, anchos desde 0.5 m y pendientes longitudinales variables; están armados con materiales granulares que satisfacen los criterios de erosión interna y de permeabilidad (dictados por Terzaghi y Peck, 1967, Sherard, 1984, o por las normas que los modifican), e intentan proporcionar una rápida salida del agua infiltrada. Su diseño acoge la revisión de la estabilidad de las paredes y del fondo de la excavación, y la definición del tipo de entibado y la deducción de las presiones de tierras, si se llegasen a necesitar. El Anexo L.1 congrega la capacidad portante de las cunetas de entrega de las trincheras.

Estabilidad Local de la Excavación

Reside en abstraer para los cortes verticales, la altura crítica, y por consiguiente inferir el factor de seguridad para el conjunto de arreglos proyectado. La primera (la altura crítica) se infiere de la aplicación de los teoremas de Borde superior e inferior (Chen, 1975, en Potts y Zdravkovic, 1999) y del método de Das (1999). Oscila entre $2 \cdot c_u / \gamma$ y $4 \cdot c_u / \gamma$, en la que c_u es la resistencia al corte no drenado y γ es el peso unitario total del suelo, y es función: i) del mecanismo de falla, ii) del límite inferior para la falla de una columna de suelo, y iii) de la falla de una cuña con plano de ruptura a 45° . Para Santa Rosa, como el suelo es predominantemente arcilloso, firme y fisurado, se adopta la segunda premisa, por ser la más desfavorable (o crítica).

La Tabla 10.1 y el Anexo L1 integran y compilan las alturas críticas y los estadios de trabajo para los diferentes tramos de subdrenaje, y revelan una más que aceptable capacidad de autoaporte de las

trincheras, si se considera su poca exposición y permanencia en el tiempo: en todos los casos el factor de seguridad es superior a 1.5. Lo que pone de manifiesto la posibilidad de acometer los cortes hasta las profundidades de diseño sin el uso de sistemas de contención (temporal). Sin embargo, a fe de garantizar el ingreso del personal a la excavación se propone la instalación de un entibado de protección, que puede ser discontinuo. Sus características y sus particularidades de diseño se detallan en los siguientes párrafos.

TABLA 10.1 ALTURA CRÍTICA Y FACTORES DE SEGURIDAD PARA LAS ZANJAS DE EXCAVACIÓN

TRINCHERA	SONDEO DE REF.	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	CU PROM (KPA)	Γ TOTAL (KN/M ³)	ALTURA CRÍTICA Hc (M)	ALTURA DE EXCAVACIÓN HEXC (M)	FACTOR DE SEGURIDAD	OBSERVACIÓN
1	S8	RELLENO FORMADO POR FRAGMENTOS DE ARCILLOLITA EN MATRIZ DE ARCILLA, SOBRE ARCILLA RESIDUAL DE COLOR AMARILLO ROJIZO.	59	19.5	6.051	3.5	1.7289	CUMPLE
2	S1	RELLENO DE FRAGMENTOS DE ARCILLOLITA EN MATRIZ DE ARCILLA, SOBRE LIMO ARCILLOSO RESIDUAL DE COLOR GRIS CLARO, DE CONSISTENCIA FIRME.	79	19.5	8.103	3	2.7009	CUMPLE
3	S2	RELLENO FORMADO POR FRAGMENTOS >3CM DE ARENISCA Y ARCILLOLITA MUY METEORIZADA EN UNA MATRIZ DE ARCILLA ARENOSA, DE COLOR MARRÓN AMARILLENTO CLARO, HUMEDAD MEDIA, PLASTICIDAD BAJA.	63	19.5	6.462	3	2.1538	CUMPLE
4	S4	RELLENO FORMADO POR ARCILLA LIMOSA DE COLOR MARRÓN AMARILLENTO, PRESENCIA DE FRAGMENTOS DE ARENISCA, HUMEDAD MEDIA, PLASTICIDAD MEDIA. CAMBIA A UN LIMO CON ARCILLA DE COLOR NEGRO, PLASTICIDAD MEDIA Y HUMEDAD BAJA.	54.5	19.5	5.59	3	1.8632	CUMPLE
SUBDRENEOS PROCESO 1	S9	DEPÓSITO FORMADO POR FRAGMENTOS DE ARENISCA <2CM, DE COLOR AMARILLO CON OXIDACIONES EN MATRIZ DE ARCILLA DE COLOR MARRÓN CON OXIDACIONES, TONALIDADES GRISES Y ROJAS, HUMEDAD ALTA, PLASTICIDAD ALTA CON RAÍCES.	52.3	19	5.505	2.	2.7526	CUMPLE

Estabilidad de Fondo de las Excavaciones

Se abstrae y modela gracias al empleo de los métodos de análisis límite, en especial de los teoremas de Borde superior e inferior (Chen, 1975, en Potts y Zdravkovic, 1999), y de las de Bjerrum y Eide (1956) y de Das (1999). De ellos se establece que el factor de seguridad está definido por la expresión: $F_s = C_u * N_c / \gamma * (H+q)$,

en la que c_u es la resistencia al corte no drenada del suelo bajo el nivel de excavación, N_c es el factor de capacidad de carga, que varía con las relaciones de H/B y L/B , en las que L es la longitud, H es la profundidad y B el ancho del corte, γ es el peso unitario el suelo, y q es la sobrecarga en el tope de la excavación la expresión, fijada (para Santa Rosa) en 20 Kpa, y equivale a un metro de material de relleno o de excavación aledaño a la zanja. De la aplicación de estos principios se deriva que los factores de seguridad, indistinto de las condiciones de trabajo, son siempre superiores a 5 (espectro abreviado en la [Tabla 10.2](#) y detallado en el [Anexo L.1](#)), lo que significa que su comportamiento es más que adecuado. .

TABLA 10.2. CÁLCULO DE LA ESTABILIDAD DE FONDO PARA LAS EXCAVACIONES

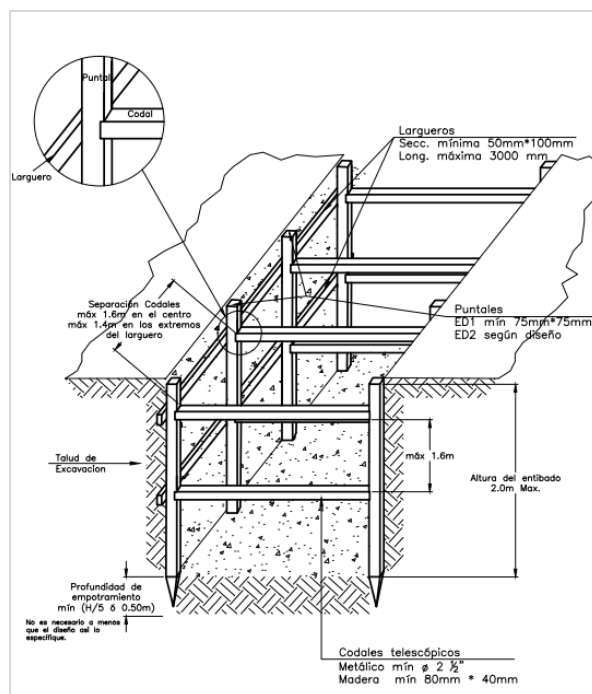
TRINCH.	SOND. REF.	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	C_u PROM (KPA)	γ TOTAL (KN/M ³)	ALTURA CRÍTICA H_c (M)	ANCHO EXC (M)	H/B	N_c CUAD.	LONG EXC (M)	B/L	N_c RECT	q (KPA)	F.S
1	S8	RELLENO FORMADO POR FRAGMENTOS DE ARCILLOLITA EN MATRIZ DE ARCILLA, SOBRE ARCILLA RESIDUAL DE COLOR AMARILLO ROJIZO.	59	19.5	3.5	0.6	5.833	9	20	0.03	7.6	20	5.1
2	S1	RELLENO DE FRAGMENTOS DE ARCILLOLITA EN MATRIZ DE ARCILLA, SOBRE LIMO ARCILLOSO RESIDUAL DE COLOR GRIS CLARO, DE CONSISTENCIA FIRME.	79	19.5	3	0.6	5	9	20	0.03	7.6	20	7.7
3	S2	RELLENO FORMADO POR FRAGMENTOS >3CM DE ARENISCA Y ARCILLOLITA MUY METEORIZADA EN UNA MATRIZ DE ARCILLA ARENOSA, DE COLOR MARRÓN AMARILLENTO CLARO, HUMEDAD MEDIA, PLASTICIDAD BAJA.	63	19.5	3	0.6	5	9	20	0.03	7.6	20	6.1
4	S4	RELLENO FORMADO POR ARCILLA LIMOSA DE COLOR MARRÓN AMARILLENTO, PRESENCIA DE FRAGMENTOS DE ARENISCA, HUMEDAD MEDIA, PLASTICIDAD MEDIA. CAMBIA A UN LIMO CON ARCILLA DE COLOR NEGRO, PLASTICIDAD MEDIA Y HUMEDAD BAJA.	54.5	19.5	3	0.6	5	9	20	0.03	7.6	20	5.3
SUB-DRENES PR 1	S9	DEPÓSITO FORMADO POR FRAGMENTOS DE ARENISCA <2CM, DE COLOR AMARILLO CON OXIDACIONES EN MATRIZ DE ARCILLA DE COLOR MARRÓN CON OXIDACIONES, TONALIDADES GRISES Y ROJAS, HUMEDAD ALTA, PLASTICIDAD ALTA CON RAÍCES.	52.3	19	2	0.5	4	9	20	0.025	7.6	20	6.8

Diseño del Entibado

A la luz de la aceptable respuesta de las zanjas y de sus paredes, expresada en factores de seguridad superiores a 1.7, parece lógico suponer que es innecesaria la implantación de cualquier sistema de contención temporal en las excavaciones. Sin embargo, si se considera la seguridad en el trabajo, pues las profundidades de excavación superan los 1.5 m, para las trincheras drenantes 1, 2 y 3 y para los subdrenes del proceso de remoción 1, es pertinente el uso de un sistema de entibado discontinuo en los tramos en los que se requiera el ingreso de personal a las excavaciones: en este caso para toda su longitud. Esto hace necesario satisfacer los requeridos de la norma NS-072, para el entibado Tipo ED-1, y por consiguiente acoger las dimensiones mínimas de los elementos estructurales.

Debido a la vecindad de la línea de acueducto de 24" diámetro, a la red matriz, al borde oriental del alineamiento de la trinchera 4, separados por cerca de 3.5 m de distancia, y a su importancia, y puesto que la base del lecho filtrante se prevé, por las condiciones de la vía, a los 2 m o menos, se recomienda el uso del entibado en toda la longitud de la trinchera. En este contexto, el dimensionamiento de los elementos estructurales se da al amparo de las especificaciones de la Norma NS-072, de la EAAB (pormenores bosquejados en la *Figura 10.1*).

FIGURA 10.1. ESQUEMA GENERAL DEL ENTIBADO TIPO ED-1



FUENTE: ENTIBADOS Y TABLESTACADOS, NS-072, EAAB (2018)

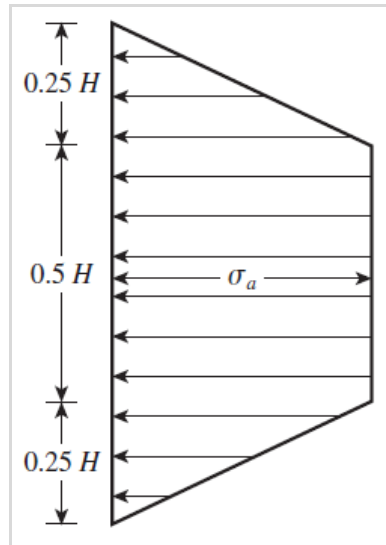
Dadas las características del suelo, para el diagrama de presión del diseño estructural de los elementos del entibado o para la verificación de la capacidad de carga de sus elementos, indicados en la esquema anterior, se deben seguir las recomendaciones de diagramas de presión para excavaciones entibadas reseñadas por Peck (1969) y reportadas por Das (1999), en este caso para los cortes proyectados el suelo involucrado es

arcilloso y su consistencia es firme; por lo tanto la distribución de presiones esperada se idealiza en la *Figura 10.2*. En la *Tabla 10.3* y el *Anexo L.1*, se incluyen los valores de la presión máxima para los entibados. El valor del esfuerzo horizontal máximo (S_a) para arcillas firmes es $S_a=0.3*\gamma *H$, donde γ es el peso unitario total del suelo y H la profundidad de excavación.

TABLA 10.3 CÁLCULO DE PRESIONES PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE ENTIBADOS

TRINCHERA	SONDEO DE REFERENCIA	DESCRIPCIÓN DEL SUELO	Cu PROMEDIO (KPa)	Γ TOTAL (KN/m3)	ALTURA DE EXCAVACIÓN (m)	PRESIÓN ENTIBADO (Kpa)	SOBRECARGA (Kpa)	PRESIÓN TOTAL PARA DISEÑO (Kpa)
1	S8	RELLENO DE FRAGMENTOS DE ARILLOLITA EN MATRIZ DE ARCILLA, SOBRE ARCILLAS RESIDUALES DE COLOR AMARILLO ROJIZO.	59	19.5	3.5	20.475	20	40.475
2	S1	RELLENO DE FRASGMENTOS DE ARILLOLITA EN MATRIZ DE ARCILLA , SOBRE LIMO ARCILLOSO RESIDUAL DE COLOR GRIS CLARO, FIRME	79	19.5	3	17.55	20	37.55
3	S2	RELLENO FORMADO POR ARCILLAS LIMOSAS DE COLOR MARRÓN AMARILLENTO. PRESENCIA DE FRAGMENTOS DE ARENISCA, HUMEDAD MEDIA, PLASTICIDAD MEDIA. SUBYACE LIMO CON ARCILLA DE COLOR NEGRO, PLASTICIDAD MEDIA Y HUMEDAD BAJA.	63	19.5	3	17.55	20	37.55
4	S4	RELLENO FORMADO POR ARCILLAS LIMOSAS DE COLOR MARRÓN AMARILLENTO, PRESENCIA DE FRAGMENTOS DE ARENISCA, DE COLOR MARRÓN AMARILLO CLARO, HUMEDAD MEDIA, PLASTICIDAD MEDIA Y HUMEDAD BAJA.	54.5	19.5	3	17.55	20	37.55
Subdrenes proceso 1	S9	DEPOSITO FORMADO POR FRAGMENTOS DE ARENISCA<2CM, DE COLOR AMARILLO CON OXIDACIONES EN MATRIZ DE ARCILLA DE COLOR MARRÓN CON OXIDACIONES, TONALIDADES GRISES Y ROJAS, HUMEDAD ALTA, PLASTICIDAD ALTA CON RAÍCES.	52.3	19	2	11.4	20	31.4

FIGURA 10.2. DIAGRAMA DE PRESIONES PARA EL DISEÑO Y VERIFICACIÓN ESTRUCTURAL DE LOS ENTIBADOS



FUENTE: TERZAGHI Y PECK (1967)

Aspectos Constructivos

La construcción de las trincheras drenantes inicia en el punto de entrega a la quebrada Los Toches, que es el punto topográfico más bajo de la estructura, lo que permite el drenaje simultáneo con la construcción y evita la acumulación de flujo en la excavación. Su ubicación está detallada en los planos de diseño y su avance debe iniciar aguas arriba en tramos con longitud no mayor a los 20 m, garantizando que se realice el llenado de la sección una vez excavada, con el material granular especificado en los planos. Toda excavación debe ser rellenada durante la misma jornada de trabajo, lo anterior para evitar la relajación de la excavación y posibles fallas locales.

Una vez conformada la sección drenante se debe, primero, instalar la capa de recebo compactado por encima del sub-dren y culminar con la instalación de la cuneta superior proyectada, la estructura de pavimento o la cobertura vegetal, según las indicaciones de los planos de diseño y las condiciones de cobertura del sitio del proyecto. El tapado de la sección drenante proyectada en el área del proceso 1, se puede hacer con material proveniente de la excavación, debidamente apisonado con máquina excavadora.

Es necesario precisar la localización exacta de las tuberías de alcantarillado o acueducto en lugares donde se crucen, mediante apiques manuales o geo-radar, en cercanías a ellas se debe realizar manualmente, siempre y cuando sea posible. Dado el ancho reducido de la excavación, los conductos pueden dejarse formado un puente temporal, la instalación del relleno de la zanja se debe hacer de manera cuidadosa, garantizando un atraque adecuado de las tuberías expuestas.

Se deben seguir los lineamientos establecidos en las normas NS-088 y EG-112 de la EAAB para las trincheras drenantes y sub-drenes proyectados y las normas NS-019, NS-020, NS-072 y las especificaciones técnicas EG-104 y EG-107 de la EAAB, para la excavación de las trincheras, y de zanjas para los subdrenes. La localización de las obras de subdrenaje debe plantearse según lo indicado en los planos de diseño (planos 11, 12, 13) y en la norma NS-030 de la EAAB.

Los materiales de relleno: granular para drenaje (grava y arena), recebo para el tapado del subdrén y materiales provenientes de la excavación, deben cumplir con lo indicado en la norma NP-040 y en la especificación técnica EG-106 de la EAAB.

La entrega de las cunetas se hará por medio de desarenadores, en lugares en los que la Quebrada los Toches esté revestida en concreto, con el objetivo de evitar excesos de sedimentos a la Quebrada. El nivel del fondo del desarenador se ubicará al mismo nivel de la parte superior de borde del canal revestido. Para las trincheras, la entrega se efectuará de dos formas, de acuerdo a la configuración de sus perfiles plasmada en el plano 12. La primera, consiste en la entrega del tubo perforado de la trinchera hacia los escalones de la cuneta superficial, por medio de una perforación en la pared del escalón. La segunda, consiste en la entrega del tubo perforado de la trinchera en la pared del canal revestido de la Quebrada por medio de una perforación en la pared de canal.

10.2.2 DRENES HORIZONTALES

Al amparo de los criterios y de las recomendaciones acopiados e impartidos por Suárez (2009), para la implementación de los sistemas de drenes horizontales se proyectan separaciones de 5 m, y diámetros de 2". Las unidades están talladas en tubería PVC ranurada, cubiertas con geotextil para drenaje tal como lo señala la norma NS-088 de la EAAB. La longitud ranurada es de 13 m y la no ranurada de 2m, ésta última provista con inyección perimetral de lechada de mortero para anclar el sub-dren.

El sistema de captación está compuesto por tubería PVC tipo Sanitaria de 4" que capte el flujo de los drenes horizontales y los transporte para la descarga en el canal de la quebrada los Toches. El agua captada por los drenes proviene tanto de la infiltración del agua lluvia en la parte alta del talud y en espacios verdes cercanos como de las cubiertas de las viviendas, filtrada a través de las fisuras de los andenes y cunetas, produciendo un flujo con menor grado de contaminación en comparación al que transita actualmente por la quebrada y se prevé un caudal menor que no afecta la dinámica de la quebrada.

Con los drenes horizontales proyectados se prevé un efecto positivo en el abatimiento del nivel piezométrico, sin embargo, si durante la construcción hay alguna evacuación de flujo, que colme la capacidad de los drenes, será necesario implementar drenes adicionales en medio de los construidos. Lo anterior lo decidirá, en campo, el especialista en geotecnia con la aprobación de la entidad contratante. La localización definitiva y los detalles constructivos de los drenes horizontales se plasman en los Planos 11 y 15.

10.2.3 PANTALLAS DE MICROPILOTES

El diámetro de los micropilotes se establece para evitar el uso de equipos de gran tamaño y usar unos con capacidad de operación en espacios reducidos, para evitar una intervención directa y fuerte en el área del proyecto, reduciendo la magnitud de excavaciones durante la construcción de las obras o sistemas de estabilización temporal y evitando un mayor impacto ambiental y social.

De acuerdo con los resultados de los análisis de estabilidad, que contemplan los efectos causados por las obras proyectadas, se establecieron las solicitaciones de los elementos de refuerzo tipo pilotes en términos de resistencia cortante para obtener un factor de seguridad adecuado y consistente con los requerimientos del IDIGER.

Su diseño considera la evaluación de la capacidad de carga lateral al emplear el método de Brooms (1965) para verificar el diseño del refuerzo establecido, la separación entre pilotes, la comprobación del módulo de reacción vertical y horizontal del tramo empotrado para los diseños estructurales y la generación del modelo estructural.

En los Planos 11, 16, 17 y 18 se exhiben la distribución y el dimensionamiento en planta, el perfil y los detalles constructivos de las pantallas de pilotes para cada uno de los frentes de inestabilidad, y en el Anexo L.1, se reúnen las memorias de cálculo geotécnico.

Para el diseño geotécnico de los pilotes se adoptaron las siguientes consideraciones:

- Los sistemas de drenaje implementados controlan la condición crítica del agua en los procesos y mantienen unos factores de seguridad superiores a la unidad, sin alcanzan los valores de seguridad solicitados por el cliente, con valores de 1.3 para escenario extremo de Agua y Sismo y de 1.9 para escenario normal. Para definir la resistencia de los pilotes se considera una condición estable (con $FS > 1$).
- La resistencia de los pilotes responde a la requerida para suplir el déficit del factor de seguridad, sí y sólo sí, el muro de contención (el de la pata) se mantiene incólume. Así, entonces, los pilotes operan semejante a los pasivos y no van a estar sometidos a los empujes de tierra activos.
- Por la composición arcillosa del relleno en la superficie de deslizamiento se adopta un cortante a la altura de la superficie de falla, de esta manera el análisis geotécnico se realiza sin considerar la excentricidad de la resistencia al cortante. El cortante en el pivote se abstrae a la altura de la superficie crítica de movilización. La que a su vez se fija de la conjugación de las evidencias de campo, en específico de los corredores de agrietamiento y de abultamiento, que permiten inferir su inicio y su final, y de las simulaciones del análisis de estabilidad (que arrojan una aproximación de su forma). De esta manera el análisis se lleva a cabo sin considerar la excentricidad de la resistencia al cortante.

Pantalla de Micropilotes: Proceso 2

En concordancia con la configuración del talud y con los resultados de la estabilidad, se plantea una pantalla de pilotes localizada en el tercio superior del talud, para confinar lateralmente el relleno aledaño a las viviendas. La pantalla se divide en 3 niveles ajustados a la topografía del talud con el fin de mantener la localización relativa respecto a su altura y está conformada por pilotes con diámetros de 0.3 m, longitud de 10 m y separación de 1 m centro a centro, con una longitud libre de 4 m y 6 m de empotramiento medido a partir del nivel firme. Cabe mencionar que, aunque se indique una longitud libre, el pilote no está en voladizo, sino que la longitud está por encima de las superficies con menores factores de seguridad y tiene reducción de confinamiento aguas abajo debido al fisuramiento superficial del suelo que anula parte de la presión lateral en la profundidad de las grietas de contracción.

Se recomienda una disposición de una viga cabezal y una distribución en tresbolillo para lograr que la pantalla de pilotes trabaje de manera integral y genere redistribución de esfuerzos entre los elementos. La capacidad de carga lateral en la zona de empotramiento para los micropilotes se analiza con el método de Brooms (1965), asumiendo que el pilote está restringido y que la fuerza cortante máxima se localiza al nivel de la superficie potencial de falla, de esta manera la excentricidad es igual a cero. La Figura 10.3 compila las cartas de evaluación de capacidad de carga lateral para pilotes largos y cortos por el método de Brooms para el caso de arcillas. Para el análisis de los micropilotes se usa un C_u promedio para el tramo empotrado en el suelo residual de la formación Bogotá de 71 KPa (dato del Sondeo 7). Los parámetros geotécnicos son:

Empotramiento del pilote bajo la superficie crítica. $L = 6 \text{ m}$

Diámetro de los pilotes. $D = 0.3 \text{ m}$

Excentricidad. $e = 0 \text{ m}$ (se asume un pilote restringido por la condición de confinamiento a nivel de la superficie de falla crítica.

Dado que $L/D=20$, el pilote se comporta como pilote largo. Al asumir pilotes no restringidos con $e/D=0$ la *Figura 10.3* arroja un valor de $Q_{ug}/C_u \cdot D^2$ de 60, para así obtener un valor de Q_{ug} de 383.4 kN, que designa un factor de seguridad de 3.8 con respecto al cortante requerido de 100 kN por pilote.

El momento de fluencia requerido para el diseño estructural del pilote se determina a partir de la geometría y de la carga horizontal solicitada (véase la *Ec. 10.1*) que a nivel de la superficie crítica se considera igual al cortante requerido (100 kN).

$$\frac{Q_{ug}}{C_u \cdot D^2} = \frac{100 \text{ kN}}{71 \text{ kPa} \cdot (0.3 \text{ m})^2} = 15.64$$

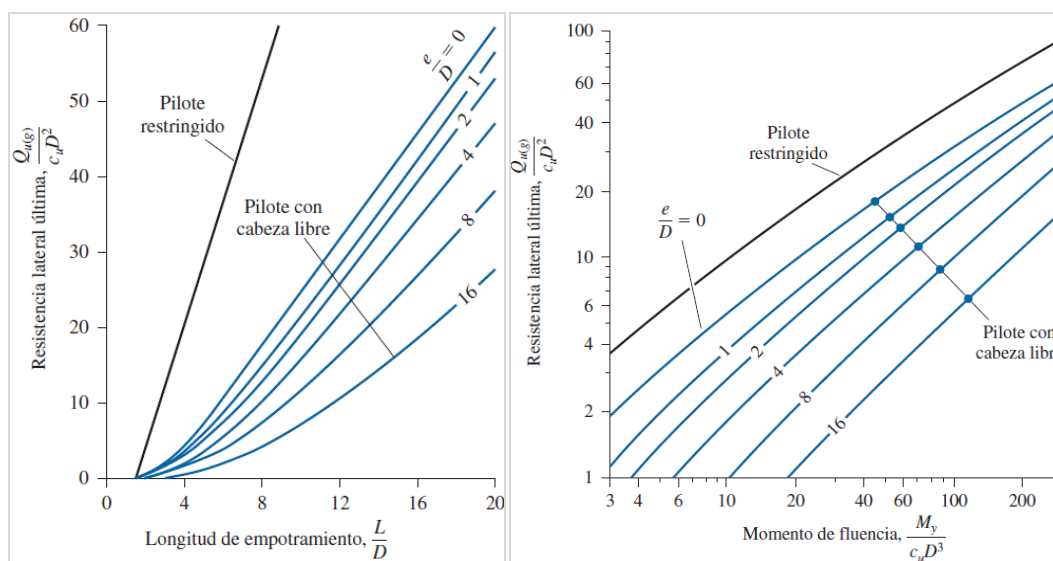
Ec. 10.1

De la *Figura 10.3* se extrae un valor de $M_y/(C_u \cdot D^3)$ de 20 para pilote restringido, por lo que el momento de fluencia que debe resistir debe ser igual o mayor a 3.83 Ton.m (véase la *Ec. 10.2*).

$$M_y = 20 \cdot 71 \text{ kPa} \cdot (0.3 \text{ m})^3 \text{ KN.m} = 38.34 \frac{\text{KN}}{\text{m}} = 3.83 \text{ Ton.m}$$

Ec. 10.2

FIGURA 10.3 CARTAS DE EVALUACIÓN DE CAPACIDAD DE CARGA LATERAL PARA PILOTES CORTOS Y LARGOS RESPECTIVAMENTE



FUENTE: DAS (2012).

La capacidad de carga lateral del pilote en el espesor de suelo a estabilizar se determina con la teoría de capacidad portante para vigas continuas de acuerdo con Cornforth (2005) y Suárez (2009). Para las arcillas, su valor es de $q_h(\text{kPa})=6 \cdot C_u$ en la superficie y de $q_h(\text{kPa})=9 \cdot C_u$ en profundidades mayores a 10D.

La resistencia no drenada del suelo por encima de la superficie de falla (C_u) es de 36 KPa para el suelo superior, según los resultados del sondeo 7. Con lo anterior se obtienen valores de 216 kPa para la superficie, de 324 Kpa para la base y un valor medio de 270 Kpa. Para una longitud de 4 m y un diámetro de 0.3 m el valor de la carga última que resiste el pilote es:

$$Q_n = 270 \text{ KPa} \times 4 \text{ m} \times 0.3 \text{ m} = 324 \text{ KN} \quad \text{Ec. 10.3}$$

Dado que los pilotes trabajan en grupo se aplica una reducción por efecto de grupo, según Conforth (2005) para los pilotes espaciados 2D es de 0.83. Aunque en este caso la separación es de 3D, por lo que el factor es cercano a 1, usando el valor de Conforth la resistencia efectiva es de 269 kN.

Al asumir el cortante requerido de 100 KN como la carga horizontal total que transmite el suelo al pilote resulta un factor de seguridad de 2.69, indicando una condición segura que no genera un estado plástico y por tanto el suelo no fluye entre los pilotes.

El módulo de reacción que se debe considerar para el diseño estructural de los pilotes se calcula de acuerdo con el modelo de viga continua planteado por Vesic (1961):

$$k = E_s / (D \cdot (1 - \nu^2)) \quad \text{Ec. 10.4}$$

en la que:

K = Módulo de reacción (kN/m³).

E_s = Módulo elástico del suelo.

D = Diámetro del pilote.

ν = Relación de Poisson.

El módulo elástico se deduce en función de la resistencia al corte no drenado, gracias a la relación (empírica) propuesta por Das (1999), así:

$$E_s = 250 \cdot C_u \text{ a } 500 \cdot C_u \text{ para arcillas normalmente consolidadas} \quad \text{Ec. 10.4}$$

Acorde con la resistencia del suelo, modalmente firme, se adopta la relación de $500 \cdot C_u$. Para una cohesión de 71 KPa el módulo elástico es de 35500 KPa, y la relación de Poisson se fija igual 0.50 para el escenario no drenado. Con estos parámetros se abstraen módulos de reacción para los diferentes diámetros de los pilotes, aplicables en la longitud de empotramiento (gama referida en la [Tabla 10.4](#)).

TABLA 10.4 MÓDULOS DE REACCIÓN: PROCESO 2

DIÁMETRO DE PILOTE (M)	MÓDULO DE REACCIÓN (kN/M ³)
0.3	157778
0.4	118333
0.5	94666
0.6	78889

Pantalla de micropilotes: Proceso 3

Se plantea la ejecución de una pantalla de pilotes localizada hacia la parte superior del talud, distribuida en tres niveles de acuerdo con la geometría. Su objetivo es tanto brindar confinamiento lateral para mitigar el movimiento de la corona del talud evitando el deterioro de la estructura del andén y de la cuneta, como confinar el relleno para el andén y reconstruir el pozo y la línea de alcantarillado destruido en la esquina noroccidental de la manzana 78.

La pantalla, acorde con el modelamiento de estabilidad, está armada con individuos de 0.30 m de diámetro, 8 m de longitud, distribuidos en tres (3) metros de borde libre y cinco (5) metros de empotramiento, espaciados 1 m (entre centros), y con capacidad de resistir de 50 kN de cortante. Así como en el proceso 2, la distribución de las unidades es en tres-bolillo, y están unidas con una viga cabezal.

Para el análisis de capacidad de carga lateral se asume las mismas premisas que para la pantalla del proceso 2, pero con la salvedad de que los parámetros se abstraen de los testigos del sondeo 5. Así, para el suelo de soporte, la resistencia, cu, ponderada es de 132 KPa y el arreglo geométrico integra:

Empotramiento del pilote bajo la superficie crítica. $L=5$ m.

Diámetro de los pilotes. $D=0.3$ m.

Excentricidad. $e=0$ m (se asume un pilote restringido por la condición de confinamiento a nivel de la superficie de falla crítica)

Dado que $L/D=16.6$, el pilote se comporta como pilote largo. Al asumir un empotramiento $L/D=16$ y pilotes no restringidos con $e/D=0$, de la Figura 10.3 se obtiene un valor de $Q_{ug}/C_u \cdot D^2$ igual a 47. De la expresión anterior, se obtuvo un valor de 558 KN para Q_{ug} , con un factor de seguridad de 11 con respecto al cortante requerido de 50 kN por pilote.

El momento de fluencia, que será base para el diseño estructural del pilote, se determina a partir de la geometría y de la carga horizontal requerida (véase la Ec. 10.5) que, en este caso, se considera igual al cortante requerido que es de 50 kPa.

$$\frac{Q_{ug}}{C_u \cdot D^2} = \frac{50 \text{ KN}}{132 \text{ KPa} \cdot (0.3 \text{ m})^2} = 4.21 \quad \text{Ec. 10.5}$$

La Figura 10.3 arroja un valor de 3.6 para $M_y/(C_u \cdot D^3)$, por lo que el momento de fluencia que debe resistir el pilote debe ser igual o mayor a 1.28 Ton.m, según se indica en la Ec. 10.6.

$$M_y = 3.6 + 132 \cdot 0.3^3 \text{ KN.m} = 12.8 \frac{\text{KN}}{\text{m}} = 1.28 \text{ Ton.m} \quad \text{Ec. 10.6}$$

La resistencia lateral del pilote sobre el suelo por encima de la superficie de falla se evaluó con los lineamientos empleados para el proceso 2. Para este proceso el valor de C_u para el suelo superior es de 36 kPa (resultado promedio del sondeo 7) con lo que se obtiene un valor de Q_h , en superficie de 216 kPa, en la base de 324 Kpa y un valor medio de 270 Kpa. Para una longitud de 3 m y un diámetro de 0.3 m el valor de la carga última que resiste el pilote es:

$$Q_h = 270 \text{ Kpa} \cdot 3 \text{ m} \cdot 0.3 \text{ m} = 243 \text{ KN} \quad \text{Ec. 10.7}$$

Dado que los pilotes trabajan en grupo se puede aplicar una reducción por efecto de grupo, para los pilotes espaciados 2D el factor de reducción acorde con Cronforth (2005) es de 0.83. En este caso la separación es de 3D por lo que el factor resulta cercano a 1, y al usar 0.83 la resistencia efectiva es de 201.70 kN. Al emplear el cortante requerido de 50 kN como la carga horizontal total que transmite el suelo al pilote resulta un factor de seguridad de 4, lo que indica una condición segura que no genera un estado plástico y por tanto el suelo no fluye entre los pilotes.

El Módulo de reacción se determinó igual que en el proceso 2, para una cohesión de 132 KPa, el valor del módulo de elasticidad es de 66000 KPa y la relación de Poisson se asume como 0.50 para condición no drenada. Con estos parámetros se obtiene el módulo de reacción para diferentes diámetros de pilote, plasmados en la [Tabla 10.5](#), estos valores pueden ser aplicados en toda la longitud de empotramiento.

TABLA 10.5 MÓDULOS DE REACCIÓN: PROCESO 3

DIÁMETRO DE PILOTE (M)	MÓDULO DE REACCIÓN (kN/M3)
0.3	293333
0.4	220000
0.5	176000
0.6	146666

Pantalla de micropilotes: Proceso 4

Se proyecta la construcción de una Pantalla de micro pilotes, que permitirá brindar confinamiento lateral en la parte superior del talud e interceptar superficies de falla potenciales, distribuidos en tres-bolillo, con longitud de 10 m, separación de 1 m en el sentido longitudinal y diámetro de 0.3 m. La longitud libre de los pilotes encima de la superficie potencial de falla es de 4m y la longitud de empotramiento en el relleno estable y en el suelo residual de la arcillolita es de 6m. La resistencia al cortante para adquirir la condición de estabilidad requerida es de 100 kN, para integrar los pilotes se requiere la construcción de una viga cabezal.

Para el análisis de capacidad de carga lateral se asume el mismo comportamiento indicado en el proceso 2. En este caso los parámetros se relacionan con los resultados del sondeo 4. Para el suelo de soporte del pilote, el valor de C_u ponderado es de 81.8 kPa con los siguientes parámetros geométricos:

Empotramiento del pilote bajo la superficie crítica. $L=6$ m

Diámetro de los pilotes. $D=0.3$ m

Excentricidad. $e=0$ m (se asume un pilote restringido por la condición de confinamiento a nivel de la superficie de falla crítica)

Dado que $L/D=20$, se comporta como pilote largo. Asumiendo un empotramiento $L/D=16$ y un pilote no restringido con $e/D=0$, de la [Figura 10.3](#) se obtiene que $Q_{ug}/C_u \cdot D^2$ es 60, resolviendo para Q_{ug} resulta un valor de 441 kN con un factor de seguridad de 4.4 en relación al cortante requerido de 100 kN por pilote.

El momento de fluencia requerido para el diseño estructural del pilote se determina con la geometría y la carga horizontal como punto base (Véase la [Ec. 10.8](#)) en este caso la carga lateral solicitada a nivel de la superficie crítica se considera igual al cortante de 100 kPa.

$$\frac{Q_{ug}}{C_u * D^2} = \frac{100 \text{ KN}}{81.8 \text{ KPa} * (0.3 \text{ m})^2} = 13.58 \quad \text{Ec. 10.8}$$

De la *Figura 10.3* se extrae un valor de 15 para la expresión $M_y / (C_u * D^3)$, por lo que el momento de fluencia que debe resistir el pilote debe ser igual o mayor a 3.3.1 Ton.m (véase la *Ec 10.9*)

$$M_y = 15 * 81.8 \text{ KPa} * (0.3 \text{ m})^3 \text{ KN.m} = 32.9 \frac{\text{KN}}{\text{m}} = 3.31 \text{ Ton.m} \quad \text{Ec. 10.9}$$

La resistencia lateral del pilote sobre el suelo por encima de la superficie de falla se evaluó siguiendo el procedimiento del proceso 2. Para el proceso 4 el valor de C_u es de 54.5 KPa para el suelo superior (resultados del sondeo 4). Con lo anterior se calcula que el valor de Q_h en superficie es de 327 KPa y en la base es de 490 KPa, tomando una variación lineal de 408 KPa. Para una longitud de 4 m y un diámetro de 0.3 m el valor de la carga última que resiste el pilote es de 489.6 KN.

$$Q_h = 408 \text{ KPa} * 4 \text{ m} * 0.3 \text{ m} = 489.6 \text{ KN} \quad \text{Ec. 10.10}$$

Se aplica una reducción dado que los pilotes trabajan en grupo, para el caso de pilotes espaciados 2D el factor de reducción es 0.83 según Cronforth (2005). En este caso se usa este valor, discriminando que la separación es de 3D, para obtener una resistencia efectiva de 406.4 kN.

Se considera el cortante requerido de 100 KN como la carga horizontal total que transmite el suelo al pilote y se calcula un factor de seguridad de 4, lo que indica una condición segura que no genera un estado plástico y por tanto el suelo no fluye entre los pilotes.

TABLA 10.6. MÓDULOS DE REACCIÓN: PROCESO 4

DIÁMETRO DE PILOTE (M)	MÓDULO DE REACCIÓN (kN/M3)
0.3	181778
0.4	136333
0.5	109067
0.6	90889

El Módulo de reacción se determinó igual que en los procesos anteriores. Para una cohesión de 81.8 KPa, el valor del módulo de elasticidad es de 40900 KPa, la relación de Poisson se asume como 0.50, para condición no drenada, y con estos parámetros se determinaron los valores de módulo de reacción, plasmados en la *Tabla 10.6*, para diferentes diámetros de pilote (estos valores pueden ser aplicados en toda la longitud de empotramiento).

Condiciones para diseño estructural

Los aspectos señalados en los siguientes párrafos son condiciones que se sugiere considerar para el diseño de estructuras, sin que esto limite al especialista en la elaboración de sus modelos de análisis y de sus diseños. Los pilotes se deben diseñar para que resistan los valores de cortante requeridos, para cada uno de

los procesos (100 KN para los procesos 2 y 4 y 50 KN para el proceso 3). Debido al diámetro de los pilotes, deben quedar reforzados longitudinalmente, para el momento de fluencia, en todo el tramo.

En el diseño estructural es posible utilizar un diagrama de presiones equivalente (un diagrama triangular que se asimile al diagrama de presiones de tierras) en la longitud libre del pilote que genere el valor del cortante requerido en la base del tramo libre. Los módulos de reacción que se recomiendan para cada proceso deben ser utilizados para el tramo empotrado. El modelo estructural utilizado debe recrear, en lo posible, la distribución de pilotes en tres-bolillo y el uso de la viga cabezal para obtener una respuesta que represente el comportamiento de los pilotes. El diseño estructural se incluye en el Anexo L.2.

10.2.4 PERFILADO

Este numeral es una recomendación y no integra la solución planteada. En caso de ejecutarse, el constructor deberá realizar estudios detallados para cada proceso. Para el proceso 1 se plantea como alternativa de estabilización la ejecución de la reconformación geométrica de la parte baja y media del flujo, con el fin de reducir el nivel de amenaza cerca al área urbanizada, para este propósito se proyecta la descarga de la masa movilizadora partiendo desde el pie (cota promedio 2960 msnm) con un talud de 2.5H:1V de inclinación, hasta la cota 2966.8 en la que se conforma una berma de 2 m de ancho, a partir de ahí continua un talud con inclinación 2.5H:1V hasta la cota 2972.2, en donde se conforma otra berma de 2 m de ancho. A partir de este nivel se extiende un talud con pendiente 5.8H:1V hasta la cota 2983.3, en este nivel, el corte continúa ascendiendo con un talud de 2.5H:1V hasta alcanzar la cota 2991.4 donde se proyecta una berma de 2 m. El corte sigue avanzando hasta el nivel 2997.7 con inclinación 2.5H:1V en donde se plantea otra berma de 2 m. Finalmente sigue un corte con inclinación 2H:1V hasta interceptarse con la superficie del terreno actual dejando dos bermas intermedias de 2 m en las cotas 3007.84 y 3012.9. De acuerdo con la geometría del perfil y el ancho medio del proceso, resulta un volumen de corte aproximado de 22000 m³, que debe ser retirado del área y dispuesto en una zona de disposición de materiales de excavación que esté debidamente autorizada por la entidad ambiental competente.

Al realizar la reconformación geométrica con la geometría anteriormente descrita, se logra pasar en el depósito del flujo de una amenaza alta a una amenaza baja, por medio de una mejora importante en la estabilidad general. Para los cortes proyectados en la reconformación geométrica, el grado de estabilidad es adecuado.

Se requiere el desmonte de la cobertura por la condición de la reconformación y el tratamiento respectivo según los requerimientos ambientales para el manejo de la planta invasiva, retamo espinoso. Los taludes expuestos a medida que se avance con la reconformación, se deben revegetalizar con pastos nativos y con especies arbustivas y arbóreas que tengan buena capacidad de extracción de agua del subsuelo y que desarrollen un sistema radicular profundo para lograr un control adecuado del nivel del agua en el suelo y adicionalmente el refuerzo del depósito de flujo remanente. El tipo de especies arbustivas y arbóreas que se deben plantar, la distribución dentro el área reconformada y el manejo y mantenimiento deben ser definidos por un especialista forestal o ambiental.

Dado que el proceso 1 se emplaza por fuera del área directa de influencia de la urbanización y que la distancia de la pata del flujo hasta la urbanización es de aproximadamente 40 m se prevé que en el mediano no afecte de manera directa a la urbanización en condiciones normales, sin embargo, en condiciones extremas podría aproximarse a las viviendas. Dado que el área del proceso está dentro de predios privados

en los que no se pueden incluir las obras con presupuesto público, las obras planteadas en este sitio se dejan como una recomendación que debe ser implementada en el mediano plazo, bien por los propietarios del área o por la entidad si el predio pasa a ser público. Otro aspecto importante es, que dada la magnitud del movimiento, actividad y mecanismo de falla, se recomienda que el área de influencia directa del proceso no sea utilizada para la construcción de estructuras de uso residencial, dotacional e industrial y por el contrario se defina esta área con riego alto no mitigable. La reconfiguración geométrica de la ladera se configura en los Planos 19 y 20.

10.3 DISEÑOS ESTRUCTURALES

Los diseños estructurales están orientados a la determinación del refuerzo para las pantallas de pilotes 2, 3 y 4. Adicionalmente se detallan las consideraciones técnicas y las memorias de cálculo para los canales y las estructuras de entrega a la quebrada los Toches. Lo anterior se compila en el Anexo L.2, y los detalles constructivos en los planos 21 a 44.

10.4 DISEÑOS HIDRÁULICOS

De acuerdo con los resultados de los estudios geológicos, geomorfológicos y los análisis multitemporales del área, se concluye que con anterioridad a la ejecución de las obras de urbanización, existían varios drenajes naturales que fueron intervenidos por las obras y cuyo flujo interrumpido fue desviado (o dispuesto) hacia una ubicación desconocida.

Dadas las características geológicas del área y la litología del suelo, es imposible que el subsuelo retenga agua debido a la baja permeabilidad, no obstante, las unidades hidrogeológicas se componen de materiales especialmente porosos en la parte superior y de una intercalación de matearles arcillo arenosos en la inferior.

Los primeros pertenecen a los cuerpos cuaternarios tanto naturales como antrópicos y los segundos a la secuencia estratigráfica de la Formación Bogotá, y se concluye que existe flujo subterráneo desde lo más alto del área, en la parte oriental, hacia la más baja al occidente.

Sin embargo, se debe considerar que la existencia de agua subsuperficial transcurre exclusivamente a lo largo de los diferentes cuerpos cuaternarios, en dirección este – oeste, sin acumularse. Este tipo de agua se ha logrado definir por medio de las lecturas de los cuatro piezómetros instalados.

Por otra parte, se evidenció la acumulación de aguas superficiales en el área localizada inmediatamente al oriente de la urbanización, durante la visita de campo y se corrobora la información con testimonio de varios habitantes de la urbanización:

Parte de las aguas superficiales se infiltran y escurren por cunetas y andenes que presentan multitud de grietas que facilitan su ingreso al subsuelo dentro del área urbanizada. En conclusión, es necesario interceptar el flujo subsuperficial que ingresa al área de la urbanización desde el oriente y canalizar la parte de escorrentía superficial proveniente de la ladera adyacente, con la misma localización.

10.4.1 OBRAS PROPUESTAS

Con miras a captar y conducir el flujo subsuperficial se propone la construcción de trincheras orientadas de norte a sur, con profundidades variables entre 2,50 m y 3,0 m, sobre las que se colocarán cunetas de captación y conducción. Las aguas captadas por estas estructuras se dispondrán, mediante tuberías de PVC (con cuatro pulgadas de diámetro para las trincheras) y construyendo estructuras de disipación y acumulación de sedimentos en las conducciones finales de las cunetas a la quebrada Los Toches, cuya capacidad hidráulica es suficiente, de acuerdo con los estudios realizados.

10.4.2 DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES DE DISEÑO

Caudal en las trincheras

Para el cálculo del caudal que se capta y conduce por las trincheras, se recurrió a la fórmula de Darcy:

$$Q = K * A * I \quad \text{Ec. 10.11}$$

En la que Q es el caudal que llega a la trinchera desde el terreno adyacente, k el valor de la permeabilidad de los suelos e I la pendiente hidráulica del flujo.

El valor de K, de $45 \cdot 10^{-7}$ m / s, se obtuvo de los resultados del estudio hidrogeológico; para efectos de determinación de la pendiente, se adoptó una distancia de abatimiento del nivel freático de 100 metros desde la trinchera hacia el oriente, por tanto, la pendiente obtenida fue de $2,5 \cdot 10^{-2}$ m / m, para una trinchera de 2,50 m de altura. El área aferente a la trinchera No 1 se obtuvo con base en su longitud, desde la parte sur de la urbanización hasta el sitio de disposición en la estructura de entrega que conducirá el agua hasta la quebrada.

El caudal de la trinchera No 1, que por la extensión del área aferente y por las características de acumulación de agua superficial al oriente, es el de mayor valor ($1,8 \cdot 10^{-3}$ l/s) es razonable si se consideran las características del suelo en el que ocurre el flujo.

Caudal en las cunetas

La captación y conducción de la escorrentía superficial se hará mediante cunetas localizadas en la parte superior de las trincheras, con excepción de la trinchera No 4 sobre la que no se colocarán.

Para el cálculo del caudal de diseño empleó del método Racional:

$$Q = C * I * A \quad \text{Ec. 10.12}$$

En la que:

Q es el valor del caudal de diseño, C el coeficiente de escorrentía del área aferente a la cuneta e I la intensidad de precipitación, valor captado de las curvas IDF deducidas para el área en estudio. La recurrencia utilizada es de cinco (5) y de tres (3) años y el tiempo de concentración es de quince (15) minutos.

Los valores empleados para cálculo fueron:

- $C = 0.3$. Para la cuneta No 1, pues su área aferente está cubierta de rastrojo, sus suelos son de baja permeabilidad y su pendiente es alta.
- $C = 0,7$. Para las cunetas 2 y 3, cuya área aferente corresponde a calles y andenes en concreto, con algunas fisuras y grietas.

El área aferente a la cuneta No 1 es de 1,57 Ha y de 327 m² para las 2 y 3. El período de recurrencia para el aguacero de diseño, en las áreas de cunetas 2 y 3 fue de 3 años, según la norma de la EAAB (Véase la [Tabla 10.7](#)).

TABLA 10.7 CÁLCULO DE PRESIÓN PARA EL DISEÑO ESTRUCTURAL DE ENTIBADOS

CUNETA	ÁREA	C	TR (AÑOS)	I (MM/HR.)	CAUDAL (L/S)
1	1,57 Ha	0.3	5	70	92
2 y 3	326.6 m ²	0.7	3	60	4

FUENTE: PECK (1969)

La cuneta No 1 será de sección rectangular de 0,50 m de ancho y 0,18 m de altura y estará dotada de tapa para protección. Las cunetas 2 y 3 serán de sección triangular de 0,30 m de ancho y 0,10 m de profundidad. Todas ellas se construirán en concreto.

Dimensionamiento de Cunetas

Se efectúa mediante la fórmula de Manning:

$$Q = (A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}) / n \quad \text{Ec. 10.13}$$

Dónde:

A = área

R= Radio hidráulico

S= pendiente

N= rugosidad del canal o conducto

De la aplicación de la anterior fórmula se obtuvo, con ayuda de nomogramas, la profundidad de flujo de cada uno de los canales para cálculo de caudales en conductos con flujo uniforme. A esta profundidad de flujo se sumó el borde libre. La velocidad fue en todos los casos mayor a 1,0 m/s, y por ende, superior a la especificada por la EAAB para evitar acumulación de sedimentos.

Disipadores

Dada la gran pendiente de las laderas por las que transitarán los canales de entrega a la quebrada, se propone la construcción de disipadores de energía tipo escalinata, de peldaños o escalones de altura variable, de manera que se ajusten, en cuanto sea posible, a la geometría del terreno. Los cálculos se hicieron con las ecuaciones para flujo rápidamente variado de Chow (1988).

$$L_d = 4.3 \cdot D \cdot 0.27 \cdot H \quad \text{Ec. 10.14}$$

En la que:

Ld es la distancia que alcanza el chorro de agua en la parte inferior de la estructura a partir del inicio de la caída.

El número de caída D está dado por la expresión:

$$D = (q)^2 / g * H^3 \quad \text{Ec. 10.15}$$

En la que:

q = caudal por unidad de ancho del conducto

g = aceleración de la gravedad

H = altura de la caída.

La longitud obtenida en cada caso particular, para diferentes alturas y Número de caída D fue inferior a la disponible para el flujo en el escalón inferior. Las memorias de cálculo hidráulico de las estructuras están en el Anexo L.3 y la localización en planta y perfil con los detalles constructivos en los planos 11, 12 y 13.

10.4.3 MANTENIMIENTO Y RECONSTRUCCIÓN DE LA RED DE DRENAJE SUPERFICIAL

Con las labores del trabajo de campo y de diagnóstico de las redes de acueducto y alcantarillado se diagnosticó que existen varias estructuras de drenaje superficial y de alcantarillado que están en mal estado, estructuralmente han fallado y su funcionamiento es deficiente, provocando infiltraciones y afectaciones a la estabilidad del área de estudio. Adicionalmente, hay faltas en el mantenimiento y la limpieza periódica sumado a la disposición de residuos sólidos y sedimentos que han colmatado rejillas y sumideros para descarga de la red de drenaje superficial, que generan el escurrimiento incontrolado de flujo por zonas verdes y vías provocando infiltración e incremento del nivel de agua subsuperficial bajo la urbanización.

Otro aspecto importante son las grietas en la unión entre andenes y viviendas debido a movimientos diferenciales, que alcanzan aberturas de hasta 8 cm, lo que se acentuada hacia el costado norte de las manzanas 63, 61 y 78, que corresponde con el borde el talud que cae hacia la quebrada y que está afectado por movimientos lentos (Procesos 2 y 3), las grietas sumadas a la descarga directa del agua lluvia de la cubierta de las viviendas al andén, favorecen la infiltración del agua al depósito del relleno, generando incremento del nivel piezométrico y deterioro del relleno.

Una medida de mitigación no estructural complementaria a las obras descritas en los numerales anteriores, es la reconstrucción de los tramos de cunetas superficiales localizadas en los bordes de andenes de las vías peatonales desde la manzana 63 hasta la 81. Para la reconstrucción de las cunetas se debe utilizar la sección hidráulica existente, en esta tarea se debe hacer la demolición del tramo afectado, excavar 0.3 m de espesor bajo el nivel actual de la cuneta y hacer el reemplazo del material existente por material tipo recebo compactado mínimo al 90% de la densidad máxima obtenida en el ensayo de Proctor modificado hasta recuperar el nivel de fundación de la cuneta. Sobre la superficie del relleno terminado se debe construir la cuneta de concreto con la sección actual.

Se precisa que la junta de la Cuneta con el andén se debe sellar con el uso de emulsión asfáltica u otro material impermeabilizante y adecuado para el sellado de juntas y fisuras en concreto. La reconstrucción de

las cunetas se puede hacer con concreto fundido in-situ o con segmentos de cunetas prefabricadas que deben ser debidamente impermeabilizadas en las juntas o se debe disponer de un sistema de instalación en forma de tejado.

Se recomienda hacer mantenimiento a los tramos de cunetas que aunque estén en buen estado, están colmatadas o con fisuras transversales y longitudinales a lo largo de las juntas con los andenes y bordillos. Este mantenimiento consiste en realizar limpieza general de la cuenta retirando sedimentos, vegetación, basuras y demás obstrucciones que afecten su correcto funcionamiento. En las fisuras y grietas se debe retirar el material de relleno en toda su profundidad y limpiar las paredes con agua a presión para facilitar el proceso. Una vez eliminado el relleno de las fisuras y grietas, se procede a inyectar una lechada o una emulsión asfáltica para rellenar las fisuras completamente y enrasar hasta el nivel de la superficie actual de las cunetas, también es posible aplicar una lechada de mortero plástico para impermeabilizar.

El sellado de grietas y fisuras en las cunetas se debe hacer cuando su abertura no sea mayor a 2 cm y estén espaciadas más de 2 m en el caso de las grietas transversales o con longitudes no mayor a 3 m en caso de las longitudinales, en caso contrario se debe hacer la reconstrucción de la cuneta.

La primera afectación en los andenes son las grietas longitudinales en el contacto del andén con las viviendas, que en algunos casos alcanzan los 10 cm de abertura. Para evitar la infiltración del agua lluvia proveniente de la cubierta de las viviendas a través de las grietas se recomienda realizar un sellado. Para tal fin es necesario realizar una limpieza de las grietas retirando el relleno de sedimentos, basuras, raíces y musgos con herramientas manuales. Posteriormente, se debe lavar las paredes de las grietas con agua a presión para eliminar restos de suelo, musgos y lamas adheridas. Así, la superficie del concreto o mampostería será expuesta para rellenar las grietas con una lechada de mortero plástico impermeabilizante, hasta completar el espesor de la palca del andén.

Una vez se rellene la grieta en su totalidad, se debe enrasar el mortero con el nivel de la placa del andén o escaleras hasta dejar una superficie con un buen acabado, considerando que en los sitios donde las grietas coincidan con algún tramo de escaleras, se debe disponer una formaleta para que quede bien conformado el paso con el relleno de mortero. El mortero debe ser para relleno (Numeral D.3.5. "Mortero de relleno" del reglamento NSR-10) y tener una resistencia mínima a la compresión de 17.5 MPa. En tramos aislados de andén, fracturados y destruidos en su placa, es recomendable su reconstrucción. Para esta reconstrucción se sugiere reemplazar el suelo de soporte actual por un espesor de 0.3 m de una capa de recebo compactado a mínimo el 90% de la densidad máxima obtenida en el ensayo de Proctor modificado de igual espesor, y sobre este mejoramiento se debe fundir la placa de concreto del andén. En el *Plano 11* se plasma los tramos en los que es pertinente acometer la reconstrucción o el mantenimiento de las cunetas, y el sellado de las grietas entre los andenes y las viviendas, esto a fin de evitar la filtración de agua. Y en el *Plano 14* se reúnen los detalles constructivos.

10.4.4 RECONSTRUCCIÓN DE LA RED DE ALCANTARILLADO: MANZANA 71

Para el pozo PZ-140 y líneas de alcantarillado que llegan y salen de este, existe un daño estructural debido al desplazamiento del suelo en el área del pozo, este daño involucra la rotura y el taponamiento del pozo, la posible rotura de las tuberías de entrada y también la de salida, que han provocado la salida del flujo de aguas residuales a superficie y la descarga no controlada a la quebrada los Toches. La salida de flujo de agua residual ha erosionado el soporte del andén ocasionando la inclinación y rotura de la placa del andén,

que debe ser reconformada a suposición inicial. Para restituir la red de alcantarillado se requiere la reconstrucción tanto del pozo como de los tramos de alcantarillado que llegan y salen.

Se requiere la reposición de un tramo de tubería de 12" de 27.51 m entre el pozo PZ-141 y PZ140 y un segundo tramo de 12 m aproximadamente con diámetro de 16" que llega al pozo pz-140 desde el pozo PZ-139. Dado que el pozo pz-140 está destruido, no fue posible determinar el diámetro de salida y el lugar de descarga, sin embargo, con la información de redes de alcantarillado disponible en el sistema de información de la EAAB, la salida del pozo queda hacia el norte cruzando la quebrada los Toches para seguir por una línea de alcantarillado que avanza por la margen derecha de la quebrada (Costado norte del mismo), por el movimiento del suelo y la disposición inadecuada de rellenos antrópicos heterogéneos no es posible verificar la existencia de la línea de alcantarillado, ni el pozo ubicado entre la margen izquierda de la quebrada y el pozo PZ-140 que se indica en la información disponible.

Por lo anterior se plantea la reconstrucción del pozo PZ-A localizado sobre la margen izquierda indicado en los planos de diseño y la reconstrucción de la línea entre los pozos PZ-140 y PZ-A y entre los Pozos PZ-A y PZ-B, ese último localizado en la margen derecha de la quebrada. Es importante aclarar que previo a la construcción del tramo entre el PZ-A y PZ-B se deben localizar los pozos existentes y verificar su estado y funcionamiento, si están en buen estado y hay una conexión adecuada entre ellos solo se requiere la restitución de la conducción entre el pozo PZ-140 y el pozo PZ-A.

En esta área, además de la reconstrucción del pozo y las conducciones de aguas servidas, se requiere la reposición de las placas del andén de la vivienda para restablecer su serviciabilidad y mejorar las condiciones de acceso a las viviendas del costado norte de la manzana. Para la reconstrucción de esta placa se requiere la demolición de la que está en el tramo que presenta desnivel y agrietamientos importantes y reemplazar el relleno de soporte actual del andén por una capa de recebo con espesor de 0.3 m a 0.6 m de compactado mínimo al 90% de la densidad máxima obtenida en el ensayo de Proctor modificado, también se requiere la construcción de la placa en concreto de 21 Mpa de f'c con espesor de 0.1m. Adicionalmente, es necesario reconstruir la cuneta de drenaje superficial aledaña al andén, con el mismo dimensionamiento de la sección existente. La descarga se realiza en el pozo PZ-140 mediante un sumidero con rejilla. La localización en planta y perfiles, y los detalles constructivos de las intervenciones indicadas en este numeral se encuentran adjuntadas en los Planos 11 y 14.

10.4.5 MANTENIMIENTO Y LIMPIEZA DE SUMIDEROS, REJILLAS Y POZOS

Uno de los grandes inconvenientes en la urbanización es el deficiente funcionamiento de las rejillas, de sumideros y de varios pozos de inspección. De los dos primeros, la mayoría están colmatadas parcial o totalmente con sedimentos, residuos sólidos de las viviendas y desechos de construcción, lo que obedece a la ausencia de un mantenimiento periódico.

Con el fin de rehabilitar el funcionamiento de las estructuras, se recomienda hacer la cuidadosa limpieza de los sumideros, desarenadores, rejillas y pozos, y la reposición de las rejillas, de las tapas de los sumideros y de los pozos destruidos. El proceso de limpieza se hará de manualmente y los residuos extraídos se manejarán acorde con la normatividad que los rige. Si bien este proceso está incluido y cuantificado en el presupuesto de obra, la limpieza de las tuberías debe ser atendida por la Empresa de Acueducto de Bogotá (El Acueducto), pues es la única entidad autorizada y porque se requiere de herramientas especializadas para el sondaje y la extracción de los sedimentos.

10.4.6 OTROS ASPECTOS

Uno de los aportes más importantes en la de infiltración proviene de las cubiertas de las viviendas, desde la manzana 63 hasta la 81, carentes de canaletas de recolección, que desaguan a los canales hoy día vigentes o al sistema de alcantarillado. Esta anomalía permite (y fomenta) que el agua descienda por los andenes y aumente la infiltración en las fisuras y en las juntas de los corredores peatonales, en las franjas verdes y por las dilataciones. El arreglo arquitectónico de las manzanas y de las viviendas por terrazas genera que las cubiertas queden dispuestas de forma tal que en la colindancia no haya elementos impermeables que interrumpen o impidan la entrada del agua lluvia por entre los muros. Lo que ocasiona humedad en todos los pisos.

A fe de reducir los aportes de las viviendas es pertinente que se doten las cubiertas de canaletas colectoras y de bajantes, que descarguen directamente al sistema de canales superficiales de los peatonales o a la red de alcantarillado. Así mismo, para reducir y, si es factible, evitar la infiltración por los linderos entre las viviendas, es convenientes (y necesario) impermeabilizar las paredes expuestas al impacto y a los residuos de la salpicadura de la lluvia, y poner tapa juntas de adhesivos o metálicas para dirigir el flujo a la cubierta.

10.5 CANTIDADES DE OBRA, PRESUPUESTO Y CRONOGRAMA

Este acápite reúne: los precios unitarios de las obras de mitigación y de las de mantenimiento y reconstrucción de la infraestructura, la evaluación del presupuesto, el programa de inversión, el cronograma y el estudio del mercado. El análisis de precios unitarios se lleva a cabo con base en precios de referencia del Instituto Nacional de Vías (INVÍAS), del Instituto de Desarrollo Urbano (IDU) y abstraídos de concursos y procesos licitatorios promovidos por el IDIGER y publicados en la página del SECOP. Unos y otra con vigencia del año 2018.

Adicionalmente, se consultan precios de insumos, procedentes de proveedores locales como HOMECENTER, PAVCO, etc. La Tabla 10.8 y la Tabla 10.10 compilan el listado de ítems y precios unitarios y el Anexo L.4.1 los análisis de precios unitarios para los ítems definidos. Las obras de la reconfiguración morfológica del proceso 1 no se incluyen en las cantidades ni en el presupuesto, puesto que están por fuera del alcance del proyecto, éstas deberán evaluarse en estudios particulares y detallados. La deducción de las cantidades de obra se apuntala en la planta de diseño y en los detalles constructivos, elementos congregados desde el Plano 11 hasta el Plano 44, y adopta como premisas el ajuste por proyección horizontal y por el factor por desperdicio para los materiales de construcción. Éste último fijado en el 10%. El Anexo L.4.1 compila las memorias de cálculo de las cantidades de obra, los análisis de precios unitarios y el presupuesto. Sin dejar de lado la ponderación del monto de la administración (en porcentaje) y de los planes de gestión Social, o SISOMA, y de manejo de tránsito y Forestal.

Para el estudio de mercado se consultaron bases de datos de precios unitarios oficiales de entidades públicas y privadas, sitios web de grandes superficies encargadas de la venta de materiales para construcción, presupuestos de referencia del IDIGER para el año 2018, consultados del SECOP, y cotizaciones de productos especiales hechas directamente con fabricantes para estimar precios de referencia y rendimientos. El Anexo L.4.2 integra los archivos auscultados. Para deducir las distancias de traslado de los materiales, se consultaron los recorridos promedio de cada grupo de proveedores, acorde con el producto que ofrece, y se

seleccionaron los menores a la Ciudadela Santa Rosa. Sin embargo, éstas deben asumirse sólo como una guía. El contratista encargado de la construcción tendrá total autonomía para definir sus proveedores, sus desplazamientos y estructurar su programa de obra. La [Tabla 10.8](#) agrupa los proveedores indagados y escrutados.

Al amparo de lo anterior, en la [Tabla 10.9](#) y en la [Tabla 10.10](#) se condensan las cantidades de obra y el presupuesto aproximado para los componentes de la solución propuesta. Bajo estos preceptos la duración de las obras, se pondera en 6 meses, tal y como se desglosa en el cronograma (contenido en el [Anexo L.5](#)) Instrumento, a su vez, empleado para la elaboración del flujo de caja mensual, reunido en el mismo anexo.

TABLA 10.8 PROVEEDORES

PROVEEDOR	UBICACIÓN	DISTANCIA (Km)	DISTANCIA PROMEDIO (Km)
MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN GENERAL			
CONSTRURAMA	SAN JOSÉ MP CRA. 5B ESTE 94-14 SUR	8.9	10.58
HOMECENTER	CALIMA CC CL. 19 No 28-80	11.2	
HOMECENTER	AV. CRA 68 No 37 SUR	12	
EASY	CENTRO MAYOR CL. 34A SUR No 34D-50	8.9	
EASY	GAITÁN CORTPES CL 58D SUR No 51-3	11.9	
CONCRETOS			
CEMEX	CONCRETOS PLANTA SUR AV- 71 SUR	9.4	13.9
HOLCIM	PLANTA CONCRETO HOLCIM, CL 22C, BOGOTÁ	18.4	
Prefabricados			
Titán	PLANTA COTA – CUNDINAMARCA, CRA 4 CLL 10	38.5	25.7
El Condor Prefabricados S.A	KM 2 VÍA FUSAGASUGÁ, VEREDA PANAMÁ, SOACHA	22.3	
Arka Prefabricados	CLL 65 SUR No 77M-04 TORRE 2 OF 202. BOSA ESTACIÓN	16.4	
AGREGADOS PÉTREOS			
Agregados Pétreos Mondoñedo S.A.S	KM 2 VÍA FUNZA-SIBERIA	30.9	33.3
Cantera Loma Pelada	KM 5 VÍA MOSQUERA – LA MESA (SECTOR MONDOÑEDO)	35.7	
Acero de Refuerzo			
Figurados y Mallas S.A	CLL 7 No. 27-31	9.2	13.3
Gerdau Diaco	AK 19 No 19A-27 BOGOTÁ	20.3	
Ferrelug,ue S.A.S	AV CALLE 6 No 37-78	10.4	

10.6 PROCESOS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE CONSTRUCCIÓN

Este apartado lo conforman las etapas de construcción, los procesos detallados por obra y las especificaciones técnicas de construcción, que se adjuntan en el [Anexo L.6](#).

10.7 PLANES DE GESTIÓN: SOCIAL Y AMBIENTAL

Son constitutivos indispensables para la materialización del plan de acción. El primero está consignado en el Anexo M.1 y el segundo, junto con el inventario forestal, es el foco de atención del Anexo M.2.

TABLA 10.9 CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL CONTRACTUAL
1	PRELIMINARES				
1.1	LOCALIZACIÓN Y REPLANTEO	M2	1837.68	\$ 1,603.00	\$ 2,945,801.04
1.2	DESMONTE Y LIMPIEZA EN ZONAS NO BOSCOSAS	HA	0.068	\$ 142,104.00	\$ 9,663.07
1.3	DESCAPOTE (E=0.1M. INCLUYE CARGUE Y CONSERVACIÓN DE LA CUBIERTA VEGETAL PARA EMPRADIZAR AL TERMINAR LABORES, CUANDO SEA NECESARIO)	M2	680.260	\$ 2,798.00	\$ 1,903,367.48
2	EXCAVACIONES				
2.1	EXCAVACIÓN MECÁNICA EN MATERIAL COMÚN (INCLUYE MANEJO DE AGUAS DE ACUERDO CON EL NUMERAL 10.5.1 DE CAPÍTULO 10 DEL INFORME. NO INCLUYE ENTIBADOS, CARGUE, RETIRO NI DISPOSICIÓN FINAL)	M3	1261.56	\$ 5,207.00	\$ 6,568,942.92
2.2	EXCAVACIÓN MANUAL EN MATERIAL COMÚN (INCLUYE MANEJO DE AGUAS DE ACUERDO CON EL NUMERAL 10.5.1 DE CAPÍTULO 10 DEL INFORME. NO INCLUYE ENTIBADOS, CARGUE, RETIRO Y DISPOSICIÓN FINAL)	M3	10.00	\$ 27,976.00	\$ 279,760.00
3	OBRAS DE DRENAJE				
3.1	MATERIAL GRANULAR FILTRANTE (INCLUYE SUMINISTRO E INSTALACIÓN PARA CONFORMACIÓN DE FILTROS)	M3	759,41	\$ 126.455,00	\$ 96.031.191,55
3.2	MATERIAL DE RELLENO COMPACTADO PARA OBRAS VARIAS: RECONFORMACIÓN EN SALÓN COMUNAL, ANDÉN, SUMIDERO PARA PZ-140, TRINCHERAS DRENANTES, CUNETAS Y RECONSTRUCCIÓN ALCANTARILLADO (INCLUYE SUMINISTRO E INSTALACIÓN)	M3	223,26	\$ 117.250,00	\$ 26.177.235,00
3.3	DRENES HORIZONTALES (INCLUYE SUMINISTRO E INSTALACIÓN)	M	205,00	\$ 171.918,00	\$ 35.243.190,00
3.4	SUMIDERO PARA POZO DE INSPECCIÓN (INCLUYE SUMINISTRO E INSTALACIÓN)	UN	1,00	\$ 321.969,00	\$ 321.969,00
3.5	LOCALIZACIÓN DE INTERSECCIONES DE REDES SUBTERRÁNEAS (INCLUYE TRANSPORTE DE EQUIPOS Y PERSONAL)	UN	19,00	\$ 861.490,00	\$ 16.368.310,00
3.6	ENTIBADO TIPO ED-1 (INCLUYE SUMINISTRO E INSTALACIÓN)	M2	100,00	\$ 24.471,00	\$ 2.447.100,00
3.7	COMPACTACIÓN DE MATERIAL SELECCIONADO IN SITU	M3	56,00	\$ 27.976,00	\$ 1.566.656,00
3.8	TUBERÍA PVC 4" (INCLUYE SUMINISTRO E INSTALACIÓN)	M	76,93	\$ 34.035,00	\$ 2.618.312,55
4	PILOTES				
4.1	EXCAVACIÓN PARA PILOTES. DIÁMETRO 0.30M	M	2030,00	\$ 111.322,00	\$ 225.983.660,00
4.2	CONCRETO PARA PILOTES F'c=28 MPA (INCLUYE SUMINISTRO E INSTALACIÓN)	M3	157,00	\$ 398.387,00	\$ 62.546.759,00

TABLA 10.10. CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO (CONTINUACIÓN)

ITEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VR. UNITARIO	VR. TOTAL CONTRACTUAL
4.3	ACERO DE REFUERZO PARA PILOTES Y VIGA CABEZAL FY=420 MPA (INCLUYE SUMINISTRO, INSTALACIÓN Y FIGURADO)	KG	85087,00	\$ 3.365,00	\$ 286.317.755,00
4.4	CONCRETO PARA VIGA CABEZAL F'C=28 MPA (INCLUYE SUMINISTRO E INSTALACIÓN)	M3	179,00	\$ 447.248,00	\$ 80.057.392,00
4.5	DEMOLICIÓN DE CABEZAS DE PILOTES DE 50CM DE ALTURA (INCLUYE CARGUE)	M3	7,84	\$ 127.301,00	\$ 997.607,02
5	CUNETAS Y ANDENES				
5.1	MANTENIMIENTO Y LIMPIEZA DE CUNETAS Y ANDENES EXISTENTES (INCLUYE RETIRO Y DISPOSICIÓN FINAL DE RESIDUOS)	M	1024,00	\$ 2.137,00	\$ 2.188.288,00
5.2	CONCRETO PARA CUNETAS SEGÚN DISEÑO F'C=28 MPA (INCLUYE RECONSTRUCCIÓN DE CUNETAS Y CUNETAS NUEVAS, ESTRUCTURA TÍPICA DE CAÍDA DE CUNETAS, SUMINISTRO E INSTALACIÓN)	M3	67,40	\$ 599.826,00	\$ 40.428.272,40
5.3	ACERO DE REFUERZO PARA CUNETAS FY=420 MPA (INCLUYE CUNETA SUBDREN NO. 1, ESTRUCTURA TÍPICA DE CAÍDA DE CUNETAS, SUMINISTRO E INSTALACIÓN)	KG	2495,00	\$ 3.339,00	\$ 8.330.805,00
5.4	ANDÉN EN CONCRETO F'C= 21 MPA E=0.10 M	M2	3,00	\$ 42.062,00	\$ 126.186,00
5.5	MURO EN CONCRETO CICLOPEO (INCLUYE SUMINISTRO E INSTALACIÓN)	M3	1,00	\$ 481.916,00	\$ 481.916,00
5.6	REPARACIÓN DE GRIETAS EN ANDENES, CUNETAS Y ESPACIOS VARIOS (INCLUYE SUMINISTRO E INSTALACIÓN)	M2	517,00	\$ 7.649,00	\$ 3.954.533,00
5.7	CONCRETO PARA DESARENADORES F'C=28 MPA (INCLUYE SUMINISTRO E INSTALACIÓN)	M3	3,04	\$ 535.251,00	\$ 1.627.163,04
5.8	ACERO DE REFUERZO PARA DESARENADORES FY=420 MPA	KG	245,12	\$ 3.359,00	\$ 823.358,08
5.9	REJILLA EN CONCRETO PREFABRICADO (INCLUYE SUMINISTRO E INSTALACIÓN)	UN	206,00	\$ 127.937,00	\$ 26.355.022,00
6	ALCANTARILLADO				
6.1	MANTENIMIENTO Y LIMPIEZA MANUAL DE POZOS DE INSPECCIÓN Y SUMIDEROS	UN	33,00	\$ 55.951,00	\$ 1.846.383,00
6.2	CONSTRUCCIÓN POZO DE INSPECCIÓN EN MAMPOSTERÍA E=0.37M (INCLUYE SUMINISTRO E INSTALACIÓN)	UN	3,00	\$ 2.708.143,00	\$ 8.124.429,00
6.3	TUBERÍA PVC U.M. EXT CORRUGADO/INT LISO U.M. (NORMA NTC 3722-1) D=12" INCLUYE SUMINISTRO E INSTALACIÓN.	M	37,00	\$ 98.996,00	\$ 3.662.852,00
6.4	TUBERÍA PVC U.M. EXT CORRUGADO/INT LISO U.M. (NORMA NTC 3722-1) D=16" INCLUYE SUMINISTRO E INSTALACIÓN.	M	50,00	\$ 165.075,00	\$ 8.253.750,00
7	DEMOLICIONES				
7.1	DEMOLICIÓN DE ANDENES Y CUNETAS (INCLUYE CARGUE Y TRASIEGO INTERNO - E=0.10M)	M2	273,84	\$ 5.779,00	\$ 1.582.521,36
7.2	DEMOLICIÓN DE POZO INSPECCIÓN (INCLUYE EQUIPOS DE DEMOLICIÓN Y CARGUE)	UN	1,00	\$ 204.607,00	\$ 204.607,00

TABLA 10.11. CANTIDADES DE OBRA Y PRESUPUESTO (CONTINUACIÓN)

8	TRANSPORTE				
8.1	TRANSPORTE Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS DE CONSTRUCCIÓN (INCLUYE CARGUE)	m3	1489,40	\$ 10.426,00	\$ 15.528.484,40
SUBTOTAL COMPONENTE DE OBRA					\$ 971.903.242,00
ADMINISTRACIÓN				29,5%	\$ 286.253.559,00
IMPREVISTOS				1,00%	\$ 9.719.032,00
UTILIDAD				5,00%	\$ 48.595.162,00
A- TOTAL COMPONENTE DE OBRA					\$ 1.316.470.995,00
B- VALOR TOTAL COMPONENTE SISOMA					\$ 82.904.543,00
C- VALOR TOTAL COMPONENTE SOCIAL					\$ 47.390.445,00
D- VALOR TOTAL COMPONENTE PMT					\$ 30.074.572,00
D- VALOR TOTAL COMPONENTE FORESTAL					\$ 7.676.636,00
Total presupuesto (A+B+C+D)					\$ 1.484.517.191,00

Nota: En el Anexo L.4.1 se incluye con Normas de Especificaciones Técnicas

10.8 PLAN DE MANTENIMIENTO

En la *Tabla 10.12* se exponen y delinear los programas de mantenimiento, y su frecuencia, pertinentes para cada obra. Su cumplimiento promueve el óptimo desempeño de las estructuras durante su vida útil.

TABLA 10.12 PLAN DE MANTENIMIENTO DE OBRAS

OBRA	MANTENIMIENTO	FRECUENCIA
CUNETAS Y CANAL SUPERFICIAL DEL SUBDRENAJE	LIMPIEZA PERIÓDICA, REPARACIÓN DE TRAMOS AGRIETADOS O AFECTADOS POR IMPACTOS U OTROS ASPECTOS Y RETIRO DE OBSTRUCCIONES.	CADA 2 MESES EN ÉPOCA DE BAJAS PRECIPITACIONES Y CADA 15 DÍAS EN ALTAS Y REPARACIONES INMEDIATAS EN CASO DE DAÑOS ESTRUCTURALES FORTUITOS.
REHABILITACIÓN Y RECONSTRUCCIÓN DE CUNETAS EXISTENTES	LIMPIEZA PERIÓDICA SUPERFICIAL PARA ELIMINAR FOCOS DE CRECIMIENTO DE PASTOS Y OTRAS ESPECIES EN LAS JUNTAS DE LAS CUNETAS, CON EL OBJETIVO DE PREVENIR EL DETERIORO POR ACCIÓN BIOLÓGICA.	CADA 6 MESES SE DEBE HACER INSPECCIONAR EL ESTADO DE LAS CUNETAS Y HACER LA LIMPIEZA Y LAS REPARACIONES QUE SE REQUIERAN.
SUBDRENAJES	RETIRO DE OBSTRUCCIONES EN LOS PUNTOS DE DESCARGA Y SUBDREN, QUE PUEDAN GENERARSE POR OXIDO, RAÍCES U OBSTRUCCIONES INTENCIONALES.	CADA AÑO, HACER VERIFICACIÓN DE SU FUNCIONAMIENTO Y LIMPIEZA INTERNA PARA DISPONER EL RETIRO DE OBSTRUCCIONES COMO ÓXIDOS, RAÍCES O BASURAS QUE PUEDAN SER INTRODUCIDAS. CADA 2 AÑOS REALIZAR LIMPIEZA INTERNA MEDIANTE INYECCIÓN DE AGUA A PRESIÓN PARA EL RETIRO DE COSTRAS DE ÓXIDOS Y DE ARCILLAS EN LA PERIFERIA DE LA ENTREGA DEL SUBDREN.
PANTALLAS DE PILOTES CON VIGA CABEZAL	LIMPIEZA PERIÓDICA EN LAS JUNTAS Y EN LA VIGA CABEZA. PRETENDE PREVENIR EL DETERIORO POR ACCIÓN BIOLÓGICA, Y ELIMINAR EL PASTO Y OTRAS ESPECIES.	ANUALMENTE SE DEBE VERIFICAR EL ESTADO DE LOS MUROS Y HACER LA LIMPIEZA Y LAS REPARACIONES LOCALES, SI SE REQUIERE.
DRENES HORIZONTALES	RETIRO DE OBSTRUCCIONES EN LOS PUNTOS DE DESCARGAS Y DENTRO DEL DRÉN, QUE PUEDAN GENERARSE POR OXIDO, RAÍCES U OBSTRUCCIONES INTENCIONALES.	ANUALMENTE VERIFICAR EL FUNCIONAMIENTO Y LIMPIEZA INTERNA PARA RETIRO DE OBSTRUCCIONES COMO ÓXIDOS, RAÍCES O BASURAS QUE PUEDAN SER INTRODUCIDAS. CADA 2 AÑOS REALIZAR LIMPIEZA INTERNA MEDIANTE INYECCIÓN DE AGUA A PRESIÓN PARA EL RETIRO DE COSTRAS DE ÓXIDOS Y DE ARCILLAS EN LA PERIFERIA DEL DRÉN.
REHABILITACIÓN DE COLECTORES Y POZOS DE ALCANTARILLADO	LIMPIEZA PERIÓDICA QUE ELIMINE OBSTRUCCIONES POR SEDIMENTOS Y BASURAS.	CADA AÑO, HACER VERIFICACIÓN DE SU FUNCIONAMIENTO Y LIMPIEZA INTERNA PARA RETIRO DE OBSTRUCCIONES.

10.9 POBLACIÓN BENEFICIADA

El plan de acción beneficia de manera directa a poco más de 4.765 personas, residentes en la Ciudadela Santa Rosa. Población que se incrementa (posiblemente hasta los seis mil) si se incorpora la asentada en las márgenes de la quebrada Los Toches, aguas abajo de la Carretera a Oriente, y que se amplía aún más, (pero en número incierto, puesto que está por fuera y distante del escenario de intervención) si se considera la de la quebrada Chiguaza, toda vez que se involucre el efecto en cadena y eventos de tercer orden (i.e. las avenidas torrenciales, gestadas por el taponamiento del cauce), pues Los Toches es su tributaria.

Y de manera indirecta favorece a los habitantes de la UPZ La Gloria (espacio territorial y de planificación a la que está incorporada la Ciudadela), cercanos a los 99.331 (Dane, 2015), y de la localidad de San Cristóbal, que bordean los 410.000 personas (Dane, 2015). El manejo o la sustracción de los escenarios de riesgo, redundan en la redistribución de los planes de inversión y de desarrollo de la unidad administrativa, lo que posibilita la intervención de otros sitios prioritarios.

CAPÍTULO 11

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

La Urbanización Ciudadela Santa Rosa, se erige al suroriente de Bogotá, en la vertiente izquierda (o austral) del río San Cristóbal, y en la microcuenca alta de Los Toches, y hace parte del espacio catastral Altos de Zipa. Su ambiente está esculpido en vastos dominios de las arcillolitas (o lodolitas) de la formación Bogotá, modificados por la antitécnica labor minera, iniciada en los años 60 pero promovida al término de los años setenta y enfatizada en los noventa, gestora por una parte del enmascaramiento de los antiguos procesos de inestabilidad (el mayor y más destacado incubado en los años 50 del siglo pasado), y por otra parte de la supresión y redefinición de la red de drenaje, y de la proliferación de los rellenos y de los depósitos mineros (con espesores entre cinco y diez metros). Cuerpos en los que se concentra el flujo subsuperficial, se implanta uno de los procesos de urbanización formal, de interés social, integrado por 625 lotes y 920 unidades residenciales, y se incuban nuevos focos de inestabilidad y de erosión interna, eventos que aunque poco frecuentes con el pasar de los años y con la mayor intensidad de las lluvias (reflejo del cambio climático) han aumentado su participación.

La Microcuenca está inmersa en el bloque tectónico regido por la sistemática de la Falla de Bogotá. La inversión de la secuencia estratigráfica en el borde oriental de los cerros y de la localidad, el marcado fracturamiento de las rocas duras (areniscas), y el replegamiento de las blandas (las arcillolitas y las lodolitas), expresado por el anticlinal que rige la ciudadela, cuyo eje se marca con rumbo desde N15E hasta N10W y perpendicular al cauce de la quebrada Los Toches, son las expresiones de este complejo.

Desde una perspectiva, litoestratigráfica y estructural, integral, en la que el Anticlinal de Zipa es pieza esencial, Santa Rosa se enmarca en la Unidad Hidrogeológica A4 (es decir responde a acuíferos discontinuos de extensión local, de baja productividad). El eje del pliegue, gracias a sus buzamientos modales que oscilan entre los 35° y los 66° en los dos flancos, y que incrementan progresivamente de sur a norte, evita la acumulación del agua subterránea y redirecciona los potenciales flujos hacia afuera de la urbanización. Por lo tanto, la presencia de aguas subterráneas propias de un acuífero de condiciones explotables es, al abrigo de los hallazgos y de los modelos geológicos inferidos (y concebidos) aquí (reproducidos en los Plano 4A, 4B y 4C), inviable.

Al amparo de los principios enunciados y de los frutos de los estudios básicos (en particular de la geología, del análisis multitemporal, de la hidrología, de la exploración geotécnica y de la hidrogeología), se desprende que, desde el punto de vista de la acumulación, no existen aguas subterráneas, en su lugar los flujos subsuperficial y superficial, procedentes de las precipitaciones y del escurrimiento, ocupan las componentes hidrogeológicas principales. El flujo subterráneo, al resguardo del modelo lito-estructural (acopiado en los Planos 4, 4A, 4B y 4C) parece no tener cabida. Esto quiere decir que no hay acumulación de aguas

IDIGER	CONSORCIO SANTA ROSA	GIA-085-18		INFORME FINAL – PÁG. 376	
VERSIÓN:	1			FECHA	10/01/19
ELABORÓ:	AMPC, JALG	REVISÓ:	JALG	APROBÓ:	JAM

subterráneas, aunque el Anticlinal de Zipa, cuyo eje se calca (y se infiere) por el extremo occidental de las manzanas 71, 72 y 73, condiciona el flujo (potencial), residente en los flancos, a lo largo de las capas porosas y en la dirección del azimut de buzamiento de los planos de estratificación (i.e. bien al sureste o bien al noroccidente), a las profundidades: entorno que de ninguna manera da la posibilidad de acumulación bajo la Ciudadela. Proposición corroborada por la exploración geofísica (las tomografías, las líneas de refracción sísmica y los Sondeos geoelectrónicos): ninguna de sus componentes capta u otorga rastros o elementos de juicio para la inferencia de acuífero alguno.

La Falla de Bogotá cumple una doble función. Por una parte obstaculiza el ingreso de las aguas lluvias y de escorrentía, máxime las procedentes de la cabecera, y por otra faculta la salida de la carga de algunos de los acuíferos, inhiben que las aguas se almacenen o se profundicen en el occidente y las retienen y las direccionan localmente al este como reflejo del buzamiento del plano de estratificación y del de falla (que se posan en el mismo sentido, véase los planos 4A, 4B y 8A), gracias al arrastre de las capas y al movimiento de los bloques.

Pero la articulación de la Falla de Bogotá como barrera de flujo se extiende más allá, hasta encauzar y modular el modelo hidrogeológico local. Las aguas subterráneas y subsuperficiales derivadas del oriente, en la zona de cizalla, se acopian, se rebosan en las superficies libres (o laderas), y discurren sobre las arcillolitas y sus suelos residuales, al punto de formar una red de cárcavas con profundidades de hasta 2 m., que cerca de su encuentro con la unidad residencial se interconectan para moldear una ladera uniforme en la que el caudal avanza lentamente para luego concentrarse en las cañuelas de la urbanización o moverse libremente por las áreas comunes hasta el sistema de alcantarillado o descargar en la quebrada Los Toches, o infiltrarse a través de los rellenos de reconfiguración y avanzar bajo las manzanas y la urbanización en general.

La secuencia litoestratigráfica y sus tensiones (de origen tectónico) o sus distorsiones (Ragan, 1980), que dan lugar a configuraciones curviplanas, expresadas en el anticlinal, inhiben la acumulación del agua subterránea bajo las manzanas y los bloques de edificios, y repercuten en que el flujo se aleje de la cresta y, casi, del eje de la ciudadela hacia los flancos: el oriental y el occidental. En su lugar la participación de los rellenos y de los suelos residuales de la Formación Bogotá, a lo largo y ancho de la vertiente, las descargas del agua de escorrentía y de las (re)surgencias, emanadas o procedentes del corredor oriental (en el que la falla de Bogotá es su límite), y los aportes sanitarios, dan forma y lugar protagónico al flujo subsuperficial bajo la urbanización. En éste las líneas de corriente son subparalelas a la pendiente general de las laderas, el campo de fuerzas es en buena parte hidrogravitacional y geoestático, y el zócalo está diagramado por el contacto de los depósitos con las lodolitas y arcillolitas.

El agua subsuperficial, en consecuencia, transcurre, exclusivamente, por entre los cuerpos cuaternarios, en dirección este-oeste, sin almacenarse en ellos. Sin embargo, su carga es tan importante que las masas operan casi sustancialmente presurizadas: la cabeza piezométrica máxima yace en o muy cerca de la superficie, entre unos muy pocos centímetros y el metro, aunque con algunas variaciones locales, lo que se traduce en coeficientes de presurización, r_u , máximos de 0.45, y la mínima se posiciona entre los cuatro y los cinco metros bajo la rasante (arreglo sintetizado por un r_u , mínimo de 0.17). Premisa (o Prototipo) surgida del monitoreo de los piezómetros y de la auscultación de los pozos de exploración.

Las equipotenciales máximas (o de presurización), para el escenario extremo, pueden tocar la superficie. Predicción soportada en el monitoreo de los piezómetros, en especial en las altas cabezas de agua registradas, provocadas por lluvias distantes de las críticas, e inmersas en el ámbito de un invierno próximo al típico (multianual), en las descargas de precipitación e infiltración (posibles), y en los resultados de los

modelos numéricos (los elementos finitos). Vaticinio que se extiende y es factible, también, bajo estadios de trabajo normales, y que explica (o deja patente), y justifica los problemas de humedad, las descargas en partes del barrio, y la latente posibilidad de movilización de algunas masas de suelo en la ribera de la quebrada y la vecindad a las viviendas, y la aceleración o reactivación del deslizamiento principal (gestado al nororiente en los dominios de la vertiente derecha y de los rellenos mineros).

Las primeras emergencias datan de principios de siglo, ligadas al asentamiento de los residentes. Desde ese entonces hasta hoy las afectaciones, expresadas en agrietamientos, desprendimientos de elementos, fisuras y otras, y reafirmadas por las constantes quejas de los habitantes y por los múltiples diagnósticos del Idiger, han sido recurrentes. Perjuicios que si bien, aún hoy día tienen origen incierto, en apariencia no involucran a los procesos de inestabilidad, ni comprometieron ni han comprometido la vida de los habitantes, ni la permanencia de las edificaciones (tal y como lo ratifica el concepto técnico CT-4361 de 2006), si forjaron un estado “aparente” de riesgo y apuntaban a los fenómenos hidrológicos e hidrogeológicos como parte de los promotores (hipótesis validada y corroborada aquí si se repasan los dictámenes de las páginas previas).

Pero las secuelas se extendieron por fuera del alcance de los muros y de los linderos del conjunto. Debilitó la imagen de las entidades distritales, resaltó (y resalta) las amplias ventajas otorgadas a la industria extractiva, en particular a las canteras, a sus operadores y a sus dueños, al punto de liberarla de gran parte de sus responsabilidades sociales, ambientales y técnicas; alertó a 256 familias y despertó su inquietud por conocer la suerte de sus vidas y de sus propiedades más preciadas. Preocupación llevada a los tribunales, y en parte subsanada por el Tribunal Administrativo de Cundinamarca, y por la Sección Tercera, de la Sala de lo Contencioso Administrativo del Consejo de Estado, en sentencias proferidas en el 2004 y en el 2007, respectivamente, que declararon responsable al Distrito Capital de Bogotá y a la Constructora Santa Rosa de los daños sufridos por las viviendas. Sin embargo, su deterioro y la actividad no cesaron allí.

Los años siguientes trajeron nuevas, diversas y, en medida alguna, más severas expresiones morfodinámicas e hidrogeológicas. Los primeros años del siglo XXI exponen el avance de la frontera minera al norte y al nororiente de la microcuenca, reconfiguran las unidades de ladera en la vertiente derecha de la quebrada y en las inmediaciones a la ciudadela, a través de espesos depósitos mineros, y preparan el medio para la recepción de los eventos desencadenados después del 2009. Acervo que tiene su expresión más prominente en el de la franja superior oriental, el deslizamiento principal. Es el de mayor volumen, se gesta en los residuos mineros, su longitud es de 320 m, aproximadamente, y su ancho medio varía entre 50 y 70 m. Su espesor movilizado bordea los 10 m y sus indicios de actividad se remontan a los primeros años de este siglo (en particular al año 2000). La tasa de movimiento migra entre muy baja y baja (Varnes, 1978, citado por Cruden y Varnes, 1996) de centímetros por año, aunque alcanzó los metros por año.

Completan el espectro un flujo de tierra, el FT-001IR, dos desprendimientos, el DP-002AS y el DP-003AS; y un deslizamiento traslacional, el DT-004AA. Todos con incidencia en las viviendas. Su actividad y desarrollo, expresada en estado y distribución, es activo-avanzado (AA), activo simple (AS), y activo-confinado (AC). Tienen profundidades de hasta 3 m, con anchos en la parte media entre los cuatro y los sesenta metros, y longitudes de hasta veinticuatro metros, sólo registrada en el DT-004AC. Los escarpes principales se calcan con alturas inferiores al metro y medio. Su movilización es favorecida por el pronunciado buzamiento de las laderas y del contacto suelo-roca (superior a los ángulos de fricción básicos de los rellenos), por el manejo inadecuado del drenaje, por la presurización y por el reblandecimiento del material.

En gracia de esta singular (y distintiva) transformación, resulta apenas lógico, que las laderas conjuguen marcada posibilidad de incubación de movimientos rotacionales (amplios que semejan superficies

traslacionales) o compuestos, simples o sucesivos, locales y generales, en los rellenos antrópicos (de deslizamiento, tratados o de vertido libre): el Qdd, el Qra1 y el Qra2, detonados por reblandecimiento, por saturación súbita o por presurización (en la que participan aguas subsuperficiales y residuales); o de deslizamientos traslacionales y flujos de tierra; o de fallas planares infinitas en los rellenos y en los suelos, toda vez que los halla. Los ámbitos alrededor de los cuatro procesos configuran los de mayor predisposición. Grupo esculpido casi en su totalidad a lo largo de la ronda de la quebrada.

Los antrópicos más propensos a deslizarse son los rellenos, traslocados y de explotación minera, develan probabilidades condicionales entre el 6.7% y el 10.8%, la detonación de las masas críticas sucede si participa por lo menos uno de los agentes detonantes. La respuesta es aún más crítica en el tiempo; las probabilidades condicionales, indiferentes del mecanismo de deslizamiento, se posan entre el 9.5% y el 27.6%, si el periodo de exposición es de 10 años, marco temporal en el que se encuentra, hoy por hoy, buena parte de las laderas, incluidas las receptoras de los procesos de inestabilidad, y supera el 25.6% si se extiende a 50 años.

La reactivación, la retrogresión y la ampliación del deslizamiento principal, parecen, incuestionables. La faceta de movilización expone estadios de falla aún con la participación de uno de los agentes detonantes (la presurización o el sismo) si dispone de la cohesión mínima. Las probabilidades condicionales apenas tocan el 6.7% en el primer año, y superan el 17% y el 40% en cuanto el período de trabajo (i.e. la exposición) se posiciona en 10 años o en 50 años, respectivamente. Tesis ligada a la presurización de los llenos y a su reblandecimiento, y a la aparición de manchas de suelo residual.

Predicción, modo y distribución de actividad, y activación similar develan las unidades de ladera en el parque y en el perímetro norte del bloque 78, receptoras de los procesos DT-004AA (o proceso 4) y, DP002AS y DP003AS (inmersos en el frente 3). Las superficies potenciales de deslizamiento críticas exhiben posibilidades de deslizamiento en los intervalos {7.98% – 27.60%}, si el escenario temporal de trabajo toca los 10 años, y {26.04% - 64.04%}, toda vez que se alcance los 50 años. Las superficies restantes, cualquiera sea el periodo de recurrencia, dictan probabilidades totales inferiores al 17.7%.

Los pasajes más seguros se encajan en la franja noroccidental de la margen austral de la quebrada, que colinda con la Calle 41 S, y en los cortes orientales circunvecinos a la carrera 18 Este. Las posibilidades condicionales, cuales quiera sea el nivel de presurización y de estimulación sísmica y el periodo de recurrencia, en ningún caso superan el 22%. Sin embargo, la estabilidad en las unidades de ladera adquiere tintes adversos en la medida en la que los rellenos incrementen su espesor, o mantengan estadios extremos de presurización o se debiliten, o el suelo residual haga su aparición bajo ellos (simulación casi incontrovertible en buena parte de las superficies libres) o continúe su expansión (o progresión) hacia aguas abajo (imaginario de alta posibilidad de ocurrencia en las laderas S-6, S-9 y S-10) y se reblandezca al punto que la cohesión caiga a los umbrales de los rellenos

Por lo tanto, salvo que se tomen algunos correctivos, como la despresurización de los depósitos (bien con baterías de subdrenes horizontales o de penetración, bien con trincheras drenantes –profundas-, o bien con una combinación de unas y otras, elementos que aprovechan el mediano a generoso espesor del cuaternario), la reducción de las masas activas (traducida en el perfilado), la interceptación del agua de escorrentía (con cunetas, con la implantación de la red de alcantarillado pluvial y con el mantenimiento, la optimización o el reforzamiento de la vigente malla de aguas negras), y la puesta en marcha de sistemas de confinamiento o aislamiento eficientes, capaces de reducir la distancia de viaje de las masas inestables y de retenerlas, la emergencia puede revivirse.

El comportamiento del macizo rocoso, idealizado, ante todo, por fallas rotacionales en horizontes sanos y alterados (semi-infinitos), es no sólo halagüeño, sino tranquilizador. Él permanece estable toda vez que no incidan simultáneamente el sismo y la lluvia, ni se movilice la cohesión o la fricción mínima o los parámetros mínimos: c_{\min} , ϕ'_{\min} , conjuntamente. Los factores de seguridad recorren el intervalo [0.61 - 4.30] y las probabilidades de falla oscilan entre el 0.01% y el 10.8%, cualquiera sea el escenario de estudio (uno o cincuenta años). De esta manera, poca o ninguna responsabilidad recae en él en la construcción de los escenarios de amenaza y de riesgo, y la atención en la estabilización y la mitigación se centra, unívocamente, en los rellenos.

La reducción de la tasa de alteración del material rocoso es, entonces, una responsabilidad ineludible. No obstante, es una tarea compleja, que depende de múltiples factores, uno de ellos es la despresurización de los rellenos antrópicos y otro el mantener el medio inalterado, exigencia que obliga a desestimar cualquier proceso urbanístico al derredor, a recuperar morfológicamente parte de la vertiente derecha, a coartar cualquier intento de penetración o de retoma de la explotación minera, incluso en pequeñas escaramuzas y a salvaguardar el medio, incluida la ronda de la quebrada, con especies arbóreas y arbustivas endémicas, lo que implica erradicar el retamo espinoso.

Panorama y prospección que deja entrever, distante de los aceptables ambientes de amenaza hoy día, regidos por categorías de baja y media, en los que las más severas están circunscritas en los cuatro cuerpos y focos de deslizamiento y son los promotores de la zozobra en la población en el 2010, en el 2011 y en el 2017, y de los daños en los bloques 71 y 78, que los escenarios futuros (entre 25 y 50 años) más críticos (o de amenaza alta), pero mitigables, se circunscriben a las regiones DCP-II-1, LDIU-I-1, LDMIU-I-1, LDIU-I-1, CEMM-II-2, y afectan la margen norte de las manzanas 71 y 78, al occidente de las manzanas 78, 79, 80, 81, y además coincidentemente los predios 01 y 18 de las manzanas 94 y 95.

A fe de remediar o de mitigar tan variado e irregular universo y de alterar (o mejorar) los pronósticos en cuanto a las pérdidas esperadas, se plantean y estudian cuatro posibilidades de intervención. Alternativas que van desde el “Eludir la mitigación” (también bautizada como la Alternativa 1 o Reasentamiento), hasta el empleo de sistemas intensivos de estabilización con anclajes, propios de la alternativa 4, rotulada como “Reforzamiento y Subdrenaje”) o con pantallas de pilotes o pilas (apodada como la Alternativa 3 o Confinamiento y Subdrenaje), o a través del manejo del principal agente detonante, el agua, con instrumentos de Drenaje y de Subdrenaje (designada como la Alternativa 2). De este generoso (y diverso) abanico de soluciones, el modelo de decisión probabilístico, señala, cualquiera sea la región o la zona homogénea y el momento de aplicación en consideración, al Confinamiento y Subdrenaje, como el camino más razonable a seguir. Ella no sólo integra la mejor relación costo-beneficio, los menores estatus de amenaza (bajos o medios en el corto y largo plazo, respectivamente), sino que también está provista por la viabilidad predial requerida para su implementación, al no modificar el estado de las viviendas e intervenir solo predios de uso público. El reasentamiento es, sin lugar a dudas, la medida menos atractiva; su alto valor de inversión, aún sino se acompaña de la reconformación morfológica, sumado al costo social, y a la innegable generación de inseguridad y zozobra, que desataría la gestación de cualquier proceso de inestabilidad, así lo ratifican.

En este sentido, resulta apenas sensato que el *Plan de Acción*, constituido en su columna vertebral por la Alternativa 3, en sus diversas etapas, está orientado a la contención de los potenciales deslizamientos o por lo menos a la mitigación de sus efectos, a la intersección (o interceptación) de las superficies de deslizamiento (fijadas cerca al contacto suelo-macizo alterado o depósito-roca), a la reducción de los empujes activos de las masas inestables y al confinamiento de las masas que configuran las superficies libres más pronunciadas y con mayores restricciones espaciales (en lo que a la implantación de las medidas de

mitigación se refiere). Cometidos unos en manos de sistemas de estabilización pasivos y externos, y de la reconformación morfológica, y otros a cargo de sistemas de drenaje y de subdrenaje, forjados por cunetas rectangulares y trincheras drenantes. Acciones que sumadas se traducen en una inversión cercana a los 1.634 millones de pesos.

Las unidades de contención y de mitigación congregan, en primera instancia, la instalación de 4 pantallas de micropilotes, talladas con especímenes de concreto reforzado, de 0.30 m de diámetro, espaciados (centro a centro) un metro, y distribuidos en arreglo de tres bolillos. Poseen entre 8 y 10 metros de profundidad, y desde 8 m hasta 15 m de longitud, y capacidad de resistir hasta 10 ton de cortante cada uno (en los procesos 2 y 4) y 5 ton (en el proceso 3). En segunda instancia, implica la reconformación morfológica del proceso 1. Dictada (acorde con lo reseñado por el grupo técnico del IDIGER y por la interventoría) en el ámbito de las recomendaciones. Delinea cortes y limitados llenos, con buzamientos de 2.5H:1V y 2H:1V, y bermas de 2 m de ancho, que permiten el retiro de cerca de 22000 m³ (de material), superficies (todas) protegidas con cespedones; su propósito reside en menguar la propagación de focos de inestabilidad en los depósitos más densos, mediante la sustracción de las masas activas. Y en tercera instancia, y tal vez la más relevante, se apuntala en la implantación de una generosa red de cunetas trapezoidales, y de trincheras drenantes. Red que descarga al alcantarillado pluvial y a la quebrada Los Toches, a través de descoles en concreto, que delinea longitudes desde los 8.50 m hasta los 60.00 m.

Pero el programa de mitigación se extiende más allá de los armazones físicos. Incluye otras medidas o recomendaciones, cobijadas bajo el precepto de no estructurales. Aunque algunas están estrechamente ligadas a las primeras (a las estructurales). Una es el monitoreo del medio. Tarea adelantada a través de inspecciones visuales, o de piezómetros abiertos (en número incierto por ahora, pero superior a la docena) e inclinómetros (en igual cantidad a los piezómetros), destinados a la deducción de las cabezas de presión máximas, y a la contrastación de las respuestas mecánicas de las laderas (i.e. de los pronósticos) y de sus factores de seguridad. El refinamiento de los estados operativos es el primer paso para disminuir los estadios de riesgo y para puntualizar las medidas de mitigación, en especial si se pretende reafirmar o redireccionar el destino de uso de los predios.

Otra radica en la modificación del uso del suelo de los predios tanto baldíos como reasentados (dentro de la acción de grupo: 25000-23-27-000-2001-00029-01). Cometido que requiere desestimar (y de alguna manera rechazar) y prohibir la incorporación de cualquier asomo de urbanización en las laderas naturales e intervenidas, catalogadas como de amenaza media y alta para el escenario futuro. Cualquier modificación en la morfología y en la morfometría de las laderas, en la franja definida como de protección, emanada de cualquier corte o relleno o de una defectuosa implantación de un proyecto urbanístico o de una edificación (más aún si están comprometidas las redes de aguas, sean estas blancas, negras o grises), puede tener serias y adversas repercusiones en la estabilidad de la vertiente, y por ende en las viviendas y en las personas que hoy la habitan, 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.

Y la última provisión, pero no por eso la menos importante, reposa en el mantenimiento y en la reparación de las redes de acueducto y de alcantarillado, y en el sellado de las líneas clandestinas y artesanales. Quehaceres que serán una constante en el tiempo. Ante todo porque a la luz de los resultados emanados en los capítulos 6 y 7, ellas son contribuyentes principales e inclusive pueden señalarse como detonadores de los movimientos en masa.

Si bien las medidas diseñadas se estructuran en concordancia con la evaluación de amenaza, ante todo con la futura (trazada para los 50 años), su vigencia es aún más limitada, al punto que su vida útil oscila entre los 10 y los 25 años. Circunstancia que indefectiblemente obliga bien al mantenimiento o bien al reemplazo, costos de ninguna manera incluidos en el presupuesto general. Al margen de lo anterior, su materialización, en ningún caso, debe superar el año (siempre y cuando los estímulos externos –el agua y el sismo– respondan a patrones normales, en otras palabras no tenga lugar un movimiento telúrico extremo, se recrudezca el invierno o reaparezca el fenómeno de la niña). El retraso en la ejecución de las obras se convierte, irreductiblemente, en aumento de los estadios de amenaza, fruto de la ocurrencia de los eventos exógenos (ante todo de algunos anómalos) y de la acción antrópica, y, por consiguiente, en mayor predisposición de las laderas (y de las vertientes) a los procesos de inestabilidad, en modificaciones en su morfología y en su morfometría, y en incrementos de los umbrales de riesgo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASOCIACIÓN COLOMBIANA DE INGENIERÍA SÍSMICA. (1996). "Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia". Bogotá.
- ÁCOSTA, J Y ULLOA, C. (2001). "Geología de la Plancha 246 Fusagasugá". Ingeominas. Bogotá.
- TURNER, K AND SCHUSTER, R. (1996). "Landslides: Investigation and Mitigation". National Academy Press. Washington, D.C.
- ÁLVAREZ, O, ALBERTO. (1997). "Gestión del Agua Subterránea en la Sabana de Bogotá". Departamento de Geociencias. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C., Colombia. Pp. 1 - 21
- BOWLES, JOSEPH, E. (1988). "Foundation Analysis and Design". Fifth Edition. McGraw-Hill.
- CARRILLO, C, JOSUÉ. (1997). "Nociones de Mecánica de Rocas". Universidad Nacional de Colombia. Medellín.
- CARVAJAL, P, JOSÉ. (2002). "Metodología Geomorfológica Adaptada por SGC para la Evaluación de los Movimientos en Masa". Cartilla Ilustrativa. Bogotá. Pp. 13
- CARVAJAL Y OTROS. (2004). "Mapa Geomorfológico de la Sabana de Bogotá". Ingeominas. Bogotá
- CIVILES LTDA., INGENIEROS CONSULTORES. (1999). "Zonificación de Amenaza y Riesgo por Remoción en Masa, Evaluación de Alternativas de Mitigación y Diseños Detallados de las Obras para Estabilizar el Barrio Nueva España, Localidad de San Cristóbal". IDIGER. Bogotá D. C.
- CHAVARRO, M, CARLOS. (2015). "Concepto Técnico CAR-2620, Altos de Zipa, Localidad de San Cristóbal". IDIGER. Bogotá D. C
- CHOW, VEN TE. (1959). "Open Channel Hydraulics". Mc-Graw Hill Book Company, Inc. Tokio.
- CONGRESO DE COLOMBIA (1997, Agosto 19). "Ley 400, Normas sobre Construcciones Sismo Resistentes". Recuperado de <https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjur/normas/Norma1.jsp?i=336>.
- MINISTERIO DE DESARROLLO ECONÓMICO (1998, Enero 9). "Decreto 33, Requisitos de Carácter Técnico y Científico Para Construcciones Sismo Resistentes NSR-98". Recuperado de <http://www.suin-juriscol.gov.co/viewDocument.asp?id=1007946>.
- CORREA M, NIXON. (2012). "Método para la Caracterización de las Formas del Terreno en Zonas de Montaña Utilizando Modelos Digitales de Elevación. Caso: Departamento del Cauca". Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Agronomía, Departamento de Agronomía. Pp. 145
- CODUTO, DONALD, P. (2001). "Foundation Design, Principles and Practices". Second edition. Prentice Hall Inc. New Jersey.
- CORNFORTH, DEREK, H. (2005). "Landslides in Practice – Investigations, Analysis, and Remedial/preventative Options in Soils". John Wiley & Sons Inc. United States.
- CRUCES, J Y MARTÍNEZ, L. (2007). "Modelos Matemáticos en Hidrogeología". EOI Escuela de Negocios. Master en Ingeniería Medioambiental y Gestión del Agua. Madrid. Pp 15
- CRUDEN, D AND VARNES, D. (1996). "Landslides: Investigation and Mitigation". Chapter 3 - Landslide Types and Processes. National Academy of Sciences. United States.
- DAS BRAJA M (2004). "Principles of Foundation Engineering". Fifth Edition. California State University. Thomson Learning Inc. Sacramento.
- DAS, BRAJA, M. (2001). "Fundamentos de Ingeniería Geotécnica". Primera Edición. Thomson Learning Inc. Sacramento.
- DAS, BRAJA, M. (1999). "Principios de Ingeniería de Cimentaciones". Cuarta Edición. California State University. International Thomson Editores. Sacramento.
- DUNCAN, M AND OTHERS. (2005). "Soil Strength and Slope Stability". Second Edition. Wiley & Sons Inc. Hoboken, New Jersey.

- FRANCO, R. (1993). "Estudio Geológico de la Urbanización Bosques de Los Alpes". Urbanización Bosques de Los Alpes. Santa Fé de Bogotá, Colombia. Pp. 23
- GALINDO, M, JOSÉ. (1999). "Modelos Hidrogeológicos". Universidad de la Salle. Bogotá, Colombia. Pp. 63-74
- GALLEGO, S, MARGARITA. (2016). "Construcción Preliminar del Modelo Hidrogeológico Conceptual del Acuífero Asociado a la Quebrada Manizales a partir de Información Secundaria". Universidad Católica de Manizales. Tesis de Grado. Manizales, Colombia. Pp. 15-68
- GEOCING LTDA. (2010). "Estudios de Riesgos por Fenómenos de Remoción en Masa para el Barrio Moralba, Localidad de San Cristóbal". IDIGER. Bogotá D. C.
- GIA CONSULTORES LTDA. (2013). "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 Buena Vista Sur Oriental II, Etapas I y II, Localidad de San Cristóbal". IDIGER. Bogotá D. C.
- GIA CONSULTORES LTDA. (2009). "Estudio de Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa y Evaluación de Alternativas de Mitigación para la Urbanización Buena Vista Oriental III Etapa, Localidad de San Cristóbal". IDIGER. Bogotá D. C.
- GONZÁLEZ DE VALLEJO Y OTROS. (2004). "Ingeniería Geológica". Pearson. Prentice Hall. Madrid, España. Pp. 264-302
- GONZÁLEZ, G, ÁLVARO. (1999A). "Relaciones de Precipitación Crítica- Duración de Lluvias que Disparan Movimientos En Masa en Santafé De Bogotá - Colombia". Universidad Nacional de Colombia-INGEOCIM Ltda. Santafé de Bogotá.
- GONZÁLEZ, G, ÁLVARO. (1999B). "Estimativos de Parámetros Efectivos de Resistencia con el SPT". X Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería Colombiana. SCI – SCG. Bogotá. Pp 12
- GONZÁLEZ, G, ÁLVARO. (1989). "Metodología y Criterios de Clasificación para Investigación de Movimientos". Simposio Suramericano de Deslizamientos, 7-10 Agosto (1989), Paipa, Colombia.
- GONZÁLEZ, G, ÁLVARO. (1987). "Analysis of Infiltration Test". VIII Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Sociedad Colombiana de Geotecnia.
- HERNÁNDEZ, C, OSCAR. (2011). "Diagnóstico Técnico DI-5810, Barrio Madrid Sector Catastral Cerros de Oriente, Localidad Rafael Uribe Uribe". Subdirección de Emergencias. FOPAE-DPAE. 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.
- HOEK, E AND OTHERS. (1995). "Support of Underground Excavation in Hard Rock". AA. Balkema Publisher.
- HOORM, M, CARINA. (1988). "Quebrada el Mochuelo, Type Locality of the Bogotá Formation: a Sedimentological, Petrographical and Palynological study". University of Amsterdam. Hugo de Vries Laboratory. Amsterdam
- HOYOS C, ORLANDO. (2006). "Concepto Técnico CT-4361, Urbanización Ciudadela Santa Rosa (Alpes de Zipa), Localidad de San Cristóbal". IDIGER. Bogotá D. C.
- HOYOS, C, ORLANDO. (2001). "Diagnóstico Técnico DI-1292, Santa Rosa – Altos de Zipa, Localidad de San Cristóbal". IDIGER. 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. C.
- INGENIERIA Y GEOTECNIA LTDA. (1995). "Estudio Geotécnico y de Cimentaciones, Urbanización Alpes del Zipa-Zona B". Avenida Ciudad de Villavicencio – Calle 41 Sur. Constructora Santa Rosa S.A. Informe 1445-1. Santafé de Bogotá D. C. Pp 04-82
- INGENIERIA Y GEOTECNIA LTDA. (1994). "Estudio de Suelos y Cimentaciones, Urbanización Alpes del Zipa." Avenida Ciudad de Villavicencio – Calle 41 Sur, Manzanas 63, 64, 65, 71, 72, 73, 79, 80, 81 y 93 a 98. Constructora Santa Rosa S.A. Informe 1368-2. Santafé de Bogotá D. C. Pp 02-57.
- 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.
- INGEOCIENCIAS. (2003). “Estudio de Riesgo por Remoción en Masa y Diseño Detallado de las Obras de Control, Protección y Estabilización en el Barrio San Jose Sur Oriental de la Localidad de San Cristóbal”. Informe Final (No. 893/2003). FOPAE. Bogotá D. C. Pp 89
- INGEOMINAS. (2003). “Aspectos Geoambientales de la Sabana de Bogotá”. Publicación Ingeominas. Bogotá.
- INGEOMINAS. (1999). “Microzonificación Sísmica de Santafé de Bogotá”. Bogotá.
- INGEOMINAS. (1995). “Estudio Geotécnico Escuela Moralba Fase II”. Departamento Administrativo de Planeación Distrital, Empresa de Energía Eléctrica de Bogotá. Convenio Interadministrativo No. 017 de Diciembre de 1993. Santafé de Bogotá D. C. Pp 37
- INGETEC S. A. (2005). Estudio y Revisión de las Curvas IDF y del Análisis Espacial de las Tormentas (Curvas PADF) para la Sabana de Bogotá”. EAAB E. S. P. Bogotá.
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM. (2014). “Estudio Nacional de Agua”. Panamericana Formas e Impresos S. A. Bogotá D. C.
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM. (2010). “Estudio Nacional de Agua”. Strategy Ltda. Bogotá D. C.
- INSTITUTO DE HIDROLOGÍA, METEOROLOGÍA Y ESTUDIOS AMBIENTALES, IDEAM. (2009). “Red Nacional de Aguas Subterráneas”. Taller Sobre Planes de Manejo de Aguas Subterráneas. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, MAVDT, e Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM. Mayo 21 y 22. Bogotá D. C.
- JULIVERT, M. (1968). “Lexique Stratigraphique Internationale”. Vol. V Fasc. 4a. Paris.
- JULIVERT, M. (1963). “Los Rasgos Tectónicos de la Región de la Sabana de Bogotá y los Mecanismos de Formación de Estructuras”. UIS. Boletín de Geología No. 10. Bucaramanga.
- JULIVERT, M. (1961). “Observaciones sobre el Cuaternario de la Sabana de Bogotá”. Boletín de Geología No. 7:5-36. Bucaramanga.
- LEAL, M Y OTROS (2013). “Concepto Técnico CT-6889, Urbanización Ciudadela Santa Rosa – Sector Catastral Alpes de Zipa, Localidad de San Cristóbal”. IDIGER. Bogotá D. C.
- LEE, M AND JONES, D. (2004). “Landslide Risk Assessment”. Thomas Telford.
- LOBO, G, ALBERTO. (2005). “La Falla de Bogotá en Cundinamarca”. X Congreso Colombiano de Geología. Bogotá, Colombia. Pp.1 - 6
- LOBO, G, ALBERTO. (1992). “Geología e Hidrogeología de Santafé de Bogotá y su Sabana”. VII Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería de Colombia. Sociedad Colombiana de Ingenieros – Sociedad Colombiana de Geotecnia. Bogotá D. C., Colombia. Pp.1 - 12
- MILLÁN, L, JAVIER. (1999). “Lineamientos Metodológicos Para la Evaluación de la Amenaza Por Fenómenos de Remoción de Masa”. Universidad Nacional de Colombia. Santa Fe de Bogotá.
- MONTOYA, D Y REYES, G. (2005). “Geología de la Sabana de Bogotá”. Ingeominas.
- MONSALVE, S, GERMÁN. (1995). “Hidrología en la Ingeniería”. Escuela Colombiana de Ingeniería. Bogotá.
- MOTTA, T, CARLOS. (2004). “Diagnóstico Técnico DI-2135, Urbanización Santa Rosa, Localidad de San Cristóbal”. IDIGER. Bogotá D. C.
- MOTTA, T, CARLOS. (2003). “Diagnóstico Técnico DI-1676, Urbanización Santa Rosa, Localidad de San Cristóbal”. IDIGER. Bogotá D. C.
- MOTTA, T, CARLOS. (2002A). “Diagnóstico Técnico DI-1636, Urbanización Santa Rosa, Localidad de San Cristóbal”. IDIGER. Bogotá D. C.
- MOTTA, T, CARLOS. (2002B). “Diagnóstico Técnico DI-1652, Urbanización Santa Rosa, Localidad de San Cristóbal”. IDIGER. Bogotá D. C.
- MOTTA, T, CARLOS. (2002C). “Diagnóstico Técnico DI-1638, Urbanización Santa Rosa, Localidad de San Cristóbal”. IDIGER. Bogotá D. C.
- NIVIA Q, ÁLVARO. (2000). “Estudio de Riesgo por Remoción en Masa y Diseño Detallado de las Obras de Control, Protección y Estabilización en el Barrio Nueva España, Localidad de San Cristóbal”. IDIGER. Bogotá D. C.

- NORIEGA, M Y OTROS. (2013). "Concepto Técnico CT-6889, Urbanización Santa Rosa, Localidad de San Cristóbal". IDIGER. Bogotá D. C.
- RAGAN, DONALD, M. (1980). "Geología Estructural: Introducción a las Técnicas Geométricas". Omega S. A. New York. Pp. 28 – 111.
- RINCÓN, A. (1995). "Concepto Técnico CT-613, Alpes del Zipa, Localidad de San Cristóbal". OPES. Bogotá D.C.
- RODRÍGUEZ, C Y JIMÉNEZ, G. (1986). "Datación de Agua Subterránea en la Sabana de Bogotá y sus Implicaciones Hidrogeológicas". Geología Colombiana No 15. Instituto de Asuntos Nucleares. Bogotá, Colombia. Pp. 205 – 218.
- ROJAS, H Y OTROS. (2011). "Creación de un Modelo Conceptual Hidrogeológico". Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira. Departamento de Ingeniería. Pp. 7 – 40.
- 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.
- 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.
- SUÁREZ, D, JAIME. (2009). "Deslizamientos – Técnicas de Remediación". Volumen 2. Primera Edición. División de Publicaciones UIS. Bucaramanga, Colombia.
- TAPIA, M, DARÍO. (1999). "Diagnóstico Técnico DI-659, Ciudadela Santa Rosa, Localidad de San Cristóbal". IDIGER. Bogotá D. C.
- TURNER, K AND SCHUSTER, R. (1996). "Landslides Investigation and Mitigation". Special Report 247. National Research Council. Transportation Research Board. USA.
- UNIÓN TEMPORAL GEOTECNIA SAN CRISTÓBAL. (2007). "Elaboración de Diseños de Obras, Presupuestos y Especificaciones Técnicas en Sitios Críticos de Riesgos Inminente por Remoción en Masa, Sitio 4- Barrio Nueva España, Localidad de San Cristóbal". FOPAE. Bogotá D. C. Pp 51
- UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. (2016). "Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa". Servicio Geológico Colombiano. Bogotá.
- 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. (1989). "Mapa Neógeno. Cuaternario de la Sabana de Bogotá, Cuenca Alta del Río Bogotá". IGAC. Bogotá.
- VAN DER HAMMEN, T AND HELMENS, K. (1995). "Memoria Explicativa de los Mapas del Neógeno - Cuaternario de la Sabana de Bogotá, Cuenca Alta del Río Bogotá". Volumen 24. IGAC. Bogotá.
- U.S ARMY CORPS OF ENGINEERS. (2008A). "HEC-HMS, Hydrologic Modelling Center". Hydrologic Engineering Center. Generalized Computer Program. Haestad Methods, Inc.
- U.S ARMY CORPS OF ENGINEERS. (2008B). "HEC-RAS for Windows River Analysis System". Hydrologic Engineering Center. Generalized Computer Program. Hydraulic Reference Manual.
- VARGAS, M, NELSON. (2001). "Zonas Hidrogeológicas Homogéneas de Colombia". Esc 1:200.000. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ingeniería. Bogotá, Colombia. Pp. 1 – 13.
- VELANDIA, F Y DE BERMOUDES, O. (2002). "Hidrogeología Regional de la Sabana de Bogotá". Instituto Colombiano de Geología y Minería, Ingeominas. Colombia.
- VELOZA, F, JAIRO. (2013). "Sistema de Modelamiento Hidrogeológico del Distrito Capital". Secretaría Distrital del Ambiente. Subdirección del Recurso Hídrico y del Suelo. Bogotá, Colombia. Pp. 15 – 234.
- WYLLIE, DUNCAN, C. (1999). "Foundations on Rock". Second Edition. E & FN Spon. London.
- YACHIYO ENGINEERING CO LTD (2009A). "Estudio de Abastecimiento Sostenible de Agua Para la Ciudad de Bogotá y Áreas Circundantes Basado en el Manejo Integrado de Recursos Hídricos en la República de Colombia". Informe Final, Informe Principal. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (Acueducto). Bogotá, Colombia. Pp. 1 – 58.

- YACHIYO ENGINEERING CO LTD (2009B). “Estudio de Abastecimiento Sostenible de Agua Para la Ciudad de Bogotá y Áreas Circundantes Basado en el Manejo Integrado de Recursos Hídricos en la República de Colombia”. Informe Final, Informe Principal. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (Acueducto). Bogotá, Colombia. Pp. 1 – 114
- ZINK, ALFRED. J (2012). “Geopedología. Elementos de Geomorfología para Estudios de Suelos y Riesgos Naturales”. ITC. Facultad de Geoinformacion Science an Earth Observation. Enshede, Netherlands.