

CONTRATO No: 0286 de 2014

**PROYECTO “ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE
PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE
MEDELLÍN”**



**INFORME DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR
MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIONES Y AVENIDAS
TORRENCIALES
POLÍGONO VILLA TURBAY**

MAYO DE 2018

VERSIÓN 9

	SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA “ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN” INFORME POLÍGONO VILLA TURBAY	
--	---	--

CONTROL DE VERSIÓN			
Versión	Fecha	Capítulo Modificado	Descripción
0	16/07/2015	No Aplica	Documento Inicial
1	20/09/2015	Todos	Documento Final
2	30/10/2015	Todos	Correcciones Documento Final
3	27/11/2015	Fueron incluidos dos nuevos capítulo con análisis de redes de servicios públicos y zonas de retiro y fueron además modificados los de vulnerabilidad y conclusiones y recomendaciones	Revisión del Documento Final
4	04/12/2015	Se modificó Capítulo 20	Revisión del Documento Final
5	17/12/2015	Se modificó Capítulo 20	Revisión del Documento Final
6	22/12/2015	Se incluyeron las convenciones en figura del Capítulo 20	Revisión del Documento Final
7	11/03/2016	Se cambió el formato de algunas figuras por mapas tamaño carta	Revisión del documento Final
8	21/12/2017	Se hicieron ajustes de acuerdo con solicitud del DAP, DAGRD y SMA	Revisión del documento Final
9	23/05/2018	Se hicieron ajustes de acuerdo con solicitud de Interventoría con base en requerimientos del DAP, DAGRD y SMA	Revisión del documento Final

	SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA “ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN” INFORME POLÍGONO VILLA TURBAY	
---	---	---

CONTROL DE DISTRIBUCIÓN		
No.	Destinatario	Responsable
1	EDU	Ing. Rafael Tobías Álvarez (Supervisor)

Elaboró	Revisó	Aprobó
Geol. Pedro De Greiff Gautier Director Proyecto SIGA	INGEOCILCON Interventoría	Ing. Rafael Tobías Álvarez Supervisor EDU
Fecha: 30/11/2017	Fecha:	Fecha:



**SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL
COLOMBIA**
“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE
DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN
EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”
INFORME POLIGONO VILLA TURBAY



TABLA DE CONTENIDO

CONTROL DE VERSIÓN	2
CONTROL DE DISTRIBUCIÓN.....	3
1. INTRODUCCIÓN	1
2. LOCALIZACIÓN GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO	5
3. UNIDAD MORFODINÁMICA INDEPENDIENTE (UMI).....	7
3.1 GENERALIDADES.....	7
3.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN.....	10
4. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	19
4.1 GEOLOGÍA REGIONAL.....	19
4.1.1 Llenos antrópicos (Qll)	19
4.1.2 Cenizas volcánicas (Qcv).....	21
4.1.3 Depósitos aluviotorrenciales (Qat)	21
4.1.4 Depósitos de deslizamiento (Qd)	21
4.1.5 Depósitos de flujo de lodos y/o escombros (QFIII, NFI, NQFII)	21
4.1.6 Cuerpos asociados al Batolito Antioqueño (KcdA)	22
4.1.7 Dunitas de Medellín (JKuM)	22
4.2 GEOLOGÍA LOCAL	23
4.2.1 Llenos antrópicos (Qll)	28
4.2.2 Cenizas volcánicas removilizadas y/o in-situ.....	31
4.2.3 Depósitos aluviotorrenciales (Qalt)	31
4.2.4 Depósito de talus (Qt)	32





4.2.5	Depósitos de flujo de lodos y/o escombros (Qfl/e)	33
4.2.6	Cuerpos asociados al Batolito Antioqueño (KcdA)	35
4.2.7	Dunitas de Medellín (JKuM)	37
4.2.8	Anfibolitas de Medellín (TRaM)	41
5.	ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	44
5.1	GEOMORFOLOGÍA REGIONAL.....	44
5.1.1	Macrounidades geomorfológicas	44
5.1.2	Unidades Geomorfológicas.....	47
5.2	GEOMORFOLOGÍA LOCAL	50
5.2.1	Unidad de Altiplano AP	54
5.2.2	Unidad de Escarpe de Altiplano EAP	55
5.2.3	Unidad Peldaño Alto PÑA	55
5.2.4	Unidad Peldaño Bajo PÑB	56
5.2.5	Unidad Peldaño Tectónico PÑT	57
5.2.6	Unidad Lomeríos Amplios LRA	57
5.2.7	Unidad de Lomo Alargado con Vertientes Fuertes LARVF	57
5.2.8	Unidad de Lomo Amplio con Vertientes Fuertes LAVF	58
5.2.9	Unidad de Lomo Amplio con Vertientes Moderadas LAVM	59
5.2.10	Unidad de Lomo Estrecho con Vertientes Fuertes LEVF	60
5.2.11	Unidad de Lomo Estrecho con Vertientes Suaves LEVS	61
5.2.12	Unidad de Lomo de Gancho LG.....	61
5.2.13	Unidad de Lomo de Obturación LO.....	61
5.2.14	Unidad de Escarpe Corto Semicircular ECSC.....	62
5.2.15	Unidad de Escarpe Largo Semicircular ELSC.....	63
5.2.16	Unidad de Superficie Antrópica SA	63
5.2.17	Unidad de Superficies Suaves sobre Depósitos Poco Incisados SSDPI	63
5.2.18	Unidad de Superficies Suaves sobre Depósitos Moderadamente Incisados	63
5.2.19	Unidad de Superficies con Baja Incisión SBI.....	64

5.2.20	Unidad de Depósitos Sin Incisión DSI.....	64
5.2.21	Unidad de Vertiente Escarpada VE.....	65
5.2.22	Unidad de Vertiente Moderada VM.....	66
5.2.23	Unidad de Vertiente Suave VS	66
5.2.24	Unidad de dolinas	67
5.2.25	Unidad de Karren o Lapiaz	69
5.3	MORFODINÁMICA REGIONAL	70
5.4	MORFODINÁMICA LOCAL	75
6.	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	83
6.1	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL	83
6.2	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL.....	84
6.2.1	Orientación y buzamiento	87
6.2.2	Espaciamiento	93
6.2.3	Continuidad.....	94
6.2.4	Abertura.....	95
6.2.5	Relleno	96
6.2.6	Alteración.....	97
6.2.7	Rugosidad	98
6.2.8	Agua	99
6.2.9	Resistencia de las Paredes.....	100
6.3	ANÁLISIS ESTRUCTURAL	101
7.	EVALUACIÓN DE LA APTITUD GEOLÓGICA.....	108
7.1	ASPECTOS GENERALES	108
7.2	MAPA DE CRITICIDAD DE ZONAS HOMOGÉNEAS.....	109

7.3	MAPA DE CRITICIDAD MORFODINÁMICA	114
7.4	MAPA DE ZONIFICACIÓN DE APTITUD GEOLÓGICA.....	116
8.	ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS	121
8.1	ASPECTOS GENERALES	121
8.2	LA RECTA METEÓRICA O RECTA DE CRAIG	123
8.3	EL GRADIENTE OROGRÁFICO	127
8.4	EL GRADIENTE NULO	130
8.5	MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL	135
8.5.1	Zonas de recarga.....	135
8.5.2	Caracterización del acuífero	136
8.5.3	Flujo regional y flujo local.....	136
8.5.4	Zonas de descarga	137
8.6	INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA	137
8.6.1	Piezómetros P-VT-PZ-20B y P-VT-PZ-20D.....	140
8.6.2	Piezómetro P-VT-PZ-22D	140
8.6.3	Piezómetros P-VT-PZ-24B y P-VT-PZ-24D.....	140
8.6.4	Análisis de la instrumentación en función del modelo propuesto.....	142
8.7	AMENAZA POR MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL	143
9.	ASPECTOS SÍSMICOS.....	148
10.	ASPECTOS GEOTÉCNICOS.....	152
10.1	SONDEOS EXPLORATORIOS	152
10.1.1	Perforaciones.....	152



10.1.2	Líneas geofísicas	173
10.2	ENSAYOS DE LABORATORIO	196
10.2.1	Ensayos de clasificación	197
10.2.2	Ensayos de resistencia al corte.....	205
10.3	PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE LOS MATERIALES.....	207
10.3.1	Aspectos generales	207
10.3.2	Lleno antrópico	207
10.3.3	Depósitos de flujo de lodos y/o escombros	209
10.3.4	Depósitos coluviales	210
10.3.5	Suelos derivados de las Dunitas (Horizontes IB y IC)	212
10.3.6	Cuerpos asociados al Batolito Antioqueño	213
10.3.7	Análisis variacional de los parámetros de resistencia al corte	214
11.	ASPECTOS HIDROLÓGICOS	216
11.1	GENERALIDADES.....	216
11.2	REVISIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA	216
11.3	ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS Y RÉGIMEN DE PRECIPITACIÓN.....	219
11.3.1	Estación Planta Villa Hermosa	222
11.3.2	Estación Mazo	222
11.3.3	Estación Miguel de Aguinaga.....	223
11.4	DELIMITACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS CUENCAS	224
11.4.1	Parámetros morfométricos de las cuencas	227
11.4.2	Usos del suelo	227
11.4.3	Tiempos de concentración	230
11.5	CAUDALES MÁXIMOS.....	231
11.5.1	Intensidades de Diseño	231

	SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA “ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN” INFORME POLIGONO VILLA TURBAY	
---	---	---

11.5.2	Método Racional	233
11.5.3	Hidrogramas sintéticos	234
11.5.4	Regionalización de caudales	238
11.5.5	Resumen de caudales	241
12.	ASPECTOS HIDRÁULICOS	243
12.1	REVISIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA	243
12.2	DESCRIPCIÓN GENERAL DE CAUCES	243
12.2.1	Quebrada La Mica	245
12.2.2	Quebrada La Mica 1	247
12.2.3	Afluente El Sapero 1	251
12.3	ANÁLISIS HIDRÁULICO EN INUNDACIONES	252
12.3.1	Descripción del Modelo FLO-2D	252
12.3.2	Caudales empleados en la modelación.....	253
12.3.3	Información topográfica	253
12.3.4	Tamaño de la malla	253
12.3.5	Condiciones de Frontera.....	254
12.3.6	Condiciones Iniciales	254
12.3.7	Coeficiente de rugosidad	254
12.3.8	Condiciones de estabilidad numérica.....	254
12.3.9	Estructuras hidráulicas.....	255
12.3.10	Resultados en Quebradas La Mica, La Mica 1 y Afluente El Sapero 1	255
12.3.11	Resultados en Quebrada La Mica (Condiciones Actuales).....	257
12.3.12	Resultados en Quebrada La Mica 1 (Condiciones Actuales).....	258
12.3.13	Resultados en el Afluente El Sapero (Condiciones Actuales)	260
13.	AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA	262
13.1	METODOLOGÍA.....	262

13.1.1	Objetivo y aspectos generales	262
13.1.2	Escenarios de análisis	262
13.1.3	Cálculo de los factores de seguridad	264
13.1.4	Cálculo de la probabilidad de falla	267
13.1.5	Implementación de Sistemas de Información Geográfica (SIG)	269
13.1.6	Criterios para calificar la amenaza	272
13.2	RESULTADOS	273
14.	AMENAZA POR INUNDACIONES	289
14.1	ASPECTOS GENERALES	289
14.2	METODOLOGÍA.....	289
14.3	RESULTADOS	292
15.	AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES	295
15.1	ASPECTOS GENERALES	295
15.2	AVENIDAS TORRENCIALES POR MOVIMIENTOS EN MASA	295
15.3	AVENIDAS TORRENCIALES POR REMOCIÓN DEL MATERIAL DEL LECHO	296
15.4	RESULTADOS	298
16.	EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	299
16.1	ASPECTOS Y METODOLOGÍA GENERAL.....	299
16.2	VULNERABILIDAD PARA MOVIMIENTOS EN MASA.....	301
16.2.1	Metodología de análisis	301

16.2.2	Calibración de la metodología.....	307
16.2.3	Levantamientos de campo y análisis de la información.....	316
16.2.4	Determinación y zonificación de la vulnerabilidad física y de personas.....	329
16.3	VULNERABILIDAD PARA INUNDACIONES.....	339
16.4	SOPORTE FOTOGRÁFICO DE LAS ESTRUCTURAS	350
17.	RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	353
17.1	ASPECTOS GENERALES.....	353
17.2	CÁLCULO DEL RIESGO	353
17.3	RESULTADOS	354
18.	RIESGO POR INUNDACIONES Y AVENIDAS TORRENCIALES	361
18.1	METODOLOGÍA.....	361
18.2	RESULTADOS	361
19.	ANÁLISIS DE REDES DE SERVICIOS PÚBLICOS.....	365
19.1	CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES EXISTENTES.....	365
19.2	SUPERPOSICIÓN EN MAPAS DE AMENAZA.....	365
19.3	ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD DE LAS REDES.....	369
19.3.1	Tubería en concreto no reforzado (Clase 1 y Clase 2).....	369
19.3.2	Tubería en Policloruro de Vinilo (PVC).....	369
19.3.3	Tubería en Hierro Dúctil (HD)	369
19.3.4	Vulnerabilidad de los diferentes tipos de redes	369
19.4	EVALUACIÓN DEL RIESGO DE LAS REDES	369

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	--	---

20.	ZONAS DE RETIRO HIDROLÓGICO Y GEOLÓGICO.....	371
20.1	JUSTIFICACIÓN	371
20.2	ASPECTOS METODOLÓGICOS	371
20.3	RESULTADOS	373
21.	PLANTEAMIENTO DE OBRAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO.....	376
21.1	OBRAS PARA MOVIMIENTOS EN MASA	376
21.2	OBRAS PARA INUNDACIONES	388
21.2.1	Análisis de resultados en condiciones actuales	388
21.2.2	Análisis de resultados en condiciones proyectadas	390
22.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	395
23.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	402
24.	LIMITACIONES	409

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Zonificación de la UMI del polígono al interior del Barrio Villa Turbay (Sin Escala)	10
Figura 2.	Panorámica general de la UMI en la parte alta de la Zona 1	13
Figura 3.	Panorámica general de la UMI en la parte alta de la Zona 2	13
Figura 4.	Panorámica general de la zona baja Polígono Villa Turbay	14
Figura 5.	Panorama de las condiciones de las quebradas La Mica y La Sopera el interior del Polígono Villa Turbay	18
Figura 6.	Lleno antrópico. A) En la estaciónMAD03-VT. B) En la estación MAD106-U-EPVT	29
Figura 7.	Lleno antrópico localizado en la estación de campo MAD14-VT y MAD09-VT	30
Figura 8.	Llenos antrópicos.A) En perforación P-VT-PR-22. B) En perforación P-VT-PR-23	31
Figura 9.	Capa de cenizas volcánicas removilizadas.....	31
Figura 10.	Depósito aluviotorrencial parte baja del polígono Esfuerzos de Paz.....	32
Figura 11.	Depósito aluviotorrencial de la Quebrada La Castro 4.....	32
Figura 12.	Depósito de talus compuesto de fragmentos de anfibolitas	33
Figura 13.	Depósito de flujo de lodos y/o escombros estaciones MAD08-EP y MAD12-EP	34
Figura 14.	Depósito de flujos de lodos y/o escombros.....	35
Figura 15.	Suelo saprolítico del cuerpo granítico con estructura bandeada (Brecha de intrusión) A) En la perforación P-EP-PR-22. B)En la estación de campo AMD03-VT	36
Figura 16.	Horizonte IC-Gruss del cuerpo granítico en la perforación P-VT-PP-01	36
Figura 17.	Horizonte IC-Gruss. A) Estación de campo MAD02-VT. B) Estación de campo MAD15-VT.....	37
Figura 18.	A) Saprolito con cuarzo lechoso MAD92-U-EPVT. B) Meteorización esferoidal SFJ07-EP	37
Figura 19.	Cuerpo de dunitas cizalladas.....	38
Figura 20.	Brecha tectónica de Dunitas-Anfibolitas sobre la Quebrada La Castro 4.....	38

Figura 21.	Horizonte IB de meteorización con costra de óxidos de hierro localizado en la parte alta de la UMI, estación de campo KGL01-U-EPVT	39
Figura 22.	Horizonte IC de meteorización sobre talud	39
Figura 23.	Horizonte IC con estructura bandeada. A) En la estación de campo SFJ05-VT. B) En la estación de campo SFJ06-VT	40
Figura 24.	Horizonte IIA de dunitas cizalladas en la estación de campo SFJ03-U-EPVT	40
Figura 25.	Grado de fracturamiento en Horizonte IIA de las dunitas con venillas de serpentina meteorizada en la estación de campo KGL11-U-EPVT	41
Figura 26.	A) Brecha Dunitas-Anfibolitas.B) Horizonte IC de meteorización	42
Figura 27.	Horizonte IC de brecha tectónica en las Anfibolitas de Medellín.....	42
Figura 28.	Horizonte IIA de las Anfibolitas de Medellín sobre la Quebrada La Castro	4 43
Figura 29.	Perfil geomorfológico A-A'	54
Figura 30.	Perfil geomorfológico B-B'	54
Figura 31.	Perfil geomorfológico C-C'	54
Figura 32.	Unidad de Altiplano AP y Escarpe de Altiplano EAP	55
Figura 33.	Unidad de Peldaño Alto PÑA, al fondo el Cerro Pan de Azúcar CPA	56
Figura 34.	Unidad de Peldaño Bajo PÑB y Vertiente Suave VS	56
Figura 35.	Unidad de Peldaño Tectónico PÑT y Lomeríos Amplios LRA.....	57
Figura 36.	Lomo Alargado con Vertientes Fuertes LARVF, Metro Cable Alejandro Echavarría.....	58
Figura 37.	Unidad de Vertiente Escarpada VE, Peldaño Alto PÑA, Vertiente Escarpada VE, Vertiente Moderada VM y Vertiente Moderada Colinada	58
Figura 38.	Lomo Amplio con Vertientes Moderadas LAVM Barrio Villa Turbay.....	59
Figura 39.	Unidad de Lomo Amplio con Vertientes Moderadas LAVM, margen izquierda Quebrada La Castro.....	60
Figura 40.	Unidad de Lomo Estrecho con Vertientes Fuertes LEVF, Lomo Estrecho con Vertientes Suaves LEVS y Depósitos Sin Incisión DSI.....	60
Figura 41.	Unidad de Lomo Morfotectónico LMT.....	61
Figura 42.	Lomo de Obturación LO y Vertiente Escarpada VE.....	62
Figura 43.	Unidad de Escarpe Corto Semicircular ECSC y Depósitos de Sin Incisión DSI	62

Figura 44.	Unidad de Superficies Suaves sobre Depósitos Poco Incisados SSDPI.....	63
Figura 45.	Unidad de Superficie Antrópica SA, Superficies con Baja Incisión SBI y Lomo Alargado con Vertientes Fuertes LARVF	64
Figura 46.	Unidad de Depósitos Sin Incisión DSI	65
Figura 47.	Unidad de Vertiente Escarpada VE	65
Figura 48.	Unidad de Vertiente Moderada VM, Peldaño Alto PÑA y al fondo el Cerro Pan de Azúcar CPA	66
Figura 49.	Unidad de Vertiente Suave.....	67
Figura 50.	Principales formaciones genéticas de una dolina (Huggett, 2007).....	67
Figura 51.	Disolución en la Dunita de Medellín en forma de canales.....	68
Figura 52.	Unidad de Dolina parte alta de la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay.....	69
Figura 53.	Geoforma pseudokárstica Karren sobre las Dunitas de Medellín	69
Figura 54.	Unidad de Karren exhibiendo planos de discontinuidad	70
Figura 55.	Distribución de los fenómenos.....	72
Figura 56.	Análisis de los barrios más afectados por los fenómenos.....	73
Figura 57.	Fotografía del deslizamiento de Villatina en septiembre de 1987 (Periódico El Mundo, 8 de octubre de 1987).....	75
Figura 58.	Proceso inactivo sobre la margen derecha de la Quebrada La Castro	79
Figura 59.	Deslizamiento activo en el polígono de Villa Turbay-MAD15-VT sobre saprolito de cuerpos graníticos.....	79
Figura 60.	Bloques en superficie sobre la margen derecha de la Quebrada La Castro	80
Figura 61.	Escarpes de roca con alto grado de fracturamiento.....	80
Figura 62.	A) Surcos sobre suelo saprolítico del granito. B) Zonas húmedas	81
Figura 63.	Erosión en montículos sobre el horizonte IB de las Dunitas	81
Figura 64.	En amarillo la zona de estudio y las fallas presentes (Restrepo, J., 2008) ..	83
Figura 65.	Falla La Aguadita y Falla La Castro (Restrepo, J., 2008).....	86
Figura 66.	Diagrama de polos con todos los datos obtenidos en el levantamiento de discontinuidades.....	88
Figura 67.	Diagrama de rosas con todos los datos obtenidos en el levantamiento de discontinuidades.....	89

Figura 68.	Diagrama de polos con los datos obtenidos en el levantamiento de discontinuidades en las estaciones KGL02-U-EP, KGL09-U-EP y KGL10-U-EP	90
Figura 69.	Diagrama de polos con los datos obtenidos en el levantamiento de discontinuidades en las Estaciones KGL11-U-EP y SFJ21-EP.....	91
Figura 70.	Análisis de la característica de espaciamiento de las discontinuidades.....	94
Figura 71.	Análisis de la característica de continuidad de las discontinuidades.....	95
Figura 72.	Análisis de la característica de abertura de las discontinuidades	96
Figura 73.	Análisis de la característica de relleno de las discontinuidades	97
Figura 74.	Análisis de la característica de alteración de las discontinuidades	98
Figura 75.	Esquema para calificar la rugosidad de una discontinuidad (Tomado de González de Vallejo, 2002)	99
Figura 76.	Análisis de la característica de la rugosidad de las discontinuidades	99
Figura 77.	Análisis de la característica de agua en las discontinuidades.....	100
Figura 78.	Análisis de la característica de resistencia de las paredes de las discontinuidades.....	101
Figura 79.	Secciones analizadas en partes alta y baja de la UMI	102
Figura 80.	Análisis cinemático Sección 1 de la ladera analizada. a) Deslizamiento planar, b) Falla por cuña, c) Volcamiento flexural y d) Volcamiento directo	103
Figura 81.	Análisis cinemático Sección 2 de la ladera analizada. a) Deslizamiento planar, b) Falla por cuña, c) Volcamiento flexural y d) Volcamiento directo	104
Figura 82.	Análisis cinemático Sección 3 de la ladera analizada. a) Deslizamiento planar, b) Falla por cuña, c) Volcamiento flexural y d) Volcamiento directo	105
Figura 83.	Análisis cinemático Sección 4 de la ladera analizada. a) Deslizamiento planar, b) Falla por cuña, c) Volcamiento flexural y d) Volcamiento directo	106
Figura 84.	Metodología utilizada para elaboración de Mapa de Aptitud Geológica.....	108
Figura 85.	Esquema de localización de las unidades geomorfológicas de interés hidrogeológico (Sin escala)	122
Figura 86.	Recta Meteórica para Colombia	123
Figura 87.	Pluviómetros instalados alrededor de la zona de estudio	125
Figura 88.	Relación Deuterio : Oxígeno 18 en muestras de la Comuna Nororiental...	127
Figura 89.	Variación del contenido de Deuterio en el agua lluvia con la altura de precipitación en Colombia	129

Figura 90.	Variación del contenido de Oxígeno 18 en el agua lluvia con la altura de precipitación en Colombia	129
Figura 91.	Variación del contenido de Deuterio con la altura de precipitación en Colombia combinada con contenido de Deuterio en manantiales en la Comuna Nororiental	130
Figura 92.	Variación del contenido de Oxígeno 18 con la altura de precipitación en Colombia combinada con contenido de Deuterio en manantiales en la Comuna Nororiental	130
Figura 93.	Variación del contenido de Deuterio en agua subterránea con la altura de precipitación en Colombia combinada con contenido de Deuterio en manantiales en el Valle de Aburrá (Hoyos, 2012).....	133
Figura 94.	Modelo conceptual de la recarga, flujo local y regional y descarga del agua subterránea en el sistema hidrogeológico Planalto de Santa Elena, Valle de San Nicolás, Valle de Aburrá.....	136
Figura 95.	Esquema de localización en profundidad de los piezómetros de hilo vibrátil	139
Figura 96.	Cotas piezométricas en Piezómetros P-VT-PZ-20B y P-VT-PZ-20D	141
Figura 97.	Cotas piezométricas en Piezómetros P-VT-PZ-22D	142
Figura 98.	Cotas piezométricas en Piezómetros P-VT-PZ-24B y P-VT-PZ-24D	142
Figura 99.	Líneas equipotenciales y de flujo local para el Polígono Villa Turbay	143
Figura 100.	Representación esquemática del mecanismo de falla propuesto con intervención antrópica	145
Figura 101.	Representación esquemática del mecanismo de falla propuesto sin intervención antrópica	146
Figura 102.	Localización de los polígonos dentro de las zonas homogéneas (Microzonificación Sísmica del Área Urbana de Medellín, 1999)	148
Figura 103.	Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay.....	158
Figura 104.	Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay (Continuación) ..	159
Figura 105.	Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay (Continuación) ..	160
Figura 106.	Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay (Continuación) ..	161
Figura 107.	Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay (Continuación) ..	162

Figura 108.	Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay (Continuación) ..	163
Figura 109.	Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay (Continuación) ..	164
Figura 110.	Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay (Continuación) ..	165
Figura 111.	Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay (Continuación) ..	166
Figura 112.	Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay (Continuación) ..	167
Figura 113.	Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay (Continuación) ..	168
Figura 114.	Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay (Continuación) ..	169
Figura 115.	Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay (Continuación) ..	170
Figura 116.	Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay (Continuación) ..	171
Figura 117.	Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay (Continuación) ..	172
Figura 118.	Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea P-EP-LG-01	176
Figura 119.	Dispersión y ajuste para la Línea P-EP-LG-01	176
Figura 120.	Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-EP-LG-01	177
Figura 121.	Tomografía - Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) ...Línea P-EP-LG-01.....	177
Figura 122.	Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea P-EP-LG-02	178
Figura 123.	Dispersión y ajuste para la Línea P-EP-LG-02	178
Figura 124.	Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-EP-LG-02	178
Figura 125.	Tomografía - Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) ...Línea P-EP-LG-02.....	179
Figura 126.	Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea P-EP-LG-03	180
Figura 127.	Dispersión y ajuste para la Línea P-EP-LG-03	180



**SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL
COLOMBIA**
“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE
DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN
EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”
INFORME POLIGONO VILLA TURBAY



Figura 128.	Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-EP-LG-03	180
Figura 129.	Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-EP-LG-03	181
Figura 130.	Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea P-VT-LG-01	182
Figura 131.	Dispersión y ajuste para la Línea P-VT-LG-01	182
Figura 132.	Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-VT-LG-01	182
Figura 133.	Tomografía - Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-VT-LG-01	183
Figura 134.	Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea P-VT-LG-02	184
Figura 135.	Dispersión y ajuste para la Línea P-VT-LG-02	184
Figura 136.	Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-VT-LG-02	184
Figura 137.	Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-VT-LG-02	185
Figura 138.	Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea P-VT-LG-03	186
Figura 139.	Dispersión y ajuste para la Línea P-VT-LG-03	186
Figura 140.	Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-VT-LG-03	186
Figura 141.	Tomografía - Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) ...Línea P-VT-LG-03	187
Figura 142.	Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea P-VT-LG-04	188
Figura 143.	Dispersión y ajuste para la Línea P-VT-LG-04	188
Figura 144.	Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-VT-LG-04	188
Figura 145.	Tomografía - Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) ...Línea P-VT-LG-04	189
Figura 146.	Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea U-EPVT-LG-03	190
Figura 147.	Dispersión y ajuste para la Línea U-EPVT-LG-03	190
Figura 148.	Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea U-EPVT-LG-03	190
Figura 149.	Tomografía - Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) ...Línea U-EPVT-LG-03	191

Figura 150.	Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea U-EPVT-LG-06	192
Figura 151.	Dispersión y ajuste para la Línea U-EPVT-LG-06.....	192
Figura 152.	Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea U EPVT-LG-06.....	192
Figura 153.	Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea U-EPVT-LG-07	193
Figura 154.	Dispersión y ajuste para la Línea U-EPVT-LG-07.....	193
Figura 155	Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea U-EPVT-LG-07.....	194
Figura 156.	Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea U-EPVT-LG-08	195
Figura 157.	Dispersión y ajuste para la Línea U-EPVT-LG-08.....	195
Figura 158.	Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea U-EPVT-LG-08.....	195
Figura 159.	Curva de resistividad vs profundidad (AB/2), P-VT-SEV-04.	196
Figura 160.	Ensayos de clasificación en Carta de Plasticidad de Casagrande.....	203
Figura 161.	Porcentajes de gravas, arenas y finos variando con la profundidad	203
Figura 162.	Índice plástico, límite líquido y humedad natural variando con la profundidad.	204
Figura 163.	Índice de consistencia, relación de vacíos y saturación variando con la profundidad.	204
Figura 164.	Resultados corte directo Muestra VT1-M1 a 0.0 m de profundidad	206
Figura 165.	Resultados corte directo Muestra VT2-M1 a 3.0m de profundidad	206
Figura 166.	Resultados corte directo Muestra VT3-M1 a 1.0 m de profundidad	207
Figura 167.	Análisis estadístico parámetros de resistencia al corte del lleno antrópico	208
Figura 168.	Análisis estadístico parámetros de resistencia al corte del depósito de vertiente	210
Figura 169.	Análisis estadístico parámetros de resistencia al corte del depósito de vertiente tipo flujo de lodos.....	211
Figura 170.	Análisis estadístico parámetros de resistencia al corte de los suelos residuales derivados de las Dunitas	212
Figura 171.	Análisis estadístico parámetros de resistencia al corte de los suelos residuales derivados del Batolito Antioqueño	214
Figura 172.	Precipitación media mensual y precipitaciones anuales en la Estación Planta Villa Hermosa.....	222

Figura 173.	Precipitación media mensual y precipitaciones anuales en la Estación Mazo	223
Figura 174.	Precipitación media mensual y precipitaciones anuales en la Estación Miguel de Aguinaga	223
Figura 175.	Índice Multivariado del ENSO (Fuente: NOAA)	224
Figura 176.	Inicio del tramo de estudio, Quebrada la Mica	245
Figura 177.	Zona de intervención del cauce (1ra y 2da imagen de izquierda a derecha) y Descole de la Estructura 1 (3ra imagen)	246
Figura 178.	Canal de descarga de la Estructura 1, Quebrada La Mica.....	246
Figura 179.	Inicio del tramo de estudio (Manhole) y canal con baffles de fondo.	247
Figura 180.	Estructura 2 (Alcantarilla) y Estructura 3 (Canalización).Quebrada La Mica 1	248
Figura 181.	Encole y descole de laEstructura 4 y Puente peatonal 1. Quebrada La Mica	249
Figura 182.	Puentes peatonales 2, 3 y 4 en la Quebrada La Mica 1.....	250
Figura 183.	Vegetación en las márgenes del Afluente El Sapero	252
Figura 184.	Modelo de cuerpo libre para mecanismo de falla planar.....	265
Figura 185.	Modelo general de implementación en SIG para determinar la amenaza por movimiento en masa	271
Figura 186.	Tipo de daños según velocidad y profundidad de Flujo	290
Figura 187.	Asignación de la amenaza por Inundación a partir de la Intensidad y la probabilidad del fenómeno (Ofee et al (1997) y Fiebiger (1997) en López y Courtel 2006)	291
Figura 188.	Variación del esfuerzo a lo largo de la Quebrada Afluente El Sapero 1.....	298
Figura 189.	Esquema general que muestra los escenarios donde podría localizarse un movimiento en masa	302
Figura 190.	Parámetros de altura y distancia del deslizamiento a las estructuras físicas vulnerables.....	306
Figura 191.	Diagrama de secuencia para la evaluación de la vulnerabilidad física para movimientos en masa	307
Figura 192.	Localización de puntos de referencia para la definición del polígono asociado al Deslizamiento Villatina ocurrido en 1987 sobre fotografías del mismo...	308

Figura 193.	Polígono asociado al deslizamiento Villatina ocurrido en 1987 sobre cartografía IGAC de 1973 con puntos de referencia tomados de fotografías	309
Figura 194.	Polígono asociado al deslizamiento Villatina trazada por medio de registro fotográfico del mismo sobre la cartografía del año 1973.....	310
Figura 195.	Perfil A-A' de unidades geomorfológicas de la UMI San Antonio (SIGA, 2018)	312
Figura 196.	Comparación entre mapa de factor de intensidad (z) y derrame del deslizamiento Villatina como forma de validación de la metodología de estudio	315
Figura 197.	Zonificación del Polígono Villa Turbay.....	318
Figura 198.	Distribución de frecuencia de la vulnerabilidad física de las estructuras....	333
Figura 199.	Diagrama de secuencia para la evaluación de la vulnerabilidad física para inundaciones	341
Figura 200.	Clasificación del riesgo para inundaciones y avenidas torrenciales según el grado de amenaza y de vulnerabilidad	361
Figura 201.	Localización en planta de los Perfiles 1 a 5 cercanos a los Focos 2, 3, 5, 7 y 10 incluyendo implantación del Proyecto Barrios Sostenibles	377
Figura 202.	Análisis de estabilidad del Perfil 1 en condiciones naturales	378
Figura 203.	Análisis de estabilidad del Perfil 1 en condiciones naturales y parámetros ajustados.....	379
Figura 204.	Análisis de estabilidad del Perfil 1 considerando tres pantallas de contención	380
Figura 205.	Análisis de estabilidad del Perfil 1 considerando dos pantallas de contención	380
Figura 206.	Análisis de estabilidad del Perfil 1 considerando una pantalla de contención	381
Figura 207.	Análisis de estabilidad del Perfil 2 en condiciones naturales	382
Figura 208.	Análisis de estabilidad del Perfil 3 en condiciones naturales	383
Figura 209.	Tubería de inclinómetros ranurada diametralmente.....	386
Figura 210.	Disposición de los Sentidos A y B en los inclinómetros	387
Figura 211.	Localización de inclinómetros propuestos para monitoreo de Polígono Villa Turbay incluyendo implantación del Proyecto Barrios Sostenibles	388
Figura 212.	Estructura general de la información entregada	401

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Rangos de pendientes para definición de la geomorfología local	50
Tabla 2.	Cantidad de fenómenos que ocurren en cada uno de los barrios que se encuentran al interior y cerca del Proyecto Barrios Sostenibles	72
Tabla 3.	Registro de los principales fenómenos ocurridos alrededor de la zona de estudio	74
Tabla 4.	Listado de fotografías aéreas recopiladas por El Consultor	75
Tabla 5.	Colores definidos para los procesos según año	76
Tabla 6.	Estructuras en las Dunitas de Medellín reportadas por Consorcio Microzonificación, 2006	84
Tabla 7.	Distribución de los datos tomados en las estaciones geomecánicas	87
Tabla 8.	Familias de discontinuidades considerando todos los datos	89
Tabla 9.	Familias de discontinuidades en la estación KGL02-U-EP	91
Tabla 10.	Familias de discontinuidades en la estación KGL09-U-EP	92
Tabla 11.	Familias de discontinuidades en la estación KGL10-U-EP	92
Tabla 12.	Familias de discontinuidades en la estación KGL11-U-EP	92
Tabla 13.	Familias de discontinuidades en la estación SFJ21-EP	92
Tabla 14.	Descripción del espaciamiento de las discontinuidades	93
Tabla 15.	Descripción de la continuidad de las discontinuidades	94
Tabla 16.	Descripción de la abertura de las discontinuidades	95
Tabla 17.	Buzamiento y dirección del buzamiento de las secciones analizadas	102
Tabla 18.	Resumen resultados análisis cinemático	107
Tabla 19.	Matriz de valoración de niveles de criticidad de las Unidades Geomorfológicas	109
Tabla 20.	Matriz de valoración de niveles de criticidad de las Zonas Homogéneas ..	110
Tabla 21.	Criterios de decisión para clasificar la zona de estudio con respecto a la criticidad morfodinámica	114
Tabla 22.	Contenido isotópico en agua lluvia en las muestras tomadas como parte de este estudio	125
Tabla 23.	Contenido isotópico en muestras de manantiales tomadas como parte de este estudio de la ladera nororiental del Valle de Aburrá	126

Tabla 24.	Contenido isotópico en manantiales y quebradas de la ladera nororiental del Valle de Aburrá	128
Tabla 25.	Contenido isotópico en manantiales y quebradas de las laderas de los Valles de Aburrá y San Nicolás.....	131
Tabla 26.	Perfiles de suelo típicos característicos de la Zona Homogénea 10	150
Tabla 27.	Coeficientes espectrales para los sismos de control de daño y diseños....	151
Tabla 28.	Exploración geotécnica utilizada en la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay	155
Tabla 29.	Tabla de Valores de Resistividad eléctrica (Arias, 2011)	174
Tabla 30.	Coordenadas de las líneas ReMi realizadas en la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay y de la línea SEV realizada en el Polígono Villa Turbay.....	175
Tabla 31.	Resumen de resultados de los ensayos de laboratorio.....	197
Tabla 32.	VARIABLES DE ESTADO DE algunas de las muestras ensayadas.....	202
Tabla 33.	VARIABLES DE ESTADO DE algunas de las muestras ensayadas.....	206
Tabla 34.	Parámetros de resistencia al cortante con sus respectivos análisis variacionales	214
Tabla 35.	Estaciones pluviográficas en la zona que son operadas por EPM (EPM, 2005) y precipitación total anual	219
Tabla 36.	Coordenadas de los puntos de salida del flujo en cada cuenca.....	227
Tabla 37.	Parámetros morfométricos de las cuencas de influencia en Villa Turbay ..	227
Tabla 38.	Usos del suelo en las cuencas de influencia en Villa Turbay	230
Tabla 39.	Modelos empleados en el cálculo del tiempo de concentración.....	231
Tabla 40.	Tiempos de concentración calculados para las cuencas	231
Tabla 41.	Valores de Parámetros C, H y M para curvas IDF de estaciones EPM (2005)	232
Tabla 42.	Intensidades de precipitación en mm/h para cada cuenca	232
Tabla 43.	Coeficientes de escorrentía calculados para cada cuenca	233
Tabla 44.	Coordenadas para los puntos de salida de las cuencas consideradas en la regionalización.	239
Tabla 45.	Resultados de regionalización de caudales máximos.....	241
Tabla 46.	Resumen de caudales máximos para TR 2.33 Años	241
Tabla 47.	Resumen de caudales máximos para TR 10 Años	241

Tabla 48.	Resumen de caudales máximos para TR 50 Años	241
Tabla 49.	Resumen de caudales máximos para TR 100 Años	242
Tabla 50.	Resumen de estructuras hidráulicas en la Quebrada La Mica	247
Tabla 51.	Características y coordenadas de los pasos peatonales, ubicados en la Quebrada La Mica 1	250
Tabla 52.	Resumen de estructuras hidráulicas en la Quebrada La Mica 1	251
Tabla 53.	Velocidades y profundidades de flujo en el Subtramo 1 de la Qda. La Mica	257
Tabla 54.	Velocidades y profundidades de flujo en el Subtramo 2 de la Qda. La Mica	258
Tabla 55.	Velocidades y profundidades de flujo en el Subtramo 1 de la Qda. La Mica 1	259
Tabla 56.	Velocidades y profundidades de flujo en el Subtramo 2 (Canalización) de la Qda. La Mica 1	259
Tabla 57.	Verificación de las condiciones hidráulicas de los puentes o pasos peatonales en la Quebrada La Mica 1 para un Tr=100 años. Condiciones Actuales	259
Tabla 58.	Velocidades y profundidades máximas de flujo en el Subtramo 1 (Canal natural) Afluente El Sapero	260
Tabla 59.	Nivel de amenaza según los valores del factor de seguridad	272
Tabla 60.	Nivel de amenaza considerando la probabilidad de ruptura en 50 años	272
Tabla 61.	Asignación de la calificación de la Probabilidad de Inundaciones.....	290
Tabla 62.	Asignación de la calificación de la Intensidad de Inundaciones	291
Tabla 63.	Propiedades de los materiales de los caucescon influencia en el polígono Villa Turbay	297
Tabla 64.	Clasificación de velocidad de fenómenos (Cruden & Varnes, 1996).....	303
Tabla 65.	Factor por tipo de estructura.....	304
Tabla 66.	Factor por altura de la estructura.....	304
Tabla 67.	Factor de estado de la estructura	305
Tabla 68.	Tipo de ocupación – Movimiento en Masa.....	320
Tabla 69.	Tipo de estructura – Movimiento en Masa	320
Tabla 70.	Estado de la estructura – Movimiento en Masa	320
Tabla 71.	Alturas de las estructuras – Movimiento en Masa.....	321

Tabla 72.	Tipo de cubierta – Movimiento en Masa	321
Tabla 73.	Categorización de la vulnerabilidad estructural física ante fenómenos de movimientos en masa	330
Tabla 74.	Categorización de la vulnerabilidad de las personas ante fenómenos de movimientos en masa	334
Tabla 75.	Factores de vulnerabilidad considerados para el Proyecto Barrios Sostenibles del Polígono Villa Turbay	336
Tabla 76.	Factor de vulnerabilidad por Calidad de la Edificación para Inundaciones y Avenidas Torrenciales	339
Tabla 77.	Cálculo Índice de Vulnerabilidad Residencial (RvI) y la Vulnerabilidad Física a partir de BuV	340
Tabla 78.	Tipo de estructura – Inundaciones y Avenidas torrenciales	341
Tabla 79.	Estado de la estructura – Inundaciones y Avenidas torrenciales	341
Tabla 80.	Altura de la estructura – Inundaciones y Avenidas torrenciales	342
Tabla 81.	Densidad de población – Inundaciones y Avenidas torrenciales.....	342
Tabla 82.	Registro fotográfico en el Polígono Villa Turbay	350
Tabla 83.	Registro fotográfico en el Polígono Villa Turbay (Continuación)	351
Tabla 84.	Registro fotográfico en el Polígono Villa Turbay (Continuación)	352
Tabla 85.	Matriz de unificación del riesgo de estructuras y de personas para determinar el riesgo total	358
Tabla 86.	Categorización del riesgo total	358



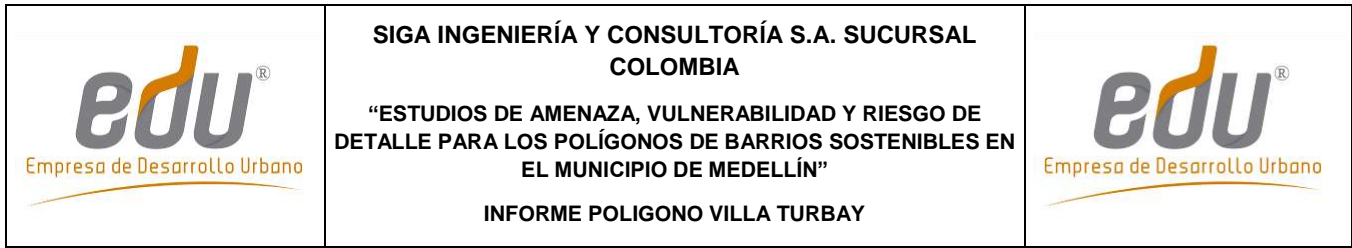
LISTA DE MAPAS

Mapa 1.	Localización general del polígono dentro del Barrio Villa Turbay	6
Mapa 2.	UMI asociada al Polígono Villa Turbay	9
Mapa 3.	Usos generales del suelo rural UMI Esfuerzos de Paz- Villa Turbay (POT, 2014).....	15
Mapa 4.	Usos generales del suelo urbano UMI Esfuerzos de Paz- Villa Turbay (POT, 2014).....	16
Mapa 5.	Geología regional (tomada de Consorcio Microzonificación, 2006)	20
Mapa 6.	Geología local UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay	25
Mapa 7.	Perfiles estratigráficos A-A' y B-B'	26
Mapa 8.	Perfiles estratigráficos C-C'	27
Mapa 9.	Bloques o macrounidades geomorfológicas de la zona de estudio.....	46
Mapa 10.	Unidades geomorfológicas de la zona de estudio.....	49
Mapa 11.	Mapa de pendientes UMI Esfuerzos de Paz-Villa Turbay	51
Mapa 12.	Plano de unidades geomorfológicas de la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay.....	53
Mapa 13.	Procesos morfodinámicos UMI Villa Turbay	77
Mapa 14.	Procesos morfodinámicos UMI Villa Turbay	78
Mapa 15.	Geología estructural en la UMI Esfuerzos de Paz-Villa Turbay.....	85
Mapa 16.	Criticidad geomorfológica UMI Esfuerzos de Paz-Villa Turbay	112
Mapa 17.	Criticidad de zonas homogéneas UMI Esfuerzos de Paz-Villa Turbay.....	113
Mapa 18.	Criticidad morfodinámica UMI Esfuerzos de Paz-Villa Turbay	115
Mapa 19.	Aptitud Geológica - Geotécnica UMI Esfuerzos de Paz-Villa Turbay (18_VTBaptitudGeologicaGeotecnica_Medellin_C y 18_VTBaptitudGeologicaGeotecnica_Medellin_T).....	117
Mapa 20.	Categorías de suelo de protección, producción y suburbano (POT, 2014).....	118
Mapa 21.	Clasificación del suelo (POT, 2014)	119
Mapa 22.	Localización en planta de los piezómetros de hilo vibrátil.....	138
Mapa 23.	Localización de la exploración directa e indirecta.....	153



Mapa 24.	Localización de la exploración directa e indirecta	154
Mapa 25.	Información cartográfica empleada en el estudio.....	218
Mapa 26.	Estaciones pluviográficas operadas por EPM 2005.....	221
Mapa 27.	Red hídrica de la UMI Esfuerzos de Paz-Villa Turbay	225
Mapa 28.	Delimitación de las cuencas con influencia sobre el Polígono Villa Turbay	226
Mapa 29.	Usos del suelo en las cuencas de influencia sobre el Polígono Villa Turbay	229
Mapa 30.	Cuencas consideradas en el método de regionalización	240
Mapa 31.	Localización obras hidráulicas y puentes. Condiciones Actuales. Polígono Villa Turbay	244
Mapa 32.	Manchas de inundación para las Quebradas La Mica y La Mica 1 y el Afluente El Sapero 1 en condiciones actuales.....	256
Mapa 33.	Manchas de Inundación para los diferentes periodos de retorno en condiciones actuales.Polígono Villa Turbay.	261
Mapa 34.	Análisis del factor de seguridad de la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay en condiciones estáticas	275
Mapa 35.	Análisis del factor de seguridad de la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay en condiciones estáticas	276
Mapa 36.	Análisis del factor de seguridad de la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay en condiciones pseudoestáticas con sismo de 0.25g	277
Mapa 37.	Análisis del factor de seguridad de la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay en condiciones pseudoestáticas con sismo de 0.25g	278
Mapa 38.	Mapa de probabilidad de falla de la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay en condiciones actuales y naturales.....	279
Mapa 39.	Mapa de probabilidad de falla de la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay en condiciones actuales y naturales.....	280
Mapa 40.	Mapa de probabilidad de falla de la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay en condiciones pseudoestáticas con un sismo 0.25g periodo de retorno de 475 años	281
Mapa 41.	Mapa de probabilidad de falla de la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay en condiciones pseudoestáticas con un sismo 0.25g periodo de retorno de 475 años	282
Mapa 42.	Mapa de probabilidad de falla anualizado de la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay en condiciones pseudoestáticas con un sismo 0.25g	283

Mapa 43.	Mapa de probabilidad de falla anualizado de la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay en condiciones pseudoestáticas con un sismo 0.25g	284
Mapa 44.	Mapa de zonificación de la amenaza total en el Polígono Villa Turbay por movimientos en masa proyectado para 50 años considerando la variabilidad de los parámetros y la acción del sismo de 0.25g	285
Mapa 45.	Mapa de zonificación de la amenaza total de la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay por movimientos en masa proyectado para 50 años considerando la variabilidad de los parámetros y la acción del sismo de 0.25g.....	286
Mapa 46.	Mapa de zonificación de la amenaza total de la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay por movimientos en masa proyectado para 50 años considerando la variabilidad de los parámetros y la acción del sismo de 0.25g.....	287
Mapa 47.	Esquema con localización de los focos de inestabilidad que afectan el Polígono Villa Turbay	288
Mapa 48.	Amenaza por Inundaciones Quebradas La Mica, La Mica 1 y Afluente El Sapero 1 en el Polígono Villa Turbay en condiciones actuales.....	293
Mapa 49.	Superposición de Vías de Acceso y Equipamientos sobre la amenaza por inundaciones	294
Mapa 50.	Unidades geomorfológicas de la UMI San Antonio (SIGA, 2018)	311
Mapa 51.	Localización de vías de acceso y equipamientos en el Polígono Villa Turbay	319
Mapa 52.	Localización espacial del tipo de estructura por movimientos en masa en el Polígono Villa Turbay	323
Mapa 53.	Localización espacial del desplante de fundaciones por movimientos en masa en el Polígono Villa Turbay	324
Mapa 54.	Localización espacial del estado de estructura por movimientos en masa en el Polígono Villa Turbay.....	325
Mapa 55.	Localización espacial del tipo de cubierta por movimientos en masa en el Polígono Villa Turbay	326
Mapa 56.	Localización espacial de la altura de estructura por movimientos en masa en el Polígono Villa Turbay.....	327
Mapa 57.	Resistencia de las estructuras para la metodología de vulnerabilidad física por movimientos en masa	328
Mapa 58.	Análisis de la vulnerabilidad estructural del Polígono Villa Turbay.....	331
Mapa 59.	Análisis de la vulnerabilidad estructural por movimientos en masa de las vías de acceso y equipamientos en el Polígono Villa Turbay	332
Mapa 60.	Análisis de la vulnerabilidad de las personas del Polígono Villa Turbay	335

Mapa 61.	Análisis de la vulnerabilidad estructural del Polígono Villa Turbay por movimientos en masa con el nuevo Proyecto Barrios Sostenibles	337
Mapa 62.	Análisis de la vulnerabilidad de las personas del Polígono Villa Turbay por movimientos en masa con el nuevo Proyecto Barrios Sostenibles	338
Mapa 63.	Localización espacial del tipo de estructura por inundación en el Polígono Villa Turbay	344
Mapa 64.	Localización espacial del estado de estructura por inundación en el Polígono Villa Turbay	345
Mapa 65.	Localización espacial de la altura de estructura por inundación en el Polígono Villa Turbay	346
Mapa 66.	Localización espacial la densidad de la población en el Polígono Villa Turbay	347
Mapa 67.	Análisis de vulnerabilidad para inundaciones y avenidas torrenciales en el Polígono Villa Turbay	348
Mapa 68.	Análisis de vulnerabilidad física ante inundaciones en el Polígono Villa Turbay para las Vías de Acceso y Equipamientos.....	349
Mapa 69.	Análisis de riesgo estructural de viviendas y construcciones por movimientos en masa en el Polígono Villa Turbay	355
Mapa 70.	Análisis de riesgo de las personas por movimientos en masa en el Polígono Villa Turbay	356
Mapa 71.	Análisis de riesgo estructural de vías de acceso por movimientos en masa	357
Mapa 72.	Análisis de riesgo total de viviendas y construcciones por movimientos en masa para las condiciones actuales en el Polígono Villa Turbay.....	360
Mapa 73.	Riesgo por inundaciones en condiciones actuales en el Polígono Villa Turbay para viviendas y construcciones.....	363
Mapa 74.	Riesgo por inundaciones en condiciones actuales en el Polígono Villa Turbay para las vías de acceso y equipamientos	364
Mapa 75.	Redes de servicios públicos sobre mapa de zonificación de la amenaza por movimientos en masa proyectado para 50 años considerando la variabilidad de los parámetros y la acción del sismo de 0.25g	367
Mapa 76.	Superposición de redes de servicio público sobre la amenaza por inundaciones	368
Mapa 77.	Retiro geológico e hidrológico en las Quebrada La Mica y Afluente El Sapero 1 dentro del Polígono Villa Turbay.....	375





Mapa 78.	Análisis de riesgo total de viviendas y construcciones por movimientos en masa para las condiciones proyectadas en el Polígono Villa Turbay.....	385
Mapa 79.	Manchas de Inundación para los diferentes periodos de retorno. Polígono Villa Turbay. Condiciones Proyectadas.	391
Mapa 80.	Análisis de amenaza por inundaciones en condiciones proyectadas en las Quebradas La Mica, La Mica 1 y el afluente El Sapero 1. Polígono Villa Turbay.....	392
Mapa 81.	Análisis de riesgo por inundaciones para las viviendas y construcciones en el Polígono Villa Turbay en condiciones proyectadas.....	393
Mapa 82.	Retiro POT y retiro hidrológico para la Quebrada La Mica 1 y Afluente El Sapero	394



	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	--	---

LISTA DE MAPAS DEL ATLAS

- 01_VTBLocalizacionGeneral_Medellin_T
- 02_VTBLocalizacionUMI_Medellin_T
- 03_VTBGeomorfologiaRegional_Medellin_T
- 04_VTBGeologiaLocalUMI_Medellin_T
- 05_VTBPerfilesGeologicos_Medellin_T
- 06_VTBPerfilesGeologicos_Medellin_T
- 07_VTBMacroUnidadesGeomorfologicas_Medellin_T
- 08_VTBUnidadesGeomorfologicas_Medellin_T
- 09_VTBPendientes_Medellin_T
- 10_VTBGeomorfologiaLocal_Medellin_T
- 11A_VTBProcesosMorfodinamicos_Medellin_T
- 11_VTBProcesosMorfodinamicos_Medellin_T
- 12_VTBGeologiaEstructural_Medellin_T
- 13A_VTBExploracion_Medellin_T
- 13_VTBExploracion_Medellin_T
- 14_VTBClasificaciondelSuelo_Medellin_T
- 15_VTBCategoriasSueloProteccionProduccionySuburbano_Medellin_T
- 16_VTBUsosdelSueloUrbano_Medellin_T
- 17_VTBUsosdelSueloRural_Medellin_T
- 18_VTBAptitudGeologicaGeotecnica_Medellin_T

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	--	---

- 19A_VTB Amenaza Movimientos en Masa_Medellin_T
- 19B_VTB Amenaza Movimientos en Masa_Medellin_T
- 19_VTB Amenaza Movimientos en Masa_Medellin_T
- 20_VTB Red Hidrica UMI_Medellin_T
- 21_VTB Mancha Inundaciones_Medellin_T
- 22_VTB Mancha Inundaciones Cond Proyecto_Medellin_T
- 23_VTB Amenaza Inundaciones_Medellin_T
- 24_VTB Amenaza Inundaciones Cond Proyecto_Medellin_T
- 25_VTB Tipo de Estructura_Medellin_T
- 26_VTB Desplante de Fundaciones_Medellin_T
- 27_VTB Estado de la Estructura_Medellin_T
- 28_VTB Tipo de Cubierta_Medellin_T
- 29_VTB Altura de la Construcción_Medellin_T
- 30_VTB Mapa de Resistencia_Medellin_T
- 31_VTB Tipo de Estructura_Medellin_T
- 32_VTB Estado de la Estructura_Medellin_T
- 33_VTB Altura de la Construcción_Medellin_T
- 34_VTB Densidad de Población_Medellin_T
- 35_VTB Vías de Acceso y Equipamientos_Medellin_T
- 36_VTB Vulnerabilidad Estructural Movimientos en Masa_Medellin_T
- 37_VTB Vulnerabilidad Personas Movimientos en Masa_Medellin_T
- 38_VTB Vulnerabilidad Física por Inundaciones_Medellin_T

	<p align="center">SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p align="center">“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p align="center">INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

39_VTBRiesgoEstructuralMovimientosenMasa_Medellin_T

40_VTBRiesgoPersonasMovimientosenMasa_Medellin_T

41_VTBRiesgoTotalMovimientosenMasa_Medellin_T

42_VTBRiesgoTotalMovimientosenMasaCondProyecto_Medellin_T

43_VTBRiesgoInundaciones_Medellin_T

44_VTBRiesgoInundacionesCondProyecto_Medellin_T

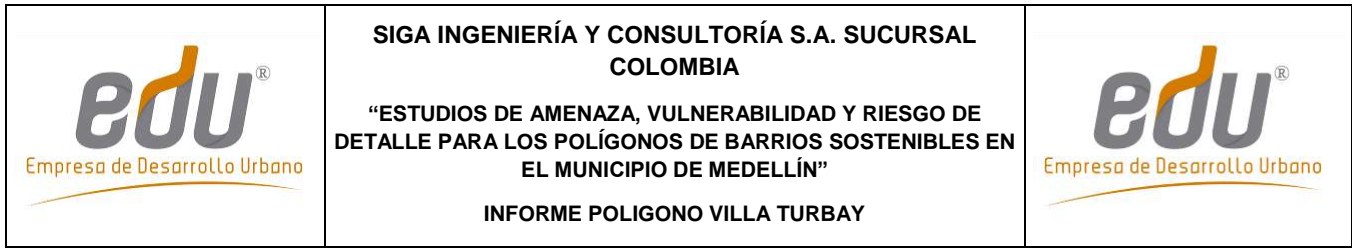
45_VTBRetiroHidrologicoyGeologico_Medellin_T

46_VTBVulnerabilidadEstructuralMovimientosenMasa_ViasEquipamientos_Medellin_T

47_VTBVulnerabilidadInunyAvenTorrenAccesosEquipamientos_Medellin_T

48_VTBRiesgoEstructuralMovimientosenMasa_ViasEquipamientos_Medellin_T

49_VTBRiesgoInundacionAccesosEquipamientos_Medellin_T



LISTA DE PLANOS

P-2445-VT-OM-01	Obras de Mitigación La Mica-Planta
P-2445-VT-OM-02	Obras de Mitigación La Mica-Perfiles
P-2445-VT-OM-03	Obras de Mitigación El Sapero
P-2445-VT-OM-04	Detalles estructurales
P-2445-VT-OM-04A	Detalles estructurales
P-2445-VT-OM-05	Paso peatonal

LISTA DE ANEXOS

- Anexo 01. Formatos con levantamientos de campo
- Anexo 02. Registros de la exploración de campo
- Anexo 03. Ensayos de laboratorio
- Anexo 04. Memorias hidrológicas
- Anexo 05. Memorias hidráulicas
- Anexo 06. Fichas de vulnerabilidad estructural
- Anexo 07. Fichas análisis de alternativas obras de mitigación
- Anexo 08. Memorias de diseño obras de mitigación
- Anexo 09. Planos de diseño obras de mitigación
- Anexo 10. Actas de instrumentación
- Anexo 11. Cantidades de obra, Presupuesto y Especificaciones
- Anexo 12. Geodatabase

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
--	---	--



1. INTRODUCCIÓN

En el marco del Contrato 286 de 2014, que la Empresa Ingeniería y Consultoría S.A. Sucursal Colombia (SIGA) firmó con la Empresa de Desarrollo Urbano (EDU), SIGA fue contratada para llevar a cabo los estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de detalle para los polígonos del “Proyecto Barrios Sostenibles”. Se trata de polígonos en los Barrios La Cruz, Golondrinas, El Faro, Trece de Noviembre, Pinares de Oriente, San Antonio, Esfuerzos de Paz y Villa Turbay del municipio de Medellín.

En este informe se presentan los resultados de los estudios del polígono correspondiente al Barrio Villa Turbay. El alcance final que se pretende es la definición de las condiciones de riesgo ante fenómenos de movimientos en masa, inundación y avenidas torrenciales y la evaluación de las zonas que se consideran de riesgo mitigable y no mitigable dentro del Polígono Villa Turbay, por medio de métodos cuantitativos y fácilmente reproducibles. Al interior de las zonas con riesgo mitigable se pretende llegar hasta el establecimiento de las medidas de estabilización estructural y no estructural, que puedan ayudar a la mitigación de dicho riesgo.

Es importante aclarar que esta Versión 10 del estudio atiende todas las observaciones que finalmente se acordaron con La Interventoría y La EDU que se harían a las versiones iniciales entregadas en mayo de 2016. Se tienen en cuenta observaciones de entidades tales como Planeación Municipal, Secretaría del Medio Ambiente y el Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo (DAGR). Si se consultan versiones anteriores, se podrá verificar que existen diferencias en los resultados, algunas mayores y otras menores. Todo esto obedece al hecho de que la ejecución de varias versiones del estudio de todos los polígonos que hacen parte del Proyecto Barrio Sostenibles, ha permitido una depuración y perfeccionamiento de la metodología. Los resultados que finalmente deben tenerse en cuenta son los de esta Versión 10 del informe, de tal manera que los de otras versiones no son válidos ni comparables con los acá presentados. Si se revisan en conjunto las entregas finales de los ocho polígonos estudiados, se puede ver incluso que hay una total coherencia en las metodologías de uno y otro sitio de estudio y que se han solucionado problemas de versiones anteriores tales como la excesiva importancia que sobre los mapas finales de riesgo de algunos polígonos tenían variables tales como la vulnerabilidad.

La metodología empleada para el estudio es la presentada de forma detallada en el Informe I-2445-01-Rev7 entregado como parte de este mismo contrato a la Empresa de Desarrollo Urbano. En dicho informe se presentan los pasos generales y específicos que se siguen para la evaluación tanto de la amenaza como de la vulnerabilidad y el riesgo en la zona del Proyecto Barrios Sostenibles. La idea principal sobre la que se desarrolla la metodología es la implementación de teorías básicas de equilibrio límite, flujo de agua y flujo de detritos y la probabilidad de ocurrencia de los mismos, que permitan determinar condiciones críticas de factor de seguridad, velocidades de flujo y niveles de agua y establecer con estas las condiciones de amenaza regional y local de la zona de estudio. Las condiciones de amenaza por los diferentes eventos antes descritos, se analizan a la



	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	--	---

luz de la información de la infraestructura física presente en cada uno de los polígonos, determinándose para tal fin la vulnerabilidad física de las estructuras a través de la identificación de algunos aspectos específicos de la misma como son el tipo de estructura y sus materiales, el estado o mantenimiento y el nivel de fundación. Finalmente, los análisis de amenaza y vulnerabilidad por los diferentes escenarios, permiten obtener las zonas de riesgo y determinar si el mismo puede ser mitigable o no mitigable.

Con respecto a la metodología, es importante resaltar que los estudios de amenaza se enmarcan dentro de las directrices y lineamientos metropolitanos para la elaboración de estudios geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, hidráulicos y geotécnicos para la prevención del riesgo en construcciones en ladera, consignadas en el Decreto Metropolitano 09 del 25 de mayo de 2012, conocido en el medio como Código de Laderas del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2012). Mediante este último documento, se exige el estudio para nuevos proyectos en zonas de ladera dentro de la denominada Unidad Morfodinámica Independiente (UMI) en que se localice. Así las cosas, realmente se incluyen los estudios de amenaza partiendo de la Unidad Morfodinámica Independiente (UMI) dentro de la cual se ha incluido este polígono. Se consideraron tres escenarios de amenazas enfocados desde el punto de vista geológico, geotécnico, hidrológico e hidráulico, que podrían afectar a las comunidades que habitan los polígonos del Proyecto Barrios Sostenibles y en este caso en particular el del Polígono Golondrinas:

- ✓ Amenaza por movimientos en masa, considerada como la probabilidad de que se presente este tipo de eventos, con una severidad suficiente para causar pérdida de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales.
- ✓ Amenaza por inundación, consistente en la probabilidad que tiene una zona de ser afectada por un fenómeno de inundación. Las inundaciones son fenómenos propios de la dinámica natural de las corrientes, pero hay diferentes factores que pueden aumentarla, tales como modificación en el alineamiento de los cauces, obras hidráulicas, urbanización en retiros de quebradas, desecación de zonas inundables para proyectos de infraestructura y llenos artificiales y cambios en el uso del suelo, entre otros.
- ✓ Amenaza por avenidas torrenciales, consistente en la probabilidad que tiene una zona de ser afectada por fenómenos de crecientes súbitas que por las condiciones geomorfológicas de la cuenca, están compuestas por un flujo de agua con alto contenido de materiales de arrastre y con un gran potencial destructivo debido a su alta velocidad. Estas pueden estar ocasionadas por movimientos en masa que ocurren en la parte superior de la cuenca y que son transportados por el drenaje.

Los estudios de vulnerabilidad se concentran en el análisis de la vulnerabilidad física, por medio de la cual se determinaron las características de los elementos expuestos a las



	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	--	---

amenazas identificadas, considerando factores como tipo de elemento, grado de exposición, resistencia que ofrece el elemento y distribución espacial entre otras.

El análisis del riesgo integra los resultados de la evaluación de la amenaza y la vulnerabilidad. La etapa final del proyecto considera la evaluación de las zonas que se encuentran en riesgo alto mitigable. Al interior de las mismas se establecen todas las medidas de estabilización estructural y no estructural, para mitigar el riesgo. Para esta fase del proyecto se implementaron análisis de estabilidad locales en las zonas de interés, por medio de herramientas de análisis de estabilidad bidimensional. Se evaluaron los modelos de inestabilidad considerando la infraestructura propuesta y las medidas de estabilización que se requieren.



Los resultados del estudio se presentan en los 24 capítulos de este informe, distribuidos de la siguiente manera:

- ✓ Luego de la presente introducción, en los Capítulos 2 y 3 se presenta una breve descripción de la localización del sitio de estudio y de la delimitación de la Unidad Morfodinámica Independiente (UMI) que tiene influencia sobre la zona de estudio.
- ✓ La geología regional y la geología local son presentadas en el Capítulo 4 y la descripción de las macrounidades y unidades geomorfológicas de las diferentes UMI's que influyen en los polígonos de estudio, haciendo énfasis en la correspondiente al polígono de este informe, se presentan en el Capítulo 5. El Capítulo 6 describe la geología estructural a nivel regional y local, detallando fallas, diaclasamientos, cizalladuras, etc. Los aspectos relacionados con la aptitud geológica se presentan en el Capítulo 7.
- ✓ La conceptualización de la hidrogeología de la zona de estudio se presenta en el Capítulo 8, donde se hace la debida conexión con el sistema de instrumentación instalado en la zona de estudio.
- ✓ En el Capítulo 9 se incluye un análisis de la zona a partir de los resultados de estudios existentes de la Microzonificación Sísmica de Medellín. Por su parte, el Capítulo 10 contiene los diferentes aspectos geotécnicos para la UMI en estudio, incluyendo la caracterización de los materiales a partir de ensayos de laboratorio.
- ✓ Los Capítulos 11 y 12 presentan los aspectos hidrológicos e hidráulicos, incluyendo una caracterización y los caudales máximos de las cuencas que influyen en el polígono, así como la evaluación del comportamiento hidráulico de las corrientes hídricas.
- ✓ Los análisis de amenaza por movimiento en masa, por inundaciones y por avenidas torrenciales se presentan en los Capítulos 13, 14 y 15, respectivamente. Se tienen en cuenta los resultados de análisis geológicos, geotécnicos, hidrológicos e hidráulicos presentados en los capítulos anteriores a estos.
- ✓ El análisis de vulnerabilidad de los elementos físicos expuestos a los tres fenómenos en estudio (movimiento en masa, inundaciones y avenidas torrenciales)

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	--	---

es presentado en el Capítulo 16. Este capítulo es de suma importancia no sólo por cuanto muestra en el Numeral 16.2 lo concerniente a vulnerabilidad por movimientos en masa, sino porque también en este capítulo, en el Numeral 16.2.2, se muestran resultados de aplicación de la metodología al Deslizamiento Villatina como la manera más contundente de validación de la metodología.

- ✓ Luego de tenerse los resultados de la amenaza y la vulnerabilidad por movimiento en masa, éstos son procesados y en el Capítulo 17 se presenta el resultado para el riesgo por dicho evento para la zona de estudio. Por su parte, el riesgo por inundaciones y avenidas torrenciales se presenta en el Capítulo 18.
- ✓ En el Capítulo 19 se incluyen los análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimiento en masa, por inundaciones y por avenidas torrenciales para las líneas vitales asociadas a redes de servicio público. La amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo ante los tres fenómenos estudiados para las demás líneas vitales, como las vías y los equipamientos son analizados al interior de cada uno de los capítulos donde se expone cada fenómeno, es decir, en los Capítulos 13, 14 y 15 para la amenaza, en el Capítulo 16 para la vulnerabilidad y en los Capítulos 17 y 18 para el riesgo.
- ✓ El Capítulo 20, contiene la metodología y resultados para la zonificación del retiro hidrológico y geológico, a partir de los diferentes productos obtenidos en este estudio, solicitado para las corrientes La Mica y La Sopera.
- ✓ Los Capítulos 21 y 22 comprenden los diseños de obras de mitigación ante los diferentes fenómenos, así como las conclusiones y recomendaciones para el polígono de estudio.
- ✓ Finalmente, los Capítulos 23 y 24 contienen las referencias bibliográficas y las limitaciones del estudio.

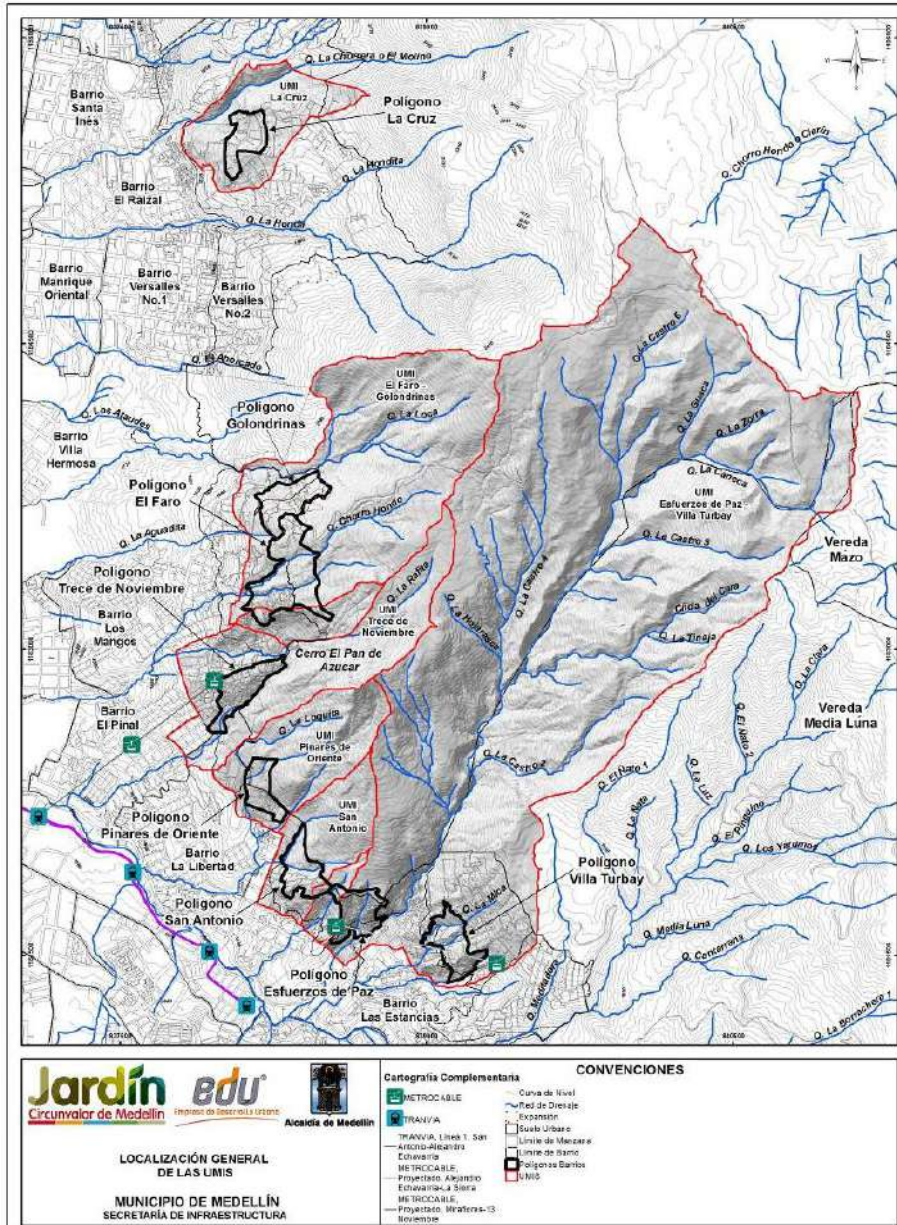
	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	--	---

2. LOCALIZACIÓN GENERAL DE LA ZONA DE ESTUDIO



La zona de estudio se localiza en la parte alta de la ladera centro oriental, entre los límites rurales y urbanos de la ciudad de Medellín. Los polígonos correspondientes al “Proyecto Barrios Sostenibles”, se encuentran ubicados en su mayoría en la Comuna 8 (Villa Hermosa) y en la Comuna 3 (Manrique).

Los polígonos localizados al interior de la Comuna 8 son los correspondientes a los Barrios Golondrinas, El Faro, Trece de Noviembre, Pinares de Oriente, San Antonio, Esfuerzos de Paz y Villa Turbay. El polígono localizado al interior de la Comuna 3 corresponde al Barrio La Cruz.

En el Mapa 1 se presenta la localización general del polígono estudiado al interior del Barrio Villa Turbay, el cual tiene un área aproximada de 4.57 hectáreas. El polígono está localizado en la parte sur-oriental de la base del Cerro Pan de Azúcar. Limita por el norte con los sectores del barrio Villa Turbay: Centralidad, La Frontera y Alto Bonito, por el sur con el barrio Villa Liliam, por el oriente con el barrio La Sierra y por el Occidente nuevamente bordeado por el barrio Villa Liliam.



Mapa 1. Localización general del polígono dentro del Barrio Villa Turbay (01_VTBLocalizacionGeneral_Medellin_C y 01_VTBLocalizacionGeneral_Medellin_T)

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

3. UNIDAD MORFODINÁMICA INDEPENDIENTE (UMI)

3.1 GENERALIDADES

Como punto de partida para la ejecución del estudio que se presenta en este informe, se requiere la delimitación de la conocida como Unidad Morfodinámica Independiente (UMI), entendiéndola a ésta como la unidad del territorio que enmarca el predio de interés o que presenta un comportamiento independiente de las unidades adyacentes. Se considera que cualquier proceso morfodinámico que se presente en el exterior no afecta su interior e igualmente que cualquier proceso morfodinámico que se presente en el interior de ésta no afecta las unidades adyacentes.



Se trata de un concepto de obligatorio cumplimiento para estudios de nuevos proyectos en las zonas de ladera Área Metropolitana del Valle de Aburrá, el cual es tratado de forma detallada en el Código de Laderas del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2012). Según el código, las evaluaciones geológicas, geomorfológicas, geotécnicas, hidrológicas e hidráulicas deben extenderse a lo largo y ancho de la denominada Unidad Morfodinámica Independiente (UMI).

De acuerdo con lo anterior, se procedió a delimitar la UMI de los polígonos de estudio en las Comunas 3 y 8 que hacen parte del Proyecto Barrios Sostenibles, específicamente la del Barrio Villa Turbay la cual es objeto de este informe. Siguiendo los lineamientos del Código de Laderas del Valle de Aburrá, se consideraron aspectos de tipo geológico, geomorfológico, geotécnico, hidrológico e hidráulico.

En el Mapa 1 se presenta la localización general de todas las UMI definidas para cada uno de los polígonos de estudio y el Mapa 2 ilustra la UMI asociada al polígono de estudio dentro del Barrio Villa Turbay. De forma resumida, puede decirse que se incluyó el área en la que cualquier proceso de inestabilidad, potencial o existente, pudiera afectar las estructuras existentes y programadas, bien fuera porque las impactara directamente o porque a través de las corrientes de agua pudiera llegar hasta la zona del proyecto.

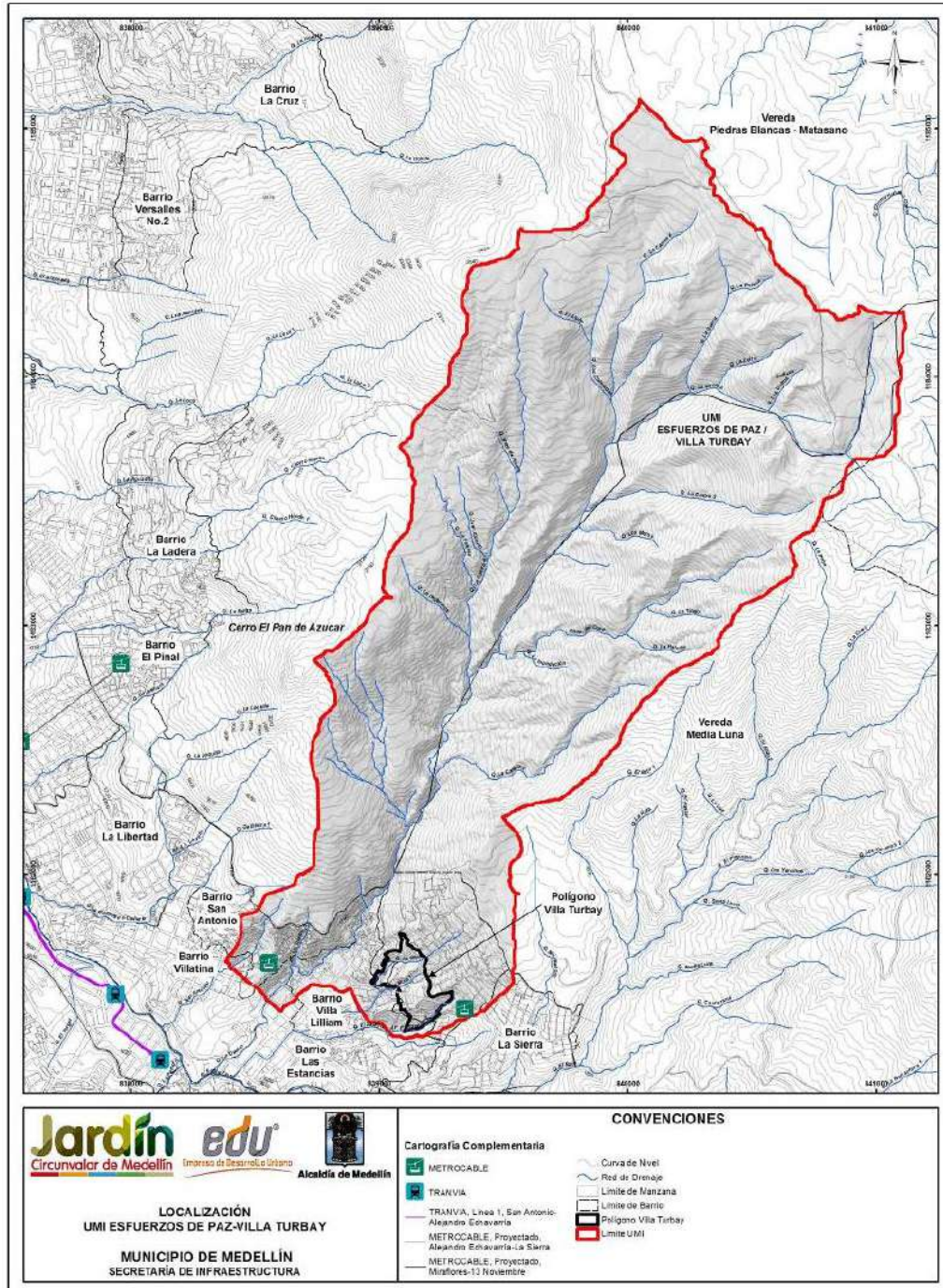
La unión de todas las UMI de la Comuna 8 que se muestran en el Mapa 1 tiene un área aproximada de 700 hectáreas e involucra las cuencas y/o subcuencas de las Quebradas La Arenera, La Loca, La Rafita, La Gallinaza, Chorro Hondo, San Antonio, La Mica, El Saperó y La Castro con todos sus afluentes y cañadas como por ejemplo La Hojarasca, La Potrera, Juan Alberto, Los Moros, La Caneca, La Tinaja y La Paloma, entre otras.

La inclusión de los polígonos Esfuerzos de Paz y Villa Turbay dentro de una misma UMI, resulta como consecuencia de su proximidad y de la afectación que podría existir en común consecuencia de la Quebrada La Castro. Para ambos polígonos, es importante la evaluación de la Quebrada La Castro en lo que respecta al análisis de amenazas por avenidas torrenciales, por lo que de manera independiente, ambas UMIS contenían la cuenca de dicho drenaje. La anterior situación generó que para ambos polígonos se presentara una intercepción mayor al 90 % en su área de influencia, es decir más de la mitad del área de una UMI consideraba el área de la UMI vecina, por lo tanto existirían

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	--	---

procesos en común para ambas UMI. Por lo anterior, para efectos de optimizar los trabajos de análisis, ambas UMIS se unificaron. Finalmente la UMI del polígono Esfuerzos de Paz – Villa Turbay se convierte en la UMI más grande del proyecto Barrios Sostenibles con un área aproximada de 448 hectáreas (Mapa 2).

En el numeral siguiente, se hace referencia a la UMI correspondiente a los polígonos Esfuerzos de Paz y Villa Turbay, la cual se seguirá denominando en este informe como UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay o simplemente como la UMI. También se hará referencia al Polígono Villa Turbay, correspondiente al polígono en estudio dentro del barrio con este mismo nombre.



Mapa 2. UMI asociada al Polígono Villa Turbay
(02_VTBLocalizacionUMI_Medellin_C y 02_VTBLocalizacionUMI_Medellin_T)

3.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN

La Figura 1 muestra la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay, destacándose la división de la misma en dos zonas diferentes (Zona 1 y Zona 2), delimitadas de acuerdo con sus pendientes, usos del suelo y condiciones de actividad morfodinámica (se incluyen fotografías de cada una de estas zonas de interés).

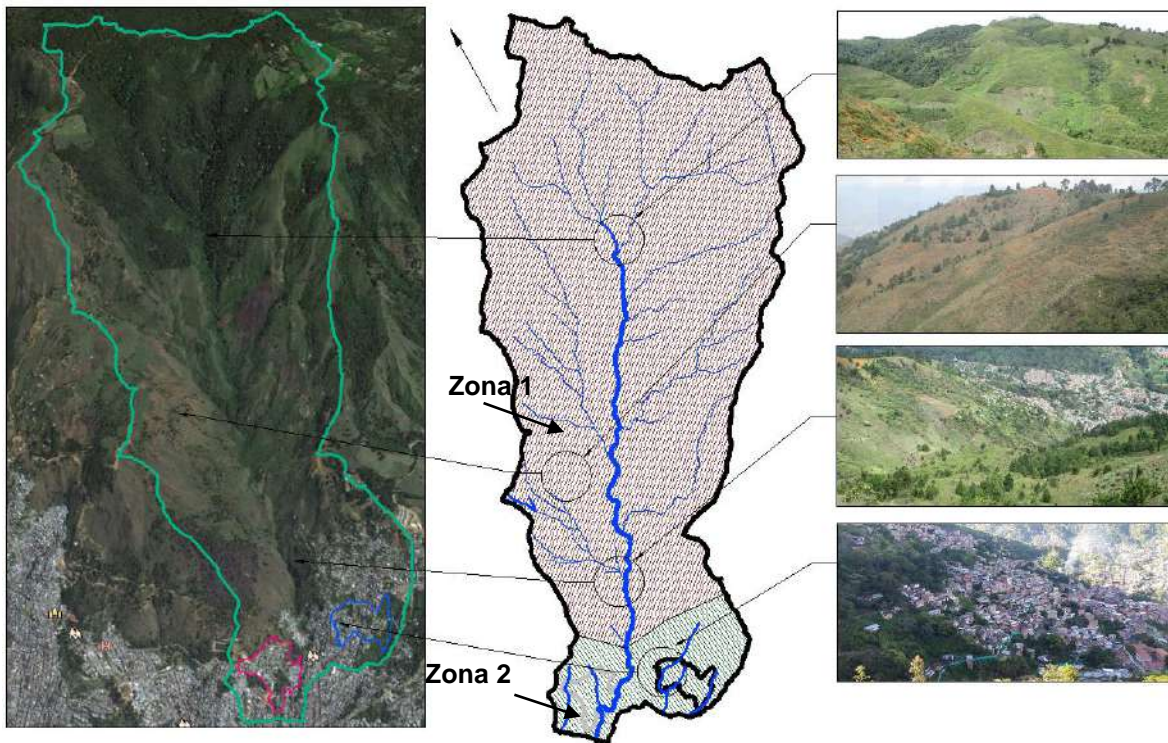




Figura 1. Zonificación de la UMI del polígono al interior del Barrio Villa Turbay (Sin Escala)

La selección de la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay partió del análisis de las condiciones morfométricas, morfodinámicas, hidráulicas e hidrológicas de la zona. Se enfoca en atender las evaluaciones de movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones que podrían afectar directamente las estructuras al interior del Polígono Villa Turbay.

De forma general, la UMI se localiza hacia el extremo sur oriental de la Comuna 8 y se posiciona hacia el costado oriental de la UMI San Antonio. Desde el punto de vista de sus límites, la UMI está enmarcada principalmente por la cuenca de la Quebrada La Castro siendo este el afluente principal y eje de la UMI objeto de estudio. La UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay limita con todas las UMI del proyecto Barrios Sostenibles de la Comuna 8, desde la parte baja con la UMI San Antonio y la UMI Pinares de Oriente, en la parte media con la UMI Trece de Noviembre involucrando el flanco sur del cerro Pan de Azúcar y finalmente en su parte alta con la UMI El Faro - Golondrinas. Se resalta que los

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---



límites escogidos se manifiestan estables y los procesos que puedan encontrarse por fuera de estos no tendrán incidencias directas o relevantes sobre las condiciones de amenaza por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales del Polígono Villa Turbay específicamente.

En el costado occidental, comenzando desde la parte baja, el límite de la UMI inicia tomando la margen derecha de la quebrada San Antonio, la cual también fue involucrada en la UMI San Antonio. En esta margen derecha se evidenciaron cicatrices de movimientos en masa que se direccionan hacia el extremo sur del polígono Esfuerzos de Paz, por lo que su inclusión es fundamental en el análisis de las amenazas sobre el proyecto. Este límite occidental asciende por la ladera localizándose principalmente sobre la divisoria de aguas que define la cuenca de la Quebrada La Castro, en la parte superior la UMI se define sobre el límite de la ladera oriental con el altiplano de Santa Elena. Estos límites encierran todos aquellos procesos y evidencias morfodinámicas que se direccionan hacia el polígono Villa Turbay, además involucran la totalidad de los cauces que drenan hacia La Castro como la Q. La Hojarasca, Q. La Potrera, Q. Juan Alberto, Q. Muro de Piedra, Q. El Ancón, Q. Los Colorados entre otros drenajes de la parte alta, todos ellos fundamentales desde el punto de vista hidrológico e hidráulico para el análisis de inundaciones y avenidas torrenciales.

El límite sur desciende igualmente por la divisoria de aguas de la Quebrada La Castro. Este límite igualmente se consideró en condiciones estables y al interior del mismo se concentran todos los procesos morfodinámicos que podrían afectar desde el punto de vista de la torrencialidad a los polígonos de Esfuerzos de Paz y Villa Turbay, al interactuar con los cauces que drenan hacia la Quebrada La Castro sobre su margen izquierda como son la Q. La Zorra, Q. Los Uvitos, Q. La Caneca, Q. La Castro 5, Q. Los Morros, Q. La Tinaja entre otros. Hacia la parte más baja, el límite sur se abre para involucrar las cuencas de la Quebrada La Mica y La Mica 1 y parte de la margen izquierda del Afluente El Saperó 1. Estos drenajes cruzan en este sector el Polígono Villa Turbay, por lo que la ampliación del límite es fundamental para considerar los efectos de inundaciones y movimientos en masa que podrían afectar al polígono.

Finalmente, el límite inferior estuvo determinado principalmente por la calle 55 la cual comunica las dos vertientes pasando sobre el cauce de la Quebrada La Castro, asciende por la carrera 9A y la calle 57A hasta ingresar a la zona de influencia del Polígono Villa Turbay sobre la carrera 8 y la calle 57^a. La escogencia además de este límite inferior se hizo tratando de tomar las zonas de mayor consolidación urbana y las zonas de mayor estabilidad de tal forma que los mismos límites garantizaran su propia característica de estabilidad.

Así entonces, además de enmarcar la totalidad de los procesos que podrían afectar el Polígono Villa Turbay, los límites de la UMI incluyen todas las posibles incidencias hidrológicas e hidráulicas de los drenajes que atraviesan dicho polígono. Principalmente, se incluye el drenaje La Castro el cual podría tener afectación directa sobre el polígono objeto de este estudio. Así mismo, están todos aquellos procesos morfodinámicos que se

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	--	---

identifican en las zonas de las márgenes, tanto de la Quebrada La Castro, como de las Quebradas San Antonio al suroeste y El Saperó 1 al sureste de la UMI.

En la Figura 1 se presentó la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay, destacándose la división de la misma en dos zonas diferentes (Zona 1 y Zona 2), delimitadas de acuerdo con sus pendientes, usos del suelo y condiciones de actividad morfodinámica. Se trata de la zona alta y baja, de las cuales se hablará con mayor detalle a continuación.

La Zona 1 pertenece a la parte rural de la UMI. Esta zona presenta un uso del suelo de protección en el cual se destaca la presencia de áreas verdes boscosas en la parte alta y áreas verdes con cobertura vegetal y sin bosques en la parte baja (Mapa 3). Se considera como área de interés estratégico al presentarse cuencas abastecedoras de acueductos y drenajes de orden cero. Sobre esta zona no se presentan grandes asentamientos humanos y solo se ubican algunas viviendas y parcelaciones campesinas.

Desde el punto de vista de las pendientes esta zona varía con laderas entre 5° a más de 30°, lo que corresponde a laderas con pendientes bajas a muy altas. Se destaca que la margen derecha de la Quebrada La Castro presenta laderas menos escarpadas cuando se compara con la margen izquierda donde las laderas son principalmente muy altas.

La presencia de procesos morfodinámicos de la Zona 1, se evidenció principalmente sobre la parte media y baja donde se tienen áreas menos desprovistas de vegetación boscosa. Los procesos se presentan en ambas márgenes de la Quebrada La Castro y se direccionan hacia el mismo, no obstante, sobre la margen izquierda se evidencia una mayor actividad y los procesos se apreciaron de mayor magnitud. Esta condición es importante considerando que todos los procesos tienen su vector de desplazamiento hacia el cauce de la Quebrada La Castro por lo que se debe contemplar la posibilidad de que estos puedan aportar en la amenaza por avenida torrencial de los polígonos que se encuentran aguas abajo.

En la Figura 2 y Figura 3 se presentan dos panorámicas generales de la Zona 1 en su parte alta y parte baja respectivamente. Se puede observar que en general es una zona desprovista de vegetación y mínimos asentamientos urbanos.



Figura 2. Panorámica general de la UMI en la parte alta de la Zona 1

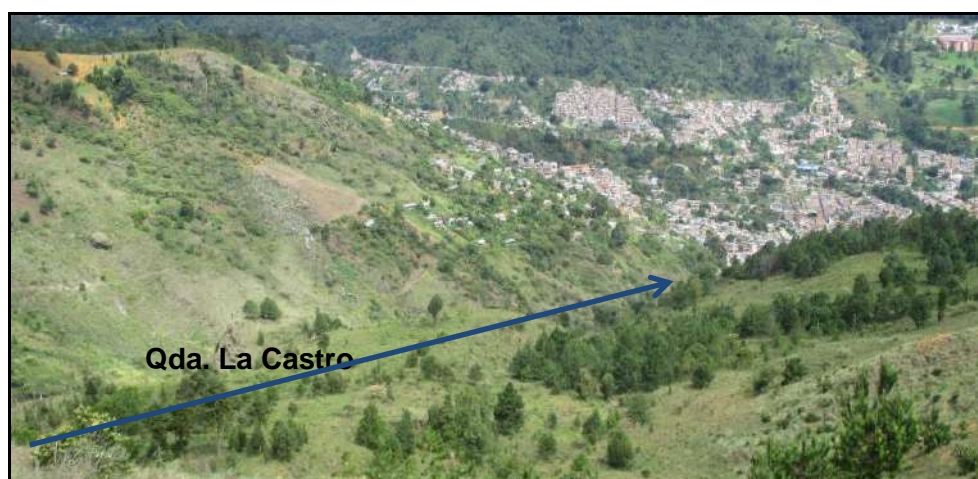


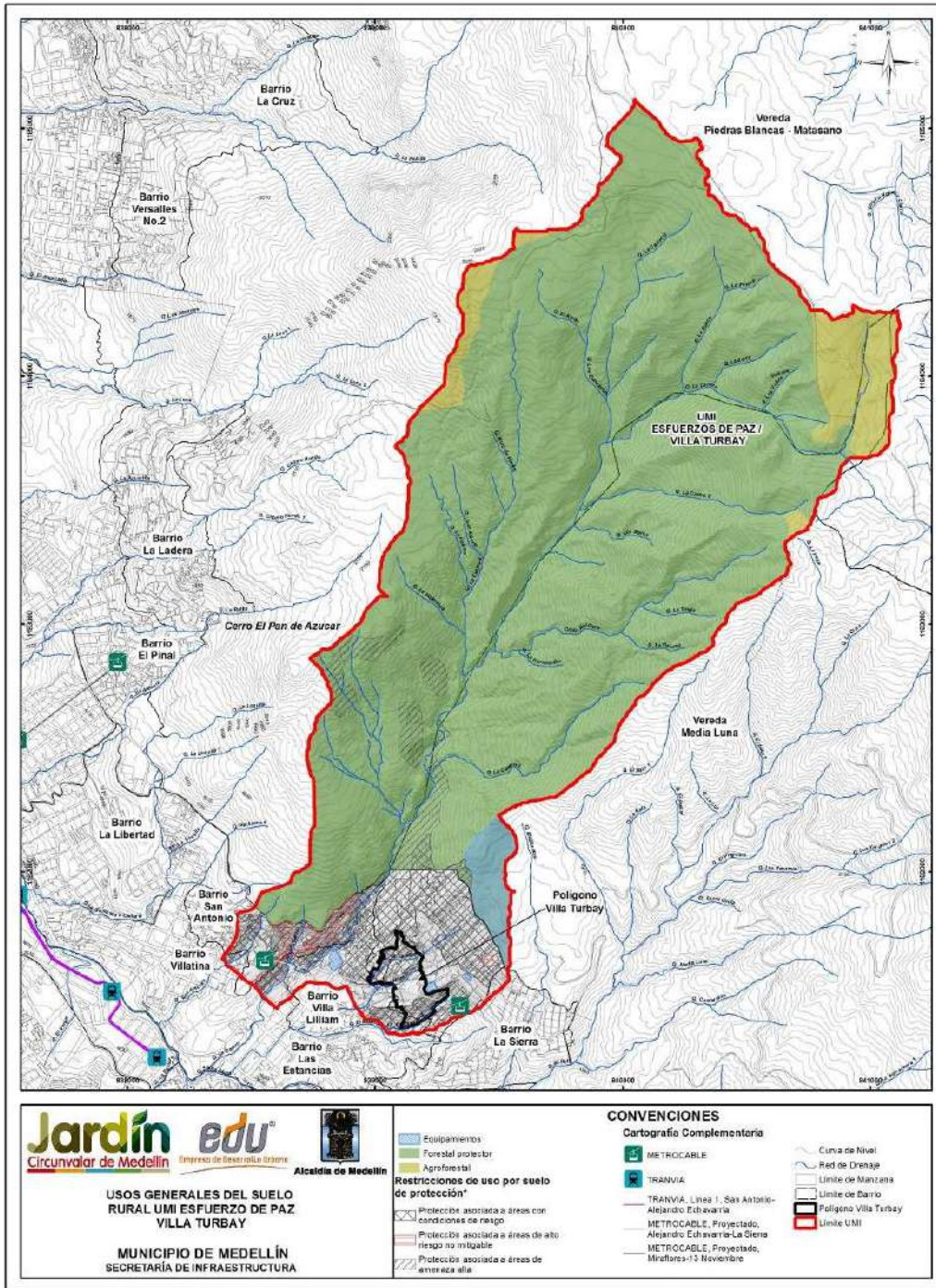
Figura 3. Panorámica general de la UMI en la parte alta de la Zona 2

La Zona 2 se destaca por pertenecer a la zona urbana donde el uso del suelo esta principalmente destinado al desarrollo urbanístico y residencial (Mapa 4 y Figura 4). En esta zona, aproximadamente el 80% del área se encuentra ocupada por viviendas, incluso gran parte de este urbanismo se concentra en las zonas de drenajes que atraviesan el polígono como es el caso del cauce de las quebradas La Mica y La Mica1 donde viviendas del Polígono Villa Turbay se encuentran sobre los cauces de estas.

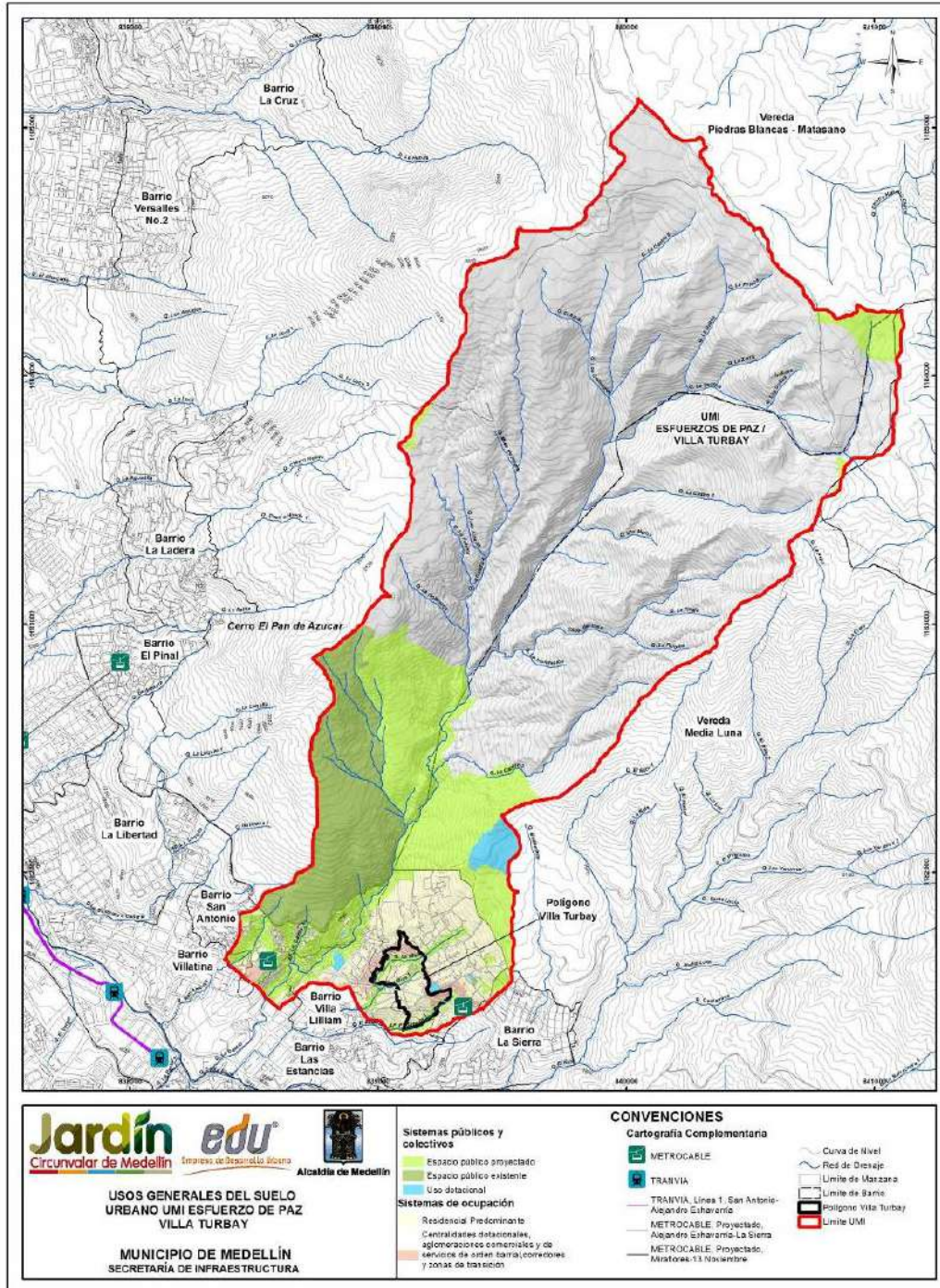
La zona baja presenta laderas de pendientes que varían predominantemente entre altas a muy altas con inclinaciones desde 15° hasta más de 30°. Específicamente en el polígono Villa Turbay las mayores pendientes se concentran sobre la margen derecha de la Quebrada La Castro afluente que atraviesa el polígono en su parte baja.





Figura 4. Panorámica general de la zona baja Polígono Villa Turbay



Mapa 3. Usos generales del suelo rural UMI Esfuerzos de Paz- Villa Turbay (POT, 2014) (17_VTBUsoSdelSueloRural_Medellin_C y 17_VTBUsoSdelSueloRural_Medellin_T)



Mapa 4. Usos generales del suelo urbano UMI Esfuerzos de Paz- Villa Turbay (POT, 2014)
 (16_VTBUso del Suelo Rural_Medellin_C y 16_VTBUso del Suelo Rural_Medellin_T)

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

La zona baja presenta laderas de pendientes que varían predominantemente entre altas a muy altas con inclinaciones desde 15° hasta más de 30°. En el caso del polígono de Villa Turbay, las mayores pendientes se concentran al interior de las márgenes de la Quebrada La Mica y El Saperó siendo esta última la de mayor criticidad.

Desde el punto de vista morfodinámico, la UMI encierra en la zona de Villa Turbay una morfodinámica alta producto de las altas pendientes y de las intervenciones antrópicas que se han realizado en la zona con el urbanismo desordenado. Gran parte de los procesos evidenciados al interior de la UMI, se observan en dirección hacia el cauce de la Quebrada La Castro y su afluente y algunos otros hacia el cauce de la quebrada San Antonio en el límite norte de la UMI. En cuanto al Polígono Villa Turbay se encuentran cicatrices de procesos morfodinámicos en las márgenes de los drenajes que lo atraviesan.

La UMI finaliza finalmente muy cerca del límite occidental del polígono Esfuerzos de Paz en un lomo alargado que corresponde a la divisoria de aguas de la quebrada San Antonio y La Castro que no presenta ninguna influencia ni afectación al proyecto, cruza la Quebrada La Castro y se adentra al polígono de Villa Turbay igualmente por la zona de divisoria de aguas entre la Quebrada La Mica y La Saperó.

Desde el punto de vista hidrológico e hidráulico la UMI gana una alta relevancia en tanto que involucra uno de los drenajes más importantes como es la Quebrada La Castro. Al norte se tienen drenajes correspondientes a dos afluentes de la Quebrada La Castro, al costado occidental se encuentra la quebrada San Antonio y en el flanco sur, en el polígono de Villa Turbay se tienen drenajes importantes como la Quebrada La Mica, La Mica 1 y La Saperó. Se destaca de casi todos los drenajes a excepción de La Castro su nacimiento en la parte alta de la Zona 2.

La mayor problemática de los drenajes de la UMI radica en el nivel de urbanismo localizado sobre sus márgenes, lo cual incrementa la amenaza y el riesgo en términos de movimientos en masa, inundaciones e incluso avenidas torrenciales. Adicionalmente, el problema se incrementa por el manejo que se le da a los residuos humanos, los cuales son depositados al interior y sobre las márgenes de los cauces, incrementando las zonas de lleno antrópico y modificando las condiciones de estos en algunos sectores. El nivel más crítico se concentra en la parte baja de la Quebrada La Castro, donde hay un urbanismo asentado en ambas márgenes del drenaje.



En la Figura 5 se muestra un panorama general de las condiciones de los drenajes que se tiene actualmente en la zona específica de Villa Turbay. En la Figura 5 se observa algunos puntos de interés de los afluentes que cruzan la zona de este polígono y donde se observa el urbanismo y manejo de desechos sobre los drenajes.

Finalmente, la escogencia de la UMI pretende abarcar todos los escenarios de análisis de la amenaza por inundaciones, movimientos en masa y avenidas torrenciales que puedan afectar a ambos polígonos. Su extensión en relación a la cuenca, radica principalmente en la importancia hidrológica e hidráulica de la Quebrada La Castro y el interés de analizar la posible generación de movimientos en masa que podrían llegar a los drenajes y provocar avenidas torrenciales en la zona baja, afectando de forma indirecta a los

polígonos, pues se identificaron cicatrices de movimientos en masa y cárcavas, principalmente en las márgenes de la quebrada San Antonio y la Quebrada La Castro incluidos sus afluentes. Igualmente el análisis hidráulico cobra importancia para el polígono de Villa Turbay, debido a la presencia de procesos morfodinámicos sobre las márgenes de las quebradas La Mica y La Sopera.



Figura 5. Panorama de las condiciones de las quebradas La Mica y La Sopera el interior del Polígono Villa Turbay

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

4. ASPECTOS GEOLÓGICOS

4.1 GEOLOGÍA REGIONAL

De acuerdo con la Microzonificación Sísmica del Valle de Aburrá (Consortio Microzonificación, 2006), la geología de la zona se compone principalmente de rocas ígneas ultramáficas como las Dunitas de Medellín (JKuM), cuerpos plutónicos como el Stock de las Estancias (KcdE) y el Stock de Media Luna (KcdML), que para este informe se agrupan como la unidad denominada Cuerpos asociados al Batolito Antioqueño (KcdA). Estas unidades están suprayacidas por llenos antrópicos (QII), depósitos aluviotorrenciales (Qat), depósitos de deslizamiento (Qd) y depósitos de flujo de lodos y/o escombros (QFIII, NFI, NQFII). Además, se encuentran cenizas volcánicas que no fueron reportadas por el Consortio Microzonificación (2006), debido a la escala del estudio. En el Mapa 5 se muestra la disposición en planta de estas unidades.

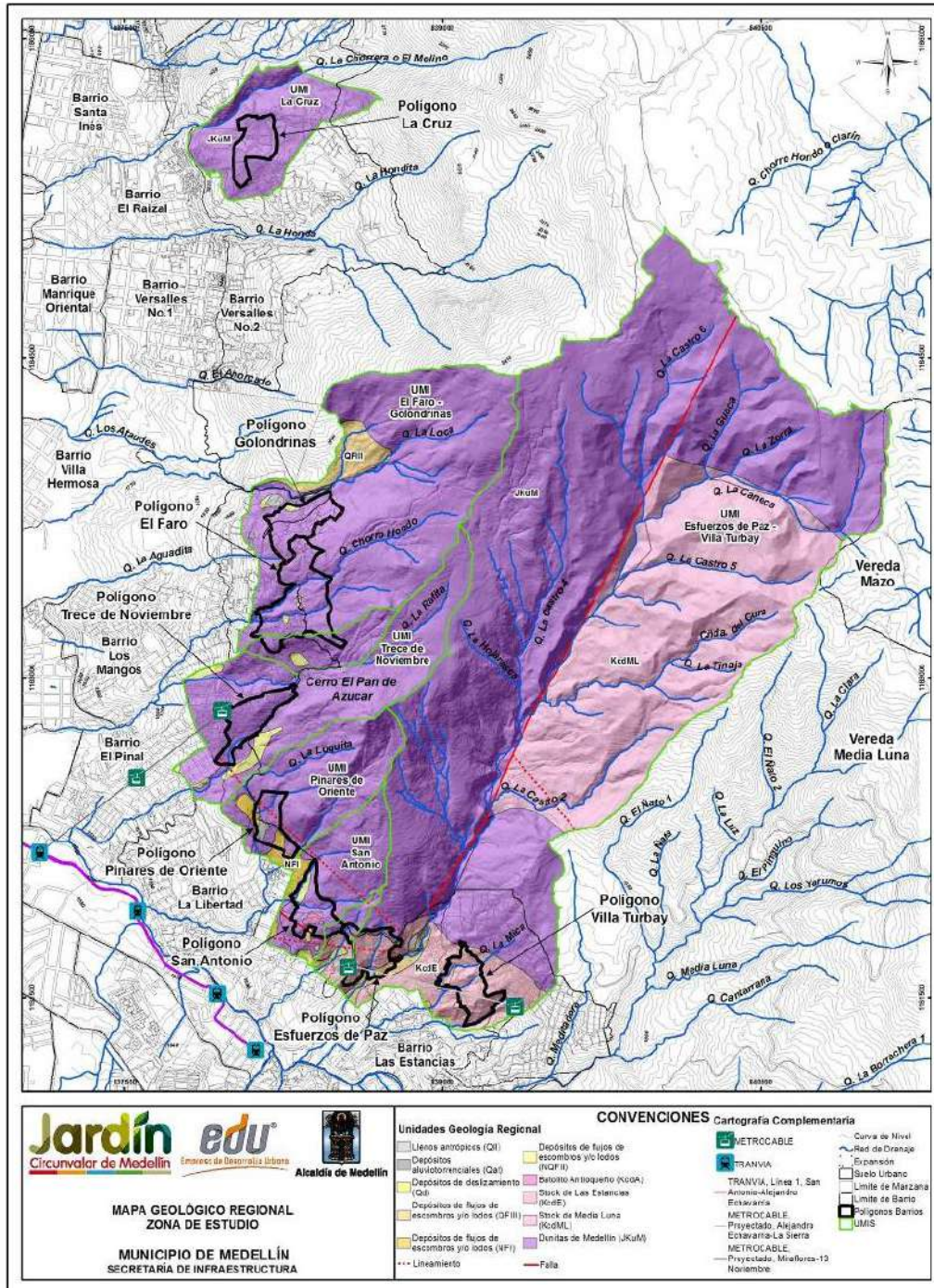
La UMI Villa Turbay se ubica sobre las unidades geológicas denominadas como Dunitas de Medellín (JKuM), Batolito Antioqueño (KcdA), depósitos de flujos de lodos y/o escombros (NFI, NQFII) y llenos antrópicos (QII). A continuación, se describen en orden cronológico todas las unidades geológicas donde se ubican los polígonos del proyecto Barrios Sostenibles, desde las más recientes hasta las más antiguas.

4.1.1 Llenos antrópicos (QII)



Se derivan de la actividad constructiva y urbanística en una región de crecimiento, la cual genera gran cantidad de escombros que se acumulan en ciertos lugares formando terraplenes. En el municipio de Medellín se encuentran principalmente hacia las zonas urbanas, otros corresponden a sitios de botaderos que se generan por la apertura de vías (Consortio Microzonificación, 2006).

Su composición es muy heterogénea, presentando desde materiales formados con normas técnicas, hasta basura, materia orgánica y escombros vertidos. Presentan extensión variable que permite cartografiarlos en escala 1:10.000 y espesores hasta de 10 m o más (Consortio Microzonificación, 2006).

Están presentes como cuerpos dispersos en toda el área de estudio, que se concentran en las zonas urbanas y centros poblados cerca al cerro Pan de Azúcar.



Mapa 5. Geología regional (tomada de Consorcio Microzonificación, 2006)
(03_VTBGeologiaRegional_Medellin_C y 03_VTBGeologiaRegional_Medellin_T)

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

4.1.2 Cenizas volcánicas (Qcv)

Esta unidad no está reportada en la zona de estudio por el Consorcio Microzonificación (2006), pero fue encontrada durante los recorridos de campo en la parte alta de las vertientes que conforman las UMI, tanto in situ como removilizada.

Posada (2000) establece que las cenizas que se presentan en el oriente del departamento de Antioquia, aparecen como capas muy finas de carácter eólico, originadas en el Complejo Volcánico Ruiz Tolima de la Cordillera Central, las cuales abarcarían varios períodos eruptivos ocurridos en los últimos 350.000 años (Consorcio Microzonificación, 2006).

4.1.3 Depósitos aluviotorrenciales (Qat)

Se encuentran en los valles de quebradas, con formas alargadas o de abanicos, como producto de avenidas torrenciales ocurridas principalmente en periodos de alta pluviosidad. Están formados por clastos subredondeados a redondeados con variedad de tamaños, forma y litología, envueltos en matriz arenosa, de color gris. Se caracterizan por no presentar estratificación ni selección de los materiales (Consorcio Microzonificación, 2006).

En la zona de estudio se presentan principalmente en la Quebrada La Castro y la quebrada Chorro Hondo.

4.1.4 Depósitos de deslizamiento (Qd)



Estos depósitos son generados por procesos de inestabilidad o movimientos de masa en vertientes o zonas de alta pendiente. Se dan principalmente por la combinación de factores como la gravedad, el agua y la intervención humana. Generalmente se encuentran en zonas de baja pendiente o topografía suave seguidas de zonas con pendiente fuerte de la cual se desprendieron los materiales que los forman (Consorcio Microzonificación, 2006).

Se encuentran a lo largo de la zona de estudio como pequeños cuerpos asociados a procesos morfodinámicos.

4.1.5 Depósitos de flujo de lodos y/o escombros (QFIII, NFI, NQFII)

Estos depósitos cubren la mayoría de las vertientes del municipio de Medellín con composición variable según los materiales que se encuentran en la parte alta de estas, reposando sobre el perfil de meteorización generado por las rocas del basamento (Consorcio Microzonificación, 2006).

Corresponden a diferentes eventos depositacionales de tipo flujo, que por su espesor, altura, grado de consolidación, madurez, grado de incisión, y dataciones realizadas en algunos, tienen asignadas edades variables entre el Neógeno y el Cuaternario (Consorcio Microzonificación, 2006).

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

Están constituidos por flujos de varias generaciones, cuyos clastos presentan diferentes grados de meteorización. Son generados al producirse una saturación y pérdida de resistencia hacia las partes altas de las vertientes. Estos eventos en caso de ocurrir, le confieren a los suelos un carácter viscoso, debido a la mezcla del agua con los suelos arcillosos y limosos, de forma que pueden descender más o menos controlados por los cauces de las corrientes, arrastrando nuevos materiales y mezclándose caóticamente hasta encontrar unas condiciones de baja pendiente que permitan su deposición (Consortio Microzonificación, 2006).

Según la granulometría de los materiales que conforman la fuente, pueden dar lugar a depósitos de flujo con predominio de bloques rocosos denominados flujos de escombros o de la fracción fina (en general arcilla o limo) en cuyo caso se llaman flujos de lodos. Sin embargo, dada la mecánica del fenómeno, que no permite una selección o clasificación del material, pueden existir dentro del mismo depósito zonas que correspondan a flujos de escombros y otras a flujos de lodos (Consortio Microzonificación, 2006).

Se encuentran principalmente en la parte baja de la zona de estudio, sobre el perfil de meteorización de la Dunita de Medellín y del Stock de Las Estancias, principalmente.

4.1.6 Cuerpos asociados al Batolito Antioqueño (KcdA)



Son cuerpos intrusivos de composición granitoide, con características similares al Batolito Antioqueño (KcdA) y que por su posición hace suponer una relación genética con éste. Entre los cuerpos presentes en la zona se encuentran el Stock de Media Luna (KcdML) y el Stock de Las Estancias (KcdE).

El Stock de Media Luna presenta composición cuarzodiorítica con textura fanerítica media, aflora en la vereda Media Luna por la vía principal de Santa Elena-Medellín. En la zona de estudio se encuentra al sureste, en contacto con la Dunita de Medellín. Los suelos residuales desarrollados son generalmente limo arenosos de coloración amarilla y rojiza que conservan la textura original de la roca (Consortio Microzonificación, 2006).

El Stock de Las Estancias se encuentra en el extremo suroeste del área de interés, en la parte baja del cerro Pan de Azúcar y en los alrededores de la Quebrada La Castro. La composición y textura de la roca es similar al cuerpo anterior, al igual que el suelo residual (Consortio Microzonificación, 2006).

4.1.7 Dunitas de Medellín (JKuM)

Esta unidad hace parte del Complejo Ofiolítico de Aburrá y atraviesa el Valle del río Aburra, encontrándose en las laderas oriental y occidental. Se extiende desde Las Palmas, en los límites con el municipio de Envigado, hasta el suroccidente del municipio de San Pedro de Los Milagros, como una franja de dirección NNW, pero que particularmente en el corregimiento de Santa Elena forma un cuerpo elongado con dirección N-S (Consortio Microzonificación, 2006).

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

La presencia actual de esta secuencia ofiolítica, obedece a procesos tectónicos probablemente de cabalgamiento mediante una obducción de edad cretácea temprana (Restrepo y Toussaint, 1974). Lo anterior, genera una zona de esquistos cloríticos actinolíticos, replegados en el contacto con las Anfibolitas de Medellín, además de mostrar una fuerte expresión geomorfológica en el cambio de pendiente de la cima de las colinas a la parte distal de las mismas. La dunita está en contacto fallado de bajo ángulo con la Anfibolita de Medellín en la quebrada Rodas (autopista Medellín - Bogotá) (Consortio Microzonificación, 2006).

Se trata de una roca ígnea masiva, compuesta principalmente por olivino, con contenidos menores de magnetita y cromita, esta última con concentraciones mayores hacia la zona de Santa Elena. El olivino presenta alteraciones parciales a tremolita y ésta última a minerales del grupo de la serpentina, como talco y clorita. La roca es masiva de color gris oscuro a negro, con tonalidades verdes dadas por la alteración a minerales del grupo de la serpentina, meteorizada presenta variaciones de color entre diferentes tonalidades de pardo, gris y ocre fuerte dado el alto contenido de hierro (Consortio Microzonificación, 2006)



Este tipo de roca presenta un perfil de meteorización de espesor variable entre 6 m y 40 m, dependiendo de la pendiente de la zona, en el que se encuentra desde el horizonte IB hasta el IIA principalmente, y en ocasiones hasta el horizonte III, del perfil de meteorización según Deere, D.U. y Patton F.D. (1971). En el sector del altiplano de Santa Elena, el perfil es de bajo espesor con frecuentes salientes rocosas y geoformas de disolución como dolinas, cavernas, úvalas y valles kársticos (Consortio Microzonificación, 2006).

En el municipio de Medellín, el cuerpo de dunitas presenta muy pobres condiciones geotécnicas hacia las partes altas de la comuna nororiental, generadas por el alto grado de meteorización, además de la forma particular de meteorizar en bloques rocosos de abundante matriz que es fácilmente lavada por las aguas de escorrentías, esto ha generado importantes problemas geotécnicos en estas laderas (Consortio Microzonificación, 2006).

Es la unidad dominante y con mayor extensión en la zona de estudio. Hacia la parte sureste de la zona de estudio se encuentra en contacto con el Stock de Media Luna, y hacia el noroccidente con el Stock de Las Estancias, cubierta por parches de depósitos de vertiente a lo largo y ancho de las vertientes.

4.2 GEOLOGÍA LOCAL

Como base geológica para este estudio, se hizo una recopilación de información secundaria de estudios realizados por diferentes empresas en el área, tales como DEACIVIL (2014), INCIGAM (2015), TECNISUELOS (2010), INTEINSA (2011), entre otras. En el Plano P-2445-VT-13 se presenta la localización de las perforaciones de dichos estudios, las cuales fueron consultadas para la elaboración del modelo geológico y

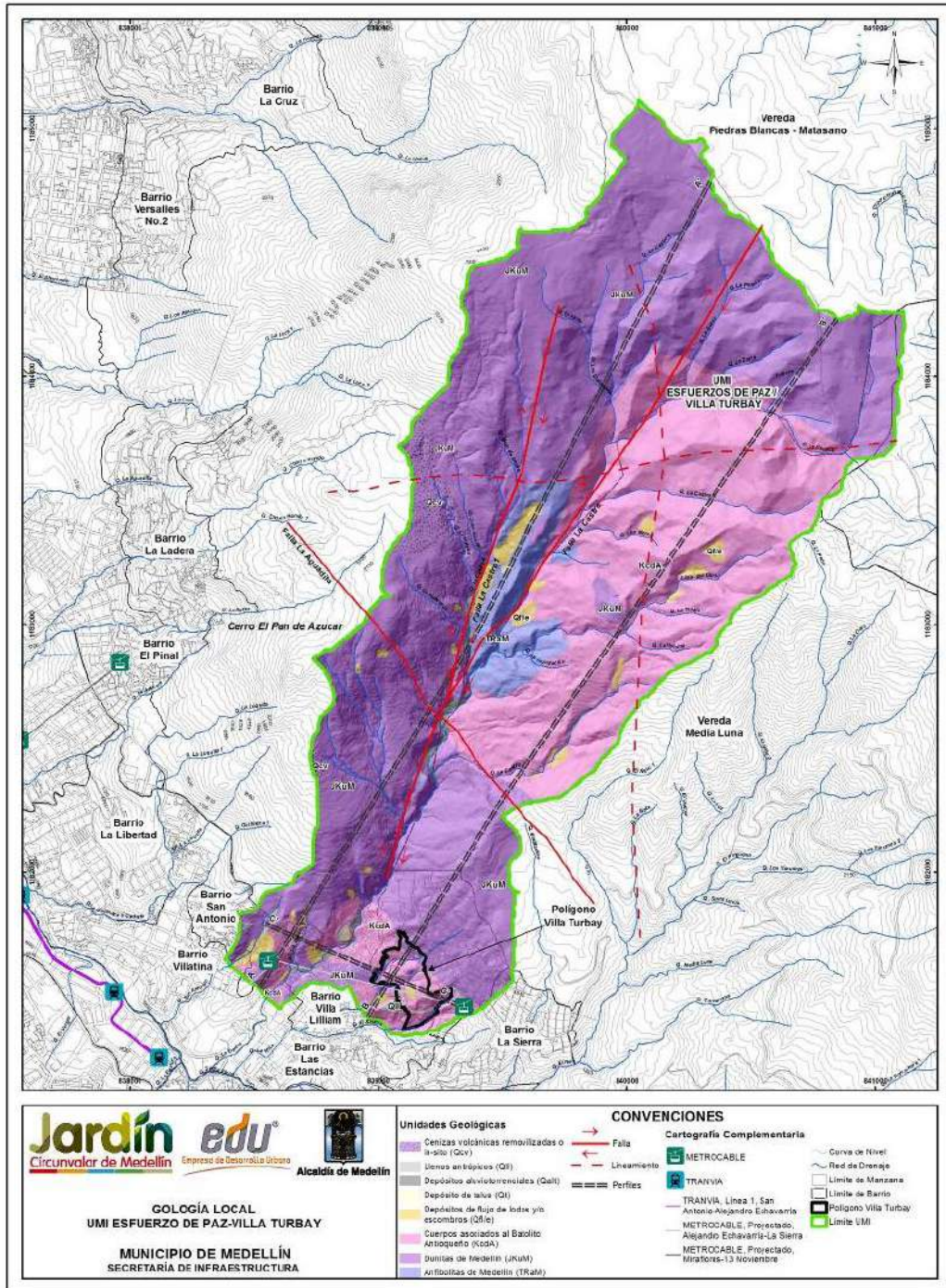
	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	--	---

fueron clasificadas en Perforaciones estudios anteriores utilizadas y Perforaciones estudios anteriores no utilizadas.

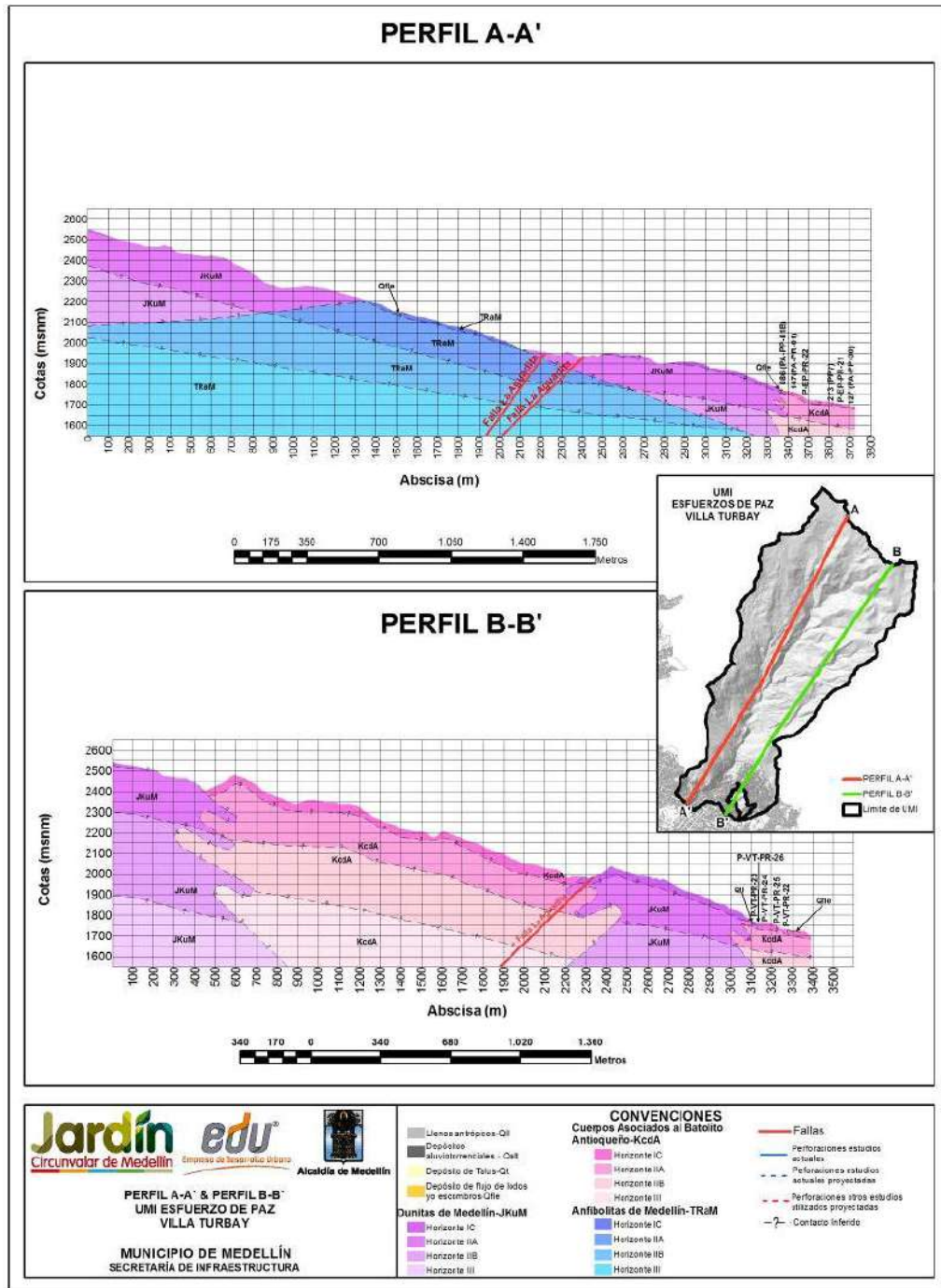
Después de correlacionar dichas perforaciones con la exploración directa e indirecta ejecutada para el presente estudio (Mapa 23 y Mapa 24), de realizar los recorridos de campo y de utilizar herramientas como análisis multitemporal y geomorfológico, se obtuvo como resultado el modelo geológico de la UMI Villa Turbay, planteado en el Mapa 6. En el Mapa 7 y en el Mapa 8 se presentan perfiles geológicos de interés. En el Anexo 01 se presentan los registros de los levantamientos realizados en campo.

Las unidades geológicas predominantes corresponden a los horizontes de meteorización de las Dunitas de Medellín (JKuM), de los cuerpos asociados al Batolito Antioqueño (KcdA) y de las Anfibolitas de Medellín (TRaM). Todas estas unidades son suprayacidas por cenizas volcánicas removilizadas y/o in situ (Qcv), depósitos aluviotorrenciales (Qalt), depósito de talus (Qt) y depósitos de flujo de lodos y/o escombros (Qfl/e). Además se presentan llenos antrópicos (Qll) asociados a las construcciones generadas por la expansión urbana. Del Mapa 23 al Mapa 24 se presentan los perfiles estratigráficos representativos.

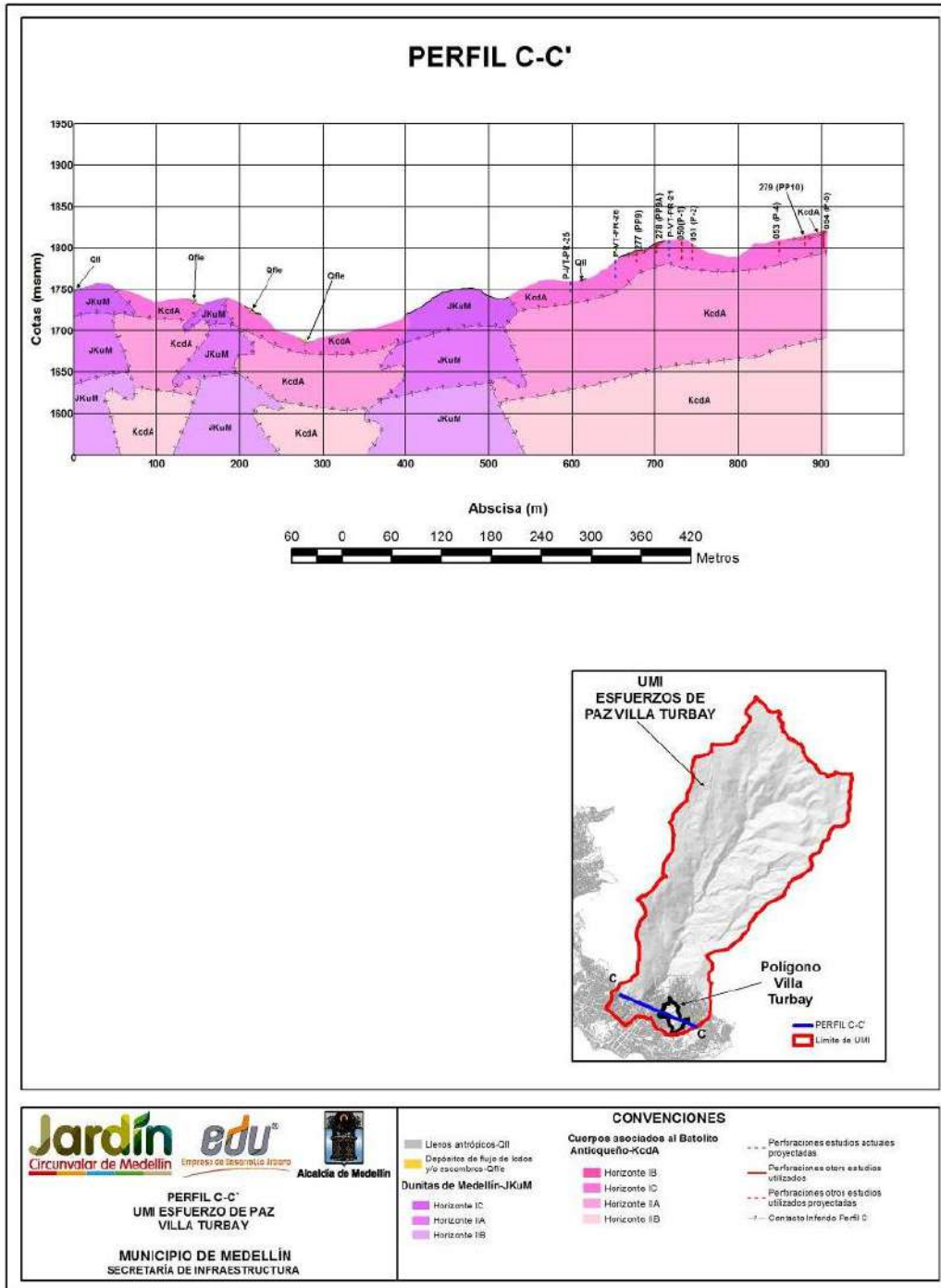
A continuación, se hace una breve descripción de cada una de estas unidades, desde la más reciente hasta la más antigua.





Mapa 6. Geología local UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay
 (04_VTBGeologiaLocalUMI_Medellin_C y 04_VTBGeologiaLocalUMI_Medellin_T)



Mapa 7. Perfiles estratigráficos A-A' y B-B'
(05_VTBPerfilesGeologicos_Medellin_C y 05_VTBPerfilesGeologicos_Medellin_T)



Mapa 8. Perfiles estratigráficos C-C'
(06_VTBPerfilesGeologicos_Medellin_C y 06_VTBPerfilesGeologicos_Medellin_T)

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

4.2.1 Llenos antrópicos (QII)

En la UMI Esfuerzos de Paz-Villa Turbay se encuentran cuerpos que en superficie abarcan longitudes entre 4 m y 113 m y en profundidad alcanzan espesores variables entre 1.5 m y 16.0 m, los cuales se concentran en la parte baja de la UMI en donde se encuentran los polígonos Esfuerzos de Paz y Villa Turbay. Estos llenos fueron caracterizados en las perforaciones P-SA-PR-14, P-EP-PR-17, P-EP-PR-18, P-EP-PR-21, P-EP-PR-22, P-VT-PR-20, P-VT-PR-21, P-VT-PR-22, P-VT-PR-23, P-VT-PR-24, P-VT-PR-26, P-VT-PP-02, 084(PA-PP-01), 085(PA-PP-01A), 086(PA-PP-01B), 119(PA-PP-25), 127(PA-PP-30), 273(PP7), 275(PP8), 280(PE-10), 051(P2) y 052(P3), suprayaciendo los suelos residuales de las Dunitas de Medellín, de los cuerpos asociados al Batolito Antioqueño y los depósitos de flujo de lodos y/o escombros. Además, se utilizaron las líneas geofísicas P-VT-LG-01 y P-VT-LG-04 y las estaciones de campo MAD03-EP, MAD04-EP, MAD05-EP, MAD09-EP, SFJ01-EP, SFJ05-EP, MAD72-U-EPVT, MAD74-U-EPVT, MAD03-VT, MAD14-VT, AMD18-VT, MAD106-U-EPVT, SFJ09-U-SA y SFJ10-U-SA, como apoyo para determinar la extensión en superficie y en profundidad de algunos cuerpos.

Los llenos localizados hacia el sureste de la UMI, están cercanos al Polígono Villa Turbay, se concentran principalmente hacia la parte baja del mismo (al sur) y otros se localizan en las inmediaciones de las quebradas La Mica, La Mica 1 y El Saperó 1, donde se encuentran al menos 7 cuerpos de corta extensión en planta y con espesores variables entre 2.5 m y 16 m, los cuales se describen a continuación.

El primero, localizado más hacia el sur, se encontró en la perforación P-VT-PR-22 (Figura 8) y estación de campo MAD106-U-EPVT con un espesor de 16 m (Figura 6). El material presenta un tamaño de grano limoso con arenas, de color café oscuro y pardo amarillento, húmedo a seco, de consistencia dura y tenacidad media. Algunos fragmentos se deshacen fácilmente. Los materiales antrópicos corresponden a fragmentos de ladrillo, vidrio y plástico. Se trata de un material muy heterogéneo, el cual tiene variaciones en la consistencia y en el tamaño de grano a lo largo de la perforación.



Figura 6. Lleno antrópico. A) En la estación MAD03-VT. B) En la estación MAD106-U-EPVT

El segundo lleno fue identificado con las perforaciones 598 (P1) y 599 (P2) con espesor variable entre 1.0 m y 5.0 m. Conformado por matriz limo arcillosa con arenas, disgregable y poco plástica, húmeda y de consistencia blanda. Contiene basura, escombros y zonas café entremezclados.

El tercer lleno se halla hacia el suroriente del Polígono Villa Turbay y fue identificado en la perforación P-VT-PP-02 y en las estaciones de campo MAD14-VT (Figura 7) y MAD09-VT, con un espesor de 2.5 m. Tiene relación matriz/fragmentos de 80/20. La matriz es areno limosa, de color café oscuro, seca a húmeda, la tenacidad es baja y la consistencia es blanda. Los fragmentos corresponden a dunita, cristales de plagioclasa completamente meteorizada y cuarzo. Contiene materia orgánica.



Figura 7. Lleno antrópico localizado en la estación de campo MAD14-VT y MAD09-VT

Además, dentro del polígono de Villa Turbay se identificaron otros llenos antrópicos de menores dimensiones, con las perforaciones P-VT-PR-20, P-VT-PR-21, P-VT-PR-23 (Figura 8), P-VT-PR-24, P-VT-PR-25, P-VT-PR-26 y con las estaciones de campo MAD08-VT y AMD18-VT, cuyos espesores varían entre 4.0 m y 9.0 m. Consiste en un material con relación matriz/fragmentos de 80/20. La matriz es arenosa a limosa, de color ocre con motas blancas, gris oscuro, café oscuro con naranja, húmeda, consistencia blanda y tenacidad media. Los fragmentos son de dunitas, granitos y cristales de cuarzo, moderadamente a altamente meteorizados y subangulares a subredondeados, con tamaños menores a 3 cm. Tiene materiales antrópicos como escombros (ladrillos), monedas y telas.

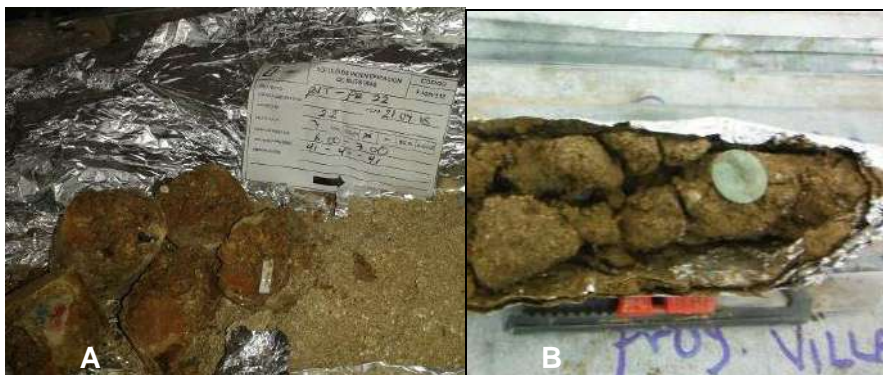


Figura 8. Llenos antrópicos. A) En perforación P-VT-PR-22. B) En perforación P-VT-PR-23

4.2.2 Cenizas volcánicas removilizadas y/o in-situ

Las cenizas volcánicas se encuentran como capas discontinuas removilizadas e in situ con espesores variables entre 50 cm a 1.5 m. Por lo general se encuentran mezcladas con suelo residual de dunita y materia orgánica, producto de la actividad agrícola y urbanística de la zona. En la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay están localizadas en la unidad geomorfológica denominada como Vertiente Suave y Peldaño Alto e identificadas en la perforación U-EP-PP-02 y en las estaciones de campo SFJ13-U-EPVT, AMD11-U-EFG, AMD12-U-EFG, AMD13-U-EFG, posteriormente corroboradas con las líneas geofísicas U-EPVT-LG-07 y U-EPVT-LG-08. Esta capa cubre el perfil de suelo de las dunitas, cuyo tamaño de grano es principalmente limo, de color pardo amarillento y generalmente se encuentra húmeda (Figura 9).



Figura 9. Capa de cenizas volcánicas removilizadas

4.2.3 Depósitos aluviotorrenciales (Qalt)

Este depósito fue identificado en las estaciones MAD13-EP, MAD22-U-EPVT, MAD71-U-EPVT, MAD77-U-EPVT, localizado en la parte baja del polígono de Esfuerzos de Paz (Figura 10) y en la confluencia de la Quebrada La Castro y La Castro 4 (Figura 11). Presentan relación matriz/ fragmentos de 30/70, la matriz es arenosa de color café pardo húmeda, los fragmentos presentan longitudes de hasta 2.0 m de dunitas y anfibolitas frescos.

En la Figura 11, se ilustra una sección del depósito aluviotorrencial localizado en la Quebrada La Castro 4, reportado en la estación de campo MAD42-U-EPVT, en donde se encuentra la zona de influencia de la falla La Castro 1 y la brecha de la falla que marca el contacto entre las Dunitas y las Anfibolitas.



Figura 10. Depósito aluviotorrencial parte baja del polígono Esfuerzos de Paz



Figura 11. Depósito aluviotorrencial de la Quebrada La Castro 4

4.2.4 Depósito de talus (Qt)

Este depósito fue identificado en la estación MAD39-U-EPVT, localizado en la parte central de la UMI, sobre el cuerpo de anfibolitas, presenta un espesor de al menos 3 m, una longitud de 7 m y un ancho de 15 m. Es un depósito netamente clasto soportado, no presenta matriz. Los fragmentos corresponden a anfibolitas, angulares a subangulares, con tamaños inferiores a 1 m de diámetro (Figura 12).



Figura 12. Depósito de talus compuesto de fragmentos de anfibolitas

4.2.5 Depósitos de flujo de lodos y/o escombros (Qfl/e)

Se encuentran distintos cuerpos distribuidos aleatoriamente en toda la UMI, especialmente en la parte baja, en algunos casos cubiertos de forma parcial por llenos antrópicos. Tienen espesores entre 2 m y 12 m y abarcan longitudes de hasta 200 m. Se encontraron en las perforaciones P-EP-PR-18, P-EP-PR-21, P-VT-PR-25, P-VT-PR-26, 236(P8), 405(P2), 406(P3), 407(P4), 409(P6), 410(P7), 411(P8), 412(P9), 413(P10), 414(P11), 415(P12), 416(P13), 417(P14), 084(PA-PP-01), 086(PA-PP-01B), 147(PA-PR-01), 108(PA-PP-16), 119(PA-PP-25), 127(PA-PP-30), 275(PP8), 600(P2), 601(P3) 602(P4), 603(P5), así como en las estaciones de campo MAD01-EP, MAD02-EP, MAD08-EP, MAD10-EP, MAD12-EP, MAD04-U-EP, SFJ03-EP, SFJ04-EP, SFJ11-EP y SFJ01-U-EPVT.

Es importante tener en cuenta que un depósito de flujo de lodos y/o escombros (de vertiente) puede presentar grandes variaciones en cuanto a su fábrica (relación matriz/fragmentos), tanto lateral como en profundidad, haciendo que existan diferencias en cuanto a la concentración de fragmentos y/o matriz (matriz soportado o clasto soportado) en un mismo cuerpo. Por lo anterior, de manera general se ha denominado a esta unidad litológica como depósitos de flujos de lodos y/o escombros a todos los cuerpos de este tipo encontrados en la zona de estudio.

En este estudio los depósitos de flujo de lodos y/o escombros (Qfl/e) agrupan las unidades de depósitos cartografiados por el Consorcio Microzonificación (2006) como QFIII, NFI y NQFII, cuya subdivisión fue hecha con herramientas de apoyo como datación, grado de incisión y madurez (grado de meteorización), lo cual no es objeto del presente estudio. Debido a lo anterior y sumado a que los cuerpos identificados en la zona de estudio presentan el mismo grado de meteorización, todas estas unidades se agruparon de manera general como Qfl/e.

El depósito ubicado a ambos lados de la quebrada San Antonio fue caracterizado gracias a las perforaciones 406(P3), 407(P4), 408(P2), 412(P9), 409(P6), 410(P7), 415(P12), 417(P14) y 416(P16). Se trata de una material de color café anaranjado, con tamaño de

grano limo arenoso, compuesto por raíces, fragmentos milimétricos de cuarzos lechosos y micas, con fragmentos de roca granítica meteorizada. El material se encuentra seco, presenta tenacidad media y es fácilmente disgregable.

Los depósitos localizados sobre la margen derecha de la Quebrada La Castro se caracterizan por estar compuestos de fragmentos de dunitas y anfibolitas principalmente y de matriz limosa, se encuentran localizados en media ladera, producto de fenómenos de inestabilidad generados por el desprendimiento del horizonte IIA de meteorización de las Dunitas y/o Anfibolitas (Figura 14A). En tanto que aquellos localizados sobre la margen izquierda de la Quebrada La Castro se caracterizan por estar compuestos por fragmentos de granitos y de matriz arenosa, esto debido a que sobre esta margen aflora uno de los cuerpos graníticos asociados al Batolito Antioqueño, convirtiéndose así en la principal fuente de aporte para los depósitos recientes sobre esta vertiente. Así como aquellos localizados en la parte baja del polígono Esfuerzos de Paz cumplen con estas características (Figura 13).



Figura 13. Depósito de flujo de lodos y/o escombros estaciones MAD08-EP y MAD12-EP

El depósito identificado en la parte central del polígono Villa Turbay fue encontrado en las perforaciones 600(P2), 601(P3), 602(P4), 603(P5), con espesor de 2 m. Se trata de un depósito matriz soportado, formado por matriz limosa de color café amarillosa, húmeda y blanda, con trazas de fragmentos, redondeados con tamaños de 4 mm.

En el plano P-2445-EP-04 se localizan dos cuerpos con forma ovalada-alargada sobre la margen izquierda de la Quebrada La Castro 4, que se caracterizan por una relación matriz/fragmentos de 40/60, la matriz es limosa mezclada con materia orgánica, levemente húmeda y consistencia muy blanda, los fragmentos presentan tamaños menores de 30 cm, frescos con formas angulares de anfibolitas principalmente, esto debido a que se encuentra sobre la parte baja de la vertiente occidental donde aflora el cuerpo de Anfibolitas de Medellín, convirtiéndose así en la principal fuente de aporte para la conformación de este depósito (Figura 14).



Figura 14. Depósito de flujos de lodos y/o escombros

4.2.6 Cuerpos asociados al Batolito Antioqueño (KcdA)

Se encuentran dos cuerpos asociados al Batolito Antioqueño denominados por el Consorcio Microzonificación (2006) como el Stock de Las Estancias (KcdE) y el Stock de Media Luna (KcdML). El Stock de las Estancias se localiza en la parte baja de la UMI, en los alrededores de los polígonos Esfuerzos de Paz y Villa Turbay. El Stock de Media Luna se encuentra en la parte media de la UMI, sobre la margen izquierda de la Quebrada La Castro, comenzando desde la parte superior del centro de rehabilitación Hogares Claret (entre la quebrada. La Castro 2 y La Caneca).

Estos cuerpos presentan forma rectangular muy característica en sentido NE, el relieve en el que se desarrolla esta unidad se caracteriza por ser colinado, con desarrollo de lomos con vertientes suaves. Es evidente además, el fuerte control estructural que presenta esta unidad en la zona de estudio, ya que en la parte superior fueron encontradas un conjunto de geoformas de origen estructural tales como fallas, lineamientos y facetas triangulares. Asociados posiblemente a la influencia que ejercen las Fallas La Castro, La Castro 1 y La Aguadita sobre esta unidad litológica.

Fueron identificados en la zona de estudio, mediante los recorridos de campo y la exploración en profundidad, encontrando el desarrollo del Horizonte IC, según la clasificación de Deere y Patton (1971). Este horizonte se halla en la perforación P-EP-PR-17, P-EP-PR-18, P-EP-PR-19, P-EP-PR-20, P-EP-PR-21, P-EP-PR-22 y en las líneas geofísicas P-VT-LG-02, P-VT-LG-03. En la perforación P-EP-PR-22 y en la estación de campo AMD03-VT, se encontró la zona de contacto intrusivo Dunita de Medellín-Cuerpo granítico en suelo residual de color café moteado de gris con estructura ígnea fanerítica a bandeada (Figura 15).



Figura 15. Suelo saprolítico del cuerpo granítico con estructura bandeada (Brecha de intrusión) A) En la perforación P-EP-PR-22. B) En la estación de campo AMD03-VT

El Horizonte IC consiste en un suelo arenolimoso blanco rojizo, con espesor mínimo de 10 m, donde se identifican minerales como cuarzo con longitudes de 5.0 mm, plagioclasa alterada a arcilla de color blanco y mica-biotita con longitudes de hasta 7.0 mm, conserva la estructura fanerítica del granito y en algunas partes se encuentra como gruss (Figura 24). Este saprolito tiene consistencia muy blanda y se encuentra húmedo.



Figura 16. Horizonte IC-Gruss del cuerpo granítico en la perforación P-VT-PP-01

En los recorridos de campo, específicamente en las estaciones MAD02-VT, MAD15-VT, MAD92-U-EPVT y SFJ-07-EP, localizadas en la parte alta de la UMI (margen izquierda de la Quebrada La Castro) y en el polígono Esfuerzos de Paz respectivamente (Figura 17), se evidenció que este cuerpo presenta formas ovaladas debido a la meteorización esferoidal (Figura 18B) fuertemente fragmentada y desarrolla un suelo saprolítico con alto contenido de cuarzo lechoso y minerales de hierro que le dan una coloración levemente rojiza como se ilustra en la Figura 18A.



Figura 17. Horizonte IC-Gruss. A) Estación de campo MAD02-VT. B) Estación de campo MAD15-VT

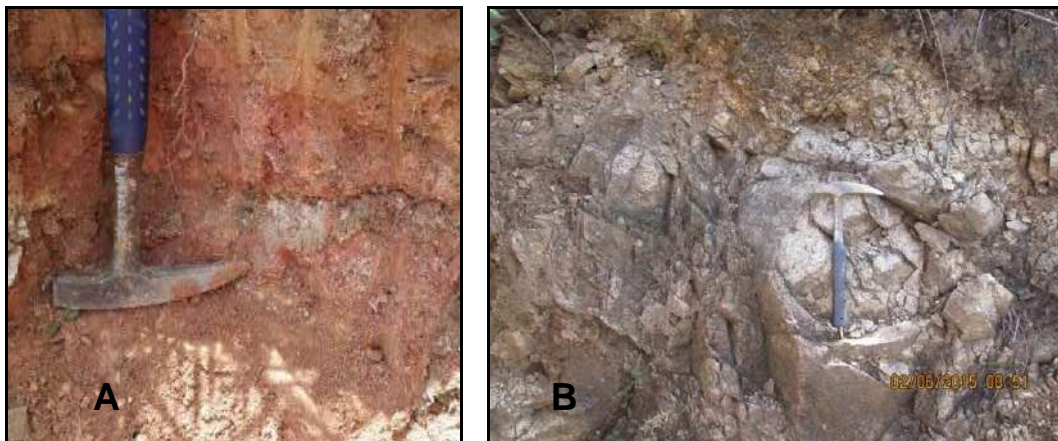


Figura 18. A) Saprolito con cuarzo lechoso MAD92-U-EPVT. B) Meteorización esferoidal SFJ07-EP

4.2.7 Dunitas de Medellín (JKuM)

Esta unidad fue identificada en la zona de estudio, mediante la exploración en profundidad, encontrando el desarrollo de los Horizontes IB, IC y IIA, según la clasificación de Deere y Patton (1971). Se halla en las perforaciones P-EP-PR-17, P-EP-PR-18, P-EP-PR-20, P-VT-PR-24, U-EP-PP-02 y en las líneas geofísicas P-EP-LG-01, P-EP-LG-03, U-EP-LG-03 y U-EP-LG-06. En esta unidad es común encontrar evidencias de falla, tales como espejos reportados en la estación KGL-11-U-EPVT, milonitas, salbanda (tacto jabonoso) y brechas tectónicas (cataclasitas), por lo que se podría clasificar como dunita cizallada (Figura 19).



Figura 19. Cuerpo de dunitas cizalladas

Durante los recorridos de campo, se observó sobre la margen izquierda de la Quebrada La Castro 4, específicamente en las estaciones de campo MAD40-U-EPVT, MAD43-U-EPVT y MAD50-U-EPVT zonas de cizalla y brechas tectónicas de Dunitas-Anfibolitas, las cuales corresponden a la zona de influencia de la Falla La Castro 2 y estructuras asociadas al cabalgamiento, como se ilustra en la Figura 20.



Figura 20. Brecha tectónica de Dunitas-Anfibolitas sobre la Quebrada La Castro 4

El Horizonte IB se localiza en la parte alta y baja de la UMI, específicamente donde se tienen las zonas con pendientes suaves. De acuerdo con la perforación U-EP-PP-02, tiene espesor entre 1.5 m y 6.0 m. Consiste en un suelo de color café parduzco, con tamaño de grano limo y arcilla, húmedo, consistencia firme a blanda y tenacidad baja, que contiene raíces, micas y nódulos de hierro con longitudes de hasta de 5.0 mm.

Además, en las estaciones de campo SFJ18-U-EPVT, SFJ20-U-EPVT, MAD56-U-EPVT, KGL01-U-EPVT, se identificó como un suelo limoso con alto contenido de nódulos de hierro con longitudes de hasta 6.0 mm, consistencia blanda y húmedo, como se ilustra en la Figura 21.



Figura 21. Horizonte IB de meteorización con costra de óxidos de hierro localizado en la parte alta de la UMI, estación de campo KGL01-U-EPVT

El Horizonte IC se encuentra en la perforación U-EP-PP-02 con espesor de hasta 8.0 m. En todos los casos observados de este horizonte se trata de un horizonte de meteorización de una brecha. El suelo es limo arcilloso, de color pardo anaranjado con manchas verdes, húmedo y con tenacidad media. Contiene bloques de dunita frescos y con textura esquistosa. En las estaciones de campo MAD100-U-EPVT y MAD99-U-EPVT, donde actualmente se encuentran construyendo la Institución Educativa Villa Turbay y parte del Jardín Circunvalar de Medellín (inmediaciones del centro de rehabilitación Hogares Claret), se encuentra este horizonte en taludes de 2.0 m de altura en el cual se observa suelo residual exhibiendo estructura esquistosa y bloques angulosos de dunita como se ilustra en la Figura 22 y en la Figura 23 se observa estructura bandeada de la Dunita.



Figura 22. Horizonte IC de meteorización sobre talud

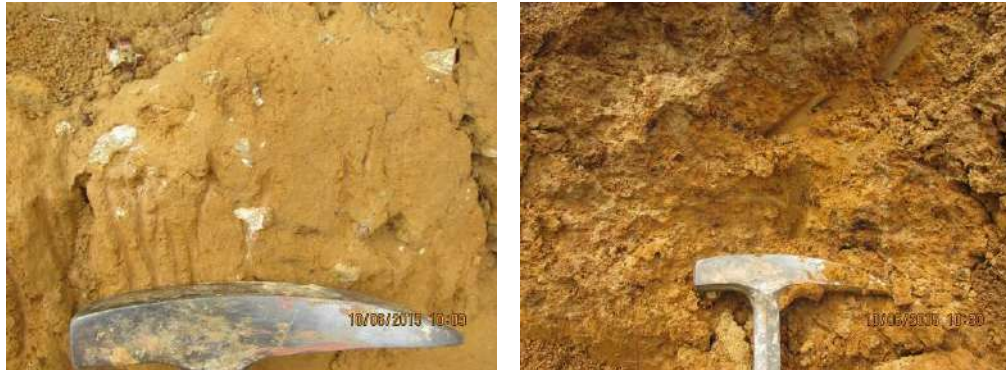


Figura 23. Horizonte IC con estructura bandeada. A) En la estación de campo SFJ05-VT. B) En la estación de campo SFJ06-VT

El Horizonte IIA se cartografió con base en las estaciones de campo KGL11-U-EP, AMD17-U-EPVT, AMD11-U-EPVT, AMD08-U-EPVT, SFJ10-U-EPVT, SFJ03-U-EPVT, SFJ04-U-EPVT, MAD49-U-EPVT, MAD28-U-EPVT, MAD29-U-EPVT, entre otras y en las líneas geofísicas U-EP-LG-03 y U-EP-LG-06, con espesores inferidos superiores a 15 m. Consiste en bloques de dunitas y dunitas milonitizadas con longitudes inferiores a 30 cm en promedio. La roca se encuentra moderadamente meteorizada, altamente fracturada y diaclasada, presenta alteraciones a serpentina y talco, con pátinas de oxidación negras y pardas. Se observan zonas de cizalla (Figura 25 y Figura 25).



Figura 24. Horizonte IIA de dunitas cizalladas en la estación de campo SFJ03-U-EPVT



Figura 25. Grado de fracturamiento en Horizonte IIA de las dunitas con venillas de serpentina meteorizada en la estación de campo KGL11-U-EPVT

4.2.8 Anfibolitas de Medellín (TRaM)

Esta unidad fue identificada en la parte media de la cuenca de la Quebrada La Castro, durante la exploración en superficie. Este cuerpo se caracteriza por presentar rasgos topográficos evidentes en campo, hace parte de un filo localizado en el centro de la cuenca de la Quebrada La Castro, el cual tiene forma alargada con orientación NE y está limitado por las fallas La Castro y La Castro 1. Todos los depósitos suprayacentes a esta unidad litológica se componen de este material, siendo una evidencia con respecto a la proveniencia de las anfibolitas. Se encontró desarrollo de los Horizontes IC y IIA, según la clasificación de Deere y Patton (1971).

El Horizonte IC fue encontrado en las estaciones de campo MAD13-U-EPVT SFJ06-U-EPVT, SFJ07-U-EPVT, SFJ08-EPVT, SFJ11-EPVT. Se caracteriza por ser un suelo limoso de coloración naranja (Figura 26A) y blanca grisácea (Figura 26B), compuesto por minerales como plagioclasas alteradas a arcillas de color blanco y anfíboles, presenta consistencia blanda y está levemente húmedo. Sobre la margen izquierda de la Quebrada La Castro, este cuerpo fue encontrado fuertemente cizallado en conjunto con las dunitas, conformando una brecha tectónica (Figura 27).

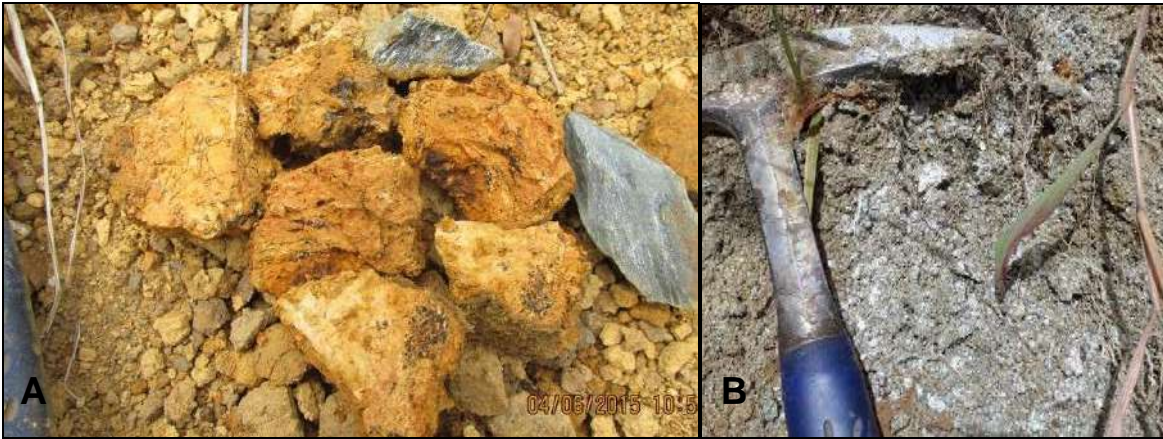


Figura 26. A) Brecha Dunitas-Anfibolitas. B) Horizonte IC de meteorización



Figura 27. Horizonte IC de brecha tectónica en las Anfibolitas de Medellín

El Horizonte IIA de meteorización fue encontrado en las estaciones de campo MAD20-U-EPVT y MAD21-U-EPVT. La roca se observa bandeada (Figura 28A) y en algunas partes levemente meteorizada (Figura 28B). Sobre la margen izquierda de la Quebrada La Castro 4, este cuerpo se encuentra altamente fracturado en conjunto con las Dunitas de Medellín, debido a la influencia de la Falla La Castro 1, encontrándose estructuras de bandeamiento dentro del cuerpo masivo asociado a las dunitas (brecha tectónica), como se observa en la Figura 28A.

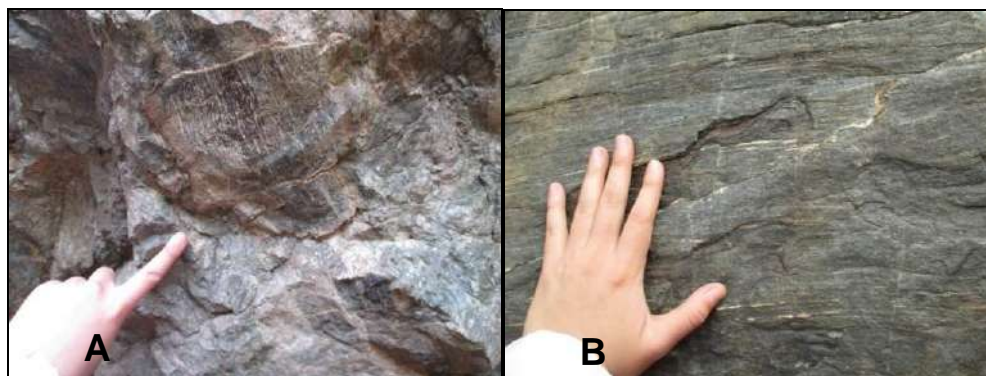




Figura 28. Horizonte IIA de las Anfibolitas de Medellín sobre la Quebrada La Castro 4

De manera general, la relación espacial y cronológica entre Anfibolitas-Dunitas –Cuerpos graníticos es la siguiente: las Anfibolitas de Medellín constituyen la unidad litológica más antigua dentro de la zona de estudio (basamento), las Dunitas de Medellín es la unidad que cabalga sobre las Anfibolitas y los cuerpos graníticos asociados al Batolito Antioqueño intruyen tanto a las Anfibolitas como a las Dunitas.

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

5. ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS

5.1 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL



El Valle de Aburrá se ubica en un valle profundo comprendido por dos altiplanos o superficies de erosión cuyas alturas oscilan entre los 2200 msnm y 3200 msnm. Regionalmente, las geoformas más sobresalientes corresponden a superficies de erosión localizadas en el altiplano de Santa Elena, escarpes erosivos, superficies con diversos grados de incisión desarrollados sobre materiales in situ y transportados y geoformas asociadas a estructuras geológicas. A continuación, se describen e ilustran las macrounidades o bloques y las unidades geomorfológicas que se encuentran en la zona de estudio.

5.1.1 Macrounidades geomorfológicas

Las macrounidades o bloques se asocian a unidades de paisaje en escalas regionales relacionadas genéticamente en cuanto a su geología, procesos de erosión y controles estructurales.

La UMI Esfuerzos de Paz se ubica sobre las macrounidades Valle Medio-Bloque Comuna Nororiental Alta (VM-BCNA), Altiplano Superficie de Erosión (AP-S-I) y el Valle Medio-Bloque Santa Elena (VM-BSE). A continuación se presenta la descripción de todas las macrounidades.

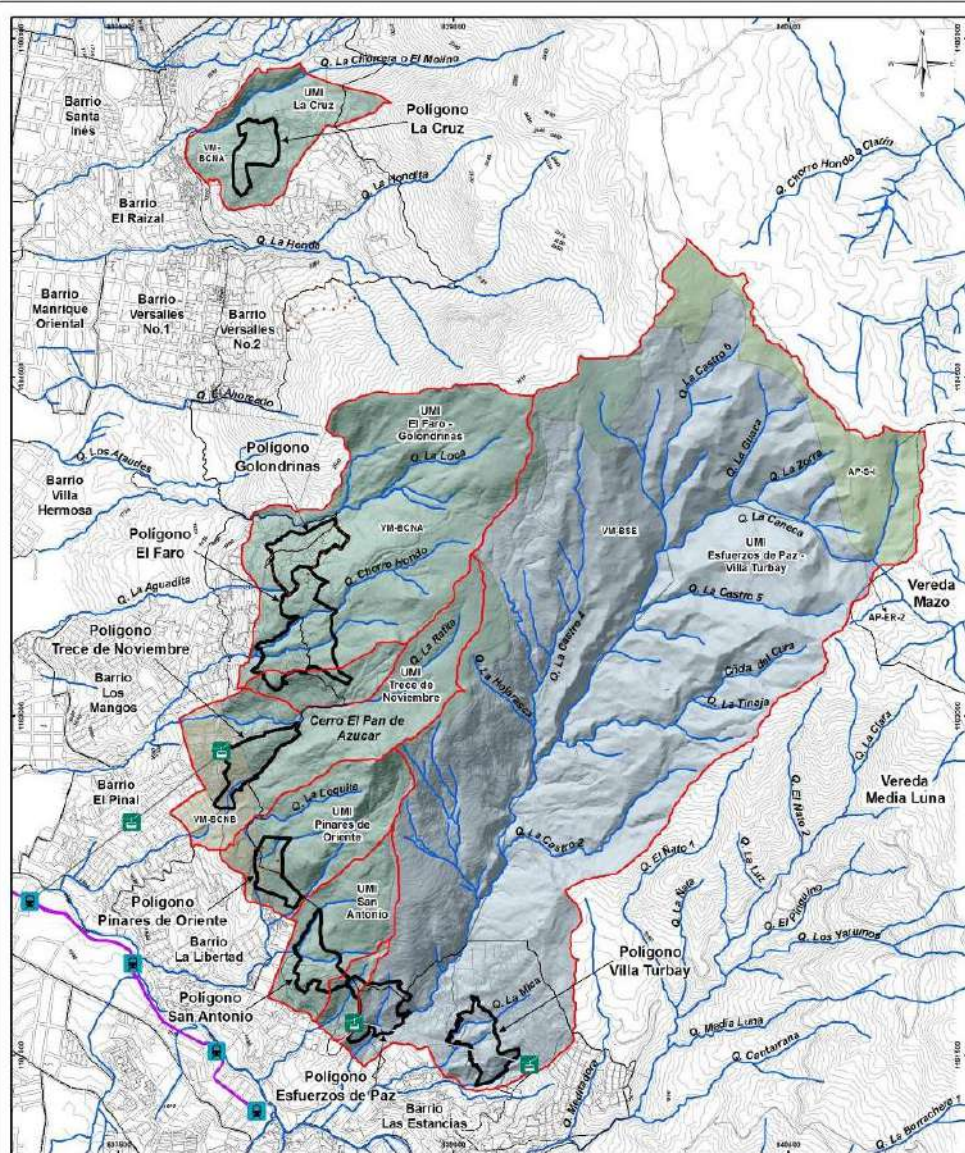
- ✓ Superficie de erosión S-I (AP-S-I), ubicada a altura del corregimiento de Santa Elena hacia el oriente de Medellín. Se encuentran entre alturas de 2500 msnm y 2600 msnm y se caracterizan por ser superficies con baja incisión pertenecientes al altiplano mencionado anteriormente en medio de sistemas de falla.
- ✓ Escarpe erosivo regional ER-2 (AP-ER-2), que limita las superficies de erosión descritas en el párrafo anterior. Genéticamente corresponden a zonas donde hubo un levantamiento tectónico que genera una superficie con un gradiente que facilita la ocurrencia de procesos de erosión, denominándose de esta manera como escarpe erosivo. Esta macrounidad es observada como un conjunto de lomos bajos exhibiendo un alto grado de incisión en comparación con la superficie de erosión.
- ✓ Valle medio del Bloque Santa Elena (VM-BSE), ubicado sobre la margen derecha de la Quebrada Santa Elena. Se trata de lomos con tendencia S-N a SSE-NNW, de topes redondeados y vaguadas poco incisadas. Cerca del sector de la Estancias y La Sierra se tienen controles estructurales evidenciados en lineamientos y descansos topográficos denominados peldaños.
- ✓ Valle medio del Bloque Comuna Nororiental Alta (VM-BCNA), el cual se desarrolla geológicamente sobre las denominadas Dunitas de Medellín y de manera local sobre depósitos de vertiente. Su clasificación y característica principal es el control estructural presente, exhibiendo así un relieve escalonado sobre las laderas.


	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	--	---

Comprende un sistema de lomos con tendencia E-W de topes suaves y estrechos cañones.



- ✓ Valle medio del Bloque Comuna Nororiental Baja (VM-BCNB), comprendiente a sistemas de lomos con tendencia N-S de topes suaves y estrechos cañones con control estructural como lineamientos con tendencia N-S. Esta unidad se desarrolla geológicamente sobre suelos depositados como aluviotorrenciales y aluviales asociados a la Qda Santa Elena.
- ✓ Valle medio de fondo de Valle (VM-FV), el cual corresponde a zona planas de baja inclinación e incisión asociadas a depósitos aluviales del fondo del Valle de Aburrá.

En el Mapa 9 se muestra la distribución de estas macrounidades que acaban de ser descritas.



 <p>Jardín edu Circunvalar de Medellín Empresa de Desarrollo Urbano Alcaldía de Medellín</p> <p align="center">MACROUNIDADES GEOMORFOLÓGICAS ZONA DE ESTUDIO</p> <p align="center">MUNICIPIO DE MEDELLÍN SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA</p>	<p>MACROUNIDADES GEOMORFOLÓGICAS</p> <ul style="list-style-type: none"> Alfilario superior de erosión AP-S-1 Alfilario es cerpe regional 2 AP-ER-2 Valle medio topea Santa Elena VM-SE Valle medio topea comuna Rionegro Alta VM-BCNA Valle medio topea comuna Rionegro Baja VM-BCNB Valle medio fondo de valle VM-FV 	<p>CONVENCIONES</p> <p>Cartografía Complementaria</p> <ul style="list-style-type: none"> METROCABLE TRANVIA TRANVIA Línea 1, San Antonio-Aparicio Echavarría METROCABLE Proyectado Aljando Echavarría-La Sierra METROCABLE Proyectado Miraflores-13 Noviembre Expansión Derecho Urbano Cuadrícula de Nivel Red de Drenaje Límite de Manzana Límite de Barrio Polígonos Barrios JMVS
--	--	--

Mapa 9. Bloques o macrounidades geomorfológicas de la zona de estudio (07_VTBMacroUnidadesGeomorfológicas_Medellin_C y 07_VTBMacroUnidadesGeomorfológicas_Medellin_T)

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

5.1.2 Unidades Geomorfológicas



Las unidades geomorfológicas se detallan en escalas un poco más locales, haciendo referencia a aquellas geoformas con relaciones en cuanto a su geometría, la homogeneidad del proceso que las genera, la geología y su edad. Dentro de las macrounidades descritas anteriormente se puede encontrar diversas unidades geomorfológicas, es decir, una misma unidad geomorfológica puede estar presente en varias macrounidades.

La UMI Esfuerzos de Paz se ubica sobre la Unidad de Lomos (L), Escarpes semi circulares superiores (ESCS), Peldaños (PÑ) y Superficies con baja incisión (SBI). A continuación se presenta la descripción de todas las unidades geomorfológicas y se menciona la macrounidad donde se encuentran.

- ✓ Unidad de lomos bajos (LB), la cual se encuentra en la macrounidad denominada Altiplano Escarpe Regional 2. Son lomos alargados sin ninguna orientación y con bajo grado de disección.
- ✓ Unidad de superficies con baja incisión (SBI), la cual se encuentra en la macrounidad denominada como Altiplanos Superficie de Erosión I y corresponde a geoformas de lomos alargados localizadas cerca de zonas escarpadas.
- ✓ Unidad de lomos (L), la cual se encuentra en las macrounidades denominadas Valle Medio Bloque Comuna Nororiental Alta y Valle Medio Bloque Santa Elena. Se caracterizan por estar orientados hacia el eje fluvial principal, corresponden a filos alargados y estrechos.
- ✓ Unidad de Peldaños (PÑ): Esta unidad se encuentra en las macrounidades: Valle medio-Bloque Comuna Nororiental Alta, Valle Medio-Bloque Comuna Nororiental Baja, y Valle Medio-Bloque Santa Elena, corresponden a superficies de baja inclinación de gran continuidad.

Unidad de rasgos morfotectónicos (RMT), la cual se encuentra en la macrounidad Valle Medio Bloque Comuna Nororiental Alta y corresponden a geoformas asociadas estructuralmente a lineamientos, fallas y contactos entre unidades geológicas.

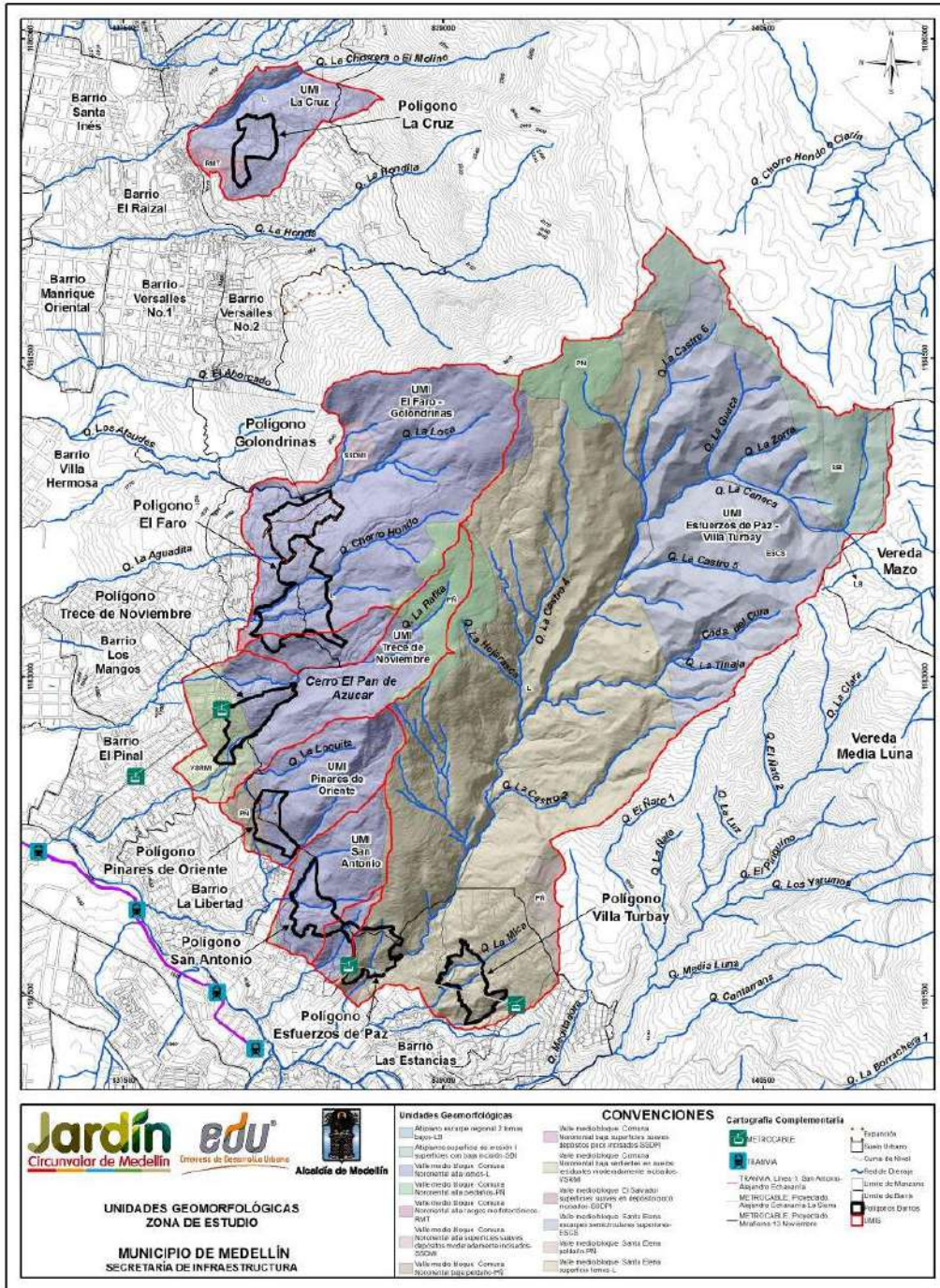
- ✓ Unidad de superficies suaves depósitos moderadamente incisados (SSDMI), la cual se encuentra en la macrounidad Valle Medio Bloque Comuna Nororiental Alta. Se desarrolla sobre depósitos de vertiente (flujo de lodos y/o escombros) y corresponde a zonas continuas de baja inclinación e incisión moderada.
- ✓ Unidad de superficies suaves en depósitos poco incisados (SSDPI), la cual se encuentra en las macrounidades denominadas como Valle Medio Bloque El Salvador y Valle Medio Bloque Comuna Nororiental Baja. Se desarrollan sobre depósitos de vertiente (flujo de lodos y/o escombros) y corresponden a zonas continuas de baja inclinación y poca incisión.
- ✓ Unidad de Vertiente en suelos residuales moderadamente incisados (VSRMI), la cual se encuentra en la macrounidad Valle Medio Bloque Comuna Nororiental Baja.

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	--	---

La localización de esta geoforma varía de acuerdo con la unidad geológica presente. Corresponden a laderas con filos estrechos y topes agudos. Para el caso de estudio se desarrollan sobre suelos residuales de las Dunitas de Medellín.

- ✓ Unidad de Escarpes semicirculares superiores (ESCS), la cual se encuentra en la macrounidad Valle Medio-Bloque Santa Elena. Se encuentra en zonas escarpadas y superficies rocosas hacia los límites con los altiplanos, caracterizándose por presentar fuertes pendientes.

La localización en planta de estas unidades geomorfológicas que acaban de ser descritas se muestra en el Mapa 10.



**Mapa 10. Unidades geomorfológicas de la zona de estudio
 (08_VTBUnidadesGeomorfológicas_Medellin_C y
 08_VTBUnidadesGeomorfológicas_Medellin_T)**

5.2 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

En este capítulo se realiza el análisis para la definición de las unidades geomorfológicas de la UMI Esfuerzos de Paz-Villa Turbay, a partir de las geofomas levantadas en campo, el mapa de pendientes, geología local de la zona de estudio y los procesos morfodinámicos que se observan en ella.

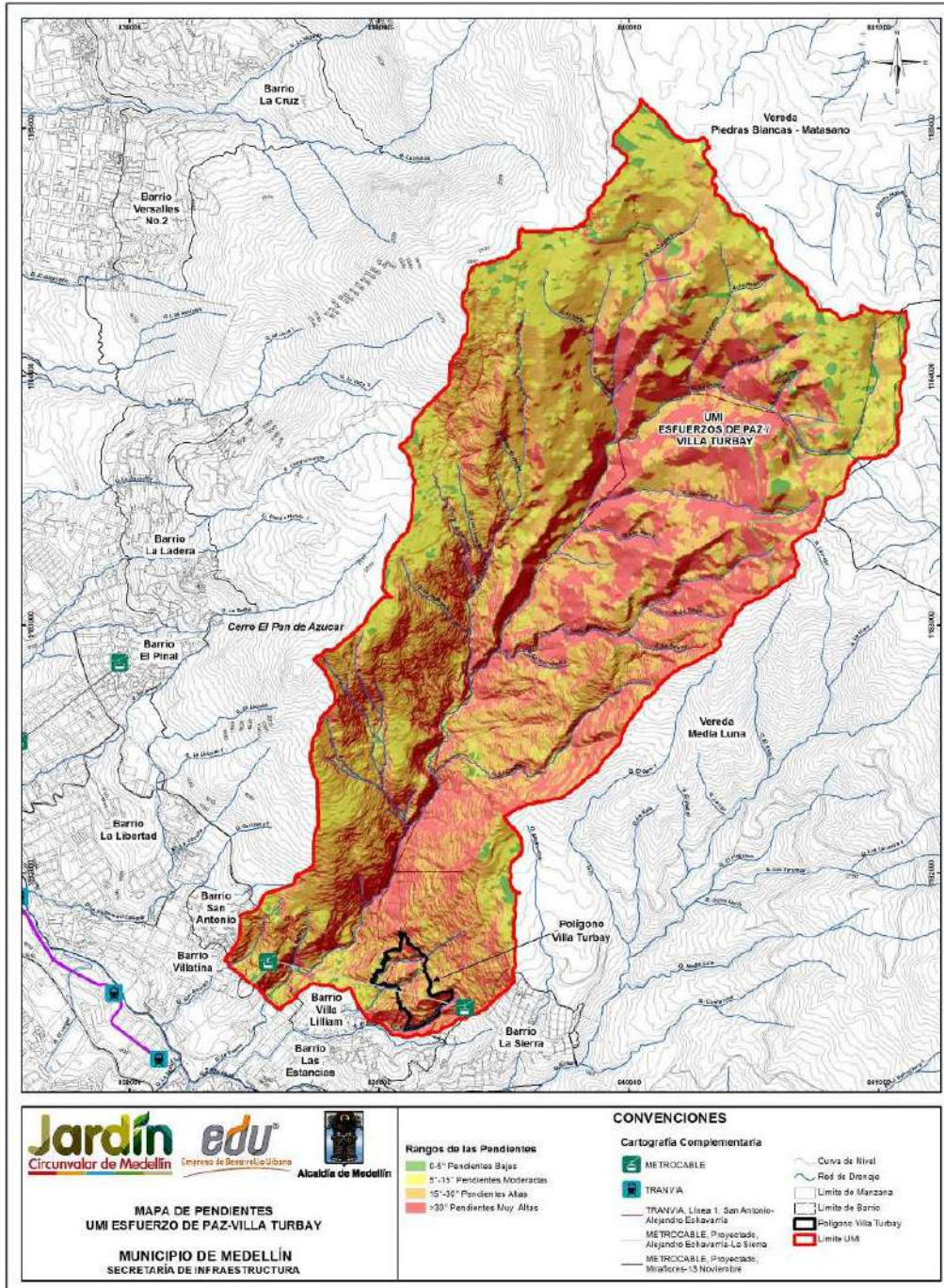
Se definieron rangos de pendiente de acuerdo con el ángulo de inclinación que presenta el terreno, el cual es expresado según el Acuerdo Metropolitano N°9 de 2012 del AMVA (Tabla 1). Además se revisaron fotografías aéreas para la fotointerpretación, recorridos de campo para delimitación e identificación de la morfogénesis de las unidades geomorfológicas.

Tabla 1. Rangos de pendientes para definición de la geomorfología local



Rango	Clasificación	Rasgo Geomorfológico	Tipo de Proceso
0° a 5°	Baja	Planicies	Erosión superficial
5° a 15°	Moderada	Superficies Suaves	Erosión superficial
15° a 30°	Alta	Superficies Moderadas	Movimientos en masa y Erosión superficial
> 30°	Muy Alta	Laderas Empinadas	Movimientos en masa y Caída de rocas

Haciendo uso de Herramientas SIG, se obtuvo el mapa de pendientes que se presenta en el Mapa 11 de manera que pueden hacerse las siguientes observaciones:

- ✓ Las zonas resaltadas en color verde son las de pendientes bajas (0° a 5°), correspondientes a planicies. Estas zonas se encuentran distribuidas a lo largo de toda la UMI, están asociadas a rasgos tectónicos denominados como peldaños o descansos, formas de origen estructural y también a zonas de explanación antrópica.
- ✓ Las zonas con pendientes moderadas (5° a 15°) y altas (15° a 30°) corresponden a las sombreadas de colores amarillo y naranja, respectivamente. Son las predominantes en la UMI. Corresponden a superficies suaves modeladas en materiales desprendidos y moderadas modeladas por la incisión de las quebradas y sus afluentes.
- ✓ Las zonas con pendientes muy altas (>30°) se resaltan con color rojo. Éstas son caracterizadas por presentar vertientes escarpadas moldeadas en roca, estando algunas hoy día cubiertas por la vegetación y cultivos.

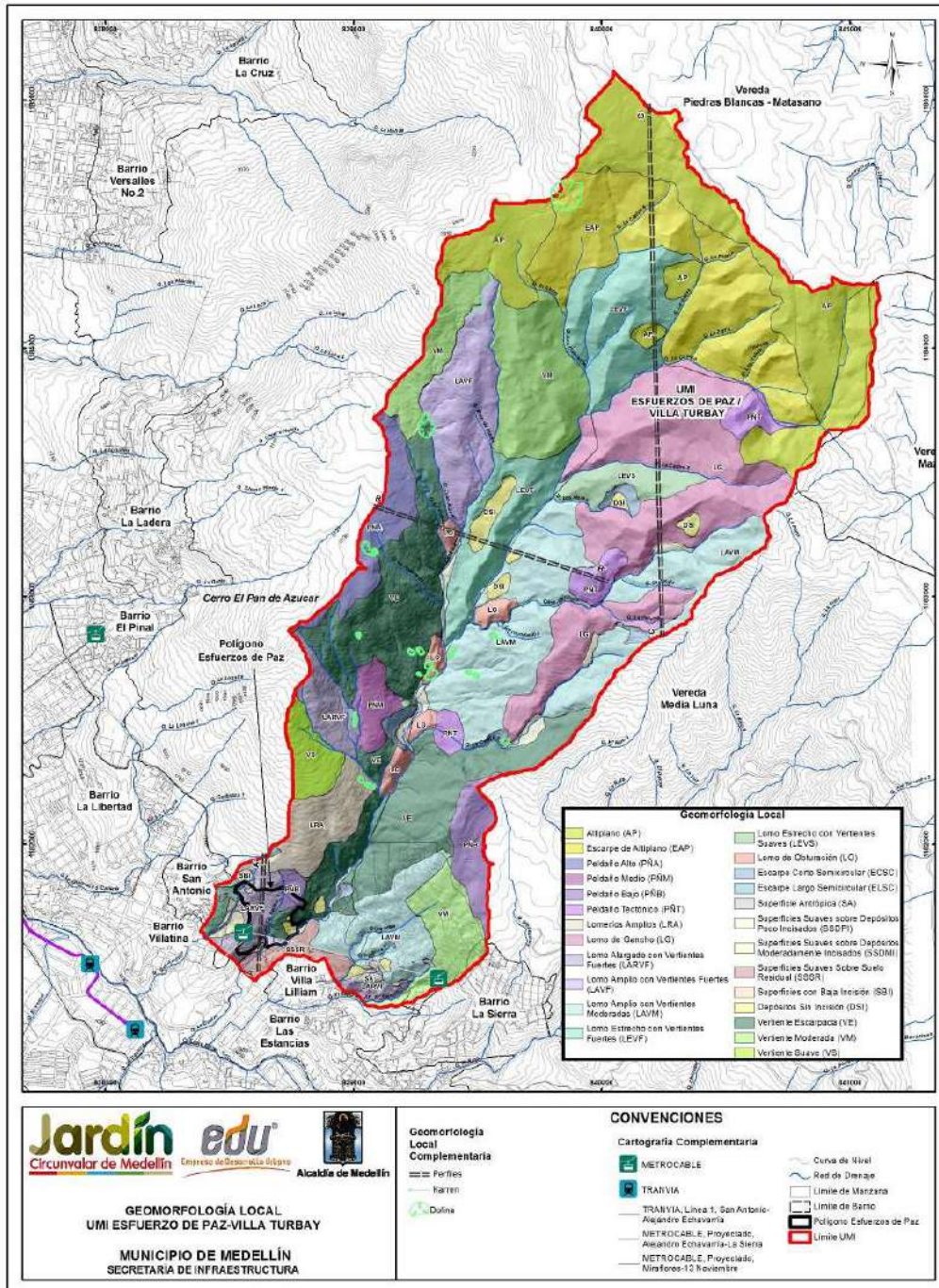


Mapa 11. Mapa de pendientes UMI Esfuerzos de Paz-Villa Turbay (09_VTBPendientes_Medellin_C y 09_VTBPendientes_Medellin_T)

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	--	---

Teniendo en cuenta el análisis del mapa de pendientes, los recorridos de campo y la geología local de la zona de estudio, se lograron definir 25 unidades geomorfológicas que se describen detalladamente en los Numerales 5.2.1 a la 5.2.25 de este capítulo.

En el Plano P-2445-EP-10 se presenta el mapa de unidades geomorfológicas de la UMI Esfuerzos de Paz-Villa Turbay. En el Polígono Esfuerzos de Paz predominan las unidades de lomos tales como: Lomo Alargado con Vertientes Fuertes-LARVF, Peldaño Bajo-PÑB, Lomeríos Amplios-LRA y Superficies moderadas en depósitos y materiales antrópicos. Se retoma en el Mapa 12 la planta con cada una de las unidades geomorfológicas y los perfiles de las unidades más representativas desde la Figura 29 hasta la Figura 31.



Mapa 12. Plano de unidades geomorfológicas de la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay (10_VTBGeomorfologiaLocal_Medellin_C y 10_VTBGeomorfologiaLocal_Medellin_T)

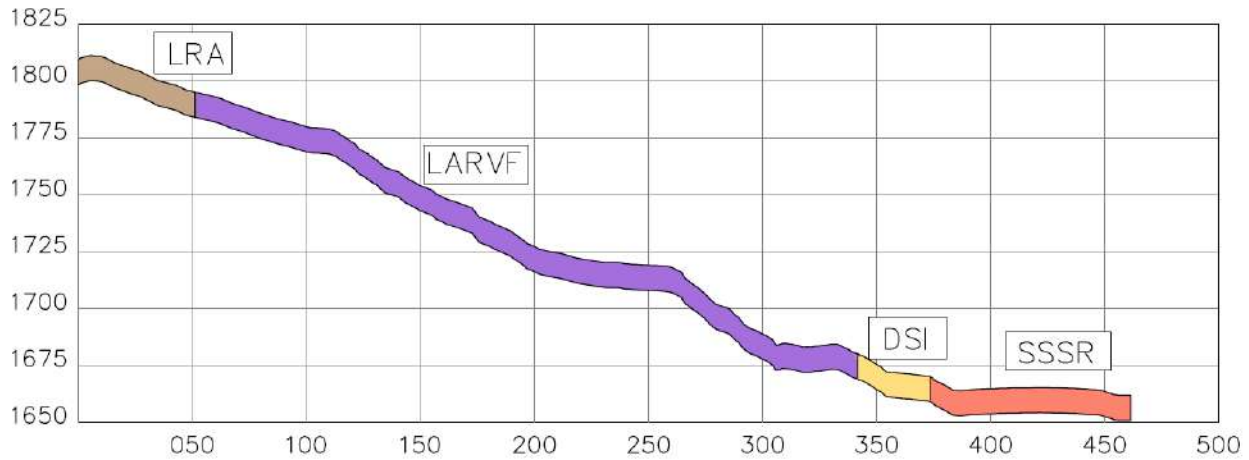


Figura 29. Perfil geomorfológico A-A'

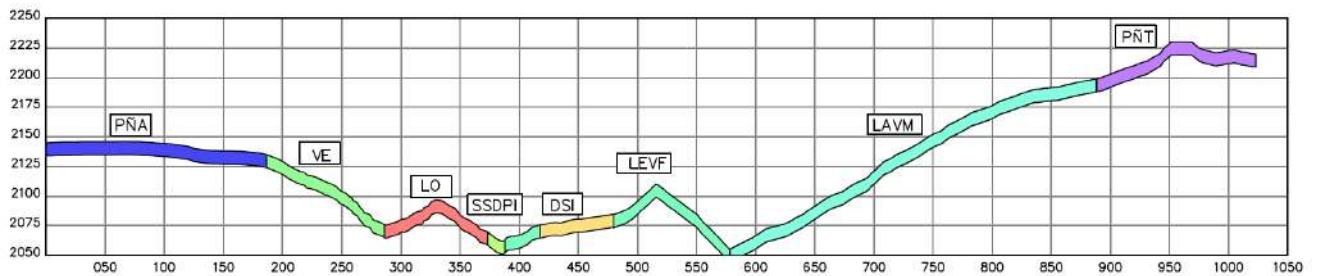


Figura 30. Perfil geomorfológico B-B'

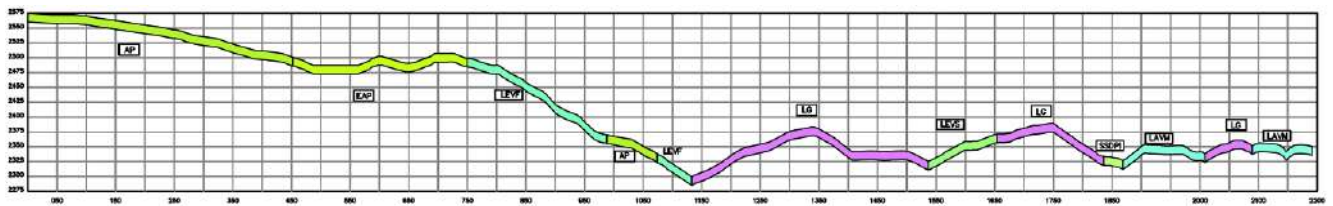


Figura 31. Perfil geomorfológico C-C'

5.2.1 Unidad de Altiplano AP

Se localiza en el extremo nororiental de la UMI, en el altiplano de Santa Elena entre las cotas 2510-2525 msnm. Esta unidad se caracteriza por presentar pendientes suaves menores de 5°, compone una superficie plana continua casi horizontal con baja incisión. También se tienen pequeños remanentes o relictos de esta geoforma en las inmediaciones de la unidad de Escarpe de Altiplano (Figura 32). Litológicamente se desarrolla sobre suelo residual de las Dunitas de Medellín.

5.2.2 Unidad de Escarpe de Altiplano EAP

Se encuentra ubicada en la parte baja de la unidad de Altiplano. Esta geoforma está relacionada genéticamente con el levantamiento cordillerano, el cual genera frentes erosivos con desarrollo de sistemas de drenajes dendríticos y conjuntos de lomos con dirección hacia el eje fluvial principal (Quebrada La Castro) como se ilustra en la Figura 32. Litológicamente esta unidad se desarrolla sobre suelo residual de las Dunitas de Medellín.

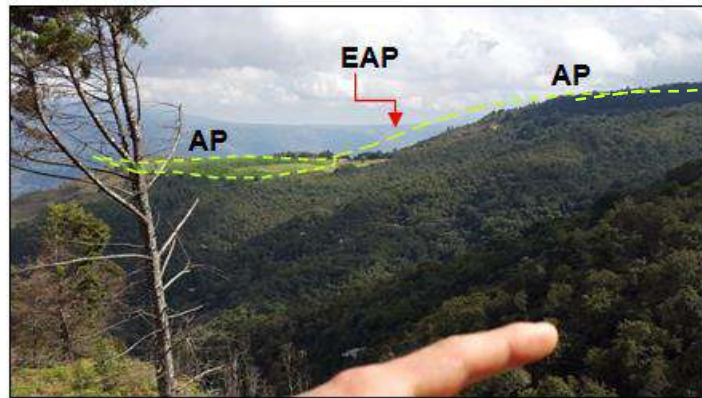


Figura 32. Unidad de Altiplano AP y Escarpe de Altiplano EAP

5.2.3 Unidad Peldaño Alto PÑA

Se localiza al oeste de la parte media de la UMI, dispuesto en sentido preferencial NE sobre la margen derecha de la Quebrada La Castro. Esta geoforma se encuentra relacionada con rasgos estructurales asociados a descansos de falla, ya que se encuentra limitada por vertientes escarpadas y lineamientos de gran continuidad observados en quiebres de pendiente y lomos deflectados. Presentan baja inclinación entre los 0° y 5° (superficies suaves), son de gran continuidad encontrándose desde la parte alta de la UMI hasta el camino que conduce hacia el Cerro Pan de Azúcar, presenta bajo grado de incisión y forma irregular. Litológicamente se desarrolla sobre los Horizontes IB y IC de las Dunitas de Medellín. En la Figura 33 se resalta sombreada dicha unidad.

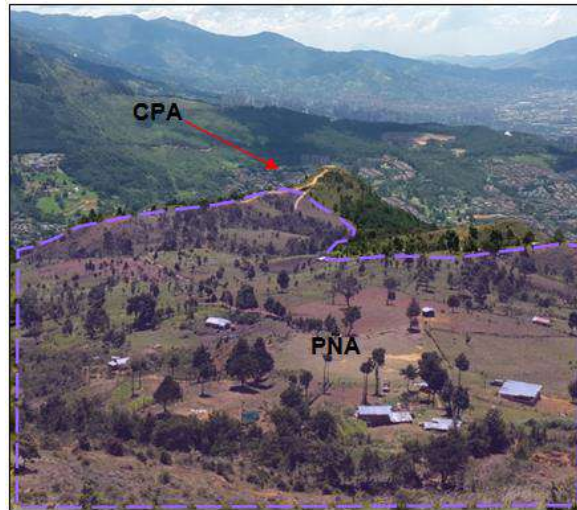


Figura 33. Unidad de Peldaño Alto PÑA, al fondo el Cerro Pan de Azúcar CPA

5.2.4 Unidad Peldaño Bajo PÑB

Esta unidad se encuentra localizada hacia la parte baja de la UMI, sobre ambas márgenes de la Quebrada La Castro. El peldaño encontrado sobre la margen izquierda, se ubica sobre el centro de rehabilitación Hogares Claret (parte superior del Polígono Villa Turbay) y el de la margen derecha se ubica en la parte superior del polígono Esfuerzos de Paz. Se encuentra entre las cotas 1954 msnm y 2002 msnm limitado por lineamientos asociados a quiebres de pendiente. Esta unidad presenta forma irregular y se desarrolla sobre suelo residual de las Dunitas de Medellín.



Figura 34. Unidad de Peldaño Bajo PÑB y Vertiente Suave VS

5.2.5 Unidad Peldaño Tectónico PÑT

Se encuentran en la parte media y alta de la UMI. Corresponden a expresiones geomorfológicas denominadas “Silletas o Sillas de Montar” halladas entre las cotas 2190-2230 msnm. Como el nombre lo indica, son geoformas que se caracterizan por presentar dos extremos elevados en cuya mitad se ubica una depresión (como una silla para montar a caballo), este tipo de depresiones son generadas por la presencia de planos de debilidad donde se produce con mayor facilidad la meteorización de una unidad geológica debido a la presencia de estructuras geológicas como lineamientos y fallas. El relieve que moldea este tipo de geoformas limitadas y asociadas a estructuras geológicas es denominado “Escalonado” (Superficies suaves o peldaños limitados por escarpes y/o estructuras geológicas como lineamientos o fallas) como se observa en la Figura 35. Litológicamente se desarrollan sobre el Horizonte IC de los cuerpos asociados al Batolito Antioqueño.

5.2.6 Unidad Lomeríos Amplios LRA

Se encuentran localizados en al oeste de la parte baja de la UMI. Esta unidad geomorfológica de lomos se caracteriza por presentar pendientes de moderadas a altas, con inclinaciones menores de 30°, topos amplios, ondulados y convexos, vertientes cortas con moderado grado de incisión. Litológicamente, se desarrolla sobre suelo residual de las Dunitas de Medellín (Figura 35).

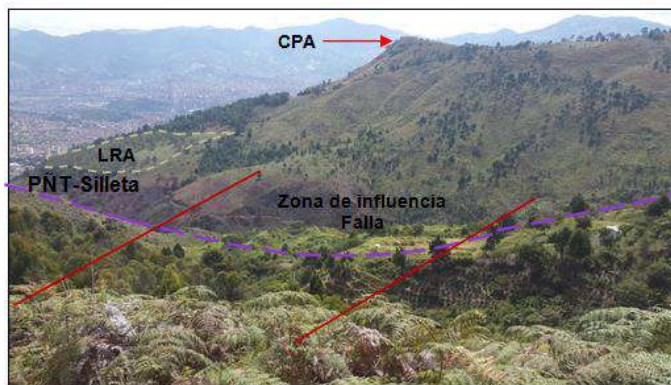


Figura 35. Unidad de Peldaño Tectónico PÑT y Lomeríos Amplios LRA

5.2.7 Unidad de Lomo Alargado con Vertientes Fuertes LARVF

Se encuentran dos lomos en la parte baja de la UMI, uno se ubica sobre la margen izquierda de la quebrada San Antonio, lugar donde se está construyendo la nueva línea del metro cable Alejandro Echavarría y el otro lomo se ubica entre las quebradas La Mica 1 y El Saperó 1 en el polígono de Villa Turbay.

Esta unidad se caracteriza por presentar topos suaves, continuos, con pendientes menores de 15°, vertientes cóncavas de moderadas a fuertes, la vertiente localizada

sobre la margen izquierda de la quebrada San Antonio presenta vertientes rectas escarpadas con pendientes mayores de 30°. Litológicamente esta unidad se desarrolla sobre suelo residual de cuerpos graníticos asociados al Batolito Antioqueño (Figura 36).



Figura 36. Lomo Alargado con Vertientes Fuertes LARVF, Metro Cable Alejandro Echavarría

5.2.8 Unidad de Lomo Amplio con Vertientes Fuertes LAVF

Se localiza entre las quebradas La Castro 4 y Juan Alberto. Esta geoforma se encuentra limitada en la parte superior por rasgos estructurales como lineamientos con dirección NW y la unidad de Peldaño Tectónico-PNT.

Esta unidad se caracteriza por presentar topos convexos sobre la cual se tienen dispuestos superficies antrópicas, vertientes escarpadas irregulares con inclinaciones mayores de 30°. Litológicamente se desarrolla sobre el horizonte IIA de las Dunitas de Medellín como se observa en la Figura 37.

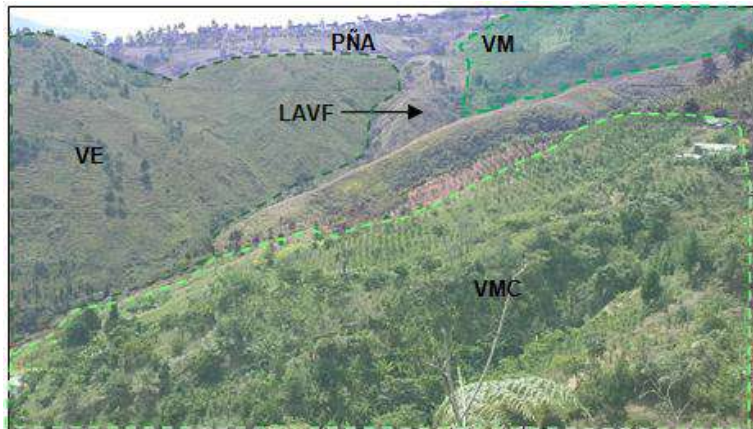




Figura 37. Unidad de Vertiente Escarpada VE, Peldaño Alto PÑA, Vertiente Escarpada VE, Vertiente Moderada VM y Vertiente Moderada Colinada

 <p>edu[®] Empresa de Desarrollo Urbano</p>	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	 <p>edu[®] Empresa de Desarrollo Urbano</p>
---	--	---

5.2.9 Unidad de Lomo Amplio con Vertientes Moderadas LAVM

Se localiza sobre la margen izquierda de la Quebrada La Castro, constituyendo en mayor proporción el polígono de Villa Turbay (Figura 38). Está limitada en la parte superior por la unidad de Vertientes Moderadas-VM y Escarpadas-VE y superficies suaves sobre suelo residual (Figura 39).

Se caracteriza por presentar topes suaves con pendientes menores de 15°, laderas cortas e irregulares con pendientes moderadas. Presentan dirección preferencial hacia el eje fluvial de la Quebrada La Mica y La Mica 1, el cual es E-W.

Litológicamente, esta unidad se desarrolla sobre suelo residual de los cuerpos asociados al Batolito Antioqueño y en menor proporción sobre suelos residuales de las Dunitas de Medellín.



Figura 38. Lomo Amplio con Vertientes Moderadas LAVM Barrio Villa Turbay



Figura 39. Unidad de Lomo Amplio con Vertientes Moderadas LAVM, margen izquierda Quebrada La Castro

5.2.10 Unidad de Lomo Estrecho con Vertientes Fuertes LEVF

Se encuentran localizados en la parte alta y media de la UMI. En la parte alta es drenada por los afluentes de la Quebrada La Castro como son Los Colorados, La Castro 6, La Caneca. En la parte media se restringe a la margen derecha de la Quebrada La Castro. Al oeste de la zona baja de la UMI se presenta un lomo que está limitado por la quebrada San Antonio. Presenta topes agudos, estrechos, con pendientes entre 15° y 30°, vertientes cóncavas escarpadas, con pendientes mayores de 30°, como se ilustra en la Figura 40. Esta unidad se desarrolla litológicamente, sobre suelo residual de Las Dunitas de Medellín y de Las Anfibolitas de Medellín.



Figura 40. Unidad de Lomo Estrecho con Vertientes Fuertes LEVF, Lomo Estrecho con Vertientes Suaves LEVS y Depósitos Sin Incisión DSI

5.2.11 Unidad de Lomo Estrecho con Vertientes Suaves LEVS

Se localiza en la parte media de la UMI limitada por la Quebrada La Castro 5, entre la unidad de Lomos de Gancho y Lomos Amplios con Vertientes Moderadas. Esta unidad presenta topes suaves continuos con inclinaciones entre 5° y 15°, vertientes suaves con pendientes menores de 15° como se ilustra en la Figura 40. Esta geoforma tiene una tendencia NE a EW. Litológicamente se desarrolla sobre materiales residuales de las Dunitas de Medellín.

5.2.12 Unidad de Lomo de Gancho LG

Esta unidad geomorfológica se localiza sobre la margen izquierda de la Quebrada La Castro, entre la vereda Mazo y la Vereda Media Luna. Son tres geoformas muy particulares, limitadas cada una por las quebradas La Caneca-La Castro 5, Los Moros-Cañada del Cura y la Castro 2. Estos lomos presentan dirección preferencial en sentido EW a NE (deflexión), tienen topes agudos, laderas cortas onduladas de aspecto colinado y con pendientes moderadas, presentan terminaciones en forma de facetas triangulares (Figura 41) en las laderas. Las facetas triangulares constituyen geometrías asociadas a rasgos morfotectónicos como fallas (bloque que sube y otro que baja) y/o lineamientos generados por procesos tectónicos, en el cual se tiene una vertiente escarpada de falla que posteriormente es moldeado por agentes erosivos como el agua que finalmente le da la forma triangular. Se desarrollan sobre el Horizonte IC de los cuerpos asociados al Batolito Antioqueño.

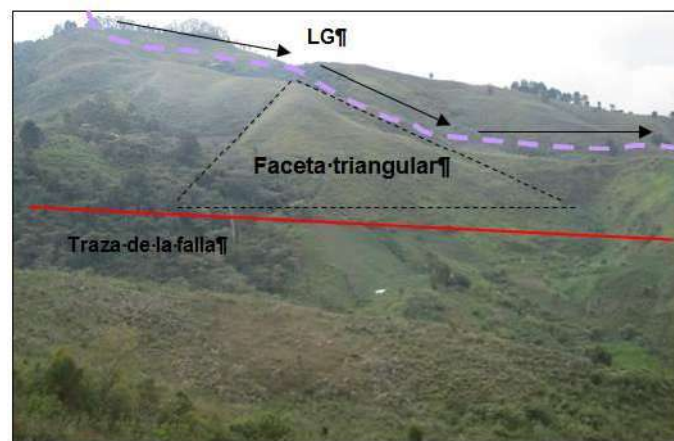


Figura 41. Unidad de Lomo Morfotectónico LMT

5.2.13 Unidad de Lomo de Obturación LO

Se localizan en todo el cauce y en ambas márgenes de la Quebrada La Castro. Este tipo de geoformas son generadas por fallas transcurrentes o de rumbo en donde el desplazamiento horizontal crea barreras desplazando las puntas de los lomos y cambiando además el curso de los drenajes de la zona. Estas geoformas presentan

orientación preferencial en sentido NE, presentan topes agudos, vertientes cortas escarpadas con pendientes mayores de 30°. Litológicamente se desarrollan sobre el horizonte IIA de las Dunitas de Medellín, en el cual se encuentran bloques en superficies que pueden ser susceptibles a la generación de caídas de bloques, favorecidos por agentes erosivos como el agua como se observa en la Figura 42.



Figura 42. Lomo de Obturación LO y Vertiente Escarpada VE

5.2.14 Unidad de Escarpe Corto Semicircular ECSC

Esta unidad se encuentra distribuida en toda la UMI, limitada por unidades de Lomos y Superficies Modeladas en Depósitos. Son geoformas que se caracterizan por ser escarpadas con pendientes mayores de 30° y formas semicirculares de aproximadamente 50 m de largo por 20 m de ancho, las cuales son asociadas a cicatrices de deslizamiento (Figura 43). Litológicamente esta unidad se desarrolla sobre suelo residual de las Dunitas de Medellín y los cuerpos asociados al Batolito Antioqueño.

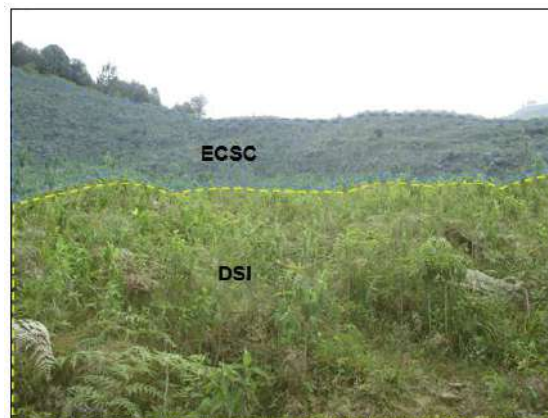


Figura 43. Unidad de Escarpe Corto Semicircular ECSC y Depósitos de Sin Incisión DSI

5.2.15 Unidad de Escarpe Largo Semicircular ELSC

Se localiza en el límite oeste con la UMI de San Antonio. Se encuentra limitada por unidades de Lomos y vertientes. Son geoformas que se caracterizan por ser escarpadas con pendientes mayores de 30° y formas semicirculares de gran extensión. Litológicamente, esta unidad se desarrolla sobre el horizonte IIA de las Dunitas de Medellín. Esta unidad geomorfológica fue cartografiada en la UMI de San Antonio, para la UMI de Esfuerzos de Paz-Villa Turbay sólo corresponde una fracción menor, por lo cual no se muestra una fotografía representativa de la misma.

5.2.16 Unidad de Superficie Antrópica SA

Corresponden a superficies explanadas con formas variables modificadas antrópicamente y pendientes suaves entre 0°-5° de inclinación. Una de ellas conforma parte del parque las Tinajas del Jardín Circunvalar (Figura 45).

5.2.17 Unidad de Superficies Suaves sobre Depósitos Poco Incisados SSDPI

Localizadas en la parte baja donde se encuentra el cauce de la Quebrada La Castro y en la parte media de la UMI, limitados en la parte superior por unidades de Escarpes y Lomos. Esta geoforma presenta forma ovalada, topes suaves con pendientes menores de 15°. Son el resultado de procesos de inestabilidad como movimientos en masa generados en la unidad geomorfológica de escarpes y además por el transporte generado por la Quebrada La Castro, desde el nacimiento en el altiplano hasta la parte baja de UMI (Figura 44). Litológicamente, se encuentra sobre depósitos de flujo de lodos y/o escombros y aluviotorrenciales.



Figura 44. Unidad de Superficies Suaves sobre Depósitos Poco Incisados SSDPI

5.2.18 Unidad de Superficies Suaves sobre Depósitos Moderadamente Incisados

Localizada sobre ambas márgenes de la quebrada La San Antonio. Esta geoforma presenta forma ovalada, topes suaves con pendientes menores de 15° y laderas cortas moderadamente incisadas. Son el resultado de procesos de inestabilidad generados en

la unidad geomorfológica de escarpes. Litológicamente se encuentra sobre depósitos de flujo de lodos y/o escombros.

5.2.19 Unidad de Superficies con Baja Incisión SBI

Localizada en los límites con la UMI de San Antonio (extremo occidental). Presenta topes suaves con pendientes menores de 5°, las laderas son cortas con pendientes moderadas menores de 15° de inclinación y bajo grado de incisión. Litológicamente esta unidad se desarrolla sobre suelo residual de las Dunitas de Medellín (Figura 45).



Figura 45. Unidad de Superficie Antrópica SA, Superficies con Baja Incisión SBI y Lomo Alargado con Vertientes Fuertes LARVF

5.2.20 Unidad de Depósitos Sin Incisión DSI

Esta geoforma se localiza en diferentes partes de la zona de estudio. Corresponden a zonas con pendientes suaves menores de 15° sin incisión, presentan formas variadas desde alargadas hasta ovaladas. Son producto del desprendimiento de materiales provenientes de las vertientes y se desarrollan sobre flujos de lodos y/o escombros (Figura 46).



Figura 46. Unidad de Depósitos Sin Incisión DSI

5.2.21 Unidad de Vertiente Escarpada VE

Localizada en la parte media de la UMI sobre ambas márgenes de la Quebrada La Castro. Se encuentra limitada por la unidad de peldaños y lomos de obturación. Son vertientes con superficies rugosas onduladas poco continuas con pendientes entre 30°-50°. Sobre esta unidad se tienen bloques en superficie de dunita los cuales pueden ser removilizadas por agentes erosivos como el agua. Esta geoforma, en la parte baja-media de la Quebrada La Castro presenta paredes escarpadas con inclinaciones entre 50°-60°, sobre paredes rocosas de poca continuidad (pared rocosa de Dunita con menos de 3.0 m de longitud sobre la unidad de Vertiente Escarpada-VE). Litológicamente esta unidad se desarrolla sobre el Horizonte IC-IIA de las Dunitas de Medellín (Figura 47).

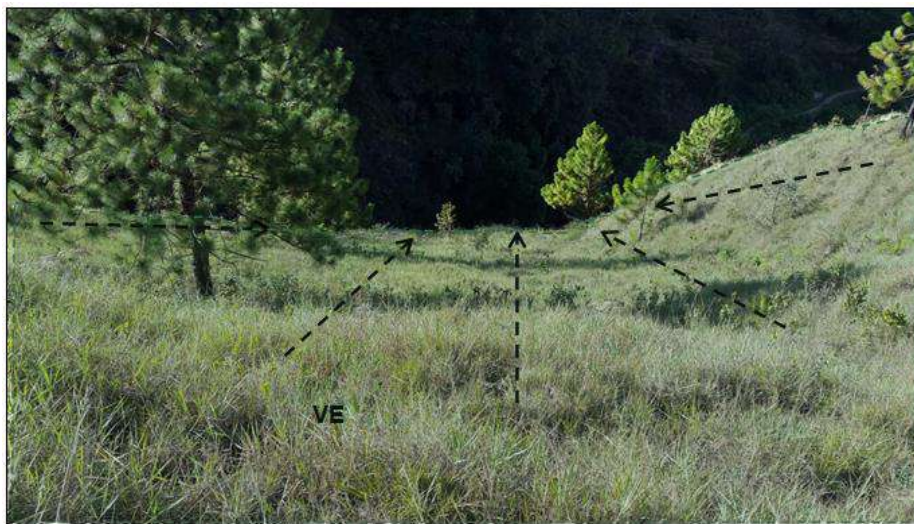


Figura 47. Unidad de Vertiente Escarpada VE

5.2.22 Unidad de Vertiente Moderada VM

Localizada en la parte alta de la UMI, en la margen derecha de la Quebrada La Castro y en la parte baja de UMI en el margen izquierda. Se encuentra limitada por la unidad de peldaños y lomos como se ilustra en la Figura 48. Son pendientes moderadas con inclinaciones entre 15°-30° irregulares y continuas. Litológicamente esta unidad se desarrolla sobre suelo residual de las Dunitas de Medellín.

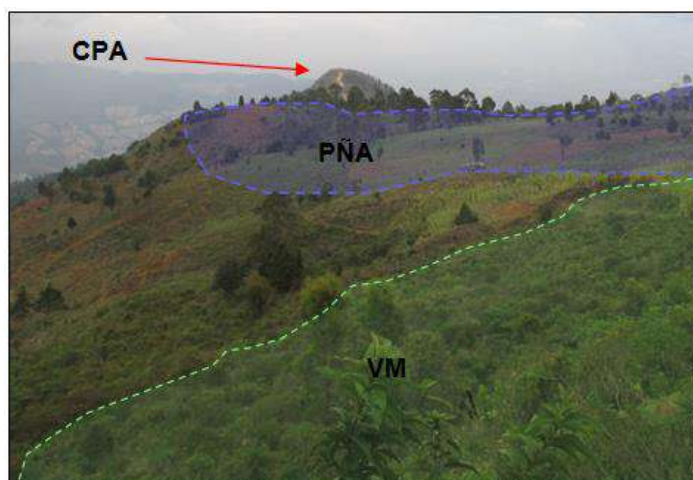


Figura 48. Unidad de Vertiente Moderada VM, Peldaño Alto PÑA y al fondo el Cerro Pan de Azúcar CPA

5.2.23 Unidad de Vertiente Suave VS

Localizada en oeste de la parte media de la UMI, en las inmediaciones. Se caracteriza por tener pendientes suaves, rectas, continuas, como se ilustra en la Figura 49. Litológicamente, esta unidad se desarrolla sobre suelo residual de las Dunitas de Medellín.



Figura 49. Unidad de Vertiente Suave

5.2.24 Unidad de dolinas

Las dolinas son depresiones cóncavas formadas por varios procesos tales como colapso de cavernas, piping, subsidencia, disolución y por controles estructurales en la unidad litológica (Figura 50), aunque todos estos procesos en conjunto también dan origen a una dolina (poligenética) (Huggett, 2007).

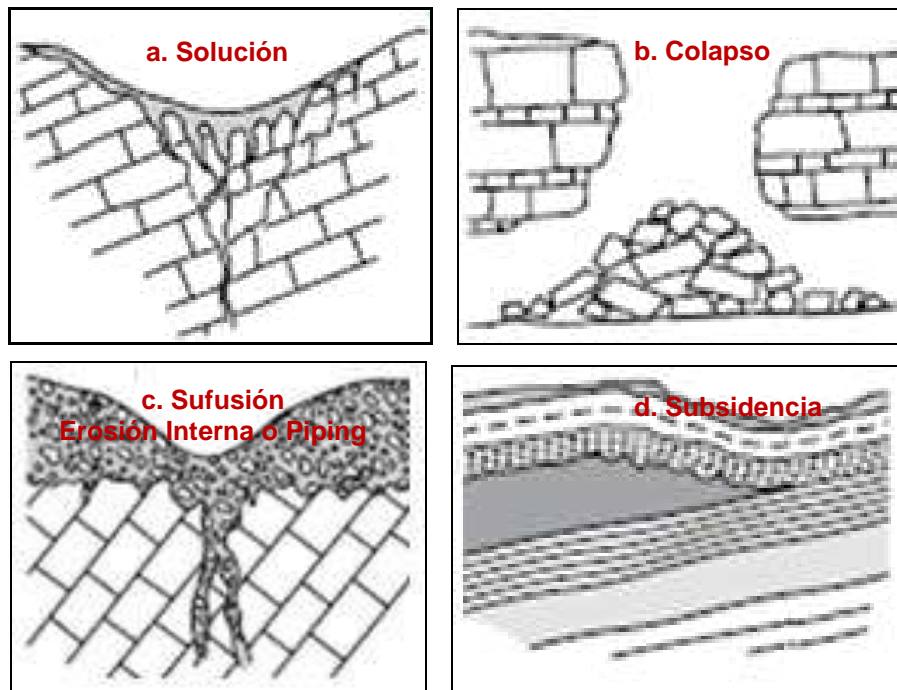


Figura 50. Principales formaciones genéticas de una dolina (Huggett, 2007)

En el Valle de Aburrá han sido reportados pseudokarst, los cuales han sido denominados así ya que la roca que moldea el paisaje no es sedimentaria química, sino cristalina (ígnea y/o metamórfica). Dado lo anterior, los procesos que controlan la formación de las geoformas pseudokársticas en nuestro entorno son debidos a movimientos tectónicos, los cuales generan fisuras que favorecen procesos de erosión interna tales como sufusión-piping.

Para el caso de la zona de estudio, las dolinas reportadas están asociadas a pseudokarst en las Dunitas de Medellín, donde se pueden disolver algunos minerales. Asimismo, las estructuras geológicas evidenciadas en el grado de fracturación (zonas de cizalla y brechas) de la roca ocasionan colapso, favoreciendo así la formación de este tipo de geoformas. Esto ocurre debido a que en el Horizonte IIA de meteorización quedan bloques expuestos en suelo que puede ser lavado por la escorrentía, generándose también colapso en la superficie del terreno.

Las opciones a, b y c de la Figura 50 son los procesos de formación que se asocian a las dolinas reportadas en la UMI en estudio. Esto se debe al fuerte control estructural, evidenciado en lineamientos, geoformas de origen estructural tales como peldaños, peldaños tectónicos, patrones de meteorización particulares en la unidad geológica (bloques rocosos en abundante matriz) y estructuras de disolución en la roca como canales en forma de tubos (Figura 51). Estos factores ponen en evidencia la conjugación de procesos que dan origen al paisaje pseudokarstico en las Dunitas de Medellín.



Figura 51. Disolución en la Dunita de Medellín en forma de canales (Parte alta de la UMI El Faro - Golondrinas)

En la UMI de Esfuerzos de Paz-Villa Turbay, esta geoforma presenta formas variables las cuales van desde circulares a elipsoidales, asociadas a procesos kársticos. Fueron identificadas a través del análisis multitemporal, principalmente.



Figura 52. Unidad de Dolina parte alta de la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay

5.2.25 Unidad de Karren o Lapiaz

Los Karren son unidades geomorfológicas de origen kárstico caracterizadas por presentar formas alargadas como acanaladuras generadas por procesos de disolución y/o erosión. Como se mencionó en la unidad de dolinas, estas geoformas para la zona de estudio son de origen pseudokárstico debido a que el principal mecanismo de formación es la erosión, meteorización y el fuerte control estructural presente en el sitio. En la zona de estudio se encontraron estas geoformas sobre el horizonte IB de las Dunitas de Medellín, presentan cerca de 10 m de longitud, 50 cm de ancho y 70 cm de profundidad, son de gran continuidad y siguen planos de discontinuidad heredadas de la roca parental como se ilustra en la Figura 53 y Figura 54.



Figura 53. Geoforma pseudokárstica Karren sobre las Dunitas de Medellín





Figura 54. Unidad de Karren exhibiendo planos de discontinuidad

5.3 MORFODINÁMICA REGIONAL

Debido a las condiciones geomorfológicas y a la ocupación del territorio, los eventos más recurrentes con afectaciones considerables sobre la comunidad, son aquellos generados por las inundaciones y los movimientos en masa, respectivamente. La manifestación u ocurrencia de estos fenómenos coincide con la distribución anual bimodal de las lluvias medidas en la región metropolitana, donde la mayor manifestación de movimientos en masa e inundaciones se presentan en dos picos del año que coinciden con los meses de mayo y octubre. Lo anterior se evidencia en la relación de las condiciones hidrometeorológicas, como factor detonante de los fenómenos naturales que ocurren en el Valle de Aburrá (Aristizábal & Gómez, 2007).

Aunque las inundaciones son los eventos de mayor recurrencia, los movimientos en masa son los que generan mayor afectación, especialmente en pérdida de vidas humanas. Adicionalmente, aunque las avenidas torrenciales no presentan una alta recurrencia, sus afectaciones en términos de pérdidas humanas es alta, con tendencia a aumentar en las últimas décadas, lo que, muy probablemente, refleja la ocupación de áreas susceptibles a la ocurrencia de este tipo de eventos, tales como zonas correspondientes a los retiros por normativa y las zonas inundables de las quebradas. (Aristizábal & Gómez, 2007).

En un contexto general, en el Valle de Aburrá, sólo 253 eventos reportan al menos una víctima mortal, lo que significa que el 99,96% de los eventos presenta afectaciones considerables sin víctimas mortales. Tomando la división de la CEPAL en el Valle de Aburrá, los desastres pequeños con víctimas entre 0 y 10 muertos, corresponde a 6.739 registros, lo que representa casi la totalidad de los eventos. Con respecto a los desastres medianos, se registraron nueve eventos, y tan sólo dos fueron catalogados como desastres grandes, con más de 100 muertos, los cuales corresponden a los movimientos en masa desencadenados en Santa Elena el 12 de julio de 1954, y el de Villatina ocurrido el 27 de septiembre de 1987 (Aristizábal & Gómez, 2007), ambos ocurridos en la

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	--	---

Comuna 8 de Medellín donde se concentra este estudio en particular. Las inundaciones y avenidas torrenciales han sido fenómenos naturales frecuentes, asociados al origen y evolución del Valle de Aburrá. Sin embargo, las afectaciones producto de éstos han aumentado considerablemente en las últimas décadas, debido a la creciente ocupación de terrenos en condiciones de amenaza.

Teniendo en cuenta lo anterior, se realizó una búsqueda e inventario de los principales fenómenos naturales que se relacionen con inundaciones, movimientos en masa y avenidas torrenciales manifestados específicamente en los sectores de la Comuna 8 y la Comuna 3 de Medellín, cerca de los Barrios Trece de Noviembre, Pinares de Oriente, San Antonio, Esfuerzos de Paz, Villa Turbay, Golondrinas, El Faro y La Cruz. En dicha búsqueda se utilizaron fuentes tanto públicas como privadas con el fin de recolectar la mayor cantidad de información. Las mayores fuentes públicas consultadas fueron el Área Metropolitana del Valle de Aburra (AMVA), Sistema Municipal para la Atención de Desastres (SIMPAD) cuyo nombre actualmente es Departamento Administrativo de Gestión el Riesgo de Desastres (DAGR) y Empresas Públicas de Medellín (EPM).

Gran parte de la información de estas entidades se encuentra consignada en la base de datos DesInventar. Esta base de datos permite evaluar la recurrencia y temporalidad de fenómenos que afectan considerablemente la comunidad. El Módulo DesInventar, adicionalmente, permite ser alimentado mediante datos en campo predefinidos (información espaciotemporal, tipos de eventos y causas, y fuentes), efectos directos e indirectos (sobre la vida, las viviendas, la infraestructura, los sectores económicos).

El AMVA cuenta con una base de datos actualizada en el DesInventar. Ésta integra las bases de datos elaboradas por la Universidad EAFIT, lo que antiguamente era el SIMPAD y ahora se conoce como el DAGRD. Además, trabaja en un proceso diario de actualización de datos, que incluye los registros de eventos publicados en los periódicos locales y nacionales, los reportes de los Comités Locales de Emergencia y de la comunidad.

A través de la base de datos DesInventar, se logró consultar que cerca de la zona de estudio se tienen unos 322 registros de eventos que involucran movimientos en masa, avenidas torrenciales, inundaciones y caídas de roca desde 1981 hasta 2006. Estos eventos se reportaron en 12 barrios de la Comuna 8 y la Comuna 3, entre los cuales se encuentran los polígonos del Proyecto Barrios Sostenibles. En la Tabla 2 se presenta la cantidad de los diferentes eventos que ocurren en cada uno de los 12 barrios que se encuentran cerca de los polígonos. Por su parte la Figura 55 y la Figura 56 presentan un análisis de frecuencia de ocurrencia de los principales fenómenos y cuáles son los barrios más afectados por los mismos.

Tabla 2. Cantidad de fenómenos que ocurren en cada uno de los barrios que se encuentran al interior y cerca del Proyecto Barrios Sostenibles

	EL PINAL	LA CRUZ	LA LADERA	LA LIBERTAD	LA SIERRA	LLANADITAS	LOS MANGOS	SAN ANTONIO	TRECE DE NOVIEMBRE	VILLA LILIAM	VILLA TINA	VILLA TURBAY
Avenidas Torrenciales	2.0	1.0	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	1.0
Caidas de Rocas	2.0	1.0	0.0	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	1.0	3.0	1.0
Inundaciones	7.0	1.0	2.0	14.0	0.0	2.0	3.0	2.0	2.0	11.0	16.0	3.0
Deslizamientos	12.0	24.0	1.0	20.0	9.0	24.0	3.0	6.0	7.0	45.0	62.0	16.0
TOTAL	23.0	27.0	3.0	35.0	10.0	27.0	6.0	8.0	9.0	57.0	89.0	21.0
	7.1%	8.4%	0.9%	10.9%	3.1%	8.4%	1.9%	2.5%	2.8%	17.7%	27.6%	6.5%

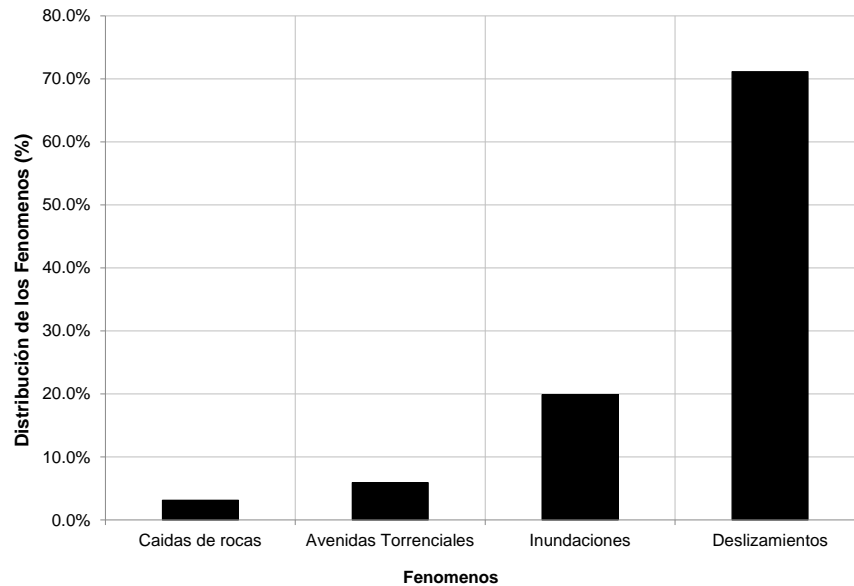


Figura 55. Distribución de los fenómenos

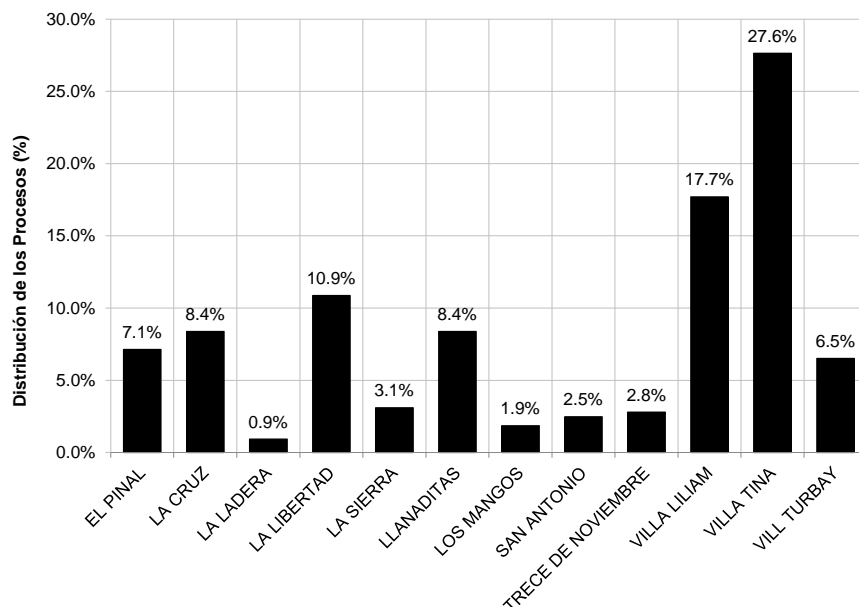


Figura 56. Análisis de los barrios más afectados por los fenómenos

Se puede observar que los deslizamientos son los fenómenos más recurrentes (Figura 55) en la zona de estudio (Figura 56), seguidos de los fenómenos de inundación tal como lo describió Aristizábal & Gómez (2007). Estos fenómenos representan el 70% y el 20% respectivamente, de los registros encontrados en la base de datos de DesInventar. Por otra parte, la Figura 56 muestra que los barrios más afectados por diferentes fenómenos según los registros encontrados son Villatina, Villa Liliam y La Libertad. Respecto a los barrios de los polígonos del Proyecto Barrios Sostenibles, el barrio más afectado es La Cruz, seguido de Llanaditas donde se localizan los Barrios Golondrinas y El Faro y finalmente el Barrio Villa Turbay.

En la Tabla 3 se presenta el registro de algunos de los fenómenos y eventos más importantes ocurridos alrededor de la zona de estudio.

Tabla 3. Registro de los principales fenómenos ocurridos alrededor de la zona de estudio

Localización	Fecha	Movimiento en Masa
Media Luna	12 de julio de 1954	Flujo de lodos
Villatina	27 de septiembre de 1987	Deslizamiento flujo de lodos compuesto
San Antonio	20 de octubre de 1980	Flujo de escombros
La Cruz	28 de Mayo de 2007	Deslizamiento de tierra compuesto
Villatina - San Antonio	31 de mayo de 2008	Deslizamiento por redes antrópicas
La Cruz	entre 10 de octubre y 5 de diciembre 2011	3 deslizamientos de tierra
La Libertad	octubre de 2010	Deslizamiento
Santa Ines		Reptaciones y movimientos lentos
Enciso - Los Mangos	6 de junio de 2011	Deslizamiento por redes de servicios públicos
Villa Turbay - Las Mirlas	Abril de 2011	Deslizamientos flujo de lodos
Villa Turbay - Colegio Diana Turbay	Marzo de 2011	Deslizamientos traslacionales
La Sierra	8 de diciembre de 2014	Flujo de escombros, posible ingenerencia de redes de servicios públicos

Dentro del registro presentado se destaca el movimiento en masa de Santa Elena (Media Luna), ocurrido el 12 de julio de 1954. Este movimiento dejó un saldo de más de 100 personas muertas, de las cuales sólo se recuperaron 77 cadáveres y se registró un número de desaparecidos que se considera sobrepasa los 70.

También se destaca el movimiento en masa de Villatina, el 27 de septiembre de 1987 (Figura 57). Aunque no se logró determinar con el número exacto de víctimas, se calcula que fueron unas 500 personas, habiéndose rescatado aproximadamente 200 cuerpos, por lo que el sitio se declaró “campo santo”.



**Figura 57. Fotografía del deslizamiento de Villatina en septiembre de 1987
(Periódico El Mundo, 8 de octubre de 1987)**

Otro movimiento en masa de resaltar es el del Barrio La Sierra, el 8 de diciembre de 2014. Este proceso obligó la evacuación de 15 familias y dejó incomunicadas a más de 4 mil personas del Barrio La Sierra con el centro de la ciudad. En su momento, la Alcaldía de Medellín decretó la urgencia manifiesta.

Finalmente, se destacan varios deslizamientos detonados por lluvias en el sector de Villa Turbay durante el primer fin de semana del mes de abril de 2014, los cuales provocaron el colapso de cuatro viviendas y el fallecimiento de cuatro personas.

5.4 MORFODINÁMICA LOCAL

Como parte del análisis morfodinámico de la UMI Esfuerzos de Paz-Villa Turbay, se llevó a cabo el análisis multitemporal con la fotointerpretación de las 110 fotografías aéreas recopiladas, correspondientes a 15 líneas de vuelo para el período comprendido entre 1976 y 2004 y con escalas variables entre 1:3.200 y 1:21.700. Estas fotografías aéreas fueron clasificadas por año, línea de vuelo y número de fotos como se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Listado de fotografías aéreas recopiladas por El Consultor

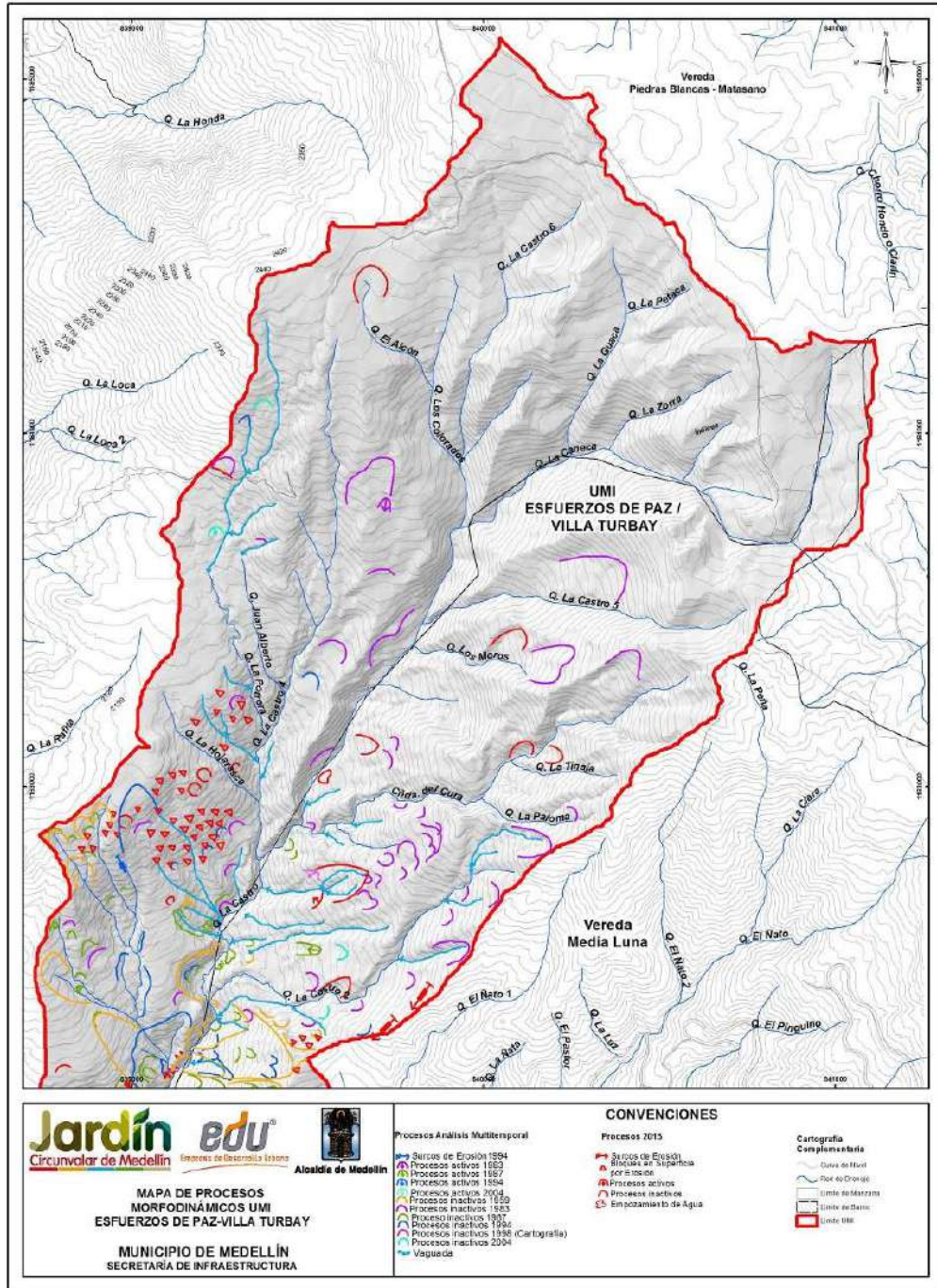
AÑO	VUELO	FAJA	FOTOS	ESCALA
1959	C-889	4 y 5	057-058 062-064	Sin escala
1981-1983	R-898	1	261-271	1 : 5.160

AÑO	VUELO	FAJA	FOTOS	ESCALA
1981-1983	R-896	7	091-093	1: 5.300
1987	Geovial-18	22	252-257	1 : 5.300
1987	Geovial-18	23	263-268	1: 4.700
1994	Geovial 65/3	33	98-109	1 : 5.000
1994	Geovial 65/3	34	130-141	1 : 5.000
1994	Geovial 65/3	35	149-153	1:5.000
1998	FAL-403	12	114-119	1 : 21.700
1998	FAL-402	2	106-113	1 : 10.700
1998	FAL-401	03-3	144-151	1 : 11.300

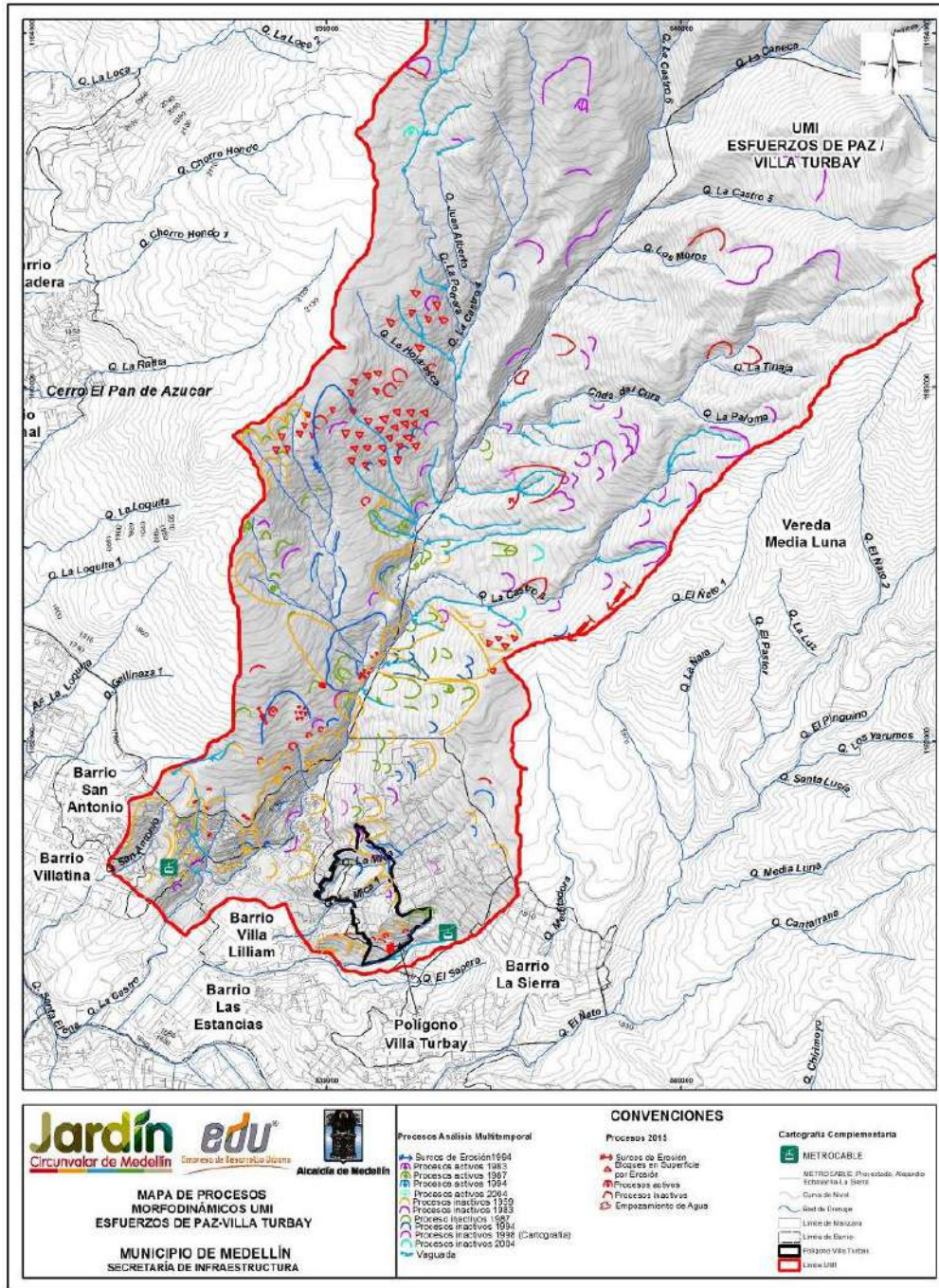
En el Mapa 13 y en el Mapa 14 se presentan los procesos morfodinámicos identificados en las fotografías aéreas mencionadas anteriormente, análisis cartográficos y la identificación en campo, los cuales fueron clasificados por año como se muestra en la Tabla 5. Cabe resaltar que se encontraron procesos morfodinámicos persistentes en varios años, por lo que en el plano aparece para el año más antiguo, es decir el primer proceso reportado en las fotografías aéreas.

Tabla 5. Colores definidos para los procesos según año

Año de Visualización	Color en el Plano
1959	Naranja
1983	Magenta
1987	Verde
1994	Azul
1998	Rosado
2015	Rojo



Mapa 13. Procesos morfodinámicos UMI Villa Turbay
 (11_VTBProcesosMorfodinamicos_Medellin_C y
 11_VTBProcesosMorfodinamicos_Medellin_T)



Mapa 14. Procesos morfolodinámicos UMI Villa Turbay
 (11_VTBProcesosMorfodinamicos_Medellin_C y
 11_VTBProcesosMorfodinamicos_Medellin_T)

Los procesos morfodinámicos identificados consisten en deslizamientos y caída de rocas, cárcavas, surcos, zonas de empozamiento de agua y bloques en superficie por erosión. Aunque la mayoría de los procesos son inactivos, se presentan procesos activos en los años 1983 y en la actualidad, 2015.

Los deslizamientos y las caídas de rocas son generados por procesos de inestabilidad en las vertientes con pendientes moderadas y altas. En la zona de estudio del proyecto barrios sostenibles, se encuentra que los deslizamientos se concentran a lo largo de toda la UMI excepto en las cercanías de la unidad de Altiplanos y Peldaños cuya morfología se caracteriza por ser plana. Los deslizamientos reportados son planares y rotacionales, principalmente inactivos, tienen coronas con anchos entre 5 m y 200 m y escarpes de hasta de 10 m sobre los horizontes de meteorización de las Anfibolitas de Medellín, Dunitas de Medellín y los cuerpos graníticos asociados al Batolito Antioqueño.



Figura 58. Proceso inactivo sobre la margen derecha de la Quebrada La Castro

Los deslizamientos activos se presentan sobre los Horizontes IB y IC de las Dunitas de Medellín y los cuerpos asociados al Batolito Antioqueño (Figura 59). En general dan lugar a escarpes no mayores de 2 m de altura, no obstante pueden tener hasta 15 m de ancho y 5 m de largo. En ocasiones pueden incluso presentar depósitos asociados.



Figura 59. Deslizamiento activo en el polígono de Villa Turbay-MAD15-VT sobre saprolito de cuerpos graníticos

Las caídas de rocas son evidenciadas principalmente en la unidad geomorfológica denominada como Vertiente Escarpada-VE y Vertiente Moderada-VM, las cuales se encuentran hacia la parte media de la UMI sobre la margen derecha de la Quebrada La Castro, generándose sobre el Horizonte IIA de las Dunitas de Medellín.

Este fenómeno se da principalmente por el desprendimiento de bloques de roca desde escarpes o frentes de roca, asociado al fuerte grado de fracturamiento de la unidad rocosa y a la presencia de estructuras geológicas como diaclasas, zonas de cizalla y foliación (Figura 60).

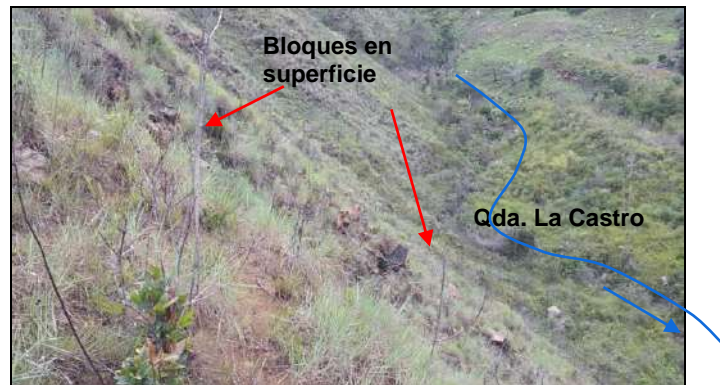


Figura 60. Bloques en superficie sobre la margen derecha de la Quebrada La Castro

El proceso inicia con la erosión o lavado del suelo residual del Horizonte IIA, haciendo que los bloques de roca queden expuestos y susceptibles a moverse. Otro factor que incrementa este fenómeno es la meteorización química que moldea los bloques de roca, generando acanaladuras en ellos, haciendo que aumente el fraccionamiento de los bloques favoreciendo así el desprendimiento de los mismos (Figura 61).



Figura 61. Escarpes de roca con alto grado de fracturamiento

Los surcos, las cárcavas y los bloques en superficie son producto de procesos erosivos superficiales, tanto eólicos como fluviales. Se encuentran surcos sobre la margen izquierda de la Quebrada La Castro en las cercanías del centro de rehabilitación Hogares Claret, desarrollados sobre suelo saprolítico de los cuerpos asociados al Batolito Antioqueño con aproximadamente 30 cm de ancho, 50 cm de profundidad y cuya longitud es variable, pudiendo alcanzar 10 m (Figura 62A). Además, se tienen zonas húmedas como se ilustra en la Figura 62B, que abarcan cerca de 2.0 m de longitud poco profundas.





Figura 62. A) Surcos sobre suelo saprolítico del granito. B) Zonas húmedas

Además de esto, la erosión genera formas columnares o de montículos en el suelo (Horizonte IB principalmente), con alturas entre 50 cm a 80 cm (Figura 63), generados sobre la unidad geomorfológica de Vertiente Suave-VS localizada sobre la margen derecha de la Quebrada La Castro en su parte media.



Figura 63. Erosión en montículos sobre el horizonte IB de las Dunitas

	<p style="text-align: center;">SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p style="text-align: center;">“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p style="text-align: center;">INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

En lo que tiene que ver con procesos morfodinámicos asociados a la dinámica fluvial de los drenajes de la UMI Esfuerzos de Paz-Villa Turbay, a partir de la fotointerpretación se identificaron cicatrices de movimientos en masa y cárcavas, principalmente en las márgenes de la quebrada San Antonio y la Quebrada La Castro (incluidos sus afluentes). En menor proporción se encontraron procesos en las márgenes de las quebradas La Mica y La Mica 1. Los procesos observados pueden estar asociados a socavación del cauce de las quebradas.

6. GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

6.1 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL

En el valle de Aburrá, conforme a la geología de la Plancha 147, Medellín Oriental (Ingeominas, 2005) predominan tres direcciones de cizallamiento, que son N-S, N45°E y N45°W. Lo anterior es concordante con la dirección del Sistema de Fallas Romeral, reportado por varios autores, donde la dirección predominante es N-S (Consortio Microzonificación, 2006).

Al sur del valle de Aburrá se han reportado un gran número de fallas regionales y lineamientos con dos direcciones predominantes: NS a NNW al oeste del río Aburrá y una tendencia NW al este del mismo (Grosse, 1926, Case et al., 1971, González, 1980 y Toussaint y Restrepo, 1984) y (Restrepo, J., 2008). Se destacan trazas de las Fallas San Jerónimo, Minas y Santa Isabel. Al norte del valle existe otro sistema de fallas regionales con dirección NW, donde sobresalen las Fallas Don Matías y Rodas, además se tienen otras falla tales como La Aguadita hacia el sur y la falla La Castro, como se observa en la Figura 64. Del sistema de fallas con dirección NE, las principales trazas son La Chapa y Santa Elena (Consortio Microzonificación, 2006).

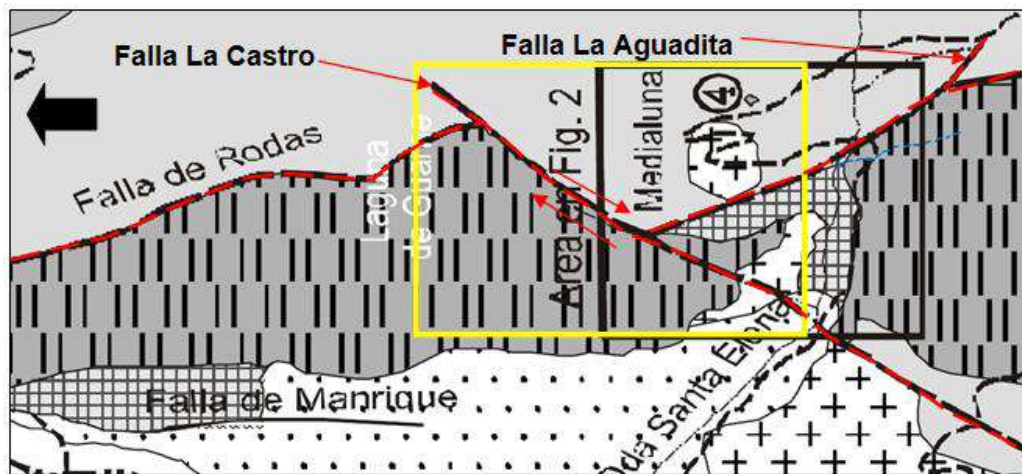


Figura 64. En amarillo la zona de estudio y las fallas presentes (Restrepo, J., 2008)

En la zona de estudio, el Consortio Microzonificación (2006) reporta estructuras geológicas para las Dunitas de Medellín, tales como diaclasas, cizallas y fallas, cuyos datos de rumbo/buzamiento fueron tomados en el municipio de Envigado y en el corregimiento de Santa Elena, tal y como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Estructuras en las Dunitas de Medellín reportadas por Consorcio Microzonificación, 2006

Localización	Tipo de estructura	Rumbo/buzamiento
Vía al Plan Envigado	Diaclasas	S20°W/V, N5°W/65°NE y N5°W/17°SW
	Cizalla	S35°W/55°W y S65°W/66°W
Vereda Pericos Envigado	Diaclasas	N50°E/45°E
	Cizalla	N10°E/65°W
Santa Elena	Falla Contacto Anfibolitas Dunitas	N80°W/45°S
Quebrada Rodas Autopista Medellín-Bogotá	Falla Normal Contacto Anfibolitas Dunitas	NS/45°NS-45°E

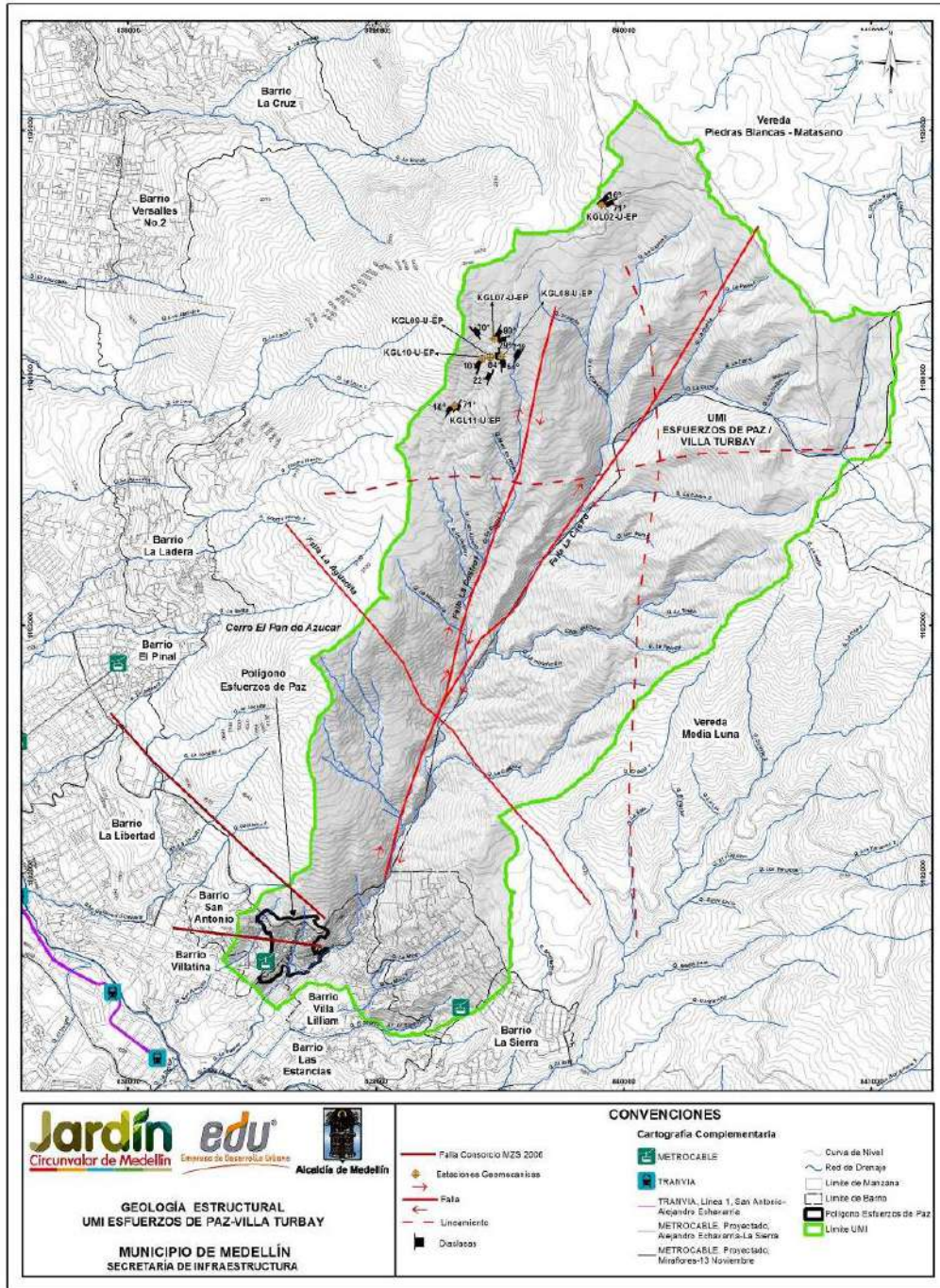
6.2 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL

En la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay se encontraron estructuras tales como fallas y lineamientos geológicos, discontinuidades y zonas de cizalla, los cuales se presentan en el Mapa 15.

A nivel local, se presentan estructuras propias del tipo de roca que fueron heredadas por los eventos de cizallamiento y deformaciones discontinuas. Estas se asocian a comportamientos frágiles de rotura, como fracturas aleatorias, diaclasas y fallas geológicas, asociadas a estructuras regionales o locales, producto de la dinámica del sector.

A través de los análisis geomorfológicos y fotogeológicos se encontraron tendencias NW-SE y NE, en donde la primera se relaciona con los principales lineamientos. Se observó además, una falla que corta el cuerpo de Dunitas sobre la margen izquierda de la Quebrada La Castro, localizada en cercanías del centro de rehabilitación Hogares Claret llamada **Falla La Aguadita**. Esta falla fue reportada por (Bernal y Jaramillo, 1985; Rendón, 1999; Giraldo y Sánchez, 2004 en Restrepo, J., 2008), presenta sentido preferencial N40°W/45° (Corantioquia, 2001 en Herrera, J., 2003) y corta la Falla de Rodas en las cercanías de la quebrada Santa Elena. Esta falla se cartografió en campo a partir de los cambios topográficos observados en Hogares Claret, en geformas denominadas como Peldaños.

Restrepo, J., 2008, afirma que el contacto entre las Dunitas de Medellín y las Anfibolitas de Medellín en el sector de la quebrada Santa Elena se encuentra marcado por esta falla y que a pesar de que en campo ha sido complejo encontrar evidencias de la misma, un cambio abrupto entre una unidad y otra está marcado por una falla (Figura 65).



Mapa 15. Geología estructural en la UMI Esfuerzos de Paz-Villa Turbay
 (12_VTBGeologiaEstructural_Medellin_C y 12_VTBGeologiaEstructural_Medellin_T)

La segunda tendencia corresponde a las fallas **La Castro** y **La Castro 1**, las cuales fueron observadas sobre la quebrada que lleva su nombre. La Castro 1 corresponde a un ramal de la falla La Castro, cuya zona de influencia se encuentra sobre la Quebrada La Castro 4 (afluente de Quebrada La Castro), en el cual se observa material de las Dunitas y Anfibolitas en brechas de falla.

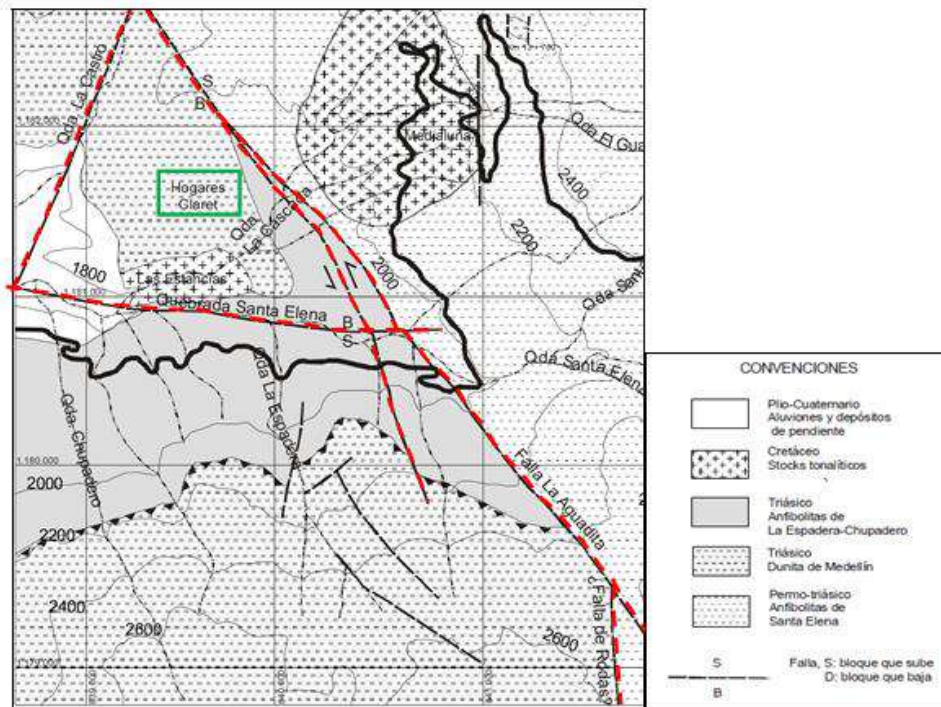


Figura 65. Falla La Aguadita y Falla La Castro (Restrepo, J., 2008)

En general, se observaron geformas estructurales tales como lomos de obturación, descansos topográficos (peldaños) y material altamente fracturado en las inmediaciones de la Quebrada La Castro, la cual pone en contacto un pequeño cuerpo de las Anfibolitas de Medellín con las Dunitas de Medellín.

Cabe resaltar la posible relación de estas fallas geológicas con las evidencias de zonas de cizalla encontradas en las perforaciones, lo cual lleva a concluir que las Dunitas de Medellín y los cuerpos intrusivos asociados al Batolito Antioqueño de la zona de estudio están igualmente afectadas por estos sistemas de fallas.

Para la caracterización de los afloramientos del macizo rocoso evidenciados en la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay, fue importante llevar a cabo el estudio del sistema de discontinuidades encontradas en los afloramientos.

El análisis de discontinuidades inició con el levantamiento manual en campo de los planos de discontinuidades. La toma de información se realizó mediante el establecimiento de estaciones geomecánicas, en las cuales se hacía la descripción del macizo, tomándose

las respectivas medidas y características de las discontinuidades. Las estaciones geomecánicas se repartieron a lo largo de la UMI Esfuerzos de Paz-Villa Turbay.

El levantamiento de campo comprendió la toma de información del macizo rocoso correspondiente a la medida de la orientación de los planos de discontinuidad, la observación y consignación de las características de espaciamiento, continuidad, abertura, relleno, alteración, rugosidad, agua, y la resistencia de las paredes.

A continuación, se hace una breve descripción de cada una de las mediciones realizadas y de los resultados obtenidos.

6.2.1 Orientación y buzamiento

En cada una de las estaciones geomecánicas al interior de la UMI Esfuerzos de Paz-Villa Turbay se tomaron datos de rumbo y buzamiento para los planos de discontinuidad, bajo la notación buzamiento/dirección de buzamiento. En total se recolectaron 193 datos distribuidos en ocho estaciones geomecánicas, como se indica en la Tabla 7. Cabe añadir que cada estación geomecánica de la UMI Esfuerzos de Paz-Villa Turbay corresponde a una franja alargada de terreno sobre la cual se encontró aflorando el macizo rocoso.

En el Mapa 15 se presenta la localización de las estaciones geomecánicas mostradas en la Tabla 7, en donde se realizaron las medidas de discontinuidades. En el Anexo 01 de este informe se presentan los formatos de levantamiento en campo, en los cuales se establecen las características de las discontinuidades medidas en campo.

Los análisis se ejecutaron de dos formas diferentes, primero teniendo en cuenta todas las discontinuidades medidas en las ocho estaciones geomecánicas, denominándose como el análisis general, del cual se obtuvo un patrón de discontinuidades general para la UMI.

Posteriormente, se hizo un análisis local, analizando cada estación por separado. De esta forma se quiere entender si el patrón de fracturamiento general se puede particularizar por zonas.

Tabla 7. Distribución de los datos tomados en las estaciones geomecánicas

Estación	Coordenadas		Número de Datos
	Norte	Este	
KGL02-U-EP	839909	1184698	62
KGL07-U-EP	839480	1184156	3
KGL08-U-EP	839503	1184085	3
KGL09-U-EP	839461	1184081	10

KGL10-U-EP	839429	1184077	42
KGL11-U-EP	839315	1183881	53
SFJ21-EP	838994	1181949	17
SFJ22-U-EPVT	839008	1181877	3

La Figura 66 presenta el diagrama de polos y la Figura 67 el diagrama de rosas, obtenidos con todas las discontinuidades tomadas en las estaciones geomecánicas.

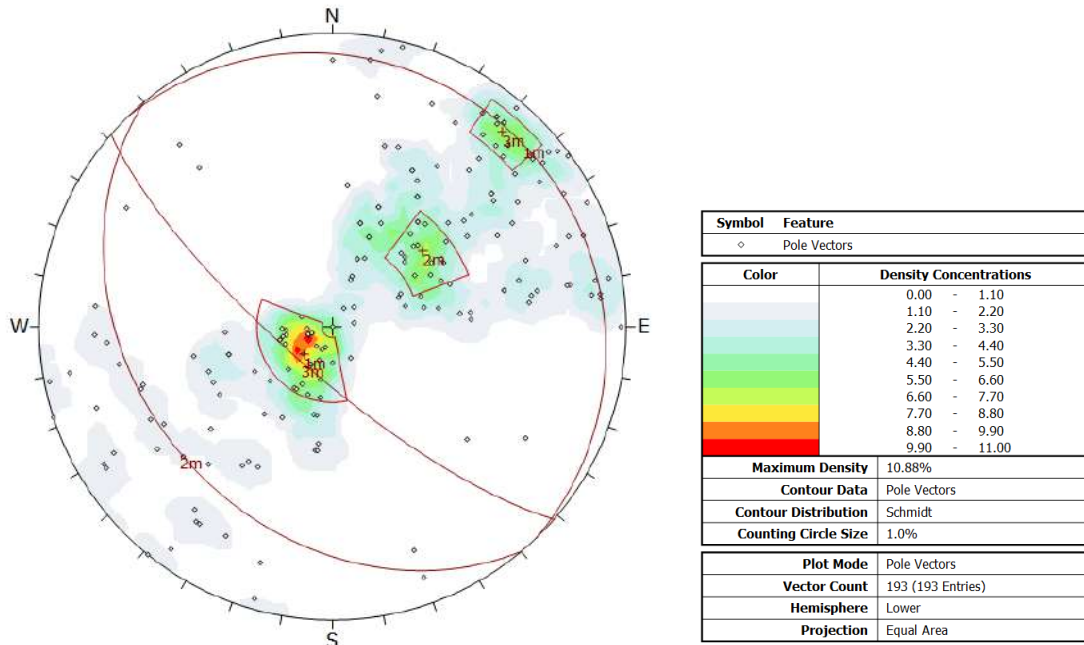


Figura 66. Diagrama de polos con todos los datos obtenidos en el levantamiento de discontinuidades

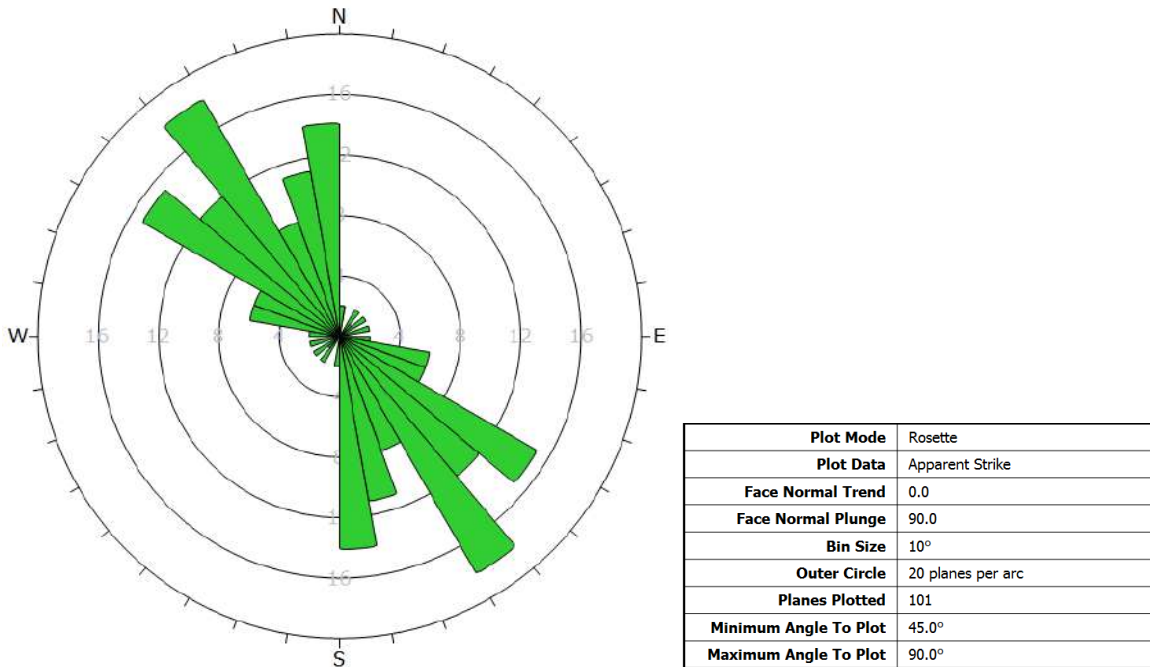


Figura 67. Diagrama de rosas con todos los datos obtenidos en el levantamiento de discontinuidades

Se pueden observar concentraciones de polos que permiten definir, en principio, una familia principal, con las características que se muestran en la Tabla 8.

Tabla 8. Familias de discontinuidades considerando todos los datos

Familia	Buzamiento/Dirección Buzamiento	Rumbo/Buzamiento	Concentración (%)
1	11°/046°	N44°W/11°NE	4.4-11
2	33°/230°	N40°W/33°SW	4.4-7.7
3	77°/221°	N49°W/77°SW	4.4-6.6

El análisis local de las discontinuidades consistió en revisar en la red estereográfica los datos levantados en cada una de las estaciones geomecánicas. El objetivo de este análisis es identificar la posible existencia de una tendencia especial en algunas de las familias principales observadas en el análisis general. Los diagramas de polos para las estaciones geomecánicas se muestran en la Figura 68 y en la Figura 69.

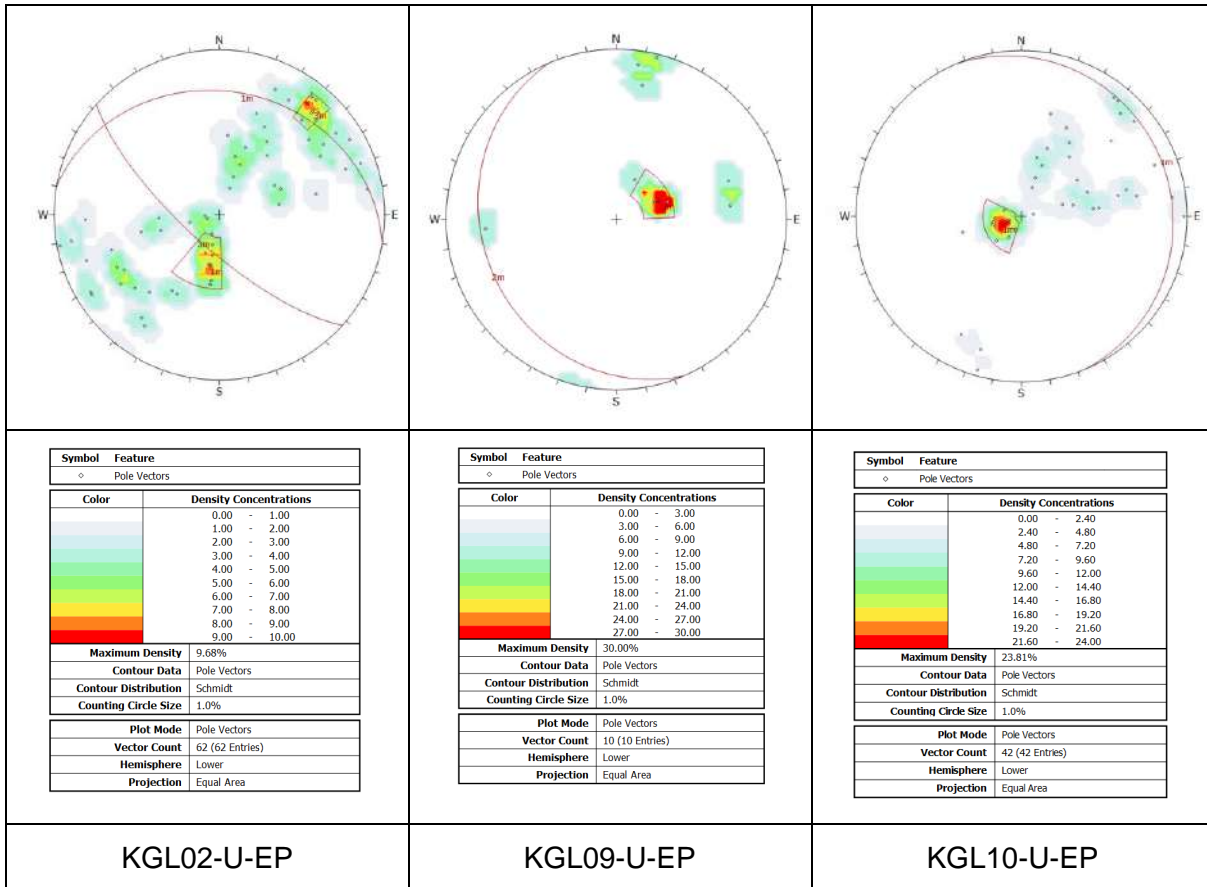


Figura 68. Diagrama de polos con los datos obtenidos en el levantamiento de discontinuidades en las estaciones KGL02-U-EP, KGL09-U-EP y KGL10-U-EP

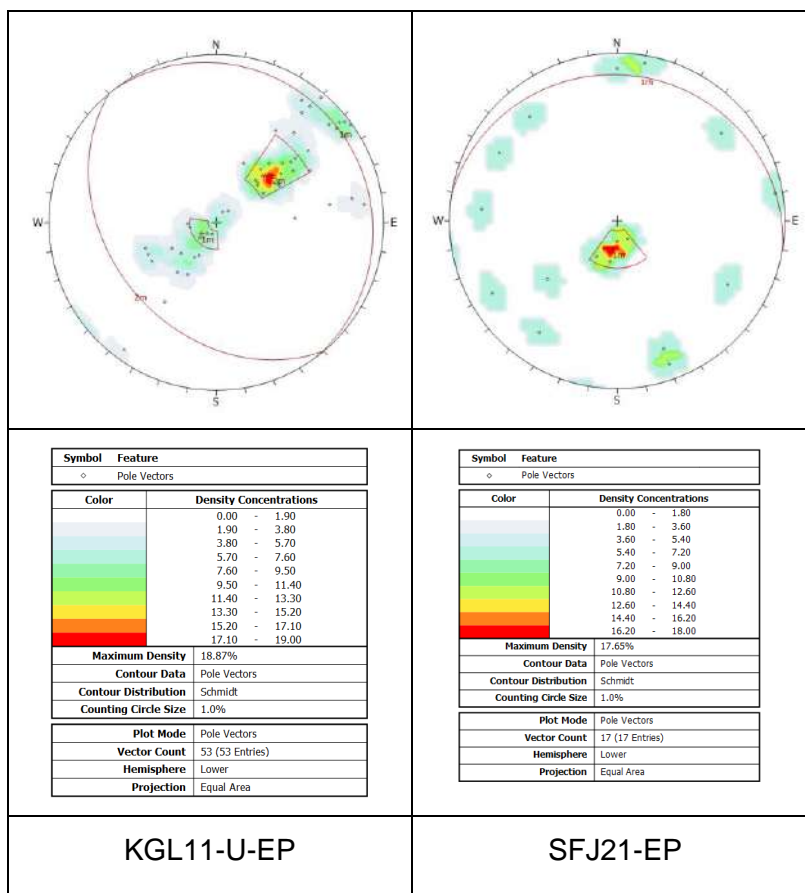


Figura 69. Diagrama de polos con los datos obtenidos en el levantamiento de discontinuidades en las Estaciones KGL11-U-EP y SFJ21-EP

En general las estaciones muestran una familia, mientras que la estación KGL02-U-EP y KGL11-U-EP muestra dos familias de discontinuidades, las cuales se detallan desde la Tabla 9 a la Tabla 13.

Tabla 9. Familias de discontinuidades en la estación KGL02-U-EP

Familia	Buzamiento/Dirección Buzamiento	Rumbo/Buzamiento	Concentración (%)
1	71/226	N44°W/71°SW	4– 10
2	16/22	N68°W/16°NE	4– 9



 Empresa de Desarrollo Urbano	SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA “ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN” INFORME POLIGONO VILLA TURBAY	 Empresa de Desarrollo Urbano
---	--	---

Tabla 10. Familias de discontinuidades en la estación KGL09-U-EP

Familia	Buzamiento/Dirección Buzamiento	Rumbo/Buzamiento	Concentración (%)
1	22/247	N23°W/22°SW	11.6 – 29

Tabla 11. Familias de discontinuidades en la estación KGL10-U-EP

Familia	Buzamiento/Dirección Buzamiento	Rumbo/Buzamiento	Concentración (%)
1	10/67	N23°W/10°NE	14.4– 24

Tabla 12. Familias de discontinuidades en la estación KGL11-U-EP

Familia	Buzamiento/Dirección Buzamiento	Rumbo/Buzamiento	Concentración (%)
1	36/230	N40°W/36°SW	7.6 – 19
1	10/53	N37°W/10°NE	7.6 – 13.3

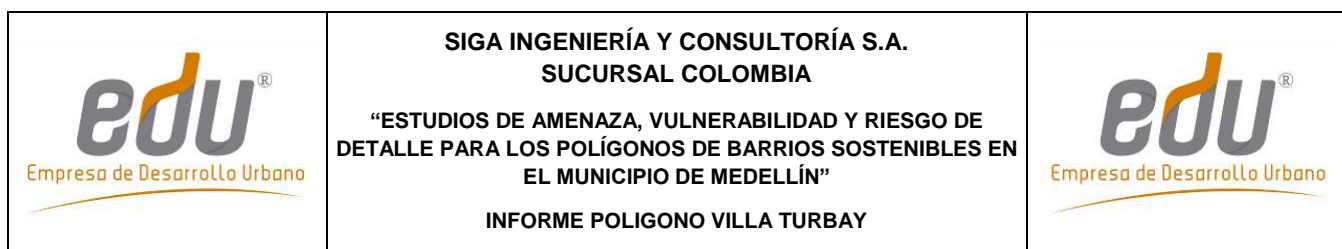
Tabla 13. Familias de discontinuidades en la estación SFJ21-EP

Familia	Buzamiento/Dirección Buzamiento	Rumbo/Buzamiento	Concentración (%)
1	14/9	N81°W/14°NE	10.8-18

En las Estaciones KGL02-U-EP, KGL10-U-EP y KGL11-U-EP los resultados correlacionan muy bien con el patrón de discontinuidades global de la UMI, donde la familia de discontinuidades encontrada tiene orientación similar a la Familia 1 del análisis general.

En las Estaciones KGL02-U-EP, KGL09-U-EP y KGL11-U-EP las Familias 2 y 3 se correlacionan con el patrón de discontinuidades global de la UMI. Además, aparecen algunas pequeñas concentraciones de polos las cuales, aunque cuentan con pocos datos, han de tenerse en cuenta en el análisis, puesto que fueron discontinuidades identificadas en campo.

Los resultados obtenidos en el análisis general y local indican que la UMI Esfuerzos de Paz-Villa Turbay tiene tres tendencias de discontinuidades, de las cuales una se considera familia principal (Familia 1) y las otras dos secundarias (Familias 2 y 3). La Familia 1 muestra la tendencia principal para esta UMI. De acuerdo con el análisis general, la Familia 1 (N44°W/11°NE) presenta una tendencia NW, la cual se asocia



regionalmente a la Falla La Aguadita. Las Familias 2 y 3 del análisis local, no se correlacionan de forma directa con las estructuras geológicas reportadas a escala regional, por ello se asumen como discontinuidades de las estaciones KGL02-U-EP, KGL09-U-EP y KGL11-U-EP.

6.2.2 Espaciamiento

Se define como la distancia perpendicular entre los planos de discontinuidad en una misma familia. Influye en el comportamiento global del macizo rocoso y define el tamaño de los bloques. Los rangos empleados para la categorización de esta propiedad son los indicados a continuación en la Tabla 14 y en la Figura 70 los respectivos resultados.

En los levantamientos realizados predominan las discontinuidades juntas, el cual corresponde a un 54.39% de la totalidad.

Tabla 14. Descripción del espaciamiento de las discontinuidades

Descripción	Medida
Extremadamente junta	< 2 cm
Muy junta	2 cm – 6 cm
Junta	6 cm – 20 cm
Moderadamente junta	20 cm – 60 cm
Separada	60 cm – 2 m
Muy separada	2 m – 6 m
Extremadamente separada	> 6 m

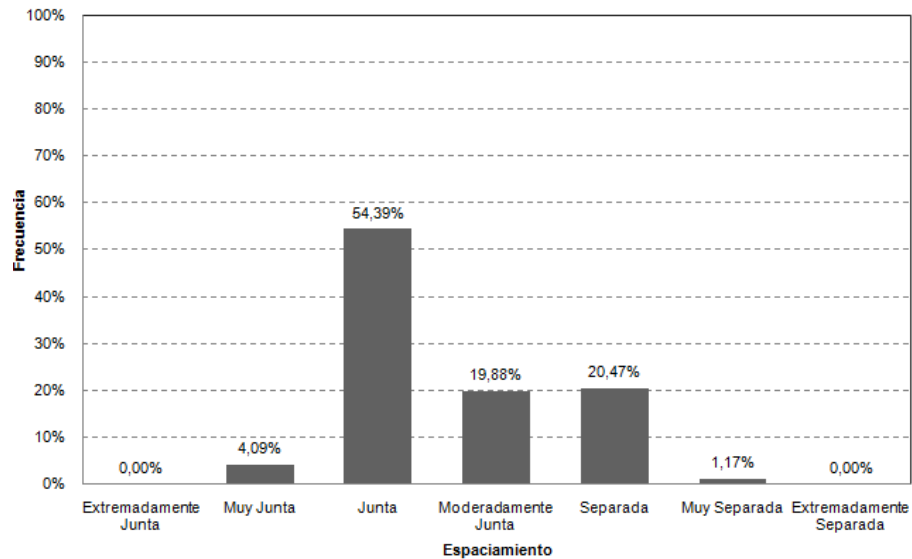


Figura 70. Análisis de la característica de espaciamiento de las discontinuidades

6.2.3 Continuidad

Se trata de la extensión del plano de discontinuidad en el rumbo. Los rangos para la categorización de esta propiedad son los mostrados en la Tabla 15.

Con respecto a la Continuidad, cabe destacar que el 70% de las discontinuidades presentaron una continuidad muy baja, lo cual corresponde a una longitud inferior a un metro. Ver Figura 71.

Tabla 15. Descripción de la continuidad de las discontinuidades

Descripción	Medida
Muy baja	< 1 m
Baja	1 m – 3 m
Media	3 m – 10 m
Alta	10 m – 20 m
Muy alta	> 20 m

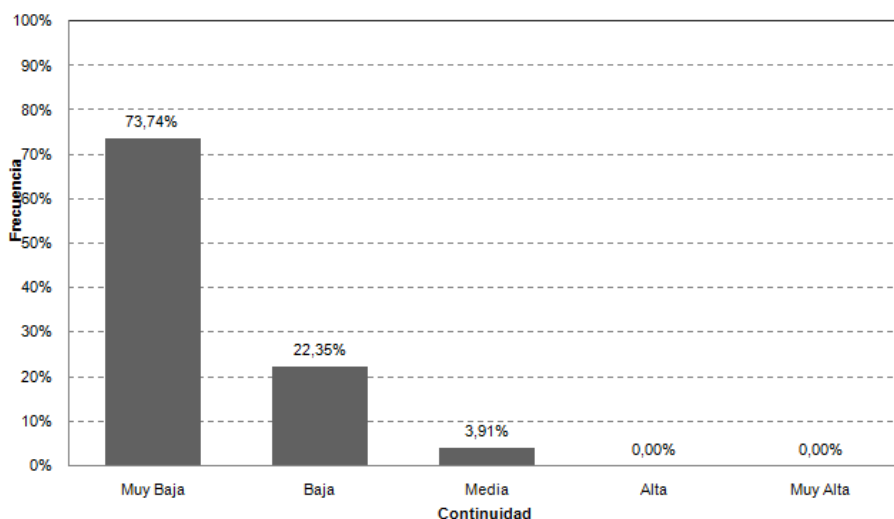


Figura 71. Análisis de la característica de continuidad de las discontinuidades

6.2.4 Abertura

Corresponde a la distancia perpendicular al buzamiento que separa las paredes de la discontinuidad cuando no existe relleno. Este parámetro puede tener grandes cambios a lo largo del macizo rocoso. Los rangos para esta clasificación son los mostrados a continuación en la Tabla 16.

Tabla 16. Descripción de la abertura de las discontinuidades

Descripción	Medida
Muy cerrada	< 0.1 mm
Cerrada	0.1 mm – 0.25 mm
Parcialmente abierta	0.25 mm – 0.5 mm
Abierta	0.5 mm – 2.5 mm
Moderadamente abierta	2.5 mm – 10 mm
Ancha	> 10 mm
Muy ancha	1 cm – 10 cm
Extremadamente ancha	10 m – 100 cm
Caverosa	> 1 m

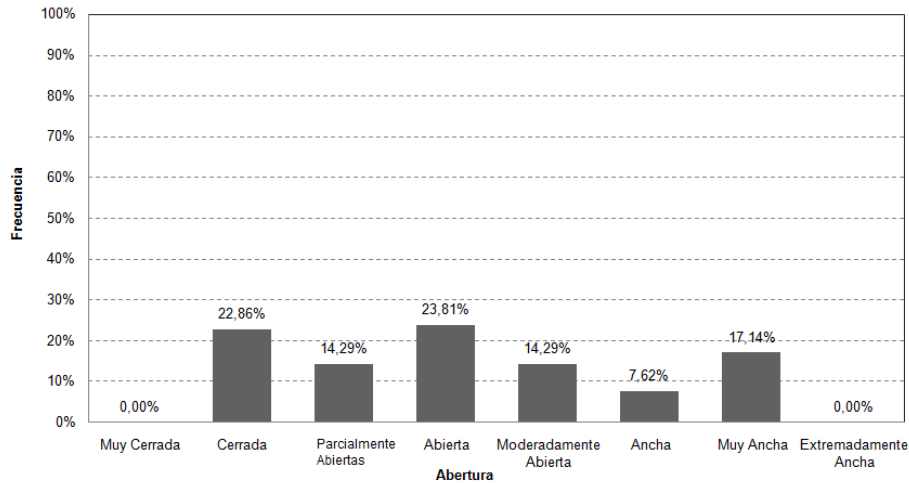


Figura 72. Análisis de la característica de abertura de las discontinuidades

Las discontinuidades se presentaron predominantemente entre cerradas y abiertas (Figura 72), el cual equivale a tener discontinuidades con aberturas entre 0.1 mm hasta 2.5 mm. Los procesos que más favorece la abertura de estos planos se asocian a la meteorización y disolución en la roca que amplían la zona discontinua.

6.2.5 Relleno

En ocasiones, en las discontinuidades puede aparecer relleno de materiales blandos arcillosos o con materiales rocosos de naturaleza distinta a la de las paredes. Las propiedades físicas y mecánicas del relleno pueden ser variables y controlan el comportamiento de la discontinuidad. Los rangos de esta característica van desde ninguno, hasta duro de más o menos que 5 mm y blando de más o menos que 5 mm. Los rangos para esta clasificación son mostrados a continuación en la Figura 73.

Con respecto al relleno, cabe resaltar que el 67.62% de las discontinuidades no presentan ningún relleno. Por otra parte, el 19.05% presentan relleno blando de más o menos 5 mm, el cual corresponde principalmente a material limoso y arcilloso.

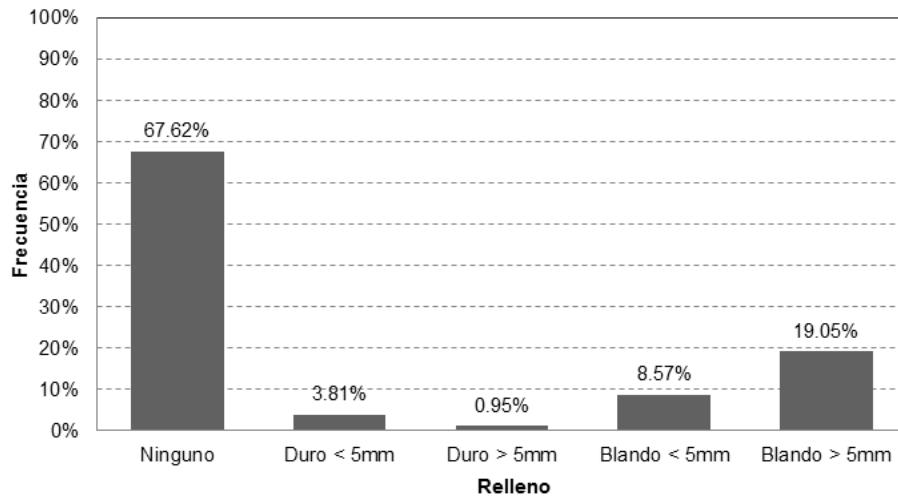


Figura 73. Análisis de la característica de relleno de las discontinuidades

6.2.6 Alteración

Es el cambio físico-químico que los agentes atmosféricos pueden producir sobre el macizo rocoso, afectando las propiedades geomecánicas. Los rangos de esta característica van desde inalterada, ligeramente alterada, moderadamente alterada, muy alterada hasta descompuesta.

La totalidad en las discontinuidades levantadas en cada una de las estaciones geomecánicas mostraron un nivel entre moderada y muy alteradas, con 38.24% y 59.80% del total, respectivamente (Figura 74).

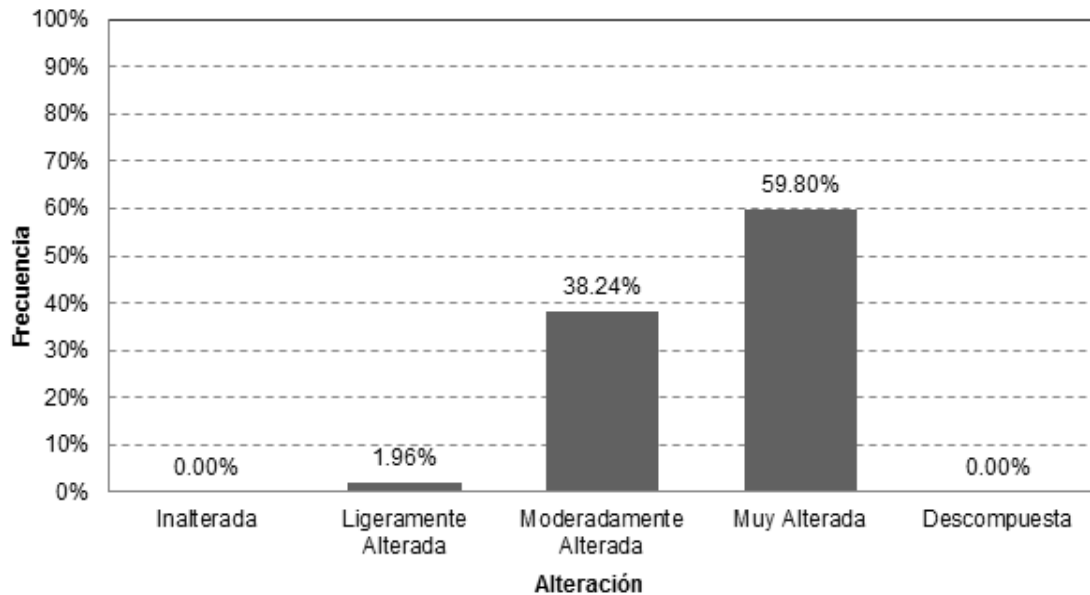


Figura 74. Análisis de la característica de alteración de las discontinuidades

6.2.7 Rugosidad

Esta propiedad determina la resistencia al corte de la discontinuidad. A mayor rugosidad, mayor es la resistencia. La presencia de irregularidades dificulta el movimiento durante los procesos de desplazamiento tangencial por corte a favor de las discontinuidades. La rugosidad de las discontinuidades se calificó según dos escalas diferentes, como se muestra en la Figura 75. Primero la escala decimétrica o métrica, la cual puede ser escalonada, ondulada o plana. Luego se juzgó la escala centimétrica o milimétrica que da lugar a discontinuidades rugosas, lisas o planas.

En términos de la rugosidad las discontinuidades se presentaron predominantemente escalonada con un 43%, ondulada con un 36 % y plana con un 21% (Figura 76).

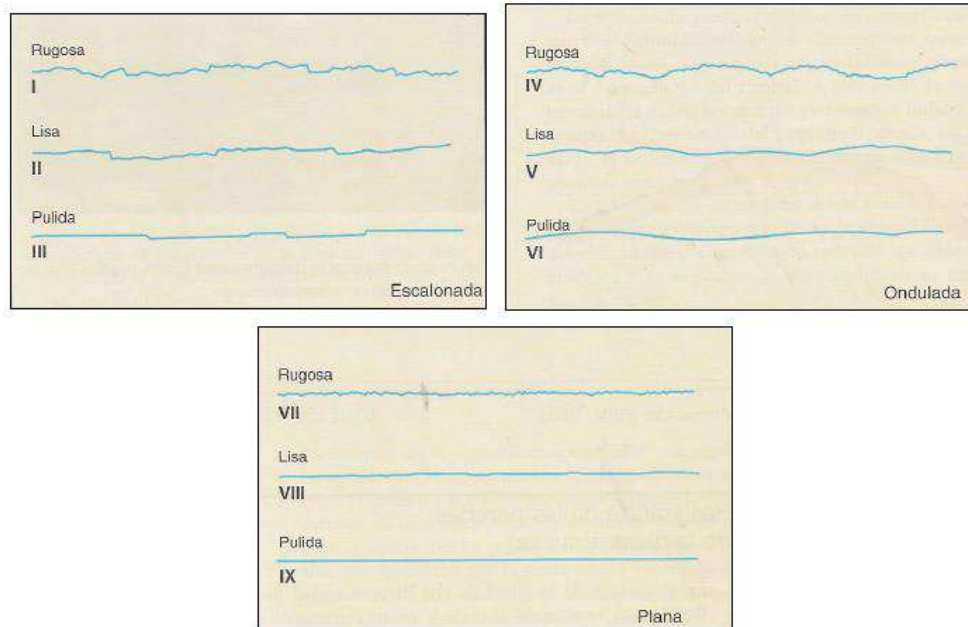


Figura 75. Esquema para calificar la rugosidad de una discontinuidad (Tomado de González de Vallejo, 2002)

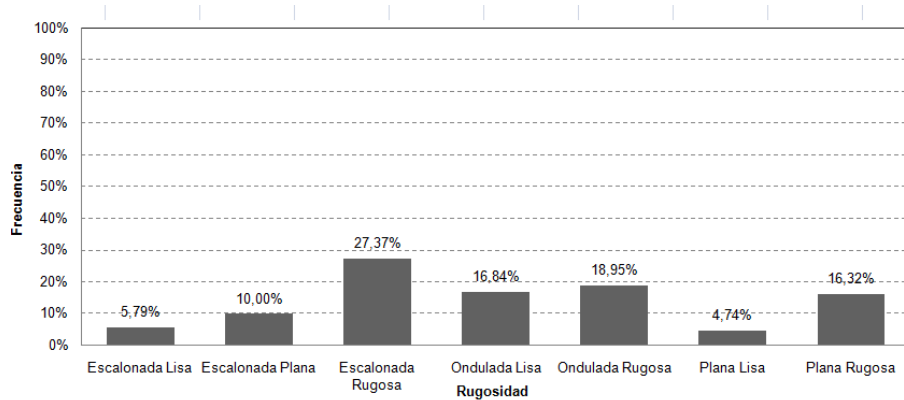


Figura 76. Análisis de la característica de la rugosidad de las discontinuidades

6.2.8 Agua

Es el flujo que circula por las discontinuidades. Los rangos de esta característica consideran como posibilidades que la discontinuidad esté seca, ligeramente húmeda, húmeda, goteando o con agua fluyendo.

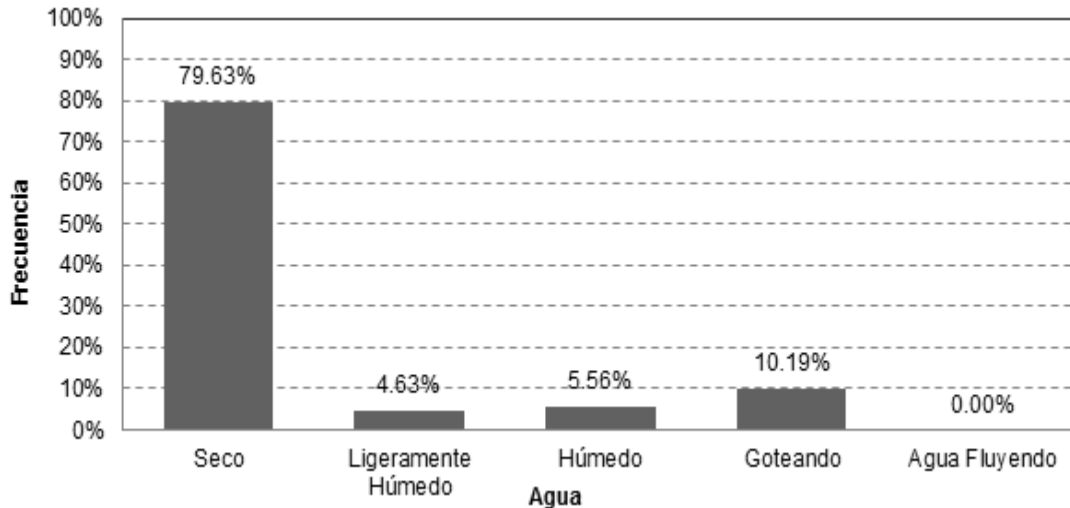


Figura 77. Análisis de la característica de agua en las discontinuidades

Como se observa en la Figura 77, se destaca que el 80% de las discontinuidades consideradas se encuentran secas. El 20% restante se encuentran entre ligeramente húmedas y goteando; ninguna de ellas presenta agua fluyendo.

6.2.9 Resistencia de las Paredes

Es la resistencia a la compresión confinada, considerándose entonces que es una buena medida de la alteración de las paredes de la discontinuidad. Los rangos de esta característica son extremadamente blanda, muy blanda, blanda, moderadamente dura, dura, muy dura y extremadamente dura.

En la Figura 78 se resalta que el 92% de las discontinuidades presentan una resistencia de las paredes muy dura.

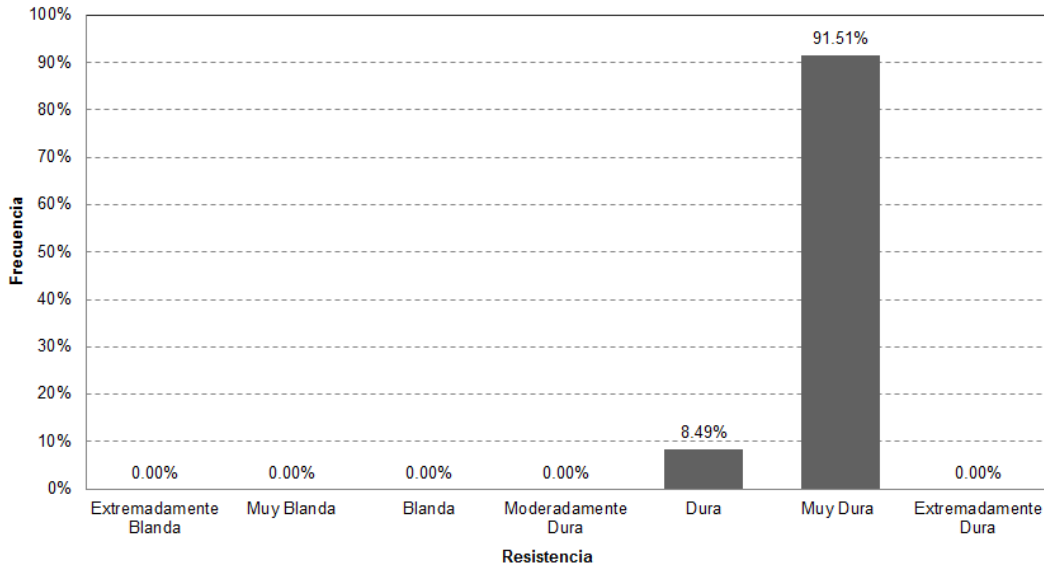


Figura 78. Análisis de la característica de resistencia de las paredes de las discontinuidades

6.3 ANÁLISIS ESTRUCTURAL

A continuación se presenta el análisis cinemático basado en la geología estructural presentada en los capítulos anteriores. Este análisis se llevó a cabo para cuatro secciones escogidas cerca de las estaciones donde se tomaron datos estructurales o se observaron escarpes de roca, localizadas como se muestra en la Figura 79y en la Tabla 17.

En primer lugar se determinó la dirección y buzamiento de las secciones analizadas, y además se determinó el ángulo de fricción de las discontinuidades de acuerdo con lo observado en campo. Se definió usando el límite mínimo para índice de alteración de las discontinuidades, es decir, para “planos de discontinuidades ligeramente alterados que presentan minerales no reblandecibles, partículas arenosas, roca desintegrada libre de arcillas, etc.”, obteniendo así un valor de 25°.

Con los datos de las secciones y el ángulo de fricción de las discontinuidades, se llevó a cabo el análisis cinemático haciendo uso del Software Dips de Rocscience, el cual permite analizar fallas planares, por cuña, por volcamiento flexural y por volcamiento directo, entregando gráficamente la zona crítica para cada una de estas fallas, así como la probabilidad de falla de cada mecanismo, de acuerdo con el número de elementos críticos en comparación con el número total de elementos.

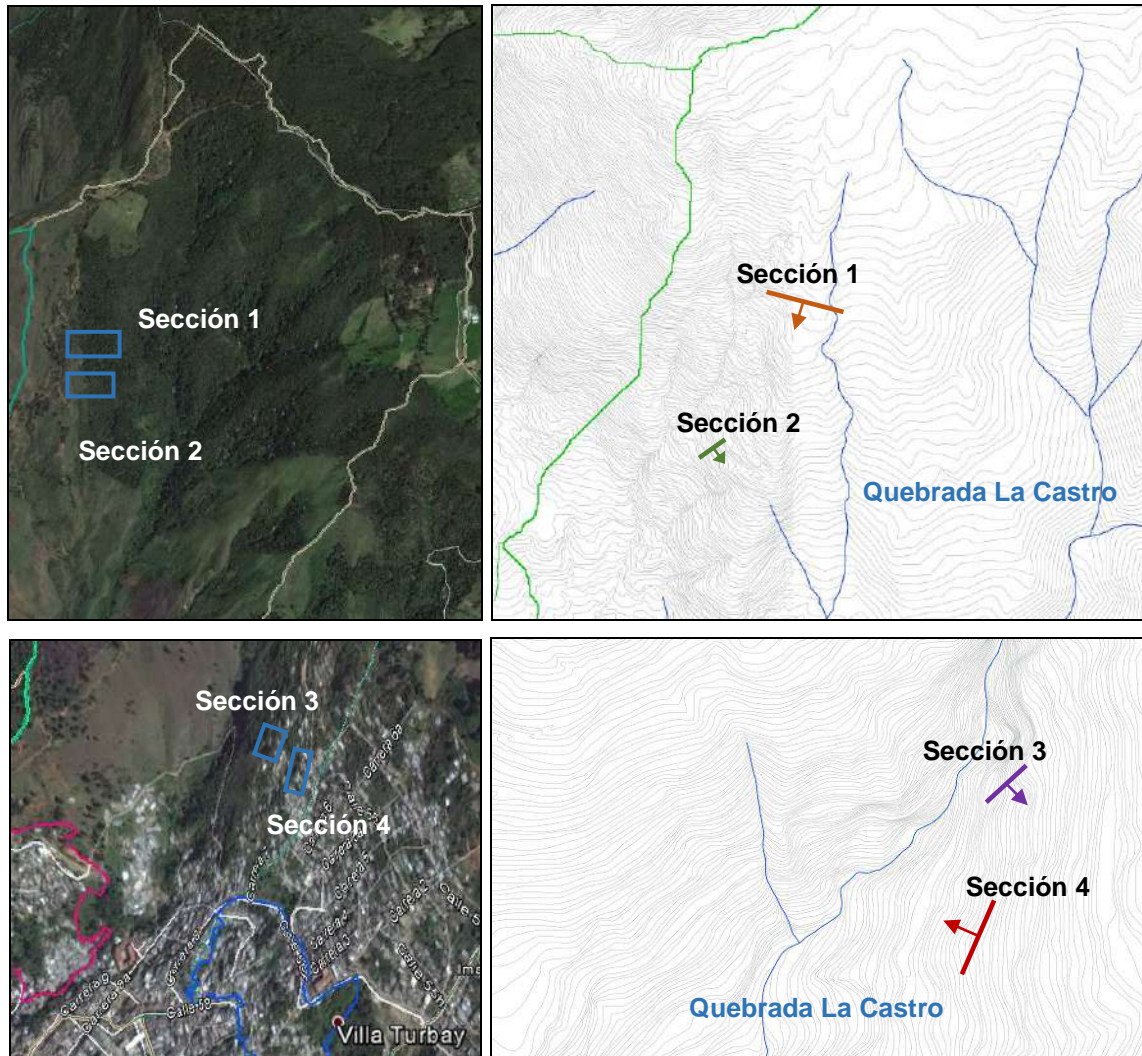


Figura 79. Secciones analizadas en partes alta y baja de la UMI

Tabla 17. Buzamiento y dirección del buzamiento de las secciones analizadas.

Sección	Buzamiento	Dirección del Buzamiento
1	31°	195°
2	36°	170°
3	47°	168°
4	42°	286°

Los resultados gráficos de los análisis realizados se muestran de la Figura 80 a la Figura 83, mientras que los resultados numéricos se presentan en la Tabla 18. En las observaciones de la tabla se incluyen las probabilidades de falla para las familias más críticas de cada mecanismo.

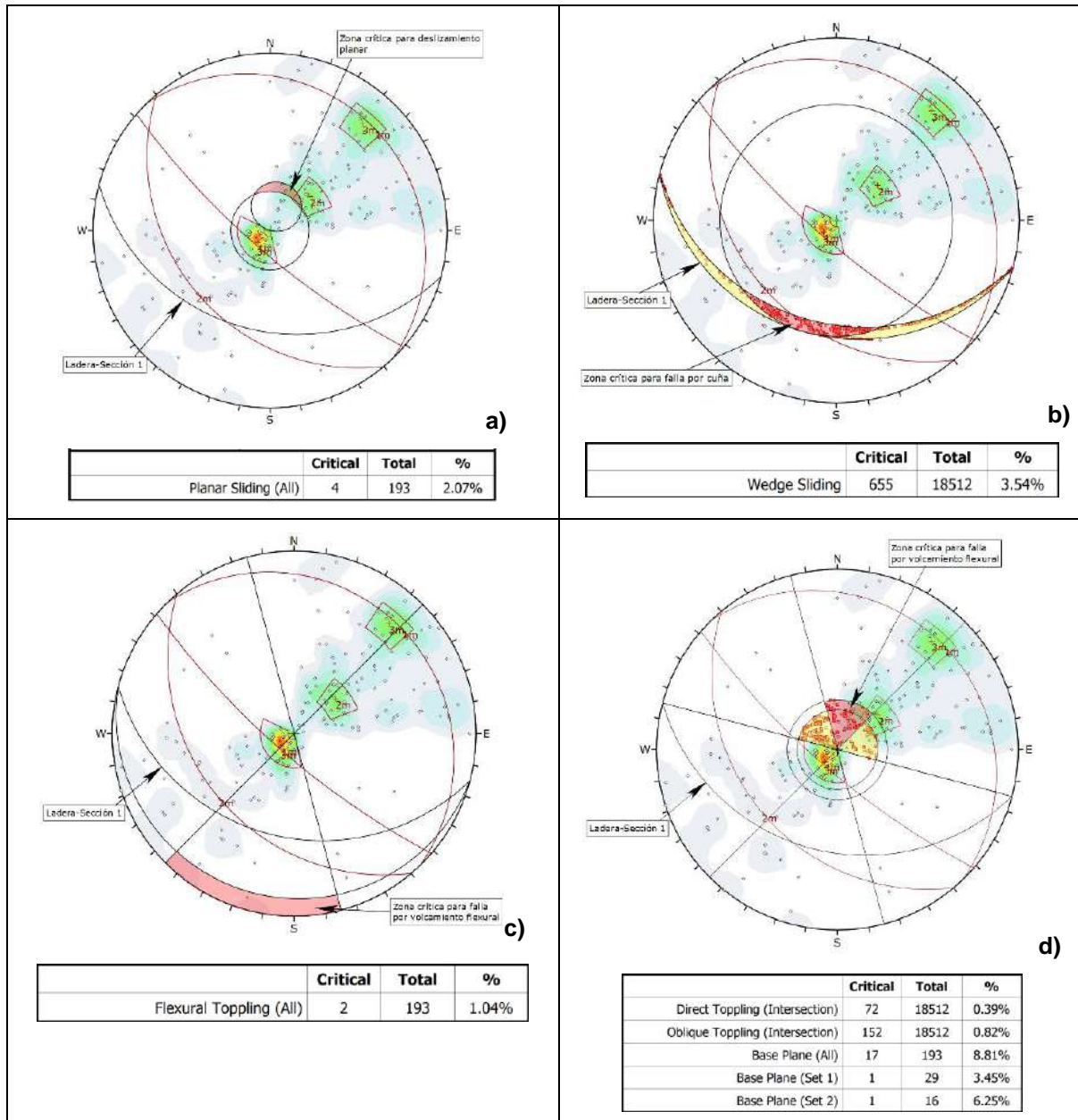


Figura 80. Análisis cinemático Sección 1 de la ladera analizada. a) Deslizamiento planar, b) Falla por cuña, c) Volcamiento flexural y d) Volcamiento directo

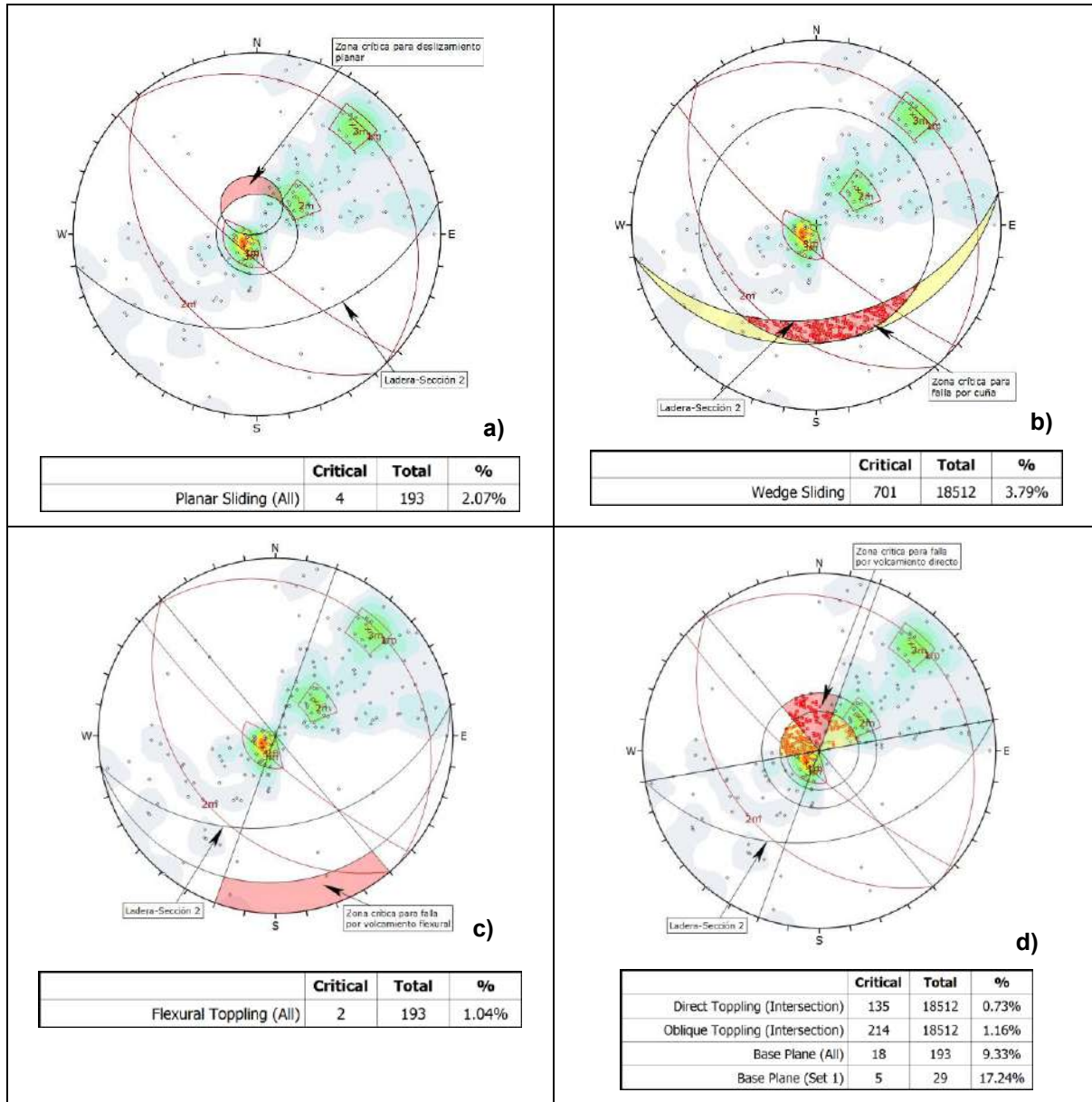


Figura 81. Análisis cinemático Sección 2 de la ladera analizada. a) Deslizamiento planar, b) Falla por cuña, c) Volcamiento flexural y d) Volcamiento directo

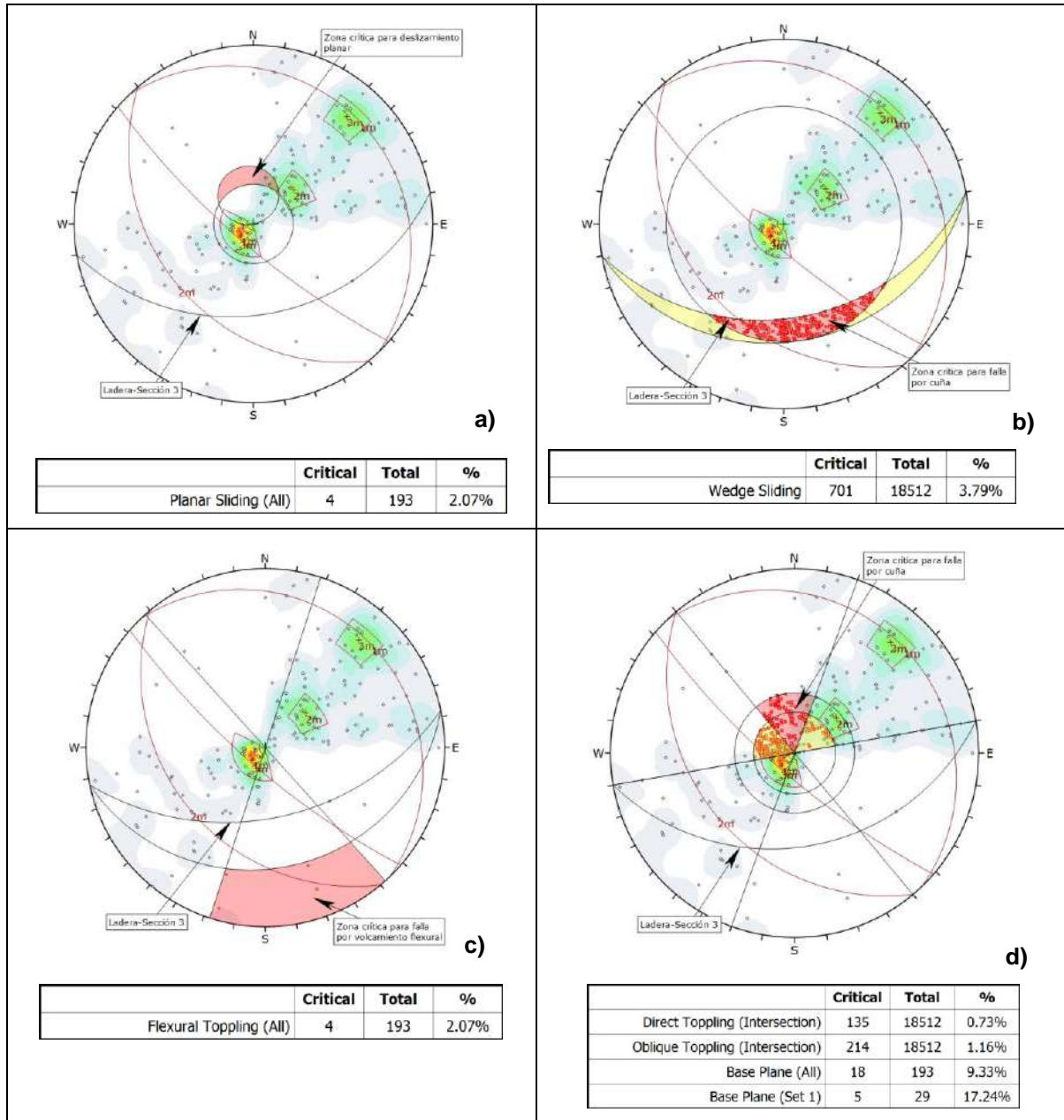


Figura 82. Análisis cinemático Sección 3 de la ladera analizada. a) Deslizamiento planar, b) Falla por cuña, c) Volcamiento flexural y d) Volcamiento directo

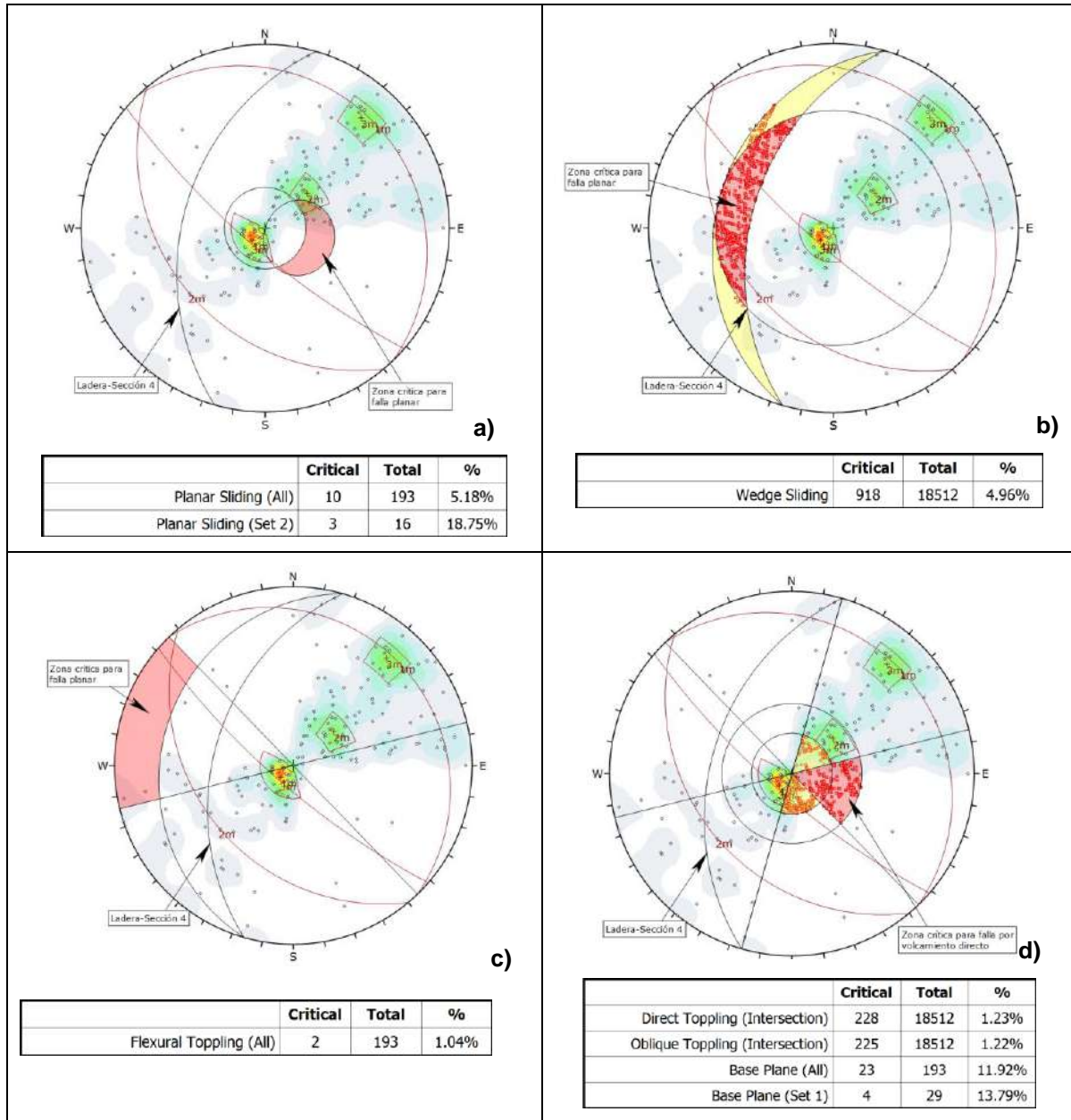


Figura 83. Análisis cinemático Sección 4 de la ladera analizada. a) Deslizamiento planar, b) Falla por cuña, c) Volcamiento flexural y d) Volcamiento directo

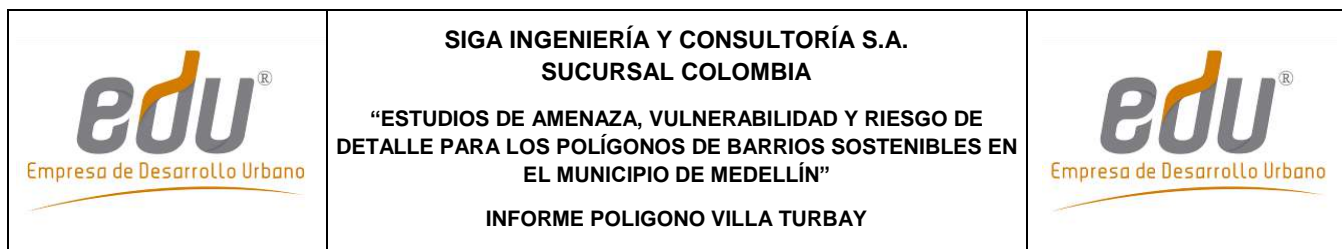


Tabla 18. Resumen resultados análisis cinemático

Sección	Falla planar	Falla por cuña	Volcamiento flexural	Volcamiento directo	Volcamiento oblicuo	Volcamiento por base	Observaciones
1	2,07%	3,54%	1,04%	0,39%	0,82%	8,81%	Volcamiento por base familia 1 (17,24%).
2	2,07%	3,79%	1,04%	0,73%	1,16%	9,33%	Volcamiento por base familia 1 (17,24%).
3	2,07%	3,79%	2,07%	0,73%	1,16%	9,33%	Volcamiento por base familia 1 (17,24%).
4	5,18%	4,96%	1%	1,23%	1,22%	11,92%	Falla planar familia 3 (18,75), Volcamiento por base familia 1 (11.43%)

De acuerdo con los resultados obtenidos para el análisis cinemático de la UMI Esfuerzos de Paz (Tabla 18) se puede concluir que el mecanismo de falla predominante para las cuatro secciones de la ladera analizada es el volcamiento (mecanismo por la base), con probabilidades entre 8% y 12%. La Sección 4 es la más crítica para este tipo de falla. El otro mecanismo de falla predominante, es el de falla planar en la Sección 4, con probabilidad de 5%. Las Secciones 1 y 2 tienen la menor probabilidad para la mayoría de mecanismo de falla, excepto para el volcamiento (mecanismo por la base). El volcamiento directo es el mecanismo con menor probabilidad de falla en la Sección 1.

7. EVALUACIÓN DE LA APTITUD GEOLÓGICA

7.1 ASPECTOS GENERALES

Basados en el Código de Laderas del AMVA (2012), el cual propone que una vez realizados los estudios geológicos y geomorfológicos para la UMI de estudio, se procedió a la realización del mapa de zonificación de la aptitud geológica de la UMI Esfuerzos de Paz-Villa Turbay.

Con el fin de definir la aptitud geológica de dicha UMI se planteó una metodología que reúne una secuencia lógica de pasos en los que se tienen en cuenta aspectos tales como la geomorfología, la actividad morfodinámica, las pendientes y la geología, esta última representada en las formaciones superficiales de la zona de estudio. Estos factores se valoran en un álgebra de mapas, utilizando Herramientas SIG (Sistemas de Información Geográfica), con el fin de realizar una zonificación geológica y la identificación del uso del suelo para el urbanismo.

A continuación se describe la metodología implementada, la cual se resumen además en la Figura 84.

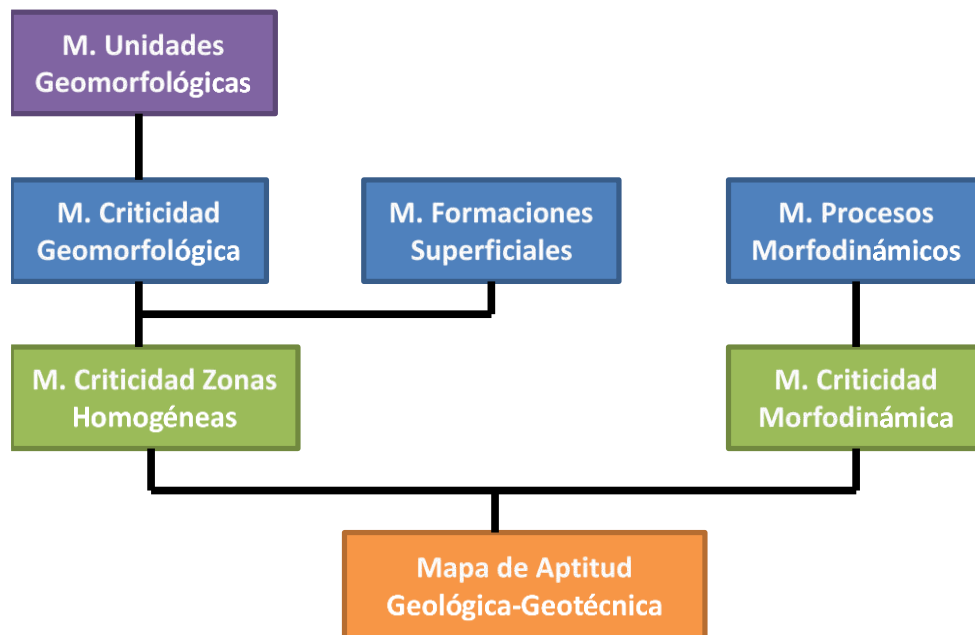


Figura 84. Metodología utilizada para elaboración de Mapa de Aptitud Geológica

Como se observa en la Figura 84, la metodología lleva finalmente a la generación de tres mapas importantes, el de criticidad de zonas homogéneas, a partir del mapa de criticidad geomorfológica y del mapa de formaciones superficiales, el de criticidad morfodinámica y el de zonificación de la aptitud geológica.

7.2 MAPA DE CRITICIDAD DE ZONAS HOMOGÉNEAS

Para la obtención de este mapa, se realizó el cruce del mapa de unidades geomorfológicas con el mapa de formaciones superficiales, definiéndose zonas del terreno conformadas por una unidad geológica superficial en una unidad geomorfológica determinada.

Para cada unidad geomorfológica se asigna un valor de criticidad según la pendiente y la geoforma asociada (Tabla 19). Se da un valor cualitativo entre alto, medio y bajo, equivalente a un valor de peso en una escala numérica de 1 a 3 y a colores de verde, amarillo y rojo. El color verde es para el Nivel 1 (Bajo), el amarillo para el Nivel 2 (Moderado) y el rojo para el Nivel 3 (Alto).

Tabla 19. Matriz de valoración de niveles de criticidad de las Unidades Geomorfológicas

Unidad Geomorfológica	Nivel de Criticidad
Altiplano	1
Depósitos Sin Incisión	1
Escarpe Altiplano	3
Escarpe Corto Semicircular	3
Escarpe Largo Semicircular	3
Lomeríos Amplios	2
Lomo Alargado con Vertientes Fuertes	3
Lomo Amplio con Vertientes Fuertes	3
Lomo Amplio con Vertientes Moderadas	2
Lomo de Gancho	2
Lomo de Obturación	2
Lomo Estrecho con Vertientes Fuertes	3
Lomo Estrecho con Vertientes Suaves	2
Peldaño Alto	2
Peldaño Bajo	2
Peldaño Medio	2
Peldaño Tectónico	2
Superficie Antrópica	1



Unidad Geomorfológica	Nivel de Criticidad
Superficies con Baja Incisión	1
Superficies Suaves sobre Depósitos Moderadamente Incisados	2
Superficies Suaves sobre Depósitos Poco Incisados	1
Superficies Suaves Sobre Suelo Residual	1
Vertiente Escarpada	3
Vertiente Moderada	2
Vertiente Suave	2

En el Mapa 16 se muestra el mapa de criticidad geomorfológica finalmente obtenido para la UMI Esfuerzos de Paz-Villa Turbay.

Posteriormente, se avalúa el mapa de criticidad geomorfológica en función de las formaciones superficiales, según las características de cada material. A partir de lo anterior, se obtiene la criticidad de las zonas homogéneas utilizando las combinaciones que se muestran en la Tabla 20.

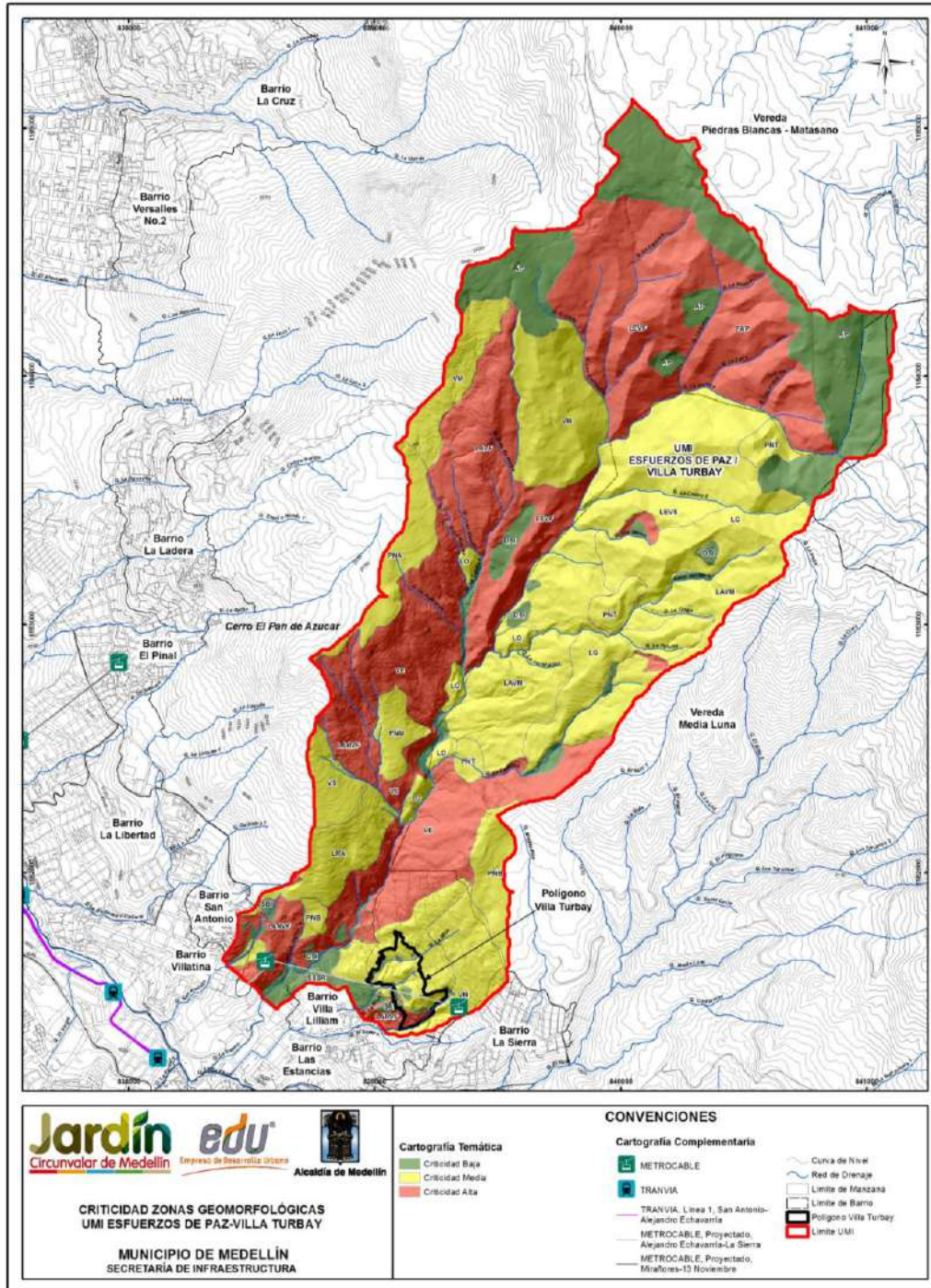
Tabla 20. Matriz de valoración de niveles de criticidad de las Zonas Homogéneas

Criticidad Unidad Geomorfológica	Formación Superficial	Criticidad Zona Homogénea
1	Cenizas volcánicas removilizadas y/o in situ	2
	Lleno Antrópico	2
	Depósito de vertiente (aluviotorrencial, talus y flujo de lodos y/o escombros)	2
	Horizonte IB y IC de Dunitas de Medellín, de Cuerpos asociados al Batolito Antioqueño y Anfibolitas de Medellín	1
	Horizonte IIA de Dunitas de Medellín	2
2	Cenizas volcánicas removilizadas y/o in situ	2
	Lleno Antrópico	3
	Depósito de vertiente (aluviotorrencial, talus y flujo de lodos y/o escombros)	2
	Horizonte IB y IC de Dunitas de Medellín, de Cuerpos asociados al Batolito Antioqueño y Anfibolitas de Medellín	2
	Horizonte IIA de Dunitas de Medellín	2

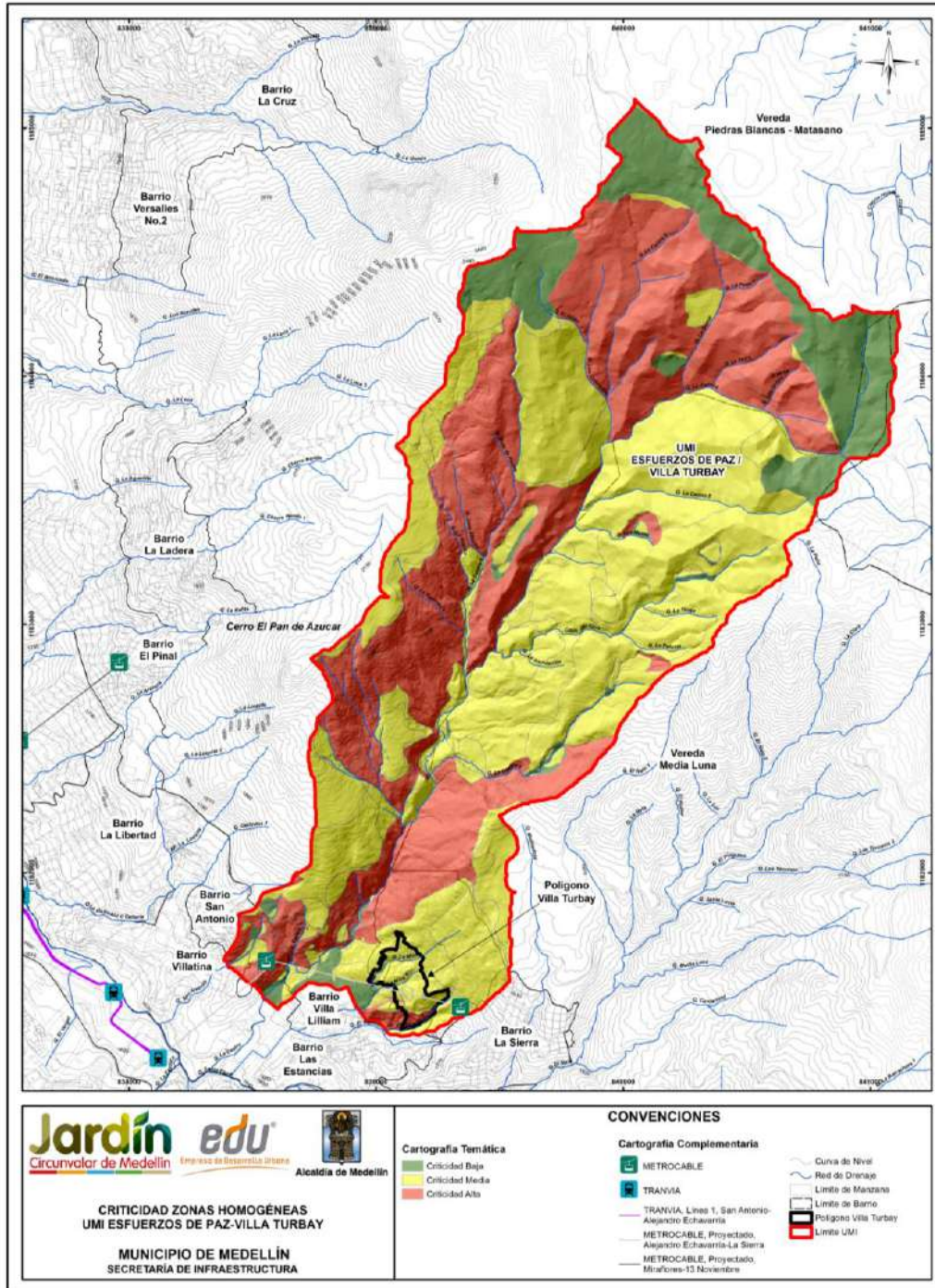
 edu [®] Empresa de Desarrollo Urbano	SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA “ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN” INFORME POLIGONO VILLA TURBAY	 edu [®] Empresa de Desarrollo Urbano
--	---	--

3	Cenizas volcánicas removilizadas y/o in situ	3
	Lleno Antrópico	3
	Depósito de vertiente (aluviotorrencial, talus y flujo de lodos y/o escombros)	3
	Horizonte IB y IC de Dunitas de Medellín, de Cuerpos asociados al Batolito Antioqueño y Anfibolitas de Medellín	3
	Horizonte IIA de Dunitas de Medellín	3

Finalmente, se genera el mapa de criticidad de las zonas homogéneas asignando un color para cada nivel de criticidad. El color verde se asigna para el Nivel 1 (Bajo), el color amarillo se asigna para el Nivel 2 (Moderado) y el color rojo se asigna para el Nivel 3 (Alto). Se obtuvo entonces el mapa de criticidad geomorfológica que se muestra en el Mapa 17.



**Mapa 16. Criticidad geomorfológica UMI Esfuerzos de Paz-Villa Turbay
 (VTB_CriticidadZonasGeomorfológicas_Medellin_C)**



Mapa 17. Criticidad de zonas homogéneas UMI Esfuerzos de Paz-Villa Turbay (VTB_CriticidadZonasHomogeneas_Medellin_C)

7.3 MAPA DE CRITICIDAD MORFODINÁMICA

A partir de la información de los procesos morfodinámicos se generó el mapa morfodinámico, como insumo fundamental en la clasificación de la zona respecto a las diferentes amenazas por fenómenos de movimientos en masa. Primero se realizó un mapa de densidad de procesos morfodinámicos, seguidamente se generó el mapa de grado de actividad y finalmente se integraron estos dos mapas con lo que se obtuvo el mapa de criticidad morfodinámica.

Para la definición del mapa de densidad de procesos morfodinámicos se debió determinar la unidad de cálculo del terreno (UCT). Esta se definió de acuerdo con la recomendación planteada en la Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa (2015) del Servicio Geológico Colombiano (SGC). La UCT definida fue de 400 m² (malla de 20 m x 20 m), ya que la escala de trabajo es 1:2.000.

Posteriormente, se definieron densidades para cada una de las UCT, con el fin de determinar concentraciones de los procesos morfodinámicos, teniendo en cuenta los siguientes criterios

- ✓ Densidad baja cuando se tiene menos que un proceso morfodinámico dentro de la UCT.
- ✓ Densidad moderada cuando se tiene un proceso morfodinámico dentro de la UCT.
- ✓ Densidad alta cuando se tiene más de un proceso morfodinámico dentro de la UCT.

Luego de lo anterior, se hizo una zonificación de la zona de estudio de acuerdo con el grado de actividad de los procesos morfodinámicos, dividiéndose estos en activos e inactivos.

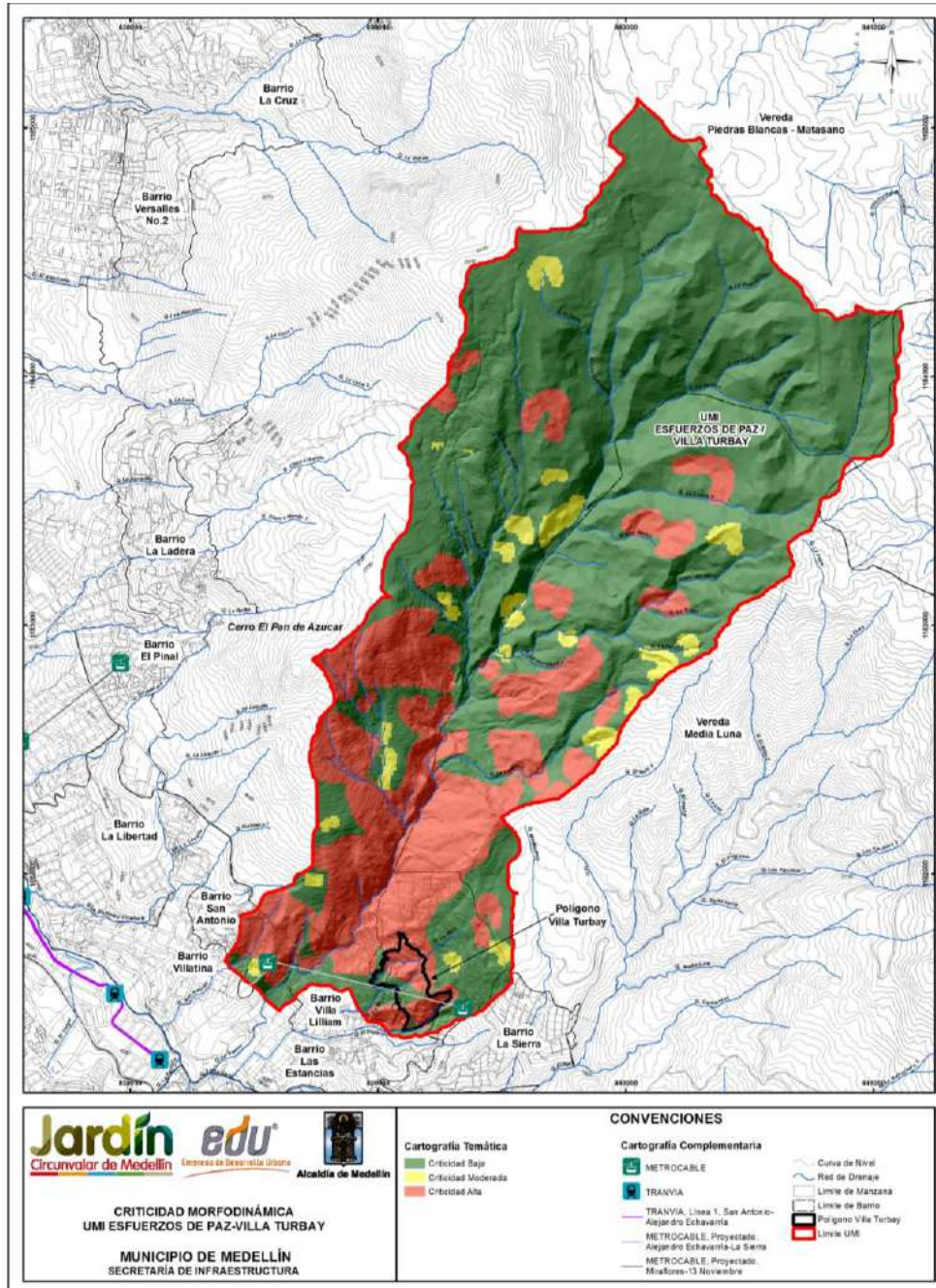
Finalmente, se llevó a cabo la integración de los resultados anteriores y clasificación de la zona de estudio con respecto a la criticidad morfodinámica, de acuerdo con los criterios de decisión que se presentan en la Tabla 21.

Tabla 21. Criterios de decisión para clasificar la zona de estudio con respecto a la criticidad morfodinámica



Criticidad Morfodinámica alta (Nivel 3 - Color Rojo)	Se presenta densidad alta y procesos activos Se presenta densidad moderada y procesos activos. Se presenta densidad baja y procesos activos. Se presenta densidad alta y procesos inactivos.
Criticidad Morfodinámica moderada (Nivel 2 - Color Amarillo):	Se presenta densidad moderada y procesos inactivos
Criticidad Morfodinámica baja (Nivel 1 - Color Verde)	Se presenta densidad baja

Una vez obtenido el mapa con la metodología planteada, se hicieron ajustes en la criticidad de las zonas, de acuerdo con lo observado en campo (método holístico). En el Mapa 18 se presenta el mapa de criticidad morfodinámica de la UMI Esfuerzos de

Paz-Villa Turbay obtenido con la metodología descrita anteriormente, en donde verde corresponde al nivel 1 (bajo), amarillo al nivel 2 (moderado) y rojo al nivel 3 (alto).



Mapa 18. Criticidad morfolodinámica UMI Esfuerzos de Paz-Villa Turbay (VTB_CriticidadMorfolodinamica_Medellin_C)

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

7.4 MAPA DE ZONIFICACIÓN DE APTITUD GEOLÓGICA

Una vez obtenidos el mapa de criticidad de zonas homogéneas y el mapa de criticidad morfodinámica, se procede a realizar el álgebra de mapas con Herramientas SIG, a través de la siguiente función:

$$A (F)= X1 (\text{Mapa de criticidad Zonas homogéneas}) + X2 (\text{Mapa Criticidad Morfodinámica})$$

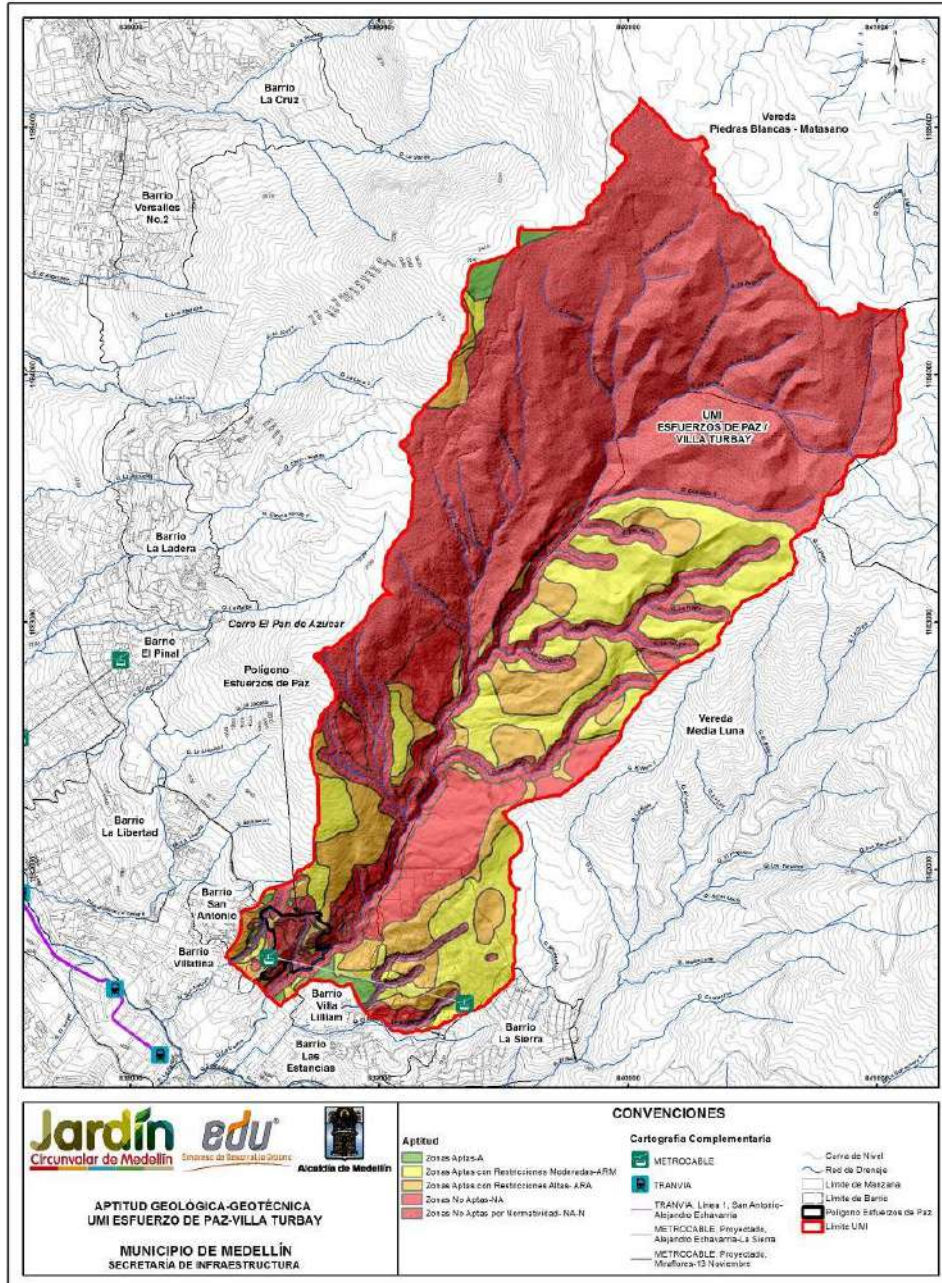
En donde, X1 y X2 corresponden a los coeficientes de la susceptibilidad por inestabilidad de las vertientes y se asignaron valores de 60% y 40%, respectivamente.

A partir de los resultados, se determinaron las cuatro zonas propuestas por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA, 2012), que se describen a continuación. .

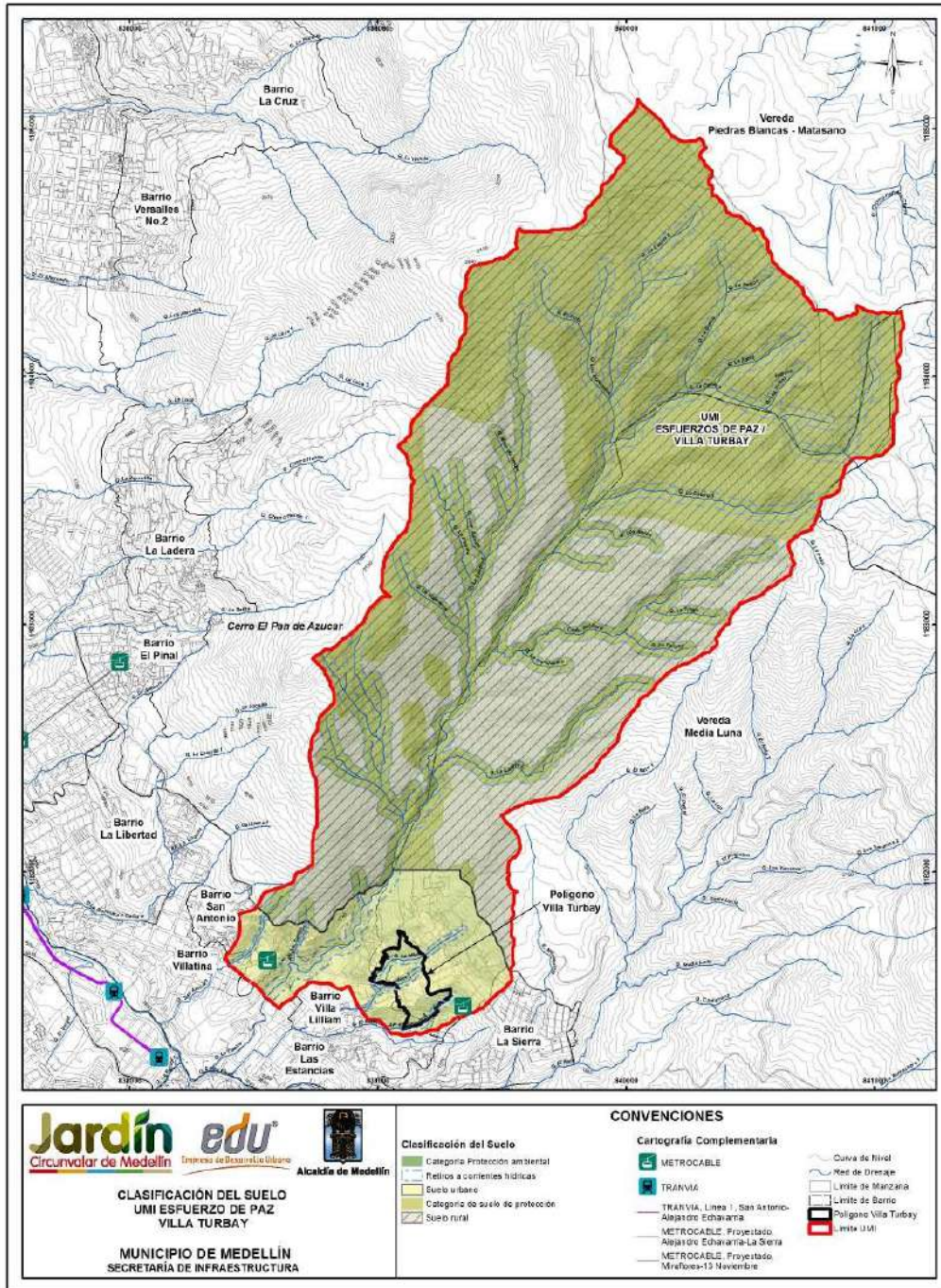
- ✓ Zonas aptas que corresponden a áreas con alto grado de estabilidad, en las que no se aprecia la ocurrencia de procesos morfodinámicos activos e inactivos tales como socavación de márgenes y movimientos en masa que afecten la estabilidad global del predio de interés y de la UMI asociada. La estabilidad global de estas zonas está condicionada al tipo de intervención que se proyecte y al uso y manejo que se dé a estas y a la UMI asociada.
- ✓ Zonas aptas con restricciones moderadas, que corresponden a áreas estables dentro del predio de interés, aunque su estabilidad está condicionada por la incidencia directa que presentan procesos morfodinámicos activos tales como socavación de márgenes y movimientos en masa identificados en la UMI asociada. La estabilidad global de estas zonas dependerá del manejo que se dé a los procesos morfodinámicos y al tipo de intervención que se proyecte. Se considera que las obras de estabilización proyectadas son técnica y económicamente viables.
- ✓ Zonas aptas con restricciones altas, en las cuales se evidencia la ocurrencia de procesos morfodinámicos activos tales como socavación de márgenes y movimientos en masa localizados en el predio de interés y en la UMI asociada. La estabilidad global de estas zonas dependerá del manejo que se dé a los procesos morfodinámicos y al tipo de intervención que se proyecte sobre estas. El estudio debe evaluar la viabilidad técnica y económica de las obras de estabilización proyectadas dentro del lote y la UMI asociada.
- ✓ Zonas no aptas, que son aquellas con evidente inestabilidad por la ocurrencia de procesos morfodinámicos activos tales como socavación de márgenes y movimientos en masa dentro del lote de interés y la UMI asociada. El estudio considera que las obras de estabilización proyectadas son técnicamente complejas y de alto costo con respecto a las inversiones proyectadas en la zona o predio de interés. Las zonas con restricciones normativas se considerarán como no aptas.

En el Mapa 19 se presenta el mapa de aptitud geológica – geotécnica de la UMI Villa Turbay obtenido con la metodología descrita anteriormente. Este mapa está refinado con base en lo observado en campo y teniendo en cuenta las áreas que por norma tengan restricción, como lo son las áreas protegidas y los retiros a corrientes de agua, según las

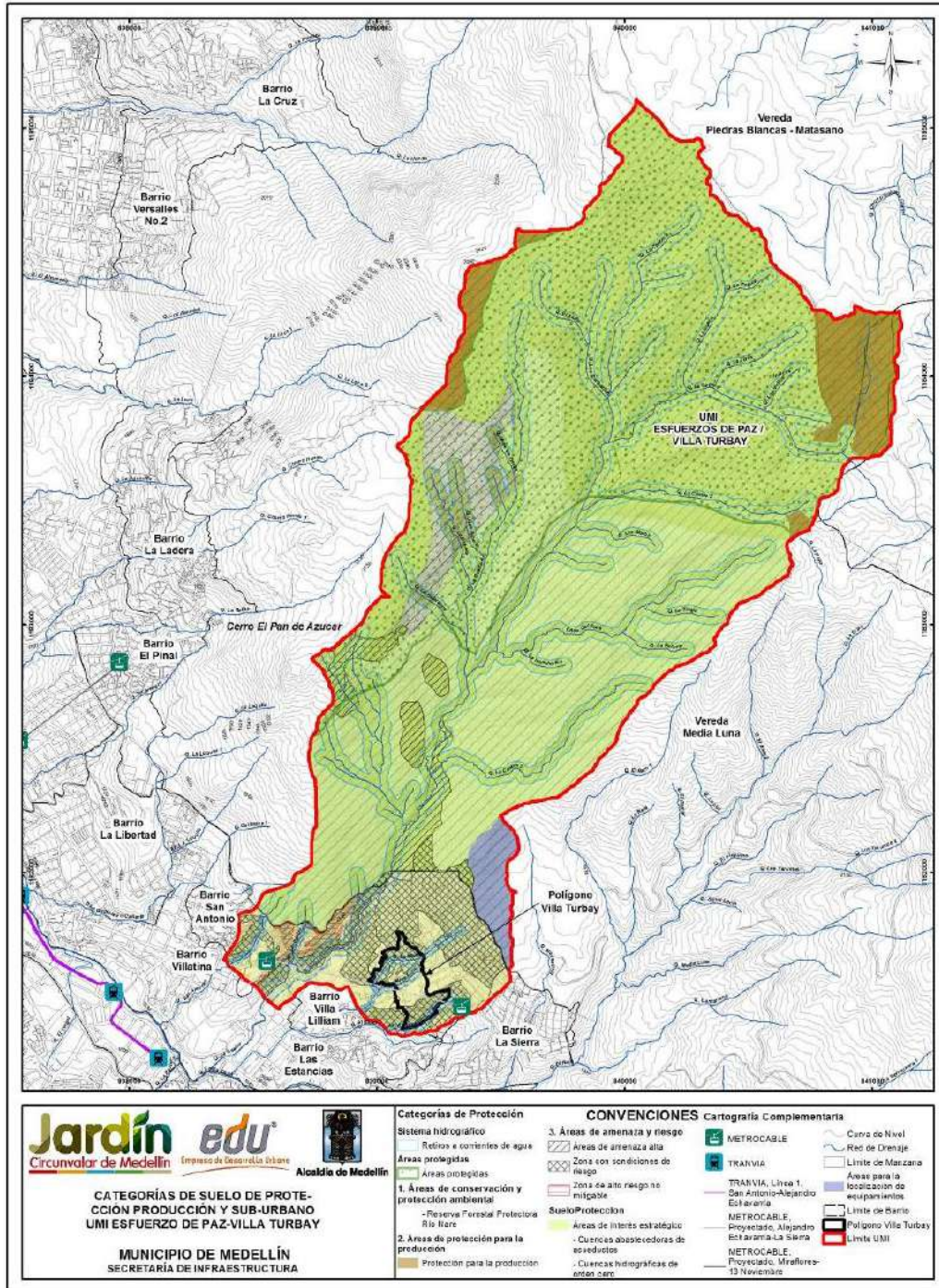
especificaciones del POT (2014) del municipio de Medellín, como se muestran en el Mapa 20 y en el Mapa 21.





Mapa 19. Aptitud Geológica - Geotécnica UMI Esfuerzos de Paz-Villa Turbay
(18_VTBaptitudGeologicaGeotecnica_Medellin_C y
18_VTBaptitudGeologicaGeotecnica_Medellin_T)



Mapa 20. Categorías de suelo de protección, producción y suburbano (POT, 2014)
 (15_SATCategoríasSueloProteccionProduccionySuburbano_Medellin_C y
 15_SATCategoríasSueloProteccionProduccionySuburbano_Medellin_T)



Mapa 21. Clasificación del suelo (POT, 2014)
 (14_SATClasificaciondelSuelo_Medellin_C y 14_SATClasificaciondelSuelo_Medellin_CT)

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	--	---

Además, se delimitaron otros retiros de quebradas que no han sido reportados en el Mapa de Estructura Ecológica del Acuerdo 48 de 2014, debido a la escala de trabajo.

- ✓ Las Zonas Aptas son de poca ocurrencia en la UMI Esfuerzos de Paz-Villa Turbay, se encuentran en la parte inferior hacia la zona suroccidental y en la parte superior en el extremo noroccidental. No se tiene este tipo de zonas al interior del Polígono Villa Turbay.
- ✓ Las Zonas Aptas con Restricciones Moderadas son las que predominan en la UMI, se encuentran en la parte central e inferior abarcando principalmente el extremo oriental. En el polígono se encuentran en la parte central.
- ✓ Las Zonas Aptas con Restricciones Altas se encuentran distribuidas aleatoriamente en toda la UMI en forma de parches, corresponden a la zona noroeste y sureste del polígono, abarcando la mayor parte de éste.
- ✓ Las Zonas No Aptas se distribuyen a lo largo de la UMI, en la parte media y baja, principalmente en la vertiente izquierda de la zona centro-inferior de la Quebrada La Castro, y en el extremo sur del Polígono Villa Turbay.
- ✓ Las Zonas No Aptas por normatividad se encuentran en la parte alta de la UMI, en el oeste de la zona de estudio y en los alrededores de la Quebrada La Castro. Estas zonas corresponden a la Reserva Forestal Protectora Río Nare, los retiros de las Quebradas La Castro, y las zonas de riesgo no mitigable definidas por el POT (2014) del Municipio de Medellín según el Acuerdo 48 de 2014.
- ✓ El retiro de la quebrada La Castro está entre 20 m y 70 m y el de sus afluentes es de 60 m generalmente. Los retiros de las quebradas La Mica, La Mica 1, El Saperó están estipulados de 30 m.
- ✓ En la UMI Esfuerzos de Paz-Villa Turbay predominan las zonas no aptas por normatividad y las zonas aptas con restricciones moderadas, y en el Polígono Villa Turbay las zonas Aptas con restricciones altas.

8. ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

8.1 ASPECTOS GENERALES

En este capítulo se presentan los resultados de la investigación llevada a cabo específicamente con el objetivo de proponer un modelo hidrogeológico conceptual del sitio en estudio.

En otras investigaciones (Hoyos, 2000) ha sido postulada la existencia de dos sistemas hidrogeológicos separados que descargan en el Valle de Aburrá (VA). El primero y más elevado, con su zona de recarga en el Planalto de Santa Elena (PSE), descarga en la parte alta de las laderas orientales del Valle de Aburrá. El segundo, cuya área de recarga se encuentra en el Valle de San Nicolás (VSN), descarga en la parte inferior de esas mismas laderas. En la Figura 85 pueden apreciarse las posiciones relativas de los Valles de San Nicolás a 2150 msnm y de Aburrá a 1550 msnm. Entre ambos valles se encuentra el Planalto de Santa Elena a 2550 msnm, con alturas máximas mayores que 2650 m. Los polígonos correspondientes al Proyecto Barrios Sostenibles se encuentran ubicados entre el Planalto de Santa Elena y el Valle de Aburrá.

En una primera aproximación puede aceptarse que las aguas subterráneas en el Valle de Aburrá proceden en su mayor parte del Valle de San Nicolás y en menor proporción del Planalto de Santa Elena. Entre las zonas de recarga y el Valle de Aburrá existen conexiones hidráulicas, dadas por las discontinuidades estructurales del macizo rocoso, cuya ocurrencia puede ser verificada mediante la información de la composición isotópica de los diferentes componentes del sistema.

La evaluación del sistema hidrogeológico en los polígonos de estudio, requiere entonces la identificación de las áreas de recarga y las direcciones de flujo del agua subterránea hacia el Valle de Aburrá desde el Planalto de Santa Elena y los Valles de San Nicolás.

Para efectos del análisis y de elaboración de los modelos de flujo, se considera un medio hidráulicamente homogéneo dado por un macizo rocoso fracturado con una permeabilidad secundaria equivalente de 10^{-7} m/s, cruzado por un conjunto de fallas, y con una cobertura de limo cuyo espesor varía entre 0 m y 30 m. Este valor de permeabilidad ha sido estimado a partir de los datos obtenidos en la construcción de túneles en rocas masivas de la Cordillera Central y del análisis regional de caudales mínimos (Hoyos, 1998 y 1985). En la cubierta de limo, el flujo libre es nulo para efectos prácticos, de modo que la circulación del agua en la cobertura de limo y en el macizo rocoso procede a lo largo de discontinuidades. Las empinadas pendientes que limitan estas tres unidades y la baja permeabilidad en el regolito, del orden de 10^{-9} m/s, calculada a partir de ensayos de consolidación unidimensional, hacen que la infiltración efectiva en las laderas sea muy baja.



Figura 85. Esquema de localización de las unidades geomorfológicas de interés hidrogeológico (Sin escala)

Dicha evaluación se hace considerando la aplicación de técnicas isotópicas, basadas en la existencia de isótopos estables de Oxígeno (^{16}O , ^{17}O y ^{18}O) e Hidrógeno (H y D), y la regularidad de la variación del contenido de dichos isótopos estables en la composición del agua. Su condición de isótopos estables y la regularidad de su variación en función de las condiciones de evaporación y de condensación, permiten seguir su pista en el ciclo hidrológico con certeza y utilizarlos como trazadores en dicho ciclo. Los valores de contenido de isótopos estables son dados como desviaciones de valores estándar (valores delta), que en el caso del agua son dados con relación al contenido de Deuterio y Oxígeno 18 del agua media del océano (SMOW: Standard Mean Ocean Water) y se expresan en tantos por mil.

La información utilizada en esta investigación incluye datos y resultados de investigaciones anteriores del autor citado, los resultados de análisis isotópicos de muestras de agua lluvia colectadas en el sitio de estudio en el trimestre comprendido de abril de 2015 a junio del mismo año y de muestras de agua de manantiales colectadas también en la zona de interés después de un intervalo de 10 días sin lluvia.

8.2 LA RECTA METEÓRICA O RECTA DE CRAIG

Los contenidos de Deuterio y Oxígeno 18 del agua lluvia presentan una elevada correlación lineal conocida como la Recta Meteórica o Recta de Craig, cuya ecuación general a escala global corresponde a la expresión:

$$\delta D = 8\delta^{18}O + 10$$

La Figura 86 ilustra la ecuación de la Recta Meteórica para Colombia con base en 654 datos generados en todo el país, la cual se ajusta a la expresión:

$$\delta D = 7.7\delta^{18}O + 5.5$$

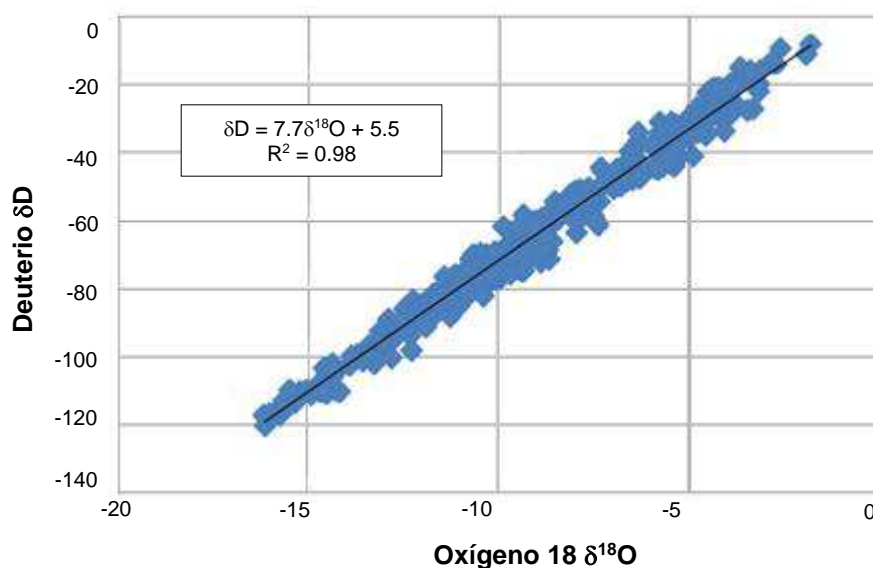


Figura 86. Recta Meteórica para Colombia

Existen otras versiones (Rodríguez, 1990) de la ecuación de la Recta Meteórica para Colombia, aunque se prefiere la presentada en la Figura 86 por estar basada en un mayor número de datos.

Esta recta permite reconocer si el agua analizada en un punto determinado es agua lluvia o si corresponde a otra categoría, como aguas juveniles o connatas, o ha sufrido un proceso de evaporación o de contaminación con productos químicos.

Al localizar el par de valores Deuterio : Oxígeno 18 en la gráfica, se puede determinar que los datos que se encuentran cerca de esta recta corresponden a aguas lluvias puras, mientras que aquellos que se apartan significativamente de esta recta corresponden a aguas lluvias que han sido modificadas. Las modificaciones más comunes son debidas a procesos de evaporación en lagos y lagunas, a intercambio isotópico con los medios en los que fluye, o a contaminación con productos químicos y desechos líquidos urbanos. En

el caso de los polígonos en estudio, las modificaciones podrían ser especialmente las debidas a evaporación o a intercambio isotópico, pudiéndose anotar lo siguiente:

- ✓ En el agua que ha sufrido un proceso de evaporación se presenta un enriquecimiento relativo de Oxígeno 18. Esto porque dado que la magnitud del fraccionamiento por evaporación es diferente para los isótopos de Hidrógeno y Oxígeno, la relación que permanece constante entre Deuterio y Oxígeno 18 en el agua lluvia, no se mantiene así en los procesos de evaporación.
- ✓ Los procesos de intercambio isotópico pueden ocurrir, por ejemplo, entre el agua y los minerales de las rocas a través de las cuales fluye el agua. Este intercambio es menos probable en el caso del Hidrógeno y su isótopo estable el Deuterio, en razón de la escasez relativa de minerales hidratados en el macizo rocoso. En todos los casos, el efecto es más notorio en el contenido de Oxígeno 18 que en el contenido de Deuterio.

La variación en la composición isotópica depende de las condiciones de evaporación y de condensación de las masas de agua en la hidrosfera, lo cual implica que ella depende básicamente de las condiciones de presión y temperatura del ambiente en que ocurre la evaporación o la condensación. Esta condición hace que en los análisis de hidrología isotópica sea necesario contar con muestras de agua lluvia representativas de períodos suficientemente largos que permitan suponer que ellas corresponden a las condiciones ambientales medias del sitio de muestreo. En este caso, los muestreadores de agua lluvia fueron instalados durante un período de tres meses que incluyó los meses de abril de 2015 a junio del mismo año. La toma de muestras se realizó mediante la instalación de pluviómetros artesanales que permitían el ingreso del agua lluvia evitando la evaporación en el tiempo (Figura 87). Las muestras de agua de manantiales fueron colectadas durante un lapso seco al finalizar el mes de junio de 2015.

Específicamente en la Tabla 22 y en la Tabla 23 se presenta la información obtenida por medio de las muestras ensayadas en este proyecto. El gráfico de la Figura 88 muestra gráficamente la relación Deuterio : Oxígeno 18 de estas muestras, diferenciando las aguas lluvias de las aguas de manantiales. Se puede observar que la relación Deuterio : Oxígeno 18 de las muestras colectadas en desarrollo de este proyecto se ajusta a la Recta Meteorica de Colombia, tratándose de una recta cuya pendiente es cercana a 8, lo que permite reconocer las muestras tomadas en manantiales como agua lluvia infiltrada (Figura 86 vs. Figura 88). La diferencia en el término independiente de la ecuación puede responder a condiciones meteorológicas particulares del área donde fueron tomadas las muestras.

Se observa además que los valores de contenido isotópico de Deuterio y Oxígeno 18 del agua de manantiales se distribuyen en dos conjuntos. El primero con pares de valores del orden de -71.8 y -10 y el segundo con pares de valores del orden de -79 y -11. Los valores más altos de contenido isotópico de los primeros pueden corresponder exclusivamente a agua subterránea. Los valores de contenido isotópico de los segundos,

corresponden a manantiales que drenan agua subterránea combinada con agua de escorrentía.



Muestra EDU-02 Santa Elena R



Muestra EDU-06 CAI Torres

Figura 87. Pluviómetros instalados alrededor de la zona de estudio

Tabla 22. Contenido isotópico en agua lluvia en las muestras tomadas como parte de este estudio

Muestra	Fecha	Este	Norte	Cota	‰δD	‰δ ¹⁸ O	Observaciones
EDU-01	03/07/15	844618.50	1178332.35	2650	-96.7	-13.16	Santa Elena Waira
EDU-02	03/07/15	843170.78	1180895.89	2570	-96.5	-13.11	Santa Elena R
EDU-03	03/07/15	842970.42	1183004.41	2460	-95.5	-12.75 ^o	Santa Elena ARPSE
EDU-04	03/07/15	840041.39	1189109.01	2045	-85.5	-11.44	Altos de Oriente
EDU-05	03/07/15	839168.65	1182630.68	2100	-89.4	-11.84	Pan de Azúcar
EDU-06	03/07/15	838950.41	1182665.08	2030	-87.7	-11.77	CAI Torres
EDU-07	03/07/15	836091.03	1180638.77	1665	-78.9	-10.79	Medellín Loreto

Tabla 22. Contenido isotópico en agua lluvia en las muestras tomadas como parte de este estudio

Muestra	Fecha	Este	Norte	Cota	‰δD	‰δ ¹⁸ O	Observaciones
EDU-O8	03/07/15	835283.30	1178828.00	1550	-87.5	-11.98	Medellín Castropol

Tabla 23. Contenido isotópico en muestras de manantiales tomadas como parte de este estudio de la ladera nororiental del Valle de Aburrá

Muestra	Fecha	Este	Norte	Cota	‰δD	‰δ ¹⁸ O
EDU-09	03/07/15	838772.26	1182739.33	1950	-78.7	-10.96
EDU-10	03/07/15	839161.24	1183861.49	2220	-71.5	-9.56
EDU-11	03/07/15	838457.66	1182730.36	1980	-76.5	-10.21
EDU-12	03/07/15	838334.52	1182771.17	2130	-71.8	-9.84
EDU-13	03/07/15	839015.08	1183857.13	2190	-71.8	-10.02
EDU-14	03/07/15	838409.73	1182610.21	1900	-78.1	-11.06
EDU-15	03/07/15	838739.46	1183720.75	2130	-80.6	-11.06
EDU-16	03/07/15	839046.39	1183497.60	1915	-80.0	-11.37

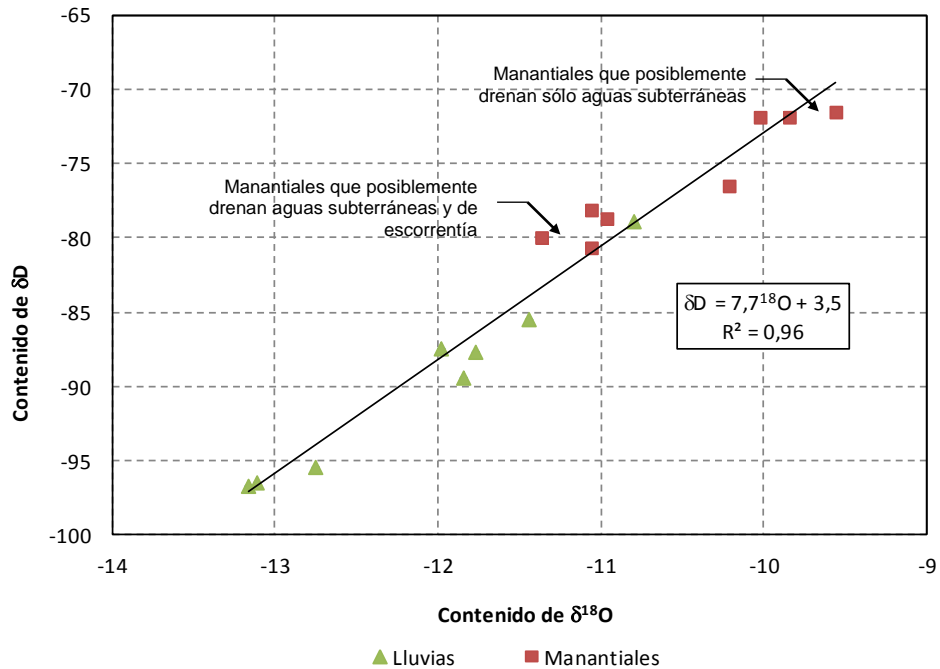




Figura 88. Relación Deuterio : Oxígeno 18 en muestras de la Comuna Nororiental

Se resalta el hecho de que los valores de contenido isotópico de Deuterio y Oxígeno 18 del agua lluvia son consistentemente menores que los esperados con base en una amplia base de datos compilada en los últimos 30 años. Esto no sucede con los valores reportados de contenido isotópico de Deuterio y Oxígeno 18 del agua de manantiales. Esta diferencia en el contenido isotópico de Deuterio y Oxígeno 18 puede ser explicada por el hecho de que las muestras del agua lluvia fueron colectadas en su totalidad durante un evento cálido ENSO, en tanto que los contenidos isotópicos del agua de manantiales corresponden a una acumulación de largo plazo en el macizo rocoso.

8.3 EL GRADIENTE OROGRÁFICO

Una regularidad también útil en los análisis isotópicos, es la variación que puede tener el agua lluvia por las condiciones de presión y temperatura en las que se produce la condensación y la correspondiente precipitación. Dado que en las regiones equinociales la temperatura ambiente es una función de la altura sobre el nivel del mar, el contenido isotópico del agua lluvia varía en función de la altura de precipitación que se toma siempre como la cota del pluviómetro o del recipiente de recolección de muestras. Las desviaciones a esta generalización están asociadas a las condiciones particulares de presión en las que ocurre cada evento de precipitación, razón por la cual conviene contar con muestras que representen una media de precipitación en un intervalo tan amplio como sea posible.

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

La evaluación, identificación y valoración de esta función permite determinar un gradiente orográfico de contenido isotópico en el agua lluvia, información clave para determinar las zonas de recarga. En la Figura 89 y la Figura 90 se encuentran estas funciones para Colombia, con información desde el nivel del mar hasta el Parque Los Nevados (Rodríguez, 1990).

Las ecuaciones generales para el conjunto del territorio colombiano indican que el contenido de Deuterio varía cerca de 1.2 unidades por cada 100 metros de cambio en la altura sobre el nivel del mar y el contenido de Oxígeno 18 cambia a razón de 1.4 unidades por cada 1000 metros de altura sobre el nivel del mar.

La evidencia isotópica, presentada de manera general para Colombia puede confirmarse para la vertiente oriental del Valle de Aburrá y para el área de interés de este proyecto, con los resultados obtenidos de los análisis isotópicos realizados para el presente informe que fueron presentados en la Tabla 23 y complementados con los de la Tabla 24. A partir de la información de dichas tablas fueron elaboradas la Figura 91 y Figura 92.

Tabla 24. Contenido isotópico en manantiales y quebradas de la ladera nororiental del Valle de Aburrá

Muestra	Fecha	Este	Norte	Cota	‰δD	‰δO18	Observaciones
OMO16	15/04/13	840101.30	1188537.29	2160	-83.3	-11.32	Altos de Oriente Tejas Arriba
OPB03	23/04/14	837340.15	1186344.78	1655	-79.1	-10.83	Qda. La Bermejala en estiaje
OPB05	26/05/14	837340.15	1186344.78	1655	-82.6	-11.53	Escorrentía en cuenca de Qda. La Bermejala
OPB06	16/05/14	839988.94	1189044.63	2060	-78.8	-10.77	Manantial
MAP11	21/06/14	837235.7	1186381.95	1630	-79.5	-10.96	Pozo

Se puede observar que las muestras de manantiales y quebradas tomadas en otros puntos de la vertiente oriental y las del proyecto como tal se ajustan a las líneas rectas de ajuste para Colombia, quedando dentro de las bandas que generan las muestras utilizadas para dicho ajuste. Los manantiales se han dividido en dos grupos, diferenciando aquellos que están por encima de la cota 2100 msnm de aquellos que están por debajo de dicha cota, lo cual se hace por las razones que se explican más adelante en el Numeral 8.4 de este mismo capítulo.

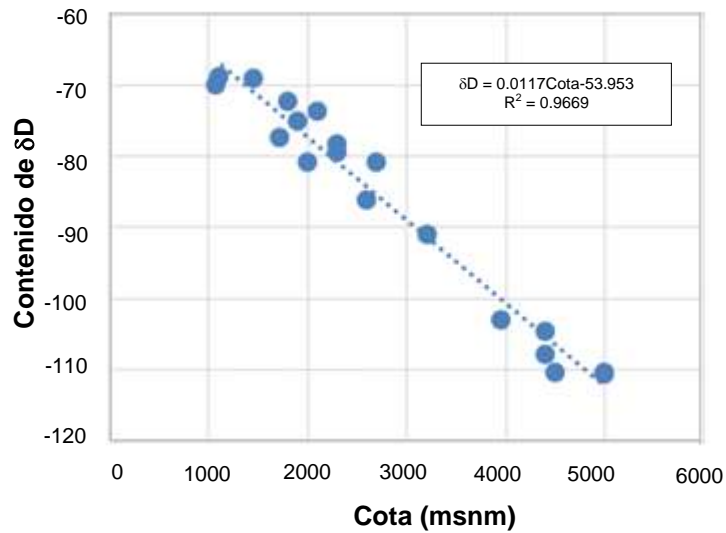


Figura 89. Variación del contenido de Deuterio en el agua lluvia con la altura de precipitación en Colombia

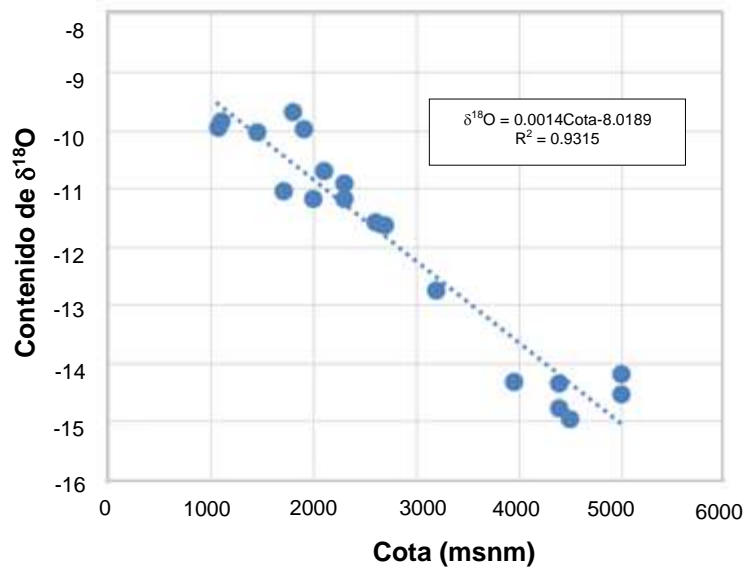


Figura 90. Variación del contenido de Oxígeno 18 en el agua lluvia con la altura de precipitación en Colombia

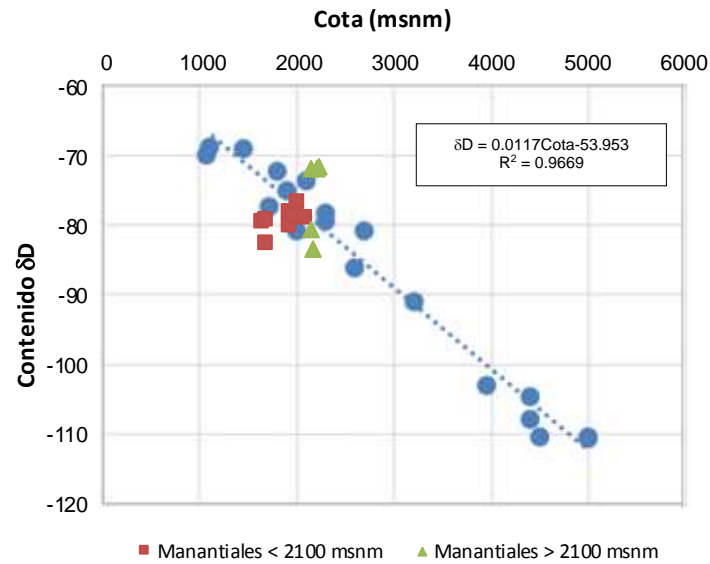


Figura 91. Variación del contenido de Deuterio con la altura de precipitación en Colombia combinada con contenido de Deuterio en manantiales en la Comuna Nororiental

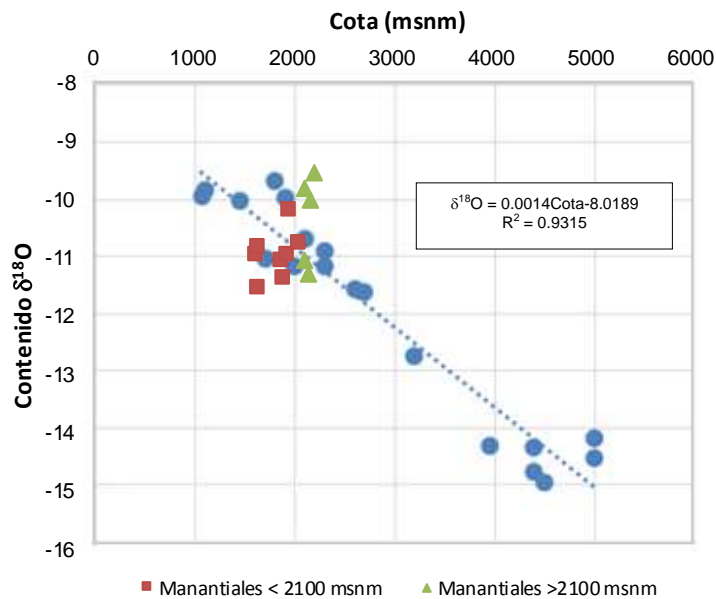




Figura 92. Variación del contenido de Oxígeno 18 con la altura de precipitación en Colombia combinada con contenido de Deuterio en manantiales en la Comuna Nororiental

8.4 EL GRADIENTE NULO

A diferencia del agua de precipitación, el agua subterránea no necesariamente presenta esa regularidad de variación con la altura. Esta condición ha sido utilizada para identificar

	SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA “ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN” INFORME POLIGONO VILLA TURBAY	
---	---	---

el área de recarga de las aguas subterráneas mediante la relación entre el contenido isotópico del agua subterránea cuyo origen se investiga y el contenido isotópico del agua de precipitación en el área de recarga.

En la Tabla 25 se encuentran los datos de contenidos isotópicos de agua de otras muestras de manantiales y quebradas utilizadas en otras investigaciones del autor que se viene citando en este capítulo.

Tabla 25. Contenido isotópico en manantiales y quebradas de las laderas de los Valles de Aburrá y San Nicolás

Muestra	Fecha	Este	Norte	Cota	‰δD	‰δO18	Observaciones
TAO-01	06/09/12	842599.43	1178844.76	2540	-85.3	-11.71	Quebrada Santa Elena
TAO-02	06/09/12	841909.11	1179439.69	2445	-83.1	-11.63	Sede Mediagua CORANTIOQUIA
TAO-03	06/09/12	841952.29	1179485.66	2350	-85.4	-11.87	Fuente surgente en el camino Santa Elena La Bocana
TAO-04	06/09/12	841835.34	1179452.18	2375	-82.3	-11.52	Amagamiento con aporte de agua de escorrentía
TAO-05	06/09/12	841844.84	1179553.55	2359	-86.2	-11.96	
TAO-06	06/09/12	841774.04	1179529.16	2346	-82.4	-11.49	Amagamiento con aporte de agua de escorrentía
TAO-07	06/09/12	841654.11	1179529.49	2314	-85.4	-11.76	
TAO-08	06/09/12	841641.73	1179498.79	2270	-86.3	-11.96	
TAO-09	06/09/12	841458.14	1179840.38	2120	-85.5	-11.91	
TAO-10	06/09/12	841108.11	1180037.99	2020	-85.7	-11.77	Quebrada, fuente de acueducto comunal
TAO-11	06/09/12	841092.72	1180034.96	2040	-82.8	-11.43	Pie de escarpe.
TAO-12	06/09/12	841978.34	1180020.27	2023	-82.7	-11.32	
TAO-13	06/09/12	841403.61	1180144.74	2005	-85.6	-11.83	Quebrada Santa Elena
TAO-14	07/09/12	841415.91	1180141.63	2007	-83.8	-11.55	Manantial en margen izquierda de QSE
TAO-15	07/09/12	841186.64	1180646.21	2040	-82.3	-11.37	Manantial
TAO-16	07/09/12	841239.10	1180713.67	2081	-85.0	-11.78	Vía Medellín Rionegro km 6+060
TAO-17	07/09/12	841116.02	1180686.35	2080	-85.5	-11.52	Vía Medellín Rionegro km 6+050
TAO-19	07/09/12	841090.06	1181316.36	2128	-83.1	-11.14	Vía Medellín Rionegro K6+800
TAO-20	07/09/12	843169.62	1178170.28	2560	-86.2	-11.58	Quebrada San Pedro
TAO-22	07/09/12	844813.23	1177545.19	2610	-84.4	-11.81	Manantial
TAO-23	07/09/12	848135.78	1174466.79	2222	-81.9	-11.62	Quebrada Yarumal
TAO-28	07/09/12	839194.59	1179766.66	1933	-81.0	-11.13	Seminario Redemptoris Mater
TAO-31	07/09/12	843996.88	1178177.29	2570	-84.8	-11.71	Quebrada El Cartucho Acceso a

Tabla 25. Contenido isotópico en manantiales y quebradas de las laderas de los Valles de Aburrá y San Nicolás

Muestra	Fecha	Este	Norte	Cota	‰δD	‰δO18	Observaciones
							Montevivo
TAO-32	07/09/12	844073.75	1178170.94	2575°	-83.9	-11.62	Acueducto San Ignacio, Santa Elena
CON-05	13/10/10	840045.51	1192802.63	1295	-77.8	-10.40	Fosa de grava CONASFALTOS
CON-06	13/10/10	840045.49	1192796.48	1295	-78.0	-10.57	Fosa de grava CONASFALTOS
CON-08	13/10/10	840054.74	1192805.67	1305	-74.0	-9.58	Fosa de grava CONASFALTOS
CON-21	12/11/10	840076.26	1192802.54	1295	-78.7	-10.56	Fosa de grava CONASFALTOS
CON-22	12/11/10	840054.67	1192778.02	1305	-75°4	-9.68	Fosa de grava CONASFALTOS
CON-23	12/11/10	840134.67	1192802.38	1335	-78.6	-10.71	Fosa de grava CONASFALTOS
CON-24	12/11/10	840134.65	1192796.23	1340	-77.3	-10.61	Fosa de grava CONASFALTOS
CON-25	12/11/10	840060.70	1192738.05	1360	-79.9	-10.85	Fosa de grava CONASFALTOS
HV-286		839485.94	1189494.67	1885	-80.2	-9.50	Rellano al sur de Planta Manantiales, EPM
HV-297		839410.99	1180180.91	1880	-78.3	-10.85	Vía Medellín Rionegro
HV-351		844896.06	1177471.23	2600	-84.3	-11.73	Santa Elena
HV-352		844010.39	1177473.58	2600	-83.8	-11.54	Santa Elena

Las muestras identificadas con el Acrónimo CON y dos dígitos corresponden a muestras tomadas en la Mina CONASFALTOS en el fondo del Valle de Aburrá. Las muestras identificadas con el Acrónimo TAO corresponden a muestras tomadas para el estudio hidrogeológico del Túnel Aburrá – Oriente. Las restantes muestras hacen parte del archivo personal del autor que se viene citando y corresponden a muestras tomadas desde el decenio de 1990.

En la Figura 93 se presenta un gráfico preparado con los datos presentados en la Tabla 25 junto con los de este proyecto presentados en la Tabla 23. Se ha consolidado entonces la información obtenida en diferentes investigaciones en el Valle de Aburrá para poder hacer la discriminación del flujo de aguas subterráneas hacia el Valle de Aburrá procedente del Planalto de Santa Elena y del Valle de San Nicolás. En este gráfico puede apreciarse que los contenidos isotópicos del agua de los manantiales se agrupan en dos conjuntos bien definidos: uno por encima de la cota 2100 msnm y otro por debajo de esta cota. Los manantiales que se encuentran en cotas inferiores a 2100 msnm presentan un contenido medio de Deuterio, δD, alrededor de -80 por mil, en tanto que los manantiales que se encuentran en cotas mayores que 2100 msnm presentan un contenido medio de Deuterio, δD, alrededor de -83 por mil.

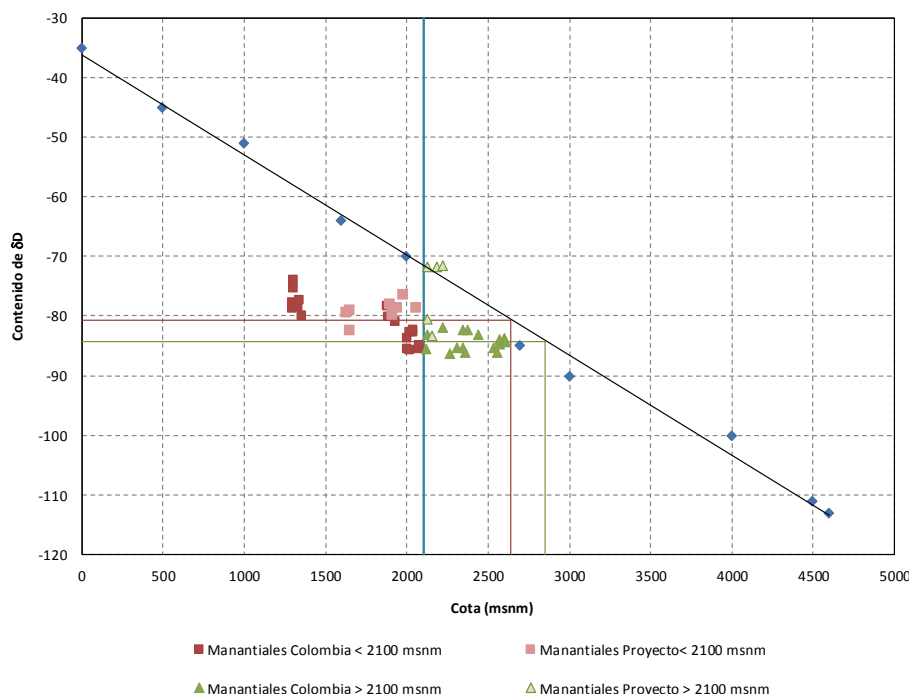


Figura 93. Variación del contenido de Deuterio en agua subterránea con la altura de precipitación en Colombia combinada con contenido de Deuterio en manantiales en el Valle de Aburrá (Hoyos, 2012)

La diferenciación mencionada indica que los manantiales ubicados por encima de la cota 2100 msnm y tienen su zona de recarga en una zona más alta que la de los manantiales ubicados por debajo de esta cota. La Figura 93 muestra los dos conjuntos de manantiales bien definidos, con sus límites en la cota 2100 msnm y en el $\delta D=81$. Se indican además las cotas correspondientes a las fuentes de alimentación de cada conjunto de manantiales según el ajuste lineal empleado.

La discriminación de los dos conjuntos se hace más clara cuando se depuran los datos con base en las observaciones de campo. Las Muestras TAO-04 y TAO-06 corresponden a dos amagamientos cuya posición topográfica permiten suponer que las muestras colectadas tenían un aporte de agua de escorrentía. Si se excluyen estos dos datos, la distribución del contenido de Deuterio define nítidamente los dos conjuntos ya enunciados.

En este punto es interesante anotar los valores obtenidos en las aguas de la Quebrada Santa Elena en las cotas 2540 msnm y 2005 msnm, Muestras TAO-01 y TAO-13. El contenido de Deuterio de ambas muestras es esencialmente igual, lo que implica que el agua aportada en la cuenca por exfiltración desde el macizo entre estas dos cotas tiene el mismo contenido isotópico del agua del Planalto de Santa Elena.

Si se tiene en cuenta la complejidad de los procesos hidrogeológicos, es más prudente afirmar que el agua lluvia infiltrada en el Planalto de Santa Elena es drenada en la parte alta de la ladera hasta una cota por encima de los 2000 msnm, en tanto que el agua lluvia infiltrada en el Valle de San Nicolás es drenada en la parte baja de la ladera por debajo de la cota 2000 msnm. En un intervalo altitudinal, que se encuentra aproximadamente entre las cotas 1900 msnm y 2100 msnm, los manantiales drenan una mezcla de agua lluvia infiltrada en ambas áreas de recarga.



Entre las cotas 2080 msnm y 2540 msnm, los valores de contenido de Deuterio y Oxígeno 18 de los manantiales son aproximadamente constantes y muy cercanos a -85 y -11, que corresponden al contenido isotópico del agua lluvia en el Planalto de Santa Elena. Ya fue anotado que la variación del contenido isotópico del agua de la Quebrada Santa Elena es mínima entre las cotas 2540 msnm, en el planalto y en la cota 2005 msnm en el cruce con la vía Medellín Rionegro, lo que implica que entre estas dos cotas el agua exfiltrada al cauce proviene en su totalidad. El agua de la pequeña quebrada que surte el acueducto comunal de La Bocana tiene el mismo contenido isotópico.

Los sitios donde fueron colectadas las Muestras TAO-02, TAO-04, TAO-06, localizadas por encima de la cota 2340 msnm, corresponden a sitios en los que el manantial se encuentra en una zona de quiebre de pendiente donde es posible la acumulación de agua de escorrentía. El contenido de Deuterio de las muestras colectadas en estos sitios tiene un valor mayor que el del agua del Planalto de Santa Elena.

Entre las cotas 2000 msnm y 2040 msnm, las medias de los valores de contenidos isotópicos se encuentran cercanos a -82,5 y -11,5, lo que indica una fuerte contribución de agua procedente del Valle de San Nicolás. La contribución del Valle de San Nicolás al flujo que aflora en manantiales entre las cotas 2000 msnm y 2040 msnm es aproximadamente de 50% con base en la propiedad aditiva de los contenidos isotópicos. Los manantiales cerca de la cota 1900 msnm presentan un contenido isotópico similar al del agua lluvia en el Valle de San Nicolás, lo que permite definir esta cota como límite de la zona de mezcla de la recarga procedente del Valle de San Nicolás y el Planalto de Santa Elena.

A medida que se desciende en las laderas del Valle de Aburrá, los valores de contenido de isótopos pesados aumentan, lo que puede ser interpretado como un incremento de la contribución de la recarga procedente del Valle de San Nicolás, cuyo contenido es del orden de -80, 11 y la correspondiente disminución del Planalto de Santa Elena.

En la cota 1900 msnm, los valores de contenido isotópico disminuyen hasta valores cercanos a 80 y -11, característicos de la precipitación en el Valle de San Nicolás. Este sería el límite inferior del flujo de agua procedente del Planalto de Santa Elena. Los valores de contenido isotópico que se encuentran en muestras de manantiales en cotas inferiores a 1900 msnm pueden ser explicados por la contribución de la escorrentía y la infiltración de agua lluvia en las laderas del Valle de Aburrá. En este punto debe tenerse en cuenta que estas muestras fueron colectadas sin tener en cuenta las condiciones de lluvia antecedente.

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

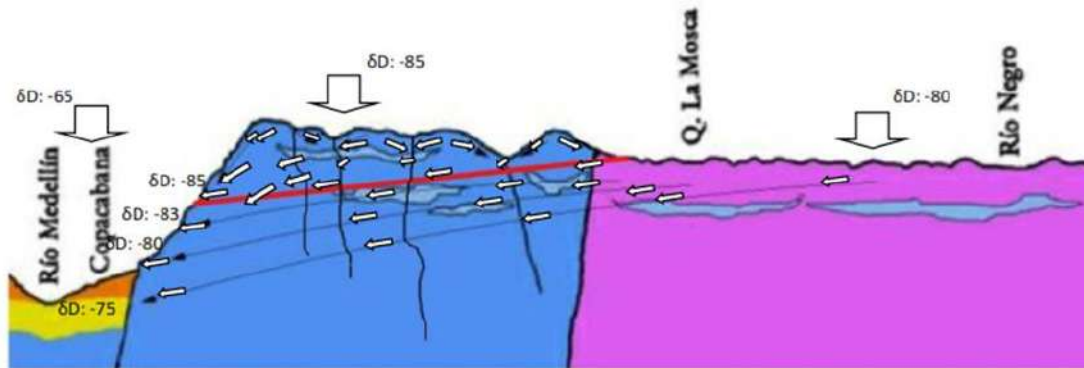
8.5 MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

La información disponible permite presentar un modelo conceptual del sistema hidrogeológico que comprende el Planalto de Santa Elena, el Valle de San Nicolás y la vertiente nororiental del Valle de Aburrá, cuya ilustración de encuentra en la Figura 94. Los límites del sistema pueden definirse por las vaguadas de los Ríos Negro y Medellín, las Quebradas Santa Elena, Yarumal y La Mosca.

8.5.1 Zonas de recarga

Las zonas de recarga, en el sistema hidrogeológico que descarga en el Valle de Aburrá, se encuentran por fuera de sus laderas y deben localizarse en los valles y planaltos vecinos localizados en cotas superiores a las del valle mismo y sus vertientes, en el Planalto de Santa Elena y el Valle de La Mosca y la porción occidental del Valle de San Nicolás. La información generada por medio del estudio que se presenta en este informe, permite validar esta afirmación.

El contenido isotópico del agua de los manantiales en la Comuna Nororiental se ajusta al par de valores $\delta D:80$, $\delta^{18}O:11$, que en investigaciones anteriores (Hoyos, 2012) permitieron establecer una discriminación de áreas de recarga del agua subterránea en la vertiente oriental del Valle de Aburrá y definir un flujo regional desde el Planalto de Santa Elena y el Valle de San Nicolás hacia el Valle de Aburrá.



CONVENCIONES








-  Qdl. Depósitos de ladera: limos, gravas, cantos y bloques de roca en la parte inferior de las laderas.
-  Qal. Depósitos aluviales: gravas y arenas, con limo.
-  Kqd. Cuarzodiorita del Batolito Antioqueño.
-  Pam. Anfibolitas de Medellín.
-  Acuíferos salobres.
-  Falla
-  Línea de Flujo



Figura 94. Modelo conceptual de la recarga, flujo local y regional y descarga del agua subterránea en el sistema hidrogeológico Planalto de Santa Elena, Valle de San Nicolás, Valle de Aburrá

8.5.2 Caracterización del acuífero

El agua subterránea en este sistema se encuentra en las discontinuidades del macizo rocoso formado por anfibolitas, esquistos, dunitas, serpentinitas y granitoides y puede ser caracterizado como un acuífero confinado cuyo sello está formado por el regolito limoso de suelos residuales y depósitos de vertiente. El coeficiente de permeabilidad del sello, calculada a partir de ensayos de consolidación es del orden de 10^{-9} m/s. El coeficiente de permeabilidad del macizo rocoso, estimado a partir de información de infiltración en túneles excavados en este tipo de rocas, y corroborada con el cálculo de coeficiente de permeabilidad medio de cuencas a partir de caudales mínimos de corrientes, se encuentra entre $5 \cdot 10^{-7}$ m/s en el macizo diaclasado hasta $3 \cdot 10^{-5}$ m/s en zonas de falla.

8.5.3 Flujo regional y flujo local

La distribución del agua lluvia en la superficie y en el subsuelo después de su precipitación es objeto de afirmaciones genéricas, muchas de ellas equivocadas, aun por

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

personas que por su formación podrían entender mejor el fenómeno del flujo subterráneo. En este punto es preciso anotar que la energía que hace mover el agua en el subsuelo es la debida a la atracción gravitacional, y en menor medida la energía térmica que permite la evaporación, y la tensión superficial que da lugar al ascenso capilar y a la retención del agua contra la atracción gravitacional. El flujo del agua libre en el subsuelo es debido en su totalidad a la atracción gravitacional y procede desde puntos donde la energía es mayor a puntos donde ella es menor. En él influyen la distribución de los materiales del subsuelo y sus características hidráulicas y la morfología del terreno. En particular es necesario considerar que la permeabilidad al flujo gravitacional del regolito limoso es muy baja, lo que, combinado con las altas pendientes de las laderas del Valle de Aburrá, hace que la infiltración en ellas sea nula en la práctica.

A escala regional es preciso resaltar el papel de la topografía en el flujo del agua subterránea que es controlado en gran medida por los gradientes y discontinuidades topográficas locales y regionales y cada una de estas categorías determina la escala del flujo del agua subterránea.

En las regiones donde son comunes los valles pequeños y medianos puede definirse un sistema de flujo local cuyo nivel de base está dado por las vaguadas de los valles. Este es el caso de las cuencas de la Quebrada Santa Elena, La Mosca, Honda y Yarumal. A su vez, las divisiones fisiográficas mayores dan lugar a un flujo a escala regional que circula por debajo de las celdas locales que en este caso corresponde al flujo que se establece entre el Altiplano de Rionegro y el Valle de Aburrá. Este sistema complejo de flujos subterráneos a escala local y regional, tiene interés en la medida en que permite introducir un criterio de discriminación en el flujo de agua subterránea.

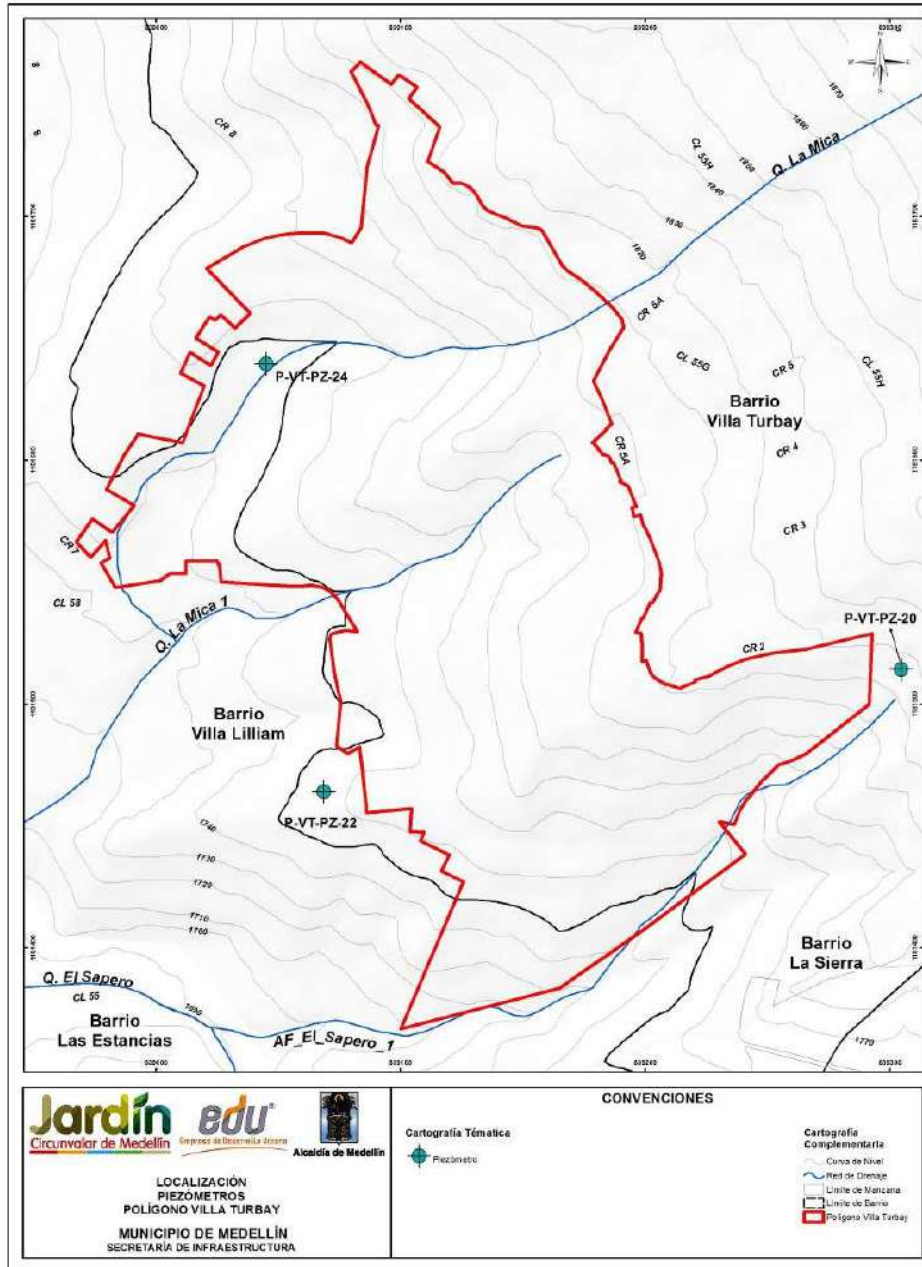
8.5.4 Zonas de descarga

La descarga de agua subterránea tiene lugar a lo largo y ancho de la vertiente. No se cuenta con un inventario de manantiales sistemático en el Valle del Aburrá que permita presentar un patrón de descarga del agua subterránea y su relación con los rasgos estructurales que la controlan. Puede postularse que, si se mantienen iguales las condiciones estructurales, la densidad de afloramientos aumenta a medida que se descende en la ladera, y que en la misma faja altitudinal la densidad de manantiales es función de la densidad de diaclasamiento y el máximo está asociado a las zonas de falla.

En la UMI Villa Turbay, se hicieron recorridos de campo detallados con el fin específico de levantar los manantiales existentes. De acuerdo con estos recorridos, es posible determinar que en la zona no se tienen manantiales.

8.6 INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA

Con el fin de determinar las condiciones de flujo en los polígonos en estudio del Proyecto Barrios Sostenibles se instalaron piezómetros de alambre vibrátil. Los piezómetros fueron localizados en las Perforaciones P-VT-PR-20, P-VT-PR-22 y P-VT-PR-25 realizadas en el Polígono Villa Turbay (Mapa 22).



Mapa 22. Localización en planta de los piezómetros de hilo vibrátil (VTBIstrumentacion_Medellin_C)

Los piezómetros instalados fueron denominados como Piezómetros P-VT-PZ-20B, P-VT-PZ-20D, P-VT-PZ-22B, P-VT-PZ-25B y P-VT-PZ-25D, como se muestra en la Figura 95.

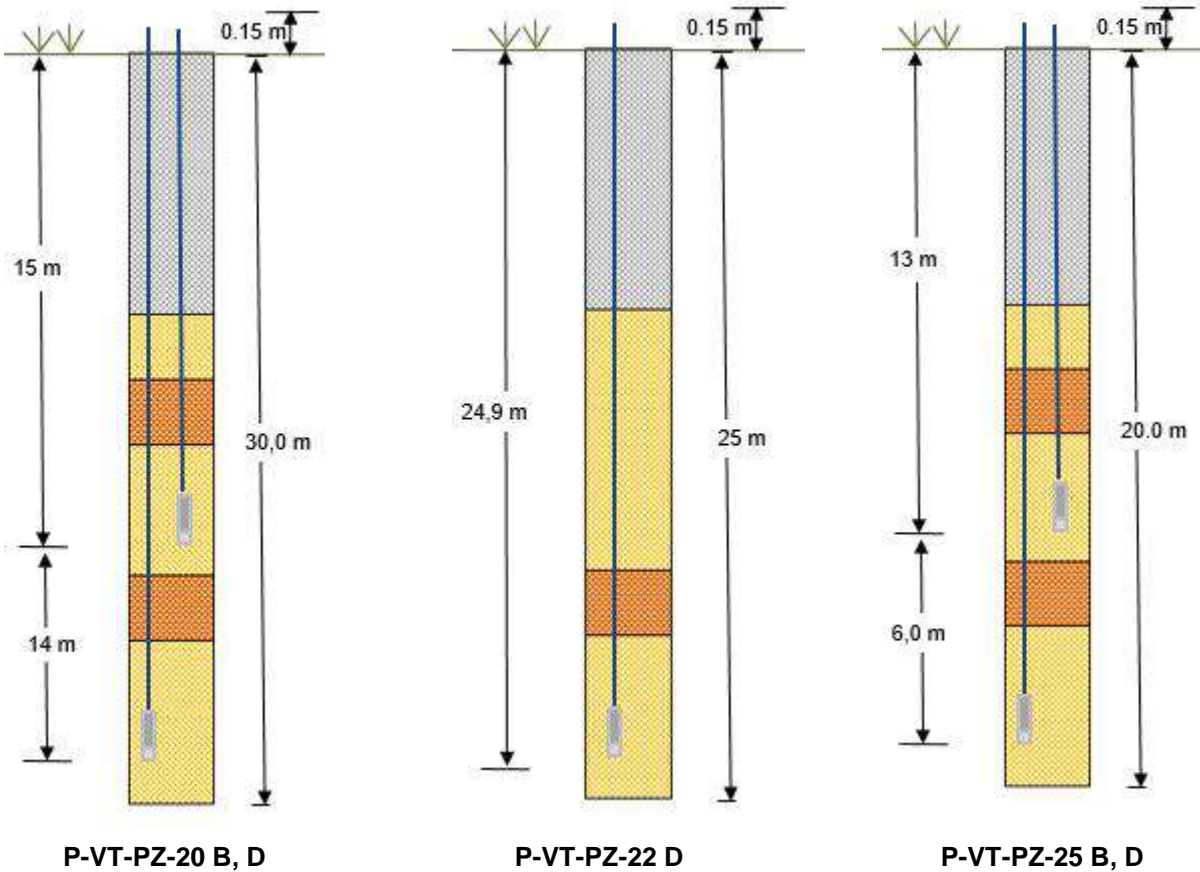


Figura 95. Esquema de localización en profundidad de los piezómetros de hilo vibrátil

Estos equipos registran una lectura que se relaciona directamente con la frecuencia de vibración de un alambre debido a la presión ejercida por el agua en sus alrededores. Esta frecuencia se usa para calcular las presiones de poros o la altura de la lámina de agua por encima de la cota de instalación del equipo o la profundidad del nivel freático o la cota piezométrica. El cálculo de la presión de poros con base en la frecuencia de vibración del alambre se hace por medio de ecuaciones de calibración suministradas por el fabricante.

Se debe entender entonces a la cota piezométrica como la suma de la cabeza de posición, es decir, la cota de instalación con respecto al nivel del mar (z) y la cabeza de presión, es decir, la presión de poros dividida por el peso unitario del agua (μ/γ_w):

$$H = z + \frac{u}{\gamma_w}$$

De estos equipos se vienen haciendo lecturas continuas de las presiones de poros, valores con base en los cuales se calculan las correspondientes cotas piezométricas. En los siguientes tres numerales se presentan y discuten las gráficas de variación de dichas cotas piezométricas con el tiempo para cada uno de estos piezómetros. En cada una de estas gráficas, las líneas continuas corresponden a la cota de instalación del equipo y las líneas discontinuas corresponden a las cotas piezométricas. La cabeza de presión es entonces la diferencia entre la cota de instalación y la cotas piezométrica.

En el Anexo 10 se presenta la carta de calibración, el acta de verificación de la calibración y el acta de instalación, de cada uno de los piezómetros instalados en el Polígono Villa Turbay.

8.6.1 Piezómetros P-VT-PZ-20B y P-VT-PZ-20D

La Figura 96 presenta los registros obtenidos con los Piezómetros P-VT-PZ-20B y P-VT-PZ-20D, mostrándose además la estratigrafía correspondiente a la perforación dentro de la cual fue instalado el equipo. Se puede observar que los piezómetros fueron instalados en profundidad, en el Horizonte IC de Batolito Antioqueño.

Con respecto al sondeo en que fue instalado este equipo, la Perforación P-VT-PR-20, vale la pena destacar el hecho de que no fue detectado nivel freático. Con base en los registros obtenidos hasta el momento, se puede establecer que efectivamente no se tiene un nivel freático. Los dos equipos registran cabezas de presión muy bajas a nulas que dan cuenta de que no existe realmente un nivel de aguas subterráneas establecido en los alrededores de este sondeo.

8.6.2 Piezómetro P-VT-PZ-22D

La Figura 97 presenta los registros obtenidos con el Piezómetros P-VT-PZ-22D, mostrándose además la estratigrafía correspondiente a la perforación dentro de la cual fue instalado el equipo. Se puede observar que el Piezómetro fue instalado en profundidad, en el Horizonte IC de Batolito Antioqueño.

Con respecto al sondeo en que fue instalado este equipo, la Perforación P-VT-PZ-22D, vale la pena destacar el hecho de que no fue detectado nivel freático. Con base en los registros obtenidos hasta el momento, se puede establecer que efectivamente no se tiene un nivel freático. El equipo registra cabezas de presión muy bajas a nulas que dan cuenta de que no existe realmente un nivel de aguas subterráneas establecido en los alrededores de este sondeo.

8.6.3 Piezómetros P-VT-PZ-24B y P-VT-PZ-24D

La Figura 98 presenta los registros obtenidos con los Piezómetros P-VT-PZ-24B y P-VT-PZ-24D, mostrándose además la estratigrafía correspondiente a la perforación dentro de la cual fue instalado el equipo. Se puede observar que el piezómetro P-VT-PZ-24B se instaló superficial, en el Horizonte IC de Dunitas de Medellín, mientras que el P-VT-PZ-24D fue instalado profundo, en el Horizonte IC de Batolito Antioqueño.

Con respecto al sondeo en que fue instalado este equipo, la Perforación P-VT-PR-24, vale la pena destacar el hecho de que el nivel freático fue detectado a 7 m de profundidad. Con base en los registros obtenidos, se puede establecer que el Piezómetro P-VT-PZ-24B establece un nivel de aguas subterráneo en la cota promedio 1738.3 msnm, a 9.7 m de profundidad en el Horizonte IC de Dunitas de Medellín. Este se considera un nivel freático local.

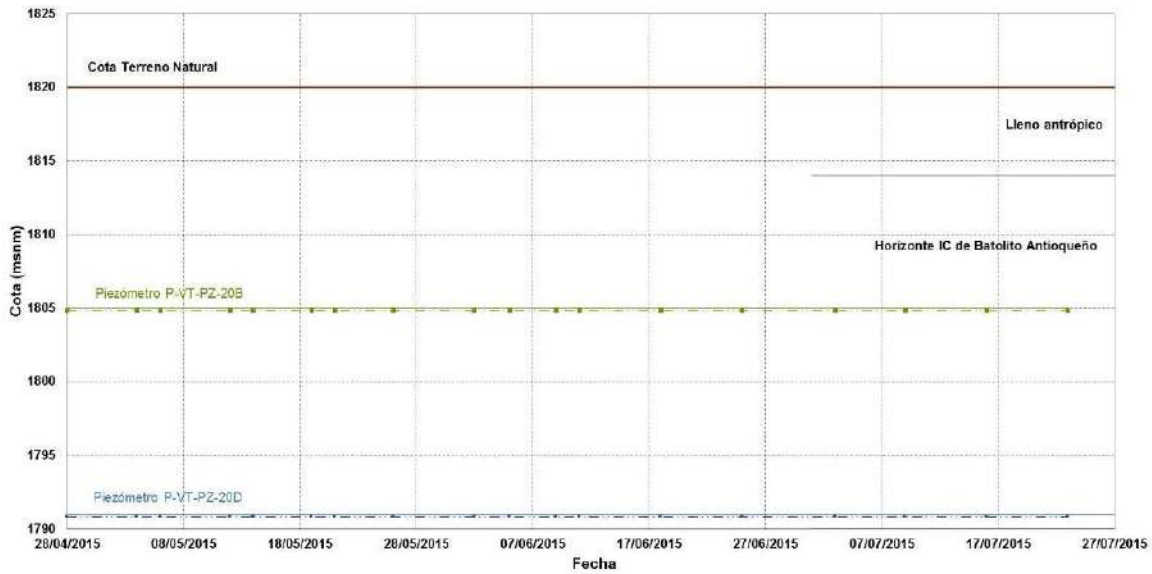


Figura 96. Cotras piezométricas en Piezómetros P-VT-PZ-20B y P-VT-PZ-20D

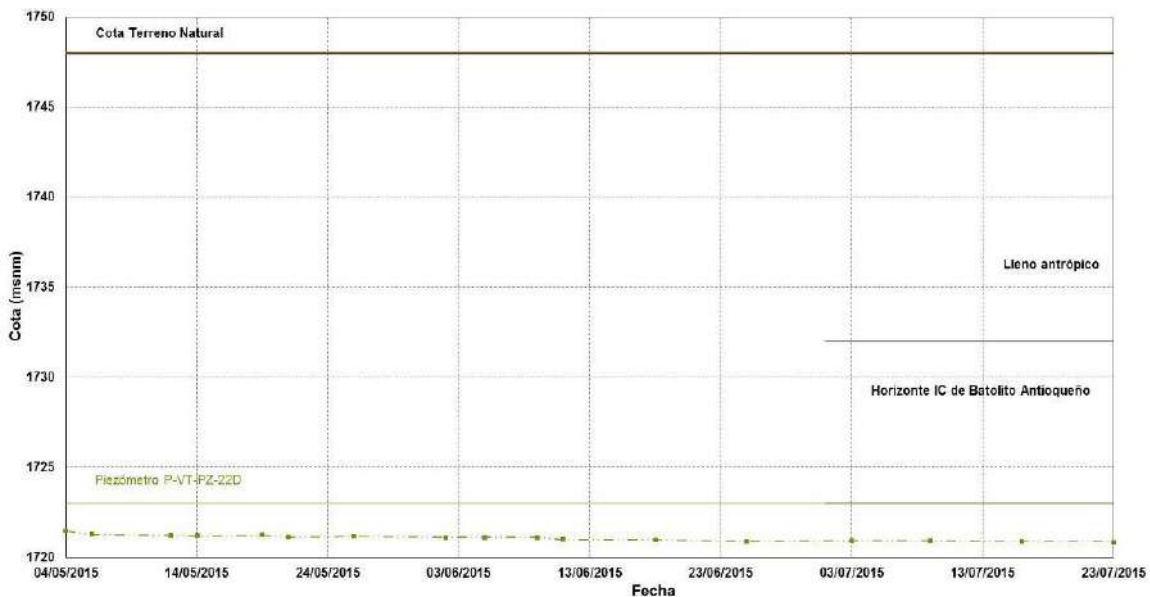


Figura 97. Cotas piezométricas en Piezómetros P-VT-PZ-22D

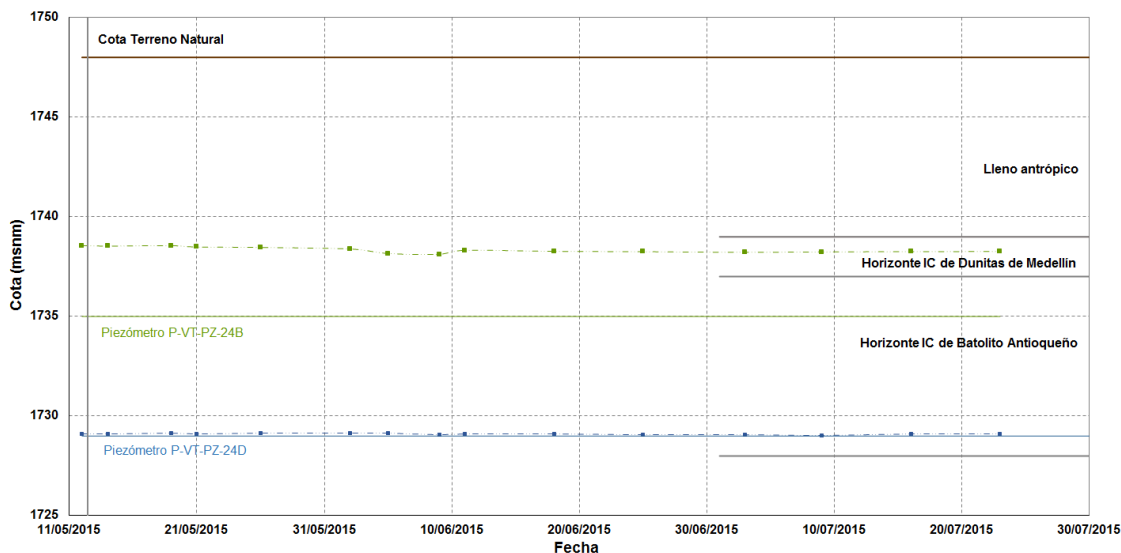


Figura 98. Cotas piezométricas en Piezómetros P-VT-PZ-24B y P-VT-PZ-24D

8.6.4 Análisis de la instrumentación en función del modelo propuesto

El modelo hidrogeológico propuesto, ha citado dos tipos de flujo. En primer lugar, el flujo local cuyo nivel de base está dado por las vaguadas de los valles, siendo este el caso de las cuencas de la Quebrada La Mica y El Sapero. A su vez, las divisiones fisiográficas mayores dan lugar a un flujo a escala regional que circula por debajo de las celdas locales que en este caso corresponden al flujo que se establece entre el Altiplano de Rionegro y el Valle de Aburrá.

La instrumentación instalada en la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay, limitada por el número de perforaciones que fue posible ejecutar, muestran que específicamente con el Piezómetro P-VT-PZ-24B fue posible interceptar el flujo local, ubicado en sus alrededores en la cota 1738.3 msnm. Con los demás piezómetros no fue posible interceptar el flujo regional ni local.

Las condiciones de flujo del agua subterránea en el Polígono Villa Turbay pueden ser esquematizadas en la red de flujo que se presenta en la Figura 99.

Las líneas equipotenciales fueron definidas a partir las líneas de drenaje superficial con corrientes permanentes (Quebradas La Mica, La Mica 1 y El Sapero) bajo la suposición razonable de que ellas corresponden a la intersección del nivel freático con la superficie del terreno. Ellas siguen de manera aproximada la topografía del terreno. Las líneas de flujo, a su vez, fueron trazadas ortogonalmente a las líneas equipotenciales, con las líneas de drenaje de las corrientes permanentes utilizadas como control físico para su trazado geométrico.

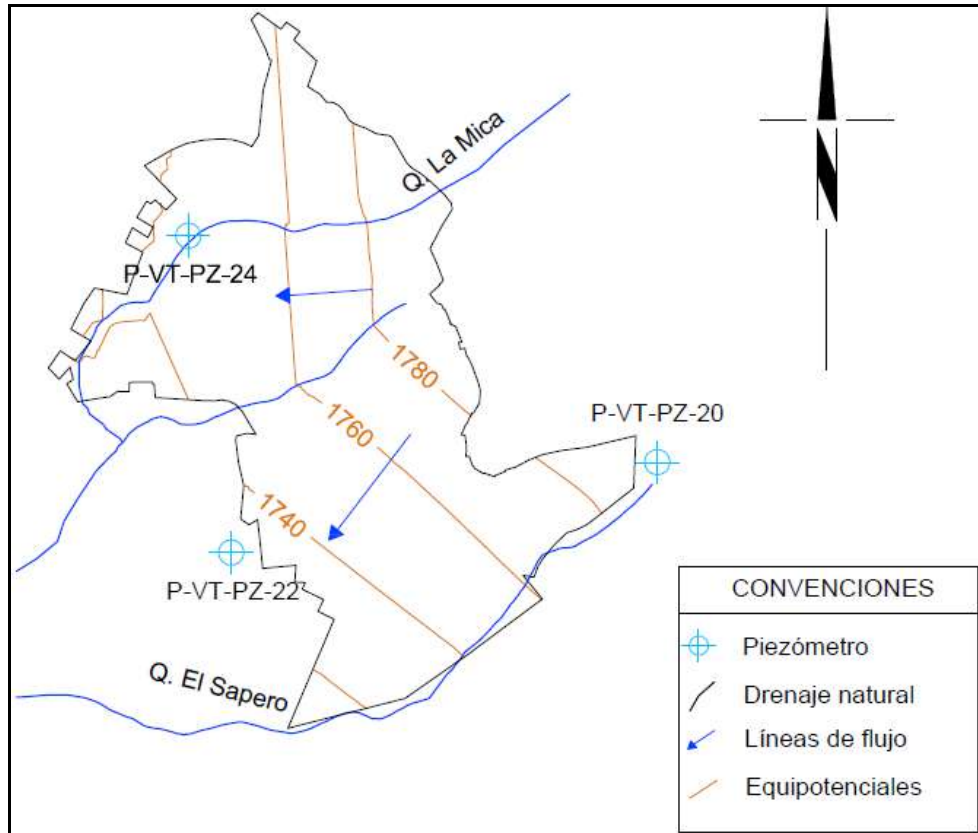


Figura 99. Líneas equipotenciales y de flujo local para el Polígono Villa Turbay

8.7 AMENAZA POR MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL

Algunos movimientos en masa en laderas de alta montaña, pueden ser explicados como un proceso de falla progresiva en razón de las condiciones hidrogeológicas particulares del medio en el que el regolito limoso de baja permeabilidad constituye el sello o acuícludo del acuífero confinado formado por el basamento rocoso. La presión hidrostática en el techo del basamento puede alcanzar una magnitud capaz de fracturar el manto de regolito, lo que inicia un proceso de falla progresiva.

Los análisis de estabilidad de taludes y laderas se basan en modelos en los que se hace un balance de fuerzas/momentos motores versus fuerzas/momentos resistentes. Cualquier elemento externo (sobrecargas, cargas dinámicas, estructuras de contención, elementos de refuerzo, etc.) es integrado al sistema que queda reducido a un sistema cerrado cuyo equilibrio es calculado en forma iterativa.

La presión artesiana en las laderas de alta montaña ha sido una variable pasada por alto en el análisis de estabilidad de taludes y laderas. Los esfuerzos asociados a la presión artesiana en la base del manto del suelo que suprayace el macizo rocoso fracturado en

las laderas de alta montaña es un elemento externo que bien puede explicar algunos movimientos de masa. Un incremento excepcional de dicha presión o la disminución de la carga del regolito sobre el macizo rocoso debido al efecto de la erosión secular o a cortes del terreno, pueden dar lugar al desequilibrio de fuerzas que dé lugar a la ruptura desencadenando un proceso de movimiento de masa.

En las laderas de alta pendiente, donde el regolito limoso constituye el sello impermeable sobre el acuífero confinado del basamento rocoso, debe considerarse una condición adicional de estabilidad: la resistencia mecánica del sello impermeable debe ser mayor que la fuerza asociada a la presión hidrostática en el techo del acuífero. Esta es una condición necesaria de estabilidad. Cuando la resistencia mecánica del sello impermeable sea menor que la fuerza asociada a la presión hidrostática en el techo del acuífero habrá lugar para que se rompa el sello y se inicie un proceso de falla progresiva (Hoyos, 1990, 1992, 2006).

A partir de estas consideraciones, puede proponerse como mecanismo de falla un proceso falla progresiva (Skempton, 1964) que puede presentarse donde un manto de regolito con baja permeabilidad suprayace al basamento rocoso, de manera que este constituye un acuífero confinado en cuyo techo el agua puede encontrarse a presión mayor que la presión atmosférica. El mecanismo de falla es ilustrado en Figura 100 y en la Figura 101. Dicho mecanismo puede ser descrito en términos de los eventos enumerados y descritos a continuación:

- ✓ Disminución del espesor del regolito hasta el punto en que la resistencia del manto de regolito es menor que la fuerza generada por la presión hidrostática en el techo del acuífero.
- ✓ Aumento del nivel piezométrico hasta el punto en que la resistencia del manto de regolito es menor que la fuerza generada por la presión hidrostática en el techo del acuífero.
- ✓ El manto de regolito, sometido a tensión, sufre una primera fractura o conjunto de fracturas que pueden permitir el drenaje de agua desde el acuífero hasta superficie.
- ✓ La fractura inicial constituye una zona de debilidad a partir de la cual se inicia un proceso de falla progresiva (Skempton, 1964).
- ✓ Colapso de la masa de suelo. La geometría de la superficie de deslizamiento puede ser esferoidal, poliédrica o en cuña, dependiendo de las condiciones particulares del terreno.



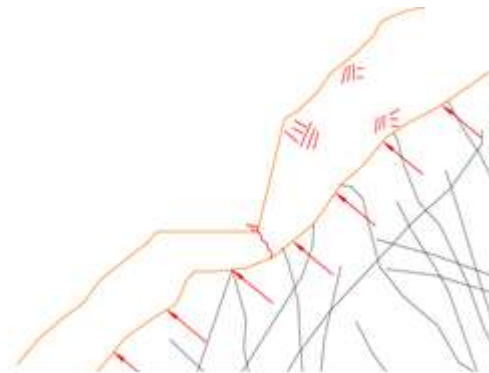
Condición de equilibrio

La resistencia del manto de regolito es mayor que la fuerza asociada a la presión hidrostática en el techo del basamento rocoso



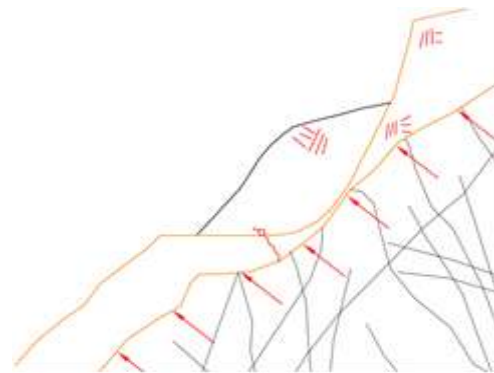
Cambio en las condiciones de equilibrio

Un corte en el manto de regolito, o el incremento de la presión hidrostática, o ambas, cambian la relación entre la resistencia del regolito y la fuerza asociada a la presión hidrostática en el techo del basamento rocoso



Condición inicial de falla progresiva

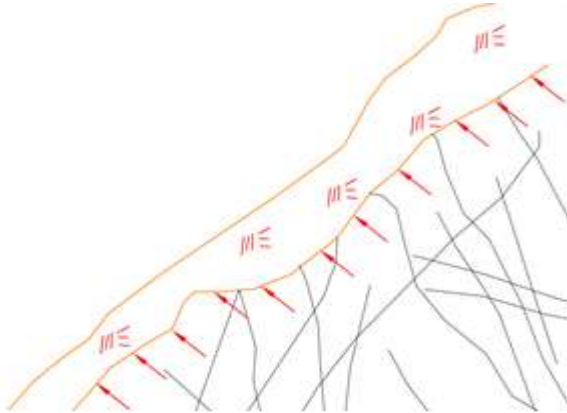
Rotura del manto de regolito por acción de la fuerza asociada a la presión hidrostática en el techo del basamento rocoso



Colapso de la masa de regolito

Finalmente el material que ha sufrido rotura colapsa

Figura 100. Representación esquemática del mecanismo de falla propuesto con intervención antrópica



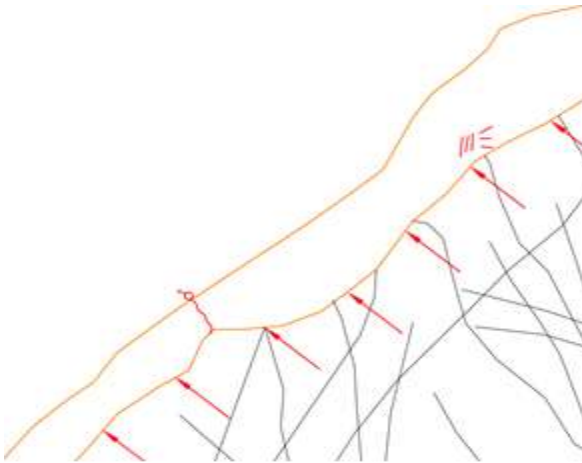
Condición de equilibrio

La resistencia del manto de regolito es mayor que la fuerza asociada a la presión hidrostática en el techo del basamento rocoso



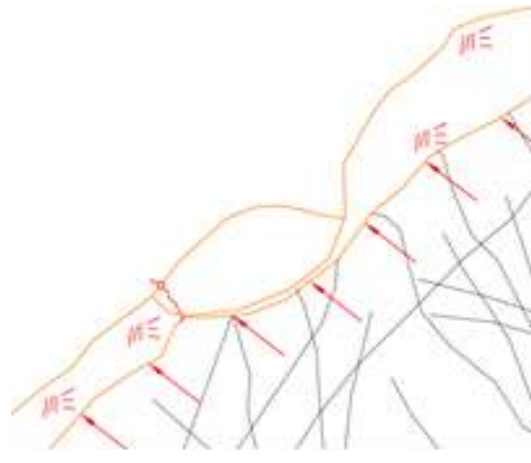
Cambio en las condiciones de equilibrio

Una disminución del espesor del manto de regolito por erosión secular, o el incremento de la presión hidrostática, o ambas, cambian la relación entre la resistencia del regolito y la fuerza asociada a la presión hidrostática en el techo del basamento rocoso



Condición inicial de falla progresiva

Rotura del manto de regolito por acción de la fuerza asociada a la presión hidrostática en el techo del basamento rocoso





Colapso de la masa de regolito

Finalmente el material que ha sufrido rotura colapsa

Figura 101. Representación esquemática del mecanismo de falla propuesto sin intervención antrópica

En el caso de la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay, la amenaza por deslizamientos producto del modelo hidrogeológico propuesto se descarta. Esto, principalmente porque las presiones generadas por el flujo subterráneo que se pueden esperar, comparada con la de la carga que representa el regolito, son bajas a nulas. Aunque se descarta la

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

amenaza por deslizamientos producto del modelo hidrogeológico propuesto, se considera necesario continuar con el monitoreo de los piezómetros instalados en la zona de estudio. Es importante determinar si ascienden los niveles freáticos regionales en temporadas lluviosas.

9. ASPECTOS SÍSMICOS

La Figura 102 presenta el mapa de zonas homogéneas de la Microzonificación Sísmica de Medellín y sobre este se han superpuesto los respectivos polígonos del proyecto Barrios Sostenibles, destacándose en este caso en particular el Polígono Villa Turbay.

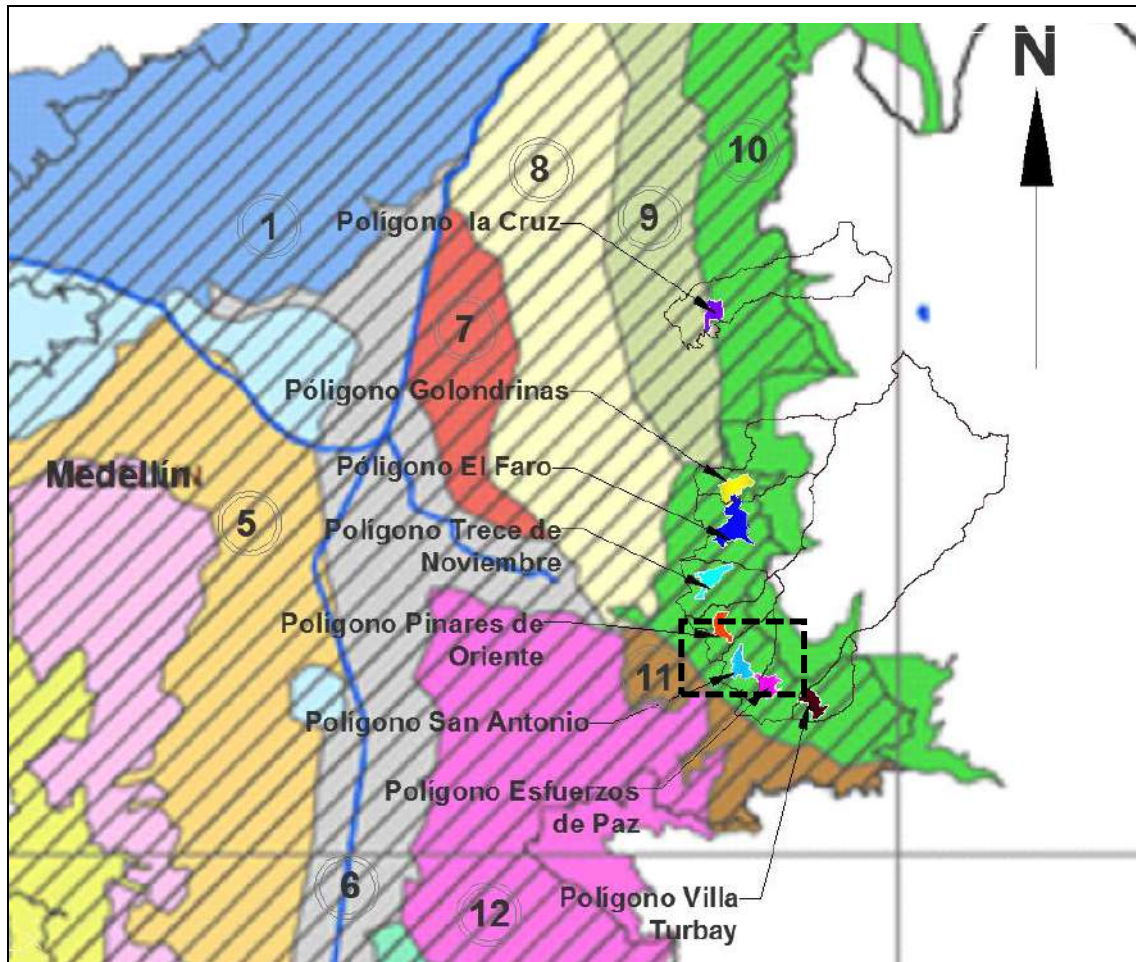




Figura 102. Localización de los polígonos dentro de las zonas homogéneas (Microzonificación Sísmica del Área Urbana de Medellín, 1999)

Se puede observar que desde el punto de vista de la sismica, los Polígonos El Faro, Golondrinas, Trece de Noviembre, Pinares de Oriente, San Antonio, Esfuerzos de Paz y Villa Turbay con sus respectivas UMI, que hacen parte del proyecto de Barrios Sostenibles y que son objeto de estudio, se encuentran localizados según la Microzonificación Sísmica del Área Urbana de Medellín (MZSM, 1999) sobre la Zona Homogénea 10, la cual corresponde a los suelos residuales de las Dunitas de la parte alta.

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

El Polígono La Cruz, que también hace parte del proyecto de Barrios Sostenibles, se encuentra ubicado entre las Zonas Homogéneas 9 y 10. Según la MZSM (1999), la Zona Homogénea 9 corresponde a los suelos residuales de la anfibolita y según la geología local del Polígono, las unidades geológicas encontradas corresponden a los horizontes de meteorización de las Dunitas de Medellín, por lo tanto, en el Polígono La Cruz prevalece la Zona Homogénea 10.



El Polígono Villa Turbay, objeto principal del estudio presentado en este informe, se encuentra en su totalidad dentro de la denominada Zona Homogénea 10. Esta zona homogénea limita al norte con el municipio de Bello al occidente con las Zonas Homogéneas 8 y 9, al sur con la Quebrada Santa Elena, y al oriente con la frontera urbana de la ciudad de Medellín.

La Zona Homogénea 10 cubre en el sector de la Comuna 1 (Popular) los Barrios La Avanzada, parte de Santo Domingo Savio No. 1 y No. 2, La Esperanza No.2, Carpinelo, Aldea Pablo VI, El Compromiso y parte de Granizal. En el sector de la Comuna 3 (Manrique) los Barrios San José La Cima No. 1 y No. 2, María Cano Carambola, Bello Oriente, La Cruz, Versalles No. 2. Finalmente, en el sector de la Comuna 8 (Villa Hermosa) los barrios Llanaditas, Los Mangos, El Pinal, Trece de Noviembre, La Libertad, Pinares de Oriente, Villa Tina, San Antonio, Esfuerzos de Paz, Villa Turbay, Villa Liliam, Santa Lucía, Las Estancias y parte del Batallón Girardot, La Ladera y Sucre.

Para la Microzonificación Sísmica del Área Urbana de Medellín en su descripción de las Zonas Homogéneas, los terrenos de la Zona Homogénea 10 están constituidos predominantemente por Dunitas muy fracturadas debido a efectos tectónicos como se describió previamente en los aspectos geológicos locales (Capítulo), las cuales aparecen cubiertas en forma local por depósitos coluviales. En estos terrenos predominan los afloramientos de carácter rocoso como consecuencia del lavado por escorrentía de las capas de suelo, proceso favorecido por la fuerte pendiente y el escaso espesor o desarrollo de los mismos. Los suelos residuales de las Dunitas se presentan en sectores localizados de relieve suave.

En las vertientes modeladas sobre las Dunitas, caracterizadas por sus declives entre empinados y escarpados, se presentan formas típicas del relieve de la zona que corresponden a lomos o narices topográficas de extensión variable con topes desde suaves y redondeados hasta casi planos, flanqueados por laderas empinadas. Estos aparecen a manera de peldaños o escalones colgados sobre estas vertientes.

En el Numeral 4.2 se presentan los perfiles geológico-geotécnicos generales determinados con base en la exploración disponible para la zona de estudio y el reconocimiento de campo. En la UMI en estudio, las unidades geológicas predominantes corresponden a los horizontes de meteorización de las Dunitas de Medellín (JKuM), de los cuerpos asociados al Batolito Antioqueño (KcdA) y de las Anfibolitas de Medellín (TRaM). Todas estas unidades son suprayacidas por cenizas volcánicas remobilizadas y/o in situ (Qcv), depósitos aluviotorrenciales (Qalt), depósito de talus (Qt) y depósitos de flujo de

 edu [®] Empresa de Desarrollo Urbano	SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA “ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN” INFORME POLIGONO VILLA TURBAY	 edu [®] Empresa de Desarrollo Urbano
--	---	--

lodos y/o escombros (Qfl/e). Además se presentan llenos antrópicos (Qll) asociados a las construcciones generadas por la expansión urbana.

La Tabla 26 presenta los perfiles típicos que caracterizan la Zona Homogénea 10 según la Microzonificación Sísmica del Área Urbana de Medellín (1999). Así las cosas, se puede establecer que el perfil geológico general de la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay se puede asociar principalmente con el denominado Perfil 2 de la Microzonificación Sísmica.

Tabla 26. Perfiles de suelo típicos característicos de la Zona Homogénea 10

Perfil	Materiales	Sigla	Espesores (m)
1	Depósitos coluviales	Qc	0 – 15
	Flujos de lodos y/o escombros frescos	Qff	0 – 30
	Dunitas de Medellín	KuM - SuM	10 – 30
2	Depósitos coluviales	Qc	5
	Flujos de lodos y/o escombros frescos	Qff	5
	Stock de las Estancias	KcE - ScE	20
3	Dunitas de Medellín	SuM	5
	Dunitas de Medellín	KuM	51
	Anfibolitas Margen Derecha	KaM	-
4	Depósitos Coluviales	Qc	10
	Dunitas de Medellín	SuM – KuM	22
	Anfibolitas margen Derecha	KaM	-

Teniendo en cuenta lo anterior, las construcciones y edificaciones de cualquier índole que se levanten sobre la Zona Homogénea 10, deberán considerar para tal efecto el espectro para los sismos de servicio (fracción de amortiguamiento crítico del 2%) y de diseño (fracción de amortiguamiento crítico del 5%), de acuerdo con el espectro generalizado.

El coeficiente espectral para la Zona Homogénea 10 para el sismo de diseño corresponde a 0.38g la aceleración de la gravedad el cual corresponde a un sismo de diseño para periodo de retorno de 475 años (Tabla 27).

Tabla 27. Coeficientes espectrales para los sismos de control de daño y diseños

Zona Homogénea	Sismo de control de daños						Sismo de diseño					
	a_{Smax}	F_a	S_{amax}/l	T_0	T_c	α	a_{Smax}	F_a	S_{amax}/l	T_0	T_c	α
1	0.05	4.50	0.23	0.10	0.50	1.43	0.27	2.60	0.70	0.10	0.60	1.34
2	0.08	2.80	0.22	0.10	0.30	1.17	0.34	2.35	0.80	0.10	0.40	1.17
3	0.07	3.57	0.25	0.10	0.50	1.48	0.30	2.66	0.80	0.20	0.70	1.52
4	0.05	3.60	0.18	0.10	0.60	1.46	0.23	2.17	0.50	0.10	0.65	1.22
5	0.06	3.66	0.22	0.10	0.50	1.42	0.20	3.00	0.60	0.10	0.60	1.26
6	0.05	2.81	0.14	0.10	0.40	1.11	0.20	2.50	0.50	0.10	0.50	1.07
7	0.06	3.66	0.22	0.10	0.50	1.42	0.20	3.00	0.60	0.10	0.60	1.26
8	0.08	2.25	0.18	0.10	0.65	1.52	0.23	2.40	0.55	0.10	0.75	1.37
9	0.06	3.75	0.23	0.10	0.40	1.31	0.26	2.70	0.70	0.10	0.55	1.28
10	0.09	2.78	0.25	0.10	0.40	1.35	0.38	2.10	0.80	0.10	0.50	1.29
11	0.06	3.75	0.23	0.10	0.50	1.43	0.26	2.88	0.75	0.10	0.65	1.43
12	0.06	4.16	0.25	0.10	0.65	1.67	0.26	3.07	0.80	0.15	0.70	1.52
13	0.06	4.16	0.25	0.10	0.40	1.35	0.26	3.07	0.80	0.10	0.50	1.29
14	0.05	2.81	0.14	0.10	0.50	1.23	0.20	3.00	0.60	0.10	0.55	1.21

No obstante, la magnitud del coeficiente establecido es alto, por lo que se recurrirá a trabajar con magnitudes de este coeficiente no menores a 2/3, equivalente a un coeficiente espectral de 0.25g.

10. ASPECTOS GEOTÉCNICOS

10.1 SONDEOS EXPLORATORIOS

Para la caracterización de los materiales presentes en el área de estudio, se ejecutaron sondeos profundos y líneas geofísicas, los cuales fueron localizados en función del modelo geológico-geotécnico que debía determinarse. Se tuvo en cuenta además la ubicación de los sondeos existentes en los estudios recopilados.

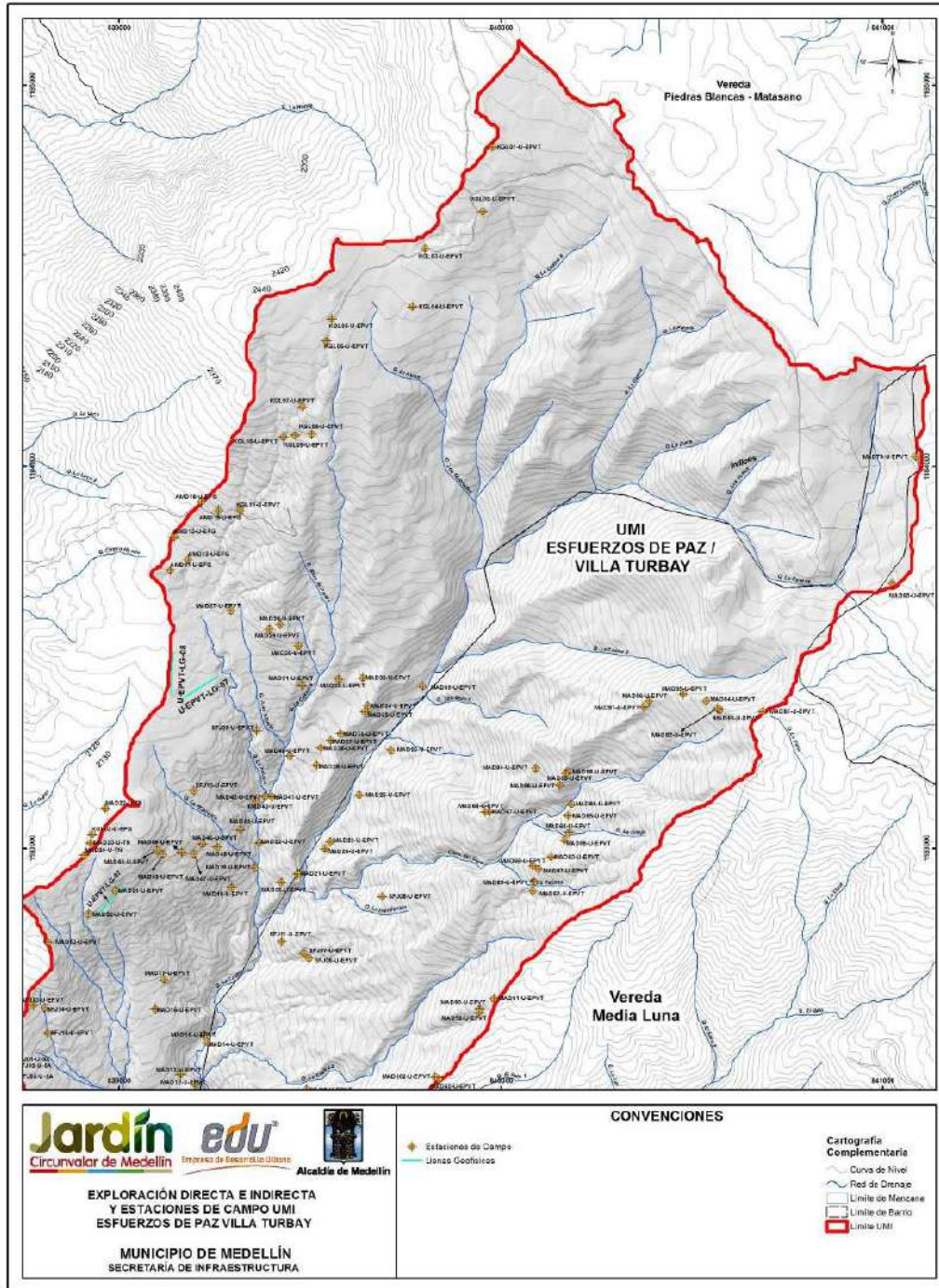
El Mapa 23 presenta la localización de la exploración considerada para la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay y el Mapa 24 muestra la ejecutada específicamente para el Polígono Villa Turbay. Se pueden observar los sondeos tanto de tipo directo (perforaciones) como indirecto (líneas de geofísica), que en conjunto conforman un sistema de exploración que cubre ampliamente la zona de estudio a nivel local y regional.

10.1.1 Perforaciones

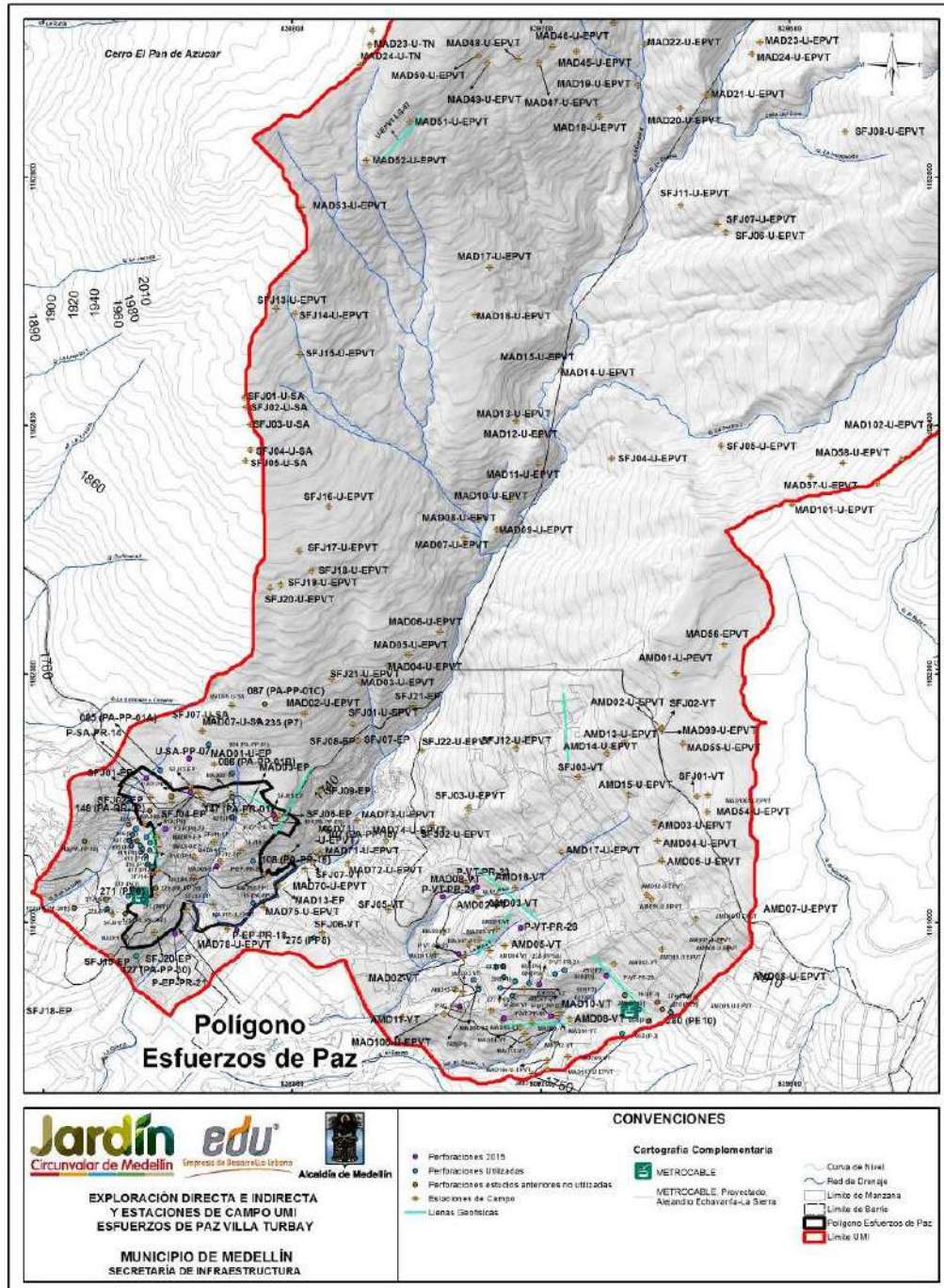
En la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay se realizaron en total trece perforaciones a rotación, siete dentro del Polígono Villa Turbay correspondientes a las Perforaciones P-VT-PR-20, P-VT-PR-21, P-VT-PR-22, P-VT-PR-23, P-VT-PR-24, P-VT-PR-25 y P-VT-PR-26, y seis dentro del polígono Esfuerzos de Paz correspondientes a las Perforaciones P-EP-PR-17, P-EP-PR-18, P-EP-PR-19, P-EP-PR-20, P-EP-PR-21 y P-EP-PR-22. Además se realizaron cuatro perforaciones a percusión denominadas P-VT-PP-01, P-VT-PP-02, U-EP-PP-02 y U-EP-PP-03 (Mapa 23).

Para la caracterización de los materiales al interior de esta UMI también fue considerada la información obtenida de treinta y un (31) perforaciones realizadas en estudios anteriores por INCIGAM (2015), DEACIVIL (2014), INTEINSA (2011) y TECNISUELOS-ICC (2010). Las perforaciones correspondientes a cada estudio son presentadas en la Tabla 28. En el Anexo 02 se presenta la descripción detallada de los sondeos realizados por el proyecto y los de estudios anteriores que fueron considerados.

En la Tabla 28 se presenta la profundidad alcanzada, el nivel freático, la cota del terreno y las coordenadas de cada una de las perforaciones tenidas en cuenta en el presente estudio.



**Mapa 23. Localización de la exploración directa e indirecta
 (13_VTBExploracion_Medellin_C y 13_VTBExploracion_Medellin_T)**



Mapa 24. Localización de la exploración directa e indirecta (13A_VTBExploracion_Medellin_C y 13A_VTBExploracion_Medellin_T)

Tabla 28. Exploración geotécnica utilizada en la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay

	Perforación	Prof. (m)	Prof. N.F (m)	Cota Terreno	Coordenada Este	Coordenada Norte
Proyecto (2015)	P-EP-PR-17	20.0	Seco	1766	838770.009	1181773.268
	P-EP-PR-18	25.0	7.0	1682	838710.033	1181587.304
	P-EP-PR-19	20.0	Seco	1763	838636.537	1181808.762
	P-EP-PR-20	20.5	4.0	1721	838678.232	1181690.498
	P-EP-PR-21	25.0	4.0	1674	838611.429	1181582.174
	P-EP-PR-22	20.5	Seco	1742	838595.904	1181750.705
	U-EP-PP-02	13.45	Seco	2166	839116.142	1183484.140
	U-EP-PP-03	9.90	Seco	2120	838902.453	1182956.968
	P-VT-PR-20	20.0	Seco	1816	839304.646	1181514.178
	P-VT-PR-21	20.0	Seco	1804	839196.455	1181500.143
	P-VT-PR-22	25.0	Seco	1755	839068.550	1181464.078
	P-VT-PR-23	20.0	6.0	1770	839097.178	1181657.833
	P-VT-PR-24	20.0	6.0	1747	839041.466	1181641.884
	P-VT-PR-25	14.0	Seco	1750	839066.942	1181549.893
	P-VT-PR-26	25.0	9.0	1790	839166.653	1181591.674
	P-VT-PP-01	9.50	Seco	1766	839140.132	1181445.712
	P-VT-PP-02	8.30	Seco	1766	839215.704	1181449.090
	Inteinsa (2011)	050 (P1)	25.00	Seco	1812	839222.627
051 (P2)		21.20	Seco	1814	839238.175	1181523.043
052 (P3)		24.40	Seco	1804	839330.343	1181421.257

	Perforación	Prof. (m)	Prof. N.F (m)	Cota Terreno	Coordenada Este	Coordenada Norte
Deacivil (2014)	084 (PA-PP-01)	8.45	Seco	1796	838665.469	1181887.022
	085 (PA-PP-01A)	8.45	Seco	1766	838587.303	1181844.908
	086 (PA-PP-01B)	8.45	Seco	1779	838703.515	1181840.082
	108 (PA-PP-16)	7.45	Seco	1721	838736.763	1181699.289
	119 (PA-PP-25)	5.45	4.95	1683	838736.757	1181631.355
	127 (PA-PP-30)	5.45	Seco	1680	838549.171	1181546.562
	147 (PA-PR-01)	25.00	10.0	1761	838703.207	1181801.697
Tecnisuelos-ICC (2010)	270 (PP-6)	15.50	12.0	1704	838502.555	1181622.040
	271 (PE-6)	9.20	Seco	1718	838535.139	1181643.154
	272 (PE-7)	13.45	Seco	1720	838542.237	1181655.315
	273 (PP-7)	15.45	10.0	1718	838559.723	1181637.632
	275 (PP-8)	20.00	Seco	1704	838834.022	1181576.184
	277 (PP-9)	13.45	Seco	1793	839158.237	1181505.799
	278 (PP-9A)	8.45	Seco	1802	839181.321	1181503.164
	279 (PP-10)	13.45	Seco	1820	839357.604	1181460.791
	280 (PE-10)	15.45	Seco	1836	839408.173	1181455.353
Incigam (2015)	405 (P2)	6.50	Seco	1739	838548.970	1181751.426
	406 (P3)	7.50	Seco	1733	838542.723	1181741.165
	407 (P4)	7.50	Seco	1728	838537.897	1181732.589
	409 (P6)	7.50	Seco	1725	838541.259	1181724.380
	410 (P7)	7.50	Seco	1731	838555.213	1181724.409

	Perforación	Prof. (m)	Prof. N.F (m)	Cota Terreno	Coordenada Este	Coordenada Norte
Incigam (2015)	411 (P8)	8.50	Seco	1727	838555.561	1181713.473
	412 (P9)	12.50	Seco	1738	838564.853	1181737.416
	413 (P10)	10.50	Seco	1739	838571.201	1181728.335
	414 (P11)	11.50	Seco	1736	838570.332	1181717.120
	415 (P12)	9.50	Seco	1730	838564.121	1181706.539
	416 (P13)	10.50	Seco	1731	838568.144	1181694.091
	417 (P14)	8.50	Seco	1732	838574.677	1181689.943

De la Figura 103 a la Figura 117 se presentan las gráficas de variación de la resistencia a la penetración estándar con la profundidad para todos los sondeos, a excepción de las perforaciones P-VT-PR-21, P-VT-PR-25 y 147 (PA-PR-01) en las que no se realizó el ensayo de penetración estándar. Adicionalmente, se ha incluido en las figuras la estratigrafía y la profundidad del nivel freático donde fue detectado. Luego de presentadas estas figuras, se hacen algunos comentarios generales de interés sobre la estratigrafía que pudo ser determinada con base en estos sondeos. La descripción efectuada corresponde con la descripción geológica de los materiales presentada antes en este mismo informe.

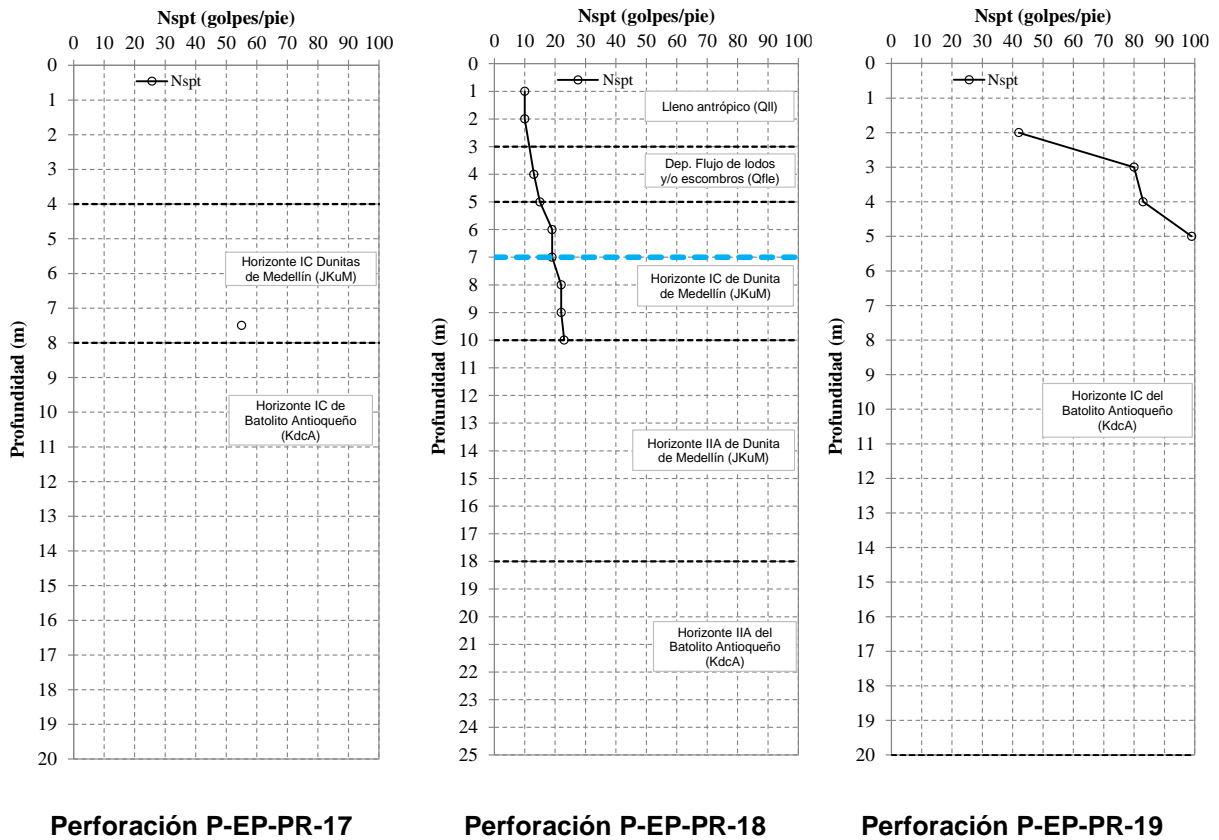
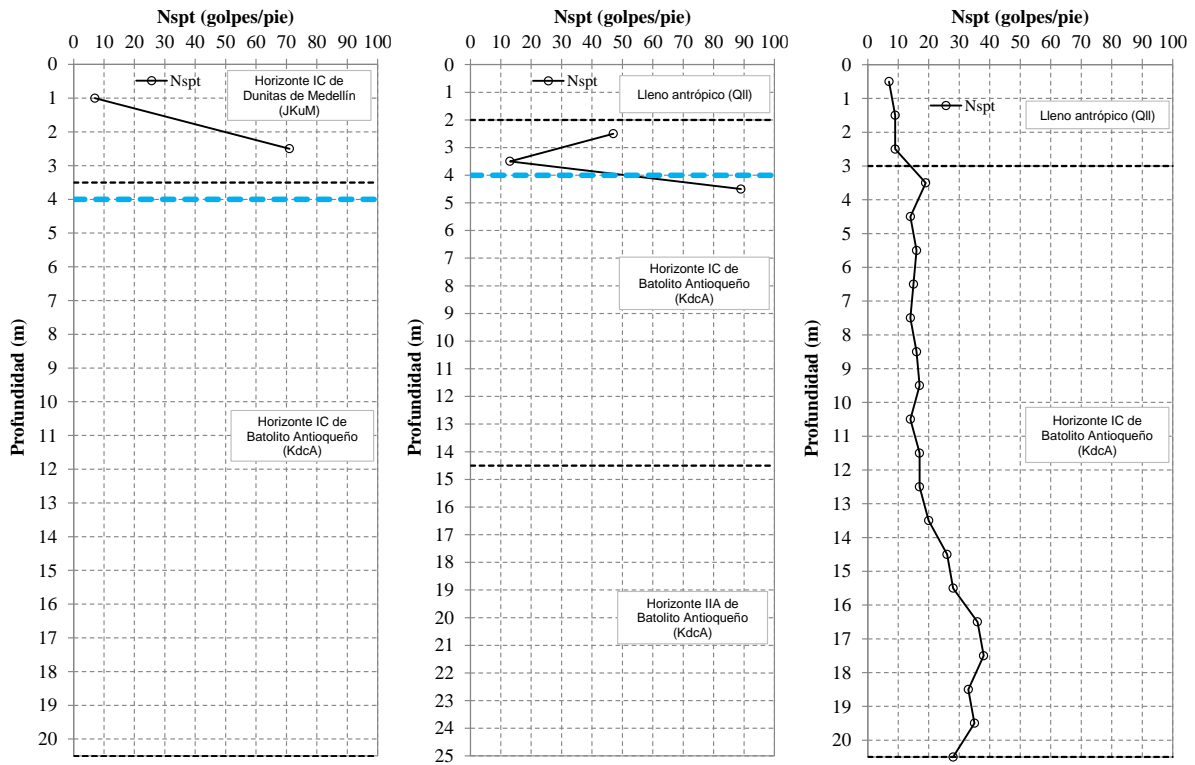


Figura 103. Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay



Perforación P-EP-PR-20

Perforación P-EP-PR-21

Perforación P-EP-PR-22

Figura 104. Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay (Continuación)

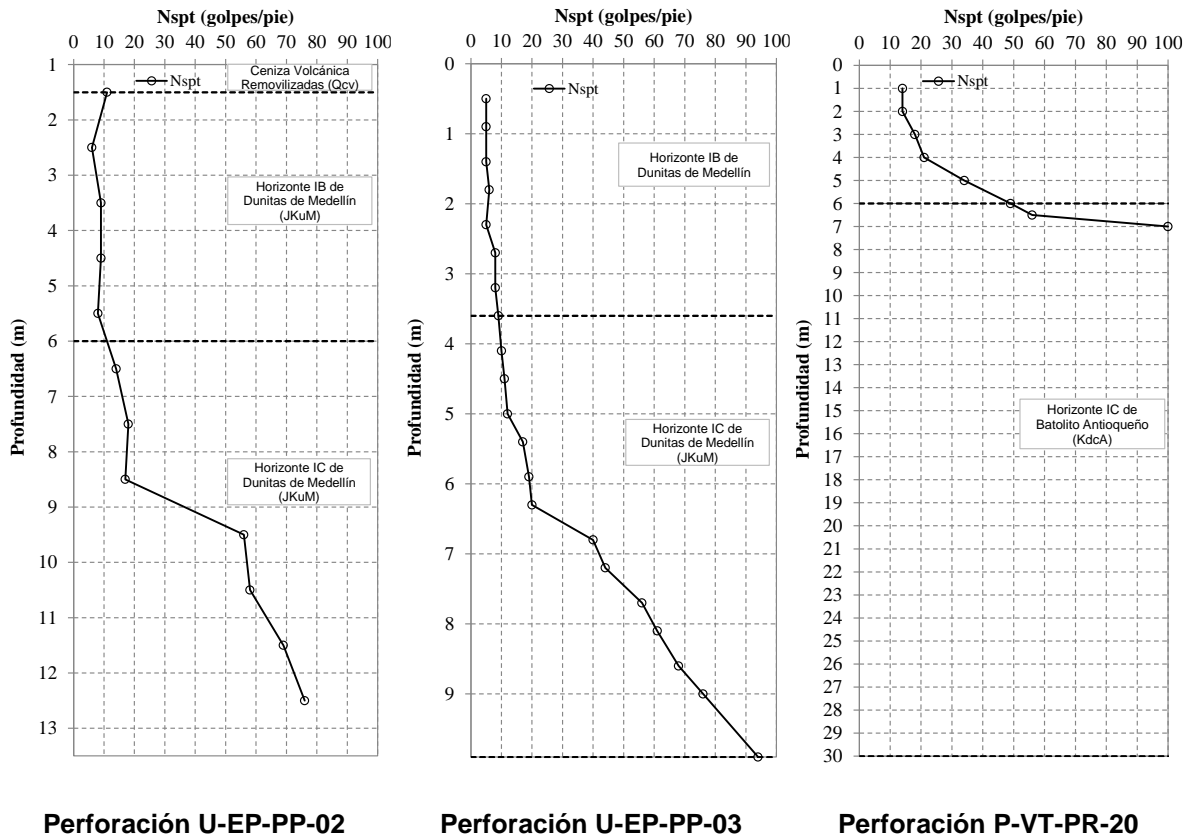
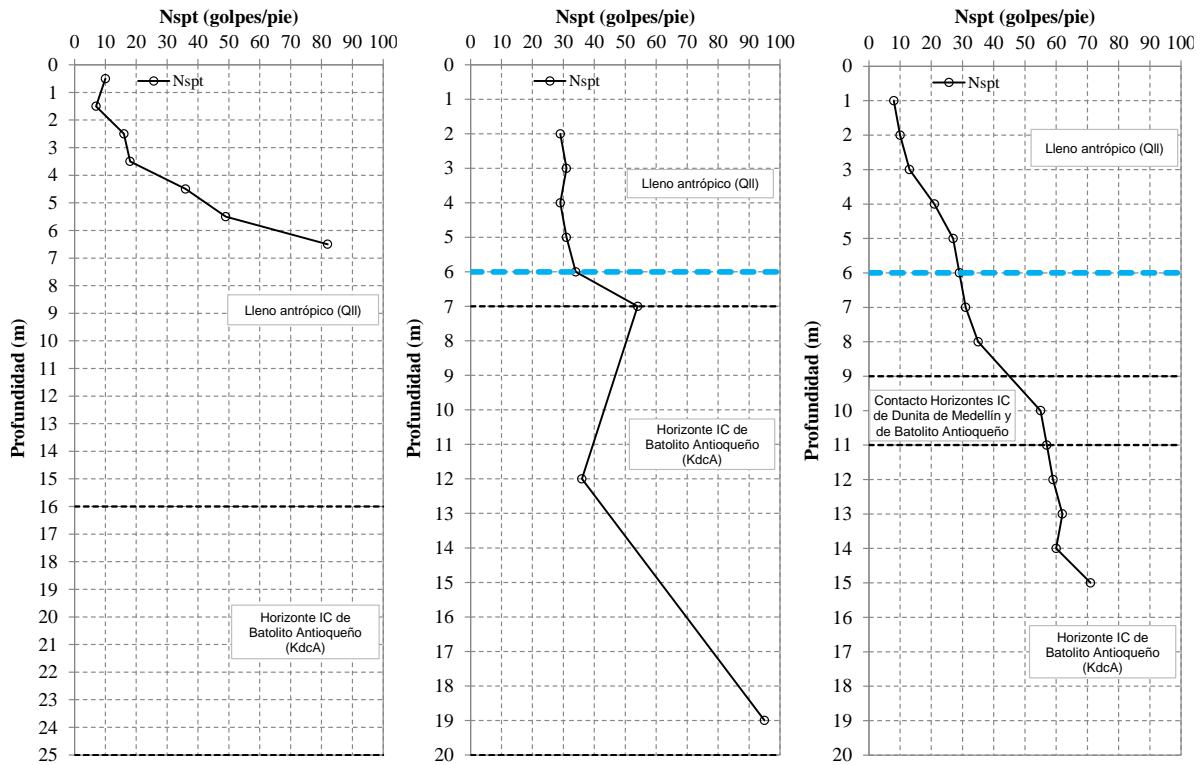


Figura 105. Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay (Continuación)



Perforación P-VT-PR-22

Perforación P-VT-PR-23

Perforación P-VT-PR-24

Figura 106. Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay (Continuación)

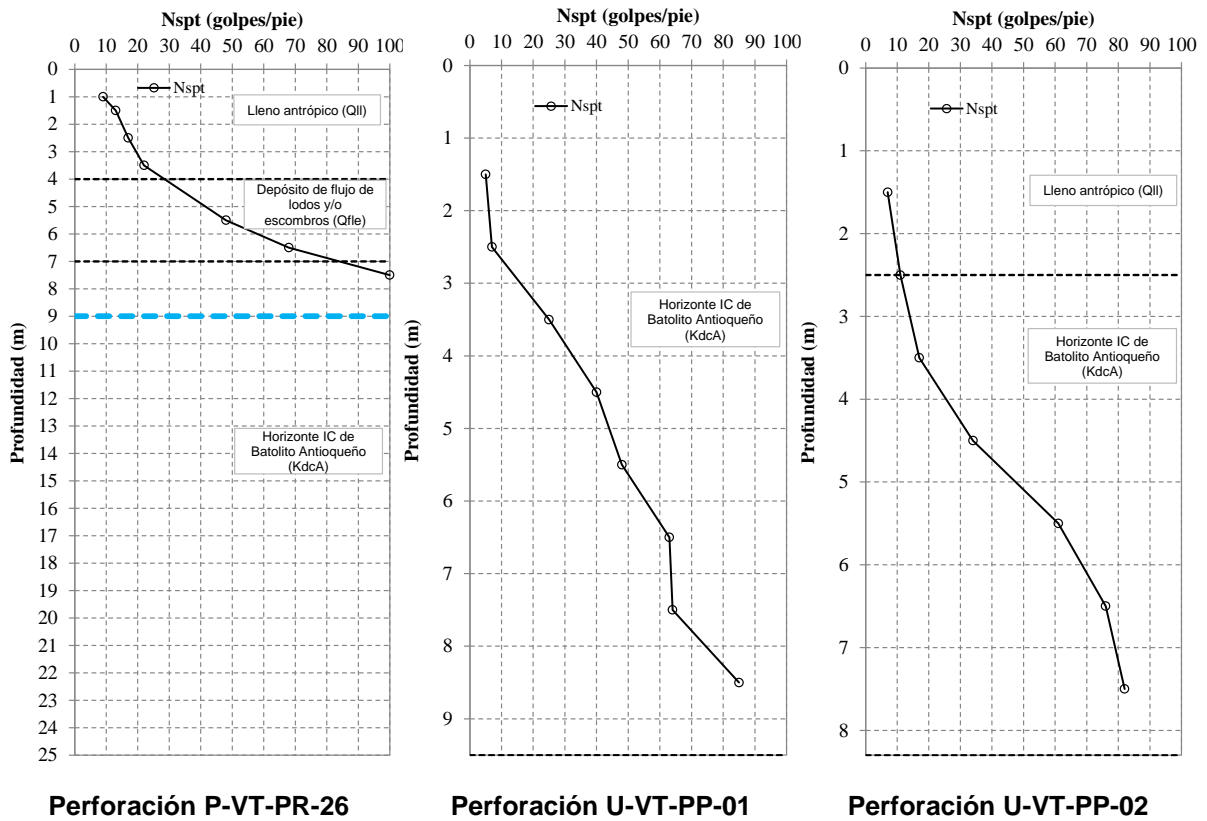


Figura 107. Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay (Continuación)

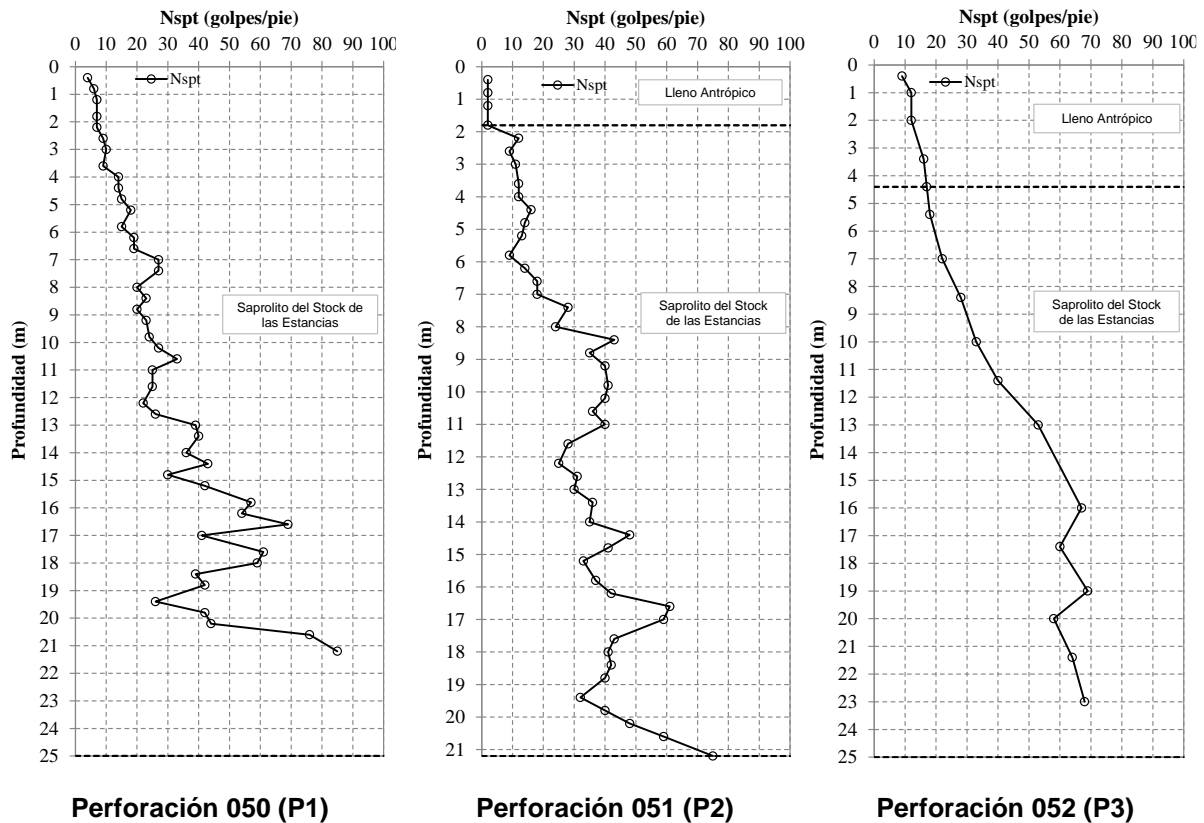
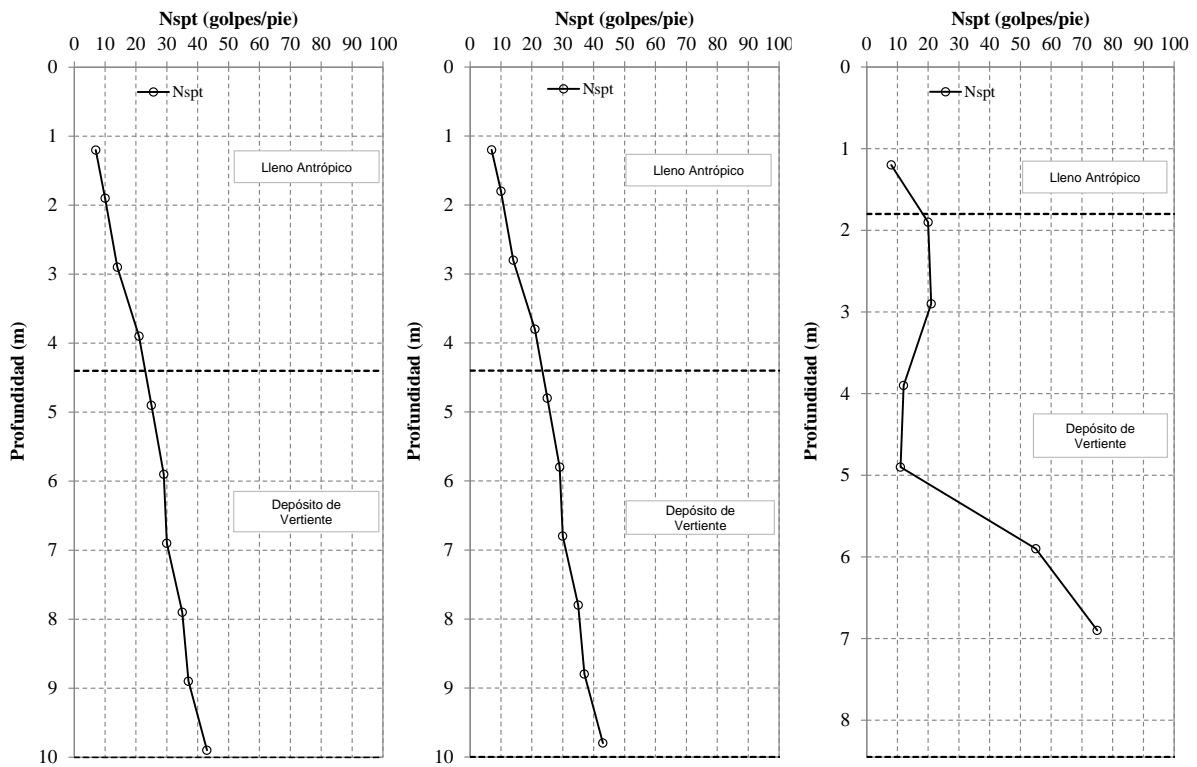
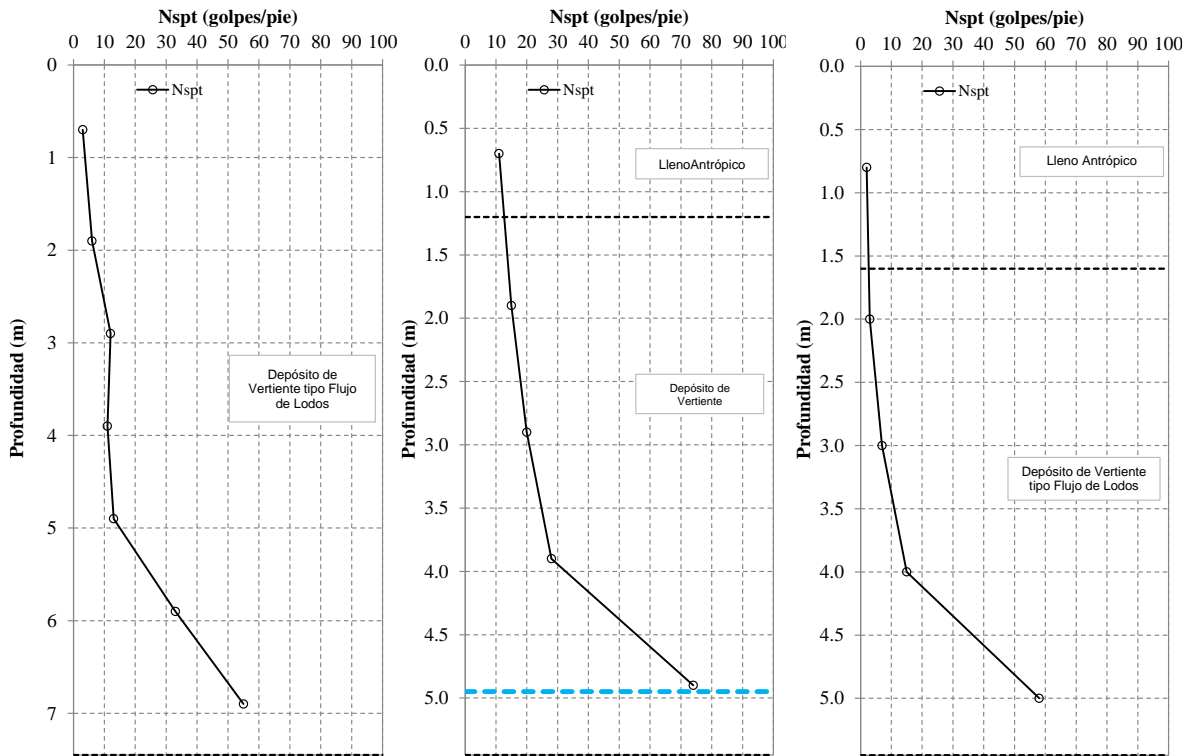


Figura 108. Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay (Continuación)



Perforación 084 (PA-PP-01) Perforación 085 (PA-PP-01A) Perforación 086 (PA-PP-01B)

Figura 109. Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay (Continuación)

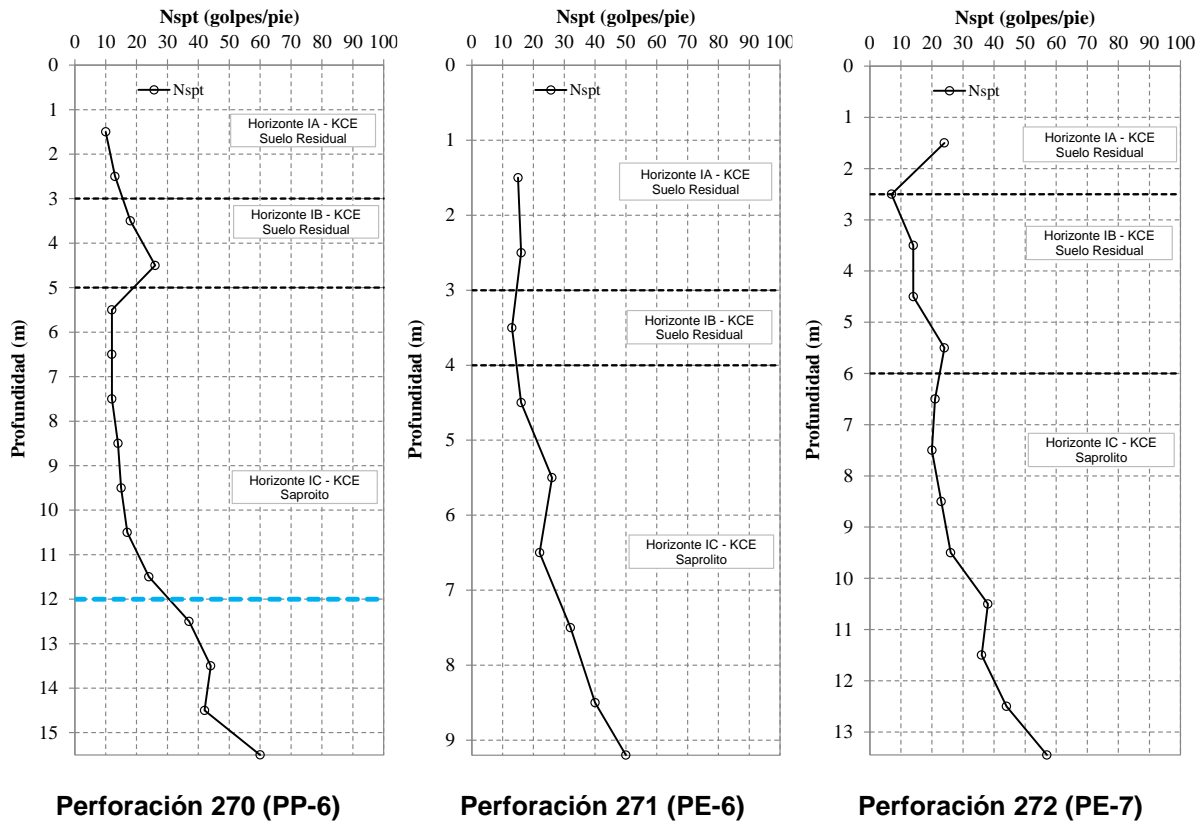


Perforación 108 (PA-PP-16)

Perforación 119 (PA-PP-25)

Perforación 127 (PA-PP-30)

Figura 110. Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay (Continuación)



Perforación 270 (PP-6) Perforación 271 (PE-6) Perforación 272 (PE-7)

Figura 111. Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay (Continuación)

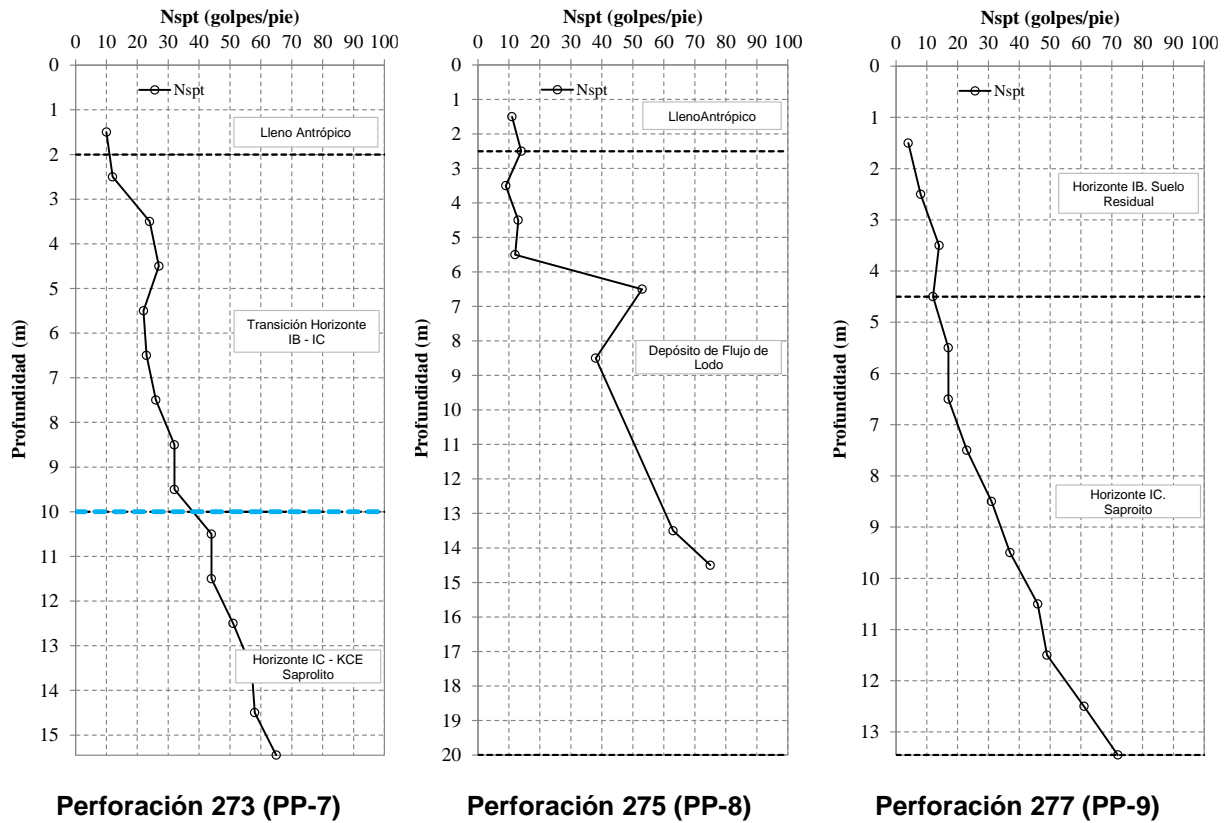


Figura 112. Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay (Continuación)

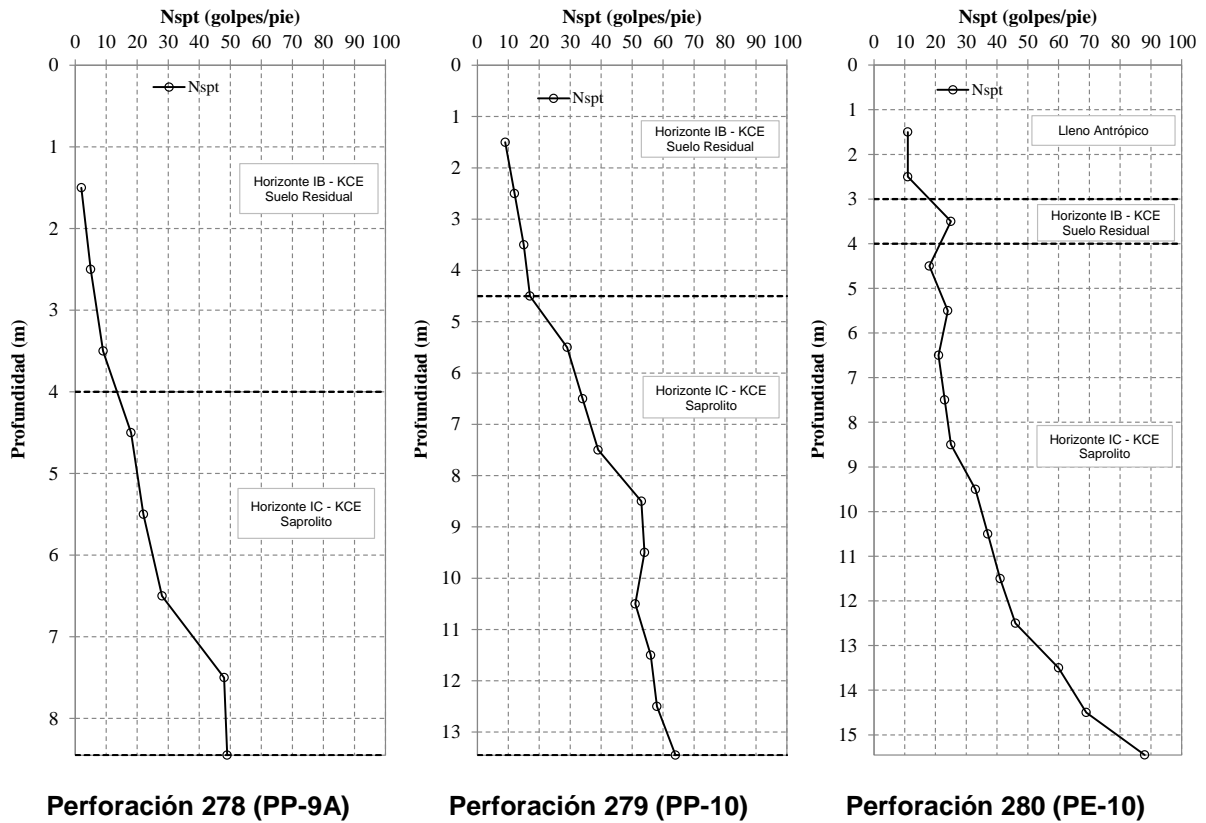


Figura 113. Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay (Continuación)

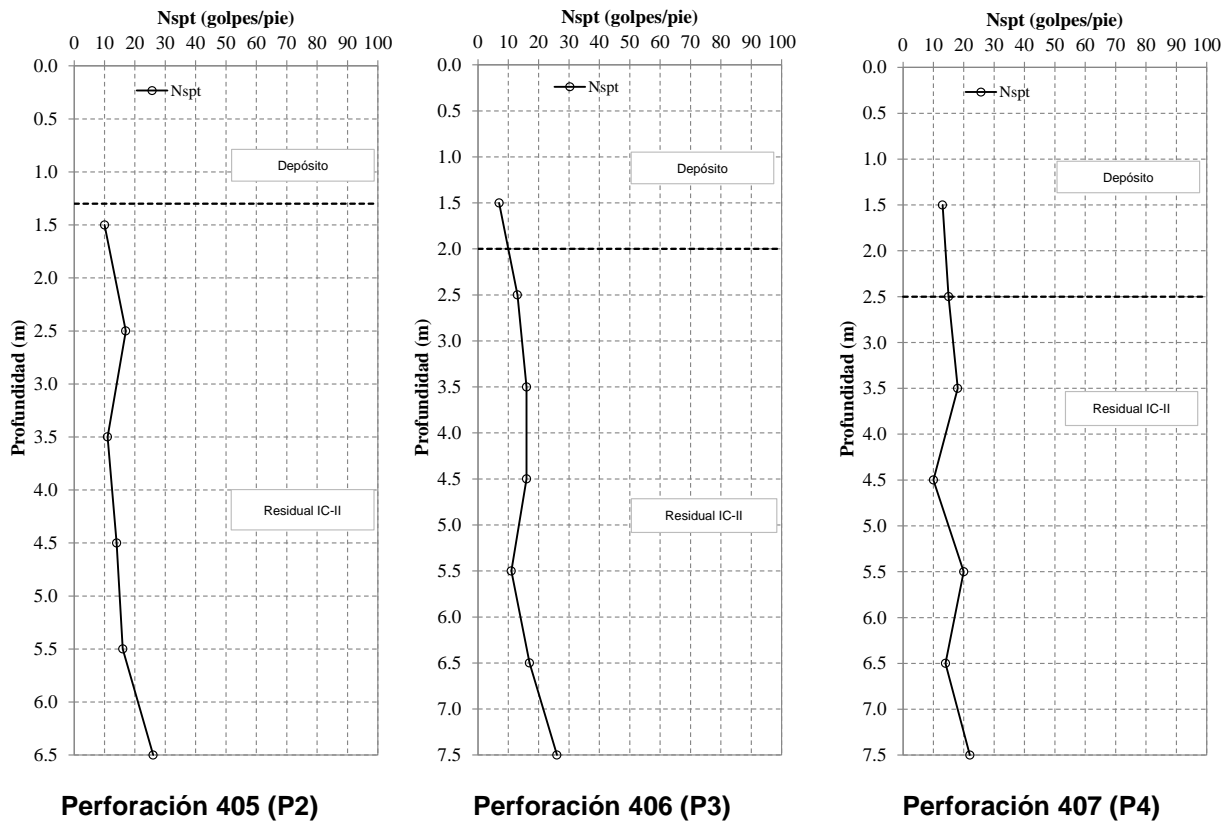


Figura 114. Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay (Continuación)

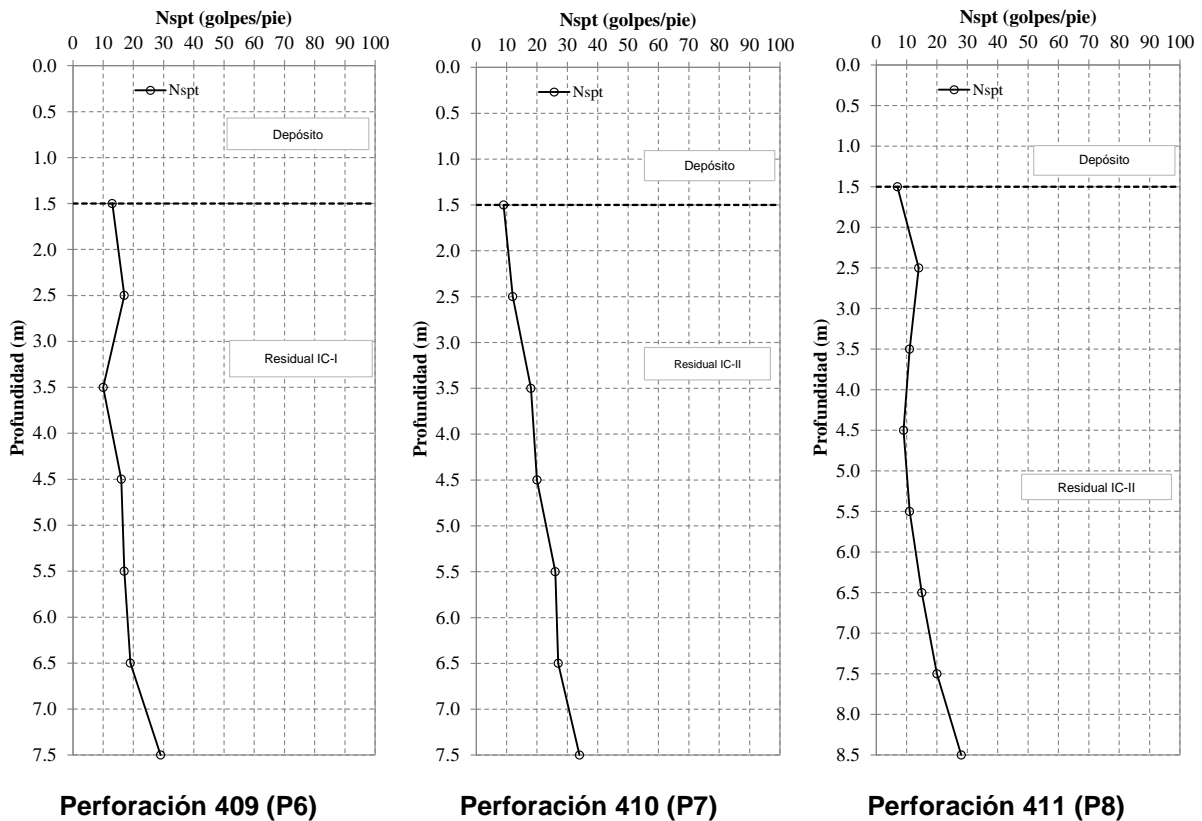
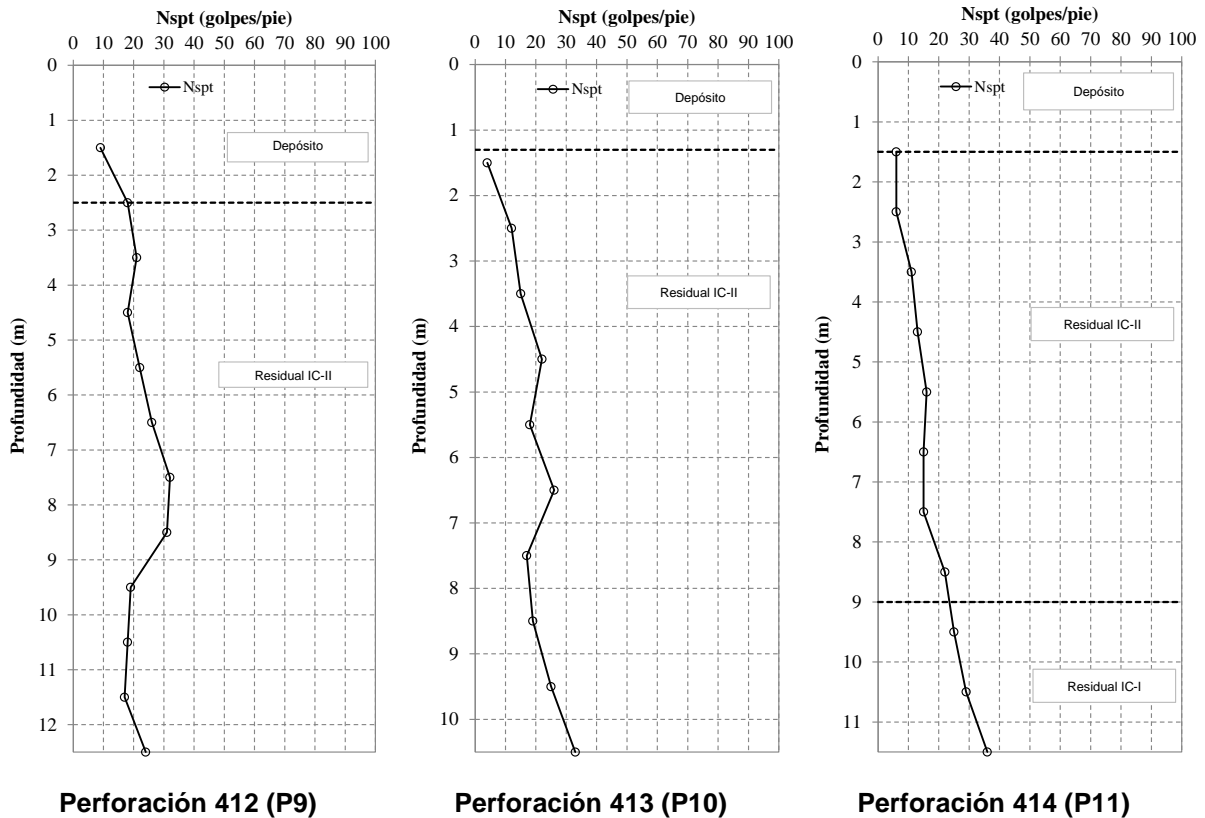


Figura 115. Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay (Continuación)



Perforación 412 (P9) Perforación 413 (P10) Perforación 414 (P11)

Figura 116. Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay (Continuación)

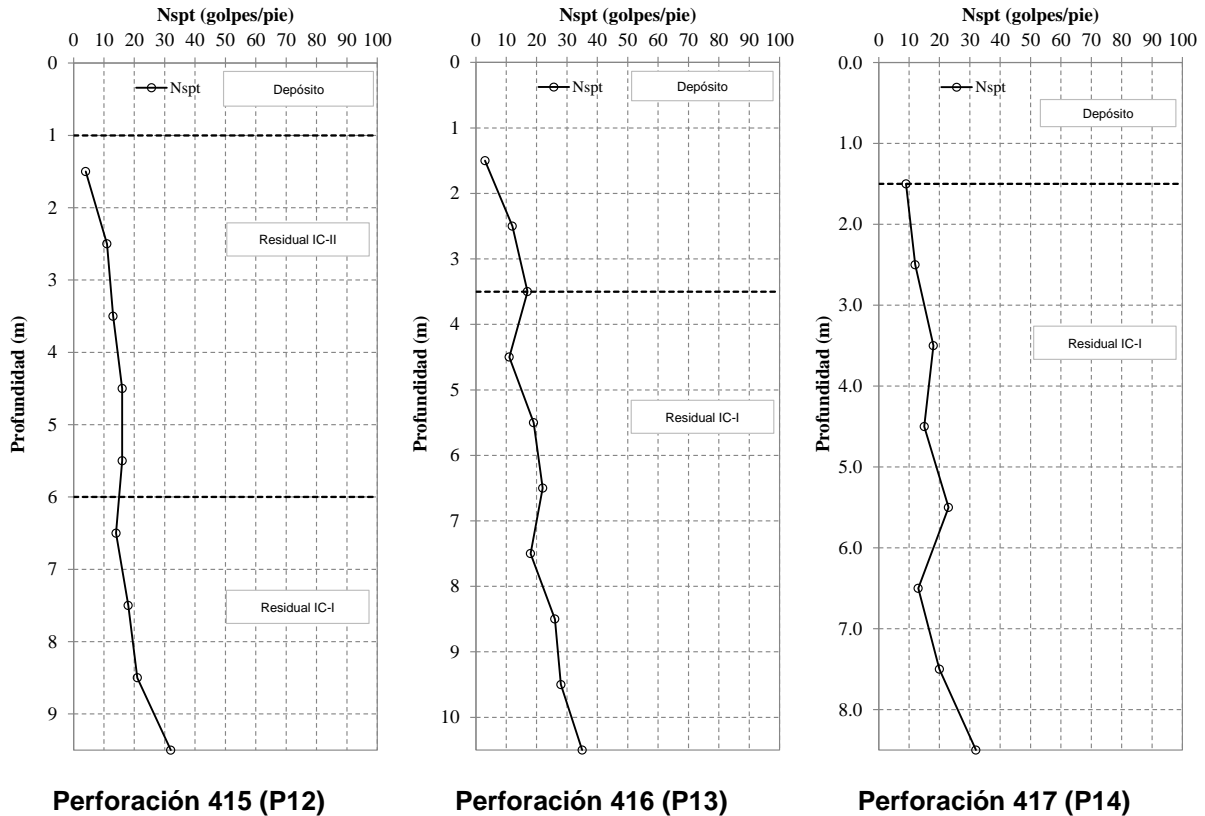




Figura 117. Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay (Continuación)

En la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay se encuentran cuerpos de llenos antrópicos que en superficie abarcan longitudes entre 4 m y 113 m y en profundidad alcanzan espesores variables entre 1.2 m y 16.0 m. Estos llenos fueron caracterizados en las Perforaciones P-EP-PR-17, P-EP-PR-18, P-EP-PR-21, P-EP-PR-22, P-VT-PR-20, P-VT-PR-21, P-VT-PR-22, P-VT-PR-23, P-VT-PR-24, P-VT-PR-26, P-VT-PP-02, 051 (P2), 052 (P3), 084 (PA-PP-01), 085 (PA-PP-01A), 086 (PA-PP-01B), 119 (PA-PP-25), 127 (PA-PP-30), 273 (PP-7), 275 (PP-8) y 280 (PE-10), suprayaciendo los suelos residuales de la Dunita de Medellín y del Batolito Antioqueño y los depósitos de flujo de lodos y/o escombros. Este material presenta resistencias a la penetración estándar muy variables, entre 2 golpes/pie y 35 golpes/pie e incluso 82 golpes/pie.

Por debajo de los llenos antrópicos o aflorando en superficie se tienen depósitos de flujo de lodos y/o escombros. Se encuentran ocho cuerpos distribuidos en la parte superior, central y baja de la UMI. Estos depósitos fueron identificados en las Perforaciones P-EP-PR-18, P-VT-PR-25, P-VT-PR-26, 084 (PA-PP-01), 085 (PA-PP-01A), 086 (PA-PP-01B), 108 (PA-PP-16), 119 (PA-PP-25), 127 (PA-PP-30), 275 (PP-8), 405 (P2), 406 (P3), 407 (P4), 410 (P7), 411 (P8), 412 (P9), 413 (P10), 414 (P11), 415 (P12), 416 (P13), 417 (P14).

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

La resistencia a la penetración varía considerablemente entre 3 golpes/pie y 75 golpes/pie, entre la superficie y 15.0 m de profundidad.

La Dunita de Medellín fue identificada en la zona de estudio, mediante la exploración en profundidad, encontrando el desarrollo de los Horizontes IB, IC y IIA, según la clasificación de Deere y Patton (1971). Se halla en las Perforaciones P-EP-PR-17, P-EP-PR-18, P-EP-PR-20, U-EP-PP-02, U-EP-PP-03 y P-VT-PR-24. En esta unidad es común encontrar evidencias de falla, tales como espejos, milonitas, salbanda (tacto jabonoso) y brechas tectónicas (cataclasitas), por lo que se podría clasificar como dunita cizallada. Las resistencias a la penetración estándar también mejoran notablemente con la profundidad, presentando resistencias del orden de 5 golpes/pie a 94 golpes/pie. Esta unidad aflora en superficie en las perforaciones P-EP-PR-20 y U-EP-PP-03.

En esta UMI también se identificaron cuerpos asociados al Batolito Antioqueño, encontrando el desarrollo de los Horizontes IC y IIA, según la clasificación de Deere y Patton (1971). Se halla en las Perforaciones P-EP-PR-17, P-EP-PR-18, P-EP-PR-19, P-EP-PR-20, P-EP-PR-21, P-EP-PR-22, P-VT-PR-20, P-VT-PR-21, P-VT-PR-22, P-VT-PR-23, P-VT-PR-24, P-VT-PR-25, P-VT-PR-26, P-VT-PP-01 y P-VT-PP-02, y en la parte alta la UMI. Las resistencias a la penetración estándar también mejoran notablemente con la profundidad, presentando resistencias del orden de 5 golpes/pie a 100 golpes/pie. Esta unidad aflora en superficie en las perforaciones P-EP-PR-19 y P-VT-PP-01.

10.1.2 Líneas geofísicas

En la zona de estudio se ejecutaron doce líneas geofísicas, en once de ellas se realizó el ensayo geofísico ReMi (Refraction Microtremor) para complementar el análisis geológico geotécnico de la UMI y en la otra línea se realizó un Sondeo Eléctrico Vertical (S.E.V) para determinar las condiciones hidrogeológicas en el Polígono Villa Turbay. La localización en planta de estos ensayos se muestra en Mapa 23 y Mapa 24.

El ensayo ReMi (Refraction Microtremor) es un método de refracción sísmica empleado para evaluar la velocidad propagación de ondas de corte (V_s) con base en la determinación de la dispersión de la propagación de ondas superficiales. El ensayo está definido por dos ideas tecnológicas básicas, las cuales se exponen a continuación:

- ✓ Los geófonos empleados para registrar el ruido ambiental son dispuestos a lo largo de una línea recta. Estos geófonos registran las ondas superficiales con frecuencias tan bajas como 2 Hz, dependiendo del tipo de sensores que se utilicen.
- ✓ Una transformada en dos dimensiones, lentitud (inverso de la velocidad de propagación de los componentes de ondas superficiales) y frecuencia (p - f), de un registro de micro tremores (vibraciones ambientales o inducidas) permite separar la llegada de las ondas Rayleigh de la llegada de otras ondas sísmicas. Una vez las ondas Rayleigh son identificadas, es posible determinar su verdadera velocidad de fase y no su velocidad aparente (Louie, 2001).

El Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) es un método eléctrico de resistividades empleado para determinar el espesor de las capas permeables en profundidad con base en el estudio de campos de potencial eléctrico. La determinación de la distribución de la resistividad en el subsuelo a través de mediciones realizadas en la superficie terrestre puede entregar informaciones útiles acerca de la estructura o la composición de las formaciones geológicas, que constituyen el subsuelo. El método común consiste en la transmisión de corriente directa en el subsuelo a través de una configuración de cuatro electrodos (varillas metálicas de $\pm 20\text{cm}$ de largo), un par tiene la función de introducir la corriente en el subsuelo y el otro par permite medir la diferencia de potencial asociado con la corriente introducida en el terreno. La Tabla 29 muestra algunos valores teóricos de resistividad de algunos materiales encontrados en la corteza terrestre.

Tabla 29. Tabla de Valores de Resistividad eléctrica (Arias, 2011)

Material	Resistividad (Ωm)
Basamento. Roca sana con diaclasas espaciadas	>10000
Basamento. Roca fracturada	1500-5000
Basamento. Roca fracturada saturada con agua corriente	100-2000
Basamento. Roca fracturada saturada con agua salada	1-100
Gruss no saturado	500-1000
Gruss saturado	40-60
Saprolito no saturado	200-500
Saprolito saturado	40-100
Gravas no saturadas	500-2000
Gravas saturadas	300-500
Arenas no saturadas	400-700
Arenas saturadas	100-200
Limos no saturados	100-200
Limos saturados	20-100
Limos saturados con agua salada	5-15
Arcillas no saturadas	20-40
Arcillas saturadas	5-20
Arcillas saturadas con agua salada	1-10
Andosoles secos	1000-2000
Andosoles no saturados	300-1000
Andosoles saturados	100-300

En la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay, las líneas en las que se realizó el ensayo ReMi fueron denominadas P-EP-LG-01, P-EP-LG-02, P-EP-LG-03, P-VT-LG-01, P-VT-LG-02, P-VT-LG-03, P-VT-LG-04, U-EPVT-LG-03, U-EPVT-LG-06, U-EPVT-LG-07 y U-EPVT-LG-08. En el Polígono Villa Turbay, la línea en la que se realizó el Sondeo Eléctrico Vertical (SEV) fue denominada P-VT-SEV-04. Cabe mencionar que en esta UMI se hizo necesaria la implementación de la línea adicional denominada U-EPVT-LG-08 para determinar y/o correlacionar los espesores aproximados de suelo. Esta línea fue realizada en la parte alta de la UMI en los límites entre la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay y la UMI Trece de Noviembre.

En la Tabla 30 se presentan las coordenadas de los puntos inicial y final de los ensayos ejecutados, en origen MAGNA-SIRGAS.



 edu [®] Empresa de Desarrollo Urbano	SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA “ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN” INFORME POLIGONO VILLA TURBAY	 edu [®] Empresa de Desarrollo Urbano
--	---	--

Tabla 30. Coordenadas de las líneas ReMi realizadas en la UMI Esfuerzos de Paz - Villa Turbay y de la línea SEV realizada en el Polígono Villa Turbay

Nomenclatura	Coordenada inicial		Cota inicial	Coordenada final		Cota final
	ESTE	NORTE		ESTE	NORTE	
P-EP-LG-01	838829.703	1181847.558	1762.9	838772.705	1181742.966	1749.9
P-EP-LG-02	838573.580	1181751.810	1747.0	838584.020	1181683.300	1728.7
P-EP-LG-03	838727.815	1181804.370	1765.9	838768.774	1181783.250	1768.6
P-VT-LG-01	839284.525	1181543.839	1833.0	839370.041	1181453.650	1822.0
P-VT-LG-02	839151.516	1181615.930	1792.0	839096.837	1181546.770	1756.9
P-VT-LG-03	839096.766	1181688.935	1780.1	839193.254	1181606.097	1798.5
P-VT-LG-04	839136.670	1181435.310	1762.2	839242.539	1181437.947	1763.6
U-EPVT-LG-03	839235.753	1181968.915	1900.8	839244.112	1181859.366	1892.9
U-EPVT-LG-06	839009.973	1182900.683	2087.1	838940.335	1182823.071	2083.4
U-EPVT-LG-07	839256.226	1183449.355	2155.8	839168.704	1183394.515	2153.3
U-EPVT-LG-08	839141.007	1183510.842	2169.7	839135.468	1183402.271	2158.5
P-VT-SEV-04	839217.119	1181448.211	1765.3	839157.738	1181432.017	1760.7

La Figura 118 presenta el gráfico de fase-frecuencia (p-f) obtenido de los ensayos, así como los puntos de dispersión seleccionados en el modelo para la Línea de Geofísica P-EP-LG-01. Empleando los puntos seleccionados de dispersión se realiza el ajuste presentado en la Figura 119, con el fin de establecer el perfil de velocidad de propagación de ondas S. La Figura 120 presenta el perfil promedio de velocidad de propagación de ondas S a lo largo de la línea geofísica de 100 m de longitud. En la Figura 121 se observa la tomografía realizada para esta línea en imagen suavizada. En general, los resultados permiten identificar la siguiente estratigrafía típica:

- ✓ Una capa superficial desde la superficie del terreno hasta los 3.2 m con velocidad de propagación de ondas S de 155 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia blanda.
- ✓ Una segunda capa desde los 3.2 m hasta los 6.4 m con velocidad de propagación de ondas S de 264 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia rígida.

- ✓ Una capa intermedia desde los 6.4 m hasta los 11.6 m con velocidad de propagación de ondas S de 324 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia rígida.
- ✓ Una capa más profunda desde 11.6 m hasta los 21.8 m con velocidad de propagación de ondas S de 336 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia rígida.
- ✓ Una última capa desde los 21.8 m en adelante, con velocidad de propagación de ondas S que superan los 607 m/s, la cual puede definirse como un suelo de consistencia muy densa o roca blanda.

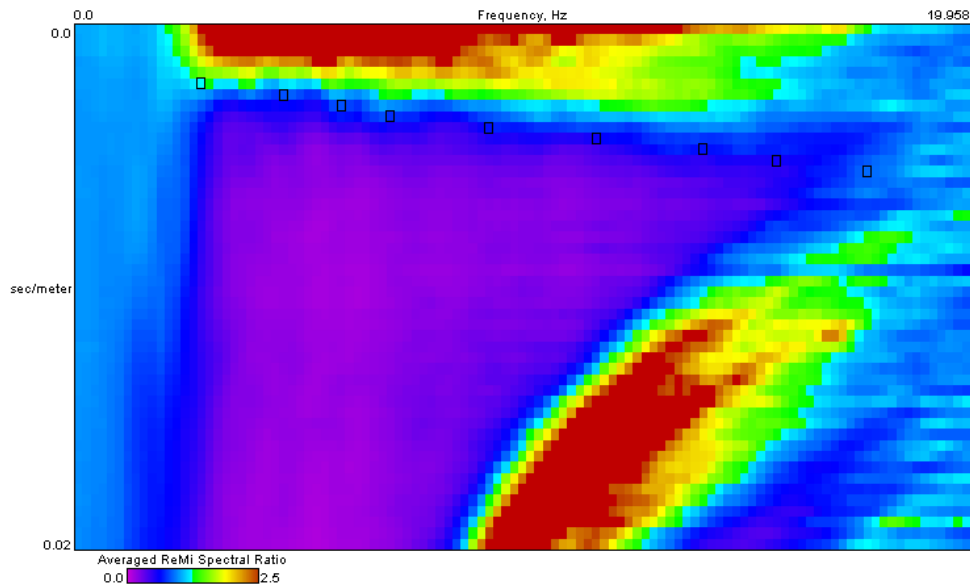


Figura 118. Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea P-EP-LG-01

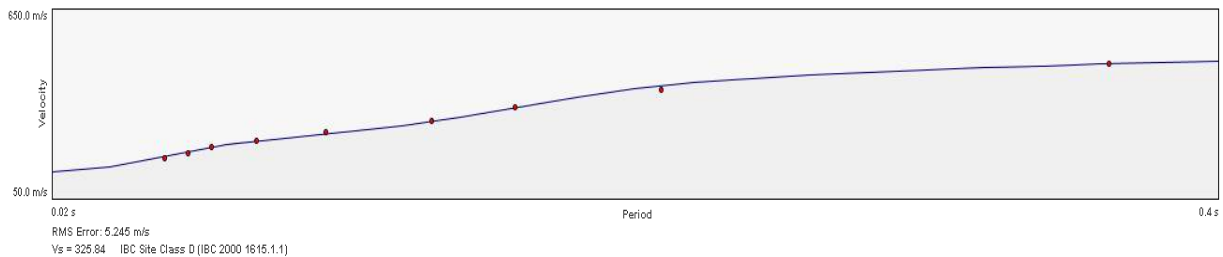


Figura 119. Dispersión y ajuste para la Línea P-EP-LG-01

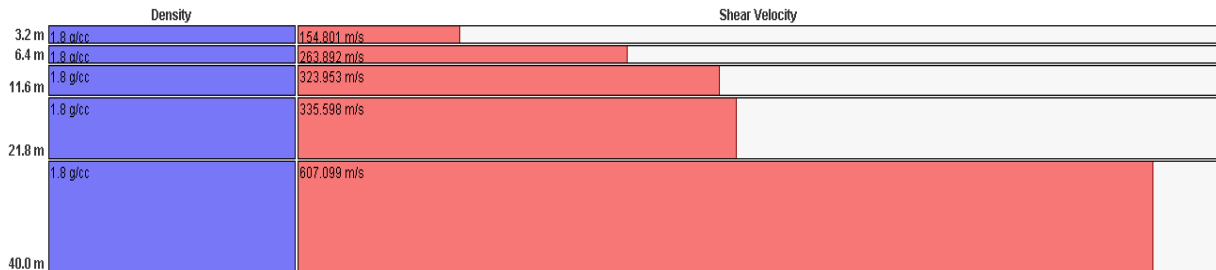


Figura 120. Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-EP-LG-01

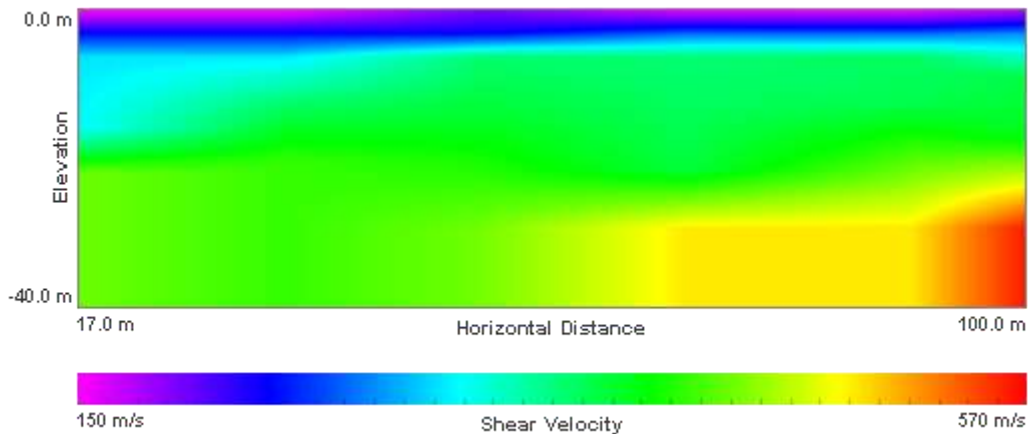


Figura 121. Tomografía - Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-EP-LG-01

La Figura 122 presenta el gráfico de fase-frecuencia (p-f) obtenido de los ensayos, así como los puntos de dispersión seleccionados en el modelo para la Línea de Geofísica P-EP-LG-02. Empleando los puntos seleccionados de dispersión se realiza el ajuste presentado en la Figura 123, con el fin de establecer el perfil de velocidad de propagación de ondas S. La Figura 124 presenta el perfil promedio de velocidad de propagación de ondas S a lo largo de la línea geofísica de 100 m de longitud. En este caso, debido a las condiciones del terreno fue necesario realizar corrección por topografía utilizando la disposición geométrica de cada sensor. Para este ensayo la cota inicial y final fueron 1750.0 y 1734.0 respectivamente, generando una pendiente de 10° respecto a la horizontal. En la Figura 125 se observa la tomografía realizada para esta línea en imagen suavizada. En general, los resultados permiten identificar la siguiente estratigrafía típica:

- ✓ Una capa superficial desde la superficie del terreno hasta los 5.4 m con velocidad de propagación de ondas S de 175 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia blanda.
- ✓ Una segunda capa desde los 5.4 m hasta los 14.6 m con velocidad de propagación de ondas S de 210 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia rígida.

- ✓ Una capa intermedia desde los 14.6 m hasta los 26.8 m con velocidad de propagación de ondas S de 304 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia rígida.
- ✓ Una última capa desde los 26.8 m en adelante, con velocidad de propagación de ondas S que superan los 500 m/s, la cual puede definirse como un suelo de consistencia muy densa o roca blanda.

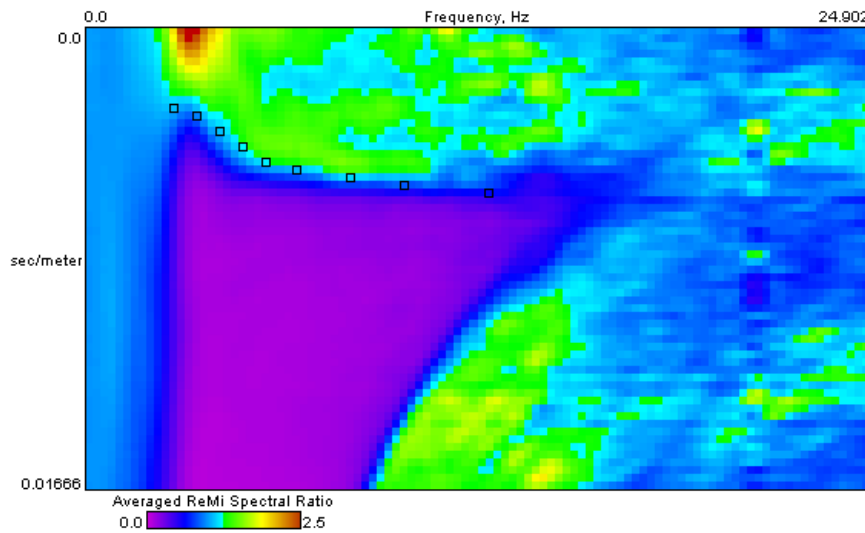


Figura 122. Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea P-EP-LG-02

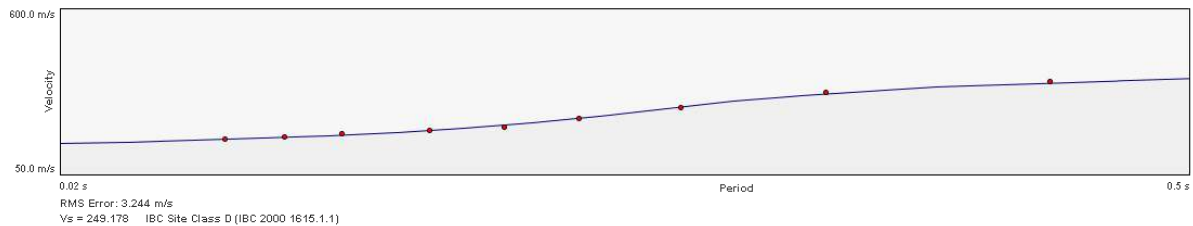
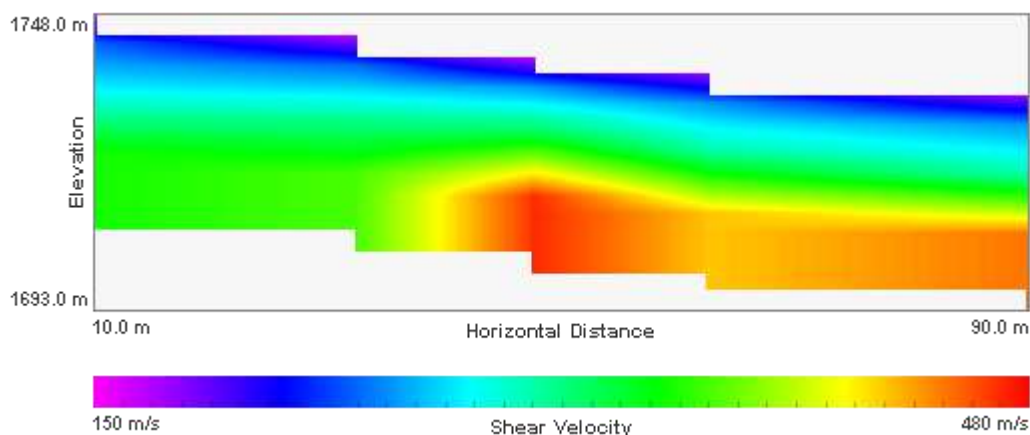


Figura 123. Dispersión y ajuste para la Línea P-EP-LG-02

	Density	Shear Velocity
5.4 m	1.81 g/cc	174.719 m/s
14.6 m	1.81 g/cc	209.551 m/s
26.8 m	1.81 g/cc	303.933 m/s
40.0 m	1.81 g/cc	499.438 m/s

Figura 124. Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-EP-LG-02



**Figura 125. Tomografía - Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S)
Línea P-EP-LG-02**

La Figura 126 presenta el gráfico de fase-frecuencia (p-f) obtenido de los ensayos, así como los puntos de dispersión seleccionados en el modelo para la Línea de Geofísica P-EP-LG-03. Empleando los puntos seleccionados de dispersión se realiza el ajuste presentado en la Figura 127, con el fin de establecer el perfil de velocidad de propagación de ondas S. La Figura 128 presenta el perfil promedio de velocidad de propagación de ondas S a lo largo de la línea geofísica de 100 m de longitud. En la Figura 129 se observa la tomografía realizada para esta línea en imagen suavizada. En general, los resultados permiten identificar la siguiente estratigrafía típica:

- ✓ Una capa superficial desde la superficie del terreno hasta los 5.4 m con velocidad de propagación de ondas S de 205 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia rígida.
- ✓ Una segunda capa desde los 5.4 m hasta los 12.4 m con velocidad de propagación de ondas S de 406 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia muy densa o roca blanda.
- ✓ Una capa intermedia desde los 12.4 m hasta los 21.2 m con velocidad de propagación de ondas S de 412 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia muy densa a roca blanda.
- ✓ Una capa más profunda desde 21.2 m hasta los 26.6 m con velocidad de propagación de ondas S de 434 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia muy densa a roca blanda.
- ✓ Una última capa desde los 26.6 m en adelante, con velocidad de propagación de ondas S que superan los 609 m/s, la cual puede definirse como un suelo de consistencia muy densa o roca blanda.

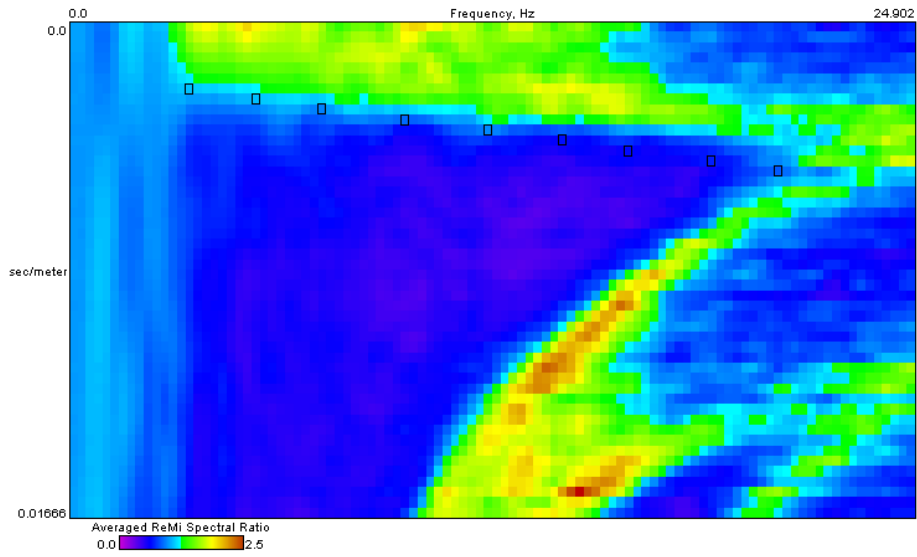


Figura 126. Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea P-EP-LG-03

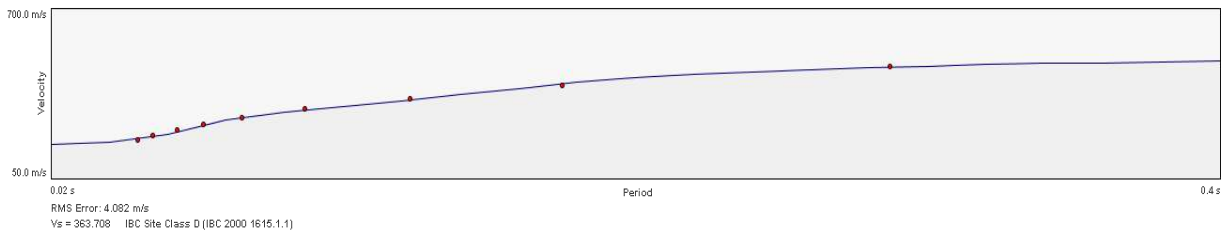


Figura 127. Dispersión y ajuste para la Línea P-EP-LG-03

	Density	Shear Velocity
5.4 m	1.8 g/cc	204.75 m/s
12.4 m	1.8 g/cc	406.231 m/s
21.2 m	1.8 g/cc	411.593 m/s
26.6 m	1.8 g/cc	433.81 m/s
40.0 m	1.8 g/cc	609.244 m/s

Figura 128. Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-EP-LG-03

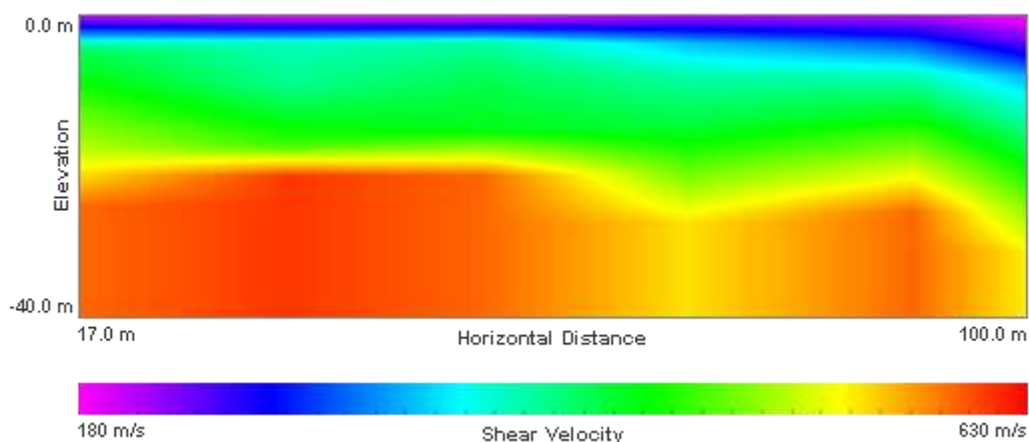


Figura 129. Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-EP-LG-03

La Figura 130 presenta el gráfico de fase-frecuencia (p-f) obtenido de los ensayos, así como los puntos de dispersión seleccionados en el modelo para la Línea de Geofísica P-VT-LG-01. Empleando los puntos seleccionados de dispersión se realiza el ajuste presentado en la Figura 131, con el fin de establecer el perfil de velocidad de propagación de ondas S. La Figura 132 presenta el perfil promedio de velocidad de propagación de ondas S a lo largo de la línea geofísica de 100 m de longitud. En la Figura 133 se observa la tomografía realizada para esta la línea en imagen suavizada. En general, los resultados permiten identificar la siguiente estratigrafía típica:

- ✓ Una capa superficial desde la superficie del terreno hasta los 5.0 m con velocidad de propagación de ondas S menores a 168 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia blanda.
- ✓ Una capa intermedia entre 5.0 m y 11.4 m de profundidad, con velocidad de propagación de ondas S de 260 m/s, la cual puede definirse como un suelo de consistencia rígida.
- ✓ Una capa intermedia entre 11.4 m y 20.4 m de profundidad, con velocidad de propagación de onda S de 391 m/s, la cual puede definirse como un suelo de consistencia densa o como roca blanda.
- ✓ Una capa más profunda entre 20.4 m y 28.8 m de profundidad, con velocidad de propagación de onda S de 423 m/s, la cual puede definirse como un suelo de consistencia muy densa o como roca blanda.
- ✓ Una capa más profunda desde los 28.8 m de profundidad en adelante, con velocidad de propagación de ondas S de 703 m/s, la cual puede definirse como un suelo de consistencia muy densa o como una roca blanda.

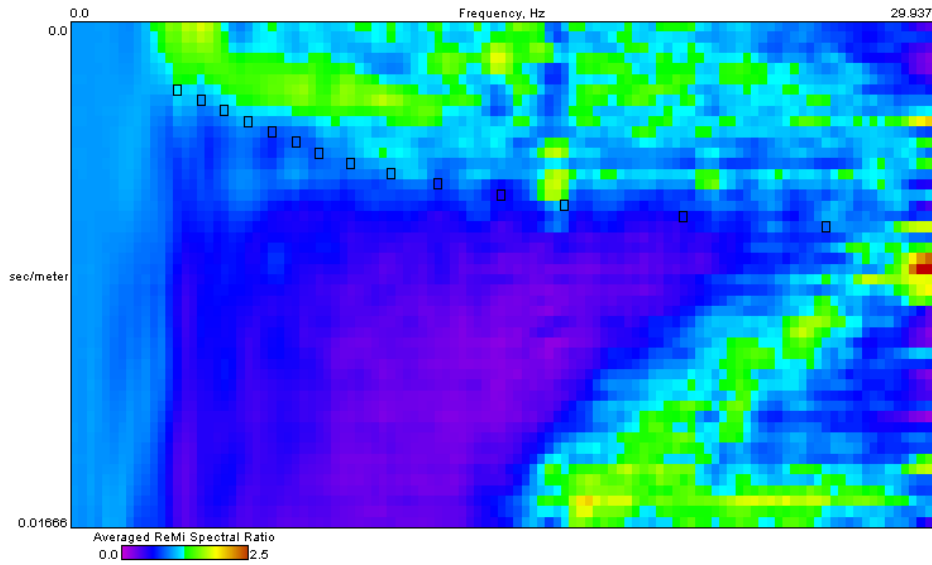


Figura 130. Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea P-VT-LG-01

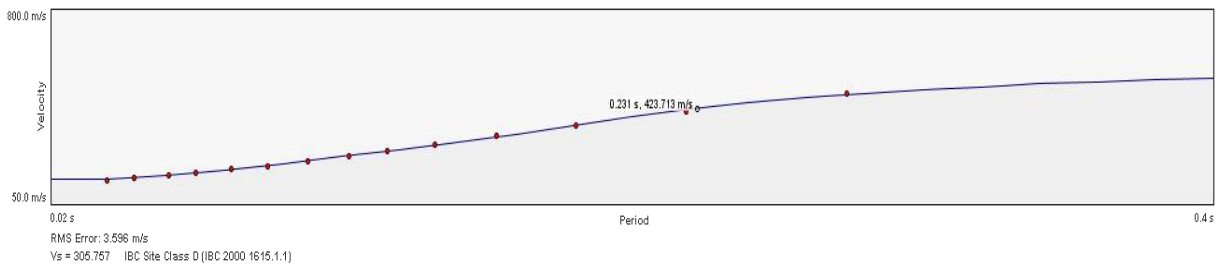
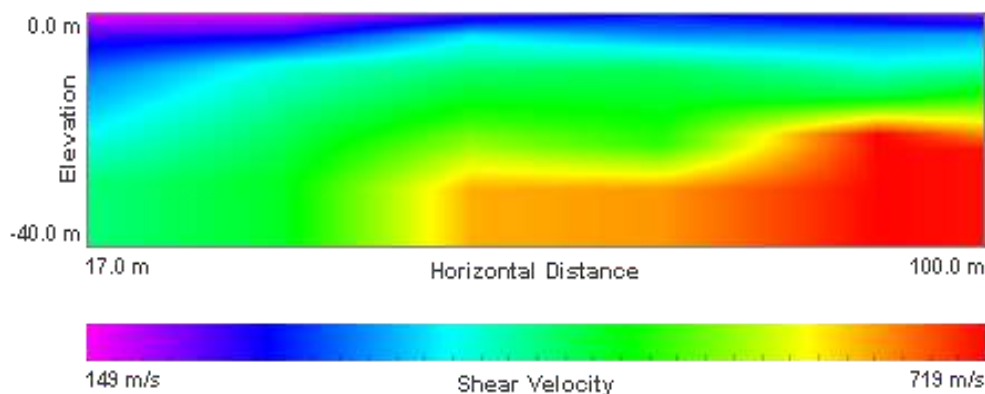


Figura 131. Dispersión y ajuste para la Línea P-VT-LG-01

	Density	Shear Velocity
5.0 m	1.8 g/cc	167.518 m/s
11.4 m	1.8 g/cc	260.47 m/s
20.4 m	1.8 g/cc	390.909 m/s
28.8 m	1.8 g/cc	423.085 m/s
40.0 m	1.8 g/cc	703.473 m/s

Figura 132. Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-VT-LG-01



**Figura 133. Tomografía - Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S)
Línea P-VT-LG-01**

La Figura 134 presenta el gráfico de fase-frecuencia (p-f) obtenido de los ensayos, así como los puntos de dispersión seleccionados en el modelo para la Línea de Geofísica P-VT-LG-02. Empleando los puntos seleccionados de dispersión se realiza el ajuste presentado en la Figura 135, con el fin de establecer el perfil de velocidad de propagación de ondas S. La Figura 136 presenta el perfil promedio de velocidad de propagación de ondas S a lo largo de la línea geofísica de 65 m de longitud. En este caso, debido a las condiciones del terreno fue necesario realizar corrección por topografía utilizando la disposición geométrica de cada sensor. Para este ensayo la cota inicial y final fueron 1790.0 y 1774.0 respectivamente, generando una pendiente de 13° respecto a la horizontal. En la Figura 137 se observa la tomografía realizada para esta la línea en imagen suavizada. En general, los resultados permiten identificar la siguiente estratigrafía típica:

- ✓ Una capa superficial desde la superficie del terreno hasta los 3.8 m con velocidad de propagación de ondas S de 174 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia blanda, asimilable al lleno antrópico.
- ✓ Una segunda capa desde los 3.8 m hasta los 11.4 m de profundidad, con velocidad de propagación de ondas S de 311 m/s, la cual puede definirse como un suelo de consistencia rígida.
- ✓ Una capa intermedia desde los 11.4 m hasta los 21.8 m de profundidad, con velocidad de propagación de onda S de 407 m/s, la cual puede definirse como suelo muy denso a roca blanda.
- ✓ Una capa más profunda desde 21.8 m en adelante, con velocidad de propagación de ondas S que superan los 513 m/s, la cual puede definirse como un suelo de consistencia muy densa a roca blanda.

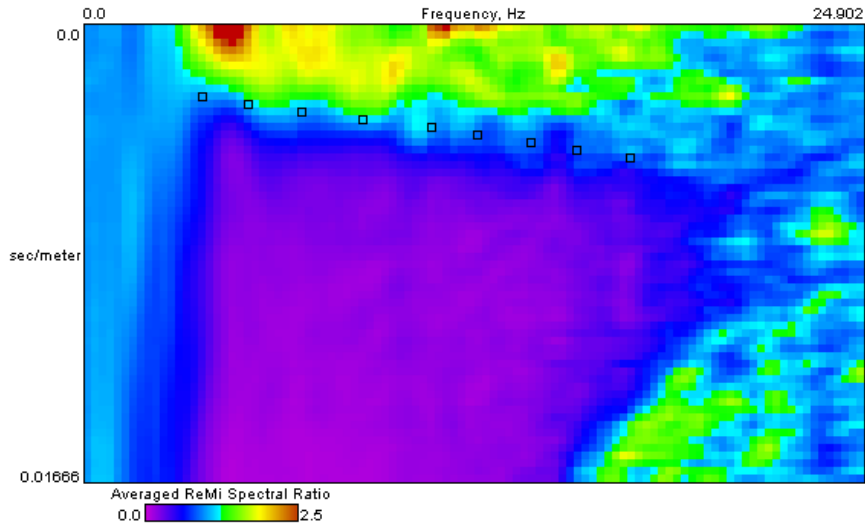


Figura 134. Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea P-VT-LG-02

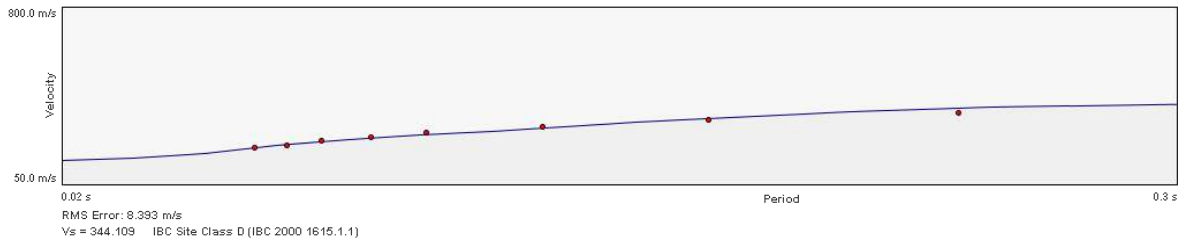
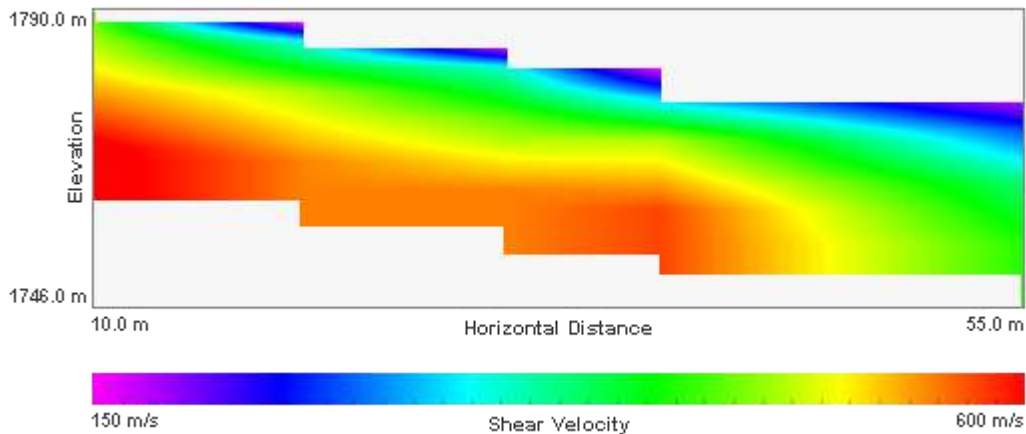


Figura 135. Dispersión y ajuste para la Línea P-VT-LG-02

	Density	Shear Velocity
3.75 m	1.81 g/cc	174.106 m/s
11.4 m	1.81 g/cc	311.236 m/s
21.75 m	1.81 g/cc	406.997 m/s
30.0 m	1.81 g/cc	512.717 m/s

Figura 136. Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-VT-LG-02



**Figura 137. Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S)
Línea P-VT-LG-02**

La Figura 138 presenta el gráfico de fase-frecuencia (p-f) obtenido de los ensayos, así como los puntos de dispersión seleccionados en el modelo para la Línea de Geofísica P-VT-LG-03. Empleando los puntos seleccionados de dispersión se realiza el ajuste presentado en la Figura 139, con el fin de establecer el perfil de velocidad de propagación de ondas S. La Figura 140 presenta el perfil promedio de velocidad de propagación de ondas S a lo largo de la línea geofísica de 100 m de longitud. En la Figura 141 se observa la tomografía realizada para esta línea en imagen suavizada. En general, los resultados permiten identificar la siguiente estratigrafía típica:

- ✓ Una capa superficial desde la superficie del terreno hasta los 3.6 m con velocidad de propagación de ondas S de 169 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia blanda
- ✓ Una segunda capa entre los 3.6 m y 8.4 m de profundidad, con velocidad de propagación de onda S de 280 m/s, la cual puede definirse como un suelo de consistencia rígida.
- ✓ Una tercera capa entre los 8.4 m y los 12.8 m de profundidad, con una velocidad de propagación de onda S de 395 m/s, la cual puede definirse como un suelo de consistencia muy densa a roca blanda.
- ✓ Una capa intermedia entre los 12.8 m y los 22.2 m de profundidad, con una velocidad de propagación de onda S de 490 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia muy densa o roca blanda.
- ✓ Una capa más profunda entre los 22.2 m y los 26.4 m de profundidad, con una velocidad de propagación de onda S de 513 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia muy densa a roca blanda.
- ✓ Una última capa desde los 26.4 m en adelante de profundidad, con una velocidad de propagación de onda S superior a 814 m/s, la cual corresponde a roca.

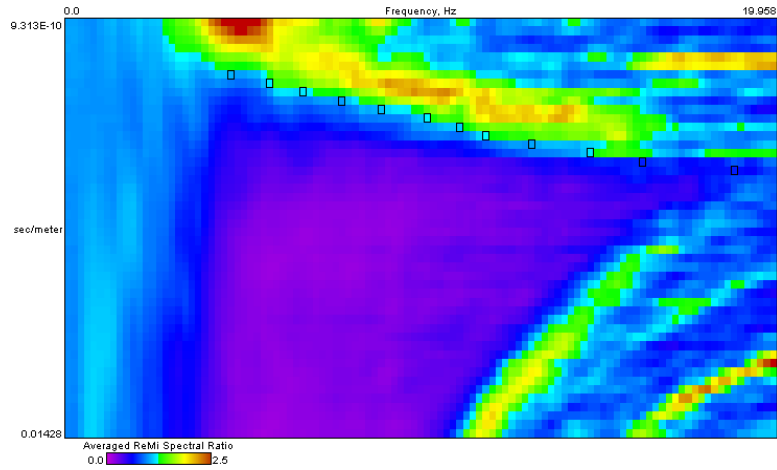


Figura 138. Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea P-VT-LG-03

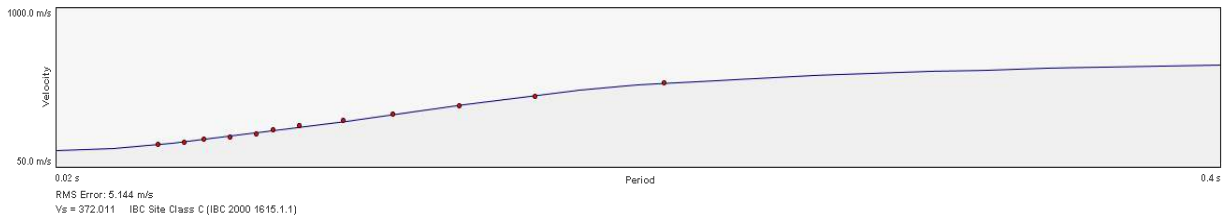
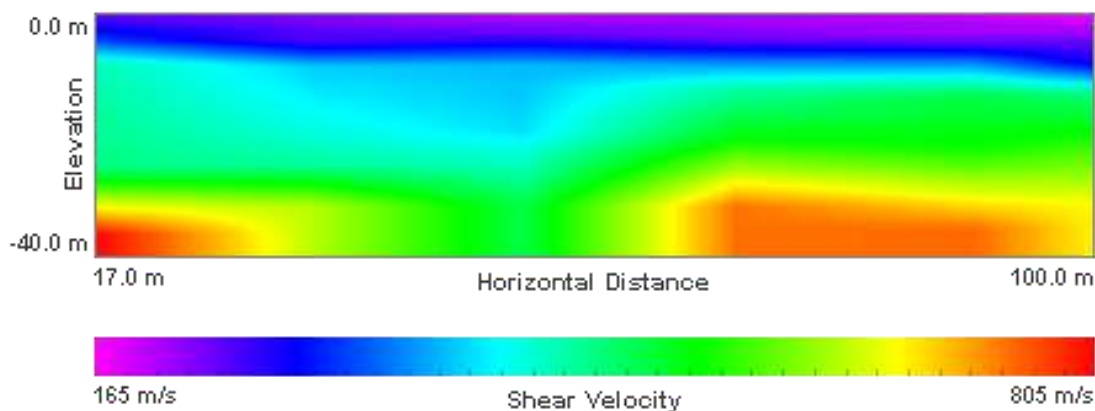


Figura 139. Dispersión y ajuste para la Línea P-VT-LG-03

	Density	Shear Velocity
3.6 m	1.8 g/cc	169.356 m/s
8.4 m	1.8 g/cc	279.98 m/s
12.8 m	1.8 g/cc	395.455 m/s
22.2 m	1.8 g/cc	489.581 m/s
26.4 m	1.8 g/cc	512.87 m/s
40.0 m	1.8 g/cc	813.687 m/s

Figura 140. Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-VT-LG-03



**Figura 141. Tomografía - Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S)
Línea P-VT-LG-03**

La Figura 142 presenta el gráfico de fase-frecuencia (p-f) obtenido de los ensayos, así como los puntos de dispersión seleccionados en el modelo para la Línea de Geofísica P-VT-LG-04. Empleando los puntos seleccionados de dispersión se realiza el ajuste presentado en la Figura 143, con el fin de establecer el perfil de velocidad de propagación de ondas S. La Figura 144 presenta el perfil promedio de velocidad de propagación de ondas S a lo largo de la línea geofísica de 100 m de longitud. En la Figura 145 se observa la tomografía realizada para esta línea en imagen suavizada. En general, los resultados permiten identificar la siguiente estratigrafía típica:

- ✓ Una capa superficial desde la superficie del terreno hasta los 4.6 m con velocidad de propagación de ondas S de 157 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia blanda.
- ✓ Una segunda capa desde los 4.6 m hasta los 12.6 m con velocidad de propagación de ondas S de 306 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia rígida.
- ✓ Una capa intermedia desde los 12.6 m hasta los 22.2 m con velocidad de propagación de ondas S de 448 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia muy densa a roca blanda.
- ✓ Una capa más profunda desde 22.2 m hasta los 32.4 m con velocidad de propagación de ondas S de 479 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia muy densa a roca blanda.
- ✓ Una última capa desde los 32.4 m en adelante, con velocidad de propagación de ondas S que superan los 636 m/s, la cual puede definirse como un suelo de consistencia muy densa o roca blanda.

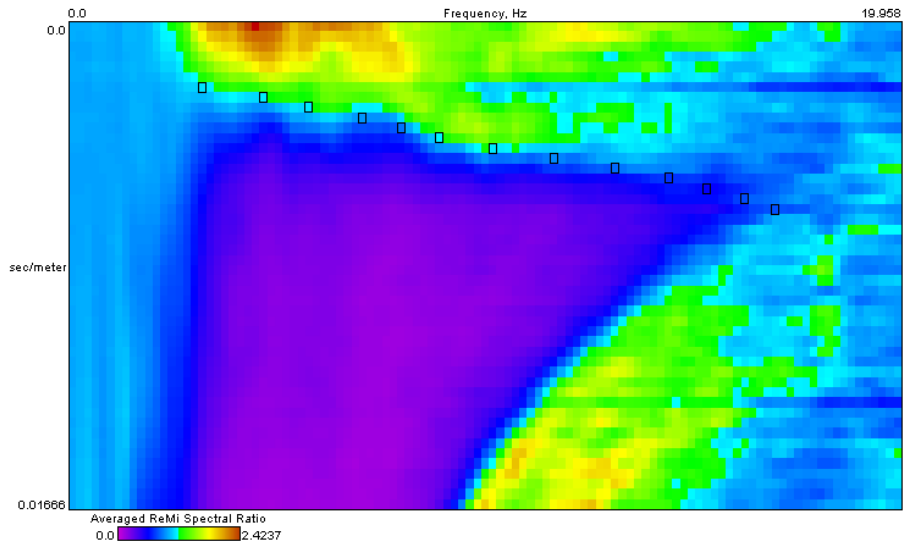


Figura 142. Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea P-VT-LG-04

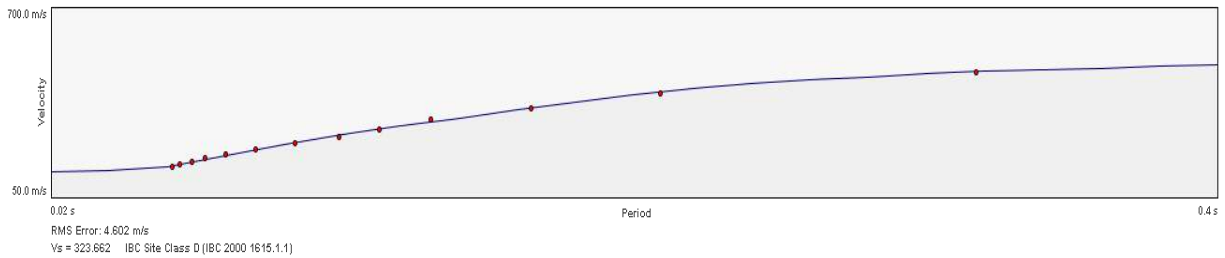
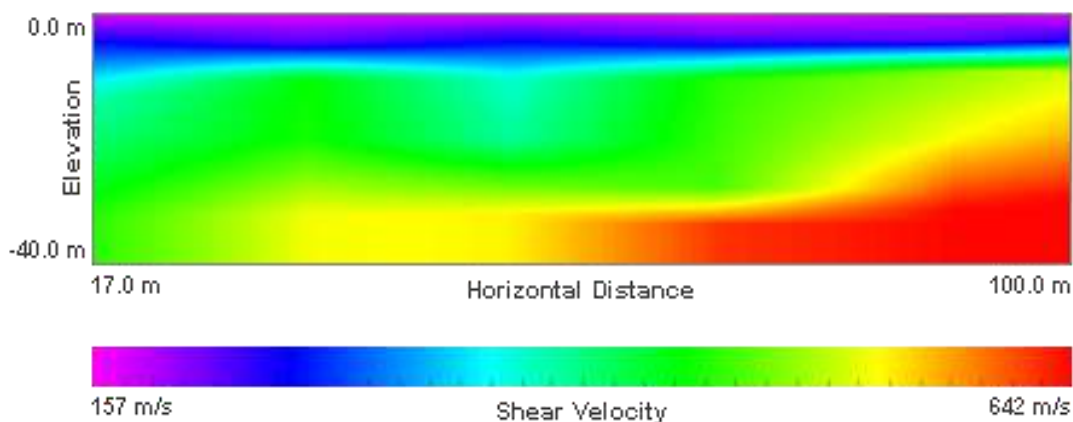


Figura 143. Dispersión y ajuste para la Línea P-VT-LG-04

	Density	Shear Velocity
4.6 m	1.8 g/cc	156.895 m/s
12.6 m	1.8 g/cc	306.282 m/s
22.2 m	1.8 g/cc	447.702 m/s
32.4 m	1.8 g/cc	478.907 m/s
40.0 m	1.8 g/cc	636.261 m/s

Figura 144. Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-VT-LG-04



**Figura 145. Tomografía - Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S)
Línea P-VT-LG-04**

La Figura 146 presenta el gráfico de fase-frecuencia (p-f) obtenido de los ensayos, así como los puntos de dispersión seleccionados en el modelo para la Línea de Geofísica U-EPVT-LG-03. Empleando los puntos seleccionados de dispersión se realiza el ajuste presentado en la Figura 147, con el fin de establecer el perfil de velocidad de propagación de ondas S. La Figura 148 presenta el perfil promedio de velocidad de propagación de ondas S a lo largo de la línea geofísica de 105 m de longitud. En la Figura 149 se observa la tomografía realizada para esta línea en imagen suavizada. En general, los resultados permiten identificar la siguiente estratigrafía típica:

- ✓ Una capa superficial desde la superficie del terreno hasta los 3.4 m con velocidad de propagación de ondas S de 198 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia rígida.
- ✓ Una segunda capa desde los 3.4 m hasta los 7.8 m con velocidad de propagación de ondas S de 274 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia rígida.
- ✓ Una capa intermedia desde los 7.8 m hasta los 22.0 m con velocidad de propagación de ondas S de 780 m/s, la cual corresponde a roca.
- ✓ Una capa más profunda desde 22.0 m hasta los 28.8 m con velocidad de propagación de ondas S de 842 m/s, la cual corresponde a roca.
- ✓ Una última capa desde los 28.8 m en adelante, con velocidad de propagación de ondas S que superan los 986 m/s, la cual puede definirse como roca.

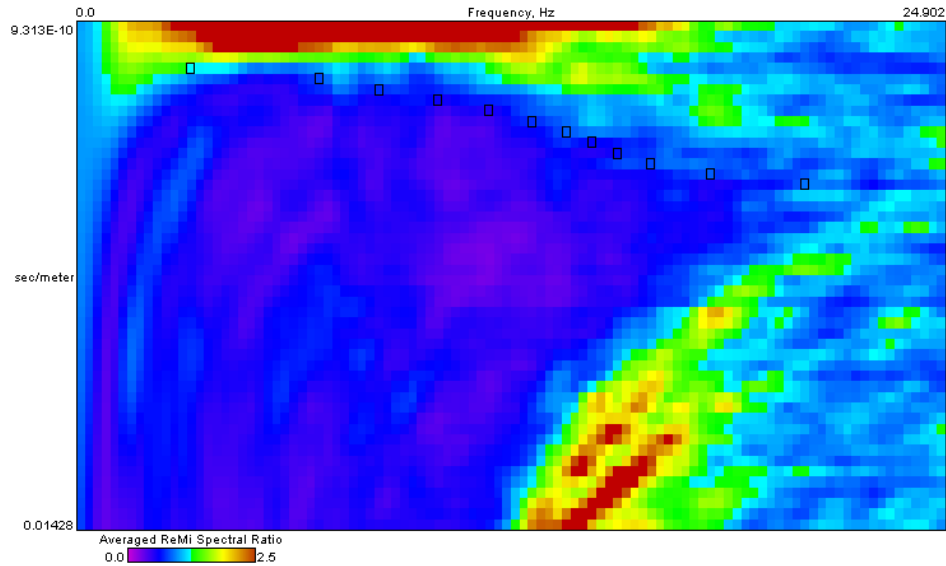


Figura 146. Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea U-EPVT-LG-03

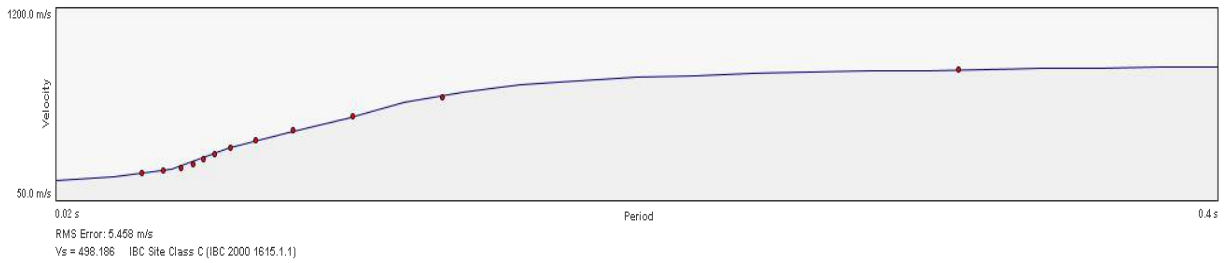
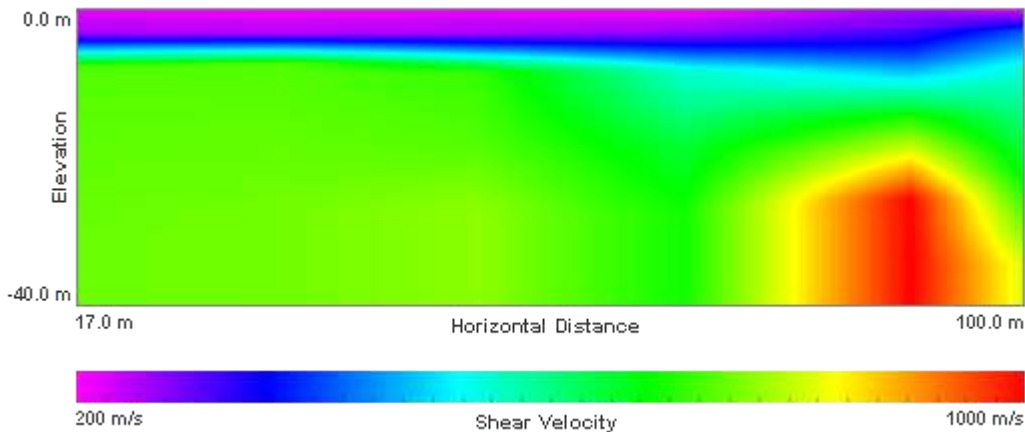


Figura 147. Dispersión y ajuste para la Línea U-EPVT-LG-03

	Density	Shear Velocity
3.4 m	1.8 g/cc	198.008 m/s
7.8 m	1.8 g/cc	274.362 m/s
22.0 m	1.8 g/cc	780.644 m/s
28.8 m	1.8 g/cc	841.726 m/s
40.0 m	1.8 g/cc	986.21 m/s

Figura 148. Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea U-EPVT-LG-03



**Figura 149. Tomografía - Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S)
Línea U-EPVT-LG-03**

La Figura 150 presenta el gráfico de fase-frecuencia (p-f) obtenido de los ensayos, así como los puntos de dispersión seleccionados en el modelo para la Línea Geofísica U-EPVT-LG-06. Empleando los puntos seleccionados de dispersión se realiza el ajuste presentado en la Figura 151, con el fin de establecer el perfil de velocidad de propagación de ondas S. La Figura 152 presenta el perfil promedio de velocidad de propagación de ondas S a lo largo de la línea geofísica de 105 m de longitud. En general, los resultados permiten identificar la siguiente estratigrafía típica:

- ✓ Una capa superficial desde la superficie del terreno hasta los 2.8 m con velocidad de propagación de ondas S de 136 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia blanda.
- ✓ Una segunda capa desde los 2.8 m hasta los 6.8 m con velocidad de propagación de ondas S de 502 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia muy densa o roca blanda.
- ✓ Una capa intermedia desde los 6.8 m hasta los 11.8 m con velocidad de propagación de ondas S de 601 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia muy densa a roca blanda.
- ✓ Una capa más profunda desde 11.8 m hasta los 26.6 m con velocidad de propagación de ondas S de 677 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia muy densa a roca blanda.
- ✓ Una última capa desde los 26.6 m en adelante, con velocidad de propagación de ondas S que superan los 794 m/s, la cual puede definirse como roca.

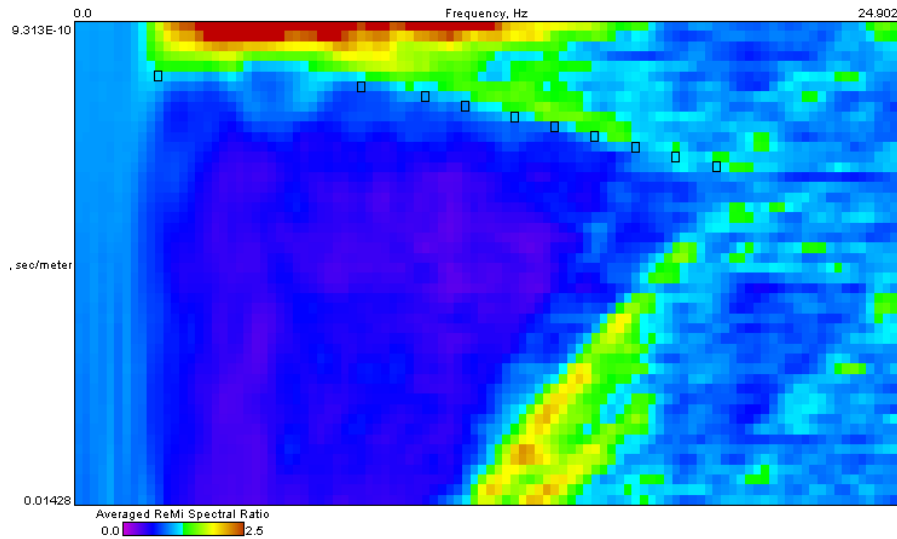


Figura 150. Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea U-EPVT-LG-06

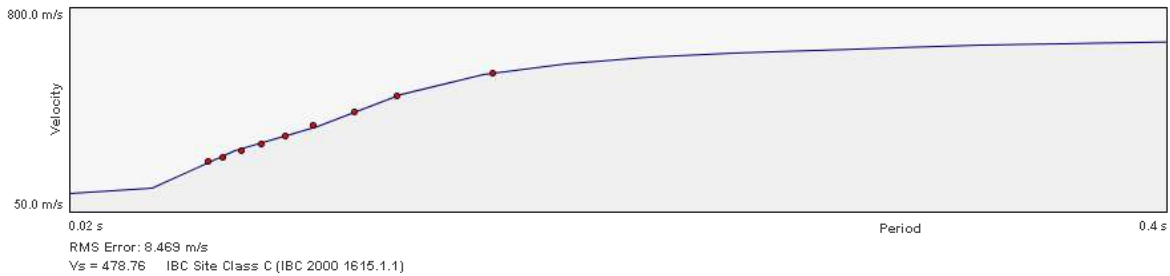


Figura 151. Dispersión y ajuste para la Línea U-EPVT-LG-06

	Density	Shear Velocity
2.8 m	1.8 g/cc	135.802 m/s
6.8 m	1.8 g/cc	501.992 m/s
11.8 m	1.8 g/cc	601.175 m/s
26.6 m	1.8 g/cc	676.66 m/s
40.0 m	1.8 g/cc	793.871 m/s

Figura 152. Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea U EPVT-LG-06

La Figura 153 presenta el gráfico de fase-frecuencia (p-f) obtenido de los ensayos, así como los puntos de dispersión seleccionados en el modelo para la Línea Geofísica U-EPVT-LG-07. Empleando los puntos seleccionados de dispersión se realiza el ajuste presentado en la Figura 154, con el fin de establecer el perfil de velocidad de propagación de ondas S. La Figura 155 presenta el perfil promedio de velocidad de propagación de ondas S a lo largo de la línea geofísica de 105 m de longitud. En general, los resultados permiten identificar la siguiente estratigrafía típica:

- ✓ Una capa superficial desde la superficie del terreno hasta los 3.2 m con velocidad de propagación de ondas S de 120 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia blanda.
- ✓ Una segunda capa desde los 3.2 m hasta los 8.6 m con velocidad de propagación de ondas S de 153 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia blanda.
- ✓ Una capa intermedia desde los 8.6 m hasta los 17.2 m con velocidad de propagación de ondas S de 409 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia muy densa a roca blanda.
- ✓ Una capa más profunda desde 17.2 m hasta los 26.6 m con velocidad de propagación de ondas S de 536 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia muy densa a roca blanda.
- ✓ Una última capa desde los 26.6 m en adelante, con velocidad de propagación de ondas S que superan los 730 m/s, la cual puede definirse como un suelo de consistencia muy densa o roca blanda.

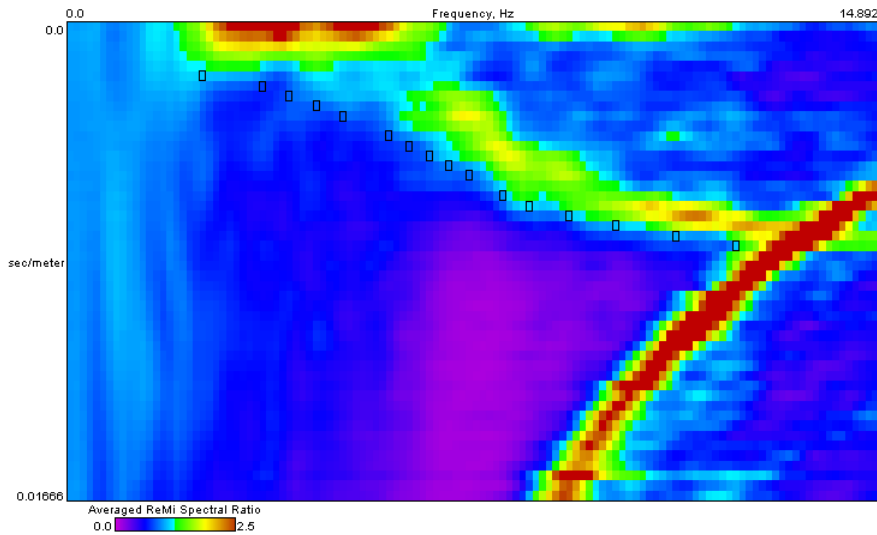


Figura 153. Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea U-EPVT-LG-07

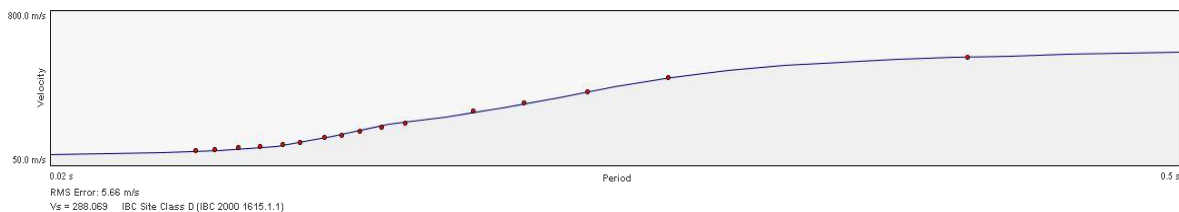


Figura 154. Dispersión y ajuste para la Línea U-EPVT-LG-07

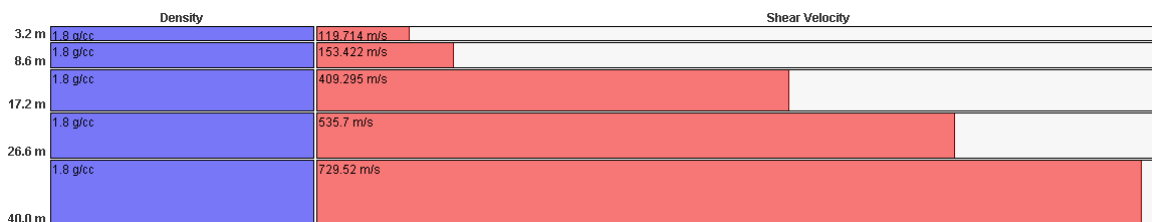


Figura 155 Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea U-EPVT-LG-07

La Figura 156 presenta el gráfico de fase-frecuencia (p-f) obtenido de los ensayos, así como los puntos de dispersión seleccionados en el modelo para la Línea Geofísica U-EPVT-LG-08. Empleando los puntos seleccionados de dispersión se realiza el ajuste presentado en la Figura 157, con el fin de establecer el perfil de velocidad de propagación de ondas S. La Figura 158 presenta el perfil promedio de velocidad de propagación de ondas S a lo largo de la línea geofísica de 105 m de longitud. En general, los resultados permiten identificar la siguiente estratigrafía típica:

- ✓ Una capa superficial desde la superficie del terreno hasta los 3.8 m con velocidad de propagación de ondas S de 116 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia blanda.
- ✓ Una segunda capa desde los 3.8 m hasta los 8.4 m con velocidad de propagación de ondas S de 148 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia blanda.
- ✓ Una capa intermedia desde los 8.4 m hasta los 14.0 m con velocidad de propagación de ondas S de 410 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia muy densa a roca blanda.
- ✓ Una capa más profunda desde 14.0 m hasta los 24.4 m con velocidad de propagación de ondas S de 514 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia muy densa a roca blanda.
- ✓ Una última capa desde los 24.4 m en adelante, con velocidad de propagación de ondas S que superan los 746 m/s, la cual puede definirse como un suelo de consistencia muy densa o roca blanda.

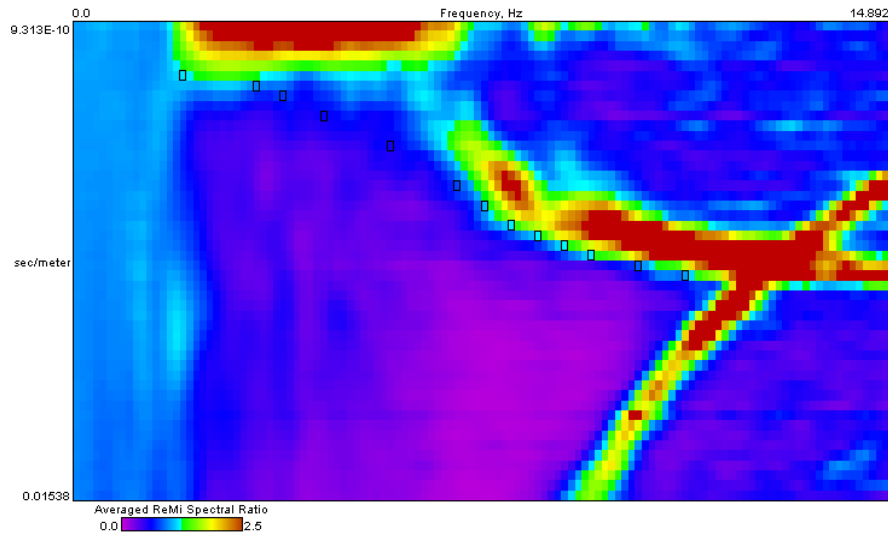


Figura 156. Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea U-EPVT-LG-08

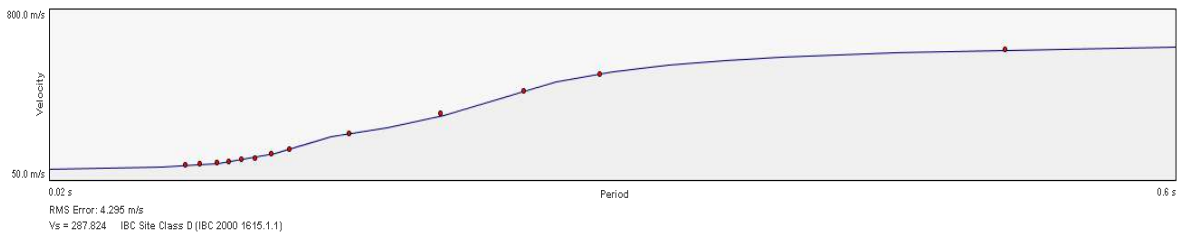


Figura 157. Dispersión y ajuste para la Línea U-EPVT-LG-08

	Density	Shear Velocity
3.8 m	1.8 g/cc	115.884 m/s
8.4 m	1.8 g/cc	148.059 m/s
14.0 m	1.8 g/cc	410.061 m/s
24.4 m	1.8 g/cc	514.249 m/s
40.0 m	1.8 g/cc	745.608 m/s

Figura 158. Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea U-EPVT-LG-08

En la Figura 159 se muestra el resultado del sondeo eléctrico vertical P-VT-SEV-04 en el que se observa presencia de tres capas debido a sus cambios de resistividad. La forma de la curva de resistividad aparente (curva negra), se aproximó al modelo teórico (curva roja), con un porcentaje de error del 15,8%. En general, los resultados permiten identificar la siguiente estratigrafía:

- ✓ La primera capa cuenta con un espesor de 0.50 m con resistividad de 5419 Ω .m.
- ✓ La segunda capa tiene un espesor de 3.39 m con resistividad de 9625 Ω .m.

- ✓ Por último, a partir de la profundidad de 3.89 m hasta 30 m presenta valores de resistividad de 48889 Ω .m.

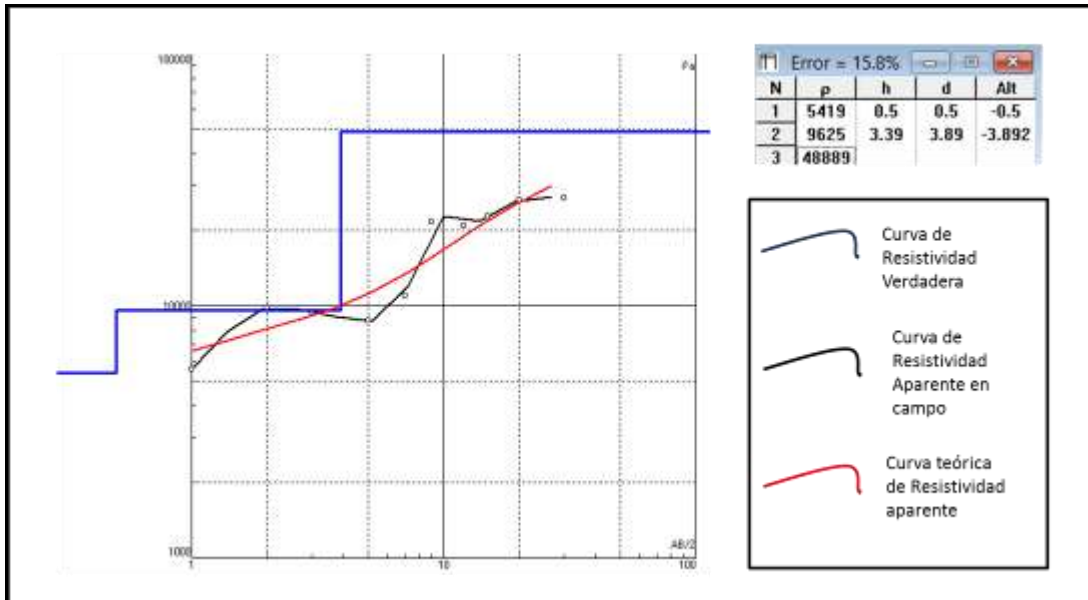


Figura 159. Curva de resistividad vs profundidad (AB/2), P-VT-SEV-04.

En el sondeo P-VT-SEV-04 se identificaron tres capas, de la cual la última capa debido al alto valor de la resistividad que presenta con respecto a los niveles supra yacentes y a su naturaleza ígnea poco diaclasada y meteorizada, no tiende a almacenar líquidos.

10.2 ENSAYOS DE LABORATORIO

El programa de ensayos de laboratorio se realizó con el objetivo de determinar propiedades índice del suelo fundamentales para determinar las condiciones de estado de los materiales clasificándolos mediante el Sistema de Clasificación Unificada de Suelos para propósitos ingenieriles, y para realizar una caracterización de las propiedades mecánicas de los mismos.

Durante la etapa de exploración en campo (superficial y profunda), se recuperaron muestras alteradas e inalteradas a diferentes profundidades. Algunas de las muestras alteradas fueron destinadas a ensayos de clasificación como son: humedad natural (ASTM D2216), límites de consistencia (ASTM D4318), granulometría por tamizado y lavado sobre la malla 200 (ASTM D422), y gravedad específica (ASTM D854). Sobre las muestras inalteradas, se realizaron ensayos de resistencia al corte para determinar los parámetros de resistencia al corte del suelo. Se realizaron ensayos de corte directo según la norma ASTM D3080 el cual está únicamente estandarizado para condiciones consolidadas drenadas (CD), debido a la imposibilidad de garantizar que la muestra falla en condiciones no drenadas.

La revisión de la información básica también jugó un papel importante en la caracterización de los materiales, no obstante esta se concentró principalmente en la búsqueda y conformación de una base de datos de ensayos de resistencia al cortante. Para los ensayos de clasificación no se consideró relevante procesar una base de datos, dado el volumen de información que en este aspecto se tiene, pero principalmente por el hecho de que dicha información no juega un papel importante en la modelación de la estabilidad y la obtención de la amenaza, estableciéndose que la información generada propiamente para este estudio en cuanto a la obtención de las propiedades índice, se considera información adecuada y suficiente.

En cuanto a los ensayos de resistencia al cortante, sólo fueron tenidos en cuenta aquellos ensayos que se encontraron cerca de la zona de estudio y que correspondieran a ensayos que modelaran condiciones drenadas y presentaran parámetros de resistencia al corte en condiciones efectivas. Estos ensayos fueron entonces cortes directos modalidad consolidado drenado (CD) y ensayos de compresión triaxial modalidad consolidado drenado (CD) y consolidado no drenado (CU), en estos últimos siempre y cuando se tuviera lectura de presiones de poros. Ensayos de resistencia al corte en modalidad consolidado no drenado (CU) o no consolidado no drenado (UU) que presentan parámetros de resistencia al corte en condiciones totales no fueron tenidos en cuenta para la compilación y procesamiento de la base de datos.

En el Anexo 03 de este informe se presentan los resultados completos de los ensayos de clasificación y resistencia al corte ejecutados para este proyecto y adicionalmente se presenta la base de datos conformada para la caracterización mecánica de los materiales.

10.2.1 Ensayos de clasificación

La Tabla 31 presenta el resumen de los resultados de los ensayos de clasificación y en la Tabla 32 se presentan las variables de estado de algunas de las muestras tomadas durante la campaña exploratoria.

Tabla 31. Resumen de resultados de los ensayos de laboratorio

Sondeo	Muestra	Profundidad [m]	Estrato	w [%]	LL [%]	IP [%]	IC	% Gravas	% Arenas	% Finos	USCS
U-EP-PP-02	M1	1-1.45	Cenizas volcánicas removilizadas	0.8	49	-1		0	1	99	ML
P-VT-PP-02	M2	2.00 - 2.45	Lleno antrópico (QII)	12.0	29			1	68	31	SM
P-VT-PR-20	M3	2-2.45	Lleno antrópico (QII)	13.9	53	21	1.9	44	38	18	GM
P-VT-PR-22	M3	2.00 - 2.45	Lleno antrópico (QII)	20.2	51	13	2.4	2	44	54	MH

Tabla 31. Resumen de resultados de los ensayos de laboratorio

Sondeo	Muestra	Profundidad [m]	Estrato	w [%]	LL [%]	IP [%]	IC	% Gravas	% Arenas	% Finos	USCS
P-VT-PR-22	M6	5.00 - 5.45	Lleno antrópico (QII)	5.0	36	4	7.8	0	65	35	SC
P-VT-PR-22	M8	7.00 - 7.45	Lleno antrópico (QII)	3.5	31	1	27.5	0	65	35	SM
P-VT-PR-23	M3	2.00 - 2.45	Lleno antrópico (QII)	16.6	24			28	58	14	SM
P-VT-PR-24	M3	2.00 - 2.45	Lleno antrópico (QII)	4.4	30	1	25.6	11	60	29	SM
P-VT-PR-24	M6	5.00 - 6.00	Lleno antrópico (QII)	9.3				12	78	10	SW-SM
P-VT-PR-26	M3	2.00 - 2.45	Lleno antrópico (QII)	16.6	58	22	1.9	2	25	73	MH
P-VT-PR-25	M3	2-2.45	Depósito de flujo de lodos y/o escombros	9.0	35	2	13.0	4	55	41	SM
P-VT-PR-26	M7	6.00 - 6.45	Depósito de flujo de lodos y/o escombros	4.9	31	1	26.1	39	35	26	GM
U-EP-PP-02	M3	3-3.45	Residual (IB-IC) de Dunitas de Medellín	1.2	57	5	11.2	3	7	90	MH
U-EP-PP-02	M6-M7	6-7.45	Residual (IB-IC) de Dunitas de Medellín	52.1	61	5	1.8	1	17	82	MH
U-EP-PP-02	M10-M11	10-11.45	Residual (IB-IC) de Dunitas de Medellín	19.5	45	7	3.6	6	27	67	ML
U-EP-PP-03	M6	2.3-2.7	Residual (IB-IC) de Dunitas de Medellín	50.9	54	-2		0	16	84	ML
U-EP-PP-03	M12-M13	5-5.9	Residual (IB-IC) de Dunitas de Medellín	42.8	63	18	1.1	44	23	33	GM
U-EP-PP-03	M18-M19	7.7-8.6	Residual (IB-IC) de Dunitas de	37.2	64	26	1.0	22	28	50	MH

Tabla 31. Resumen de resultados de los ensayos de laboratorio

Sondeo	Muestra	Profundidad [m]	Estrato	w [%]	LL [%]	IP [%]	IC	% Gravas	% Arenas	% Finos	USCS
			Medellín								
P-VT-PP-01	M2	2.00 - 2.45	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	18.8	39	8	2.5	0	47	53	ML
P-VT-PP-01	M4	4.00 - 4.45	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	17.4	39	5	4.3	0	49	51	ML
P-VT-PP-01	M6-M7	6.00 - 7.45	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	18.2	39	4	5.2	0	50	50	SM
P-VT-PP-01	M8-M9	8.00 - 9.45	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	15.9	39	5	4.6	0	51	49	SM
P-VT-PP-02	M3	3.00 - 3.45	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	14.9	33	1	18.1	0	55	45	SM
P-VT-PP-02	M5	5.00 - 5.45	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	11.3	32			14	56	30	SM
P-VT-PP-02	M7	7.00 - 7.45	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	7.1	25			0	70	30	SM
P-VT-PR-20	M7	6-6.5	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	12.7	43	14	2.2	6	60	34	SM
P-VT-PR-20	M9	7-7.45	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	15.1	32	13	1.3	1	45	54	CL
P-VT-PR-20	M15	13-14.0	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	16.1	28	-1		0	63	37	SM
P-VT-PR-20	M21	19-20.0	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	12.3	29	1	16.7	11	63	26	SM
P-VT-PR-20	M24	22-23.0	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	10.6		0		6	90	4	SP

Tabla 31. Resumen de resultados de los ensayos de laboratorio

Sondeo	Muestra	Profundidad [m]	Estrato	w [%]	LL [%]	IP [%]	IC	% Gravas	% Arenas	% Finos	USCS
P-VT-PR-20	M31	29-30.0	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	19.8	43	4	5.8	28	58	14	SM
P-VT-PR-21	M1	4-5.0	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	9.5	40	2	15.3	0	51	49	SM
P-VT-PR-21	M7	10-11.0	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	32.3	30	-10		0	84	16	SM
P-VT-PR-21	M10	13-14.0	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	18.6	30	-8		0	83	17	SM
P-VT-PR-21	M14	17-18.0	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	15.2	31	-4		0	78	22	SM
P-VT-PR-21	M16	19-20.0	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	22.0	30	-6		0	76	24	SM
P-VT-PR-23	M8	7.00 - 7.45	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	6.4	32			29	53	18	SM
P-VT-PR-24	M10	9.55 - 10.00	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	7.7	31			3	74	23	SM
P-VT-PR-24	M11	10.55 - 11.00	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	12.0	33	4	5.3	0	68	32	SM
P-VT-PR-24	M13	12.55 - 13.00	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	0.7	33	1	32.3	0	71	29	SM
P-VT-PR-24	M15	14.55 - 15.00	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	0.9	32			0	70	30	SM
P-VT-PR-24	M18	17.55 - 18.00	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	0.8	34			0	68	32	SM

Tabla 31. Resumen de resultados de los ensayos de laboratorio

Sondeo	Muestra	Profundidad [m]	Estrato	w [%]	LL [%]	IP [%]	IC	% Gravas	% Arenas	% Finos	USCS
P-VT-PR-24	M20	19.55 - 20.00	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	0.8	32			1	73	26	SM
P-VT-PR-25	M5	4-4.45	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	1.1		0		0	77	23	SM
P-VT-PR-25	M8	7-7.45	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	6.0	24	-3		0	66	34	SM
P-VT-PR-25	M11	10-10.45	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	3.0	29	-5		0	81	19	SM
P-VT-PR-25	M13	13-14.0	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	1.2		0		0	80	20	SM
P-VT-PR-26	M9	8.00 - 8.45	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	3.8	31			0	56	44	SM
P-VT-PR-26	M12	11.00 - 11.45	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	16.1	33	6	2.8	0	42	58	ML
P-VT-PR-26	M16	15.00 - 15.30	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	0.7	29			0	79	21	SM
P-VT-PR-26	M18	17.00 - 17.45	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	0.6				0	78	22	SM
P-VT-PR-26	M20	19.00 - 19.45	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	0.6				1	76	23	SM
P-VT-PR-26	M25	24.00 - 24.45	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	0.8				0	80	20	SM



 edu [®] Empresa de Desarrollo Urbano	SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA “ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN” INFORME POLIGONO VILLA TURBAY	 edu [®] Empresa de Desarrollo Urbano
--	---	--

Tabla 32. Variables de estado de algunas de las muestras ensayadas

Sondeo	Muestra	Profundidad [m]	Estrato	w [%]	Gs	e	S [%]
P-VT-PR-22	M6	5.00 - 5.45	Lleno antrópico (QII)	5.0	2.74	0.73	18.7
U-EP-PP-02	M6-M7	6-7.45	Residual (IB-IC) de Dunitas de Medellín	52.1	3.03	1.64	96.0
U-EP-PP-03	M12-M13	5-5.9	Residual (IB-IC) de Dunitas de Medellín	42.8	3.00	1.46	88.0
P-VT-PP-01	M6-M7	6.00 - 7.45	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	18.20	2.69	0.75	65.80
P-VT-PP-02	M5	5.00 - 5.45	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	11.30	2.77	0.69	45.48
P-VT-PR-20	M31	29-30.0	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	19.8	2.60	0.71	72.8
P-VT-PR-21	M1	4-5.0	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	9.5	2.72	0.63	40.8
P-VT-PR-24	M10	9.55 - 10.00	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	7.70	2.74	0.61	34.28
P-VT-PR-24	M15	14.55 - 15.00	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	0.90	2.73	0.51	4.81
P-VT-PR-25	M8	7-7.45	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	6.0	2.75	0.60	27.6
P-VT-PR-26	M12	11.00 - 11.45	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	16.10	2.75	0.75	58.97
P-VT-PR-26	M25	24.00 - 24.45	Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño	0.80	2.75	0.52	4.23

Para el análisis de esta información se trazaron las gráficas que se presentan en la Figura 160 hasta la Figura 163. El conjunto de gráficas mencionado muestra la clasificación de la fracción fina de los materiales en la Carta de Plasticidad de Casagrande, la variación en profundidad de la distribución granulométrica de las muestras, así como de la consistencia, relación de vacíos y saturación.

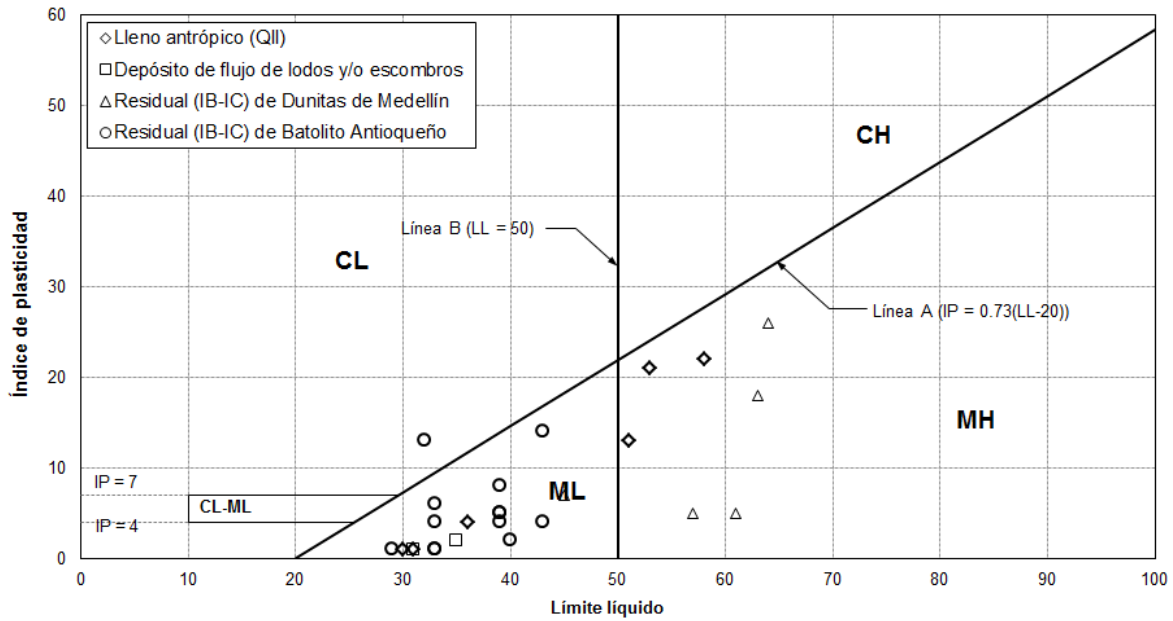


Figura 160. Ensayos de clasificación en Carta de Plasticidad de Casagrande

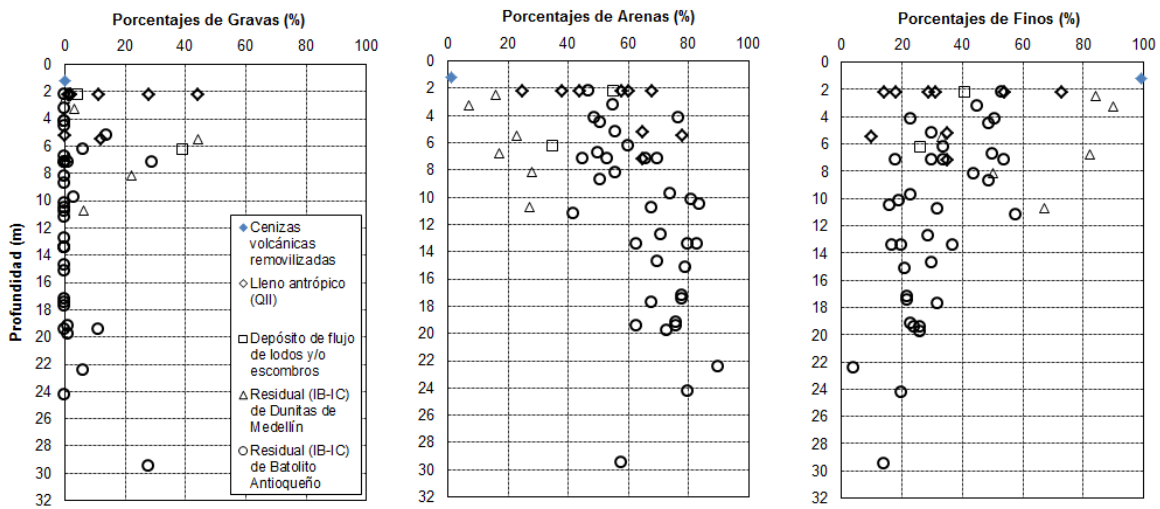


Figura 161. Porcentajes de gravas, arenas y finos variando con la profundidad

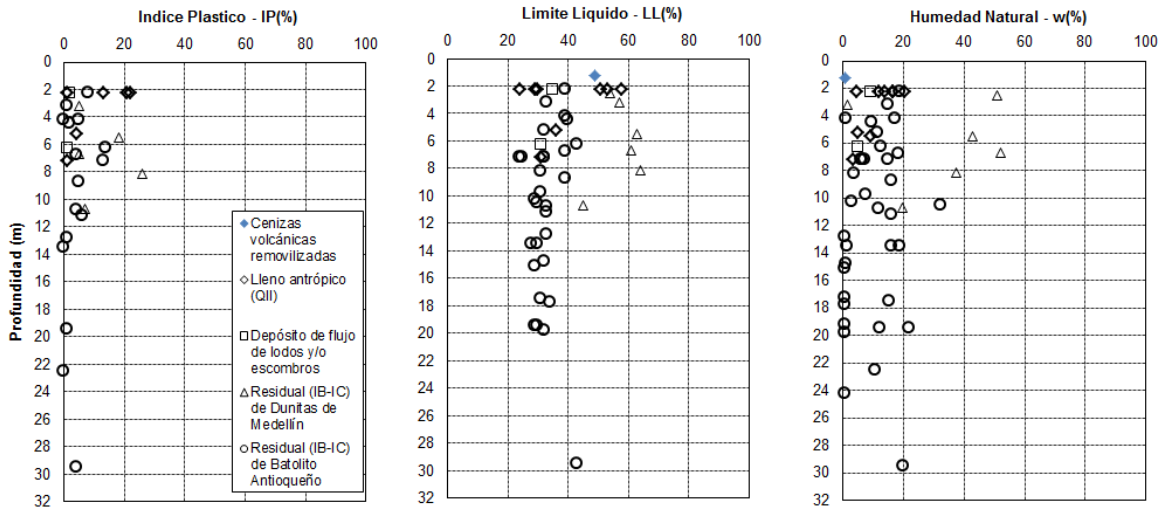


Figura 162. Índice plástico, límite líquido y humedad natural variando con la profundidad.

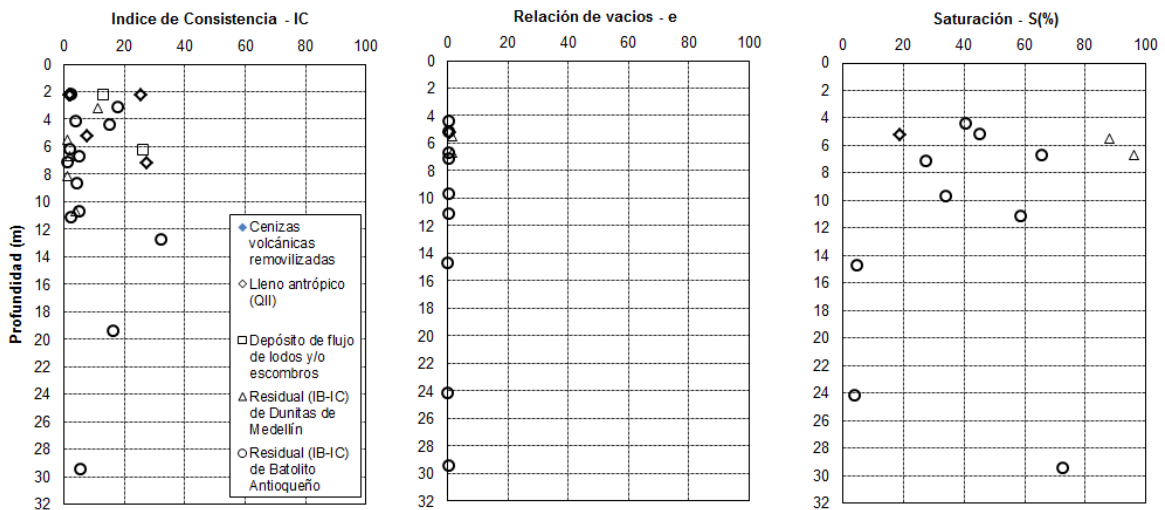




Figura 163. Índice de consistencia, relación de vacíos y saturación variando con la profundidad.

Para el lleno antrópico se presentó un predominio de la fracción gruesa, con un porcentaje de gravas del 44 %, 38 % de arenas y 18 % de finos. En cuanto a la fracción fina, se obtuvo un límite líquido por encima de 50 y un índice de plasticidad de 21. De acuerdo con lo anterior, el material analizado clasificó como gravas limosas (GM).

En los depósitos de flujos de lodos y/o escombros predominó la fracción gruesa, con un contenido del 4 % de gravas, 55 % de arenas, y 41 % para los finos. La fracción fina de las muestras se caracterizó por tener un límite líquido de 35 y un índice de plasticidad 2,

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

mostrando un comportamiento poco plástico. De acuerdo con lo anterior, el material clasificó como arenas limosas (SM) según el Sistema de Clasificación Unificada de Suelos.

Para el Suelo Residual (IB-IC) de Batolito Antioqueño se presentó un predominio de la fracción gruesa del material, con un porcentaje de gravas variando del 0% al 28%, las arenas en un rango del 45% al 90% y los finos del 4% al 54%. Por su parte, la fracción fina presentó límites líquidos con valores inferiores a 50 (a la izquierda de la línea B), así como límites de plasticidad entre 19 y 40, conllevando a valores de índices de plasticidad representativos de suelos de baja o nula plasticidad. La gravedad específica de las muestras varió entre 2.60 y 2.75, la relación de vacíos se encuentra entre 0.60 y 0.71, mientras los valores de saturación se encuentran entre 28% y 73%.

10.2.2 Ensayos de resistencia al corte

Para determinar los parámetros de resistencia al corte del suelo, se realizaron ensayos de corte directo según la Norma ASTM D3080. Este ensayo únicamente está estandarizado para condiciones consolidadas drenadas (CD), debido a la imposibilidad de garantizar que la muestra falla en condiciones no drenadas.

Al realizar la falla a la velocidad máxima recomendada por la norma, se garantiza la condición drenada del ensayo, por lo tanto los esfuerzos transmitidos al espécimen del ensayo son efectivos, por lo que la resistencia del suelo queda en términos de esfuerzos efectivos, siendo c' y ϕ' la cohesión y el ángulo de fricción interna los parámetros efectivos de la envolvente de resistencia al corte de Mohr-Coulomb.

Para este proyecto se realizaron tantos ensayos de resistencia al corte directo como fuera posible, con el propósito de obtener suficientes resultados para el análisis de variabilidad de los parámetros de resistencia al corte. Para el Polígono Villa Turbay se realizaron tres ensayos de corte directo modalidad CD.

- ✓ La Muestra VT1-M1, a 0.0 m de profundidad en un estrato residual (IB-IC) de los Cuerpos asociados al Batolito Antioqueño.
- ✓ La Muestra VT2-M1, a 3.0 m de profundidad en un estrato residual (IB-IC) de los Cuerpos asociados al Batolito Antioqueño.
- ✓ La Muestra VT3-M1, a 1.0 m de profundidad en un estrato residual (IB-IC) de los Cuerpos asociados al Batolito Antioqueño.

En la Tabla 33 se presenta un resumen de las propiedades y parámetros de resistencia al corte de las muestras ensayadas y de la Figura 164 a Figura 166 se presentan las envolventes de los resultados de cada uno de los ensayos de corte directo realizados para las muestras del Polígono Villa Turbay.

Tabla 33. Variables de estado de algunas de las muestras ensayadas

Muestra	Profundidad [m]	Estrato	w [%]	γ_h [kN/m ³]	γ_d [kN/m ³]	Gs	e	S [%]	c' [kPa]	ϕ' [°]
VT1-M1	0.00	Residual (IB-IC) de los Cuerpos asociados al Batolito Antioqueño	13.4	15.8	13.9	2.70	0.9	100.0	32.00	28.00
VT2-M1	3.00	Residual (IB-IC) de los Cuerpos asociados al Batolito Antioqueño	12.7	15.6	13.8	2.70	0.8	100.0	47.00	20.00
VT3-M1	1.00	Residual (IB-IC) de los Cuerpos asociados al Batolito Antioqueño	13.3	19.3	14.8	2.70	0.8	100.0	28.00	25.00

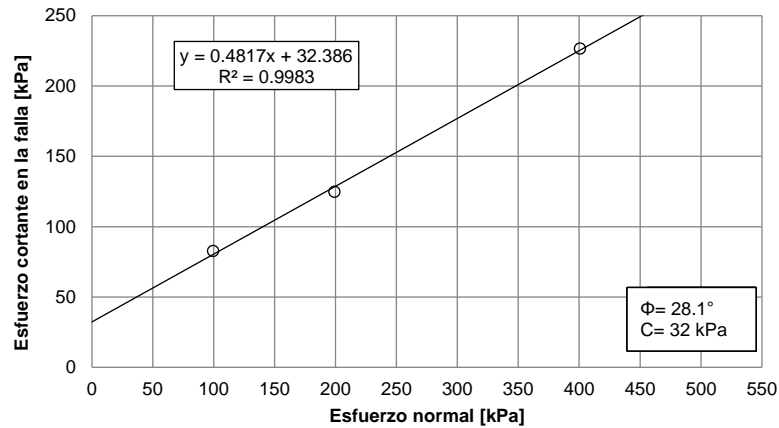


Figura 164. Resultados corte directo Muestra VT1-M1 a 0.0 m de profundidad

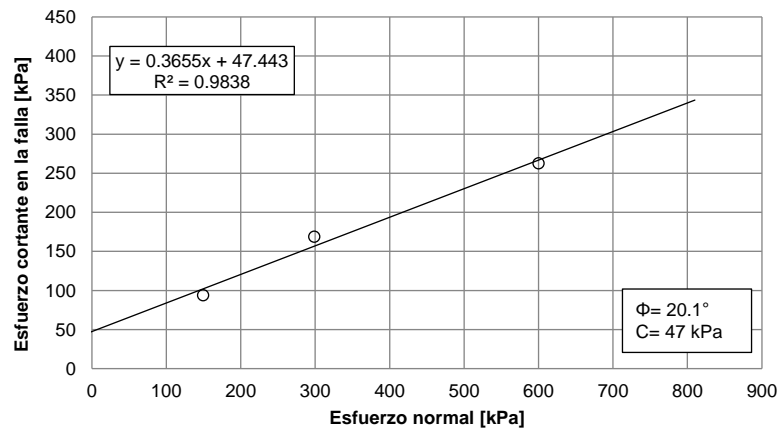


Figura 165. Resultados corte directo Muestra VT2-M1 a 3.0m de profundidad

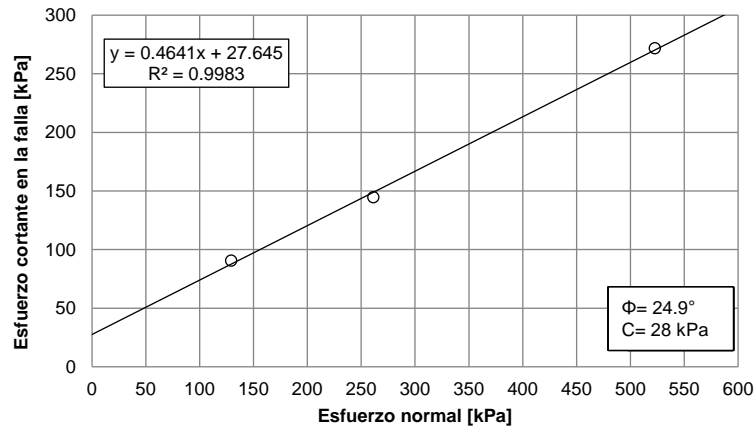


Figura 166. Resultados corte directo Muestra VT3-M1 a 1.0 m de profundidad

10.3 PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE LOS MATERIALES

10.3.1 Aspectos generales

Como parte de este estudio, fueron recopilados todos los ensayos de resistencia al corte realizados en la zona de interés, efectuados por las empresas DEACIVIL y CONSULCIVIL. Además, se utilizaron los ensayos de resistencia al corte ejecutados por INTEINSA en proyectos cercanos a la zona de estudio y ensayos propios del proyecto.

Los resultados de los ensayos de laboratorio recopilados sugieren una variabilidad considerable de las propiedades geotécnicas de los materiales. Por esto, se realizó un análisis estadístico de las propiedades de los materiales que conformando el perfil geotécnico típico, representan mayor amenaza para el proyecto. Estos análisis son necesarios para la aplicación de cualquier método probabilístico que permita encontrar la probabilidad de falla de una ladera, objetivo primordial de este estudio.

Se identificaron primero las variables que generan incertidumbre siendo estas la cohesión, el ángulo de fricción interna y el peso específico del suelo. Fue asumida una función de distribución de probabilidad normal para cada uno de estos parámetros. Luego se determinaron los momentos estadísticos de bajo orden, es decir, la media y la desviación estándar. Adicionalmente, fue calculado la covarianza o coeficiente de variación (COV) de cada uno de los parámetros.

10.3.2 Lleno antrópico

El análisis de los parámetros de resistencia al corte, obtenidos a partir de los ensayos de corte directo recopilados para el lleno antrópico, se presenta en la Figura 168.

Se observa que estos materiales son predominantemente friccionantes, teniéndose las siguientes particularidades:

- ✓ La cohesión presenta una media de 13.046 kPa con una desviación estándar asociada de ± 7.865 kPa. El coeficiente de variación es de 60.29%, que corresponde a la variabilidad más alta comparada con la obtenida para el ángulo de fricción interna y el peso unitario. Dicha variabilidad puede ser observada en la forma de la función de distribución, la cual presenta una amplitud importante cubriendo magnitudes que van desde 0 kPa hasta 35 kPa.
- ✓ El ángulo de fricción interna presenta una media de 27.899° y una desviación estándar de $\pm 4.585^\circ$, además de presentar un coeficiente de variación de 16.43%. A comparación del parámetro cohesión, la forma de la función de distribución se presenta menos amplia y cubriendo valores que van desde 15° hasta 40° aproximadamente.
- ✓ Finalmente, el peso unitario del lleno antrópico presentó una media de 17.500 kN/m^3 con una desviación estándar asociada de $\pm 1.039 \text{ kN/m}^3$. El coeficiente de variación para este parámetro es de 5.94%. Debido a su poca variabilidad, la forma de la función de distribución es bastante cerrada cubriendo valores que van desde 14 kN/m^3 hasta 22 kN/m^3 .

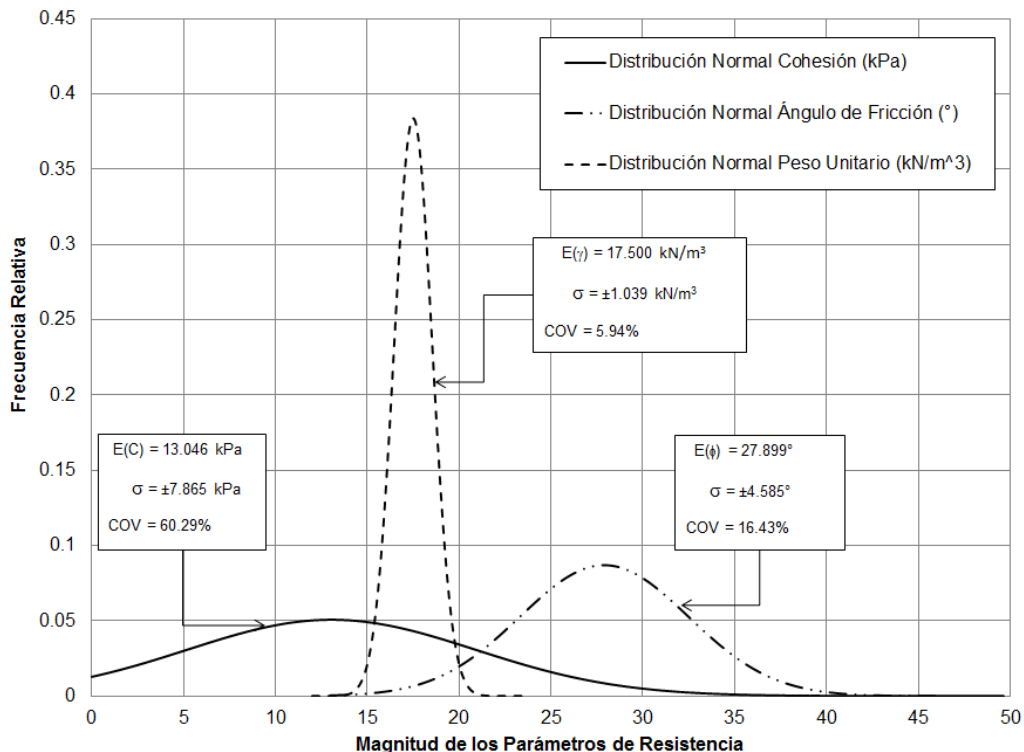




Figura 167. Análisis estadístico parámetros de resistencia al corte del lleno antrópico

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

10.3.3 Depósitos de flujo de lodos y/o escombros

El análisis de los parámetros de resistencia al corte para el depósito de vertiente tipo flujo de lodos y/o escombros se presenta en la Figura 168.

Se observa que para estos materiales los parámetros se tornan friccionantes, consecuencia del aporte por contacto entre los materiales más gruesos que superan la matriz de suelo, teniéndose las siguientes particularidades:

- ✓ La cohesión presenta una media de 19.728 kPa con una desviación estándar asociada de ± 12.431 kPa. El coeficiente de variación es de 63.01%, que corresponde a la variabilidad más alta comparada con la obtenida para el ángulo de fricción interna y el peso unitario. Dicha variabilidad puede ser observada en la forma de la función de distribución, la cual presenta una amplitud importante cubriendo magnitudes que van desde 0 kPa hasta 45 kPa.
- ✓ El ángulo de fricción interna presenta una media de 24.102° y una desviación estándar de $\pm 3.655^\circ$, además de presentar un coeficiente de variación de 15.16%. A comparación del parámetro cohesión, la forma de la función de distribución se presenta menos amplia y cubriendo valores que van desde 5° hasta 40° aproximadamente.
- ✓ Finalmente, el peso unitario del depósito de vertiente presentó una media de 17.439 kN/m^3 con una desviación estándar asociada de $\pm 1.245 \text{ kN/m}^3$. El coeficiente de variación para este parámetro es de 7.14%. Debido a su poca variabilidad, la forma de la función de distribución es bastante cerrada cubriendo valores que van desde 15 kN/m^3 hasta 22 kN/m^3 .

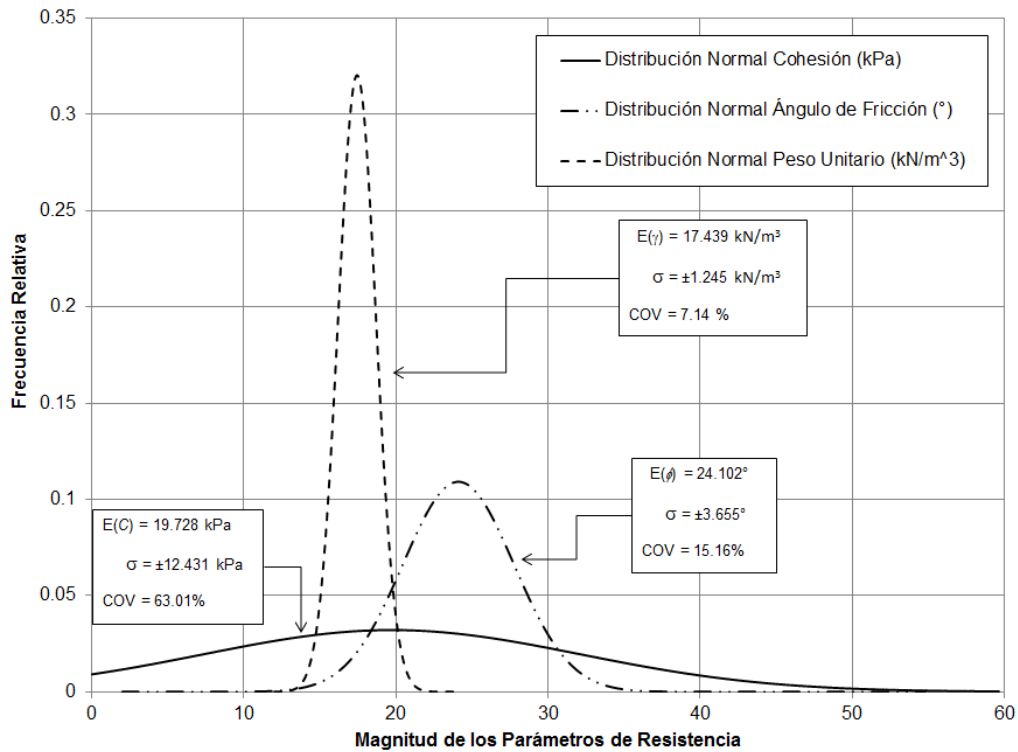


Figura 168. Análisis estadístico parámetros de resistencia al corte del depósito de vertiente

10.3.4 Depósitos coluviales

Debido a la naturaleza de este material y que no se cuenta con ensayos de resistencia al corte, se asumen los parámetros similares a los de los depósitos de flujo de lodos. El análisis de los parámetros de resistencia al corte para el depósito de flujo de lodos, que se asumirá de forma conservadora para el depósito coluvial, se presenta en la Figura 168.

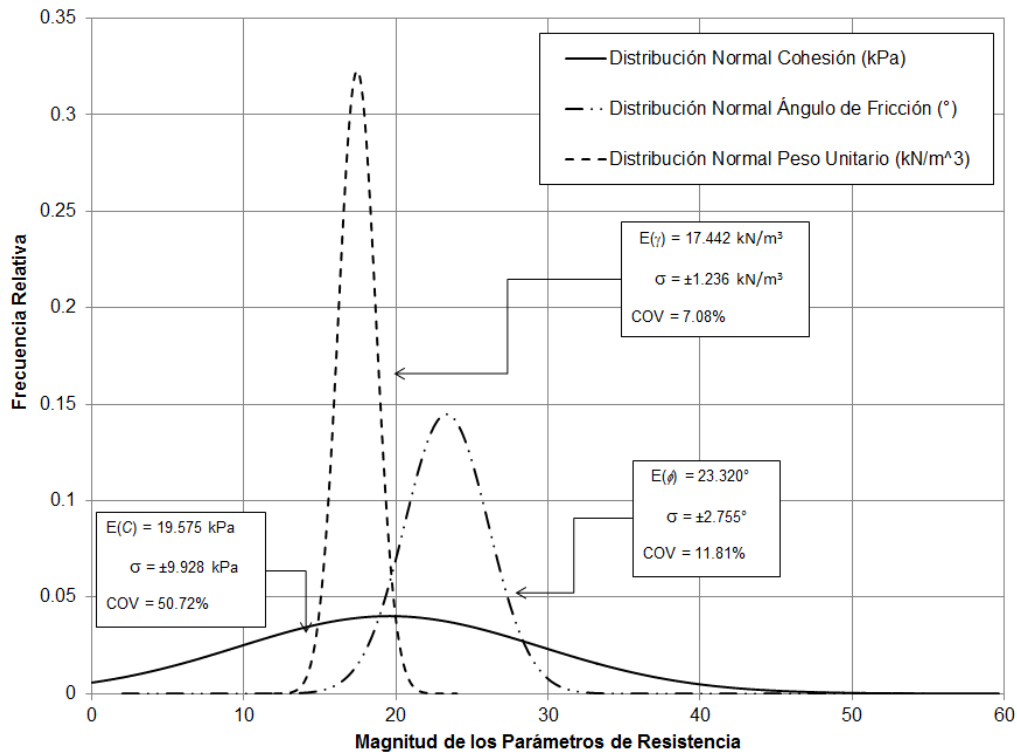


Figura 169. Análisis estadístico parámetros de resistencia al corte del depósito de vertiente tipo flujo de lodos

Se observa que para estos materiales los parámetros se tornan cohesivos, consecuencia del aporte por contacto entre los materiales más gruesos que superan la matriz de suelo, teniéndose las siguientes particularidades:

- ✓ La cohesión presenta una media de 19.575 kPa con una desviación estándar asociada de ± 9.928 kPa. El coeficiente de variación es de 50.72%, que corresponde a la variabilidad más alta comparada con la obtenida para el ángulo de fricción interna y el peso unitario. Dicha variabilidad puede ser observada en la forma de la función de distribución, la cual presenta una amplitud importante cubriendo magnitudes que van desde 0 kPa hasta 50 kPa.
- ✓ El ángulo de fricción interna presenta una media de 23.320° y una desviación estándar de $\pm 2.755^\circ$, además de presentar un coeficiente de variación de 11.81%. A comparación del parámetro cohesión, la forma de la función de distribución se presenta menos amplia y cubriendo valores que van desde 10° hasta 40° aproximadamente.
- ✓ Finalmente, el peso unitario del depósito de vertiente presentó una media de 17.442 kN/m^3 con una desviación estándar asociada de $\pm 1.236 \text{ kN/m}^3$. El coeficiente de variación para este parámetro es de 7.08%. Debido a su poca

variabilidad, la forma de la función de distribución es bastante cerrada cubriendo valores que van desde 15 kN/m³ hasta 22 kN/m³.

10.3.5 Suelos derivados de las Dunitas (Horizontes IB y IC)

El análisis de los parámetros de resistencia al corte para el Residual de la Dunita de Medellín se presenta en la Figura 170.

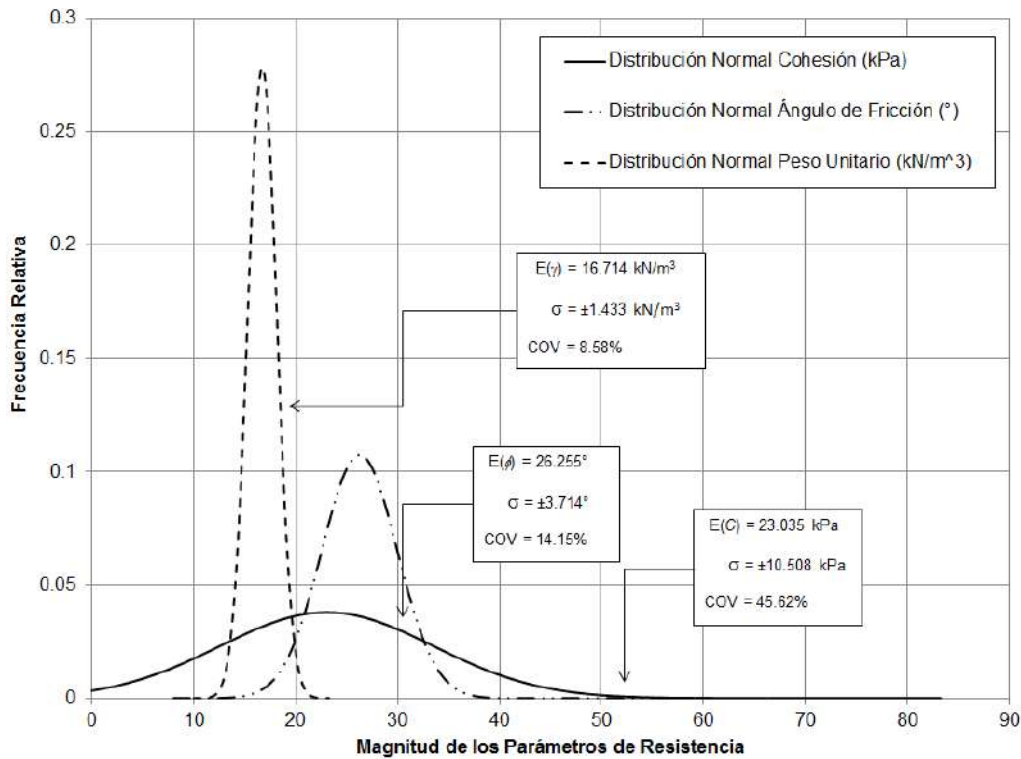




Figura 170. Análisis estadístico parámetros de resistencia al corte de los suelos residuales derivados de las Dunitas

En el caso del residual de la Dunita de Medellín los parámetros se tornan cohesivos, teniéndose las siguientes particularidades:

- ✓ La cohesión presenta una media de 23.035 kPa con una desviación estándar asociada a ±10.508 kPa. Para la cohesión se obtuvo un coeficiente de variación de 45.62%, que corresponde a la variabilidad más alta respecto a la obtenida para el ángulo de fricción interna y el peso unitario. La forma de la función de distribución para este material abarca magnitudes que van desde 0 kPa hasta 75 kPa.
- ✓ El ángulo de fricción interna presenta una media de 26.255° y una desviación estándar de ±3.714°. El ángulo de fricción interna presenta un coeficiente de variación de 14.15%. La forma de la función de distribución abarca magnitudes del ángulo de fricción que van desde 5° hasta 45° aproximadamente.

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

- ✓ Finalmente, el peso unitario del residual de la Dunita de Medellín presentó una media de 16.714 kN/m³ con una desviación estándar asociada de ±1.433 kN/m³. El coeficiente de variación para este parámetro es de 8.58%. Debido a su poca variabilidad, la forma de la función de distribución es bastante cerrada cubriendo valores que van desde 12 kN/m³ hasta 22 kN/m³.

10.3.6 Cuerpos asociados al Batolito Antioqueño

El análisis de los parámetros de resistencia al corte para el Batolito Antioqueño se presenta en la Figura 171.

En el caso del residual del Batolito Antioqueño los parámetros presentan las siguientes particularidades:

- ✓ La cohesión presenta una media de 19.00 kPa con una desviación estándar asociada a ±6.83 kPa. Para la cohesión se obtuvo un coeficiente de variación de 35.95%, que corresponde a la variabilidad más alta respecto a la obtenida para el ángulo de fricción interna y el peso unitario. La forma de la función de distribución para este material abarca magnitudes que van desde 9 kPa hasta 30 kPa.
- ✓ El ángulo de fricción interna presenta una media de 29.00° y una desviación estándar de ±5.34°. El ángulo de fricción interna presenta un coeficiente de variación de 18.41%. La forma de la función de distribución abarca magnitudes del ángulo de fricción que van desde 19° hasta 38°aproximadamente.
- ✓ Finalmente, el peso unitario del residual de la Dunita de Medellín presentó una media de 17.50 kN/m³ con una desviación estándar asociada de ±1.23 kN/m³. El coeficiente de variación para este parámetro es de 7.03%.

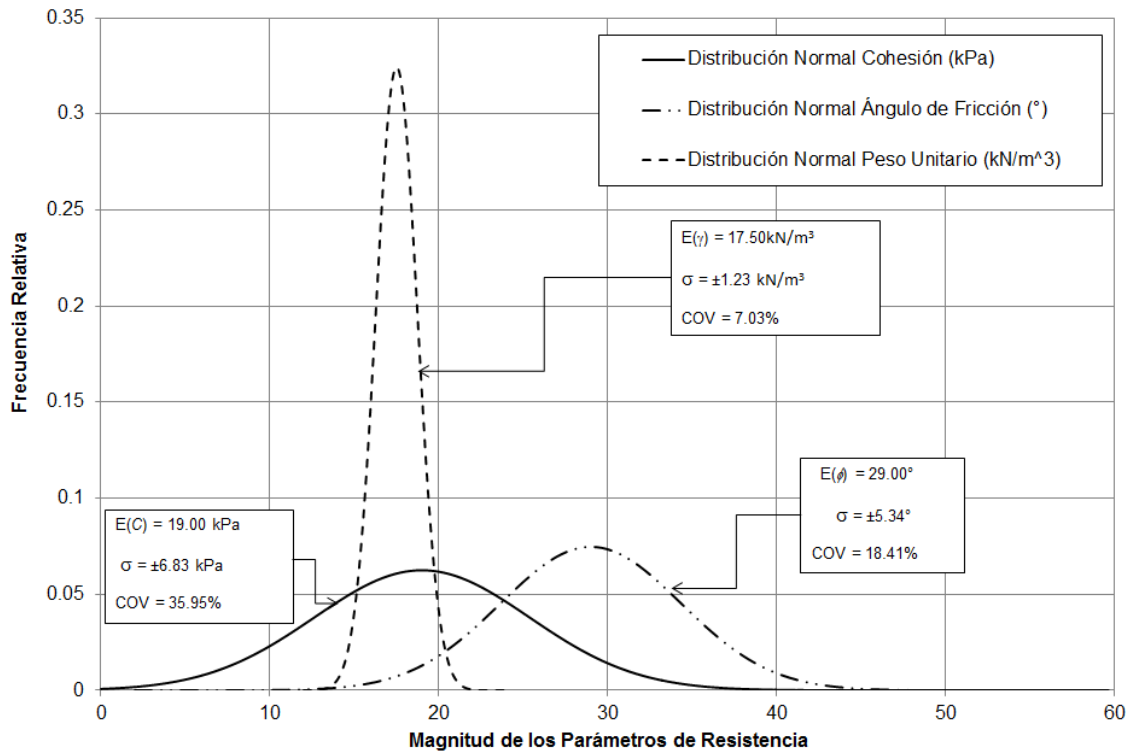


Figura 171. Análisis estadístico parámetros de resistencia al corte de los suelos residuales derivados del Batolito Antioqueño

10.3.7 Análisis variacional de los parámetros de resistencia al corte

En la Tabla 34 se presenta el resumen de los parámetros obtenidos para los diferentes materiales.

Tabla 34. Parámetros de resistencia al cortante con sus respectivos análisis variacionales



Material	c' (kPa)			ϕ' (°)			γ (kN/m³)		
	μ	δ	COV (%)	μ	δ	COV (%)	μ	δ	COV (%)
Lleno antrópico	13.05	7.87	60.29	27.90	4.59	16.43	17.50	1.04	5.94
Depósito de flujo de lodos y/o escombros	19.73	12.43	63.01	24.10	3.65	15.16	17.44	1.25	7.14
Depósito coluvial	19.57	9.93	50.72	23.32	2.75	11.81	17.44	1.24	7.08
Residual (IB-IC) de Dunitas de Medellín	23.04	10.51	45.62	26.25	3.71	14.15	16.71	1.43	8.58

Tabla 34. Parámetros de resistencia al cortante con sus respectivos análisis variacionales

Material	c' (kPa)			ϕ' (°)			γ (kN/m ³)		
	μ	δ	COV (%)	μ	δ	COV (%)	μ	δ	COV (%)
Batolito Antioqueño	19.00	6.83	35.95	29.00	5.34	18.41	17.50	1.23	7.03

Cuando se comparan las variables estadísticas de los materiales estudiados con variables estadísticas presentes en la literatura, es posible identificar varias situaciones que caracterizan los materiales y permiten hacer una especie de validación de los parámetros.

- ✓ Inicialmente el parámetro cohesión, tomando como referencia el coeficiente de variación de los materiales oscila entre el 45% y el 63%. El-Ramly (2006) reporta coeficientes de variación de la cohesión efectiva, para materiales en general igual al 22%.
- ✓ En el caso del parámetro de ángulo de fricción interna, el coeficiente de variación para todos los materiales oscilo entre 11% y 16%. En la literatura se reportan coeficientes de variación de este parámetro entre 2% y 13% (Duncan, 2000).
- ✓ Finalmente, en el caso del peso unitario húmedo, el coeficiente de variación no superó el 10%, presentándose reportes en la literatura de este parámetro entre 3% y 7% (Duncan, 2000).

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

11. ASPECTOS HIDROLÓGICOS

11.1 GENERALIDADES

La zona completa de estudio, que comprende la parte alta de las Comunas 3 y 8 de la ciudad de Medellín, se caracteriza por ser cruzada por un sistema de drenaje natural que corre de manera general de oriente a occidente y que alimenta la Quebrada Santa Elena y finalmente al Río Medellín. La dinámica natural de este sistema de drenaje podría constituir una fuente de amenaza para la mancha urbana que se ha desarrollado y expandido en las últimas décadas, dado que gran parte de ese desarrollo se ha realizado con asentamientos bastante cercanos a los cauces y a las corrientes naturales. Esta dinámica de las corrientes naturales es función de las características del clima, en particular del régimen de lluvias de la zona, y de las características geológicas y geomorfológicas del terreno.



En este capítulo se describe y caracteriza desde el punto de vista hidrológico las cuencas de drenaje natural que tienen influencia sobre el Polígono Villa Turbay, así como el régimen de precipitaciones que caracteriza a la Unidad Morfodinámica Independiente Esfuerzos de Paz - Villa Turbay. En particular, se describe la metodología y se presentan los principales resultados de la estimación de los caudales máximos en cada uno de los cauces.

11.2 REVISIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA

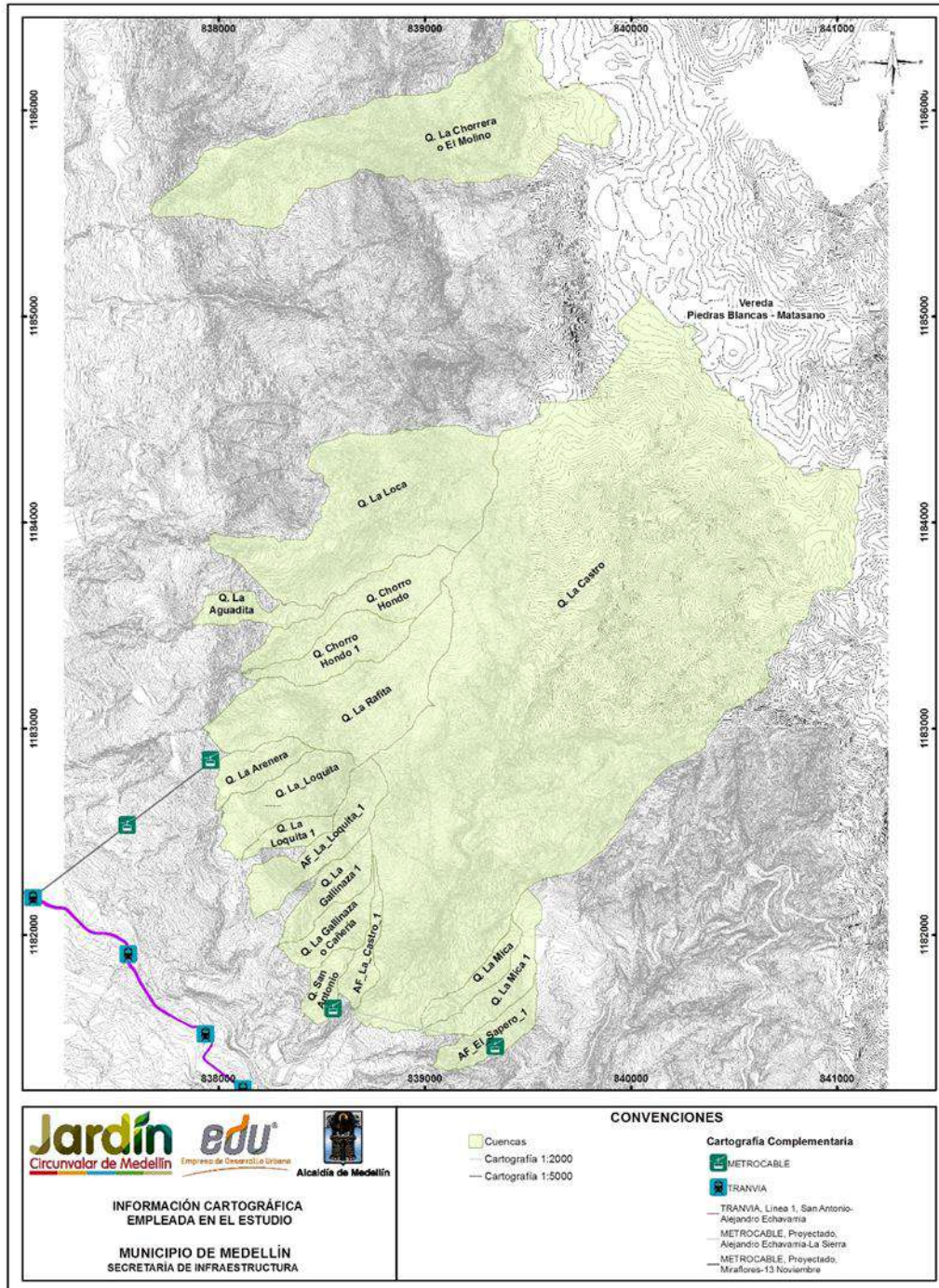
Como parte importante del desarrollo del presente estudio de riesgo se realizó un proceso de recopilación de información secundaria que es fundamental para los análisis hidrológicos e hidráulicos, así como para la evaluación de la amenaza y el riesgo por inundaciones y avenidas torrenciales.

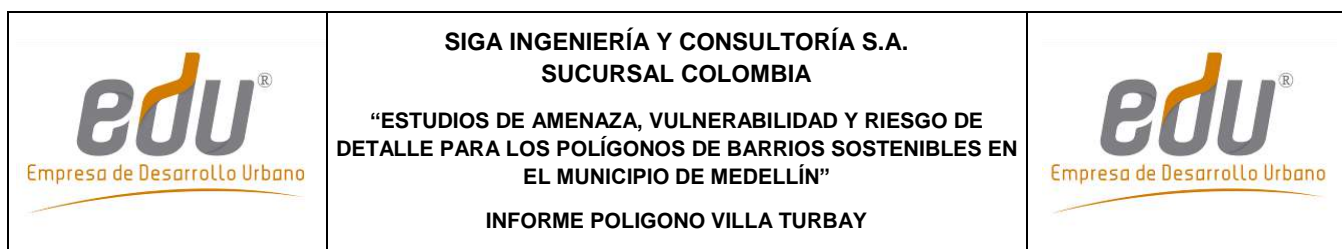
En primer lugar, se realizó la recopilación de la información cartográfica, que sirvió como punto de partida para la delimitación y caracterización geomorfológica de las cuencas. Dentro de esta información se recopiló lo siguiente:

- ✓ Cartografía del Proyecto SIGAME (1998) del Valle de Aburrá en escala 1:5000 y 1:2000 para zonas rurales y para zonas urbanas respectivamente.
- ✓ Ortofoto de la zona del proyecto suministrada por la Empresa de Desarrollo Urbano (Realizada en 2010).
- ✓ Fotografías satelitales tomadas del software Google Earth.
- ✓ Topografía de detalle levantada a lo largo de los ejes de los cauces de las Quebradas La Mica y La Mica 1 en Junio de 2015.
- ✓ Topografía de detalle levantada a lo largo del eje del cauce del Afluente El Saperó 1 en julio de 2011 por Inteinsa. Para esta información se verificó que presenta validez para las condiciones actuales del sitio.

	<p align="center"> SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA “ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN” INFORME POLIGONO VILLA TURBAY </p>	
---	---	---

Las zonas cubiertas por cada una de las cartografías empleadas en el estudio se pueden observar en el Mapa 25. Se tiene que para 16 de las 18 cuencas estudiadas en el Proyecto Barrios Sostenibles la cartografía con escala 1:2000 cubre totalmente el área comprendida por cada una. En el caso de las cuencas de las quebradas La Chorrera o El Molino y la Quebrada La Castro se debió complementar la información cartográfica de escala 1:2000 con la correspondiente a una escala 1:5000.





Adicionalmente, se recopiló información de las estaciones hidrometeorológicas de las estaciones pluviométricas y pluviográficas que se encuentran ubicadas en la zona de estudio o cerca de ella. En particular, se recopiló la siguiente información:

- ✓ Curvas Intensidad Duración Frecuencia de las estaciones operadas por Empresas Públicas de Medellín, publicadas la revista hidrometeorológica de EPM del 2005.
- ✓ Registros de precipitación de estaciones del Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá (SIATA).

11.3 ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS Y RÉGIMEN DE PRECIPITACIÓN



En la zona de estudio o cerca de ella se encuentran instaladas diversas estaciones pluviométricas que han registrado las precipitaciones durante años. Las entidades que operan actualmente estas estaciones son: Empresas Públicas de Medellín (EPM), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) y el Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá (SIATA). Entre todas estas estaciones, las de mayor interés para éste proyecto corresponden a aquellas que son operadas por EPM dado que cuentan actualmente con un periodo de registro que supera los 40 años, y porque presentan mayor certidumbre en registros de corto tiempo por contar con equipos tipo pluviógrafo. Por su parte, las estaciones del IDEAM son de tipo pluviómetro y únicamente registran lluvias en 24 horas. Las estaciones del SIATA presentan información pluviográfica, pero adolecen de un amplio periodo de registros, ya que fueron instaladas en una fecha igual o posterior al año 2010. Sin embargo, la información confiable y disponible del SIATA permitió comparar y validar algunas intensidades de diseño en la zona publicadas por EPM para diferentes duraciones y periodos de retorno.

Así las cosas, para la obtención de las intensidades de la lluvia de diseño fueron consideradas las estaciones operadas por EPM y cuya información de curvas Intensidad-Frecuencia-Duración fue publicada en la Revista Hidrometeorológica de dicha entidad en el año 2005. En la Tabla 35 se presenta un listado de las estaciones consideradas y en el Mapa 26 se muestra la ubicación de estas con respecto a la zona de estudio.

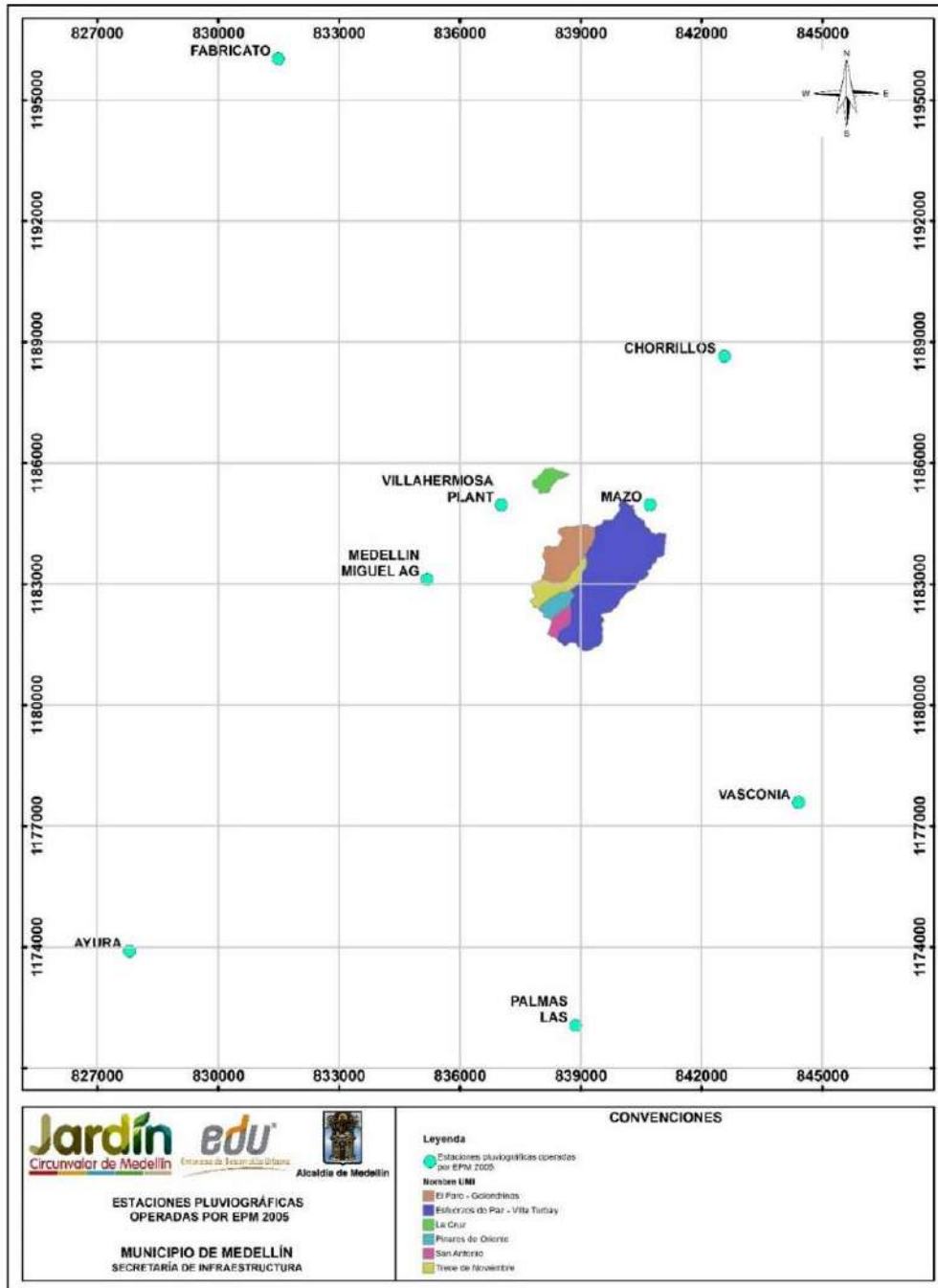
Tabla 35. Estaciones pluviográficas en la zona que son operadas por EPM (EPM, 2005) y precipitación total anual

CÓDIGO	ESTACIÓN	CATEGORÍA	FECHA INICIO	REGISTRO HASTA	ENTIDAD	ELEVACIÓN	MUNICIPIO	PRECIPITACIÓN MEDIA (mm)
27010930	AYURA	PG	15/02/1972	2011	EEPP	1770	ENVIGADO	1835.5
27010350	CHORRILLOS	PG	15/03/1948	2011	EEPP	2353	MEDELLIN	1748.3
27010370	FABRICATO	PG	15/09/1949	2013	EEPP	2422	BELLO	1754.6
27010340	MAZO	PG	15/03/1948	2011	EEPP	2455	MEDELLIN	1801.3
27010470	MEDELLIN MIGUEL AG	PG	15/06/1954	2013	EEPP	1549	MEDELLIN	1409.9
23080230	PALMAS LAS	PG	15/04/1948	2011	EEPP	2495	RETIRO	2000.2
23080240	VASCONIA	PG	15/04/1948	2011	EEPP	2510	RIONEGRO	2190.6
27010450	VILLAHERMOSA PLANT	PG	15/07/1948	2011	EEPP	1690	MEDELLIN	1582.4

A partir de la información de las estaciones pluviográficas de EPM se realizó un análisis de la distribución anual de la lluvia y del registro histórico anual de precipitaciones. La

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	--	---

precipitación media multianual de la zona de estudio se estimó mediante una interpolación con el método del inverso cuadrado de la distancia a partir de las precipitaciones medias multianuales de las estaciones (Tabla 35). En el Anexo 3 (Figura 1) se muestra el mapa con la variación de la precipitación media multianual.



**Mapa 26. Estaciones pluviométricas operadas por EPM 2005
(VTBEstacionesPluviograficasOperadasEPM2005_Medellin_C)**

11.3.1 Estación Planta Villa Hermosa

En la gráfica de la izquierda de la Figura 172 se muestran las precipitaciones medias mensuales en la Estación Planta Villa Hermosa para el periodo que va entre 1948 y 2011. Puede observarse que el régimen de precipitaciones es bimodal, con los meses de mayo y octubre como los más lluviosos y enero como el menos lluvioso. La distribución de lluvias presenta cuatro períodos, así: un período relativamente seco que va de diciembre a marzo, dos períodos de lluvias fuertes, el primero de abril a junio y el segundo de septiembre a noviembre, y un período de transición entre lluvias que va de junio a agosto, llamado veranillo.

En la gráfica de la derecha de la Figura 172 se muestra la variación interanual de la precipitación total anual para la estación Planta Villa Hermosa en el periodo que va entre 1948 y 2011. Puede observarse que la precipitación máxima histórica (2349 mm) se presentó en el año de 2011. Al revisar los registros del índice MEI de la NOAA, durante ese año se presentó el Fenómeno La Niña con un valor del índice comprendido entre -16,8 y -0,09.

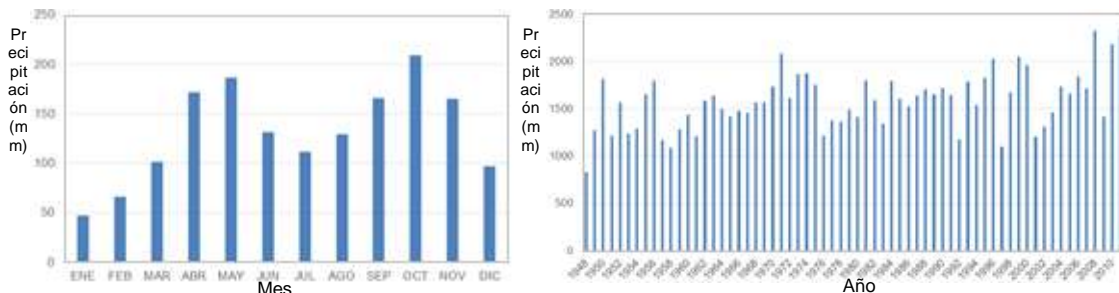


Figura 172. Precipitación media mensual y precipitaciones anuales en la Estación Planta Villa Hermosa

11.3.2 Estación Mazo

En la gráfica a la izquierda de la Figura 173 se muestran las precipitaciones medias mensuales en la estación Mazo para el periodo comprendido entre 1948 y 2011. En ella puede observarse que el régimen de precipitaciones es bimodal, con los meses de mayo y octubre como los más lluviosos y enero como el menos lluvioso. La distribución de lluvias presenta cuatro períodos, así: un período relativamente seco que va de diciembre a marzo, dos períodos de lluvias fuertes, el primero de abril a junio y el segundo de septiembre a noviembre, y un período de transición entre lluvias que va de junio a agosto, llamado veranillo.

En la gráfica a la derecha de la Figura 173 se muestra la variación interanual de la precipitación total anual para la estación Mazo en el periodo comprendido entre 1948 y 2011. En ella puede observarse que la precipitación máxima histórica (2509 mm) se presentó en el año de 2011. Al revisar los registros del índice MEI de la NOAA, durante

ese año se presentó el fenómeno de La Niña con un valor del índice comprendido entre -16,8 y -0,09.

11.3.3 Estación Miguel de Aguinaga

En la gráfica a la derecha de la Figura 174 se muestran las precipitaciones medias mensuales en la estación Miguel de Aguinaga para el periodo comprendido entre 1954 y 2013. En ella puede observarse que el régimen de precipitaciones es bimodal, con los meses de mayo y octubre como los más lluviosos y enero como el menos lluvioso. La distribución de lluvias presenta cuatro períodos, así: un período relativamente seco que va de diciembre a marzo, dos períodos de lluvias fuertes, el primero de abril a junio y el segundo de septiembre a noviembre, y un período de transición entre lluvias que va de junio a agosto, llamado veranillo.

En la gráfica a la derecha de la Figura 174 se muestra la variación interanual de la precipitación total anual para la estación Miguel de Aguinaga en el periodo comprendido entre 1954 y 2013. En ella puede observarse que la precipitación máxima histórica (2180 mm) se presentó en el año de 2008. Al revisar los registros del índice MEI de la NOAA, durante ese año se presentó el fenómeno de La Niña.

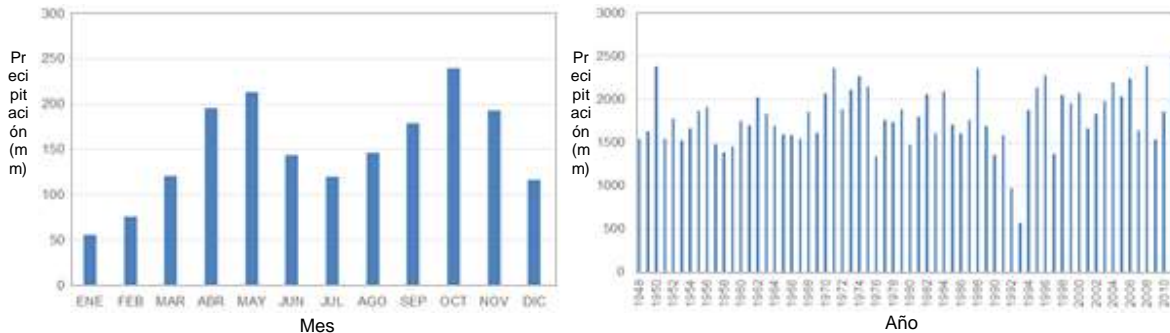


Figura 173. Precipitación media mensual y precipitaciones anuales en la Estación Mazo

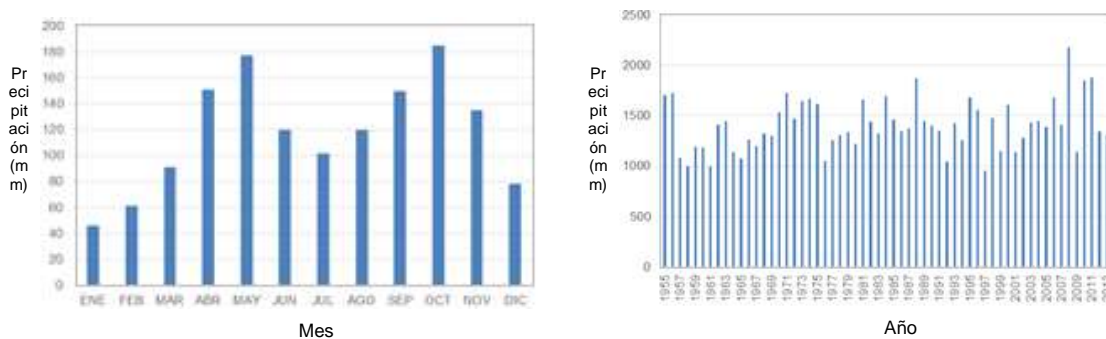


Figura 174. Precipitación media mensual y precipitaciones anuales en la Estación Miguel de Aguinaga

A partir del análisis de las estaciones citadas, puede concluirse que zona de estudio actúa un régimen de precipitaciones bimodal con dos periodos de lluvias fuertes que van de abril a junio y de septiembre a noviembre.

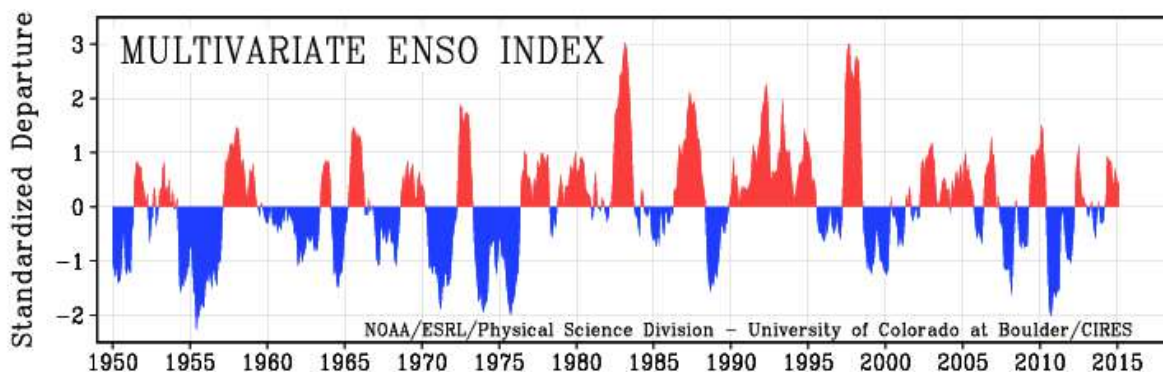


Figura 175. Índice Multivariado del ENSO (Fuente: NOAA)

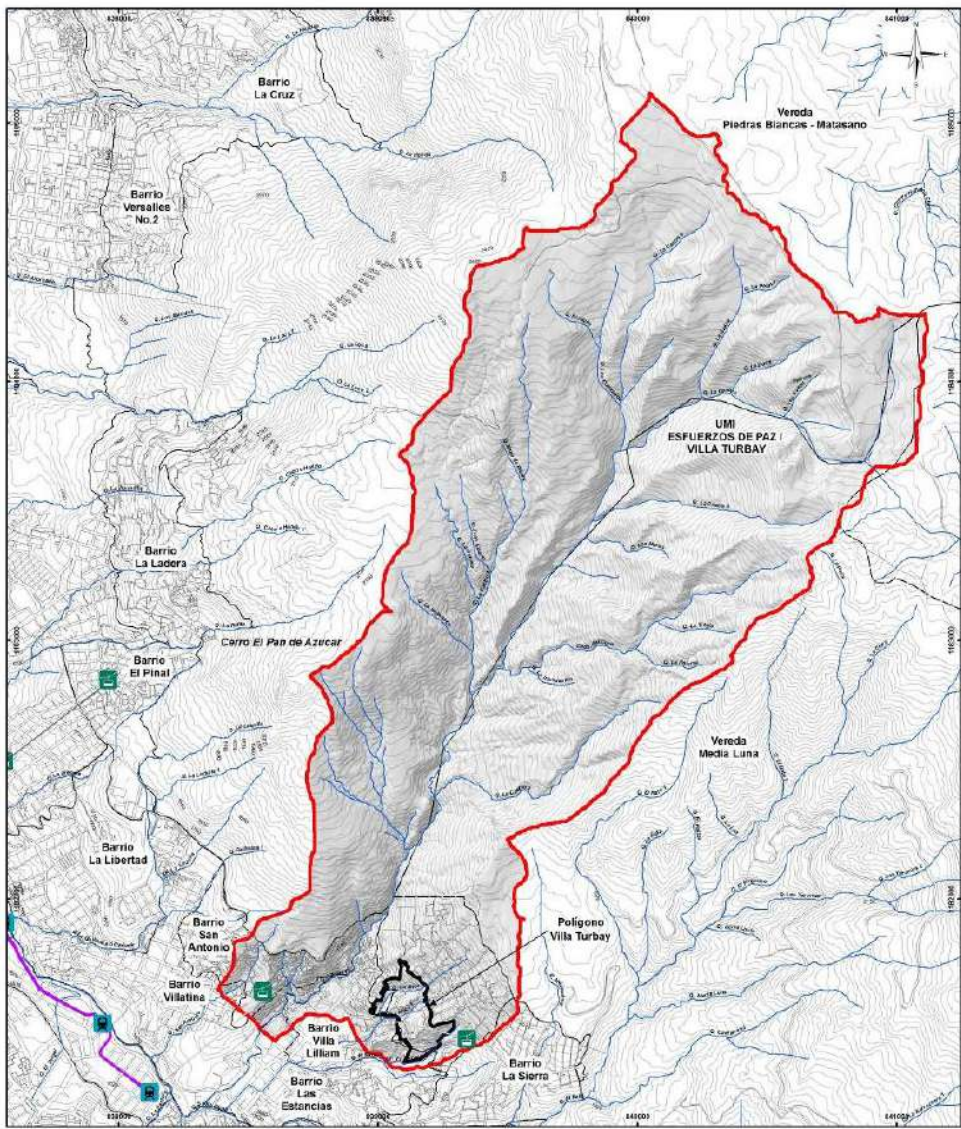
11.4 DELIMITACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS CUENCAS

En el Mapa 27 se presenta la red hídrica de la UMI Esfuerzos de Paz Villa Turbay. En el Mapa 28 se presenta la red de drenaje de la zona de estudio con las cuencas asociadas a las corrientes de agua que tienen influencia sobre el Polígono Villa Turbay.

Esta red fue establecida a partir del modelo digital del terreno generado con la información cartográfica, incluyendo los cauces naturales que tienen influencia sobre cada uno de los ocho polígonos de interés para el presente estudio. Se sometió a revisión y validación con respecto a la red hídrica del Plan de Ordenamiento Territorial (POT, 2014) del Municipio de Medellín (2014 2015) y se detectó coherencia entre ambas redes. Adicionalmente, se observó coherencia con lo observado en la ortofoto de la zona de estudio. Por esta razón se decide adoptar la red hídrica del POT como base para la elaboración del presente estudio.

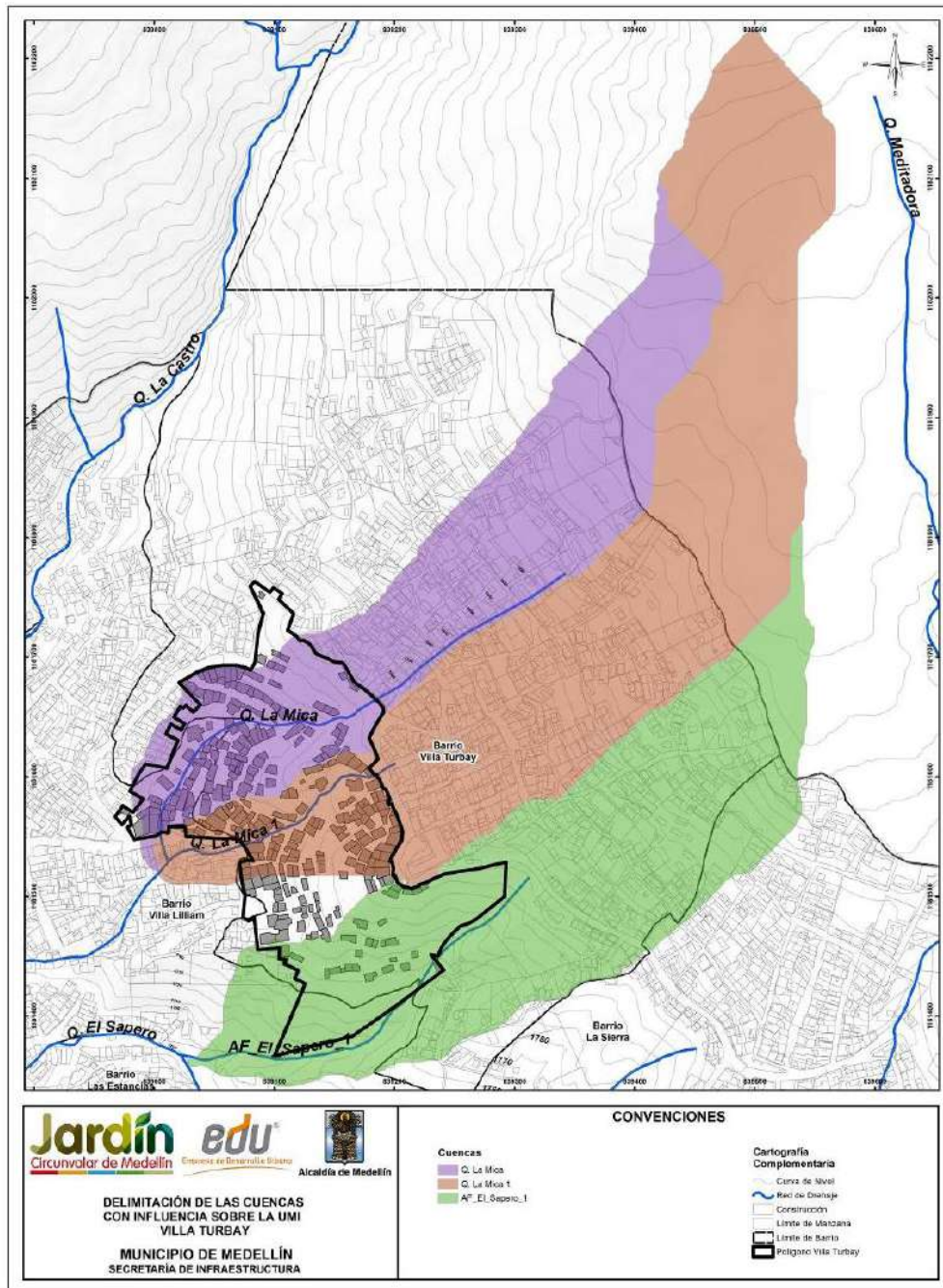
En particular para el Polígono y para la UMI de Esfuerzos de Paz - Villa Turbay, las corrientes naturales que tienen influencia corresponden a la Quebrada La Mica, La Mica 1 y el Afluente El Saperó 1. La primera corre por la zona norte del polígono, la segunda corre por la zona central y la última por el costado sur del polígono.

A partir del Modelo Digital de Elevación del Terreno y de la red de drenaje trazada se delimitaron las cuencas que tienen influencia sobre el Polígono Villa Turbay, las cuales fueron nombradas de acuerdo con la corriente a la cual pertenecen. El punto de delimitación de las cuencas corresponde al punto más bajo de la corriente al interior de la UMI.



<p>Jardín edu[®] Circunvalar de Medellín Empresa de Desarrollo Urbano Alcaldía de Medellín</p>	<p>CONVENCIONES</p> <p>Cartografía Complementaria</p> <ul style="list-style-type: none"> METROCABLE TRAMVIA TRAMVIA, Línea 1, San Antonio - Alejandro Estrucaria METROCABLE, Proyectado, Alejandro Estrucaria - La Sierra METROCABLE, Proyectado, Miraflores - 15 Noviembre <p>CONVENCIONES</p> <ul style="list-style-type: none"> Curva de Nivel Red de Cuenca Límite de Manzana Límite de Barrio Polígono Villa Turbay Límite UMI
<p>RED HÍDRICA UMI ESFUERZOS DE PAZ-VILLA TURBAY</p> <p>MUNICIPIO DE MEDELLÍN SECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA</p>	

Mapa 27. Red hídrica de la UMI Esfuerzos de Paz-Villa Turbay
 (20_VTBRedHidricaUMI_Medellin_C y 20_VTBRedHidricaUMI_Medellin_T)



**Mapa 28. Delimitación de las cuencas con influencia sobre el Polígono Villa Turbay
 (VTBDelimitacionCuencasUMI_Medellin_C)**

11.4.1 Parámetros morfométricos de las cuencas

A partir del Modelo Digital de Elevaciones del Terreno, de la red de drenaje y del trazado de las cuencas se hizo una caracterización morfométrica de cada una de ellas. En la Tabla 37 se presentan los parámetros morfométricos de cada cuenca.

El tamaño del pixel del Modelo Digital de Elevaciones del Terreno es de 2.0 m de lado, el cual es suficiente para delimitar con detalle las pequeñas cuencas del proyecto.

Tabla 36. Coordenadas de los puntos de salida del flujo en cada cuenca

PUNTO	POLÍGONO	CUENCA	X	Y
1	Villa_Turbay	AF_El_Sapero_1	839027.36	1181360.25
2	Villa_Turbay	Q. La Mica	839003.36	1181520.59
3	Villa_Turbay	Q. La Mica 1	839003.36	1181520.59

Tabla 37. Parámetros morfométricos de las cuencas de influencia en Villa Turbay



Cuenca	Area (m2)	Pendiente media de la cuenca (%)	Perimetro (m)	Altura media de la Cuenca (%)	Cota max cuenca (msnm)	Cota min cuenca (msnm)	Longitud de la cuenca (m)	Ancho de la cuenca (m)	Longitud del cauce (m)	Pendiente del cauce (%)
Q. La Mica	62436.22	49.69	1693.87	1874.97	2015.87	1726.45	712.37	87.65	869.23	30.04
Q. La Mica 1	106401.51	39.10	2190.94	1932.12	2040.00	1726.00	860.38	123.67	1000.58	29.33
AF_El_Sapero_1	79903.42	60.87	1620.70	1828.99	1982.01	1689.69	682.33	117.10	741.93	36.88

Para determinar la pendiente media de la cuenca se generó un mapa de pendientes a partir del MDT de la zona de estudio, teniéndose así un mapa en formato raster en el cual se tiene un valor de pendiente para cada pixel. La pendiente media de la cuenca será determinada como el promedio de los valores de pendiente para cada pixel contenidos dentro de la cuenca.

11.4.2 Usos del suelo

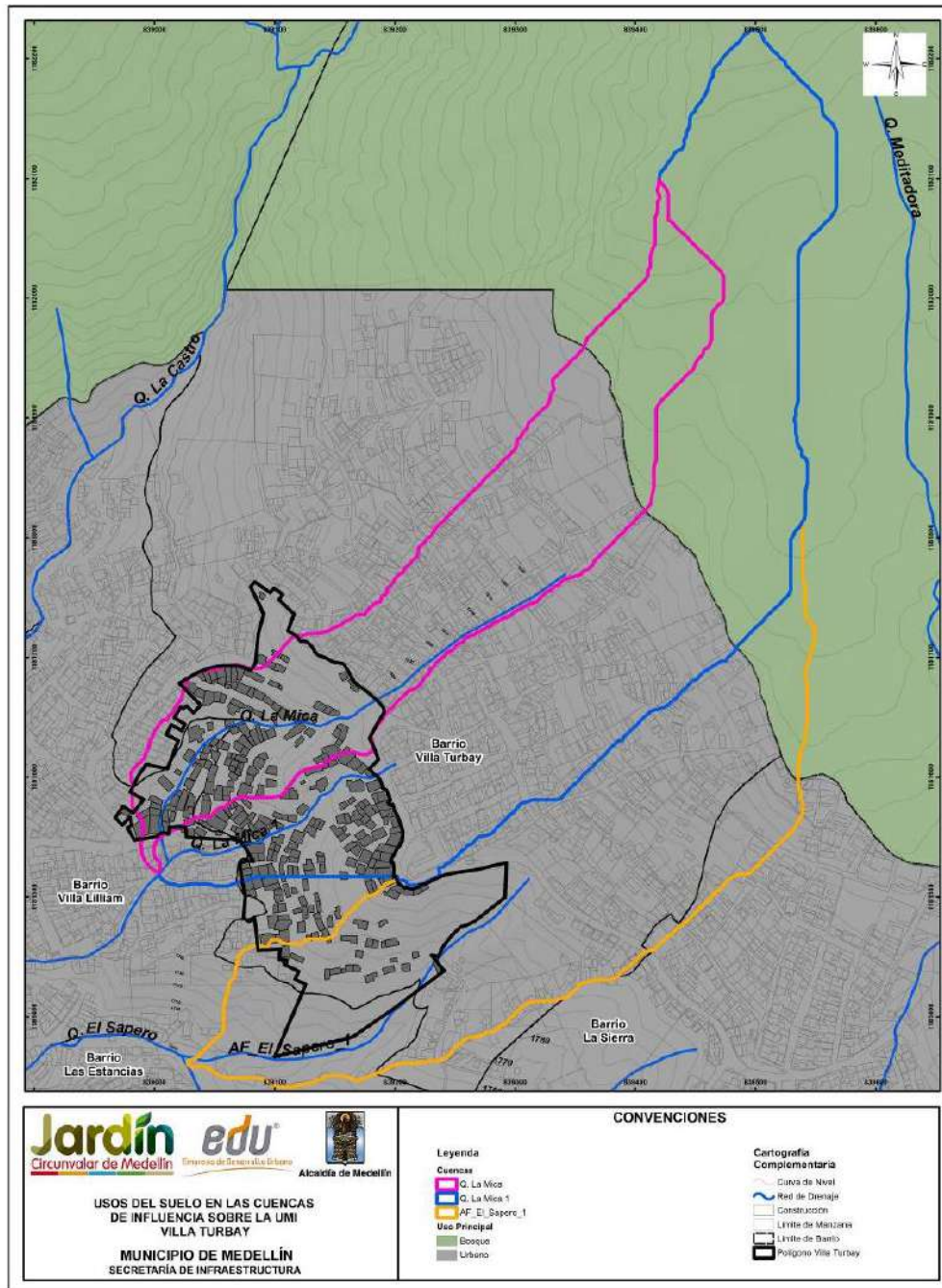
Para la asignación de los usos del suelo al interior de cada una de las cuencas con fines de modelación hidrológica, se empleó la información correspondientes a usos del suelo definidos que es indicada en el POT (2014) y la cual es presentada en los Mapas del Atlas 14_VTB Clasificación del Suelo_Medellin_T al 17_VTB Usos del Suelo Rural_Medellin_T para la UMI Efuerzos de Paz-Villa Turbay. Esta información es retomada en este apartado en el Mapa 29, en el cual se ha realizado una reclasificación en términos de los tipos de coberturas o usos del suelo con fines del cálculo hidrológico. Para la asignación de los usos del suelo al interior de cada una de las cuencas con fines de modelación hidrológica, se empleó la información que al respecto es indicada en el POT (2014). En la Tabla 38 se muestra un resumen para cada cuenca.

Adicionalmente, se realizó una comparación de los usos del suelo indicados en el POT (2014) con respecto de los observados en la ortofoto (2010). Pudo constatarse que en la zona rural existen algunas diferencias de asignación al uso del suelo entre la ortofoto (2010) y el POT (2014), pero todas las fuentes coinciden en la asignación de la zona urbana. A pesar de lo primero, los coeficientes de escorrentía (C_e) que se asignan a partir de una o de la otra fuente no varían significativamente debido a la semejanza entre

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	--	---

los valores recomendados por Chow et al (1994) para zonas no desarrolladas cuando la pendiente del terreno es superior al 7%.

Las áreas de las zonas urbanas se encuentran localizadas en la parte baja y media de cada cuenca, teniéndose que para las corrientes analizadas una alta intervención antrópica de las cuencas, aspecto que se puede ver en la Tabla 38 ya que para las cuencas de las quebradas La Mica, La Mica 1 y el Afluente el Saperó 1 se tienen áreas urbanas del 81% ,55% y 93% sobre el total del área de cada cuenca respectivamente.



Mapa 29. Usos del suelo en las cuencas de influencia sobre el Polígono Villa Turbay Modificado del POT (2014) (VTBUsosSuelosCuencasUMI_Medellin_C)

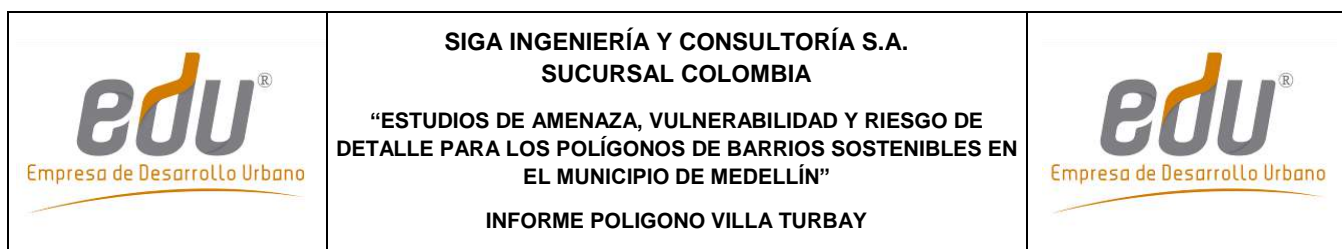


Tabla 38. Usos del suelo en las cuencas de influencia en Villa Turbay

CUENCA	Usos del Suelo (%)			
	Cultivos	Pastizales	Bosques	Urbano
	Forestal productor	Agroforestal	Forestal protector	Urbano
AF_El_Sapero	0%	0%	7%	93%
Q. La Mica	0%	0%	19%	81%
Q. La Mica 1	0%	0%	45%	55%

11.4.3 Tiempos de concentración

El tiempo de concentración se define como el tiempo que toma una gota de agua desde la parte más alejada de la cuenca hasta el punto de salida de la misma. Para estimar este tiempo se cuenta con una gran cantidad de modelos propuestos por diferentes autores, los cuales se encuentran en función de las características morfológicas de la cuenca.

En la Tabla 39 se presentan los diferentes modelos empleados para la estimación del tiempo de concentración y en la Tabla 40 se presentan los resultados del cálculo del tiempo de concentración para las cuencas de influencia en el Polígono Villa Turbay.

Tabla 39. Modelos empleados en el cálculo del tiempo de concentración

Método	Ecuación	Parámetros
Kirpich	$T_c = 0.000325 \times \left(\frac{L^{0.77}}{S_0^{0.385}}\right)$	Tc: Tiempo de concentración (horas) L: Longitud del cauce principal (m) So: Pendiente del canal en (m/m)
Temez	$T_c = 0.3 \times \left(\frac{L}{S_0^{0.25}}\right)^{0.75}$	Tc: Tiempo de concentración (horas) L: Longitud del cauce principal (km) So: Diferencia de cotas entre los puntos extremos de la corriente sobre L (%)
Johnstone y Cross	$T_c = 5 \times \left(\frac{L}{S_0^{0.5}}\right)^{0.5}$	Tc: Tiempo de concentración (horas) L: Longitud del cauce principal (millas) So: Pendiente del canal (millas/pies)
Federal Aviation Agency (F.A.A)	$T_c = \frac{(1.1 - C) \times L^{0.5}}{S_0^{0.333}}$	Tc: Tiempo de concentración (minutos) L: Longitud del cauce principal (m) S: Pendiente del canal en (m/m) C: Coeficiente de escorrentía
Pilgrim	$T_c = 0.76 \times A^{0.385}$	Tc: Tiempo de concentración (horas) A: Área de la microcuenca (km ²)
Clark	$T_c = 0.76 \times A^{0.385}$	Tc: Tiempo de concentración (horas) A: Área de la microcuenca (km ²)
California Culvert Practice	$T_c = \left(\frac{11.9 \times L^3}{H}\right)^{0.385}$	Tc: Tiempo de concentración (horas) L: Longitud del cauce principal (millas) H: Diferencia de cotas entre los puntos extremos de la corriente (pies)
Passini I	$T_c = \frac{0.108 \times (A \times L)^{1/3}}{S_0^{0.5}}$	Tc: Tiempo de concentración (horas) L: Longitud del cauce principal (km) S: Diferencia de cotas entre los puntos extremos de la corriente sobre L (m) A: Área de la microcuenca (km ²)
California Culvert USBR	$T_c = 0.066 \times \left(\frac{L}{S_0^{0.5}}\right)^{0.77}$	Tc: Tiempo de concentración (horas) L: Longitud del cauce principal (km) So: Diferencia de cotas entre los puntos extremos de la corriente sobre L (m/m)
Giandotti	$T_c = \frac{4 \times \sqrt{A} + 1.5 \times L}{25.3 \times \sqrt{L \times S_0}}$	Tc: Tiempo de concentración (horas) L: Longitud del cauce principal (km) A: Área de la microcuenca (km ²) So: Diferencia de cotas entre los puntos extremos de la corriente (m)

Tabla 40. Tiempos de concentración calculados para las cuencas

Nombre cuenca	Tiempo de concentración (min)										Desv. Est.	Lim Sup.	Lim. Inf.	Promedio	Tc tomado
	Kirpich	Temez	F.A.A.	Pilgrim	Clark	California Culvert Practice	Passini I	California USBR	Giandotti	Promedio					
Q. La Mica	5.7	8.6	18.9	15.9	5.5	4.3	4.5	5.6	10.7	8.9	5.3	14.2	3.6	6.4	6.4
Q. La Mica 1	6.4	9.6	20.4	19.5	7.7	5.2	5.7	6.4	12.3	10.3	5.9	16.2	4.5	7.6	7.6
AF_El_Sapero_1	4.6	7.3	16.3	17.5	6.0	4.1	4.2	4.6	10.2	8.3	5.2	13.5	3.1	5.9	5.9

Para determinar el tiempo de concentración se hizo un promedio descartando los tiempos extremos que generan un gran salto en la media y la desviación estándar, siendo tomado un Tc igual a cinco minutos en los casos en que se obtiene un tiempo menor a este.

11.5 CAUDALES MÁXIMOS

11.5.1 Intensidades de Diseño

Las intensidades de diseño se tomaron a partir de las Curvas Intensidad-Duración-Frecuencia (IDF) publicadas por EPM (2005) para las estaciones

pluviográficas operadas por esta entidad y que se ubican en la zona. Las curvas IDF presentan una ecuación de la forma:

$$I = C \cdot (D + H)^M$$

Dónde I es la intensidad en mm/h y D es la duración de la precipitación en minutos. C, H y M son parámetros empíricos cuyos valores se presentan en la Tabla 41 para cada estación y periodo de retorno.

A partir de las intensidades puntuales se determinó la intensidad media de la lluvia para cada cuenca. Esto se realizó mediante un proceso de interpolación en el espacio de las intensidades puntuales. El método empleado es el del Inverso del cuadrado de la distancia (IDW). Los pesos asignados a cada estación en este proceso se presentan en el Anexo 4 (Tabla 1).

Finalmente, en la Tabla 42 se presentan las intensidades medias en cada una de las cuencas que tienen influencia sobre el Polígono.

Tabla 41. Valores de Parámetros C, H y M para curvas IDF de estaciones EPM (2005)

ESTACIÓN	PARÁMETRO	TR 2.33	TR 10	TR 50	TR 100
Palmas	C	10721.0	4404.8	2821.9	2903.2
	H	39	20	11	10
	M	-1.2205	-1.0062	-0.8815	-0.8721
Miguel de Aguinaga	C	11762.0	24290.0	39903.0	48618.0
	H	40	43	45	46
	M	-1.2843	-1.3586	-1.4053	-1.4253
Ayurá	C	4238.2	9852.6	16776.0	19876.0
	H	23	22	22	22
	M	-1.0826	-1.1821	-1.237	-1.2526
Chorrillos	C	6256.7	2779.1	3297.3	3448.0
	H	35	15	12	11
	M	-1.1469	-0.9509	-0.942	-0.9352
Mazo	C	37203.0	8937.9	8366.3	9065.6
	H	60	26	19	18
	M	-1.4366	-1.1534	-1.1058	-1.1069
Planta Villahermosa	C	4722.3	3483.1	3487.6	3491.6
	H	24	16	13	12
	M	-1.1075	-0.9946	-0.9511	-0.9353
Vasconia	C	3565.7	3587.9	4339.8	4984.9
	H	17	10	8	8
	M	-1.0225	-0.9653	-0.956	-0.9662
Fabricato	C	1751.8	2023.3	2388.4	2757.4
	H	21	13	10	10
	M	-0.8895	-0.8519	-0.8338	-0.8437

Tabla 42. Intensidades de precipitación en mm/h para cada cuenca

CUENCA	Intensidades de Diseño (mm/h)			
	TR2.33	TR10	TR50	TR100
AF_El_Sapero_1	100.74	163.71	226.39	252.59
Q. La Mica	98.48	158.97	218.99	244.12
Q. La Mica 1	95.08	152.16	208.47	232.09

11.5.2 Método Racional

Este método es uno de los de mayor empleo debido a su sencillez. Presenta validez para para cuencas de área pequeña, inferior a 3 km², ya que uno de sus supuestos es que la intensidad de la precipitación es uniforme sobre toda la cuenca. Este método también supone que la intensidad de la precipitación, permanece constante durante un tiempo mayor o igual al tiempo de concentración de la cuenca. Dadas las características de las cuencas en estudio, con áreas inferiores a 1 km², los resultados de este método serán válidos en ellas.

Según este método el caudal está dado por la siguiente ecuación, donde Q es el caudal máximo (m³/s), C es el coeficiente de escorrentía, i es la intensidad de la lluvia (mm/h) y A es el área de la microcuenca (ha).

$$Q = \frac{C \cdot i \cdot A}{360}$$

El método racional para la estimación de caudales considera un coeficiente de escorrentía superficial, el cual es la relación entre el volumen escurrido y el volumen llovido. Este coeficiente tiene una naturaleza variable ya que depende de parámetros morfométricos de la cuenca y las características mismas de la lluvia. Entre los factores referentes a la cuenca se encuentran el área, la pendiente, la forma y el uso del suelo. Los factores propios de la lluvia son la intensidad, duración y distribución espacial sobre la zona. Debido a la variación de los factores anteriormente mencionados la determinación del coeficiente de escorrentía se hace compleja ya que este no debe considerarse como una constante, pero en algunos casos prácticos se hace razonable el uso de coeficientes constantes obtenidos mediante procesos experimentales.

Para determinar los coeficientes de escorrentía se hace uso de los coeficientes propuestos por Ven Te Chow (1994), los cuales dependen del periodo de retorno, el uso del suelo, y la pendiente de la cuenca. Estos coeficientes de escorrentía de referencia se presentan en el Anexo 04 (Tabla 2), de los cuales se emplearon los correspondientes a uso residencial tipo Concreto/Techo, y a Áreas no desarrolladas para pendientes superiores al 7% de acuerdo con la topografía de la zona.

Finalmente, los coeficientes de escorrentía calculados para cada cuenca se presentan en la Tabla 43.

Tabla 43. Coeficientes de escorrentía calculados para cada cuenca

Nombre Cuenca	Coeficientes de Escorrentía (Adimensional)			
	TR2.33	TR10	TR50	TR100
AF El Saperó 1	0.72	0.80	0.89	0.94
Q. La Mica	0.67	0.75	0.83	0.88
Q. La Mica 1	0.57	0.64	0.72	0.77

11.5.3 Hidrogramas sintéticos

Dentro de las metodologías propuestas se tienen las de Williams y Hann, Snyder, y la del Soil Conservation Service (S.C.S). Estas metodologías plantean la construcción de un hidrograma unitario cuya forma está en función de características físicas de la cuenca de acuerdo a los parámetros de cada modelo. A partir de estos hidrogramas unitarios y la tormenta de diseño se obtiene el caudal máximo relacionando estos dos elementos mediante una convolución matemática, operación a través de la cual se obtienen los hidrogramas de escorrentía directa. Aunque en particular para las cuencas del Polígono Villa Turbay no fueron empleados los métodos de los hidrogramas unitarios, por el pequeño tamaño de las cuencas, a continuación se presenta una breve descripción de cada uno de los modelos de las metodologías empleadas.

11.5.3.1 Método de Williams y Hann

J. R. Williams y R. W. Hann propusieron en la década de los 70 un modelo para calcular el hidrograma unitario de una cuenca. El modelo emplea las principales características geomorfológicas de la cuenca y las representa mediante dos parámetros, K y T_p , constante de recesión y tiempo al pico respectivamente, parámetros que fueron obtenidos mediante una regresión sobre una muestra de 34 cuencas ubicadas en los Estados Unidos, la cuales tienen áreas que varían entre 0,5 y 25 millas cuadradas. Las expresiones empleadas para calcular estos parámetros son las siguientes:

$$T_p = 4.63 \cdot A^{0.422} \cdot SLP^{-0.46} \left(\frac{L}{W}\right)^{0.133} \quad K = 27 \cdot A^{0.231} \cdot SLP^{-0.777} \left(\frac{L}{W}\right)^{0.124}$$



$$Q_p = \frac{(B \cdot A \cdot R)}{896.99} T_p$$

Donde T_p es el tiempo al pico (horas), A es el área de la cuenca (km^2), SLP es la relación entre la diferencia de cotas en la microcuenca y la longitud del cauce principal (pie/milla), L/W es la relación longitud/ancho de la microcuenca, equivalente a la relación entre la longitud al cuadrado y el área (L^2/A), Q_p es el caudal máximo del hidrograma unitario (m^3/s) y R es la profundidad unitaria efectiva asociada con la hidrógrafa, igual a 1 mm.

El Parámetro B empleado para el cálculo del caudal máximo es función de una constante n , la cual depende de la relación entre la constante de recesión (K) y el tiempo al pico (T_p) (Vélez y Smith, 1997).

$$n = 1 + \left\{ \frac{1}{2(K/T_p)} + \left[\frac{1}{4(K/T_p)^2} + \frac{1}{4(K/T_p)^2} \right]^{1/2} \right\}^2$$

Las expresiones propuestas por Williams y Hann para determinar la forma del hidrograma unitario son las siguientes, donde U es el caudal unitario y T_p es el tiempo al pico.

	SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA “ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN” INFORME POLIGONO VILLA TURBAY	
---	--	---

$U = U_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{n-1} e^{\left[(1-n) \left(\frac{t}{T_p} - 1 \right) \right]}$	Para $t \leq t_0$
$U = U_0 e^{\left[\frac{t_0 - t}{K} \right]}$	Para $t_0 < t \leq t_1$
$U = U_1 e^{\left[\frac{t_0 - t}{3K} \right]}$	Para $t > t_1$

11.5.3.2 Método de SCS

El Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (Soil Conservation Service, SCS) desarrolló un Hidrograma Unitario Adimensional a partir de una serie de hidrógrafas observadas, correspondientes a microcuencas de diversos tamaños y ubicadas en distintos sitios de los Estados Unidos.

El Hidrograma Unitario adimensional curvilíneo del S.C.S puede ser representado por un Hidrograma Unitario Triangular equivalente, con las mismas unidades de tiempo y caudal, teniendo por consiguiente el mismo porcentaje del volumen en el lado creciente del Hidrograma.

El caudal pico en pies cúbicos por segundo por pulgada se puede calcular por medio de la siguiente expresión:

$$U_p = \frac{484 * A_c}{T_p}$$

En donde U_p es el caudal pico correspondiente a un Hidrograma Unitario, A_c es el área de la microcuenca en millas cuadradas y T_p es el tiempo al pico en horas.

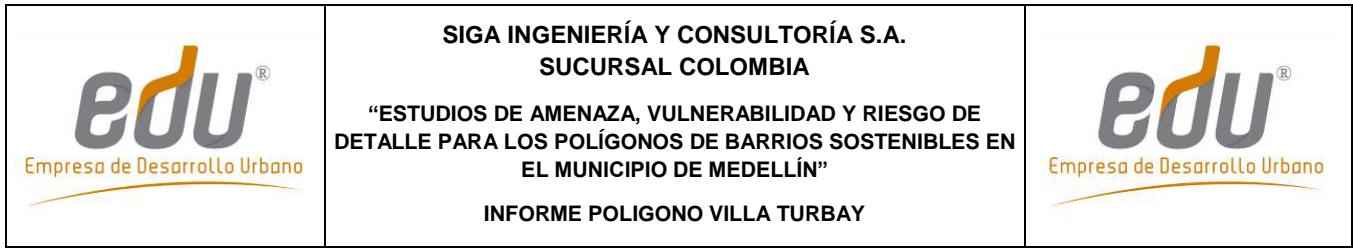
El SCS propone una relación promedio entre el tiempo de rezago, T_R y el tiempo de concentración, T_C , como:

$$T_C = \frac{5}{3} T_R$$

El tiempo de rezago, T_R , puede calcularse con base en la siguiente expresión, donde L_C es la longitud del canal principal en pies, S_C es la pendiente promedio de la microcuenca en porcentaje y S es el factor de retención o almacenamiento en pulgadas.

$$T_R = \frac{L_c^{0.8} * (S + 1)^{0.7}}{1900 * S_c^{0.5}}$$

El factor de retención o almacenamiento S se obtiene del método de la S.C.S para perdidas mediante la siguiente expresión, donde CN es el Número de Curva.



$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

El tiempo al pico, T_p está dado según la siguiente expresión, en donde T es la duración de la lluvia efectiva en horas y T_R es el tiempo de rezago en horas.

$$T_p = \frac{T}{2} + T_R$$

La relación entre la duración T de la precipitación efectiva a la que se le va a construir el hidrograma unitario y el tiempo de concentración está dada como:

$$T = 0.133T_C$$

11.5.3.3 Tormenta de diseño e intensidad de la precipitación

A partir de la información de las curvas IDF de las estaciones a considerar se determinó la intensidad de la lluvia para cada cuenca, considerando una duración igual al tiempo de concentración, y empleando el método de inverso del cuadrado de la distancia (IDW).

Los modelos de hidrogramas unitarios requieren hietogramas de precipitación efectiva para cada periodo de retorno considerado. La tormenta de diseño se consideró con una duración igual al tiempo de concentración de cada microcuenca.



Con el fin de hacer una distribución temporal de la lluvia se emplearon las relaciones de distribución temporal de la lluvia propuestas por Huff en 1976 (Chow et al, 1994). Huff desarrolló esta distribución para diferentes patrones de precipitaciones (grupos de probabilidad), desde los patrones de lluvia más severas (I cuartil), hasta los más suaves (IV cuartil). Se empleó la distribución correspondiente al primer cuartil con una probabilidad de excedencia del 50%.

11.5.3.4 Pérdidas hidrológicas

Para simular las pérdidas de precipitación, esto es, la cantidad de agua que se pierde por interceptación en la vegetación, almacenamiento en depósitos del suelo y por infiltración, se usó el método del número de curva. Este método fue desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SCS) y relaciona la lluvia total y la lluvia efectiva con el tipo y uso de suelo y las condiciones de humedad antecedente (Chow et al, 1994) a través del parámetro denominado número de curva (CN).

La precipitación efectiva por el método del SCS se estima a partir de la precipitación total acumulada, así:

$$P_e = \frac{(P_{tacum} - I_a)^2}{P_{tacum} - I_a + S} \quad I_a = 0.2 * S \quad S(mm) = \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) * 25.4$$

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

Donde, P_e es la precipitación efectiva en pulgadas, P es la precipitación media en pulgadas, S es la retención potencial máxima del suelo e I_a es la retención mínima que equivale al 20% de la retención máxima.



11.5.3.5 Estimación del Número de Curva

El número de curva depende del tipo del suelo, del tipo de tratamiento superficial que esté presente, de su condición hidrológica y de las condiciones de humedad antecedente la cual puede relacionarse con la precipitación en los 5 días anteriores.

La humedad antecedente del suelo está definida en tres grupos: AMC-I: Para suelos secos, AMC-II: Para suelo intermedios y AMC-III: Para suelos húmedos. Para estimar los caudales máximos se considera la condición de humedad antecedente III (AMC III) dado que se asumen condiciones de humedad altas (similares a las generadas por las temporadas de invierno).

El tipo y las características de los materiales que conforman el suelo también inciden en la cantidad de precipitación que se infiltre en ellos. Para tener esto en cuenta, los suelos se pueden clasificar en los siguientes grupos hidrológicos:

- ✓ Grupo de Suelo A. Alta infiltración (baja escorrentía). Suelos derivados de rocas metamórficas cubiertos con vegetación (bosque o rastrojo alto) con grado de meteorización 30/50 según Brand (1988) y con discontinuidades en la matriz de suelo producto del proceso de descomposición de la roca. Las estructuras heredadas funcionan como canales de flujo principales. La pendiente en este grupo de suelo debe ser inferior a un 7%. También se incluyen los suelos que presentan un efecto geológico marcado por diaclasas y bandeamientos, y cuyo buzamiento se da en ángulos mayores a 60°.
- ✓ Grupo de Suelo B. Infiltración moderada (escorrentía moderada). Suelos derivados de rocas metamórficas, ígneas o sedimentarias poco denudadas con grado de meteorización 0/30 según Brand (1988) y con discontinuidades difícilmente cartografiadas en campo. Las estructuras heredadas ya no son tan importantes en la permeabilidad del conjunto, por lo cual la permeabilidad primaria es la que controla el flujo de agua en el suelo. La pendiente en este grupo de suelo debe ser inferior a un 10%.
- ✓ Grupo de Suelo C. Infiltración baja (escorrentía de moderada a alta). Suelos residuales derivados de cualquier tipo de roca, y cuyo grado de meteorización se clasifique como residuales maduros (SR, Brand – 1988), en los cuales las propiedades y minerales del material parental no son fácilmente identificables. Esta formación tiene como característica principal que está cubierta por pastos manejados y sus pendientes varían entre un 5 y 15%.
- ✓ Grupo de Suelo D. Muy poca infiltración (alta escorrentía). Suelos derivados de rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias, cuyo grado de meteorización varía entre 50/90 y en donde la pendiente media excede 15%. El tipo de vegetación en

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

este grupo no es de mayor importancia ya que el fuerte gradiente topográfico impide la recarga de los acuíferos en la zona, generando por el contrario un flujo hipodérmico hasta aflorar nuevamente en superficie y hacer parte del agua que se aporta al canal principal de la microcuenca.

De acuerdo con las características geológicas de la zona estudiada, se determinó que los suelos presentes allí pertenecen al grupo hidrológico C.

En el Anexo 03 (Tabla 3) se muestran los diferentes números de curva para cada una de las coberturas vegetales (o usos del suelo) y para cada uno de los grupos hidrológicos del suelo.

Para determinar el número de curva afectado por la condición de humedad antecedente III, se utilizó la siguiente expresión:

$$CN(III) = \frac{23 \times CN}{10 + 0.13 \times CN}$$

Donde CN(III) es el número de curva equivalente para las condiciones de humedades AMC-III y CN es el número de curva para condiciones antecedentes de humedad AMC-II.

Según la distribución de los usos y el grupo hidrológico del suelo en las cuencas estudiadas se estimó un número de curva mediante un promedio ponderado por áreas.

11.5.4 Regionalización de caudales

Después de determinar los caudales asociados a los diferentes periodos retorno para cada cuenca estudiada, se realizó a partir de estos una regresión de tipo potencial entre esta variable y el área. De esta manera se obtiene una expresión regionalizada que permite estimar los caudales máximos en función del área de la cuenca considerada. La expresión es de la siguiente forma:

$$Q = \alpha \cdot A^\theta$$

Las cuencas consideradas para el análisis de regionalización corresponden a todas las que componen los ocho polígonos de estudio en el presente contrato. Es decir, se consideraron las cuencas de las quebradas Chorro Hondo, San Antonio, La Rafita, La Arenera, La Gallinaza, La Loquita, El Molino, entre otras. En la Tabla 44 se pueden observar que para la regionalización fueron empleadas 18 cuencas, además de las coordenadas de cada uno de sus puntos de salida.

Dado de que las cuencas tienen áreas pequeñas se decide adoptar el método racional puesto que las hipótesis de esta metodología se cumplen en las cuencas consideradas. Los parámetros morfométricos de cada cuenca y los parámetros empleados para el cálculo del caudal por el método racional se muestran en el Anexo 04.

Tabla 44. Coordenadas para los puntos de salida de las cuencas consideradas en la regionalización.

PUNTO	POLÍGONO	CUENCA	ESTE	NORTE
1	Villa_Turbay	AF_El_Sapero_1	839027.36	1181360.25
2	Villa_Turbay	Q. La Mica	839003.36	1181520.59
3	Villa_Turbay	Q. La Mica 1	839003.36	1181520.59
4	Esfuerzos_de_Paz	Q. La Castro	838659.35	1181629.17
5	Esfuerzos_de_Paz	AF_La_Castro_1	838656.25	1181636.64
6	Esfuerzos_de_Paz	Q. San Antonio	838398.21	1181624.18
7	San_Antonio	Q. La Gallinaza o Cañería	838282.50	1181960.14
8	San_Antonio	Q. Gallinaza 1	838288.67	1181970.14
9	Pinares_de_Oriente	AF_La_Loquita_1	838172.89	1182080.72
10	Pinares_de_Oriente	Q. La Loquita 1	838110.36	1182364.25
11	Pinares_de_Oriente	Q. La Loquita	838108.32	1182367.83
12	Trece_de_Noviembre	Q. La Arenera	837992.14	1182599.25
13	Trece_de_Noviembre	Q. La Rafita	837922.50	1183003.64
14	EL_Faro	Q. Chorro Hondo 1	838112.50	1183265.64
15	EL_Faro	Q. Chorro Hondo	838110.50	1183269.64
16	EL_Faro	Q. La Aguadita	837868.50	1183519.64
17	Golondrinas	Q. La Loca	837957.23	1183937.37
18	La_Cruz	Q. La Chorrera o El Molino	837673.50	1185498.10

En la Tabla 44 y en el Mapa 30 se muestran las cuencas tenidas en cuenta para la regionalización. A partir de la regionalización hecha se obtuvieron los parámetros α y θ para cada periodo de retorno considerado, los cuales se muestran en la Tabla 45 junto con el coeficiente de correlación.



 Empresa de Desarrollo Urbano	SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA “ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN” INFORME POLIGONO VILLA TURBAY	 Empresa de Desarrollo Urbano
---	---	---

Tabla 45. Resultados de regionalización de caudales máximos

Parámetro	Coeficientes de Regionalización			
	TR2.33	TR10	TR50	TR100
α	7.95	13.43	20.35	24.00
Θ	0.78	0.75	0.74	0.74
R2	0.96	0.96	0.96	0.97

11.5.5 Resumen de caudales

Los caudales calculados para cada cuenca, para cada periodo de retorno y para cada método empleado se presentan de la Tabla 46 a la Tabla 49. Dado que el tamaño de las cuencas en estudio es inferior a 1 km², los resultados que se seleccionan para el análisis de la amenaza y el riesgo corresponden a los del Método Racional. Para estas cuencas pequeñas se cumplen satisfactoriamente las hipótesis de esta metodología. Por su parte, las metodologías de hidrógrafas unitarias cuentan con aceptación en cuencas de varios kilómetros cuadrados de área, y por ello se descartan sus resultados.

Tabla 46. Resumen de caudales máximos para TR 2.33 Años

CUENCA	Qmax (m ³ /s)				Regionalización (Propia)
	H.U. Williams-Hann	H.U. Snyder	H.U. SCS	Racional	
Q. La Mica	0.68	0.67	0.70	1.15	0.92
Q. La Mica 1	0.64	0.61	0.64	1.60	1.39
AF El Saperd	1.30	1.24	1.28	1.61	1.12

Tabla 47. Resumen de caudales máximos para TR 10 Años

CUENCA	Qmax (m ³ /s)				Regionalización (Propia)
	H.U. Williams-Hann	H.U. Snyder	H.U. SCS	Racional	
Q. La Mica	1.49	1.47	1.52	2.06	1.66
Q. La Mica 1	1.69	1.60	1.69	2.89	2.48
AF El Saperd	2.57	2.43	2.50	2.91	2.00

Tabla 48. Resumen de caudales máximos para TR 50 Años

CUENCA	Qmax (m ³ /s)				Regionalización (Propia)
	H.U. Williams-Hann	H.U. Snyder	H.U. SCS	Racional	
Q. La Mica	2.38	2.34	2.41	3.17	2.58
Q. La Mica 1	2.90	2.79	2.89	4.45	3.84
AF El Saperd	3.88	3.66	3.77	4.46	3.10

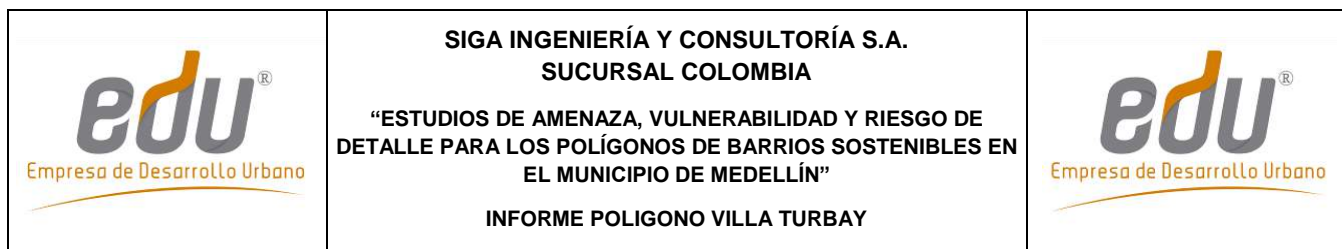




Tabla 49. Resumen de caudales máximos para TR 100 Años

CUENCA	Qmax (m ³ /s)				
	H.U. Williams-Hann	H.U. Snyder	H.U. SCS	Racional	Regionalización (Propia)
Q. La Mica	2.76	2.72	2.79	3.74	3.06
Q. La Mica 1	3.46	3.33	3.42	5.27	4.55
AF El Saperd	4.43	4.18	4.31	5.26	3.68

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

12. ASPECTOS HIDRÁULICOS

En este capítulo se describe y caracteriza desde el punto de vista hidráulico el sistema de drenaje natural que tiene influencia sobre el Polígono Villa Turbay. En particular, se describe la metodología y se presentan los principales resultados de la evaluación hidráulica de los mismos.

12.1 REVISIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA

Para el caso particular del Polígono Villa Turbay fue necesario levantar información topográfica en los cauces de las Quebrada La Mica y Quebrada La Mica 1, dado que la información de referencia no contiene levantamientos topográficos de detalle actualizada en estos cauces. Para el cauce del Afluente El Saperó 1 se utilizó información de levantamiento topográfico previamente realizada en Julio de 2011.

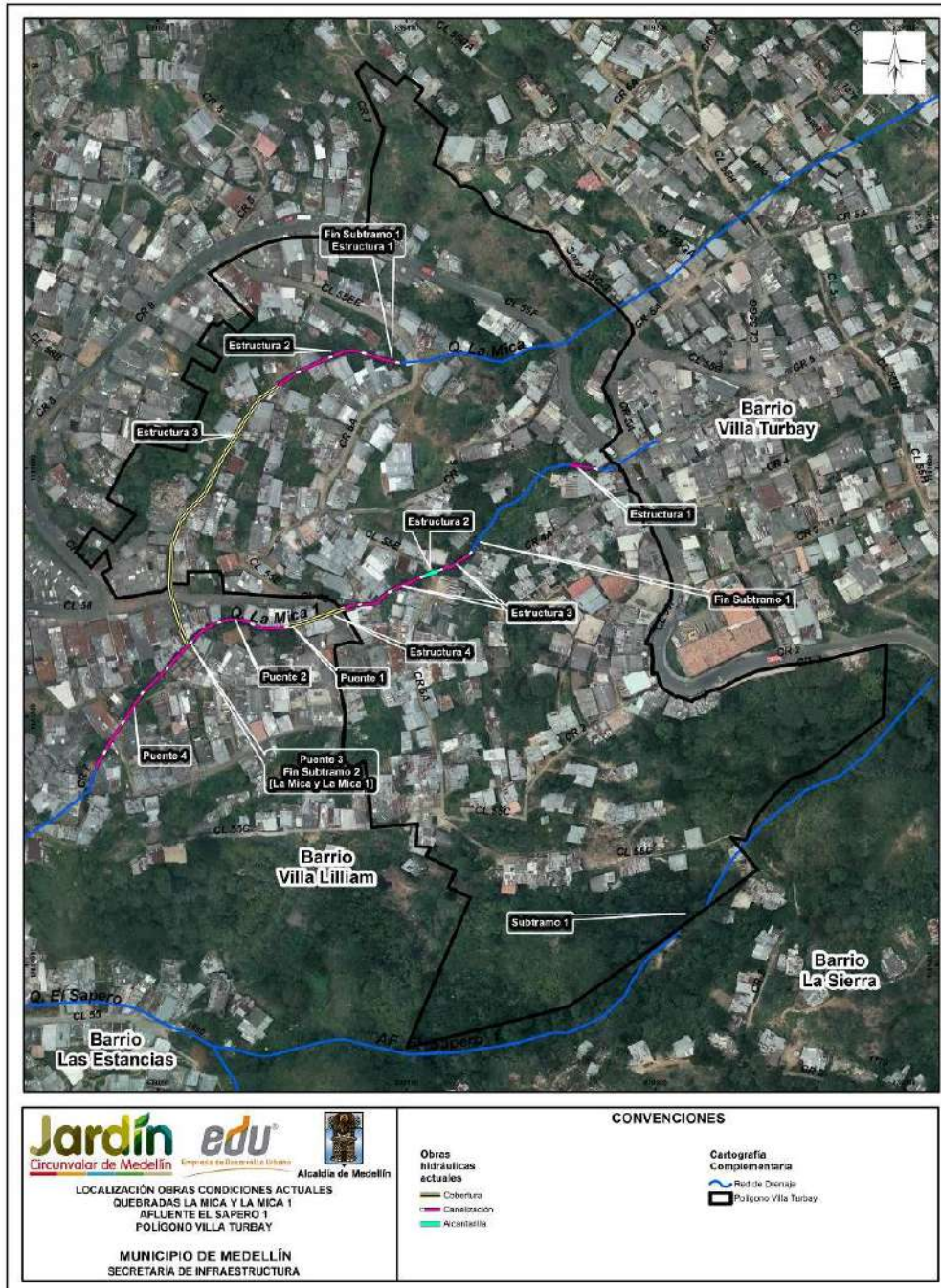
Dentro de la información básica también se cuenta con las observaciones realizadas durante la visita al sitio, en la cual se determinaron las condiciones actuales de las quebradas, sus características y algunos parámetros.

Se contó también con la información topográfica general del Polígono Villa Turbay que fue levantada por la Empresa de Desarrollo Urbano.

12.2 DESCRIPCIÓN GENERAL DE CAUCES

En el Numeral 5.3 se describió detalladamente lo relacionado con la morfodinámica regional de la zona de estudio y en el Numeral 5.4 lo correspondiente a la morfodinámica local. Dentro de este último, se establece que en lo que tiene que ver con procesos morfodinámicos asociados a la dinámica fluvial de los drenajes de la UMI Esfuerzos de Paz-Villa Turbay, a partir de la fotointerpretación se identificaron cicatrices de movimientos en masa y cárcavas, principalmente en las márgenes de la quebrada San Antonio y la Quebrada La Castro (incluidos sus afluentes). En menor proporción se encontraron procesos en las márgenes de las quebradas La Mica y La Mica 1. Los procesos observados pueden estar asociados a socavación del cauce de las quebradas.

Como complemento al análisis de la dinámica de las corrientes de agua asociadas a la UMI Esfuerzos de Paz-Villa Turbay (dinámica fluvial), con la intención adicional de llevar a cabo los análisis hidrológicos e hidráulicos necesarios para la evaluación de los riesgos por inundación y avenidas torrenciales, se presenta en este numeral una descripción detallada las Quebradas La Mica, La Mica 1 y El Saperó 1, drenajes asociados al Polígono Villa Turbay (Mapa 31).



Mapa 31. Localización obras hidráulicas y puentes. Condiciones Actuales. Polígono Villa Turbay
(VTBLocalizacionObrasPoligonoVTB_Medellin_C)

12.2.1 Quebrada La Mica

El tramo de estudio de la Quebrada La Mica comprende una longitud total de 232 m, de los cuales 173 m fluyen a través de una cobertura. El tramo estudiado inicia en el costado oriental del polígono, justo después del cruce con la Calle 55F. Este drenaje cruza de oriente a occidente el polígono de Villa Turbay por la zona norte de este (Ver Mapa 31).

12.2.1.1 Subtramo 1 Canal natural (Estructura 1)

Este subtramo inicia justo después del cruce del drenaje con la Calle 55F en el límite oriental del polígono, en esta zona la quebrada fluye en condiciones naturales, teniéndose presencia de abundante vegetación en el cauce (ver Figura 176). Parte del tramo se encuentra intervenido en la zona ubicada aguas arriba de la Estructura 1 (ver Figura 177, tercera imagen de izquierda a derecha), estructura a la cual llegan actualmente aguas residuales de las viviendas construidas en la zona del cauce.

En la zona aguas arriba de la Estructura 1 el cauce fue llenado para la colocación de un tubo en el cual las viviendas de la zona descargan sus aguas residuales, este tubo atraviesa la Estructura 1 por el fondo, y fue cubierto de concreto disminuyendo la sección hidráulica de esta obra.



Figura 176. Inicio del tramo de estudio, Quebrada la Mica



Figura 177. Zona de intervención del cauce (1ra y 2da imagen de izquierda a derecha) y Descole de la Estructura 1 (3ra imagen)

12.2.1.2 Subtramo 2 (Cobertura)

Este tramo está comprendido por un canal escalonado con una sección aproximada de 0.80 m de ancho por 1.0 m de alto con una longitud de 3.4 m (Figura 178) y una cobertura de 173 m la cual inicia con una sección rectangular de 0.90 m de ancho por 1.25 m de alto y descarga en la quebrada la Mica 1 con la misma sección de entrada.

El canal cuenta con una pendiente de 27% y La cobertura tiene una pendiente aproximada de 17%, (Ver Figura 1 en Anexo 05). Las características principales de estas obras se muestran en la Tabla 50.



Figura 178. Canal de descarga de la Estructura 1, Quebrada La Mica

Tabla 50. Resumen de estructuras hidráulicas en la Quebrada La Mica

Estructura	Ubicación	Tipo Estructura	Tipo Sección	Tipo Fondo	Material paredes	Material Fondo	Dimensiones				
							Ancho (m)	Alto (m)	z	Diam	Longitud (m)
Estructura 1	57 m aguas abajo del inicio del tramo de estudio	Alcantarilla	Rectangular	Uniforme	Concreto	Concreto	0.9	1.25			desconocida
Estructura 2	59 m aguas abajo del inicio del tramo de estudio	Canalización	Rectangular	Uniforme	Concreto	Concreto	0.8	1		59"	3.4
Estructura 3	88 m aguas abajo del inicio del tramo de estudio	Cobertura	Rectangular		Concreto	Concreto	0.9	1.25			173

En el Anexo 05-Figura 1, se puede observar el perfil asociado a la Quebrada La Mica.

12.2.2 Quebrada La Mica 1

El tramo estudiado de la quebrada la Mica 1 comprende una longitud de 223 m, está quebrada corre de oriente a occidente cerca de la zona central del polígono. El tramo de estudio inicia en el límite oriental del polígono cerca de la calles 55F. (Ver Mapa 31).

12.2.2.1 Subtramo 1 Canal natural (Estructura 1)

Este subtramo comienza con la descarga de un Manhole en un tramo de canal con sección rectangular y pantallas deflectoras, este canal tiene una longitud de 6 m y una pendiente de 18% (ver Figura 179). Luego del canal la quebrada fluye en su cauce natural en una longitud de aproximadamente 38 m con una pendiente del 40%. El cauce presenta un alto grado de vegetación.



Figura 179. Inicio del tramo de estudio (Manhole) y canal con baffles de fondo.

12.2.2.2 Subtramo 2 Canalización (Estructuras 2, 3 y 4)

Como se puede observar en la Figura 180, este subtramo de la quebrada fluye en una canalización de fondo escalonado (Estructura 3) (la dimensión de los escalones varia a lo largo del subtramo) la cual tiene una longitud aproximada de 171 m y tiene una pendiente aproximada del 29%, también se observa que en este canal se ubica una alcantarilla circular (Estructura 2) de diámetro aproximado 1,50 m que cruza por la CL 55E . Luego el flujo continúa por una alcantarilla rectangular de 19,25 m de largo que cruza por debajo de la vía CL 58 y un par de viviendas (Ver Figura 181).

Sobre este subtramo se tienen dos obras de cruce cuyas características principales se muestran en la Tabla 52.

En la Figura 2 del Anexo 05 se puede observar el perfil asociado a la Quebrada La Mica 1.



Figura 180. Estructura 2 (Alcantarilla) y Estructura 3 (Canalización). Quebrada La Mica 1



Figura 181. Encole y descole de la Estructura 4 y Puente peatonal 1. Quebrada La Mica 1

En la Figura 182, por fuera del polígono de estudio, luego de la descarga de la Estructura 4, se puede observar que el flujo continúa por un canal de fondo escalonado el cual tiene una sección rectangular de ancho que varía entre 1.8 m y 2.4m y una altura variable entre 1.8m y 2.2m. En la Figura 181 y la Figura 182 se puede observar cuatro puentes peatonales en concreto, simplemente apoyados, su localización en planta se puede observar en el Mapa 31.



Figura 182. Puentes peatonales 2, 3 y 4 en la Quebrada La Mica 1

En la Tabla 51, se muestran las características y coordenadas de localización de los puentes peatonales.

Tabla 51. Características y coordenadas de los pasos peatonales, ubicados en la Quebrada La Mica 1

PUENTE-OBRA	ESTE	NORTE	LUZ (m)	MATERIAL	APOYOS
Puente 1	839054.077	1181536.93	1.80	Concreto	Simples y Superficiales
Puente 2	839026.743	1181538.97	1.55	Concreto	Simples y Superficiales
Puente 3	839010.368	1181528.32	2.10	Concreto	Simples y Superficiales
Puente 4	839003.231	1181519.21	2.20	Concreto	Simples y Superficiales

Tabla 52. Resumen de estructuras hidráulicas en la Quebrada La Mica 1

Estructura	Ubicación	Tipo Estructura	Tipo Sección	Tipo Fondo	Material paredes	Material Fondo	Dimensiones				
							Ancho (m)	Alto (m)	z	Diam	Longitud (m)
Estructura 1	Inicio cauce (Cercanías calle 55f)	Canalización	Rectangular	Uniforme con baffes	Concreto	Concreto	0.9	1.4			6
Estructura 2	88.5m aguas abajo del inicio del tramo de estudio	Alcantarilla	Circular	Uniforme	PVC	PVC				59"	3.41
Estructura 3	64 m aguas abajo del inicio del tramo de estudio	Canalización	Rectangular	Escalonado	Concreto	Concreto	1.4 en promedio	2.0 en promedio			171
Estructura 4	200 m aguas abajo del inicio del tramo de estudio	Alcantarilla	Rectangular	Escalonado	Concreto	Concreto	1.36m	1.57m			19.25

12.2.3 Afluente El Sapero 1

Esta quebrada se localiza al costado sur del polígono y fluye de oriente a occidente siguiendo el límite sur del polígono. Esta corriente fluye en su cauce natural, sin embargo se tiene que las márgenes han sido alteradas con el fin de construir viviendas (Mapa 31).

12.2.3.1 Subtramo 1 Canal natural

El tramo estudiado comprende una longitud de 298.30 m, en este la quebrada fluye sobre se cauce natural, aunque en algunas zonas se observa alto grado de intervención sobre las márgenes, ya que en estas se han depositado materiales, lo que ha generado que en algunas zonas no haya vegetación.

La quebrada en este sector presenta un ancho que varía entre 1.0 m y 7.0 m y una pendiente que varía entre el 23% y 77%. En las márgenes se observa vegetación compuesta por pastos altos, arbustos, árboles y maleza (ver Figura 183). En algunos puntos localizados se presentan procesos menores de socavación. En el fondo del cauce predomina la presencia de materiales provenientes del horizonte de meteorización de los cuerpos asociados al batolito antioqueño.

Sobre esta quebrada se hacen descargas de aguas residuales de viviendas del sector. En el tramo de estudio no se tienen estructuras, solo un cruce peatonal hecho de manera rudimentaria con madera por los habitantes de la zona.



Figura 183. Vegetación en las márgenes del Afluente El Saperó

En el Anexo 05 Figura 3 de este mismo informe, se puede observar el perfil asociado al Afluente El Saperó 1.

12.3 ANÁLISIS HIDRÁULICO EN INUNDACIONES

Una vez estimados los caudales máximos para cada una de los cauces principales que tienen influencia sobre el Polígono Villa Turbay, se procedió a realizar el modelo hidráulico, cuyo objetivo es transitar los caudales máximos a través de los cauces y calcular diferentes variables de flujo, entre ellas, la velocidad y la profundidad, a partir de las cuales se delimitarán finalmente las manchas de inundación para cada uno de los periodos de retorno y los cuales servirán como punto de partida para la calificación de la amenaza.

Para llevar a cabo el tránsito de las crecientes en los cauces se empleó el software FLO-2D PRO de FLO-2D Software INC, que permite analizar el flujo en las laderas, además del flujo en los cauces.

12.3.1 Descripción del Modelo FLO-2D

A través de los modelos de tipo unidimensional no es posible obtener una buena precisión al simular los flujos que ocurren en las laderas cuando se presenten vertimientos o derrames por incapacidad del cauce o por falla de una determinada estructura. Para considerar estas situaciones, se empleó el Modelo FLO-2D, de tipo bidimensional en laderas, conservativo del volumen, que resuelve la ecuación de cantidad de movimiento incluyendo componentes de la onda cinemática, la onda difusiva y la onda dinámica. El Modelo FLO-2D permite además modelar flujo en cauces y canales, en laderas y calles y permite incluir estructuras hidráulicas, obstrucciones, edificaciones, entre otros. Como información de entrada, el FLO-2D requiere de información topográfica, información de rugosidades de la superficie, información de lluvia o de caudales de entrada al sistema, secciones transversales al cauce y curvas de descarga de las estructuras hidráulicas.

FLO-2D es un modelo de diferencias finitas que emplea una malla uniforme de elementos cuadrados, para los cuales se tienen ocho direcciones posibles para el flujo. En esencia, es un modelo de volumen finito, que rastrea la distribución del volumen en todo el dominio

con la finalidad de representar el movimiento de la onda de flujo. Para cada paso de tiempo, el modelo calcula el caudal que fluye en todas las ocho direcciones posibles de cada elemento de la malla garantizando la conservación del momentum, a partir de la siguiente ecuación:

$$S_f = S_o - \frac{\partial h}{\partial x} - \left(\frac{V_x}{g}\right)\left(\frac{\partial V_x}{\partial x}\right) - \left(\frac{1}{g}\right)\left(\frac{\partial V_x}{\partial t}\right)$$

Donde S_o representa la pendiente del cauce, $\partial h/\partial x$ representa el gradiente de presión, $(V_x/g)(\partial V_x/\partial x)$ representa la aceleración convectiva y $(1/g)(\partial V_x/\partial t)$ representa la aceleración local.

Dentro de las hipótesis y limitaciones que plantea el modelo FLO2D se encuentran las siguientes:

- ✓ La elevación, la rugosidad y la profundidad de flujo están representadas y son uniformes al interior de cada celda que compone el dominio del modelo.
- ✓ Flujo permanente para cada paso de tiempo.
- ✓ Flujo unidimensional al interior de los canales. En ellos no se consideran corrientes secundarias ni la distribución vertical de velocidades.

12.3.2 Caudales empleados en la modelación

Considerando que los cauces que tienen influencia sobre el polígono Villa Turbay no son susceptibles a generar fenómenos de avenida torrencial como se describe en el Capítulo 15, no es necesario una mayoración del 40% sobre el caudal de acuerdo con lo que establece el Acuerdo Metropolitano 09 de 2012. Así las cosas los caudales considerados en la modelación hidráulica son directamente los estimados en el Numeral 11.5 de hidrología por el método racional (ver Tabla 46 a Tabla 49).



12.3.3 Información topográfica

La información topográfica que se ingresó al Modelo FLO-2D corresponde al modelo digital del terreno generado a partir de la información topográfica de los polígonos y de los cauces. Adicionalmente, la geometría de los canales fue definida por secciones transversales, tomadas en forma perpendicular a la dirección de las líneas del flujo.

12.3.4 Tamaño de la malla

Para la selección del tamaño de la malla se partió de la siguiente relación entre el caudal pico Q_{pico} y el área de la celda A_{celda} recomendada por FLO2D para garantizar eficiencia en el proceso de modelación:

$$Q_{pico}/A_{celda} < 3m/s$$

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

Esta relación implica tamaños de celda entre 0.7 m y 1.4 m de lado para los caudales de diseño. Para para garantizar un equilibrio entre una buena representatividad y un buen detalle en los resultados del modelo se empleó un tamaño de celda de 1.0 m de lado.

12.3.5 Condiciones de Frontera

En el FLO-2D es posible trabajar con precipitaciones o con caudales como elemento de entrada al modelo. En el primer caso, el software modela procesos lluvia escorrentía para obtener los caudales en todos los puntos de la malla. En el segundo caso los caudales se ingresan de manera puntual en cualquier celda del modelo.

En este caso se ingresaron los caudales directamente en los puntos de interés de los cauces mediante una hidrógrafa triangular con caudal pico igual al caudal de diseño seleccionado (en éste caso el del método racional). El tiempo base del hidrograma se estableció de manera que el área bajo el hidrograma sea consistente con el volumen de escorrentía directa en la cuenca. La forma triangular del hidrograma fue seleccionada dado que se aproxima bien a las hidrógrafas reales en ambientes urbanos y es la forma base para la generación de hidrógrafas sintéticas como las del Soil Conservation Service.

12.3.6 Condiciones Iniciales

Dadas las características efímeras de los cauces del polígono en estudio, se consideraron láminas de flujo nulas como condiciones iniciales, es decir, se partió de condicione secas en todo el dominio del modelo.



12.3.7 Coeficiente de rugosidad

El coeficiente de rugosidad de Manning, n , para el cauce natural, se tomó con base en la comparación directa del material que conforma el lecho, las laderas del canal, la configuración del cauce, entre otros, con los valores propuestos en Ven Te Chow (1994). A su vez, los coeficientes de rugosidad de Manning empleados en las planicies de inundación se tomaron a partir de los valores recomendados en FLO-2D (2010) según el tipo de cobertura los cuales corresponden a los recomendados por el Cuerpo de Ingenieros de Estados Unidos (1997). En el Anexo 04 (Tabla 1) se presentan los coeficientes de rugosidad base así como el mapa de coeficientes empleados para los cauces y zonas de inundación modeladas.

12.3.8 Condiciones de estabilidad numérica

El modelo FLO2D está sujeto a criterios estrictos de estabilidad numérica que se garantizan manteniendo pequeños intervalos o pasos de tiempo en la solución de las ecuaciones diferenciales para cada elemento de la malla del modelo. El modelo busca que el paso de tiempo empleado sea adecuado para que se cumplan los siguientes criterios de estabilidad:

- ✓ Criterio del cambio de volumen (o de profundidad) en una celda entre cada paso de tiempo.

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

- ✓ Criterio de estabilidad de la onda dinámica que relaciona el paso de tiempo con el caudal específico para el canal, la pendiente del canal y el tamaño de los elementos del dominio computacional.
- ✓ Criterio de Número de Courant-Friedrichs-Lewy (CFL) que relaciona el paso de tiempo con las velocidades de la onda simulada y el tamaño de los elementos del dominio computacional. Este es el criterio que recomienda FLO-2D con un valor de 0.6 para el número CFL y que por tanto fue adoptado en la modelación.

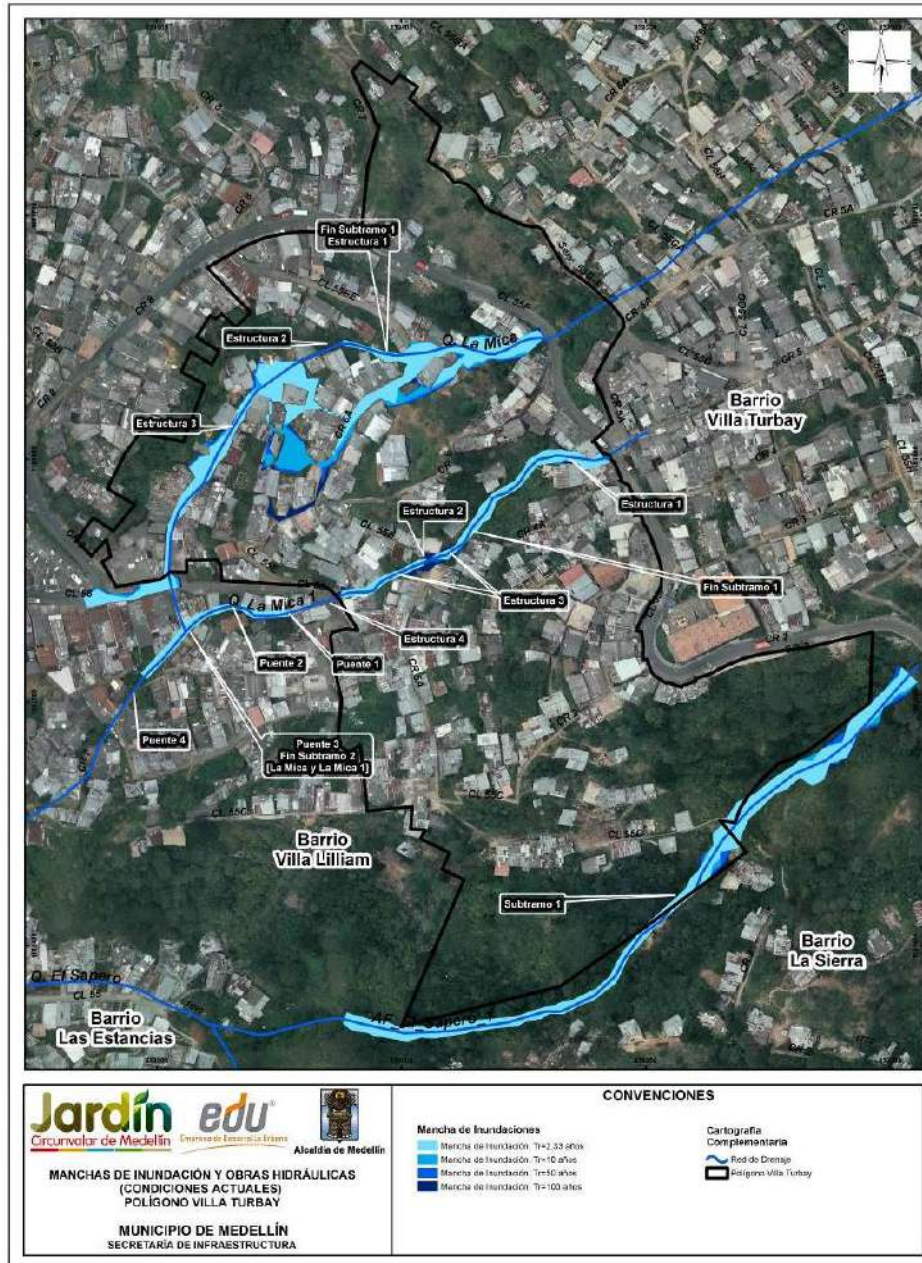
12.3.9 Estructuras hidráulicas

Para considerar las diferentes estructuras hidráulicas al interior de los cauces en el Modelo FLO-2D, se construyeron curvas elevación-caudal para cada uno de los tipos y dimensiones de obras existentes. Este proceso se realizó con la ayuda del Software HY-8 de la Federal Highway Administration Agency del U.S. Department of Transportation, el cual considera tanto control en la entrada como en la salida y determina la capacidad de la obra empleando la condición más desfavorable. Dada la alta pendiente de las estructuras y de los cauces, la capacidad de las estructuras al interior del Polígono Villa Turbay está dada por control en la entrada.

Para considerar las posibles obstrucciones en la entrada de las estructuras hidráulicas se ha considerado un porcentaje de obstrucción de acuerdo con las condiciones geométricas y los cambios de dirección en el encole de la estructura. En el caso particular de las estructuras hidráulicas existentes en los cauces del Polígono Villa Turbay se ha considerado un 30% de obstrucción.

12.3.10 Resultados en Quebradas La Mica, La Mica 1 y Afluente El Saperó 1

Los resultados de la modelación hidráulica realizada en las Quebradas La Mica, La Mica 1 y Afluente El Saperó 1 se presentan en el Mapa 33, en el cual se muestran las manchas de inundación para periodos de retorno de 2.33, 10, 50 y 100 años. En el Mapa 32 se retomaron estos resultados. En la geodatabase presentada en el Anexo 12 se incluyen los mapas tipo raster de velocidad y profundidad de flujo.



Mapa 32. Manchas de inundación para las Quebradas La Mica y La Mica 1 y el Afluente El Sapero 1 en condiciones actuales (VTBManchasObrasCondiActualesMedellin_C)

12.3.11 Resultados en Quebrada La Mica (Condiciones Actuales)

El cauce de la Quebrada La Mica justo aguas arriba de la Calle 55F no cuenta con un canal definido, ni con una vaguada o una conformación del terreno que permita especificar con certeza una concentración del flujo total que provendría por escorrentía desde aguas arriba, lo cual, en conjunto con la intervención urbana, impide en el presente estudio cuantificar las posibles trayectorias del flujo desde la zona superior o aguas arriba de la vía, y por ello se planteó como hipótesis de partida el considerar como condición de simulación que el caudal estimado en la hidrología se encontraría concentrado en el cauce, y para este caso en particular en el límite del polígono.

Los resultados de la modelación hidráulica realizada en la Quebrada La Mica se presentan en el Mapa 33, en el cual se muestran las manchas de inundación para periodos de retorno de 2.33, 10, 50 y 100 años. En esta quebrada juegan un papel importante las obras hidráulicas existentes en el cauce, tales como canales y alcantarillas, dado que actúan como un control al flujo en sus encoles.

Para el caso de la Quebrada la Mica la extensión de la mancha de inundación depende en gran medida de la intervención del cauce hecha aguas arriba de la Estructura 1, ya que en este sector se pierde totalmente la sección hidráulica de este, dando lugar a un flujo sobre ladera el cual puede alejarse del cauce principal (Mapa 32).

Los resultados obtenidos en la modelación hidráulica se sometieron a verificación en campo a lo largo de la Quebrada La Mica, en los cuales se comprobó la representatividad del modelo topográfico y del modelo hidráulico en las condiciones reales del sitio.

A continuación se describen los resultados de la modelación hidráulica en la Quebrada La Mica por tramos. En el Anexo 05 se presentan los resultados de la evaluación hidráulica para los diferentes periodos de retorno analizados.

12.3.11.1 Subtramo 1 Canal Natural (Estructura 1)

Debido a las intervenciones hechas en el cauce, en esta zona la quebrada no tiene un cauce definido, por lo que se modela como un flujo sobre ladera. De acuerdo con lo anterior se tiene que las profundidades máximas en este tramo varían entre 0.01 m y 1.48 m para un periodo de retorno de 2.33 años y entre 0.01 m y 3.08 m para 100 años de periodo de retorno, las velocidades máximas para 2.33 años en este tramo varían entre 0.02 m/s y 2.79 m/s y entre 0.03 m/s y 5.12 m/s para un periodo de retorno de 100 años. (Tabla 53).

Tabla 53. Velocidades y profundidades de flujo en el Subtramo 1 de la Qda. La Mica

VARIABLE	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)							
	2.33		10		50		100	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Profundidad Canal								
Profundidad Llanuras	0.01	1.48	0.01	2.00	0.01	2.77	0.01	3.08
Velocidad en el canal								
Velocidad en llanuras	0.02	2.79	0.01	3.12	0.02	4.02	0.03	5.12

12.3.11.2 Subtramo 2 Cobertura (Estructura 3)

Para este subtramo las profundidades máximas en el tramo de canal donde descarga la Estructura 1 varían entre 0.16 m y 0.82 m para un periodo de retorno de 2.33 años y entre 0.24 m y 1.02 m para 100 años de periodo de retorno, la velocidad máxima para 2.33 años en este tramo varía entre 0.87 m/s y 5.26 m/s y entre 1.24 m/s y 5.86 m/s para un periodo de retorno de 100 años. (Tabla 54).

Tabla 54. Velocidades y profundidades de flujo en el Subtramo 2 de la Qda. La Mica

VARIABLE	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)							
	2.33		10		50		100	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Profundidad Canal	0.16	0.82	0.17	0.77	0.19	0.90	0.24	1.02
Profundidad Llanuras	0.01	2.70	0.01	2.98	0.01	3.32	0.01	3.55
Velocidad en el canal	0.87	5.26	1.11	5.12	1.11	5.65	1.24	5.86
Velocidad en llanuras	0.01	6.24	0.01	7.58	0.01	9.80	0.01	10.20

12.3.12 Resultados en Quebrada La Mica 1 (Condiciones Actuales)

Los resultados de la modelación hidráulica realizada en la Quebrada La Mica 1 se presentan en el Mapa 33 y cuya información es retomada en el Mapa 32, mostrándose las manchas de inundación para periodos de retorno de 2.33, 10, 50 y 100 años. Se puede observar que dadas las altas pendientes del cauce, el flujo tiene altas velocidades y las profundidades son bajas.

Los resultados obtenidos en la modelación hidráulica se sometieron a verificación en campo a lo largo de la Quebrada La Mica 1, en los cuales se comprobó la representatividad del modelo topográfico y del modelo hidráulico en las condiciones reales del sitio.

A continuación se describen los resultados de la modelación hidráulica en la quebrada La Mica 1 discriminados por tramos. En el Anexo 05 se presentan los resultados de la evaluación hidráulica para los diferentes periodos de retorno analizados.

12.3.12.1 Subtramo 1 Canal Natural

Se tiene que las profundidades máximas en este tramo varían entre 0.20 m y 0.81 m para un periodo de retorno de 2.33 años y entre 0.41 m y 1.88 m para 100 años de periodo de retorno, la velocidad máxima para 2.33 años en este tramo varía entre 1.79 m/s y 5.49 m/s y entre 2.03 m/s y 7.11 m/s para un periodo de retorno de 100 años. (Tabla 55).

Tabla 55. Velocidades y profundidades de flujo en el Subtramo 1 de la Qda. La Mica 1

VARIABLE	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)							
	2.33		10		50		100	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Profundidad Canal	0.20	0.81	0.28	1.28	0.37	1.71	0.41	1.88
Profundidad Llanuras	0.01	1.24	0.02	1.59	0.01	1.88	0.02	2.01
Velocidad en el canal	1.79	5.49	1.99	6.25	2.02	6.87	2.03	7.11
Velocidad en llanuras	0.02	2.78	0.03	2.94	0.05	2.99	0.04	2.99

12.3.12.2 Subtramo 2 Canalización (Estructuras 2, 3 y 4)

Para este subtramo las profundidades máximas varían entre 0.16 m y 0.82 m para un periodo de retorno de 2.33 años y entre 0.24 m y 1.02 m para 100 años de periodo de retorno, la velocidad máxima para 2.33 años en este tramo varía entre 0.87 m/s y 5.26 m/s y entre 1.24 m/s y 5.86 m/s para un periodo de retorno de 100 años. (Tabla 56).

Tabla 56. Velocidades y profundidades de flujo en el Subtramo 2 (Canalización) de la Qda. La Mica 1

VARIABLE	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)							
	2.33		10		50		100	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Profundidad Canal	0.34	3.34	0.42	4.46	0.50	5.27	0.68	5.94
Profundidad Llanuras					0.03	0.63	0.01	2.18
Velocidad en el canal	1.55	9.55	1.56	10.35	1.56	10.38	1.56	10.63
Velocidad en llanuras					0.08	1.24	0.01	3.81

A partir de la modelación se determinó la cota de la superficie del agua en cada una de las zonas donde se ubican los puentes o pasos peatonales, de esta manera se determinó que los puentes denominados 1, 2, 3 y 4 no generan un control hidráulico ya que el nivel del agua en estas zonas se encuentra por debajo de las cotas inferiores de los tableros para un periodo de retorno de 100 años en condiciones actuales, ver Tabla 57. De esta manera, estas estructuras no tienen influencia en la amenaza por inundaciones ni generan un control hidráulico para las obras de mitigación diseñadas al interior del polígono

Tabla 57. Verificación de las condiciones hidráulicas de los puentes o pasos peatonales en la Quebrada La Mica 1 para un Tr=100 años. Condiciones Actuales

PUENTE-OBRA	Cota Inferior del tablero (m.s.n.m)	Cota Superficie de Agua (m.s.n.m)	Gálibo Disponible (m)
Puente 1	1742.19	1742.03	0.16
Puente 2	1733.28	1732.58	0.7
Puente 3	1728.28	1728.25	0.03
Puente 4	1726.94	1726.77	0.17

12.3.13 Resultados en el Afluente El Sapero (Condiciones Actuales)

Los resultados de la modelación hidráulica realizada en el Afluente El Sapero se presentan en el Mapa 32. En este plano se muestran las manchas de inundación para periodos de retorno de 2.33, 10, 50 y 100 años. Se puede observar que dadas las altas pendientes del cauce, el flujo tiene altas velocidades y las profundidades son bajas.

Los resultados obtenidos en la modelación hidráulica se sometieron a verificación en campo a lo largo del Afluente El Sapero, en los cuales se comprobó la representatividad del modelo topográfico y del modelo hidráulico en las condiciones reales del sitio.

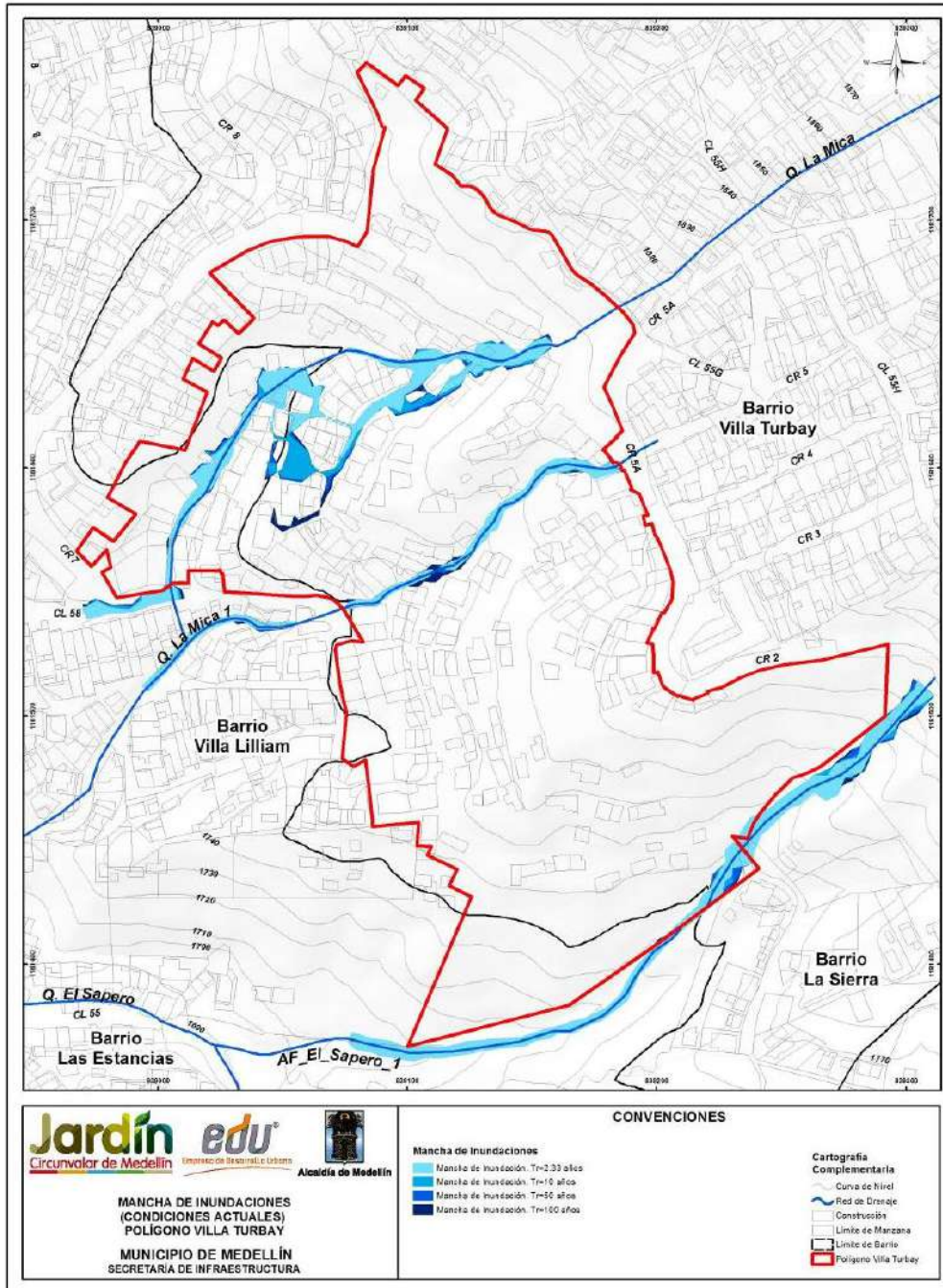
A continuación se describen los resultados de la modelación hidráulica en el Afluente El Sapero para cada tramo. En el Anexo 05 se presentan los resultados de la evaluación hidráulica para los diferentes periodos de retorno analizados.

Para este subtramo debido a la configuración topográfica no se presentan vertimientos que se alejen de la corriente (Mapa 32). Los derrames que se presentan vuelven a incorporarse al cauce principal. Las profundidades máximas varían entre 0.17 m y 1.00 m para un periodo de retorno de 2.33 años y entre 0.22 m y 1.41 m para 100 años de periodo de retorno, las velocidades máximas para 2.33 años en este tramo varían entre 2.04 m/s y 5.37 m/s y entre 2.86 m/s y 7.59 m/s para un periodo de retorno de 100 años (Tabla 58).



Las profundidades en las llanuras son de un rango menor debido a las pequeñas láminas de flujo. Las velocidades que se presentan en las llanuras son bajas debido a las altas rugosidades de estas zonas las cuales están conformadas principalmente por vegetación.

Tabla 58. Velocidades y profundidades máximas de flujo en el Subtramo 1 (Canal natural) Afluente El Sapero

VARIABLE	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)							
	2.33		10		50		100	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Profundidad Canal	0.17	1.00	0.18	1.20	0.20	1.31	0.22	1.41
Profundidad Llanuras	0.00	0.01	0.03	0.05	0.01	0.11	0.01	0.16
Velocidad en el canal	2.04	5.37	2.53	6.55	2.71	7.31	2.86	7.59
Velocidad en llanuras	0.04	0.20	0.01	0.41	0.01	1.15	0.01	1.17



Mapa 33. Manchas de Inundación para los diferentes periodos de retorno en condiciones actuales. Polígono Villa Turbay.
 (21_VTBManchalInundaciones_Medellin_C y 21_VTBManchalInundaciones_Medellin_T)

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

13. AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

13.1 METODOLOGÍA

13.1.1 Objetivo y aspectos generales

Con la metodología planteada se pretende implementar un método cuantitativo y fácilmente reproducible, que permita definir las condiciones de riesgo ante fenómenos de movimientos en masa. La metodología implementada es de reconocida validez, toda vez que ha permitido delimitar y caracterizar los diferentes niveles de amenaza (alta, media y baja) de la zona del “Proyecto Barrios Sostenibles”.

De forma general, la metodología comprende el análisis de las condiciones de estabilidad determinándose el factor de seguridad a partir de una teoría de equilibrio límite. Posteriormente, se realizan los respectivos análisis para determinar la amenaza por movimientos en masa, mediante el cálculo de la probabilidad de falla, considerando la variabilidad intrínseca de los parámetros de resistencia al corte y la acción de un factor detonante.



El proceso de determinar el factor de seguridad y la probabilidad de falla al interior de la UMI y del polígono, se realiza para ciertos escenarios que comprenden condiciones actuales y naturales de la ladera y bajo la acción de escenarios críticos como elementos detonantes, como por ejemplo la actuación del sismo. Finalmente, se realiza un análisis considerando las obras proyectadas, para lo cual, en el caso de la evaluación de la estabilidad, se recurre a análisis puntuales de secciones bidimensionales en las que igualmente se determinan las condiciones de amenaza.

Se hizo uso de toda aquella información básica útil y disponible desde el punto de vista geológico y geotécnico, como por ejemplo, la realización de exploración geotécnica, la caracterización de los materiales a través de los ensayos de laboratorio y la instrumentación geotécnica instalada. Finalmente, los resultados se presentan de forma regional o general sobre el área de estudio correspondiente a la UMI, a través de una Herramienta SIG.

Se resalta que la metodología mediante el uso de teorías de equilibrio límite, factor de seguridad y probabilidad de falla, sólo es aplicable para movimientos de remoción en masa como deslizamientos, flujos o desprendimientos de roca. Cualquier otro tipo de movimiento o problemática, como por ejemplo subsidencias y fenómenos erosivos, no pueden ser analizados de forma cuantitativa.

13.1.2 Escenarios de análisis

Para el análisis de la amenaza por movimientos en masa se consideraron básicamente cuatro escenarios, los cuales se explican de forma resumida a continuación.

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

13.1.2.1 Escenario 1

Este escenario corresponde a la situación actual y para los procesos por movimientos en masa identificados como parte del modelo geológico-geotécnico propuesto para el área objeto de estudio, el cual fue presentado en el Capítulo 4 de este informe. En este escenario, se determinó el factor de seguridad y la probabilidad de falla considerando la variabilidad natural de los parámetros de resistencia al corte de cada uno de los materiales geológicos y geotécnicos que se encuentran al interior de la UMI.

Considerando los hallazgos encontrados a través de las perforaciones y el seguimiento de la instrumentación, este análisis se realizó en condiciones secas dado que la mayoría de las perforaciones no se reportó presencia del nivel freático.

13.1.2.2 Escenario 2



El segundo escenario corresponde a las condiciones normales de lluvia y también a las extremas de dicha variables. No obstante, en el caso particular de la UMI objeto de este estudio, la zona presenta varias características que conllevan a considerar a la lluvia como un elemento de poca relevancia en la detonación de movimientos en masa.

Inicialmente es importante considerar que las condiciones freáticas de la zona, según los registros de perforaciones y el seguimiento de la instrumentación, muestran una zona seca.

Otro aspecto involucra las condiciones hídricas de la UMI por efecto de pendiente y el uso del suelo. En la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay se presentan pendientes en el terreno mayores que 30° y la presencia de dos drenajes naturales que funcionan como sistemas de canalización de las aguas de escorrentía. Los análisis de infiltración/escorrentía mostrados en el Capítulo 11, muestran coeficientes de escorrentía entre 57 % y 72% para el caso de las lluvias más probables (TR 2.33 años) y entre 77% y 94% para el caso de las lluvias más críticas (TR 100 años). El tiempo de concentración asociado a estas condiciones de pendiente son muy bajos, entre 5.9 y 7.6 min, lo que demuestra que la cuenca responde rápido en términos de drenaje.

En cuanto a los usos del suelo, la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay se caracteriza por poseer aproximadamente un 90% en uso forestal y el otro 10% en uso urbano.

Finalmente, se tiene lo que corresponde a las características físicas e hidráulicas de los materiales en superficie. Los suelos encontrados en la superficie de la UMI, clasifican principalmente como material grueso granular con porcentajes de gravas variando entre 0% y 28 %, las arenas entre 45% y 90% y los finos en rangos de 4% a 54%. Adicionalmente, la determinación de coeficientes de permeabilidad a través de ensayos de laboratorio de consolidación, realizados sobre algunas muestras de la zona arrojaron valores no menores de $1 \times 10^{-9} \text{m/s}$, lo que hace que se trate de materiales altamente impermeables. En este sentido vale la pena retomar lo anotado en el Numeral 8.5 y en particular en el Numeral 8.5.2 con respecto al regolito de la zona de estudio.

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

Teniendo en cuenta los anteriores argumentos, se considera improbable la creación de frentes húmedos superficialmente por efectos de infiltración, o el ascenso de niveles freáticos subterráneos que puedan afectar la estabilidad de las laderas.

13.1.2.3 Escenario 3

El tercer escenario corresponde al sismo al que podrá estar expuesta el área de estudio, esto de acuerdo con la normativa en el Área Metropolitana de Valle de Aburrá. Para este caso se consideraron los criterios establecidos en el Capítulo 8, donde se establece la aplicación de un coeficiente espectral horizontal de 0.25g correspondiente 2/3 del coeficiente espectral máximo de diseño igual a 0.38 para un periodo de retorno de 475 años.

El análisis de probabilidad de falla contempla entonces el análisis considerando el sismo de 0.25g para 475 años, luego se encontrará la probabilidad de falla anual que será dividiendo la probabilidad de falla del análisis anterior por el periodo de retorno de 475 y finalmente la probabilidad de falla anual será llevada a una probabilidad de falla a 50 años a través de una función exponencial de probabilidad.

13.1.2.4 Escenario 4

El cuarto y último escenario corresponde a la situación generada por el cambio de la aptitud del uso (licencia de urbanización, parcelación, construcción de nuevas obras de urbanismo, y plan de construcciones más probables). Se tendrán en cuenta para cada caso cortes, excavaciones, rellenos, sobrecargas, modificaciones del drenaje, entre otros.

Estos análisis de estabilidad se realizan mediante análisis bidimensionales en las zonas donde se tengan proyectadas las obras del Proyecto Barrios Sostenibles y sus respectivas obras de mitigación una vez identificado el riesgo.

13.1.3 Cálculo de los factores de seguridad

El análisis de amenaza por movimientos en masa, considera la evaluación de los factores de seguridad de las laderas.

Los análisis de estabilidad se desarrollaron mediante teorías de equilibrio límite. Fenómenos de inestabilidad ocurridos en la zona y la hipótesis de la poca presencia de espesores de suelo en las zonas de alta pendiente, direccionan a un mecanismo de falla planar. Para esto, se utilizó entonces la Teoría de Taylor (1948), conocida como la teoría de equilibrio límite de talud infinito (Figura 184).

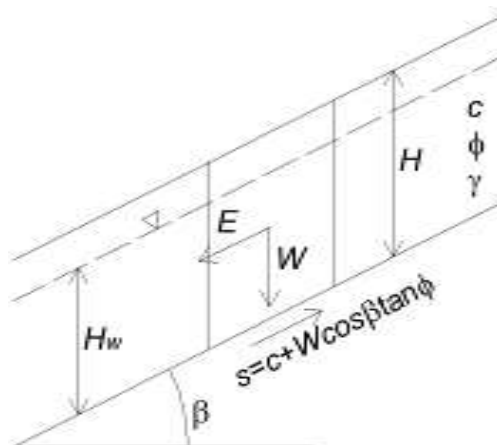


Figura 184. Modelo de cuerpo libre para mecanismo de falla planar

Para condiciones estáticas normales, la teoría del talud infinito se determina con base en la siguiente expresión:



$$FS_{estático} = \frac{c + (\gamma H - \gamma_w H_w) \cos^2 \beta \tan \phi}{\gamma H \cos \beta \sin \beta}$$

Para condiciones pseudoestáticas normales, la teoría del talud infinito puede ser expresada como:

$$FS_{dinámico} = \frac{c + (\gamma H - \gamma_w H_w) \cos^2 \beta \tan \phi}{\gamma H \cos \beta (A_h \cos \beta + \sin \beta)}$$

Es así como para los análisis de estabilidad, el factor de seguridad está en función del espesor de la capa de suelo (H), la posición del nivel freático (H_w), la inclinación o pendiente de la ladera (β) y los parámetros de resistencia al cortante de los materiales, expresados estos últimos a través del ángulo de fricción interna (ϕ), la cohesión (c) y el peso unitario (γ). En el caso del análisis pseudoestático está en función adicional de la aceleración crítica horizontal (A_h).

En cuanto al espesor de la capa de suelo (H), vale la pena explicar la forma en que fue determinado. Como se presentó en el Capítulo 4 de este informe, la unidad geológica predominante en la zona de estudio corresponde a los horizontes de meteorización de las Dunitas de Medellín (JKuM), las cuales son suprayacidas por cenizas volcánicas removilizadas y/o in situ (Qcv), depósitos de deslizamiento (Qd), depósitos coluviales, depósitos de flujo de lodos y/o escombros (Qf/e). Además se presentan llenos antrópicos (Qll) asociados a las construcciones generadas por la expansión urbana. Considerando entonces las diferentes formaciones geológicas de la zona, se establecieron varios perfiles geológico geotécnicos que atraviesan la UMI El Faro - Golondrinas de un extremo al otro. Con estos perfiles, se pudo correlacionar y conformar un modelo tridimensional de espesores a través de superficies de cada uno de los materiales de suelo. Dichas

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

superficies fueron empleadas para programar con Herramientas SIG la forma en que debía entenderse el espesor H y los correspondientes parámetros de resistencia al corte γ , c y ϕ . Dicha herramienta hizo diferentes modelaciones del factor de seguridad con diferentes valores de H , variando desde 0 m hasta 10 m obteniéndose el mínimo factor de seguridad. Finalmente, es importante aclarar que el valor máximo considerado de 10 m corresponde a lo registrado históricamente en la zona, con procesos morfodinámicos cuyo espesor máximo comprometido es mucho menor que 10 m.

La expresión que acaba de presentarse para condiciones pseudoestáticas normales viene fundamentada por la teoría propuesta por Newmark (1965) para estimar el desplazamiento permanente generado por un movimiento sísmico en presas de tierra.

Vega (2013) resume la metodología de Newmark (1965) como un procedimiento donde se modela el talud como un bloque rígido de suelo que puede deslizarse a lo largo de un plano situado en su base bajo cierto grado de inclinación. El análisis de estabilidad con talud infinito es el método más común para modelar fenómenos de inestabilidad en un marco de escala de cuenca. Se basa en una geometría de deslizamiento de tierra simplificado, que asume una superficie de deslizamiento planar en una pendiente planar infinitamente extendida, tanto lateral como longitudinalmente. El análisis supone que la superficie de deslizamiento es paralelo a la superficie del suelo y coincidente con un sustrato impermeable. Este método analítico permite estimar las deformaciones de taludes y laderas ante la acción sísmica, y corresponde a un modelo simplificado en que el suelo se asume con respuesta rígida-plástica. Así mismo, se asume que el suelo no sufre deformaciones hasta cierto valor crítico de la fuerza solicitante y cuando ésta es superada se deforma plásticamente. Irregularidades en la pata y la cresta de la ladera pueden ser ignoradas y las propiedades del suelo y las presiones de poro en cualquier distancia dada por debajo de la superficie del suelo se suponen constantes (Graham 1984).

La fuerza crítica se asocia a una aceleración crítica (A_h) de la masa potencialmente deslizante y mientras las aceleraciones sean inferiores a esta, no se producen deformaciones debido a su comportamiento rígido. Cuando A_h es excedida, la masa se deforma irreversiblemente. Así mismo, la exactitud relativa de este método depende de la suposición de conducta rígida-plástica, pero el resto de problemas geotécnicos, derivados del análisis de las posibles superficies de falla y de las propiedades del material, está reunido en el factor de seguridad (FS). Es decir, es de aplicación general en cuanto a la geotecnia. Este método es aplicado cuando el bloque de masa de suelo se desliza en forma traslacional, pero con algunas modificaciones puede aplicarse a deslizamientos rotacionales.

Según Figueras et al. (2005), el análisis de Newmark, se ha venido usando en diseños de terraplenes antrópicos desde hace más de 15 años y recientemente se ha calibrado y comparado en los casos de fallas en taludes naturales inducidas por sismos demostrando su validez en la predicción de desplazamientos de un deslizamiento durante un movimiento sísmico.

13.1.4 Cálculo de la probabilidad de falla

Finalmente, una vez determinadas las condiciones de estabilidad de la zona reflejados de forma cuantitativa en el factor de seguridad, se procede con el cálculo de la probabilidad de falla.

La probabilidad de falla se determina como la probabilidad de que los valores considerados límites sean excedidos. En el caso del factor de seguridad (FS), la probabilidad de falla se determina como la probabilidad de que ese factor de seguridad sea menor que la unidad.

Para determinar entonces la probabilidad de que ocurra un deslizamiento en ladera, se recurre a los métodos probabilísticos que consisten en herramientas que introducen la incertidumbre en la formulación de los problemas para obtener la probabilidad de que un sistema o estructura no cumpla los requisitos de diseño o estabilidad. Utilizan técnicas de confiabilidad estructural, de estimación de probabilidades y de análisis de riesgos. Estos son los adoptados para modelar la incertidumbre de los parámetros geotécnicos para estimar la probabilidad de falla de los taludes (Vega, 2013).

Los métodos probabilísticos más utilizados en el análisis de estabilidad y probabilidad de falla en geotecnia son:

- ✓ Método de las estimativas puntuales
- ✓ Método de primera orden segundo momento (FOSM)
- ✓ Método de primera orden momento de confiabilidad (FORM)
- ✓ Monte Carlo

Para este proyecto, la probabilidad de falla al deslizamiento será evaluada utilizando la metodología del índice de confiabilidad (β) el cual es una aplicación directa del método de Primera Orden y Segundo Momento (FOSM). Este método del índice de confiabilidad (β) será utilizado sobre las ecuaciones de resistencia (R) y la carga (C) que definen el factor de seguridad por equilibrio limite.

La diferencia entre la resistencia (R) y la carga (C) es lo que se denomina como margen de seguridad (M).

$$M = R - C$$

La resistencia y la carga manejan variaciones, por lo que estas dos magnitudes poseen momentos estadísticos como valores medios o esperados, desviaciones y covarianzas entre otros.

$$\mu_M = \mu_R - \mu_C$$

$$\sigma_M^2 = \sigma_R^2 + \sigma_C^2 - 2\rho_{RC}\sigma_R\sigma_C$$

Donde μ_R y μ_C son las medias o esperanzas de la resistencia y la carga respectivamente, σ_R y σ_C son las desviaciones estándar de la resistencia y la carga respectivamente, elevadas al cuadrado, estas últimas correspondiendo a la $Var(R)$ y la $Var(C)$ respectivamente. Finalmente, ρ_{RC} es el coeficiente de correlación entre la carga y la resistencia.

El índice de confiabilidad (β) expresa la distancia que existe entre la media y en este caso el valor crítico del margen de seguridad expresado en unidades de desviación estándar. Si la carga y la resistencia no presentan correlación alguna, entonces:

$$\beta = \frac{\mu_M}{\sigma_M} = \frac{\mu_R - \mu_C}{\sqrt{\sigma_R^2 + \sigma_C^2}}$$

Partiendo de la definición de factor de seguridad al deslizamiento presentada en el numeral anterior, es posible reorganizar los términos de la definición y separar los esfuerzos resistentes y los esfuerzos actuantes causados por las fuerzas desestabilizadoras. Las variables que representan la resistencia (R) y la carga (C) siguen una distribución normal en los rangos de interés. Reorganizando los términos de la ecuación de factor de seguridad se tiene en el caso estático pseudo estático lo indicado a continuación:

Caso Estático	Caso Seudoestático
Media de la resistencia	Media de la resistencia
$\mu_R = c + (\gamma H - \gamma_w H_w) \cos^2 \beta \tan \phi$	$\mu_R = c + (\gamma H - \gamma_w H_w) \cos^2 \beta \tan \phi$
Media de la carga	Media de la carga
$\mu_C = \gamma H \cos \beta \sin \beta$	$\mu_C = \gamma H \cos \beta (A_h \cos \beta + \sin \beta)$

Para determinar las varianzas de la resistencia y de la carga (desviaciones estándar al cuadrado) de una variable definida por varias variables aleatorias X_i , en este caso la cohesión (c) y el ángulo de fricción (ϕ) se hace:

$$\sigma_{R,C}^2 = Var(R, C) = \sum_{i=1}^n a_i^2 \cdot Var(X_i)$$

Luego entonces la varianza de la carga (C) y de la resistencia (R) se expresa en el caso estático como:

Caso Estático	Caso Seudoestático
Varianza de la resistencia $\sigma_R^2 = \sigma^2(c) + (\gamma H \cos \beta \sin \beta)^2 \cdot \sigma^2(\tan \phi)$	Varianza de la resistencia $\sigma_R^2 = \sigma^2(c) + (\gamma H \cos \beta \sin \beta)^2 \cdot \sigma^2(\tan \phi)$
Varianza de la carga $\sigma_C^2 = 0$	Varianza de la carga $\sigma_C^2 = 0$

En la varianza de la carga para ambos casos, este valor es cero, dado que dentro de él no se contempla ninguna variable aleatoria.

La probabilidad de falla, p_f , o la probabilidad que el factor de seguridad sea inferior a 1.0 se puede determinar mediante la expresión:

$$p_f = 1 - \Phi(\beta)$$

Donde $\Phi(\beta)$ es la función de distribución de probabilidad normal acumulada evaluada en el punto β que corresponde a la confiabilidad.

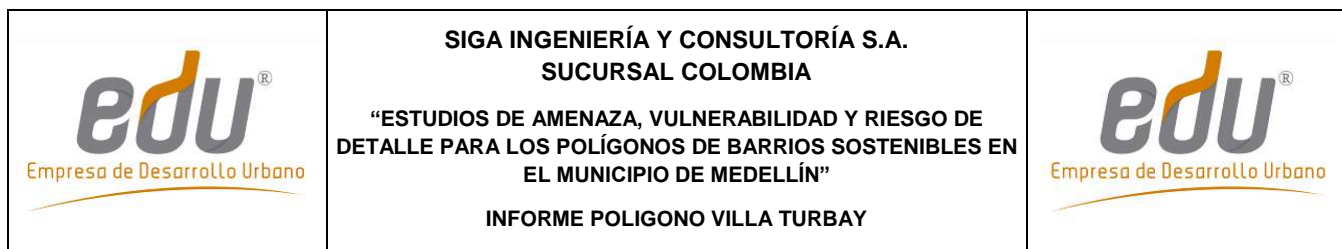
Finalmente, el resultado esperado es que en cada condición se tenga un valor del factor de seguridad con una probabilidad de falla o de ocurrencia. El siguiente paso corresponde a la agregación de dichas probabilidades y factores de seguridad empleando el teorema de probabilidad total.

$$P_{total} = P_1 \cup P_2 \cup P_3 \dots \cup P_n$$

Donde P_1, P_2, P_3, P_n son un grupo de eventos mutuamente exclusivos que pueden corresponder por ejemplo, a la probabilidad de falla asociada al analizar las condiciones actuales del talud, o la probabilidad de falla en condiciones de nivel freático extremo o incluso, a la probabilidad de falla cuando ocurre el sismo.

13.1.5 Implementación de Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Para Van Westen & Terlien (1996), la mayoría de los modelos deterministas son específicos del sitio y no tienen en cuenta la distribución espacial de los parámetros de entrada. Los modelos que tienen en cuenta la distribución espacial de los parámetros de entrada se denominan "modelos distribuidos". Ahora bien, los modelos distribuidos deterministas, requieren mapas donde se tenga la distribución espacial de los datos de entrada. La aplicación de modelos deterministas para la zonificación de la amenaza al deslizamiento en áreas extensas, no ha llegado a un desarrollo más amplio, debido a la variabilidad regional de variables geotécnicas como la cohesión, ángulo de fricción interna, el espesor de las capas, o profundidad del nivel freático. Por otra parte, el cálculo de los factores de seguridad en zonas más extensas, implica una cantidad



extremadamente grande de cálculos, que no podrían ser ejecutados sin el uso de Sistemas de Información Geográfica (SIG).

Actualmente, sólo el uso de modelos deterministas resulta en mapas reales de peligro, de acuerdo con la definición de Varnes (1984): “la amenaza significa la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno potencialmente dañino en un plazo determinado de tiempo y dentro de una zona determinada”. Los modelos deterministas, junto con la información de magnitud/frecuencia de eventos detonantes como las lluvias o los terremotos, hacen posible derivar una probabilidad de falla, que puede ser utilizado en estudios de riesgo.

Cualquier estudio de riesgo requiere de la información espacial de la superficie de la zona de estudio, sus características topográficas, la geología, la hidrología y los usos del suelo, entre otros. Para gestionar todo este volumen de información, se requiere disponer de Sistemas de Información Geográfica, ya que estas herramientas permiten administrar tal volumen de datos, de manera rápida y detallada, y permiten además la presentación gráfica de resultados. En la actualidad, la integración en un SIG con modelos matemáticos facilita procesos de simulación, y acelera el análisis espacial de las variables y de los parámetros requeridos (Vega, 2013). Estas herramientas permiten centralizar e integrar información normalmente dispersa en diferentes formatos, al igual que ofrece sistemas dinámicos de información, puesto que los datos pueden ser actualizados periódicamente para producir nueva información de acuerdo con las necesidades de diferentes aplicaciones y usuarios.

El uso de las herramientas SIG posibilitó en este caso efectuar evaluaciones multi amenazas, permitiendo combinar eficientemente varios conjuntos de datos espaciales en modelos y escenarios para diferentes grados de amenazas. En el caso de los movimientos en masa, la herramienta SIG facilita la obtención de los parámetros morfométricos necesarios para realizar estudios de deslizamientos superficiales mediante técnicas multivariantes, así como la evaluación de las condiciones de rotura e identificación de áreas potencialmente inestables, y las condiciones de movilidad del desplazamiento. (Lantada, 2007).

Según Xie et al. (2003), el cálculo de la estabilidad para la evaluación deslizamiento de tierra se puede realizar dentro o fuera del SIG. Si se realizan los cálculos fuera del SIG, este sólo se utilizaría como una base de datos espacial para almacenar, visualizar y actualizar los datos de entrada. La principal ventaja de este enfoque es que los modelos externos existentes pueden utilizarse sin perder tiempo en la programación de los algoritmos de modelo en el SIG. Una desventaja de hacer cálculos de los modelos fuera de los SIG, es la complicación causada por la conversión de datos hacia y desde modelos externos. La conversión de datos puede ser un problema importante porque la mayoría de los programas tienen su propio formato de datos, o en el caso más desfavorable, algunos tienen módulos de entrada especiales que sólo permiten el ingreso de datos de forma manual aumentando el tiempo de procesamiento y la probabilidad del error. Otra desventaja del uso de modelos externos es la representación de los resultados de los cálculos del modelo, que normalmente no se distribuyen espacialmente, en forma de mapas en un SIG. Para superar el problema de la conversión de datos, los cálculos del

modelo deterministas pueden ser realizados dentro del SIG. La desventaja de este enfoque es, sin embargo, que sólo modelos simples se puede aplicar fácilmente debido a las limitaciones con respecto a la utilización de algoritmos complejos, procedimientos de iteración y la tercera dimensión en el GIS convencional, de dos dimensiones. Xie et al. (2003) cita algunos trabajos utilizando la teoría de talud infinito, que permiten el cálculo del factor de seguridad para cada pixel individual, a través de la implementación del SIG (Aleotti & Chowdhury, 1999; Anbalagan, 1992; Carrara, 1995; Dai & Lee, 2001).

Según Van Westen & Terlien (1995), la teoría de equilibrio límite de talud infinito (Figura 184) es el método más adecuado para el uso de modelos deterministas en un entorno SIG citando trabajos como los de Ward et al. (1982) y Brass et al. (1989). Esta teoría, es el único modelo que calcula inestabilidad de la ladera sobre una base de pixel, y por lo tanto es muy adecuado para ser utilizado en un SIG. El modelo de pendiente infinita unidimensional describe la estabilidad de taludes en la forma más simple. Su limitante radica en que sólo podría ser aplicable para el cálculo de superficies de falla planares. La estabilidad de taludes se calcula para los píxeles en un mapa, utilizando la información combinada de varios mapas de entrada, tales como la pendiente del terreno, el espesor del suelo, la resistencia del suelo, y la profundidad del nivel freático. Los cálculos para cada píxel individual resultarán en valores del factor de seguridad, que pueden utilizarse para crear un mapa de amenaza (Figura 185).

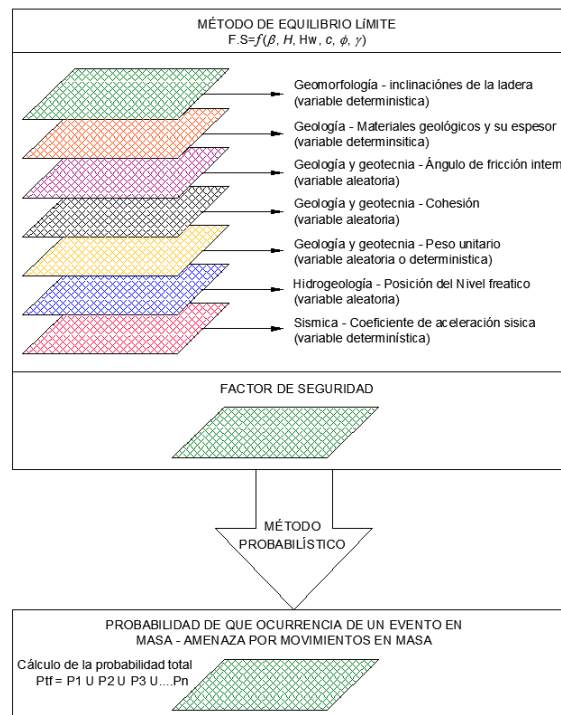


Figura 185. Modelo general de implementación en SIG para determinar la amenaza por movimiento en masa

Finalmente, a través de un método probabilístico, obtener la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno de inestabilidad que equivaldría en este caso, a la amenaza por un fenómeno de inestabilidad.

Para todos los escenarios, se elaboraron mapas de amenaza a escala 1:2.000 o de mayor detalle para el área urbana (1:1.000 o 1:500) y 1:5.000 o de mayor detalle para el área rural (1:1.000 o 1:500).

13.1.6 Criterios para calificar la amenaza

La Ficha Técnica del Proyecto Barrios Sostenibles estableció unos criterios para juzgar el factor de seguridad y la probabilidad de falla que definen la amenaza por movimientos en masa.

No obstante, esta oficina consideró que en el caso de los criterios de factor de seguridad, los mismos son estrictos y se alejan de las recomendaciones establecidas por algunas referencias de gran aceptación científica como lo son el Control Geotécnico de Hong Kong (GEO), el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos (USACE) y el Servicio Geológico Colombiano (SGC).

Por lo anterior, se consideró la propuesta de rangos de factor de seguridad mostrado en la Tabla 59. En la Tabla 60 se presentan los rangos en términos de probabilidad de falla expuestos por la ficha técnica mencionada, considerando que estos se aplican para un periodo proyectado de 50 años.

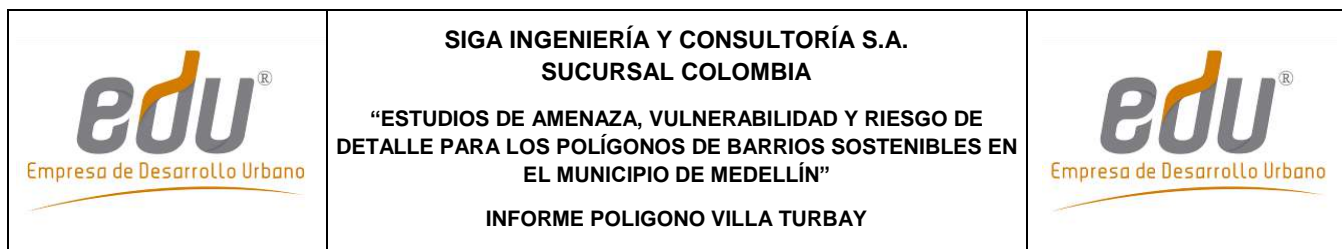
Tabla 59. Nivel de amenaza según los valores del factor de seguridad

Nivel de Amenaza	Factor de Seguridad (F.S)
Bajo	>1.5
Media	1.2 a 1.5
Alto	<1.2

Tabla 60. Nivel de amenaza considerando la probabilidad de ruptura en 50 años

Nivel de Amenaza	Probabilidad de Falla (%P.F)
Bajo	0.00% a 3.20%
Media	3.20% a 5.50%
Alto	>5.50%

Estos deslizamientos o procesos son difíciles de modelar con una metodología regionalizable. Así pues, se partió de los resultados de la estimación de la socavación en



los cauces y se evaluaron los factores de seguridad a través de análisis de estabilidad convencionales bidimensionales. Los análisis se realizaron de forma local, sobre las secciones donde se manifiesten las mayores afectaciones por efectos de la dinámica fluvial.

13.2 RESULTADOS



Del Mapa 34 al Mapa 37 se presentan los respectivos resultados de los análisis del factor de seguridad en condiciones estáticas y pseudoestáticas con respecto a los cuales se pueden hacer los siguientes comentarios:

- ✓ En el caso del mapa de factores de seguridad (FS) en condiciones estáticas se puede ver que en la mayor parte del Polígono Villa Turbay predominan valores altos de FS, por encima de 1.5. En general, se presentan áreas, a lo largo y ancho del polígono, con factores de seguridad iguales o menores que 1.2, coincidiendo con cicatrices de procesos inactivos ocurridos hace cerca de veinte años.
- ✓ En el caso del mapa de factores de seguridad (FS) en condiciones pseudoestáticas, representativo del escenario con sismo, se puede ver que la mayor parte del Polígono Villa Turbay presenta valores de FS iguales o menores que a 1.2. Las zonas con factores de seguridad bajos coinciden con presentar altas pendientes, mayores que 30° y con cicatrices de procesos inactivos. Vale la pena aclarar que un valor que podría considerarse aceptable de FS pseudoestático es mayor que 1.1, de tal manera que los factores de seguridad considerados bajos realmente alcanzan en algunos puntos valores que pudieran ser aceptables.

El Mapa 38 muestra los resultados de los análisis de probabilidad de falla considerando las variaciones en los parámetros de resistencia al corte. Posteriormente, se evaluó la probabilidad de falla considerando el efecto del sismo, con la actuación de un sismo de magnitud 0.25g que equivale a 2/3 de 0.38g para el cual se tiene un periodo de retorno de 475 años (Mapa 40). Para efectos de encontrar la probabilidad de falla a 50 años de proyección, se procedió a analizar el efecto del sismo dividiendo los resultados obtenidos en el Mapa 38 por el respectivo periodo de retorno de 475 años (Mapa 40).

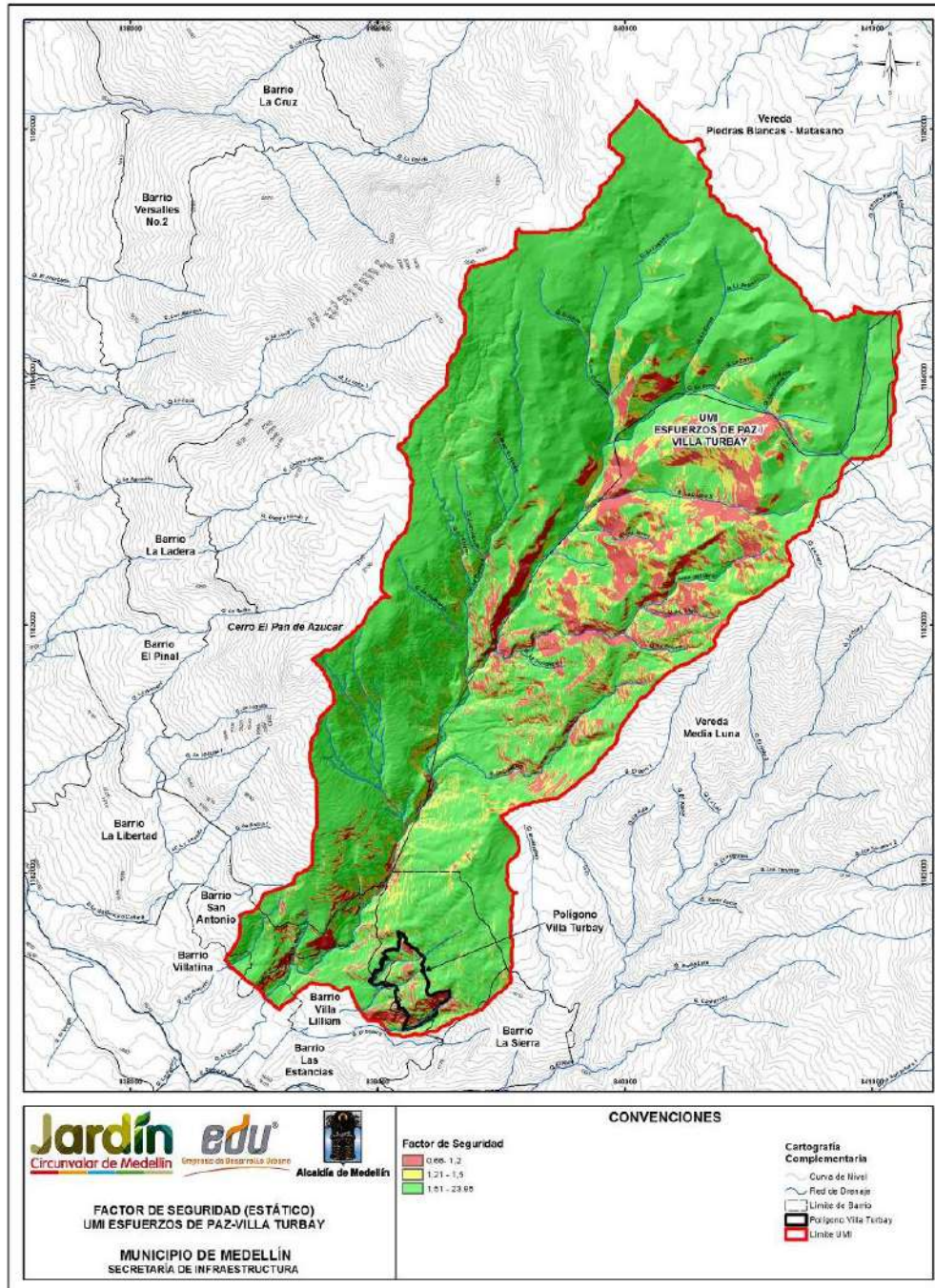
Finalmente, del Mapa 44 al Mapa 46 se presenta el mapa de zonificación de la amenaza total de la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay considerando la variabilidad de los parámetros de resistencia al corte y el efecto del sismo para un periodo de exposición de 50 años. El Mapa 46 presenta la zonificación de la amenaza total expuesta también en el Mapa 44, pero haciendo referencia al Polígono Villa Turbay. Se puede establecer que se obtienen zonas en los tres grados de amenaza considerados, baja (probabilidad de falla menor o igual que el 3.2%), media (probabilidad de falla entre el 3.2% y el 5.5%) y alta (probabilidad de falla mayor que el 5.5%). Las áreas con probabilidad de falla alta se extienden a lo largo y ancho de la UMI.

Considerándose que el Mapa 46 y el Mapa 44 son el principal producto de la evaluación de la amenaza por movimientos en masa, se presenta adicionalmente el Mapa 47, en la cual se muestran los principales focos de inestabilidad localizados al interior del polígono.

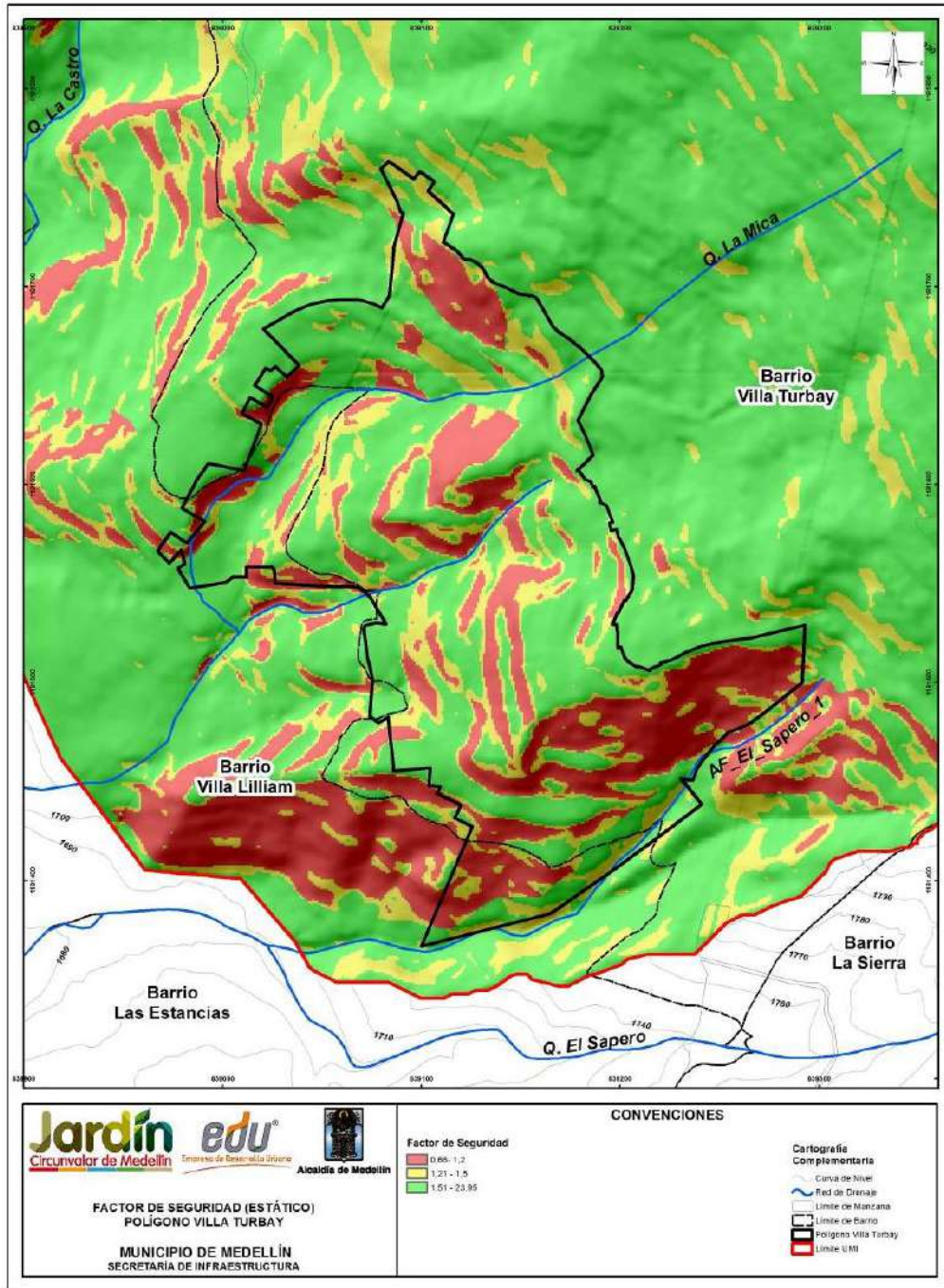
	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	--	---

Estos son los sitios más críticos, de tal manera que en caso de ocurrencia de un movimiento en masa, estos podrían afectar directamente las viviendas en el polígono, bien sea porque dichas viviendas se encuentran en el sitio potencialmente inestable o bien porque serían impactadas por el material que descendería ladera abajo desde un sitio inestable localizado más alto que la vivienda. Con respecto a estos focos de mayor inestabilidad, se pueden hacer las siguientes anotaciones:

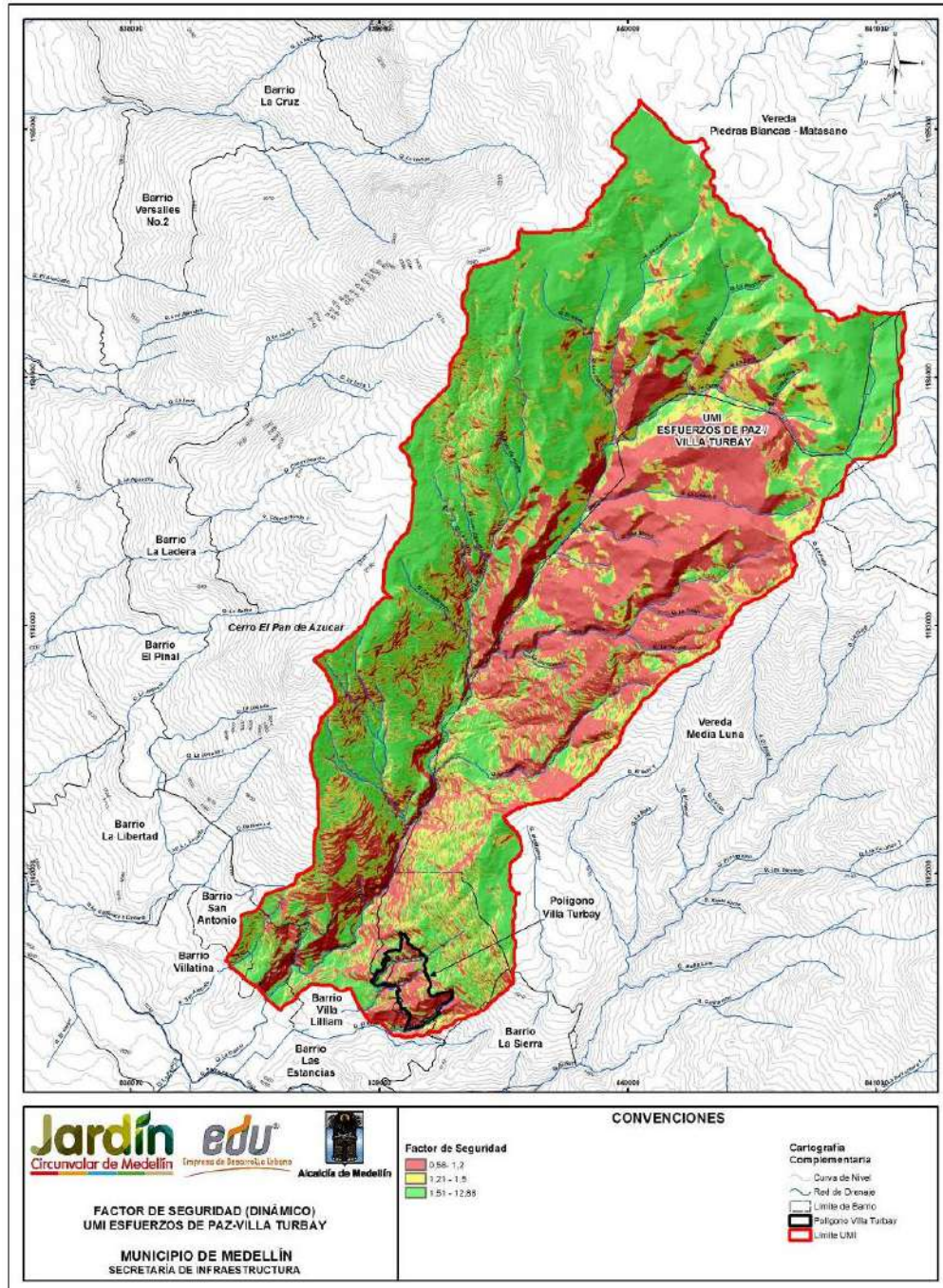
- ✓ Se tiene un primer conjunto de focos localizados en el sector norte del Polígono Villa Turbay. En el Mapa 47 se trata principalmente de los identificados como Focos 12, 13, 14, 15, 16, 17 y 22. Son sitios potencialmente inestables, ubicados en una ladera urbanizada, de alta pendiente y desarrollada superficialmente en el Horizonte IC de Cuerpos asociados al Batolito Antioqueño. En la zona se mapearon procesos morfodinámicos actualmente inactivos. La inestabilidad potencial se asocia entonces con las pendientes de la ladera en conjunto con los parámetros de resistencia al corte y su variabilidad asociada, factores que en caso del sismo de diseño generan probabilidades de falla relativamente altas.
- ✓ En el sector sur del Polígono Villa Turbay se pueden citar principalmente los Focos 18, 19, 20 y 21. De estos focos, el de mayor afectación resulta ser el Foco 18, con una probabilidad de falla del orden del 10%. Se localiza al interior del polígono afectando las viviendas localizadas por debajo del foco, en el sector inferior del polígono, desarrollándose también sobre Horizonte IC de Cuerpos asociados al Batolito Antioqueño en una zona poco urbanizada. En la zona también se mapearon procesos morfodinámicos actualmente inactivos y surcos de erosión.
- ✓ En la zona central no se tienen focos de inestabilidad toda vez que el mapa de amenaza presenta menos manchas continuas como fuentes de amenaza alta y esto es también corroborado con el mapa de procesos morfodinámicos que en esta zona muestra presencia escasa de cicatrices de procesos, en comparación con las otras dos zonas mencionadas, mostrando solamente dos y de procesos muy antiguos ya inactivos.



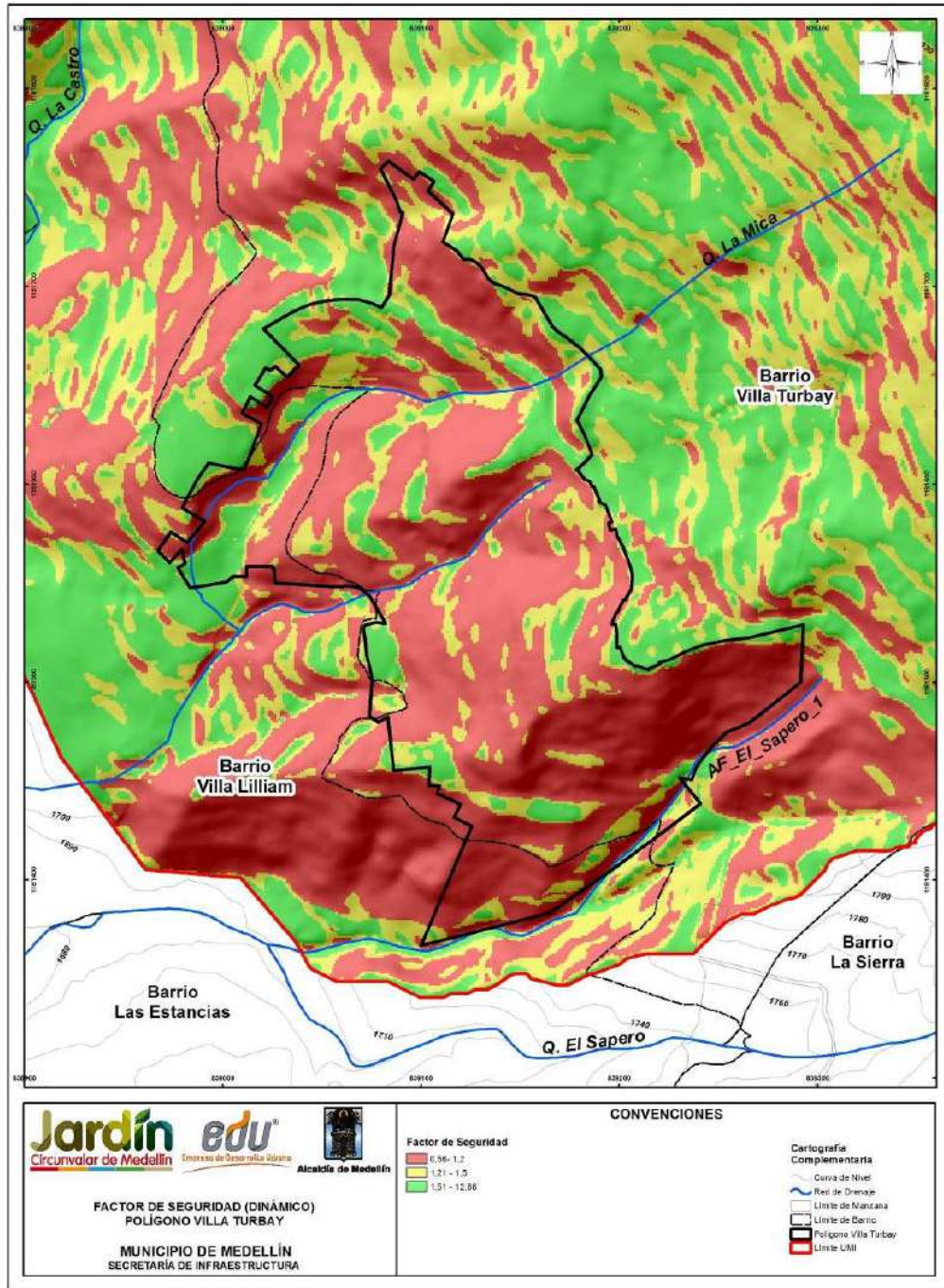
Mapa 34. Análisis del factor de seguridad de la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay en condiciones estáticas (VTBFactorSeguridadEstaticoUMI_Medellin_C)



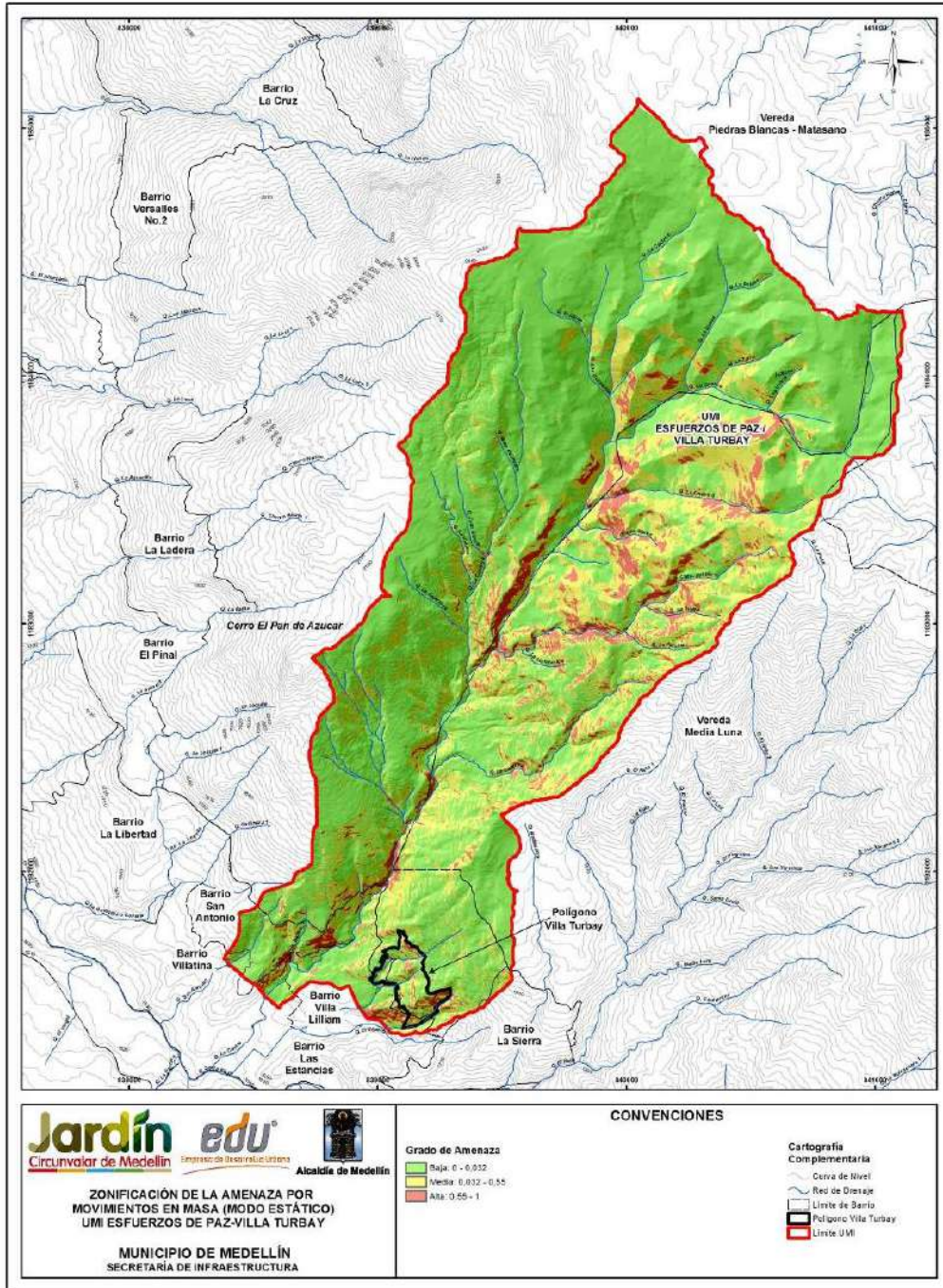
Mapa 35. Análisis del factor de seguridad de la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay en condiciones estáticas (VTBFactorSeguridadEstatico_Medellin_C)



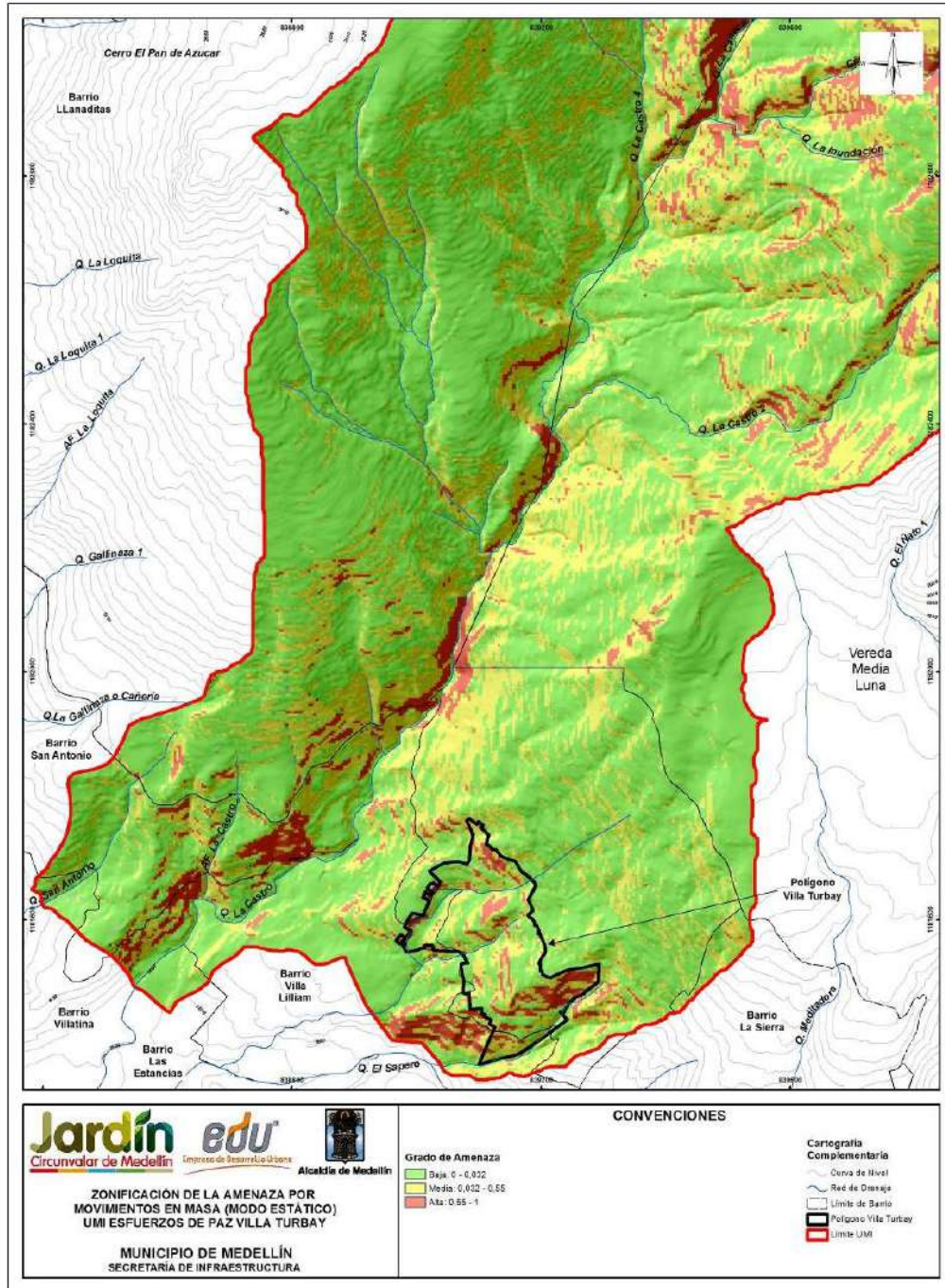
Mapa 36. Análisis del factor de seguridad de la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay en condiciones seudoestáticas con sismo de 0.25g (VTBFactorSeguridadDinamicoUMI_Medellin_C)



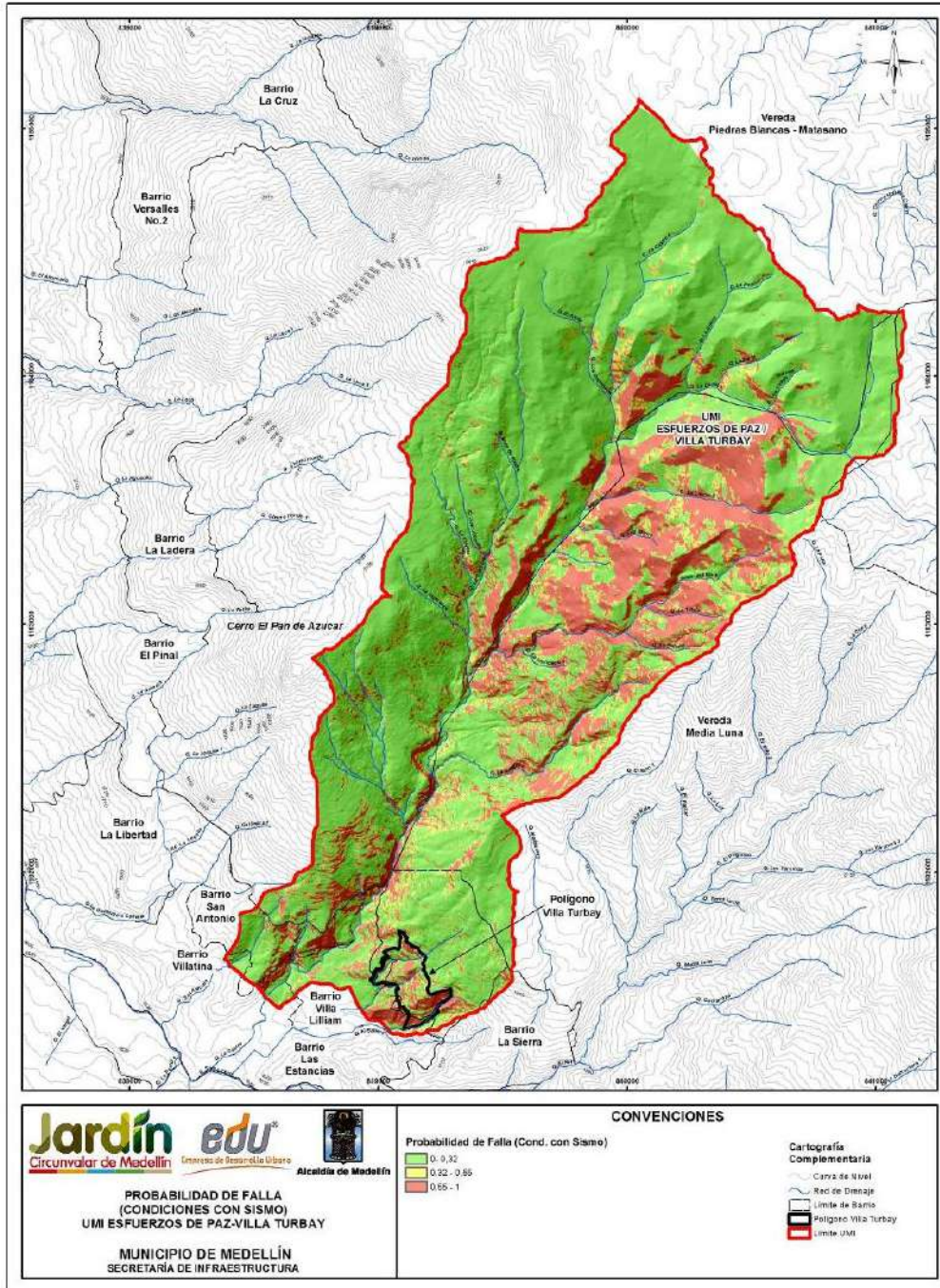
Mapa 37. Análisis del factor de seguridad de la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay en condiciones seudoestáticas con sismo de 0.25g (VTBFactorSeguridadDinamico_Medellin_C)



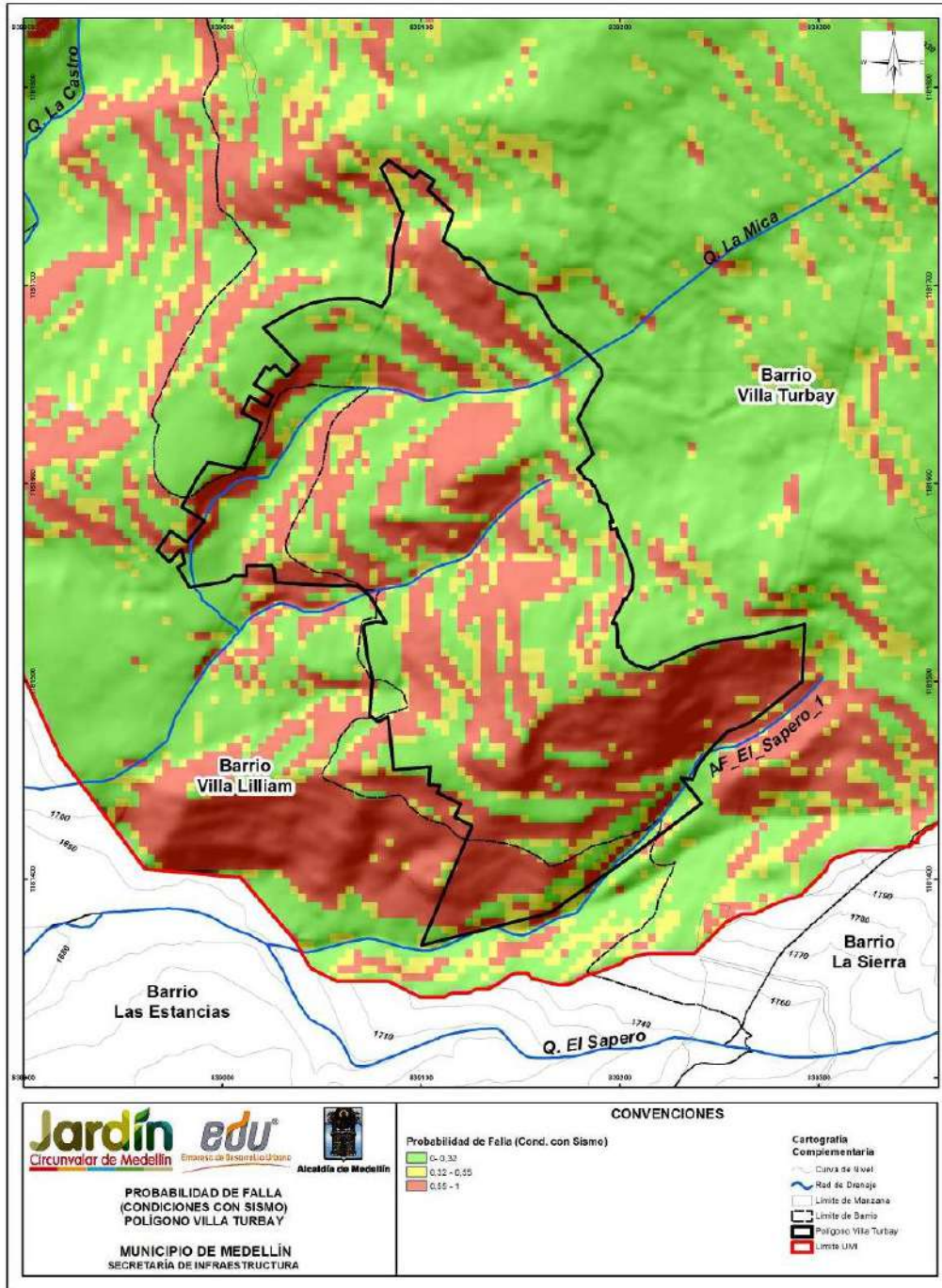
Mapa 38. Mapa de probabilidad de falla de la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay en condiciones actuales y naturales (VTBProbabilidadFallaCondicionesActualesUMI_Medellin_C)



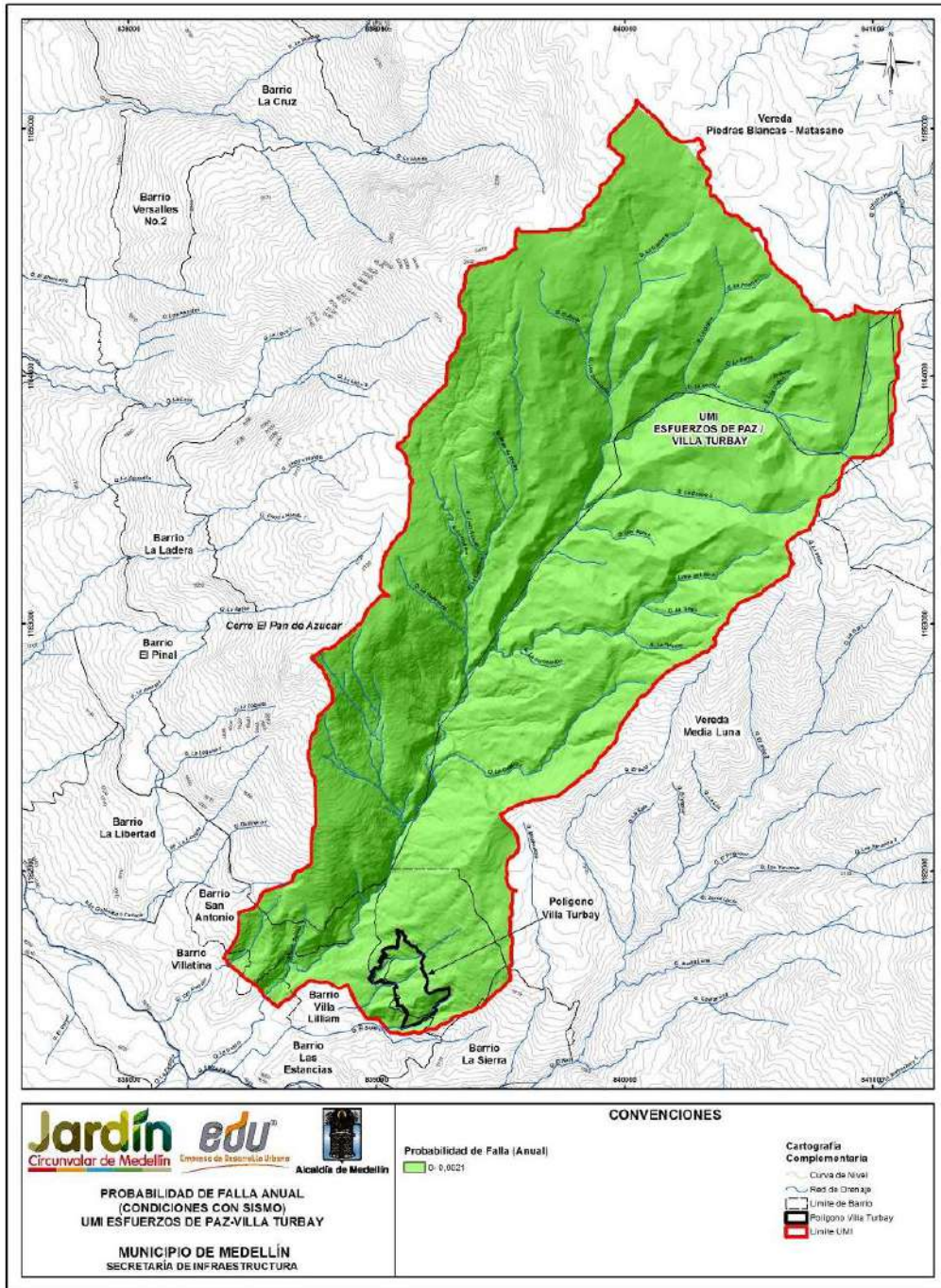
Mapa 39. Mapa de probabilidad de falla de la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay en condiciones actuales y naturales (VTBProbabilidadFallaCondicionesActuales_Medellin_C)



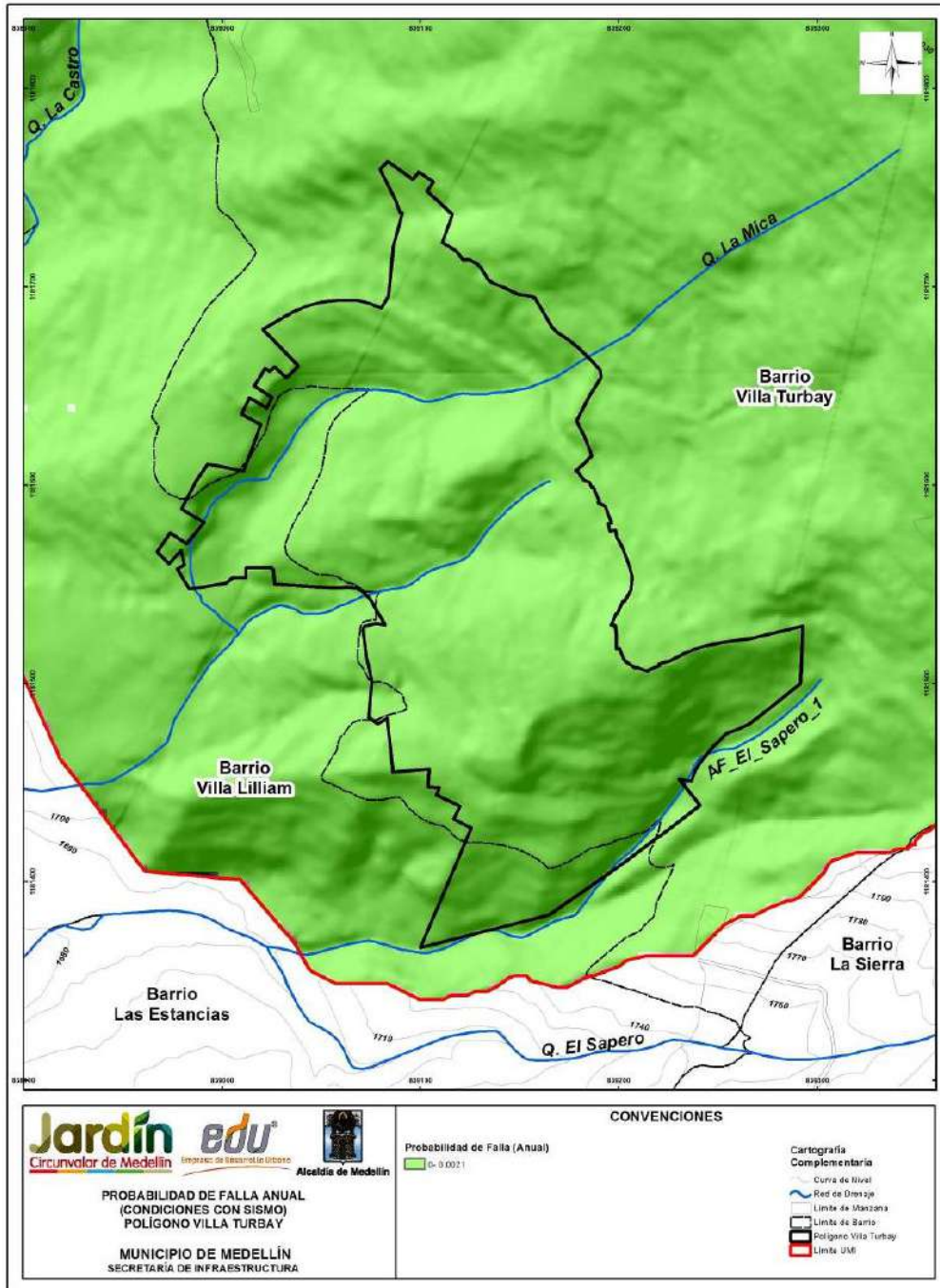
Mapa 40. Mapa de probabilidad de falla de la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay en condiciones pseudoestáticas con un sismo 0.25g periodo de retorno de 475 años (VTBProbabilidadFallaTotalUMI_Medellin_C)



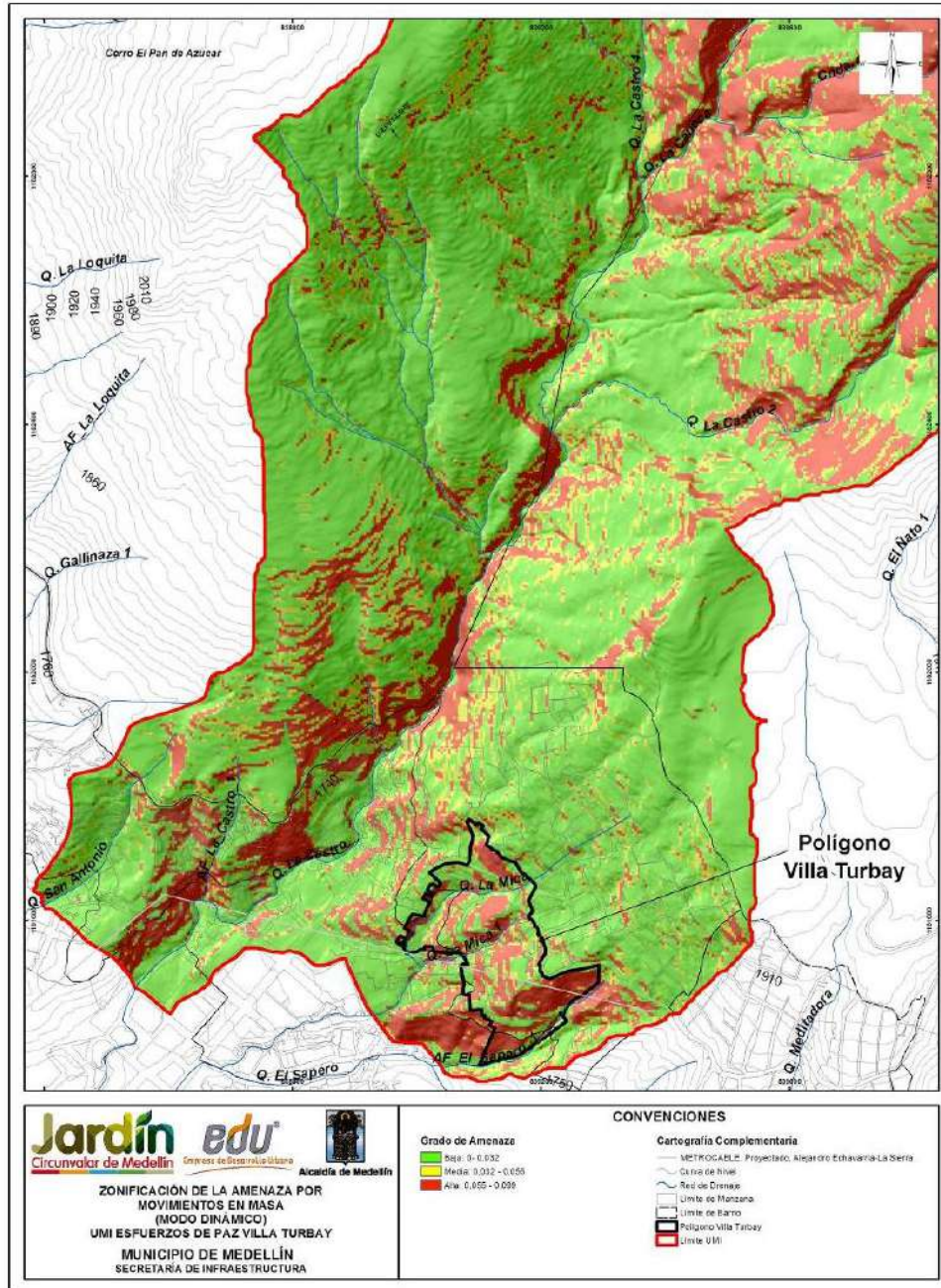
Mapa 41. Mapa de probabilidad de falla de la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay en condiciones pseudoestáticas con un sismo 0.25g periodo de retorno de 475 años (VTBProbabilidadFallaTotal_Medellin_C)



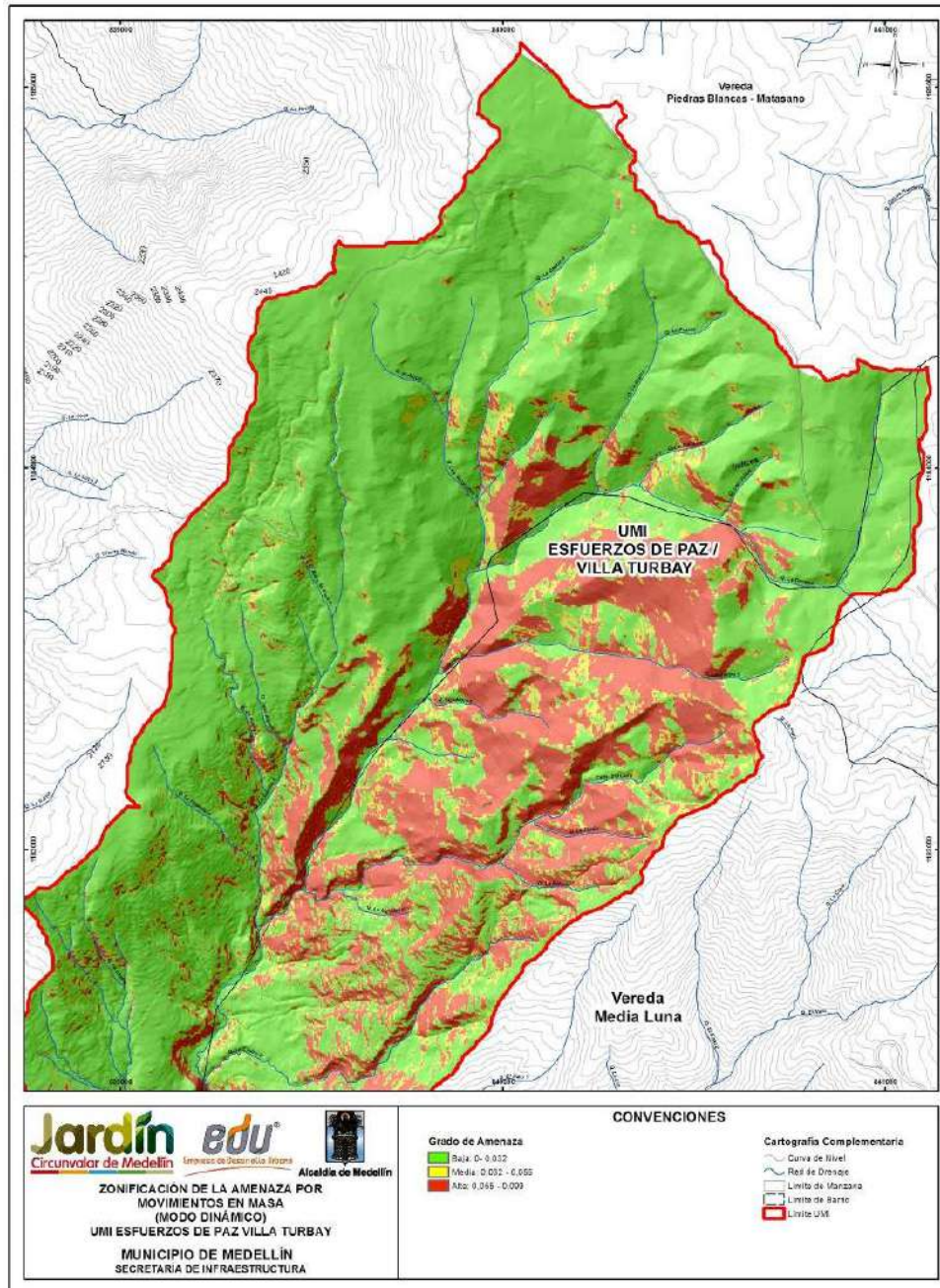
Mapa 42. Mapa de probabilidad de falla anualizado de la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay en condiciones pseudoestáticas con un sismo 0.25g (VTBProbabilidadFallaAnualUMI_Medellin_C)



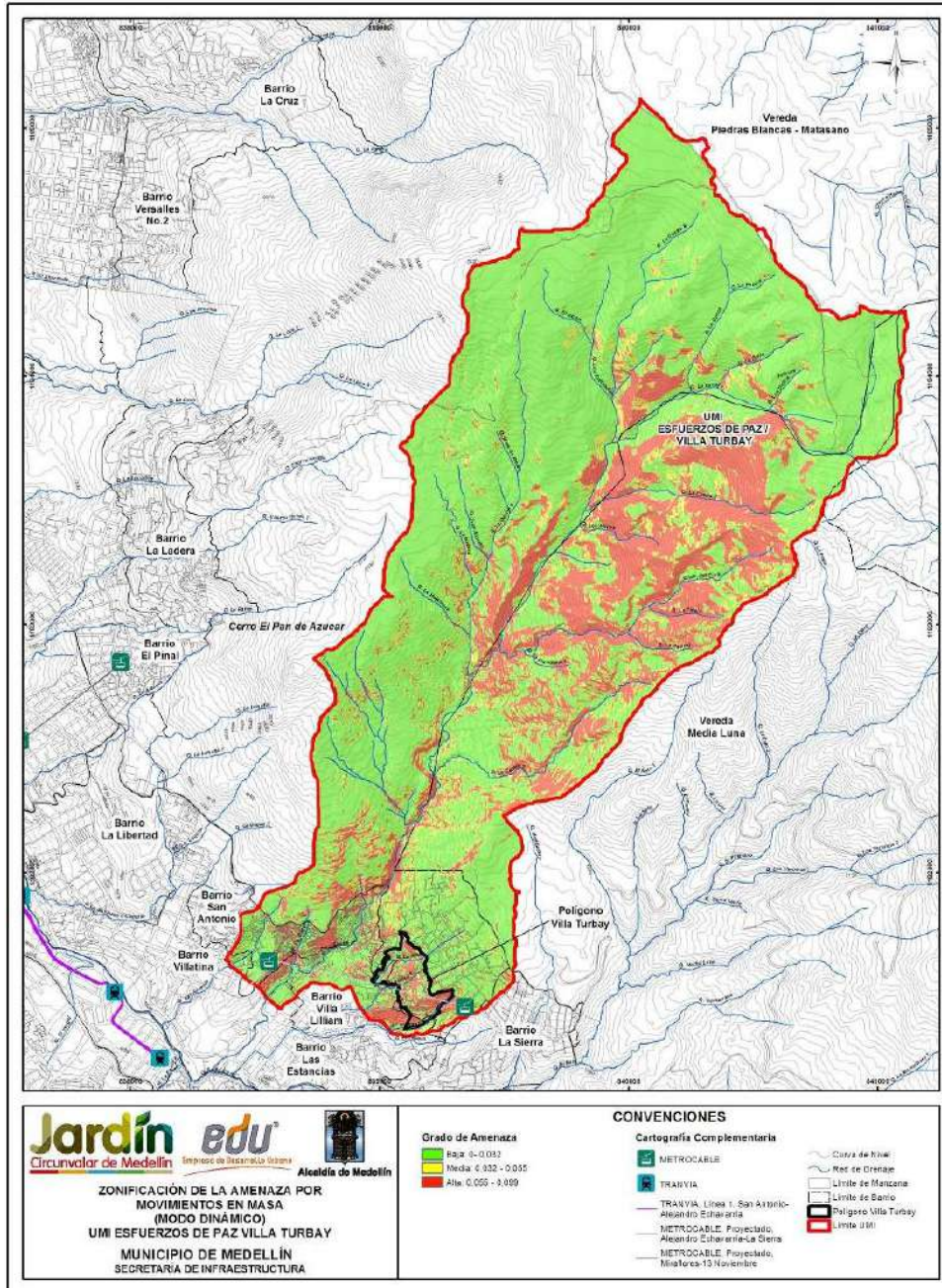
Mapa 43. Mapa de probabilidad de falla anualizado de la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay en condiciones pseudoestáticas con un sismo 0.25g (VTBProbabilidadFallaAnual_Medellin_C)



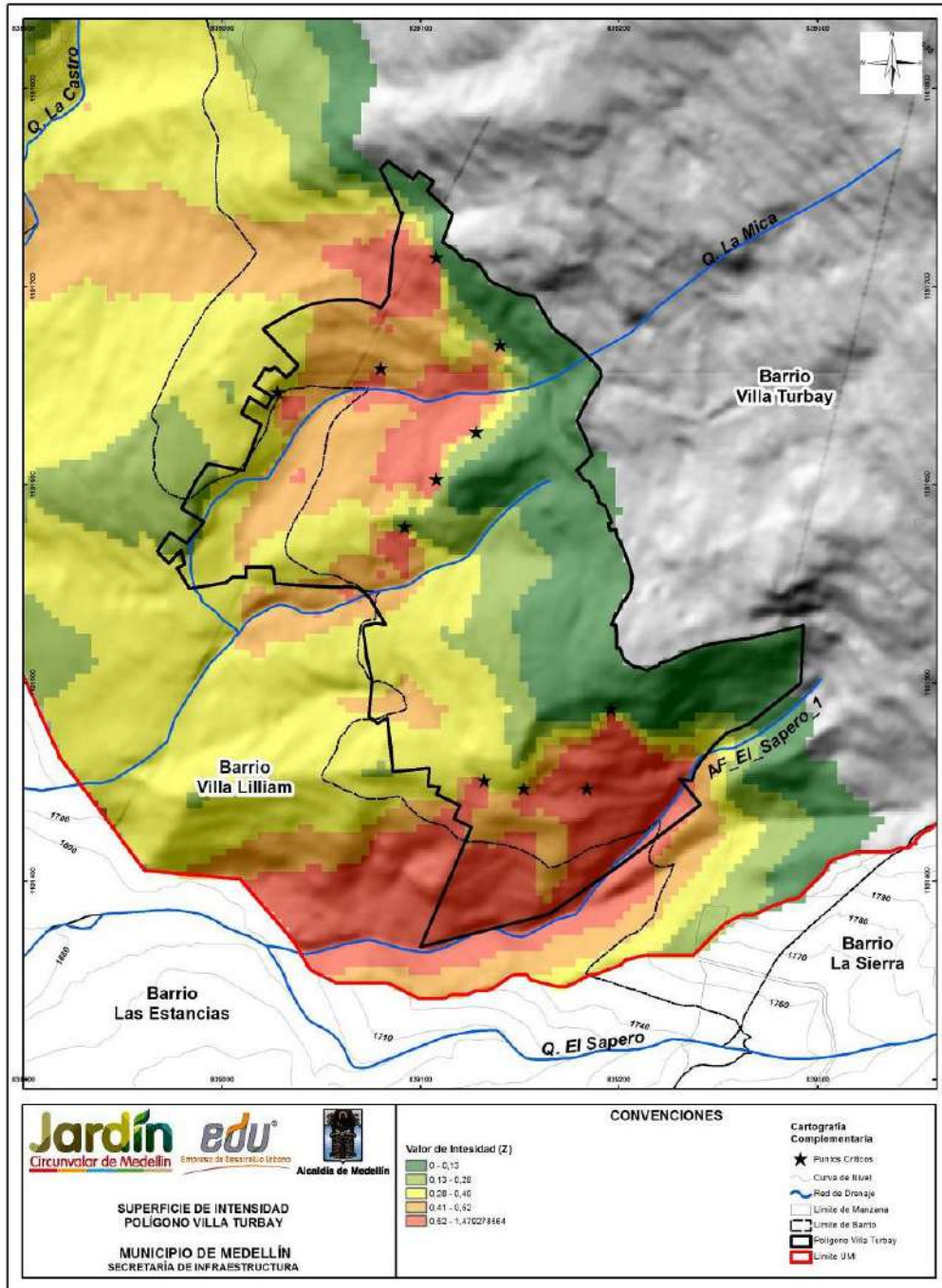
Mapa 44. Mapa de zonificación de la amenaza total en el Polígono Villa Turbay por movimientos en masa proyectado para 50 años considerando la variabilidad de los parámetros y la acción del sismo de 0.25g (19A_VTBAmenazaMovimientosenMasa_Medellin_C y 19A_VTBAmenazaMovimientosenMasa_Medellin_T)





Mapa 45. Mapa de zonificación de la amenaza total de la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay por movimientos en masa proyectado para 50 años considerando la variabilidad de los parámetros y la acción del sismo de 0.25g (19_VTBamenazaMovimientosenMasa_Medellin_C y 19_VTBamenazaMovimientosenMasa_Medellin_T)



Mapa 46. Mapa de zonificación de la amenaza total de la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay por movimientos en masa proyectado para 50 años considerando la variabilidad de los parámetros y la acción del sismo de 0.25g (19B_VTBAmenazaMovimientosenMasa_Medellin_C y 19B_VTBAmenazaMovimientosenMasa_Medellin_T)



Mapa 47. Esquema con localización de los focos de inestabilidad que afectan el Polígono Villa Turbay (VTBSuperficie de Intensidades Z_Medellin_C)

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

14. AMENAZA POR INUNDACIONES

14.1 ASPECTOS GENERALES

Las inundaciones son fenómenos hidrológicos recurrentes potencialmente destructivos, que hacen parte de la dinámica de evolución de una corriente. Se producen por lluvias persistentes y generalizadas que generan un aumento progresivo del nivel de las aguas contenidas dentro de un cauce, superando la altura de las orillas naturales o artificiales, ocasionando un desbordamiento y dispersión de las aguas sobre las llanuras de inundación y zonas aledañas a los cursos de agua normalmente no sumergidas (Flórez y Suavita, 1997; INETER y COSUDE, 2005, en AMVA et al, 2010)

Es importante aclarar que dentro del término inundaciones caben dos tipos de fenómenos diferenciados por la velocidad de ascenso de los niveles de agua. El primero corresponde a inundaciones lentas que son características de las zonas asociadas a llanuras aluviales donde la pendiente suave del terreno y los amplios valles permiten un almacenamiento temporal de un importante volumen de agua. El segundo corresponde a inundaciones rápidas donde el nivel del agua asciende rápidamente dado que la geomorfología de terreno facilita altas velocidades de flujo pero no permite almacenamientos importantes. De esta manera, el Polígono Villa Turbay, cuyo terreno corresponde a una ladera de alta pendiente, es susceptible únicamente a inundaciones de tipo rápidas que traen consigo una alta energía del flujo por las altas velocidades de flujo y normalmente bajas profundidades de flujo.

En el análisis de la amenaza por inundación se incluyeron los fenómenos de inundación generados por desbordamientos e incapacidad de los principales cauces naturales y por incapacidad de aquellos naturales que se han convertido en artificiales por la construcción de canalizaciones y coberturas (alcantarillas, canales y box culverts) ubicados al interior y a lo largo de los cauces en el tramo de influencia.

14.2 METODOLOGÍA

Luego de haberse obtenido mediante el modelo hidráulico la magnitud de las variables hidráulicas como la velocidad y la profundidad de flujo, se procedió a calificar el grado de amenaza por inundaciones.

La asignación de la amenaza por inundaciones se realizó a partir de la combinación de la intensidad del fenómeno y de su probabilidad de ocurrencia de acuerdo con metodologías suizas y austriacas para evaluar la amenaza en general, por ejemplo, Ofee et al (1997) y Fiebiger (1997) en López y Courtel (2006) y en FLO-2D (2012). La intensidad del fenómeno está dada por los valores de la profundidad y la velocidad de flujo, mientras que la probabilidad de ocurrencia está directamente relacionada con el periodo de retorno de la creciente.

La categorización de la intensidad se realizó empleando la clasificación recomendada por la Universidad Nacional de Colombia y el Instituto Mi Rio (2003) para los diferentes tipos

de daños posibles según diferentes combinaciones de velocidades y profundidades de flujo (Figura 186). Se consideraron tres categorías de intensidad, alta, media y baja. Las zonas donde ocurran flujos con potencialidad de generar daños graves o pérdidas de vidas se asociaron a una intensidad alta. Por su parte, los flujos con potencialidad de generar daños moderados se consideraron de intensidad media. Finalmente, la intensidad baja fue asociada a aquellos flujos que presentan una combinación de profundidad y velocidad tal que tienen únicamente potencialidad de generar molestias.

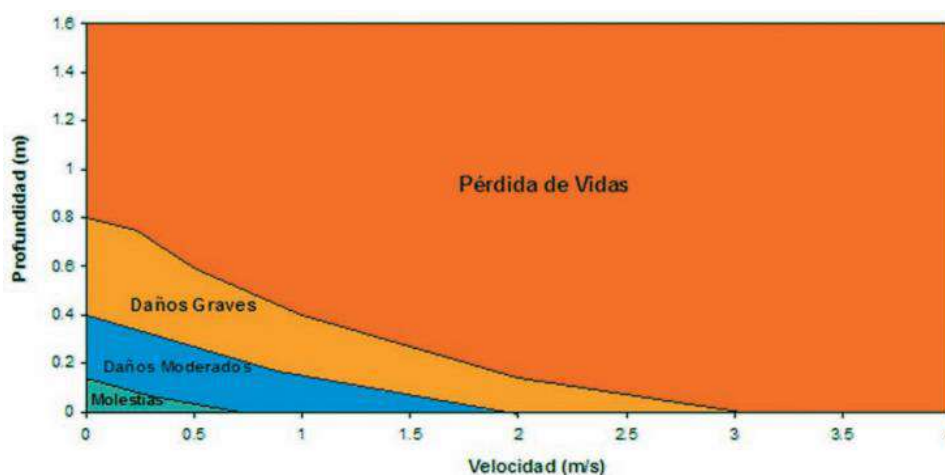


Figura 186. Tipo de daños según velocidad y profundidad de Flujo
(Universidad Nacional de Colombia e Instituto Mi Rio, 2003)

Por su parte, para la probabilidad también se consideraron tres categorías, alta, media y baja. A los eventos generados por crecientes cuya probabilidad anual de excedencia es inferior al 2%, es decir aquellos asociados a periodos de retorno superiores a 50 años, se les asignó una calificación de probabilidad baja. Se calificaron con probabilidad media a aquellos eventos asociados a una probabilidad anual de excedencia entre el 2% y el 10%, es decir, con periodos de retorno superiores a 10 años e inferiores o iguales a 50 años. Finalmente, los eventos con una probabilidad anual de excedencia igual o superior al 10% se consideraron con una probabilidad alta, es decir a aquellos asociados a periodos de retorno de 10 años o menos. En la Tabla 61 y en la Tabla 62 se resume la clasificación de la probabilidad y la intensidad respectivamente según los criterios descritos.

Tabla 61. Asignación de la calificación de la Probabilidad de Inundaciones

Calificación de la Probabilidad	Periodo de retorno (Años)	Probabilidad de Excedencia (%)
Alta	TR \leq 10	10% \leq P
Media	10 < TR \leq 50	2% \leq P < 10%
Baja	50 < TR	P < 2%

Tabla 62. Asignación de la calificación de la Intensidad de Inundaciones

Calificación de la Intensidad	Tipo Potencial de Daños
Alta	Daños graves y pérdida de vidas
Media	Daños moderados
Baja	Molestias

Finalmente, la calificación de la amenaza se realizó a partir de la combinación de la intensidad y la probabilidad. Aquellos eventos que presentan una intensidad alta fueron calificados con amenaza alta, sin importar la probabilidad de ocurrencia. Los eventos con probabilidad media e intensidad media se calificaron con amenaza media, al igual que aquellos que presentan probabilidad alta e intensidad baja. Los eventos con amenaza baja son aquellos de intensidad baja y probabilidad media o baja y aquellos que presentan intensidad media pero que su probabilidad es baja. En la Figura 187 se presenta de manera gráfica la asignación de la amenaza según la probabilidad y la intensidad, de acuerdo con metodologías de.

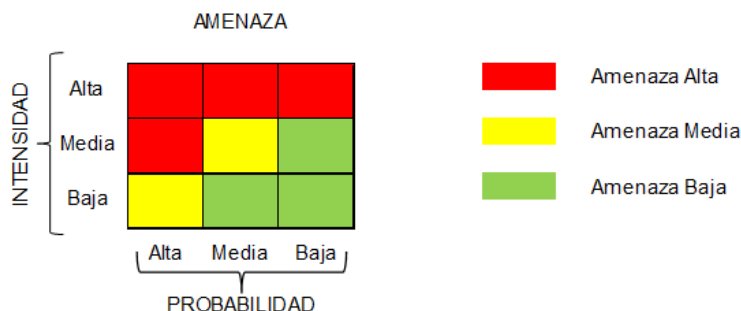




Figura 187. Asignación de la amenaza por Inundación a partir de la Intensidad y la probabilidad del fenómeno (Ofee et al (1997 y Fiebigler (1997) en López y Courtel 2006)

Es importante anotar que esta metodología es más general que la recomendada en el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá, la cual indica que para la zona de cauces de montaña la totalidad del área cubierta por un caudal con un periodo de retorno de 100 años se considera zona de amenaza alta. La justificación de esto radica en que en este tipo de corrientes se presentan casi siempre velocidades altas de flujo que implican una alta energía y capacidad destructiva. Sin embargo, se considera que la metodología adoptada en este estudio permite obtener un mejor detalle en la zonificación de la amenaza dado que considera aquellas situaciones o zonas donde se presenten velocidades y profundidades asociadas a una intensidad media o baja a pesar de ocurrir en un evento de 100 años periodo de retorno. Finalmente, se comprobó que los resultados de la zonificación de la amenaza en las corrientes de este estudio son coherentes con lo planteado por el POMCA, lo cual sirve como validación a la metodología adoptada.

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

Dado el pequeño tamaño de las celdas que componen la malla del modelo hidráulico en relación con el tamaño de las viviendas, es posible que las edificaciones que están en contacto parcial o total con las manchas de inundación tengan en su perímetro de contacto con el flujo diversas asignaciones de la amenaza. En estos casos se asignó a toda la zona cubierta con la edificación la mayor amenaza entre todas las amenazas de todas las celdas adyacentes a ella.

Con la misma idea se clasificaron las vías de acceso, las cuales corresponden a vías vehiculares y andenes, y los equipamientos como colegios, hospitales, parques, iglesias, etc. Para el caso de las vías se clasificó el grado de amenaza en los tramos de vías o andenes que estén dentro de la Amenaza por Inundación y para el caso de los Equipamientos se clasificó según el mayor grado de amenaza existente al interior del equipamiento o aledaño a él.

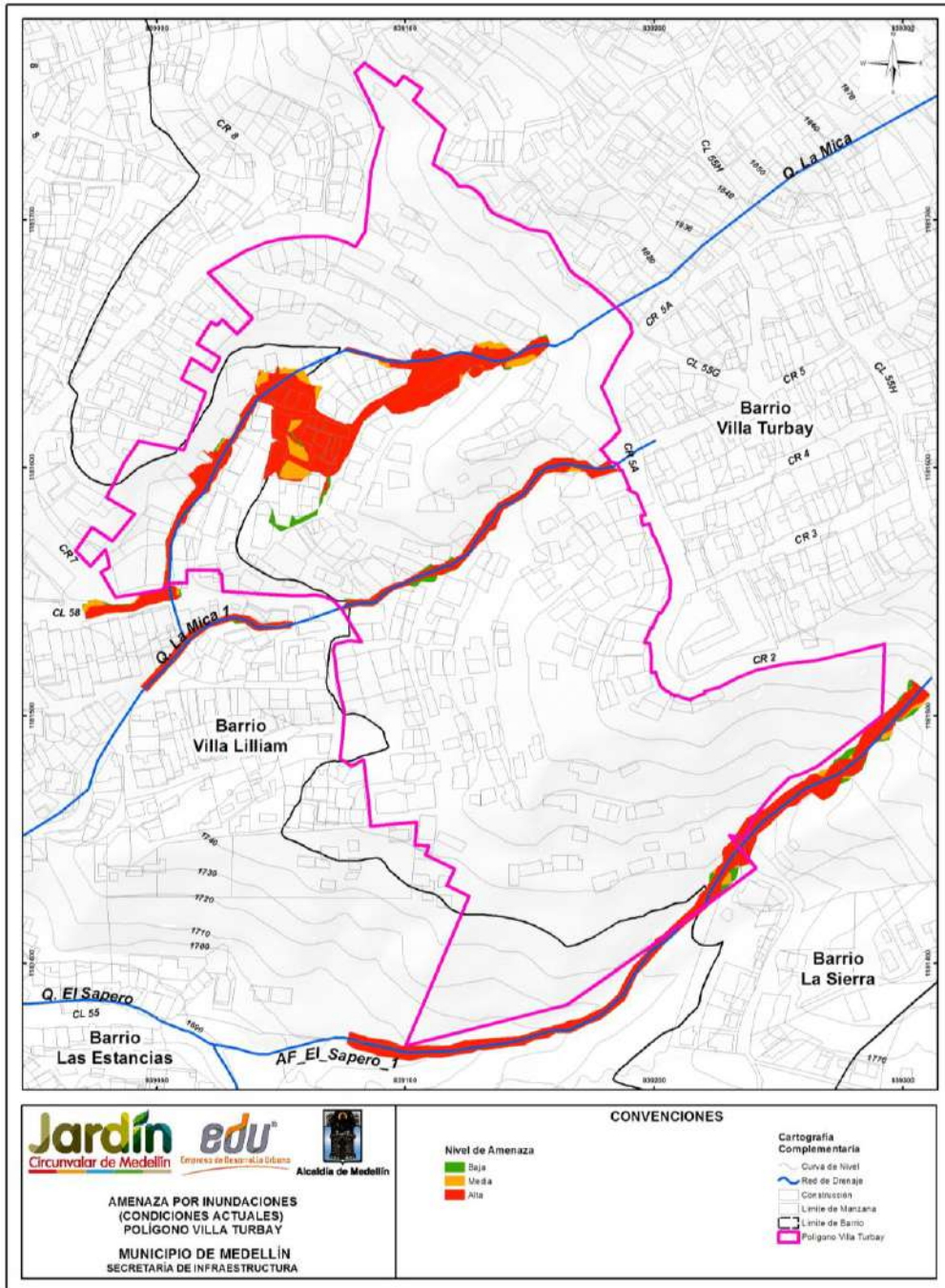
14.3 RESULTADOS

La evaluación de la amenaza por inundaciones generadas por las Quebradas La Mica, La Mica 1 y el Afluente El Saperó, principales drenajes del Polígono Villa Turbay, arrojó resultados que indican que la zona que corresponde al cauce principal de estas quebradas presenta una amenaza alta, dado que la intensidad (velocidad y/o profundidad) y frecuencia de los flujos de aguas que por allí transitan presentan valores altos (Mapa 48).

Sobre costado norte del Polígono se tiene que las construcciones se encuentran bajo amenaza alta, debido a los derrames de la Quebrada La Mica 1 ocasionados por la intervención del cauce aguas arriba de la Estructura 1, estos derrames viajan a través de los senderos peatonales y escalas para luego buscar incorporarse al cauce. También se tienen algunas viviendas bajo amenaza media. (Mapa 48)

En la zona central del polígono hay varias viviendas bajo situación de amenaza alta y una bajo amenaza media, situación debida a la cercanía que tienen al cauce de la quebrada la Mica 1 y la incapacidad hidráulica de la Estructura 1. Finalmente hacia el costado sur se tiene una vivienda bajo amenaza alta debido a su cercanía al cauce del Afluente El Saperó 1.

En el Mapa 49 se presenta el grado de amenaza en el que se clasificaron los tramos de vías o andenes. En la zona de estudio no hay Estructuras de Equipamiento, por lo tanto, no hay clasificación de la amenaza para esta categoría.



Mapa 48. Amenaza por Inundaciones Quebradas La Mica, La Mica 1 y Afluente El Sapero 1 en el Polígono Villa Turbay en condiciones actuales (23_VTBamenazasinundaciones_Medellin_C y 23_VTBamenazasinundaciones_Medellin_T)

15. AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES

15.1 ASPECTOS GENERALES

Las avenidas torrenciales que son analizadas como parte de este estudio corresponden a los flujos de una mezcla de agua y sedimento en altas concentraciones a través de los principales cauces que tienen influencia sobre el polígono de estudio. Este tipo de fenómenos pueden tener tres orígenes diferentes según Takahashi (2007): el primero, por remoción y transporte del material del lecho de los cauces durante una creciente, el segundo por deslizamientos que aportan material a los cauces el cual es finalmente arrastrado por una creciente, y el tercero por la falla de una presa. Los fenómenos de avenidas torrenciales a considerar en el presente estudio corresponden a aquellos cuyo origen está relacionado con la combinación de eventos de deslizamiento en las laderas de la cuenca que depositan material en el cauce y eventos de crecientes máximas en los cauces. Así mismo se analizó la posibilidad de ocurrencia de avenidas torrenciales con origen en la remoción y transporte del material del lecho (segundo tipo de origen), pero se descartaron las avenidas torrenciales con origen en la falla de una presa (tercer tipo de origen) dada la inexistencia de estas estructuras en el polígono en estudio.

Así las cosas, la información básica para el estudio de las avenidas torrenciales corresponde a la misma empleada para el estudio de las inundaciones, en adición a los resultados del estudio de los movimientos en masa, en especial la probabilidad de ocurrencia de los deslizamientos y la caracterización de los fenómenos de inestabilidad, así como las características de los materiales que conforman el lecho de los cauces.

15.2 AVENIDAS TORRENCIALES POR MOVIMIENTOS EN MASA

Del análisis de la amenaza por movimientos en masa en el polígono de estudio se dedujo que la probabilidad de ocurrencia de deslizamientos que podrían alcanzar los cauces que ejercen influencia en el polígono presenta un valor del 10% en el periodo de análisis de 50 años. Por su parte, la probabilidad de ocurrencia de las crecientes analizadas en el escenario de amenaza por inundación tienen valores que oscilan entre el 100% para las crecientes de 2.33 años periodo de retorno hasta el 39.5% para las crecientes de 100 años periodo de retorno, considerando también un periodo de análisis de 50 años.

De acuerdo con los resultados del análisis de movimiento en masa ambos (Capítulo 13) eventos pueden considerarse estadísticamente independientes dado que el agua fue descartada como elemento detonante de los movimientos en masa, y por tanto la probabilidad de ocurrencia simultánea de ambos eventos formadores de la avenida torrencial oscila entre 4% y 10% en el periodo de 50 años.

En adición a la baja probabilidad de ocurrencia conjunta de eventos tipo deslizamiento y de crecientes en los cauces, la capacidad que presentan las corrientes del polígono de estudio para movilizar grandes volúmenes de material es baja al considerar los bajos caudales que transitan a través de ellos, implicando con ello una baja capacidad erosiva.

Con base en lo anterior, es posible afirmar que los eventos tipo avenidas torrenciales con origen en deslizamientos presentan una muy baja probabilidad de ocurrencia en el polígono de estudio. Este resultado es consistente con lo registrado en las actividades de exploración geológica donde no se detectaron depósitos de material torrencial a lo largo de los cauces investigados. Es consistente también con lo reportado en Desinventar.

15.3 AVENIDAS TORRENCIALES POR REMOCIÓN DEL MATERIAL DEL LECHO

En este Numeral se hace un análisis de la posible ocurrencia de avenidas torrenciales cuyo origen está en la remoción y transporte del material del lecho. Este tipo de fenómeno se presenta cuando, a lo largo de una importante longitud del cauce, el flujo genera un esfuerzo cortante sobre el lecho tal que supera el esfuerzo resistente del material que la compone y remueve la suficiente cantidad de material para convertir la creciente en una avenida de tipo torrencial.

De acuerdo con Takahashi (2007), el esfuerzo resistente del material del lecho tiene dos componentes: una componente friccionante y una componente cohesiva, tal como se observa en la siguiente ecuación.

$$\tau_r = g \cos \theta [C_* (\sigma - \rho) a] \Gamma \tan \phi + c$$

Donde:

- ✓ τ_r es el esfuerzo resistente.
- ✓ g es la gravedad.
- ✓ C_* es la concentración de equilibrio de partículas gruesas.
- ✓ σ es la densidad de partículas.
- ✓ ρ es la densidad del fluido.
- ✓ a es la distancia medida desde la superficie de la capa de sedimento.
- ✓ ϕ es el ángulo de fricción del material.
- ✓ c es la cohesión del material.

Dado que el objetivo de este análisis es verificar si se da el inicio del proceso de remoción del lecho, el cual ocurriría a nivel superficial, en la anterior expresión se toma la variable “a” con un valor nulo ($a=0$) y se calcula por tanto el esfuerzo resistivo únicamente considerando la componente cohesiva, sin que los demás parámetros afecten su magnitud (C, σ, ρ, ϕ).

Por otro lado el esfuerzo que genera el flujo sobre el fondo del cauce en cada sección estudiada se encuentra dado por la siguiente expresión (Sotelo, 2002):

$$\tau = \gamma R_H \text{Sen} \theta$$

Donde:

- ✓ τ es el esfuerzo que genera el flujo.
- ✓ R_H es el radio hidráulico de la sección.
- ✓ γ es el peso específico del agua.
- ✓ θ es el ángulo de inclinación del fondo del cauce.

Con base en lo anterior se realizó un análisis comparativo entre el esfuerzo que genera el flujo sobre el lecho de los cauces y el esfuerzo resistivo de los materiales que componen el lecho, basado únicamente en el componente cohesivo de la resistencia por tratarse del análisis en superficie que es donde se iniciaría el fenómeno.

Para estimar el esfuerzo resistivo se emplearon los resultados del estudio de geología local y los resultados de la exploración y caracterización geológico-geotécnica de los materiales que actualmente conforman el cauce, en especial los parámetros de resistencia al corte, los cuales se resumen en la Tabla 63 para el cauce del Afluente El Saperó 1. En las Quebradas La Mica y La Mica 1 no se realiza este análisis dado que su cauce actualmente se encuentra cubierto con estructuras tipo canales y coberturas que eliminan la posibilidad de generarse en ellos procesos de remoción del lecho.

En la Tabla 63 puede observarse que solo un tipo de material está asociado a la corriente estudiada con una cohesión de 19,0 kPa correspondiendo a Cuerpos Asociados al Batolito Antioqueño

Tabla 63. Propiedades de los materiales de los cauces con influencia en el polígono Villa Turbay

EL FARO	ϕ' [°]	C' [kPa]	γ [kN/m ³]
Afluente El Saperó 1			
Cuerpos Asociados al Batolito Antioqueño	29,00	19,00	17,50

El esfuerzo ejercido por el flujo sobre el lecho en cada sección a lo largo del Afluente El Saperó 1 se presenta en la Figura 188. En esta figura también se ha ubicado la menor cohesión existente de los materiales presentes en el cauce, y de manera comparativa puede observarse que en la totalidad del cauce analizado, el esfuerzo cortante que se transmite al lecho es inferior al valor de la cohesión de los materiales, es decir, inferior al esfuerzo resistivo.

El análisis realizado permite por tanto concluir que no es factible la ocurrencia de la remoción de un volumen de material suficiente para ocasionar una avenida torrencial en el polígono de estudio.

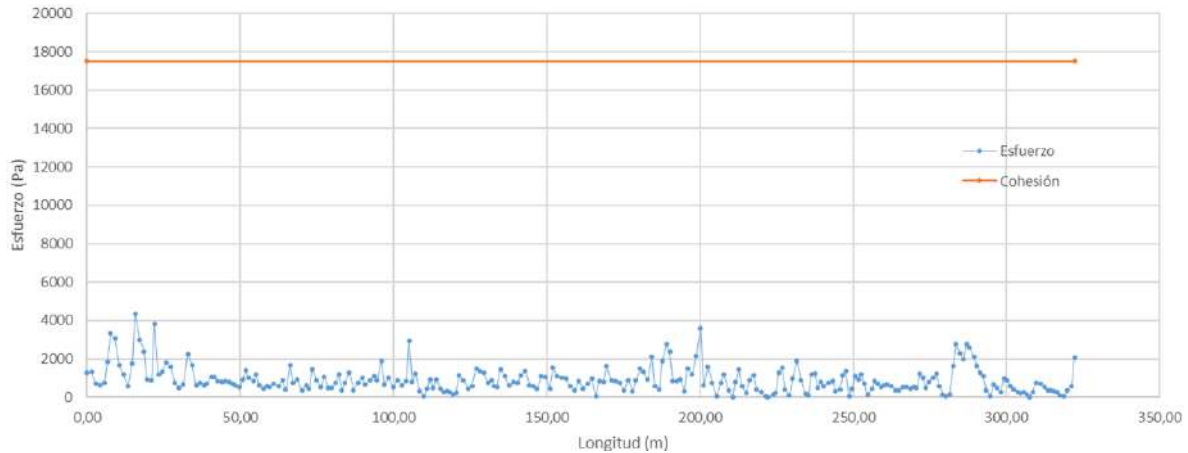




Figura 188. Variación del esfuerzo a lo largo de la Quebrada Afluyente El Sapero 1

15.4 RESULTADOS

Por lo anotado en este capítulo, se concluye que el Polígono Villa Turbay no presenta amenaza ante fenómenos de avenidas torrenciales. De esta manera, los caudales para la modelación hidráulica corresponden a los de aguas claras sin considerar las mayoraciones que estipula el Acuerdo 09 de 2012 para cuando existe amenaza de torrencialidad.

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

16. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

16.1 ASPECTOS Y METODOLOGÍA GENERAL

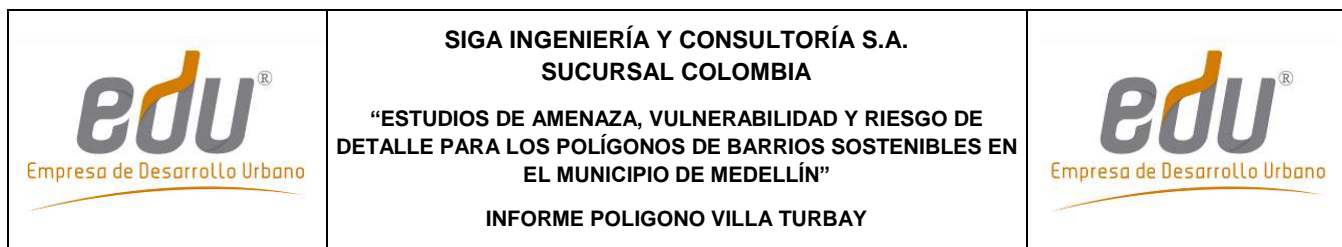
Según el POT de Medellín 2014, la vulnerabilidad se define como la susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos.

Para entender la vulnerabilidad y los factores que lo controlan, es necesario dividir los elementos expuestos de las características que hacen que ese elemento sea vulnerable. Adicionalmente, debe incluirse en la medición o determinación de la vulnerabilidad, las capacidades de determinada comunidad el resistir a una amenaza en específico y a la capacidad de recuperarse en caso de que el evento ocurra. Es así entonces como los elementos de la vulnerabilidad pueden ser subdivididos en elementos expuestos, elementos resistentes y elementos resilientes:

- ✓ Los elementos expuestos están directamente asociados a la localización geográfica del elemento en relación a la amenaza.
- ✓ Elementos resistentes se asocian a las características de las edificaciones en el caso de la vulnerabilidad física.
- ✓ Elementos resilientes se asocian a la habilidad del elemento alcanzado por la amenaza de retomar sus capacidades.

Para este proyecto en especial, la vulnerabilidad se enfatizó en el análisis de la vulnerabilidad física al interior de los polígonos del Proyecto Barrios Sostenibles y metodológicamente se enfocó en los siguientes aspectos primordiales:

Inicialmente se realizó un análisis de información básica. Para esto se consideraron varios aspectos importantes consignados en el documento técnico elaborado por la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB, 2014) UPB bajo el contrato “ESTUDIOS, DIAGNÓSTICO, FORMULACIÓN Y DISEÑOS DE LOS PROYECTOS BARRIOS SOSTENIBLE EN EL SECTOR LA ARENERA Y TRES SECTORES MÁS AL INTERIOR DE LOS PLANES MAESTROS PAN DE AZÚCAR, LLANADITAS Y LOS SECTORES DEL PLAN MAESTRO CENTRO-ORIENTAL PERTENECIENTES A LA COMUNA OCHO, DENTRO DEL MARCO DEL PROYECTO CINTURÓN VERDE METROPOLITANO EN LA CIUDAD DE MEDELLÍN”. Del estudio mencionado se tuvo en cuenta la información referente al número de niveles por vivienda (1 piso, 2 pisos, de 3 a 5 pisos o más de 6 pisos), tipo de cubierta (teja de lata, teja de zinc, madera, losa de concreto o plástico), tipo de ocupación (residencial, comercial o mixta) y densidad habitacional, entre otros. La dirección correspondiente a cada predio también es obtenida del estudio elaborado por la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB, 2014) y es presentada en el actual estudio, como parte de la geodatabase del proyecto. Esta información se relaciona con la ficha de



identificación de la estructura a través del Número de Formulario que corresponde al Número de Vivienda en dicha base de datos. Es importante aclarar en este punto que la geodatabase a través del Número de Formulario permite acceder a información detallada de la vivienda consignada en la información entregada como parte del estudio de la Universidad Pontificia Bolivariana (UPB, 2014).

La información de la UPB (2014) fue posteriormente verificada y complementada a través de trabajos de trabajos de campo. En los trabajos y visitas de campo por el personal especialista en estructuras del proyecto se levantó información adicional requerida para la valoración numérica de la vulnerabilidad como fue: el tipo de estructura (concreto y madera, madera o lata y cartón), estado y condiciones de las mismas (muy mala, mala, media, buena o muy buena), tipo de fundación (superficial o profunda) entre otras, que se consideran importantes para este proyecto. Todas estas características que fueron de suma importancia para la valoración numérica de la vulnerabilidad física de las estructuras hacen parte de la ficha de identificación de cada uno de los predios y se presentan en el Anexo 06.

Además se identificaron y localizaron dentro de cada polígono del Proyecto Barrio Sostenible, los elementos de estructura física expuestos como son: líneas vitales (vías, acueducto, alcantarillado, gas, poliductos); equipamientos (acueductos veredales, equipamientos de salud, parques, plazas, plazoletas, servicios públicos, plantas de tratamiento, terminales de transporte, metro, metrocable, tranvía y prevención y atención de desastres); equipamientos básicos sociales y comunitarios (salud, recreación y deporte, culturales, comunitarios, fuerza pública – seguridad, almacenamiento y distribución del sector primario); elementos de soporte ciudadano (patrimonio); elementos de soporte económico (industria, comercio y servicios), viviendas y población expuesta.

Para el análisis de la vulnerabilidad física se estableció una metodología para determinar las características de los elementos expuestos a las amenazas identificadas, en cuanto a: tipo de elemento, grado de exposición, resistencia que ofrece el elemento y distribución espacial entre otras. Se buscaron metodologías en el ámbito científico que lograran agrupar este tipo de requisitos, dividiéndose para el caso de las amenazas por movimientos en masa donde se consideró la metodología de Li et al. (2010), Uzielli et al. (2008) y Guimaraes (2015) y para el caso de las amenazas por inundaciones y avenidas torrenciales se estableció la propuesta de Thouret et al. (2013).

Se deben identificar los diferentes tipos de daño o efecto esperado sobre los elementos expuestos que se pueden presentar como resultado del fenómeno natural. Esto solo se realizó para las estructuras identificadas al interior del polígono del proyecto Barrios Sostenibles.

Finalmente, toda esta información se zonificó en un mapa denominado de vulnerabilidad física, categorizando la vulnerabilidad de cada estructura en alta, media y baja, de acuerdo a las características de los elementos expuestos. De forma adicional, en el caso de la vulnerabilidad por movimientos en masa se pudo determinar la vulnerabilidad de las

personas que habitan las viviendas y la misma también fue categorizada según el número de personas afectadas dentro de una estructura.

16.2 VULNERABILIDAD PARA MOVIMIENTOS EN MASA

16.2.1 Metodología de análisis

La metodología utilizada para la evaluación de la vulnerabilidad física a movimientos en masa, se fundamentó en la propuesta establecida por Li et al. (2010) y Uzielli et al. (2008) además de otros trabajos existentes en la literatura científica. Este trabajo presenta una propuesta metodológica para determinar la vulnerabilidad ante la amenaza de movimientos en masa y propone un modelo cuantitativo para la determinación de la vulnerabilidad de las estructuras. Como parte adicional, el trabajo sugiere una función aproximada para estimar la vulnerabilidad de las personas que se encuentran dentro de las estructuras.

La base para determinar la vulnerabilidad física según Li et al. (2010), está soportada sobre la intensidad arrolladora que podría experimentar un fenómeno y la resistencia de los elementos físicos expuestos, lo anterior entonces se explica con que la vulnerabilidad es función de la intensidad y la resistencia.

La intensidad para este enfoque, se define como el conjunto de parámetros distribuidos espacialmente, que describe la capacidad arrolladora de un fenómeno natural (Hungry, 1997) en este caso un movimiento en masa. Según Amatruda et al. (2004), la intensidad podría estar expresada en términos de la energía del impacto, la velocidad media y la profundidad del suelo en las zonas potencialmente erodables.

En el trabajo específico de Li et al. (2010), la intensidad de la amenaza es definida como una función de dos variables: el factor de intensidad geométrico (I_{gem}) y el factor de intensidad dinámico (I_{din}).

El factor de intensidad geométrico tiene que ver con la posición o la proximidad de las estructuras con respecto a lo que se considera la zona de amenaza. Este factor considera entonces las características relacionadas con el tamaño del movimiento en masa. Cuando la estructura se encuentra al interior de la zona donde se podría generar un movimiento en masa, se podrían generar fenómenos de creeping. El factor de intensidad dinámico tiene como principal variable la velocidad del deslizamiento cuando ocurre el impacto contra la estructura localizada fuera del área donde ocurriría el movimiento en masa (Figura 189). Ambos factores son adimensionales y son calculados por medio de las siguientes expresiones:

$$I = \begin{cases} I_{gem} \cdot I_{dfm} & \text{Factor de intensidad geométrico, cuando las estructuras} \\ & \text{están dentro del movimiento en masa} \\ I_{din} \cdot I_{dpt} & \text{Factor de intensidad dinámico, cuando las estructuras están} \end{cases}$$

fuera del movimiento en masa

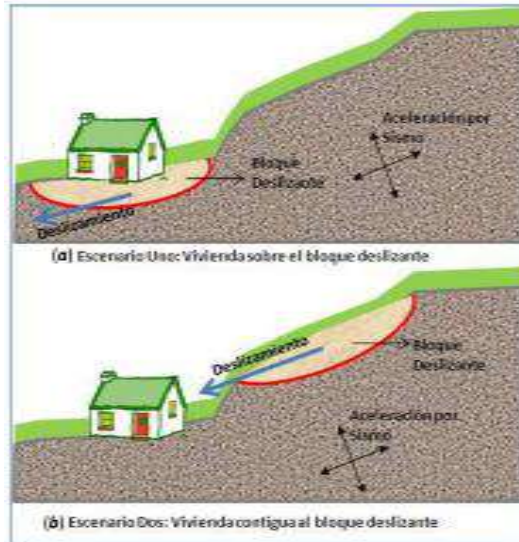


Figura 189. Esquema general que muestra los escenarios donde podría localizarse un movimiento en masa

En la expresión anterior, I_{gem} es el factor de intensidad geométrica e I_{dfm} es el factor que considera la deformación de las estructuras cuando se encuentran localizadas al interior del área del movimiento en masa y las cuales sufrirán la acción de deslizamientos con bajas velocidades de deslizamiento o creeping.

Por otro lado, I_{dpt} es el factor que considera el espesor de los detritos que llegan hasta la zona de las estructuras y que impactan las mismas. Este es utilizado para evaluar los elementos exteriores a las áreas de deslizamientos que ocurrieran con altas velocidades y se podría obtener con la ecuación:

$$I_{dpt} = 0.1 \cdot D_{dpt}$$

Finalmente, I_{din} es el factor que relaciona la velocidad de la amenaza con la estructura impactada. En el caso de que la velocidad del deslizamiento pueda superar los $5 \times 10^{-1} \text{ mm/s}$, Cruden & Varnes (1996) (Tabla 64) afirman que las estructuras serán destruidas y fuera de servicio. Para valores menores de $5 \times 10^{-7} \text{ mm/s}$, las estructuras permanecerían intactas. Así las cosas, la intensidad dinámica podría ser calculada como:

$$I_{din-E} = \begin{cases} 0,00 & C \leq 5 \times 10^{-7} \quad (\text{mm/s}) \\ \frac{1}{36} (\text{Log}_{10} C + 6,30)^2 & C > 5 \times 10^{-1} \quad (\text{mm/s}) \end{cases}$$

Donde C es la velocidad en la que se podría desarrollar un fenómeno y para la cual Cruden & Varnes (1996) presentan una clasificación de los movimientos considerando la

velocidad. Por ejemplo, para las estructuras fuera de un fenómeno que viaja de forma rápida, estas pueden ser afectadas por bloques de roca o flujo de escombros con alta velocidad. Para las estructuras dentro de la zona de incidencia del fenómeno que viaja lento, los daños pueden estar más asociados a fallos estructurales como deformaciones y desplazamientos de los elementos estructurales que podrían afectar el servicio de la misma.

Tabla 64. Clasificación de velocidad de fenómenos (Cruden & Varnes, 1996)

CLASE	DESCRIPCIÓN	VELOCIDAD (mm/s)	PROBABLE NIVEL DE DESTRUCCIÓN
7	Extremadamente rapido	5×10^3	Desastre de gran violencia, estructuras destruidas por impacto del material desplazado, muchos muertos, improbabilidad de escape
6	Muy rapido	5×10^1	Algunas vidas perdidas, la velocidad supera la velocidad de escape de las personas.
5	Rapido	5×10^{-1}	Es posible escapar o evacuar las estructuras, posesiones y equipamientos destruidos.
4	Moderado	5×10^{-3}	Algunas estructuras temporales e insensibles pueden mantenerse temporalmente.
3	Lento	5×10^{-5}	Medidas de remediación pueden ser adoptadas durante el movimiento. Las estructuras pueden mantenerse pero con trabajos frecuentes de mantenimiento.
2	Muy lento	5×10^{-7}	Algunas estructuras permanecen sin daños ante el movimiento.
1	Extremadamente lento		No se tiene percepción del movimiento. Se hace necesario implementar instrumentos.

La resistencia refleja la capacidad de los elementos vulnerables para resistir la acción del fenómeno con un determinado grado de severidad. Para las personas, esta misma resistencia representaría la capacidad de reacción y evacuación. En el caso de las estructuras, la resistencia total es función de varios factores y en el trabajo de Li et al. (2010) estos factores son específicamente:

$$R = \left(\prod_{i=1}^{ns} \xi_i \right)^{1/ns}$$

Si se consideran los factores de fundación (ξ_{sfd}), los factores por el tipo de estructura (ξ_{sty}), el factor de mantenimiento o estado (ξ_{smn}) y el factor de altura o niveles de las estructuras (ξ_{shl}), la resistencia se podrá calcular como:

$$R = (\xi_{sfd} \cdot \xi_{est} \cdot \xi_{alt} \cdot \xi_{man})^{1/4}$$

Para determinar el factor de fundación Ragozin and Tikhvinsky (2000) propusieron la siguiente ecuación en función de la profundidad de desplante de la fundación (D_{fun})

$$\xi_{sfd} = \left(\frac{D_{fun}}{10} \right)^{1/3} + 0.05$$

Con esta ecuación se podría establecer unos rangos de valores para determinadas profundidades de fundación.

$\xi_{sfd}=1.05$ Para $D_{fun} > 10$ m

$\xi_{sfd}=0.63$ Para $2 \text{ m} < D_{fun} < 10$ m

$\xi_{sfd}=0.5$ Para $D_{fun} < 2$ m

De la Tabla 65 hasta la Tabla 67 se presentan los demás factores que hacen parte de la evaluación de la resistencia de las estructuras propiamente.

Tabla 65. Factor por tipo de estructura

TIPO DE ESTRUCTURA	ξ_{est}
Muy ligera (lata y cartón)	0.1
Ligera (Madera)	0.2
Mixta (Concreto y madera-Prefabricada)	0.4
Mampostería	0.8
Concreto sin refuerzo	1.3
Concreto reforzado	1.5

Tabla 66. Factor por altura de la estructura

ALTURA DE LA ESTRUCTURA	ξ_{alt}
Un solo piso	0.1
De 2 pisos	0.4
De 3 a 5 pisos	0.9
Más de 6 pisos	1.5

Tabla 67. Factor de estado de la estructura

ESTADO DE LA ESTRUCTURA	ξ_{man}
Muy mala	0.1
Mala	0.4
Media	0.8
Buena	1.2
Muy Buena	1.5

Para determinar la vulnerabilidad, Li et al. (2010) proponen expresiones en función de la intensidad de la amenaza (I) asociada a los elementos expuestos y de la resistencia (R) de esos elementos para soportar esa amenaza.

$$V = f(I, R) = \begin{cases} 2 \frac{I^2}{R^2} & \frac{I}{R} \leq 0.5 \\ 1.0 - \frac{2(R-I)^2}{R^2} & 0.5 < \frac{I}{R} \leq 1.0 \\ 1.0 & \frac{I}{R} > 1.0 \end{cases}$$

Guimaraes (2015) estableció a través de aplicaciones de la metodología de Li et al. (2010) en la Región Serrana de Rio de Janeiro donde se presentan algunas condiciones similares a Medellín en cuanto a ambientes geotécnicos se refiere, que la misma presenta dificultades en la obtención de algunos parámetros fundamentales para el cálculo de la vulnerabilidad física por movimientos en masa. Algunos de esos elementos son por ejemplo la determinación del factor D_{dpt} , ya que se trata de una variable que involucra el espesor de los detritos dejada por el movimiento en masa, la velocidad del deslizamiento C , para el cual tampoco se cuenta con información suficiente, y el I_{dfm} el cual involucra la deformación de las estructuras que se encuentran al interior del movimiento en masa.

Los anteriores factores requerirían entonces que el usuario deba esperar que el evento pase y observar dichas variables, o tener herramientas avanzadas que le permitan hacer simulaciones previas para determinar analíticamente o numéricamente dichos valores, lo que torna poco practica la metodología.

Considerando dichas dificultades, Guimaraes (2015) elaboró una metodología de cálculo para estimar la vulnerabilidad de las estructuras ante movimientos en masa, utilizando parámetros de fácil acceso aplicados sobre una formulación matemática que simula el comportamiento de la estructura con la localización respecto al movimiento en masa.

Teniendo en cuenta lo anterior, Guimaraes (2015) considera dos variables determinadas geoméricamente. En primer lugar, la altura del deslizamiento (h) calculada por la diferencia entre la cota máxima del deslizamiento (cota de la corona) y la cota donde se ubica el centro de gravedad de la estructura. Adicionalmente, fue considerada la distancia real recorrida entre el punto de partida del deslizamiento (corona del deslizamiento) y el centro de masa de la estructura. La Figura 190 ilustra las anteriores variables de distancia (d) y altura (h). La relación entre la distancia (d) y la altura (h) se consideró como la función de intensidad de la amenaza o del evento para el cálculo de la vulnerabilidad $Z = h / d$.

Finalmente, Guimaraes (2015) llegó a establecer una intensidad definida a partir de la relación de los parámetros geoméricos de la amenaza y de la resistencia de las estructuras impactadas. Así entonces, la vulnerabilidad estructural física se definió matemáticamente como:

$$V_e = f(Z, R) = \left[1 + \left(\frac{Z}{R} \right)^{-1/0.04} \right]^{-0.05}$$

La anterior ecuación tiene sentido físico cuando se observa que la vulnerabilidad estructural física (V_e) es la inversa de la capacidad de resistencia (R) de las estructuras.

La Figura 191 presenta un diagrama de flujo en el cual se observan los aspectos principales que componen la vulnerabilidad física por movimientos en masa.

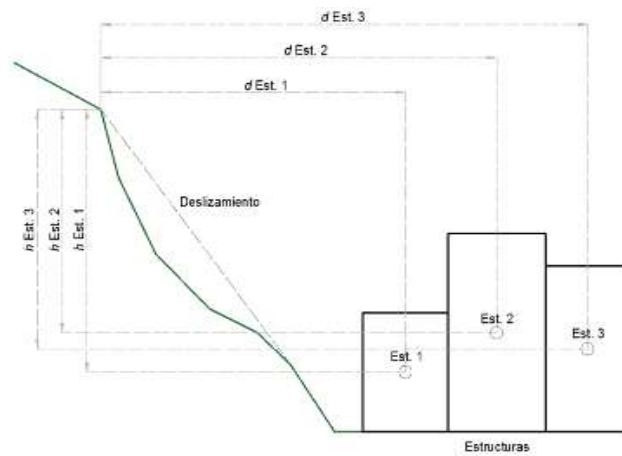


Figura 190. Parámetros de altura y distancia del deslizamiento a las estructuras físicas vulnerables

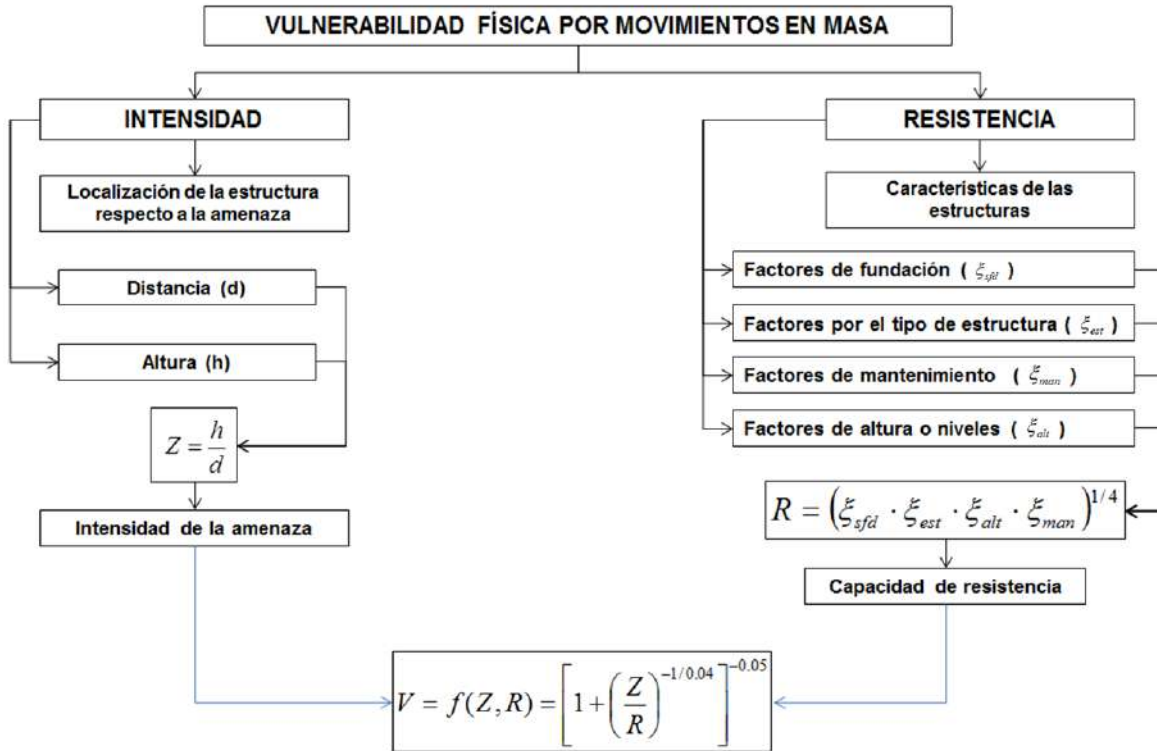


Figura 191. Diagrama de secuencia para la evaluación de la vulnerabilidad física para movimientos en masa

16.2.2 Calibración de la metodología

La metodología presentada en el numeral anterior y explicada en detalle en el Informe I-2445-01-Rev7, fue calibrada a partir del proceso de inestabilidad ocurrido el 27 de septiembre de 1987 en el Cerro Pan de Azúcar, en la ciudad de Medellín. Dicho deslizamiento que terminó impactando parte del Barrio Villatina, en la Comuna 8, provocó la muerte de alrededor de 500 personas, la destrucción de unas 100 viviendas aproximadamente y cerca de 2400 personas damnificadas, por lo que fue considerado como una de las grandes tragedias ocurridas en la ciudad y hasta el 2007 como uno de los 10 desastres urbanos más importantes del mundo según Coupé *et al.* (2007).

16.2.2.1 Polígono asociado al Deslizamiento Villatina

En la UMI delimitada para el Polígono San Antonio, también objeto de estudio en el Proyecto Barrios Sostenibles (SIGA, 2018), se presentó el conocido como deslizamiento Villatina, el cual generó una mancha de deslizamiento clave para la calibración de la metodología de trabajo usada para evaluar el riesgo por deslizamiento en todos los polígonos del Proyecto Barrios Sostenibles.

Con el objetivo de hacer tal calibración, se procedió al trazado de la que debió ser en su momento la mancha o polígono asociado al deslizamiento Villatina. Se ha construido sobre la cartografía del año 1973, de tal manera que siendo previa a la ocurrencia del deslizamiento permite ejecutar un análisis del tipo retrogresivo “back analysis”.

Como insumo para definir el polígono, se utilizaron registros fotográficos del deslizamiento, tomados desde diferentes ángulos, la descripción del movimiento en masa según los expertos del tema, la información recopilada durante la campaña de campo que hizo parte de este estudio y la interpretación de fotografías aéreas. Esta última actividad permitió identificar la corona y algunos puntos de referencia claves.

Dentro de los puntos que sirvieron como guía para establecer el posible límite de la mancha, se identificó una geoforma denominada en el capítulo de geomorfología del Estudio del Polígono San Antonio (SIGA, 2018) como Peldaño Tectónico, ubicado en la parte SSW del deslizamiento, un drenaje ubicado en el límite occidental y las vías con nomenclatura Calle 56 EE, Calle 56 D y Carrera 16 (Figura 192).

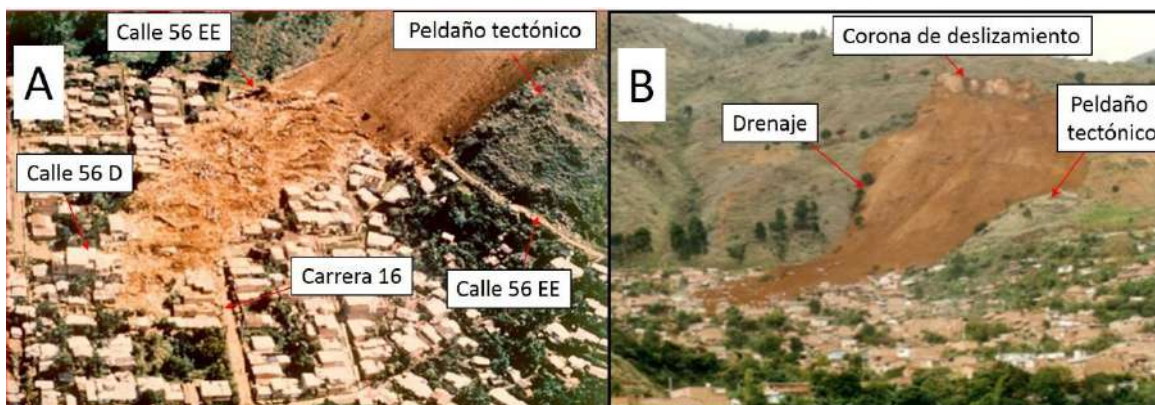


Figura 192. Localización de puntos de referencia para la definición del polígono asociado al Deslizamiento Villatina ocurrido en 1987 sobre fotografías del mismo

Con la identificación de las referencias mencionadas anteriormente, que se localizan en partes externas del movimiento, y con la interpretación de la cartografía, se demarcó el polígono asociado al evento Villatina (Figura 193).

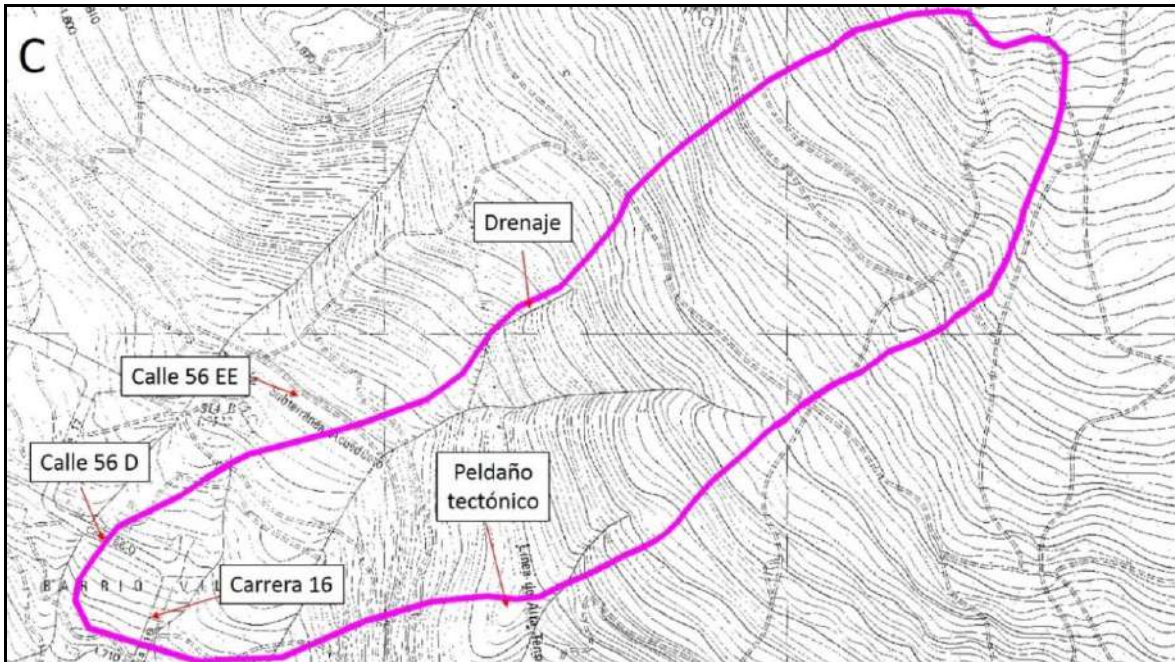


Figura 193. Polígono asociado al deslizamiento Villatina ocurrido en 1987 sobre cartografía IGAC de 1973 con puntos de referencia tomados de fotografías

La Figura 194, a continuación, muestra de nuevo el polígono asociado al deslizamiento mencionado, partiendo de su escarpe de tipo acorazonado y llegando hasta la zona conocida como Campo Santo. En el Mapa 50 y la Figura 195 se presentan las unidades geomorfológicas y el Perfil A-A, trazado en parte de la zona del deslizamiento Villatina; de la UMI San Antonio. La explicación en detalle de dichas unidades geomorfológicas se presenta en el Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa, Inundaciones y Avenidas Torrenciales para el Polígono San Antonio (Siga, 2018).

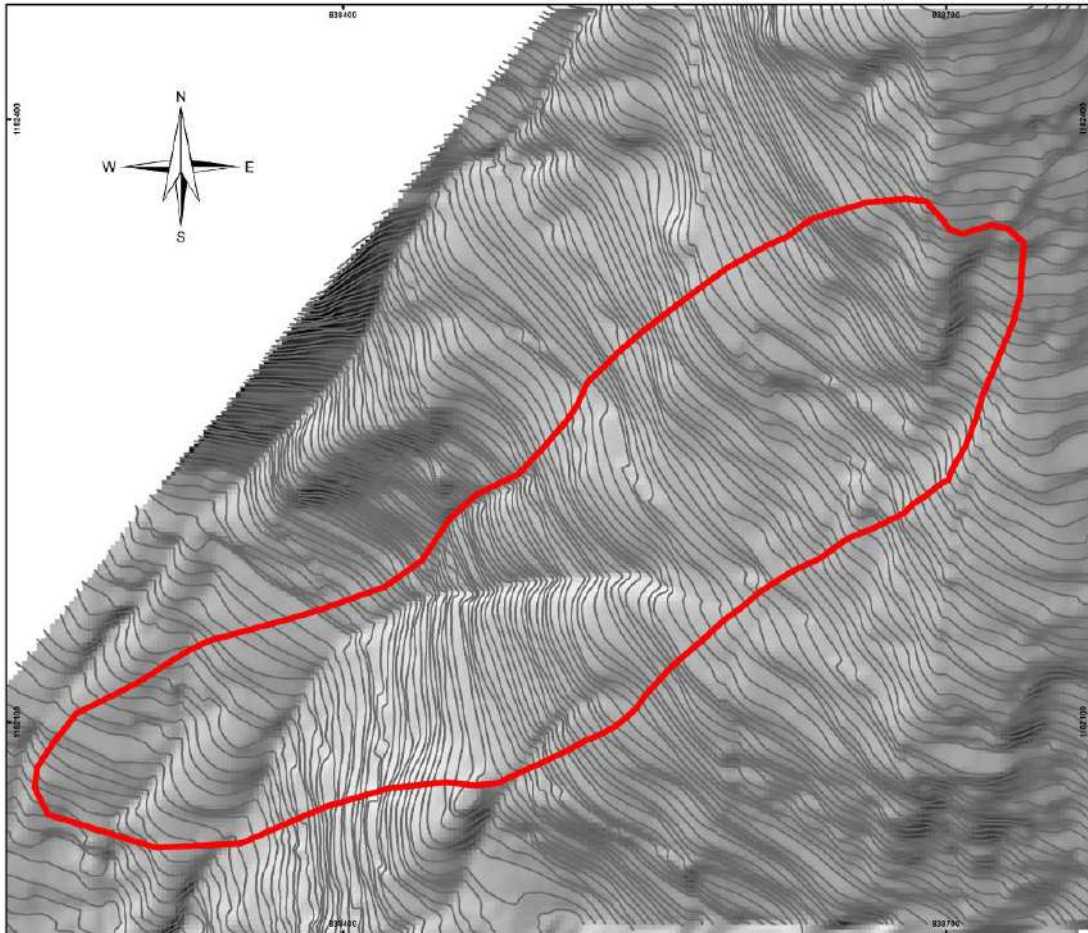
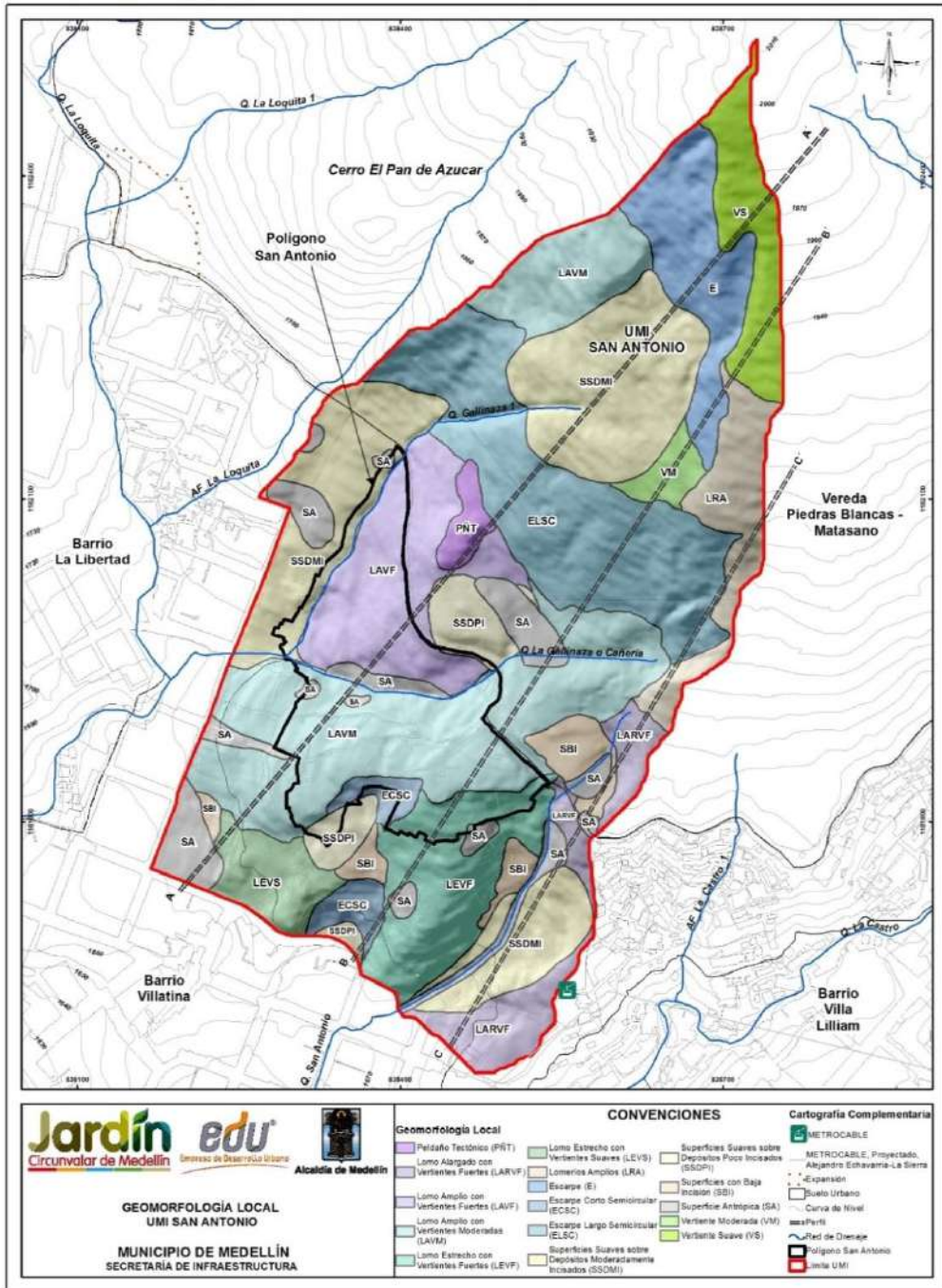


Figura 194. Polígono asociado al deslizamiento Villatina trazada por medio de registro fotográfico del mismo sobre la cartografía del año 1973



Mapa 50. Unidades geomorfológicas de la UMI San Antonio (SIGA, 2018)

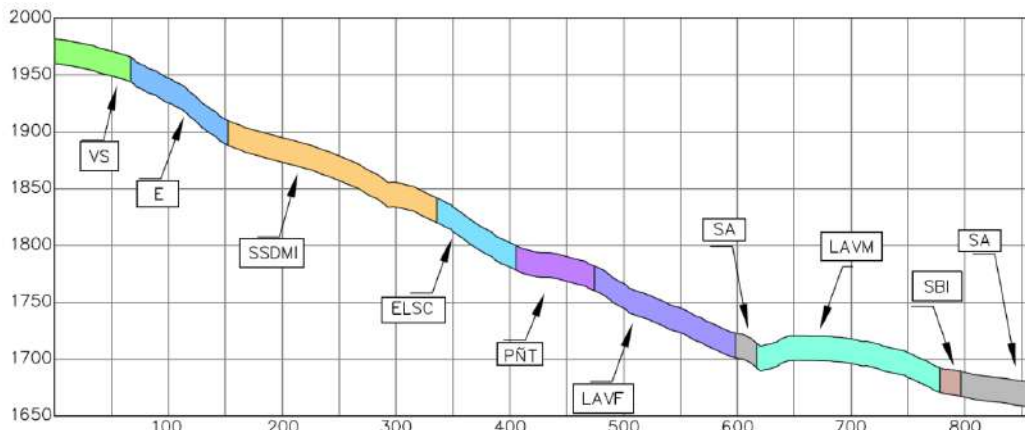




Figura 195. Perfil A-A' de unidades geomorfológicas de la UMI San Antonio (SIGA, 2018)

El movimiento del material se da desde la unidad de escarpe (E) donde la pendiente es muy alta (mayor a 30°), continua sobre la unidad de superficies suaves sobre depósitos moderadamente incisados (SSDMI) que tiene pendientes predominantemente altas (15°-30°) y controlado por las geoformas cóncavas (vaguadas) presentes en esta unidad. Nuevamente entra en una zona de pendientes muy altas asociadas a la unidad de escarpe largo semicircular (ELSC) donde se encuentra el inicio de la cuenca de la Quebrada Gallinaza 1, que por su valle estrecho y abrupto facilita la movilidad de materiales en su cauce y que marca la división entre las unidades geomorfológicas de superficies suaves sobre depósitos moderadamente incisados (SSDMI) al occidente y la unidad de lomo amplio con vertientes fuertes (LAVF), esta última con pendiente muy alta. En este punto, debido a la diferencia en la geomorfología del sector, el deslizamiento se comporta distinto al occidente y al oriente.

El movimiento se extiende hacia el oriente hasta la unidad geomorfológica peldaño tectónico (PNT) que sirve como barrera que desvió el material hacia el occidente. Este desvío junto a la pendiente de la unidad lomo amplio con vertientes fuertes (LAVF), provocan que el material aumente la velocidad y se movilice en dirección al cauce de la Quebrada Gallinaza 1 e incluso la sobrepase.

En la margen occidental a la altura de la unidad escarpe largo semicircular (ELSC), el material se encausa tanto en el cañón de la Quebrada Gallinaza 1 como en el cañón de una quebrada que se observa claramente en la cartografía del IGAC (1973) y en las fotografías planteadas en la Figura 192. Este suceso sumado a la cantidad de material y velocidad del mismo, provocan que continúe en dirección SSW hacia el escarpe del lomo amplio con vertientes fuertes (LAVF), que actúa como barrera, ocasionando el rebote hacia el suroccidente y llegando a depositarse hasta la esquina de la carrera 16 con calle 56 D (Figura 192). Es importante mencionar que el drenaje utilizado como referencia, no hace parte de la red hidrográfica de la cartografía actual del POT (2014), siendo este un cambio morfológico importante ocurrido después del fenómeno deslizamiento Villatina.



	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

16.2.2.2 Factor de intensidad

Se habló en el Numeral 16.2.1 sobre una formulación matemática que simula el comportamiento de una estructura de acuerdo con la localización respecto a un probable movimiento en masa. Según Guimaraes (2015) se consideran dos variables determinadas geoméricamente. En primer lugar, la altura del deslizamiento (h) calculada por la diferencia entre la cota máxima del deslizamiento (cota de la corona) y la cota donde se ubica el centro de gravedad de la estructura. Adicionalmente, se tiene en cuenta la distancia real recorrida entre el punto de partida del deslizamiento (corona del deslizamiento) y el centro de masa de la estructura. La Figura 190 ilustra las anteriores variables de distancia (d) y altura (h). La relación entre la altura (h) y la distancia (d) se consideró como la función de intensidad de la amenaza o del evento para el cálculo de la vulnerabilidad $Z=h/d$.

La metodología para llegar a la definición de esta variable de vulnerabilidad Z es como se indica a continuación. Para mayores detalles se recomienda consultar el Informe I-2445-01A-Metodología SIG.

- ✓ Se crean puntos críticos (focos de deslizamiento) con el objetivo de determinar cuáles sitios tienen los valores más altos de probabilidad de ocurrencia de deslizamiento. Para facilitar esta búsqueda, el archivo raster se convierte a puntos y luego se seleccionan aquellos más críticos. Los valores umbral cambian para algunos polígonos, pero de manera general se consideraron como críticos aquellos puntos cuyo valor superó a 0,097724987.
- ✓ Se calcula de distancia (d) desde cualquier punto del territorio hasta el foco más cercano. Con los puntos críticos definidos se procede a generar una superficie de distancia con respecto a ese punto, pero esta superficie tiene la propiedad de considerar la inclinación del terreno.
- ✓ Se genera un raster de altura de referencia para generar así otro raster que sirva como referencia para establecer la diferencia de alturas entre el punto crítico y cualquier punto del territorio. Este raster es una malla con un único valor, el valor de altura para el punto crítico.
- ✓ Se determina la diferencia de alturas de cada sitio del territorio con respecto al foco (h). En la sentencia para generar esta nueva superficie se hacen nulas aquellas celdas cuyo valor de altura está por encima del punto crítico, es decir, el modelo está considerando que existe afectación por desprendimiento de materiales sólo para las zonas que están por debajo del punto crítico.
- ✓ Se calcula un raster de Intensidad (Z) para cada punto, lo cual consiste en generar una superficie que denota el grado de intensidad de un movimiento en masa. Este raster está en función de la distancia al punto crítico y de la diferencia de alturas entre el sitio evaluado y la altura del punto crítico. La ecuación que se ingresa al cuadro de diálogo del es (h/d) .

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

- ✓ Se genera un raster de intensidad máxima (Z) que es el resultado de tomar los raster de intensidad de cada punto crítico y para cada ubicación evaluar cuál es máximo valor y asignarle ese a la superficie definitiva.

El cálculo del factor de intensidad (Z) en comparación con el polígono del numeral anterior se considera entonces la mejor manera de darle validez a la metodología usada.

16.2.2.3 Comparación de factor de intensidad con polígono de deslizamiento

La Figura 196, a continuación, presenta en una misma imagen el mapa del modelo geológico de las UMI's San Antonio y Pinares de Oriente obtenido con la cartografía del 2014 tomada del POT y el factor de intensidad (z) calculado con la cartografía del IGAC (1973), en la zona aferente al deslizamiento Villatina, la cual es cercana al Polígono San Antonio. Se ha incluido además el polígono asociado al deslizamiento según los geólogos de esta oficina, el cual se había mostrado y explicado ya en el Numeral 16.2.2.1 de este mismo informe.

Es importante aclarar que el polígono rojo de la Figura 196 al ser trazado sobre la cartografía del IGAC (1973) da lugar a lo que se denomina en el área de la geotecnia un “back analysis”. Esto último por cuanto corresponde a lo que sería la mancha más importante generada por el deslizamiento en una cartografía previa a la de generación del deslizamiento. Se resalta el foco del deslizamiento y la zona que los geólogos mapearon como depósito de deslizamiento, en este caso el asociado al deslizamiento Villatina, el cual queda contenido en el polígono rojo calculado según la metodología.

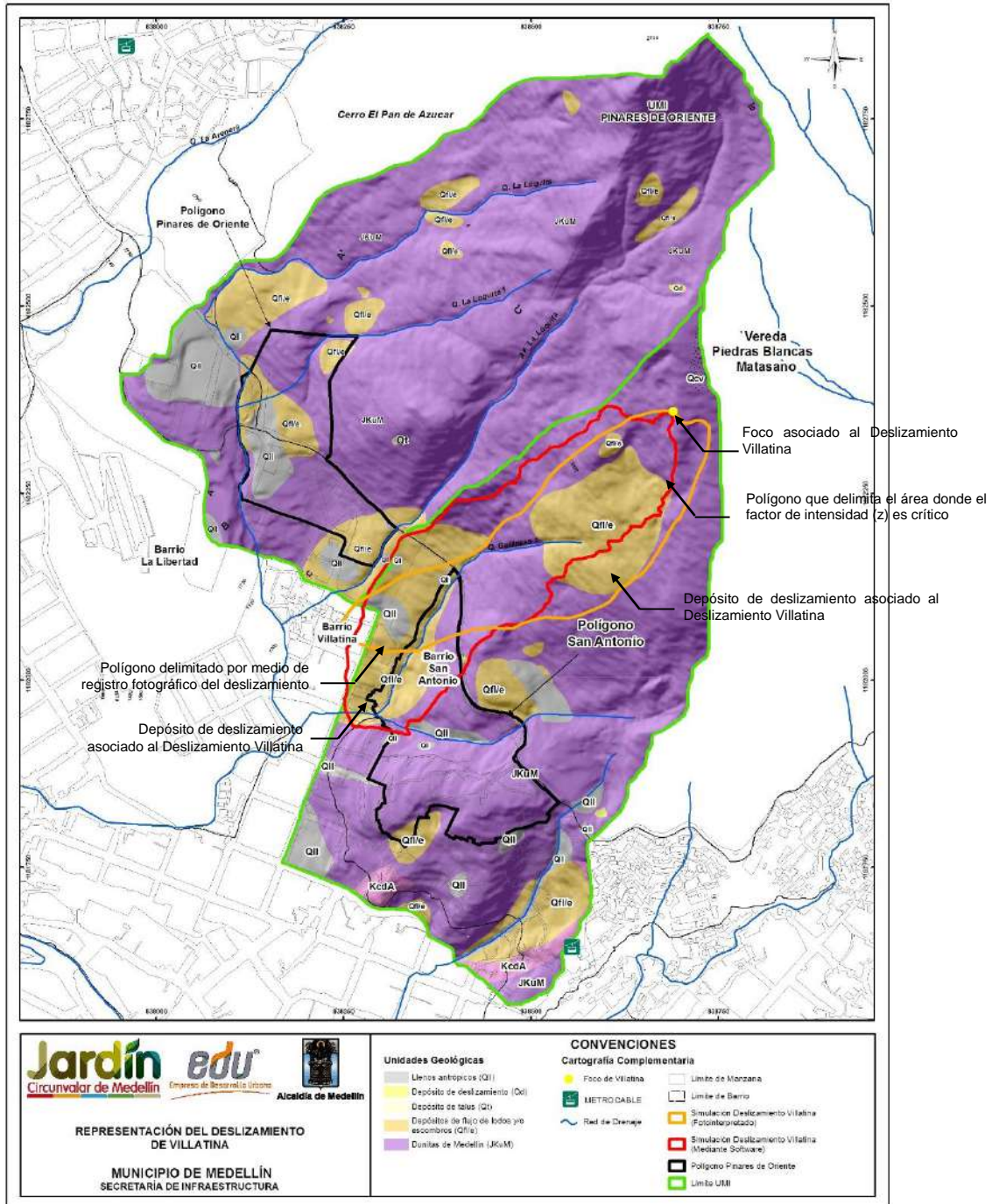




Figura 196. Comparación entre mapa de factor de intensidad (z) y derrame del deslizamiento Villatina como forma de validación de la metodología de estudio

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---



Se destacan varios hechos importantes que hacen que con este ejercicio se pueda dar validez a la metodología usada en este estudio para evaluar el riesgo por deslizamiento teniendo en cuenta el factor de intensidad.

- ✓ En primer lugar, se tiene que el polígono delimitado por medio de registro fotográfico del deslizamiento está contenido, en términos prácticos, dentro del polígono que delimita el área donde el factor de intensidad (z) es crítico. Las zonas que del primer polígono quedan por fuera del segundo son pocas y se asocian simplemente a la corona amplia acorazonada que tuvo del deslizamiento Villatina, en comparación con el foco único que la metodología considera para determinar el área donde el factor de intensidad (z) es crítico.
- ✓ Ambos polígonos llegan a lo que se conoce hoy con el nombre de Campo Santo y cubren el drenaje principal (Quebrada Gallinaza 1) y el secundario al oeste del primero. Se tiene entonces de esta forma una trayectoria muy similar del deslizamiento Villatina según ambos polígonos. La extensión de ambos polígonos es casi la misma, lo cual es muestra clara de que el factor de intensidad (z) considerado como crítico es el adecuado.
- ✓ Ambos polígonos explican la localización de las formaciones geológicas denominadas flujos de lodos y escombros asociadas al deslizamiento Villatina. Incluso el polígono que delimita el área donde el factor de intensidad (z) es crítico es un poco más amplio en la parte baja y cubre todo lo que en este sector se ha denominado flujos de lodos y escombros, mostrando así que la metodología puede ser conservadora en lugar de liberal, en cuanto al no cubrimiento de áreas susceptibles de ser impactadas con deslizamientos.

No se debe olvidar que el modelo correspondiente asume condiciones ideales que gobiernan los fenómenos físicos modelados, por lo tanto es una aproximación de la realidad. Bajo este criterio es necesario entender que los resultados obtenidos no deben considerarse como valores invariantes, sino que corresponden a órdenes de magnitud que incluyen las incertidumbres con las cuales se conforman los modelos respectivos y son, por consiguiente, las herramientas que permiten apoyar la toma de decisiones. Por tal motivo es normal que se presenten algunas diferencias. Sin embargo, para efectos de la calibración de la metodología de trabajo, se considera que la similitud obtenida entre el polígono delimitado por medio de registro fotográfico del deslizamiento y el polígono que delimita el área donde el factor de intensidad (z) es crítico es racionalmente precisa. Finalmente, se puede concluir con base en el ejercicio efectuado que la metodología usada en este estudio es la adecuada.

16.2.3 Levantamientos de campo y análisis de la información

Para hacer cumplir la metodología anteriormente expuesta, se recolectó información primaria de los componentes relevantes para el análisis. El trabajo inicio con la revisión de la información básica y posteriormente se realizaron visitas de campo donde a través de la implementación de fichas y registros fotográficos se levantaron las estructuras.

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	--	---

Para la ejecución de los trabajos de campo de forma ordenada, se realizó previamente una zonificación de los polígonos en función de las manzanas físicamente formadas con el objetivo de distribuir los trabajos en campo.

El polígono de intervención fue dividido en seis zonas (Figura 197) considerando principalmente el número de pisos, el estado de las estructuras y el tipo de estructura. De la zonificación realizada cabe resaltar que: las Zonas 1 y 6 presentan estructuras en mal estado y gran deterioro estructural; las Zonas 2 y 3, en el pasado se han visto afectadas por inundaciones debido a las crecientes de caudal de la quebrada la Sopera, además de observarse gran cantidad de escombros y residuos orgánicos; en la Zona 4 también se observa gran cantidad de escombros y residuos orgánicos, por lo que la convierte en una zona potencialmente inestable; y finalmente, en la Zona 5 se evidencia presencia de residuos orgánicos.

En este capítulo se presentan los resultados de la recolección e inventario de toda la información referente a los componentes físicos relevantes para el cálculo de la vulnerabilidad estructural de acuerdo a la metodología presentada. Los componentes principales inspeccionados fueron: tipo de ocupación, tipo de estructura, estado o condiciones de la estructura, altura de la estructura (número de niveles por edificación) y tipo de cubierta. Se realizó el levantamiento, inspección e inventario completo del Polígono Villa Turbay, con un total de 300 estructuras. Las respectivas fichas de análisis para este polígono se presentan en el Anexo 06. El Mapa 51 presenta las vías de acceso y equipamientos del Polígono Villa Turbay.

Luego de recopilada la información de campo, ésta es analizada mediante la conformación inicial de una base de datos con la numeración y atributos de cada estructura. Con esta base de datos se realizó un análisis estadístico mediante la implementación de diagramas circulares (Tabla 68 a Tabla 72) para facilitar la interpretación de los resultados. Además de los análisis estadísticos, se realizaron mapas para cada uno de los factores que conforman la metodología de análisis de vulnerabilidad física por movimientos en masa, los cuales se presentan del Mapa 52 al Mapa 56.

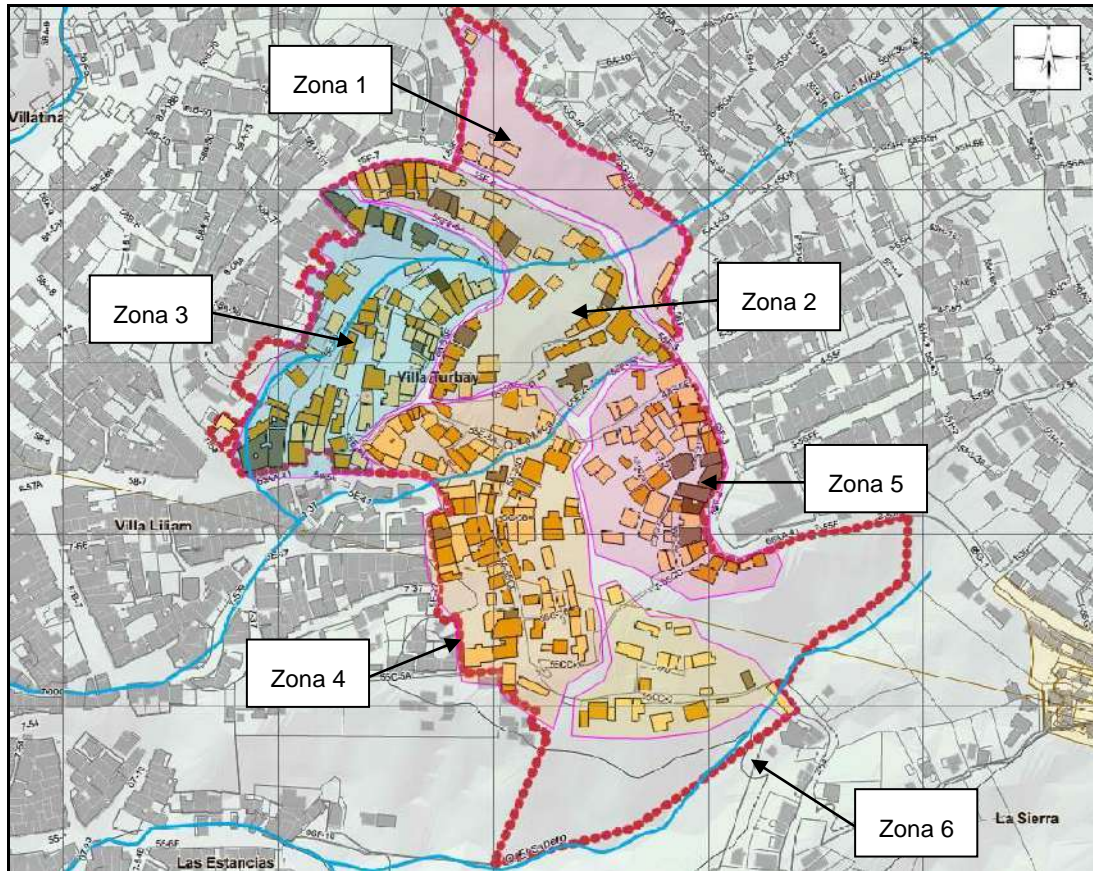
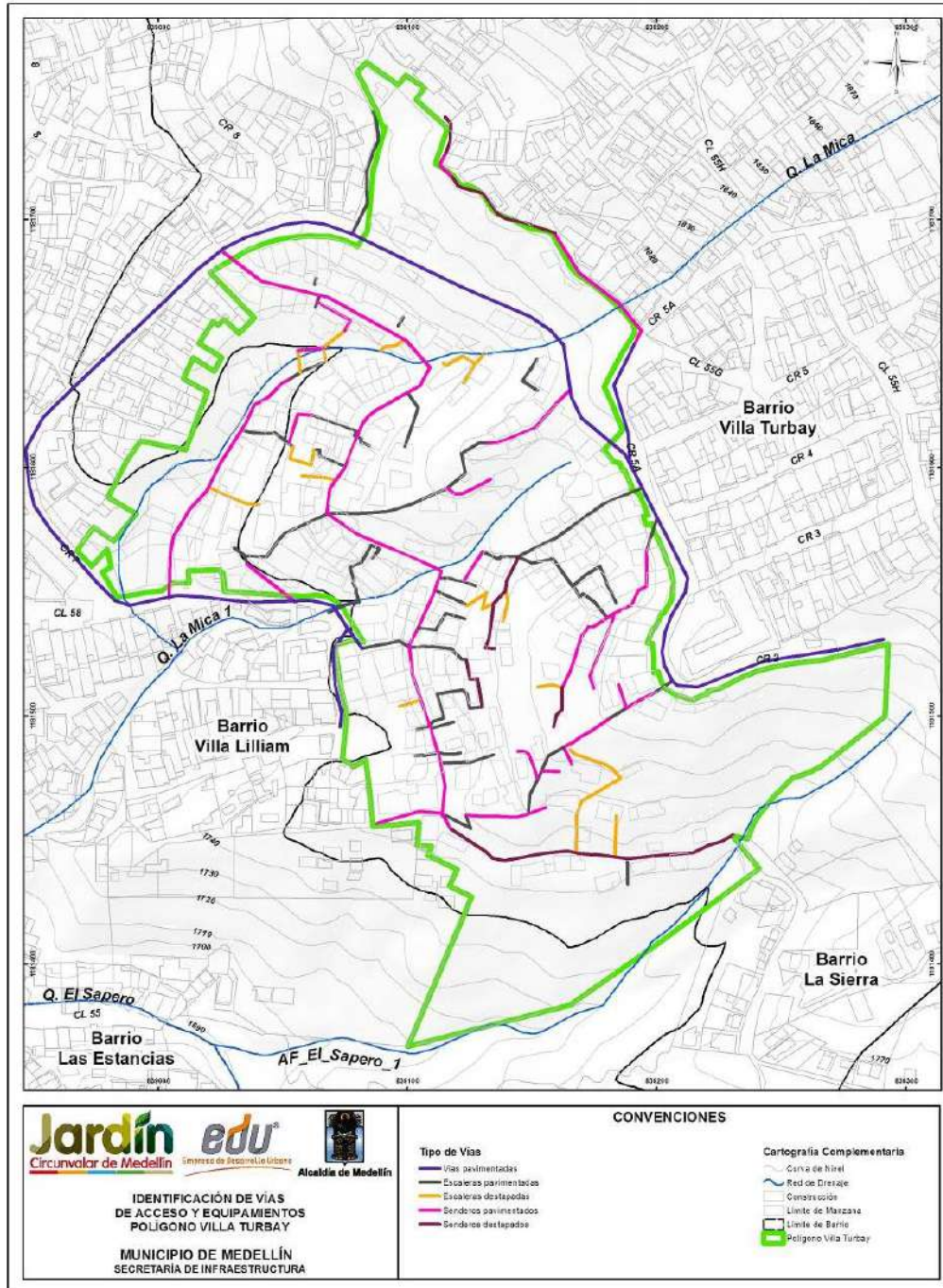


Figura 197. Zonificación del Polígono Villa Turbay



Mapa 51. Localización de vías de acceso y equipamientos en el Polígono Villa Turbay (35_VTBViasdeAccesosyEquipamientos_Medellin_C y 35_VTBViasdeAccesosyEquipamientos_Medellin_T)

Tabla 68. Tipo de ocupación – Movimiento en Masa

Ocupación	Total Viviendas	%
Residencial	250	83.33
Comercial	6	2
Mixto	44	14.67
Total	300	100

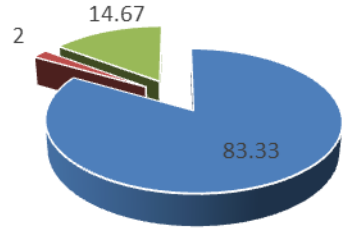


Tabla 69. Tipo de estructura – Movimiento en Masa

Tipo Estructura	Total Viviendas	%
Ligera (Madera)	49	16.33
Mixta (Prefabricada)	10	3.33
Mampostería	241	80.33
Total	300	100

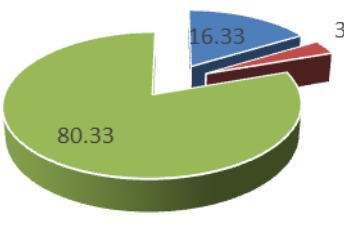


Tabla 70. Estado de la estructura – Movimiento en Masa

Estado Estructura	Total Viviendas	%
Muy mala	9	3
Mala	33	11
Media	251	83.67
Buena	6	2
Muy buena	1	0.33
Total	300	100

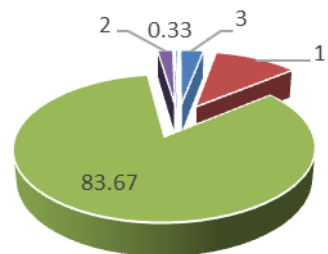


Tabla 71. Alturas de las estructuras – Movimiento en Masa

Altura Estructura	Total Viviendas	%
Un solo piso	159	53
De 2 pisos	115	38.33
De 3 a 5 pisos	26	8.67
Total	300	100

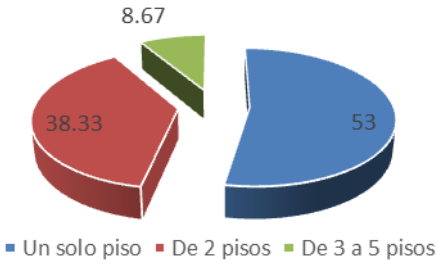



Tabla 72. Tipo de cubierta – Movimiento en Masa



Tipo de cubierta	Total Viviendas	%
Teja de zinc	277	92.33
Losa	23	7.67
Total	300	100



Además de los análisis estadísticos se realizaron mapas para cada uno de los factores que conforman la metodología de análisis de vulnerabilidad física por movimientos en masa, los cuales se presentan del Mapa 52 al Mapa 57.

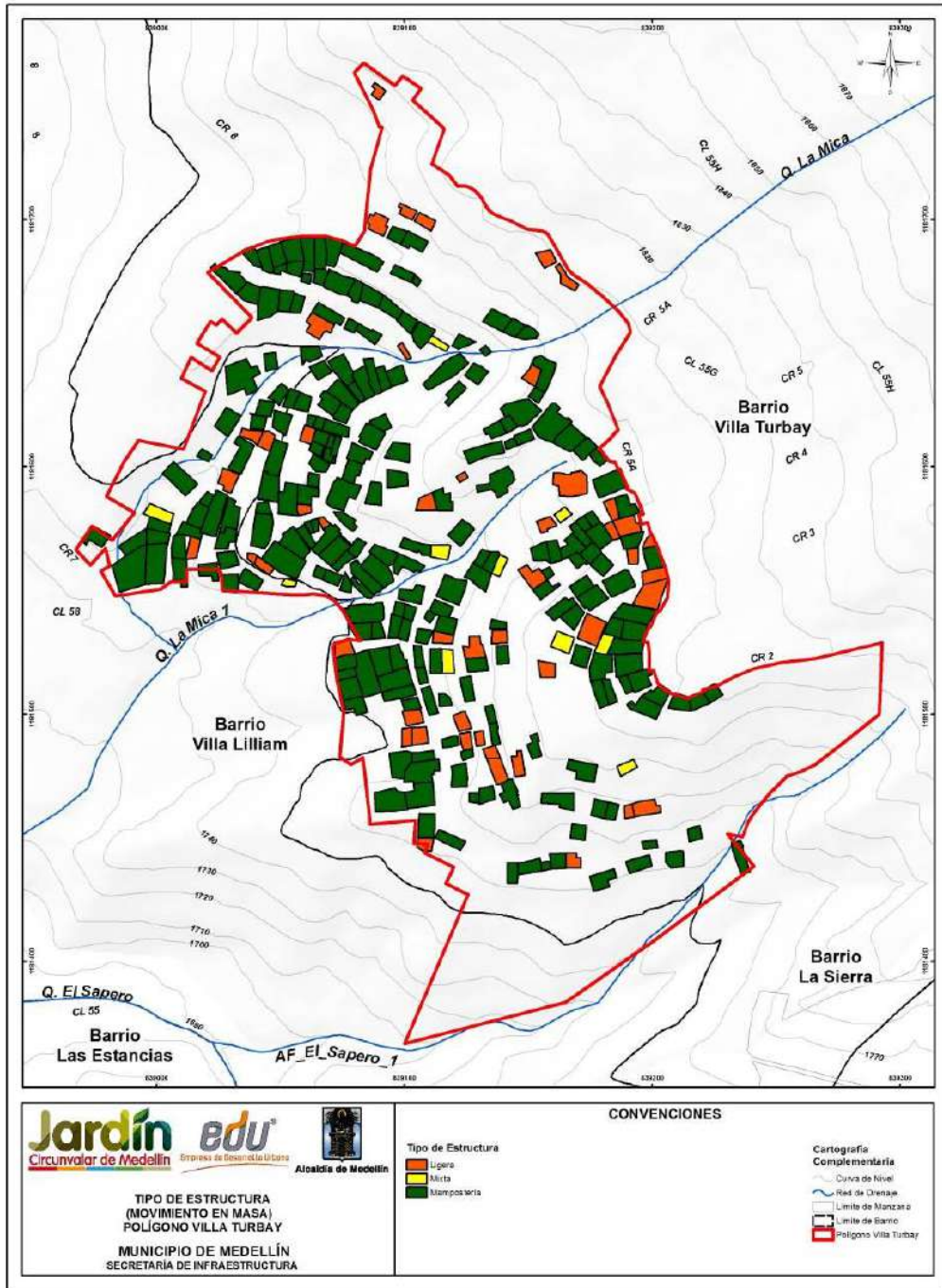
De forma general, las estructuras que predominan en el polígono son en mampostería en un estado Medio que hace referencia a un estado entre Bueno y Malo. No se considera una calificación buena, dado que las construcciones en mampostería son simples, no tienen confinamiento ni se puede considerar como mampostería estructural. También se observaron estructuras en mampostería en un estado Bueno, dándole esta calificación debido a que estaban mejor estructuradas e incorporaban en su concepción elementos como columnas y vigas de concreto reforzado con una esbeltez proporcional entre ancho y altura. Además se encontraron estructuras prefabricadas y en madera en un estado con notable deterioro. Las fundaciones de las estructuras son superficiales no convencionales dado que existe una gran cantidad de construcciones en las que sus cimentaciones son troncos de madera, terreno natural, delgadas losas en mampostería y/o concreto o simplemente estructuras con una esbeltez no proporcional entre altura y ancho. Específicamente en el polígono de Villa Turbay se tiene las siguientes características:

- ✓ El uso predominante en el polígono Villa Turbay es el residencial, con un 83.33% de los usos presentes. Las construcciones mixtas se presentan en un 14.67% y las de uso comercial con 2% (Tabla 68).
- ✓ La gran mayoría de las estructuras están construidas en mampostería, con un 80.33%, el 16.33% corresponde a las construcciones en madera (Ligera) (Tabla 69).

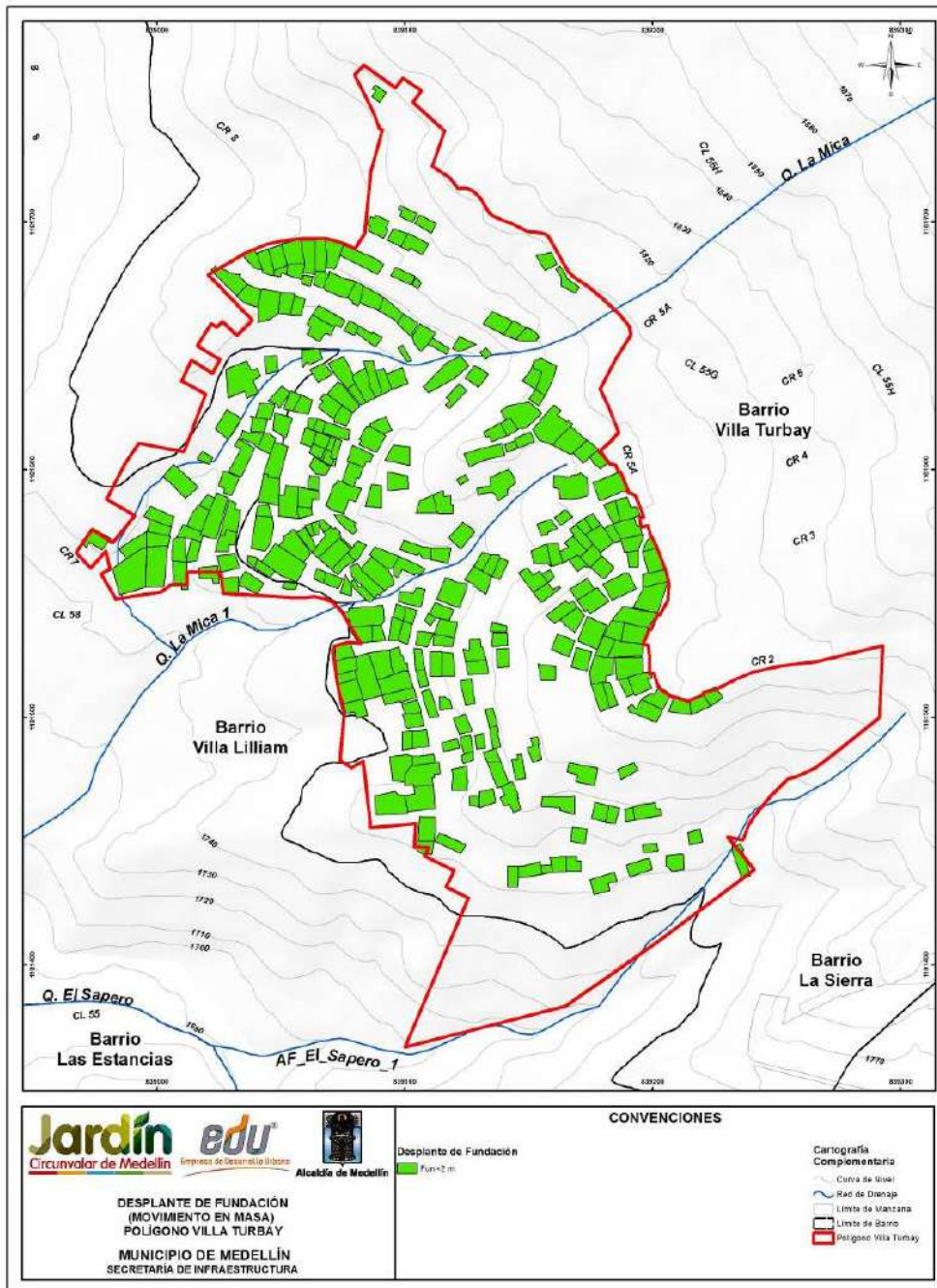
	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

- ✓ El Polígono Villa Turbay presenta en su mayoría estructuras en estado Medio, esto significa que estructuralmente se cuentan con estructuras de materiales tradicionales (Concreto y mampostería) en un estado aceptable. Esta calificación de estado Medio tiene un porcentaje de estructuras de 83.67%. El estado que le sigue es el Malo con un 11%. Los estados Muy malo, Bueno y Muy bueno se encuentran en menores porcentajes con el 3%, 2% y 0.33%, respectivamente (Tabla 70).
- ✓ En el polígono de Villa Turbay por lo menos la mitad de las viviendas inspeccionadas poseen un solo nivel construido con un 53% del total. Le siguen las construcciones de 2 niveles con el 38.33% y por último se encuentran las edificaciones entre 3 y 5 niveles con un 8.67% (Tabla 71).
- ✓ La mayoría de las construcciones tiene Teja de Zinc con un 92.33%, el porcentaje restante corresponde a cubierta tipo Losa con un 7.67% (Tabla 72).
- ✓ En el caso particular de las estructuras al interior del Polígono Villa Turbay, se identificó que el 100% de las estructuras poseen fundaciones superficiales a través de sistemas de encepados en concretos ciclópeos conformados por piedra y mortero.

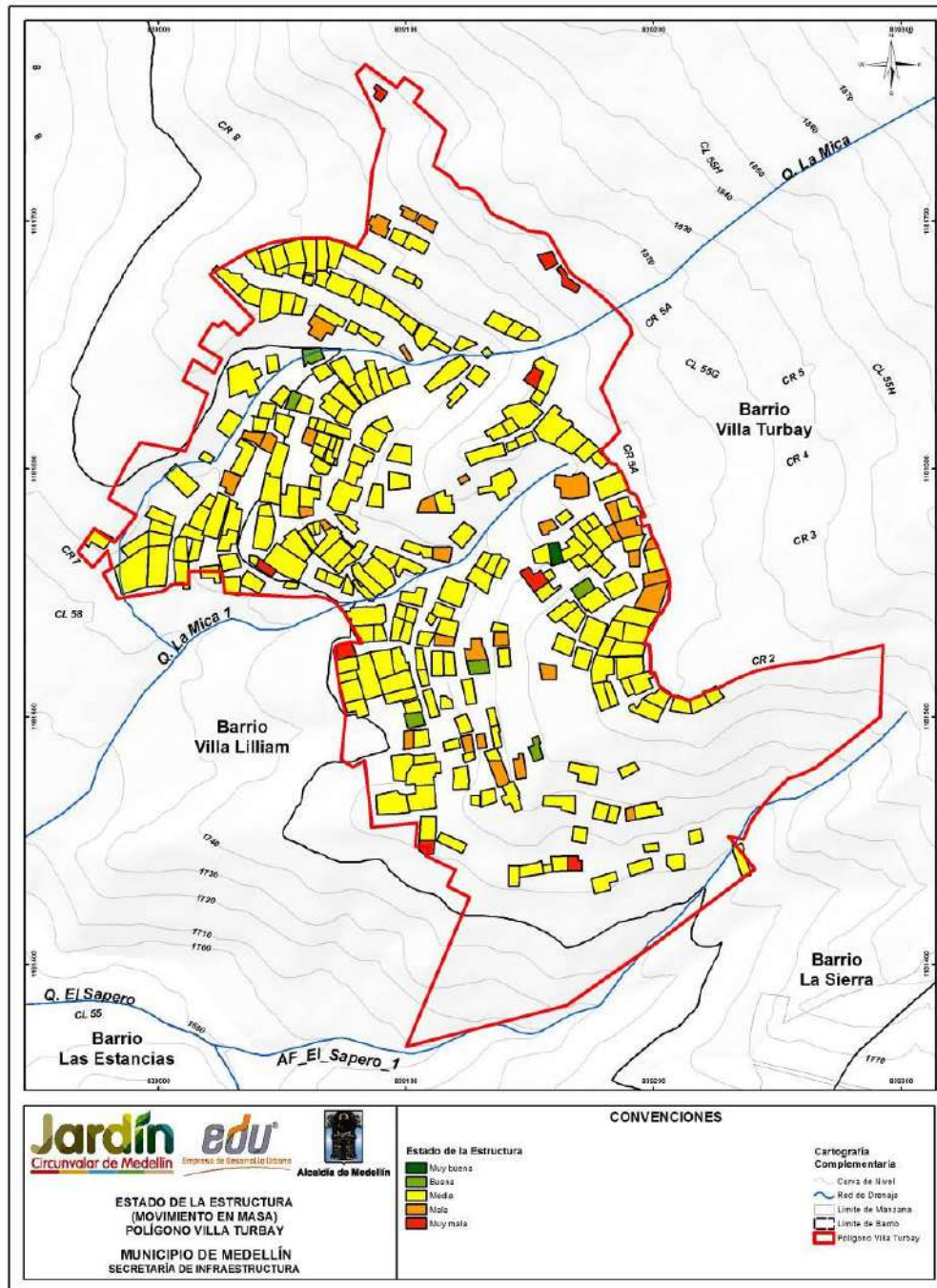
Luego del análisis de la información y con la construcción de los respectivos mapas para cada uno de los factores que conforman la metodología de análisis de vulnerabilidad física por movimientos en masa, se determinó el factor de resistencia cuantitativa de las estructuras según la metodología anteriormente expuesta. En el Mapa 57, se presenta la distribución del factor resistencia, donde un factor de resistencia de 1.0 corresponde a una vivienda de máxima resistencia.



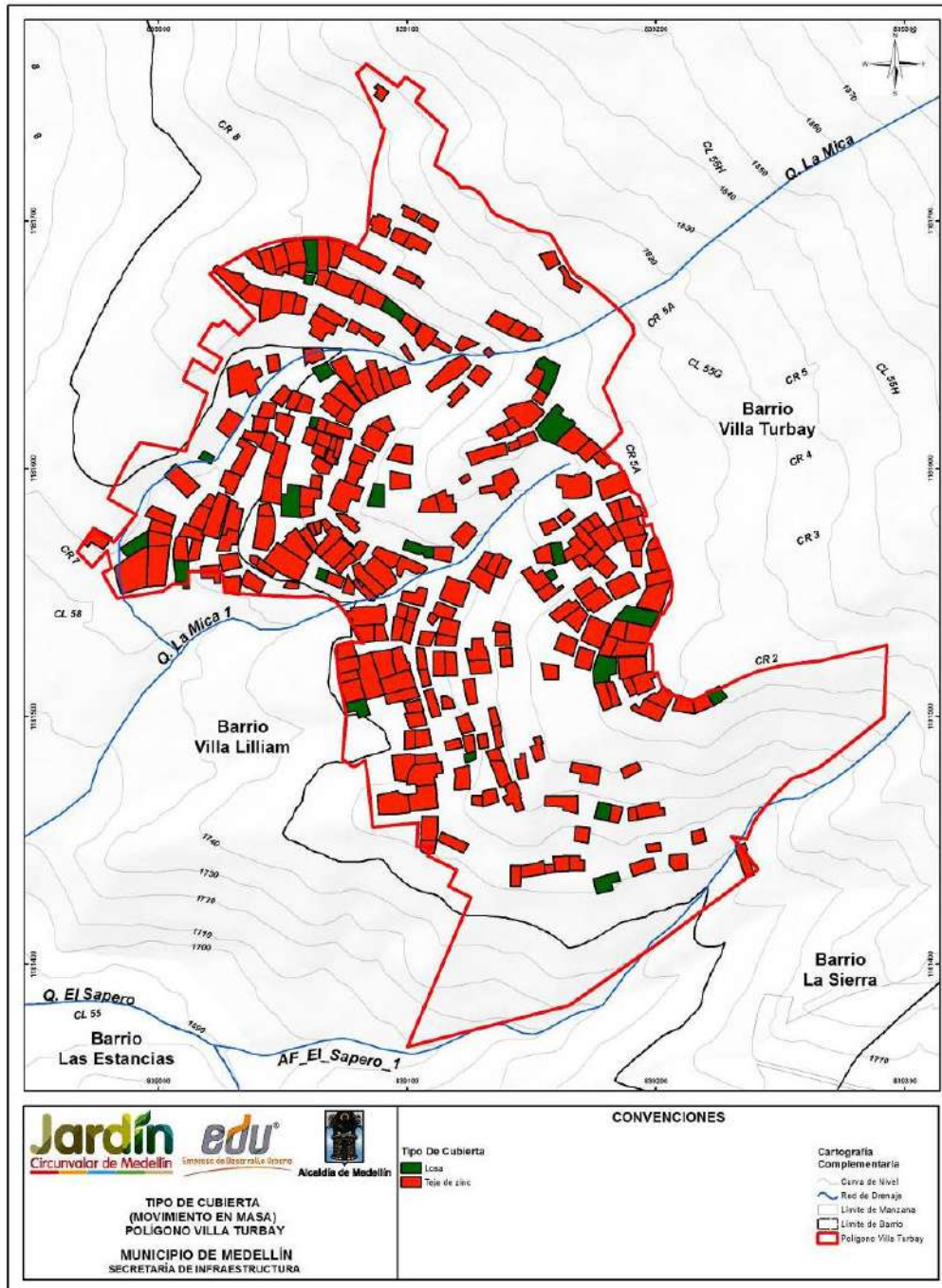
Mapa 52. Localización espacial del tipo de estructura por movimientos en masa en el Polígono Villa Turbay
 (25_VTBTipodeEstructura_Medellin_C y 25_VTBTipodeEstructura_Medellin_T)



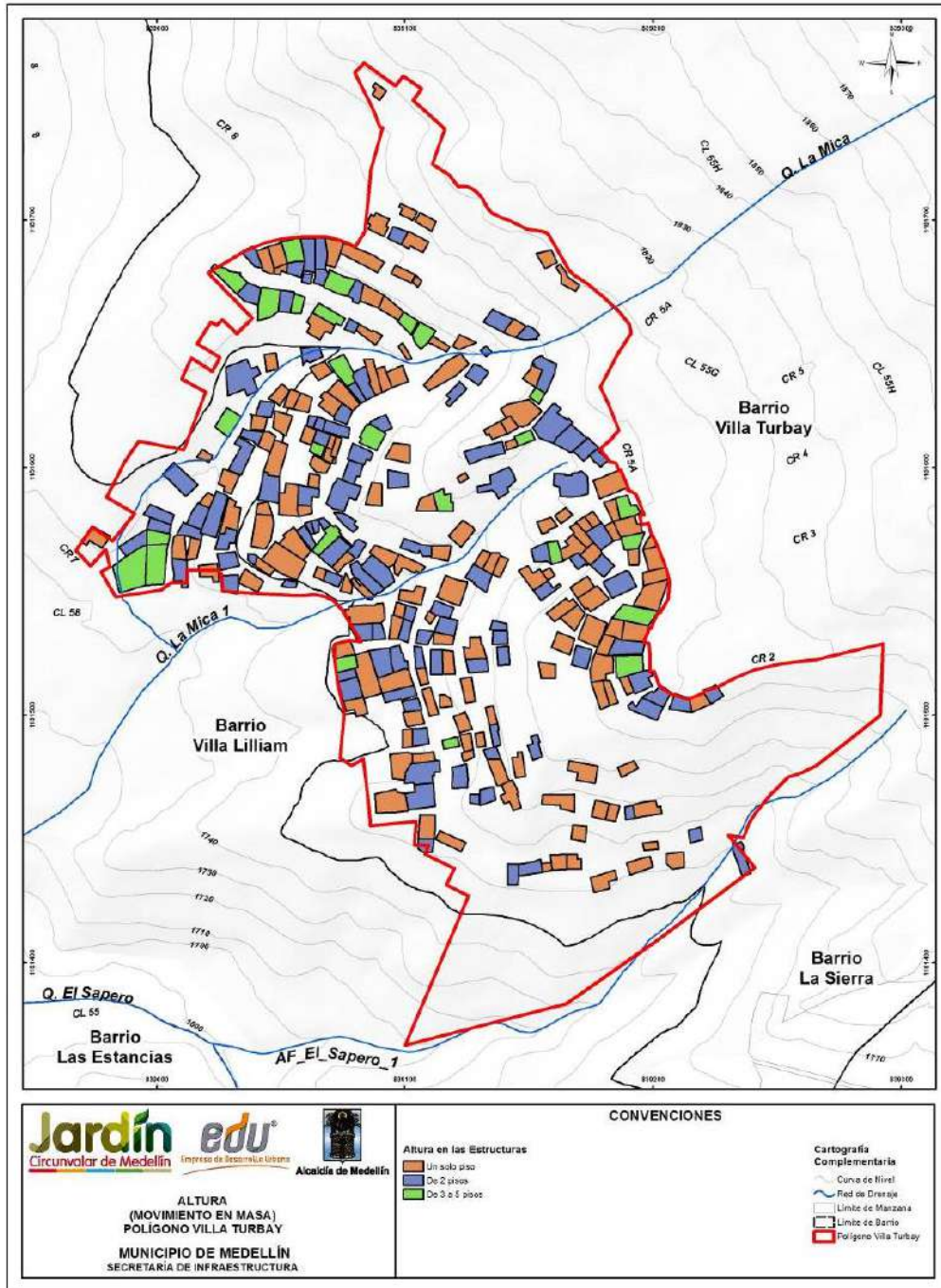
Mapa 53. Localización espacial del desplante de fundaciones por movimientos en masa en el Polígono Villa Turbay (26_VTBDesplantedeFundaciones_Medellin_C y 26_VTBDesplantedeFundaciones_Medellin_T)



Mapa 54. Localización espacial del estado de estructura por movimientos en masa en el Polígono Villa Turbay (27_VTB EstadodelaEstructura_Medellin_C y 31_VTB EstadodelaEstructura_Medellin_T)



Mapa 55. Localización espacial del tipo de cubierta por movimientos en masa en el Polígono Villa Turbay
(28_VTBTipodeCubierta_Medellin_C y 28_VTBTipodeCubierta_Medellin_T)



Mapa 56. Localización espacial de la altura de estructura por movimientos en masa en el Polígono Villa Turbay (29_VTBAlturadelaConstruccion_Medellin_C y 29_VTBAlturadelaConstruccion_Medellin_T)

16.2.4 Determinación y zonificación de la vulnerabilidad física y de personas

Teniendo en cuenta la propuesta de Guimaraes (2015) y considerando la obtención del factor resistencia de cada una de las estructuras (R) al interior del Polígono Villa Turbay, observado en el Mapa 57, se procedió a determinar el factor intensidad (Z) a través de los focos de los movimientos en masa más probables que podrían afectar la zona del Polígono Villa Turbay. Se partió del mapa de amenaza por movimientos en masa a 50 años (Mapa 46 y Mapa 44). Se determinaron las zonas de máxima probabilidad de falla y se evaluó el área de afectación en el Polígono. El factor intensidad de los movimientos en masa más probables (Z), que juzga la vulnerabilidad de la estructura por su localización con respecto a su foco de inestabilidad más probable, se determinó mediante la relación entre la diferencia de altura (h) y la distancia real en el terreno (d), ambas medidas entre el foco del deslizamiento y el centroide de las estructuras potencialmente afectadas, resultando el Mapa 58.

En el Mapa 58 se observa que de los once focos ubicados al interior del Polígono Villa Turbay, denominados en el Mapa 47 como Focos 13, 15, 19, 12, 14, 16, 17, 18, 20, 21 y 22 resultan especialmente importantes los tres primeros. Estos focos generan dentro del Polígono Villa Turbay rangos del factor de intensidad, que van de 0.40 a 1.0. La mayor parte de las viviendas ubicadas en la trayectoria de estos rangos del factor de intensidad, según se puede ver en el Mapa 58, presentan vulnerabilidad física estructural alta por movimientos en masa.

En conjunto con la resistencia (R) de cada estructura, el factor intensidad de los movimientos en masa más probables (Z), permite obtener la vulnerabilidad estructural de cada elemento por medio de la siguiente expresión:

$$V_e = f(Z, R) = \left[1 + \left(\frac{Z}{R} \right)^{-1/0.04} \right]^{-0.05}$$

La vulnerabilidad estructural se expresa en esta metodología como un número adimensional que varía entre 0 y 1, donde 1 es el valor de máxima vulnerabilidad estructural. Este valor bien puede representar un factor de daño. La Tabla 73 presenta la clasificación de la vulnerabilidad física estructural establecida para este proyecto.

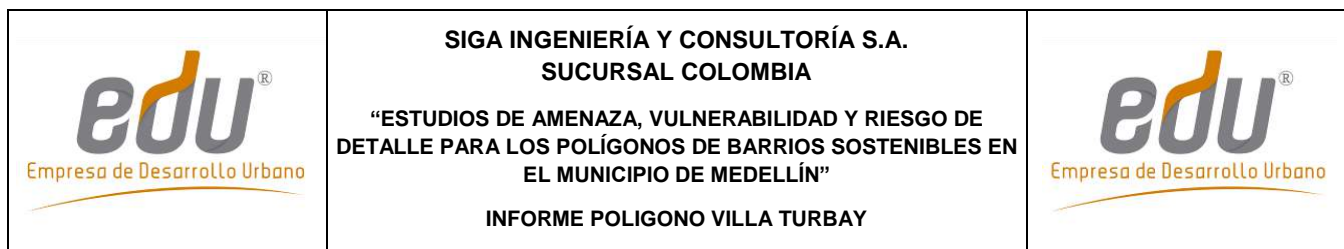
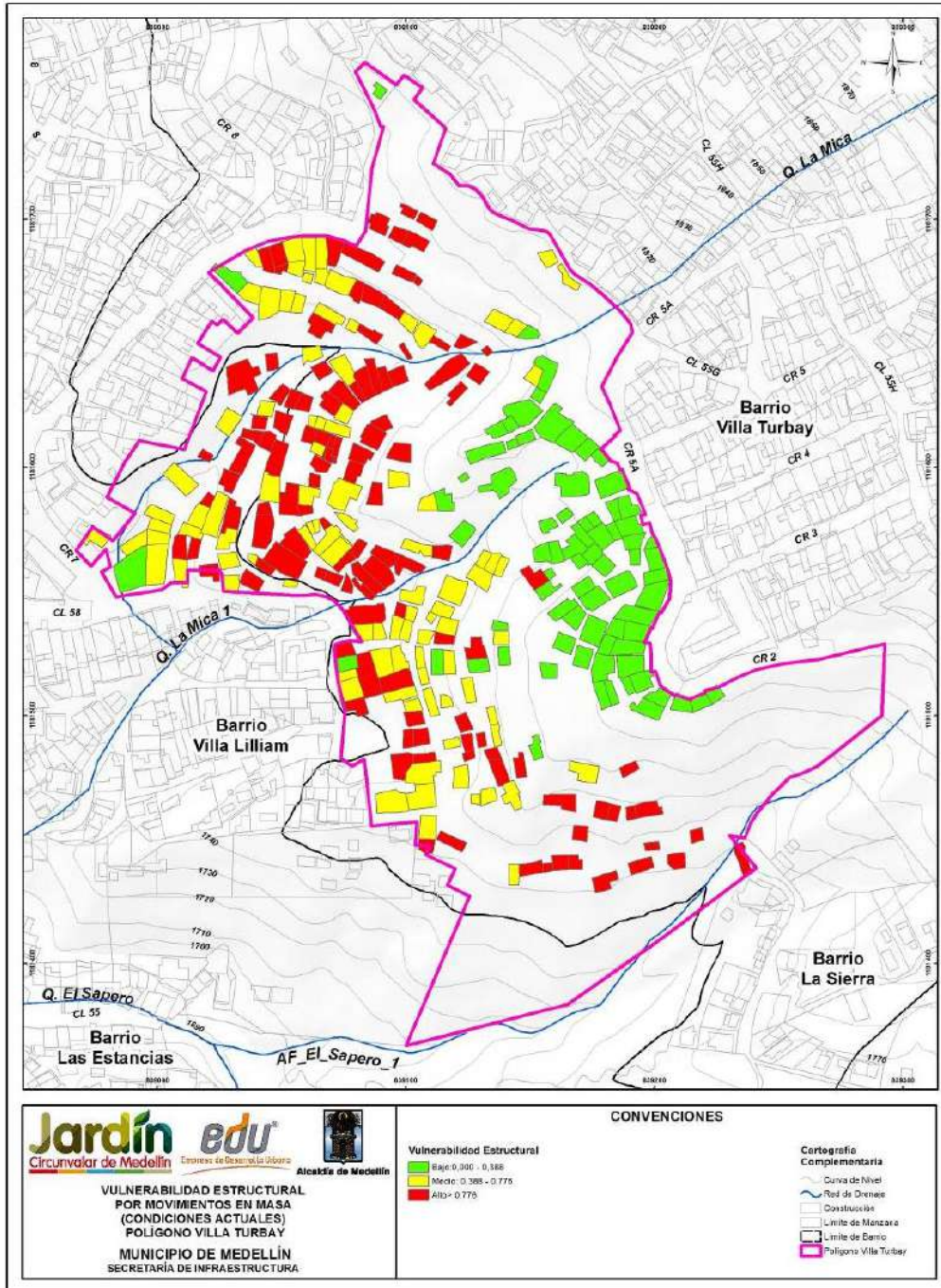


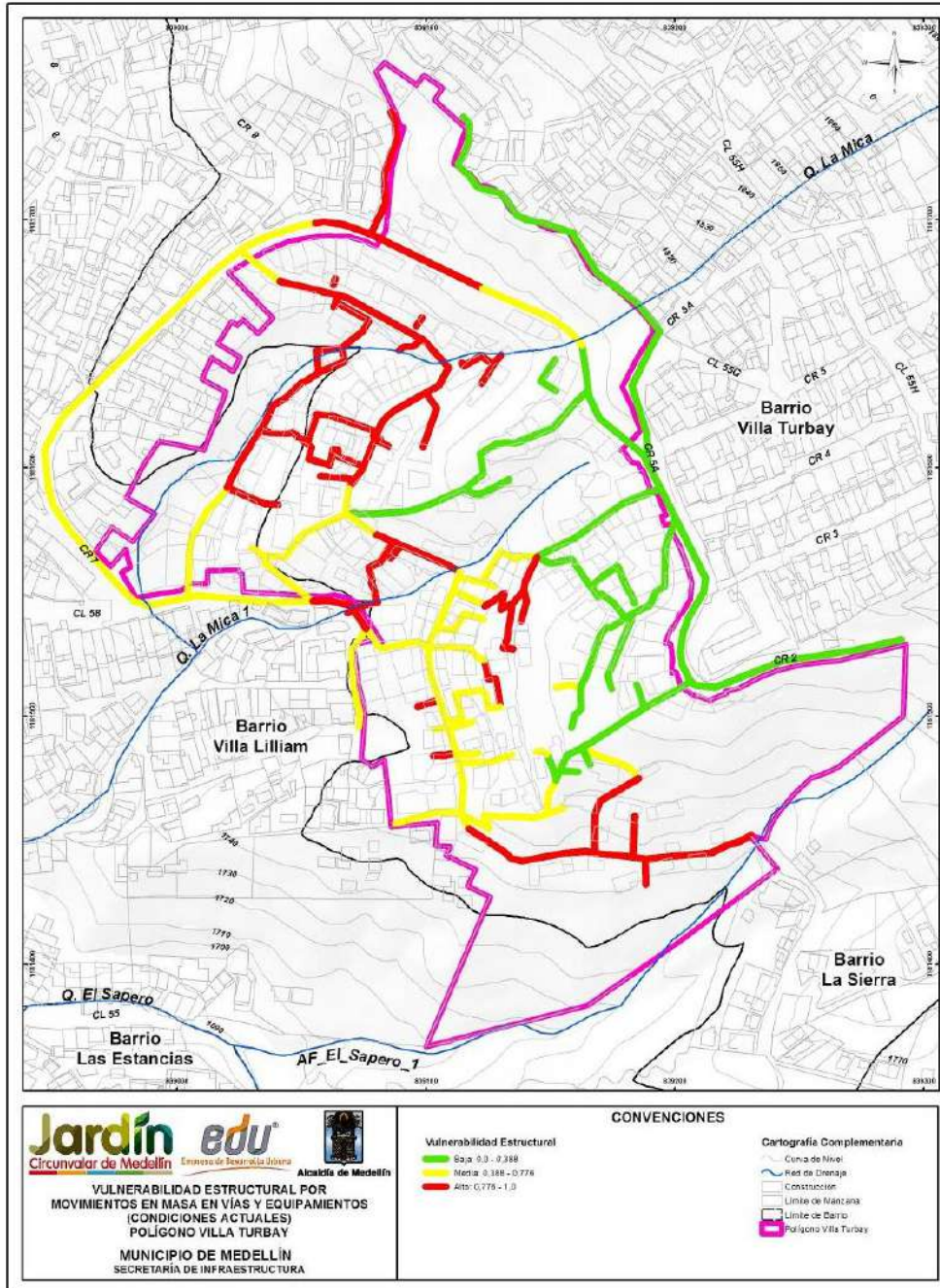
Tabla 73. Categorización de la vulnerabilidad estructural física ante fenómenos de movimientos en masa

Categoría	Rango	Descripción
Baja	0.0 – 0.388	Estructuras que presentarían condiciones de servicio con ligeros daños los cuales pueden ser solucionados con labores de mantenimiento y repotenciación
Media	0.388 – 0.776	Destrucción parcial de la estructura. Pérdida del servicio de las estructuras. A pesar de que las mismas puedan quedar en pie, el sistema estructural se verá seriamente afectado. Pérdida de elementos de estructurales y de apoyo.
Alta	0.776 – 1.0	Destrucción total de la estructura

El Mapa 58 y el Mapa 59 presentan el análisis de la vulnerabilidad estructural de las viviendas y de las vías de acceso y equipamientos del Polígono Villa Turbay con su respectiva clasificación entre baja, media y alta según el criterio de la Tabla 73.



Mapa 58. Análisis de la vulnerabilidad estructural del Polígono Villa Turbay (36_VTBVulnerabilidadEstructuralMovimientosenMasa_Medellin_C y 36_VTBVulnerabilidadEstructuralMovimientosenMasa_Medellin_T)



Mapa 59. Análisis de la vulnerabilidad estructural por movimientos en masa de las vías de acceso y equipamientos en el Polígono Villa Turbay
 (46_VTBVulnerabilidadEstructuralMovimientosenMasa_ViasEquipamientos_Medellin_Cy
 46_VTBVulnerabilidadEstructuralMovimientosenMasa_ViasEquipamientos_Medellin_T)

La Figura 198 muestra la distribución de frecuencia de la vulnerabilidad física de las estructuras por movimientos en masa presentada en mapa anterior. Se ilustra que el 41.3% de las estructuras presentes al interior del Polígono Villa Turbay presentan una vulnerabilidad alta, el 33.0% presentan una vulnerabilidad media y el 25.7% presentan vulnerabilidad baja. Las estructuras con vulnerabilidad alta se concentran principalmente en las Zonas 2, 3 y 6, con viviendas en su gran mayoría de un solo piso construidas en mampostería (72%).

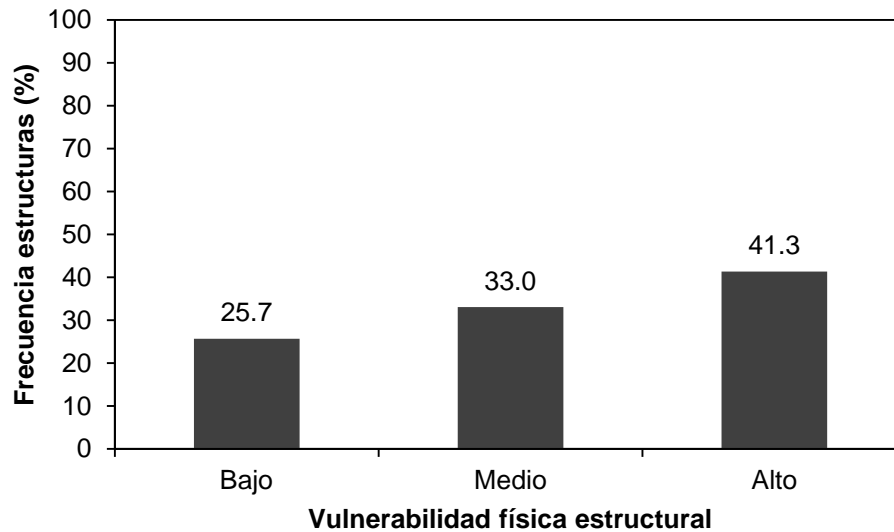


Figura 198. Distribución de frecuencia de la vulnerabilidad física de las estructuras

Además de la vulnerabilidad física estructural, la metodología propuesta por Uzielli (2006) permite estimar la vulnerabilidad de las personas (V_p) que se encuentran al interior de las estructuras, en función de la vulnerabilidad estructural (V_e) mediante la expresión:

$$V_p = f(V_e) = 0.0014 \cdot e^{6.07 \cdot V_e}$$

La vulnerabilidad de las personas se expresa en como un numero adimensional que varía entre 0 y 0.6, donde 0.6 es el valor de máxima vulnerabilidad de las personas. Finalmente, la vulnerabilidad de las personas que se encuentran al interior de las estructuras por efectos de movimientos en masa, se podrá categorizar como se muestra en la Tabla 74.

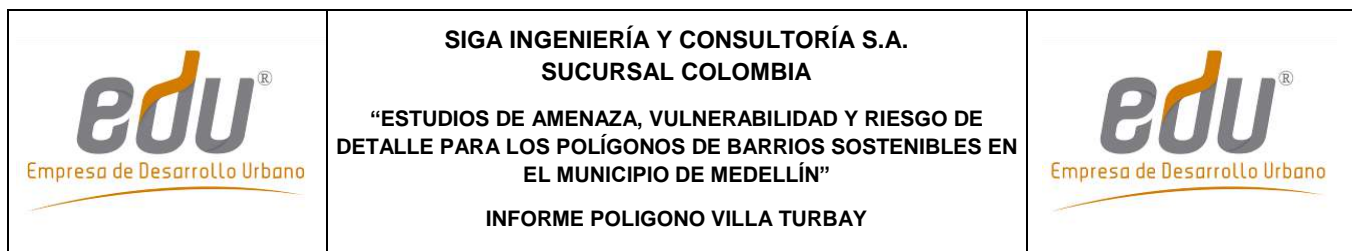
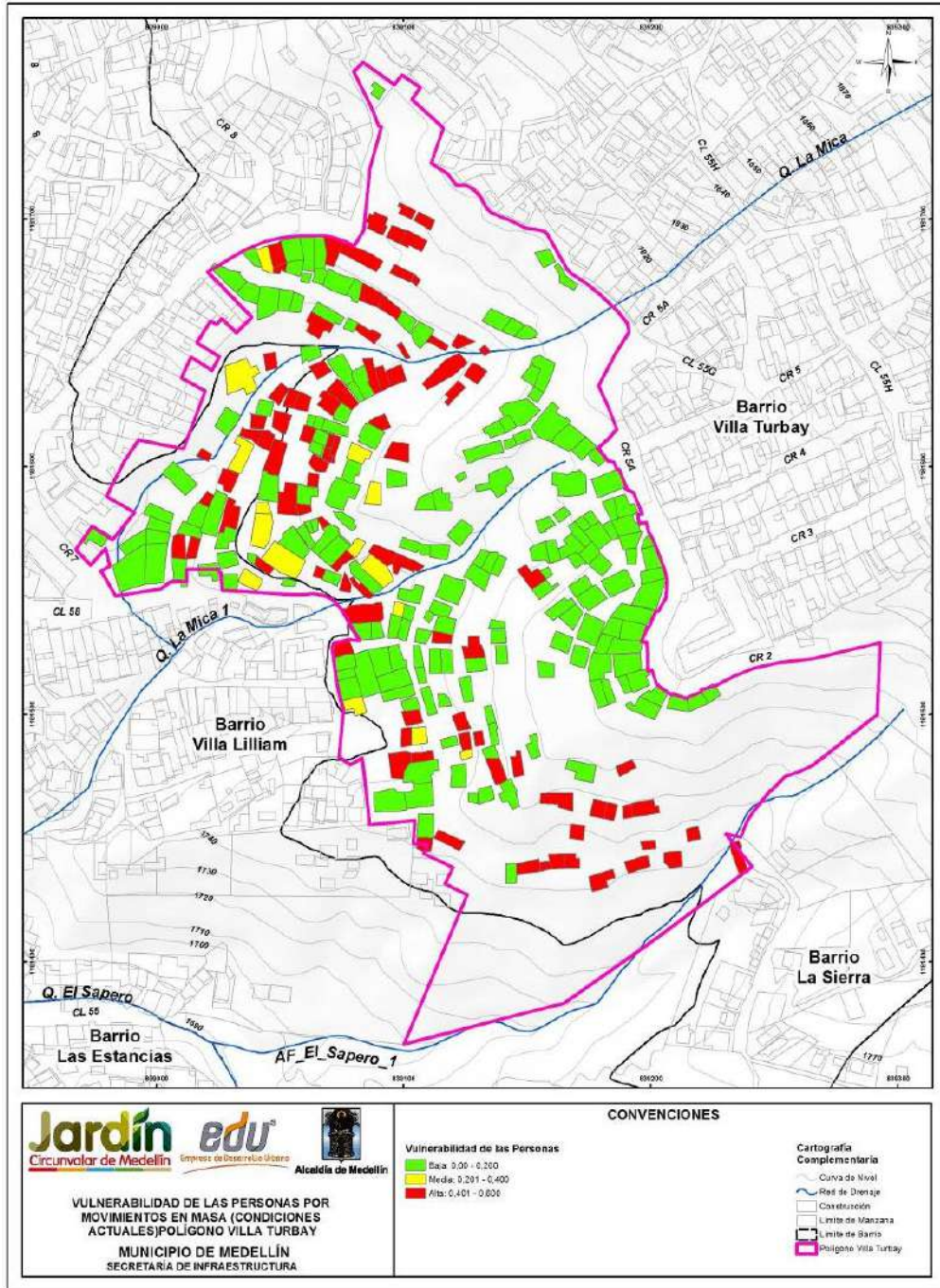


Tabla 74. Categorización de la vulnerabilidad de las personas ante fenómenos de movimientos en masa

Categoría de la Vulnerabilidad	Rango de la Vulnerabilidad	Descripción
Baja	0.0 – 0.2	Lesiones leves en las personas. A pesar de las lesiones, las personas se mantienen conscientes de lo sucedido y pueden mantenerse en pie sin ningún tipo de asistencia.
Media	0.2 – 0.4	Lesiones moderadas a graves en las personas. Las personas pueden perder ligeramente la conciencia o entrar en estados de shock temporales. Las lesiones pueden ir entre cortes y fracturas pueden requerir de asistencia médica que dejan a la persona sin capacidad de movilizarse de forma temporal.
Alta	0.4 – 0.6	Lesiones muy graves como invalides o pérdida de miembros corporales. Pérdida de vida por efecto del deslizamiento.

En el Mapa 60 se presenta el análisis de vulnerabilidad de las personas del Polígono Villa Turbay por movimientos en masa con su respectiva clasificación entre baja, media y alta. Se observa que de las 300 estructuras, 190 presentan vulnerabilidad de personas baja (63.3%), 15 presentan vulnerabilidad media (5.0%) y 95 presentan alta vulnerabilidad de personas (31.7%). Las estructuras que presentan una alta vulnerabilidad de personas coinciden con las que presentan una alta vulnerabilidad física y se concentran en las áreas de máximas pendientes. Considerando el estado de las estructuras, se tiene que el 30% de las estructuras que presentan alta vulnerabilidad de personas se caracterizan por estar construidas en madera.



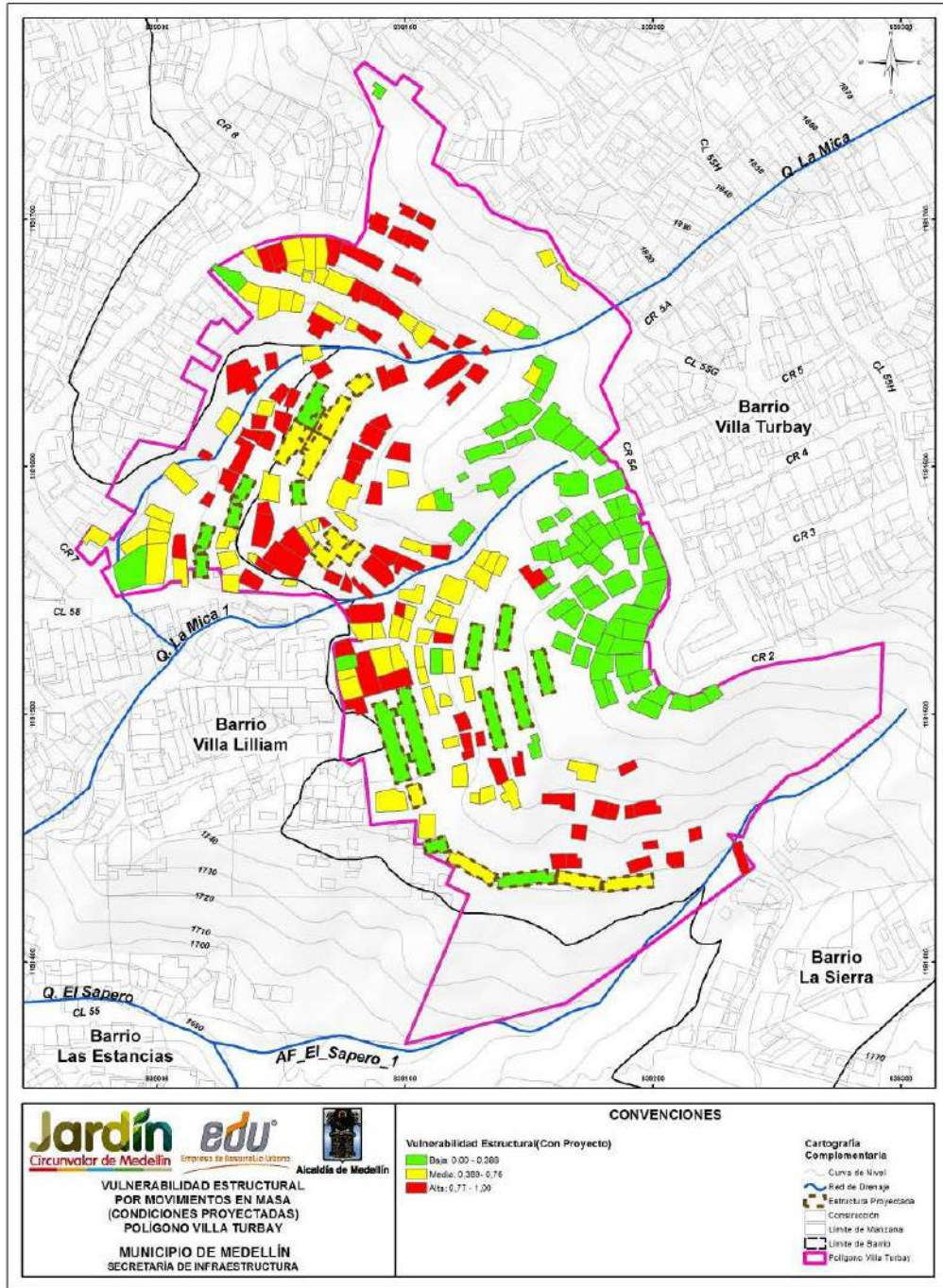
Mapa 60. Análisis de la vulnerabilidad de las personas del Polígono Villa Turbay (37_VTBVulnerabilidadPersonasMovimientosenMasa_Medellin_C y 37_VTBVulnerabilidadPersonasMovimientosenMasa_Medellin_T)

Ahora, considerando las estructuras que harán parte del Proyecto Barrios Sostenibles, se hizo una evaluación adicional de la vulnerabilidad. Para esta modelación se consideró que las nuevas estructuras de dicho proyecto tendrán unas características mejores que las estructuras existentes, al considerar que se trataría de estructuras de muy buen estado, con más de tres niveles en concreto reforzado que cumplirán las respectivas normas técnicas, entre ellas la Norma NSR-10 y que adicionalmente deberán estar cimentadas sobre fundaciones profundas de más de 10 m de profundidad. Por tal motivo, y considerando las calificaciones de la metodología propuesta para el análisis de vulnerabilidad, las nuevas estructuras del Proyecto Barrios Sostenibles presentan las siguientes características (Tabla 75).

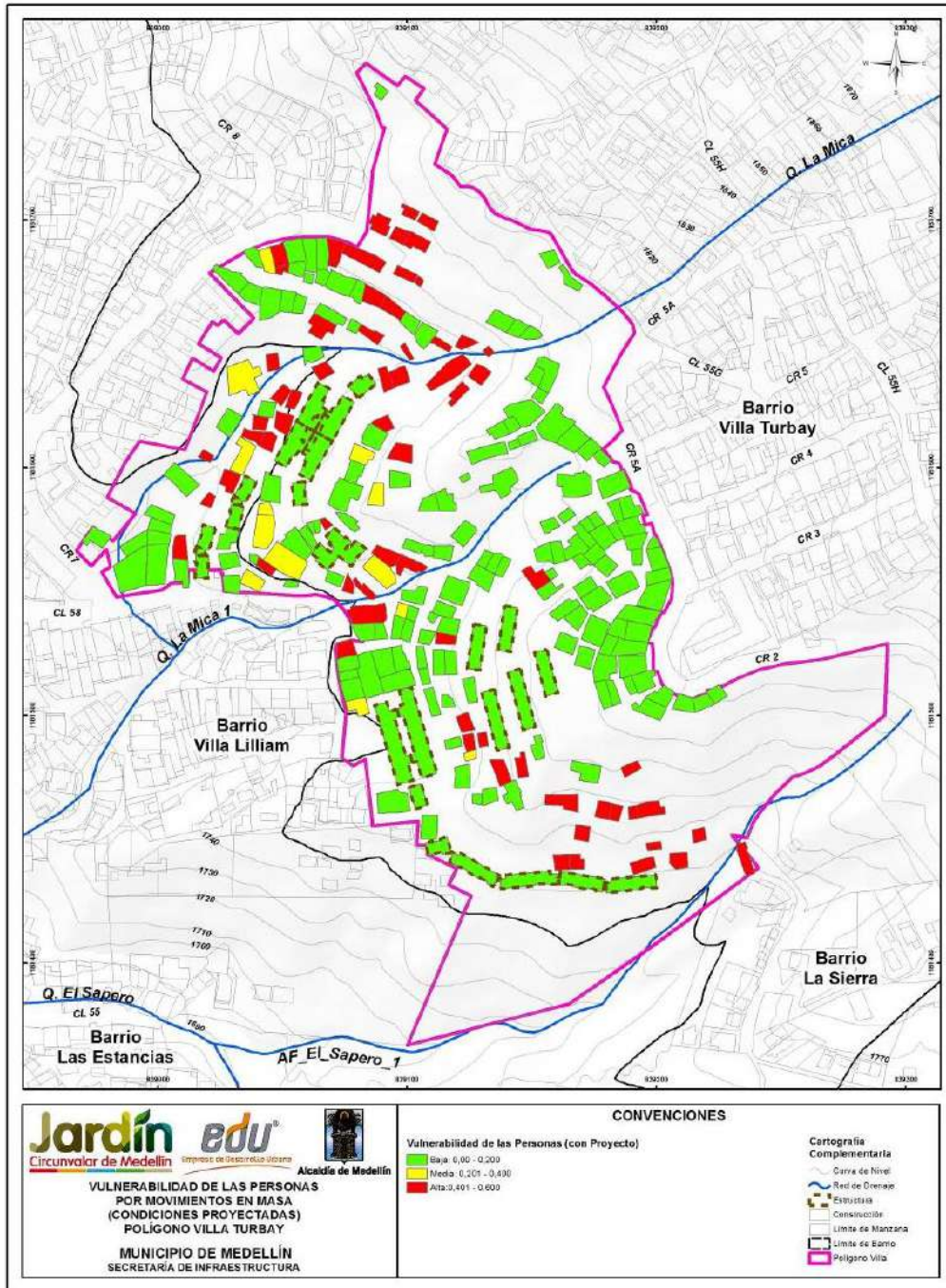
Tabla 75. Factores de vulnerabilidad considerados para el Proyecto Barrios Sostenibles del Polígono Villa Turbay

Factores de vulnerabilidad estructural	Calificación
Estado de la estructura (ξ_{man})	1.50
Altura de la estructura (ξ_{alt})	0.90
Nivel de fundación de la estructura (ξ_{sfd})	1.05
Tipo de estructura (ξ_{est})	1.50

Teniendo en cuenta lo anterior, el factor de resistencia (R) para estas estructuras es de 1.20. A este factor se le aplicó un factor de seguridad de 1.20, considerando cualquier factor constructivo y de diseño, enfocado en tener un factor de resistencia conservador, de tal manera que el valor de resistencia finalmente usado fue de 1.0 para todas las estructuras. El Mapa 61 y el Mapa 62 presentan el resultado de la vulnerabilidad estructural y de las personas respectivamente, considerando los mismos factores de intensidad mencionados antes. Se observa que las nuevas estructuras se construirán a lo largo de la zona central del polígono donde se tienen altas pendientes del terreno con inclinaciones mayores que 15° y estructuras con vulnerabilidad estructural alta. Se observa que las nuevas estructura quedan con vulnerabilidad que variarían de medias a bajas. Lo ideal sería que quedaran con vulnerabilidad baja, pero debido a la ubicación de estas estructuras con respecto a los focos de inestabilidad más probable y, a las altas pendientes del terreno, se tienen factores de intensidad incluso superiores a 0.4, los cuales afectan a las estructuras.



Mapa 61. Análisis de la vulnerabilidad estructural del Polígono Villa Turbay por movimientos en masa con el nuevo Proyecto Barrios Sostenibles (VTBVulnerabilidadEstructuralMovimientosMasaProyecto_Medellin_C)



Mapa 62. Análisis de la vulnerabilidad de las personas del Polígono Villa Turbay por movimientos en masa con el nuevo Proyecto Barrios Sostenibles (VTBVulnerabilidadPersonasMovimientosMasaProyecto_Medellin_C)

16.3 VULNERABILIDAD PARA INUNDACIONES

Para el caso de Inundaciones, la vulnerabilidad física se estimará tomando como fundamento la metodología empleada por Thouret et al. (2013) para la evaluación del riesgo por este tipo de fenómenos en Arequipa, Perú. Se considera aplicable esta metodología en la zona del presente estudio dada la gran similitud en tipología estructural que existe en ambas sitios así como la similitud en los fenómenos estudiados.

Según esta metodología, la vulnerabilidad física está definida a partir del Índice de Vulnerabilidad Residencial (RvI, por sus siglas en inglés), el cual a su vez está definido según el índice de Vulnerabilidad de la Edificación (BuV). Este último depende estrictamente de las características de las edificaciones, considerando los siguientes tres criterios principales: el tamaño de la edificación, la calidad y/o mantenimiento de su construcción, y la densidad poblacional.

El tamaño del edificio es evaluado a partir del número de niveles, y la calificación de su vulnerabilidad es mayor para aquellas edificaciones que presentan un número de niveles menor. Así, para un edificio de 4 o más niveles, su Factor de Vulnerabilidad por Tamaño de Edificación (FVT) será de 1; para uno de 3 niveles será de 2, para uno de 2 niveles será de 3 y finalmente para uno de 1 nivel será de 4, el mayor de todos.

Por su parte, en Thouret et al. (2013) el factor de vulnerabilidad por la calidad de la construcción (FVC) es evaluada de 1 a 3 según el grado de mantenimiento que presente la edificación. Se asigna una calificación de 1 a aquellas construcciones que tengan buen mantenimiento, 2 a aquellas que tengan un mantenimiento aceptable o medio, y 3 a aquellas que presenten un mantenimiento deficiente. Para el caso en estudio, se considerará para la calidad de la construcción el tipo de material de la vivienda y el estado de la estructura, dado que estos elementos representan con mayor fidelidad el grado de resistencia de la estructura frente a los fenómenos estudiados en la zona. La calificación a adoptar para cada combinación del tipo de material-estado se presenta en la Tabla 76.

Tabla 76. Factor de vulnerabilidad por Calidad de la Edificación para Inundaciones y Avenidas Torrenciales

TIPO DE ESTRUCTURA	ESTADO DE LA ESTRUCTURA	FACTOR DE VULNERABILIDAD POR CALIDAD DE LA ESTRUCTURA (FVC)
Muy ligera (lata y cartón) o Ligera (Madera)	Muy mala a Mala	3
	Media	3
	Buena o Muy Buena	2
Media (Concreto y madera) o Mampostería	Muy mala a Mala	3
	Media	2
	Buena o Muy Buena	2
Concreto (con o sin refuerzo)	Muy mala a Mala	2
	Media	2
	Buena o Muy Buena	1

Para el factor por Densidad de Población (FVD), en Thouret et al (2013) se emplea una calificación de 1 a 4. Se adopta un valor de 4 para altas densidades, de 3 para densidades medias, de 2 para densidades bajas y de 1 para densidades muy bajas.

A partir de estos tres factores, FVT, FVC y FVD, se estima el Índice de Vulnerabilidad de la estructura (BuV) según la siguiente expresión, el cual tomará valores entre 1 y 48:

$$\text{BuV} = \text{FVT} \times \text{FVC} \times \text{FVD}$$

A partir del Índice BuV se estima el Índice de Vulnerabilidad Residencial (RvI), tal como se presenta en la Tabla 77.

Finalmente, para efectos del presente estudio, la vulnerabilidad será clasificada en alta, media y baja, reuniendo los RvI 1 y 2 en Vulnerabilidad Baja, el RvI 3 en Vulnerabilidad Media, y los RvI 4 y 5 en Vulnerabilidad Alta.

Tabla 77. Cálculo Índice de Vulnerabilidad Residencial (RvI) y la Vulnerabilidad Física a partir de BuV

BuV	RvI	Vulnerabilidad Física
1 a 3	1	Baja
4 a 6	2	Baja
7 a 12	3	Media
13 a 24	4	Alta
25 a 48	5	Alta

La Figura 199 presenta un diagrama de flujo en el cual se observan los aspectos principales que componen la vulnerabilidad física por inundaciones.

Para el caso de inundaciones y avenidas torrenciales, las etapas son las anteriormente descritas. La diferencia consiste en que se incluye un atributo adicional para cada estructura, que es la densidad habitacional. Este atributo fue extraído del documento técnico elaborado por la Universidad Pontificia Bolivariana para la EDU.

De la Tabla 78 a la Tabla 81 se presentan los resultados de los análisis estadísticos efectuados con la información.

Del Mapa 63 al Mapa 67 se presentan los resultados de los análisis para las variables Tipo de Estructura, Estado de la Estructura, Altura de la Construcción, Densidad de Población y Grado de Vulnerabilidad a Inundación.

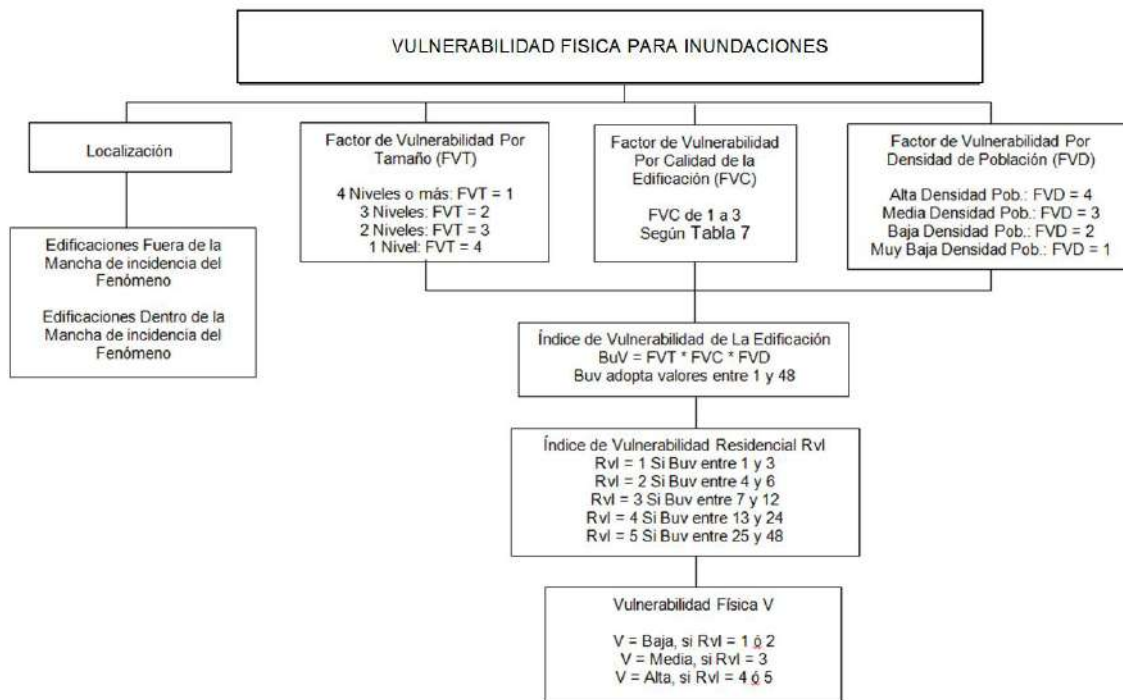


Figura 199. Diagrama de secuencia para la evaluación de la vulnerabilidad física para inundaciones

Tabla 78. Tipo de estructura – Inundaciones y Avenidas torrenciales

Tipo Estructura	Total Viviendas	%
Ligera (Madera)	49	16.33
Mampostería	251	83.67
Total	300	100

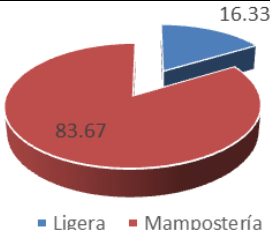


Tabla 79. Estado de la estructura – Inundaciones y Avenidas torrenciales

Estado Estructura	Total Viviendas	%
Mala	42	14
Media	251	83.67
Buena	7	2.33
Total	300	100

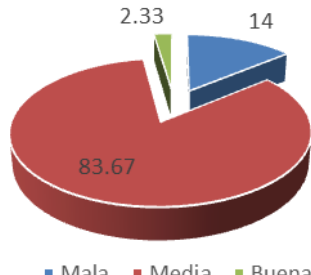


Tabla 80. Altura de la estructura – Inundaciones y Avenidas torrenciales

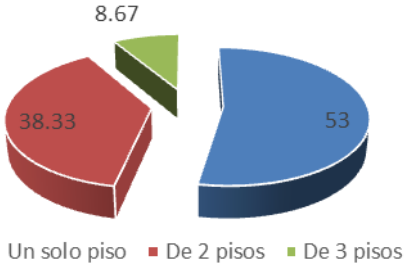
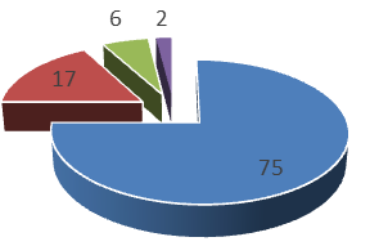


Altura de la estructura	Total Viviendas	%	
Un solo piso	159	53	 <p>■ Un solo piso ■ De 2 pisos ■ De 3 pisos</p>
De 2 pisos	115	38.33	
De 3 pisos	26	8.67	
Total	300	100	

Tabla 81. Densidad de población – Inundaciones y Avenidas torrenciales

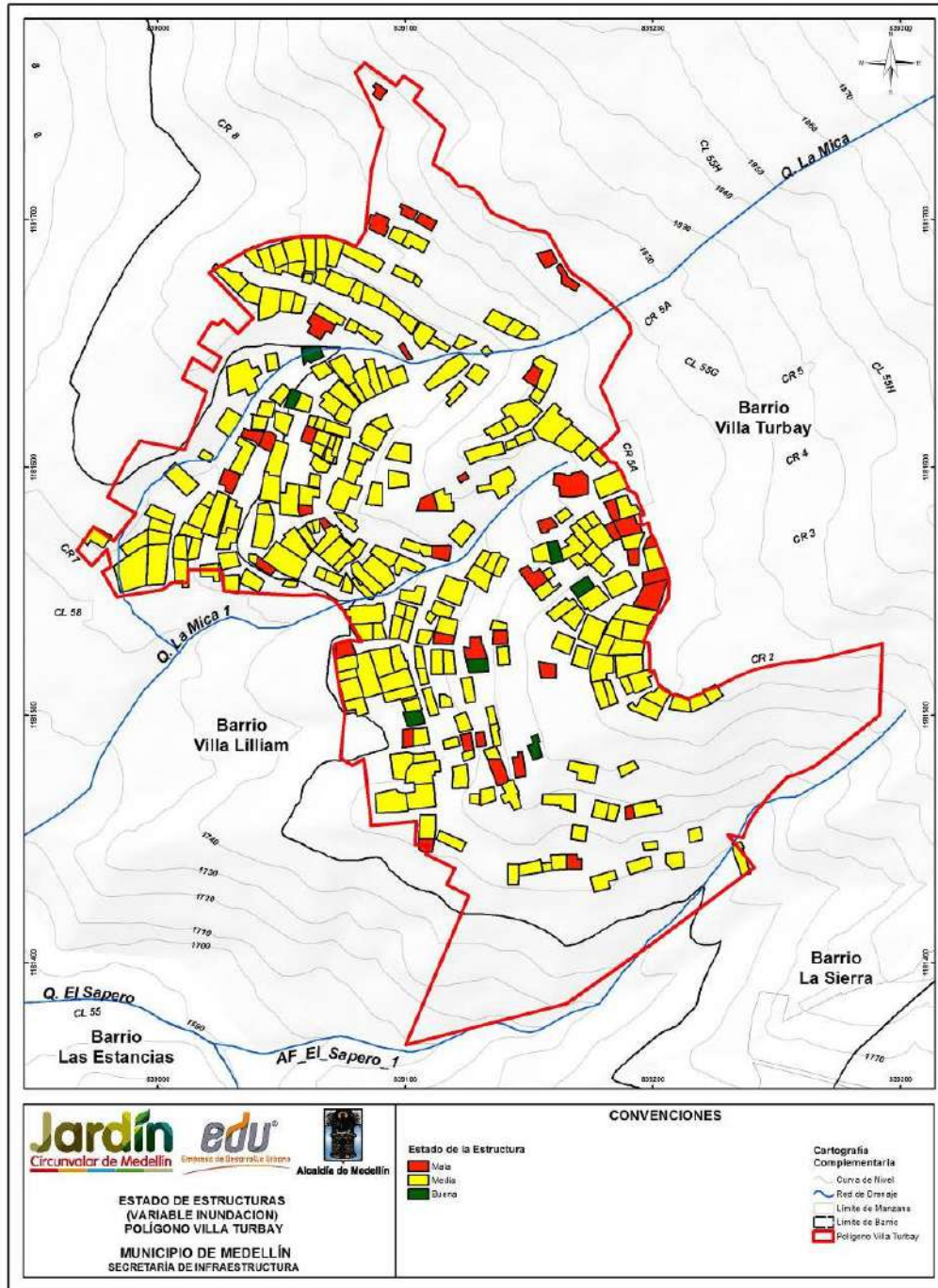
Densidad de población	Total Viviendas	%	
Muy baja	225	75	 <p>■ Muy baja ■ Baja ■ Media ■ Alta</p>
Baja	51	17	
Media	18	6	
Alta	6	2	
Total	300	100	

Del análisis e interpretación de la información existente en la base de datos, se pueden hacer entonces las siguientes anotaciones:

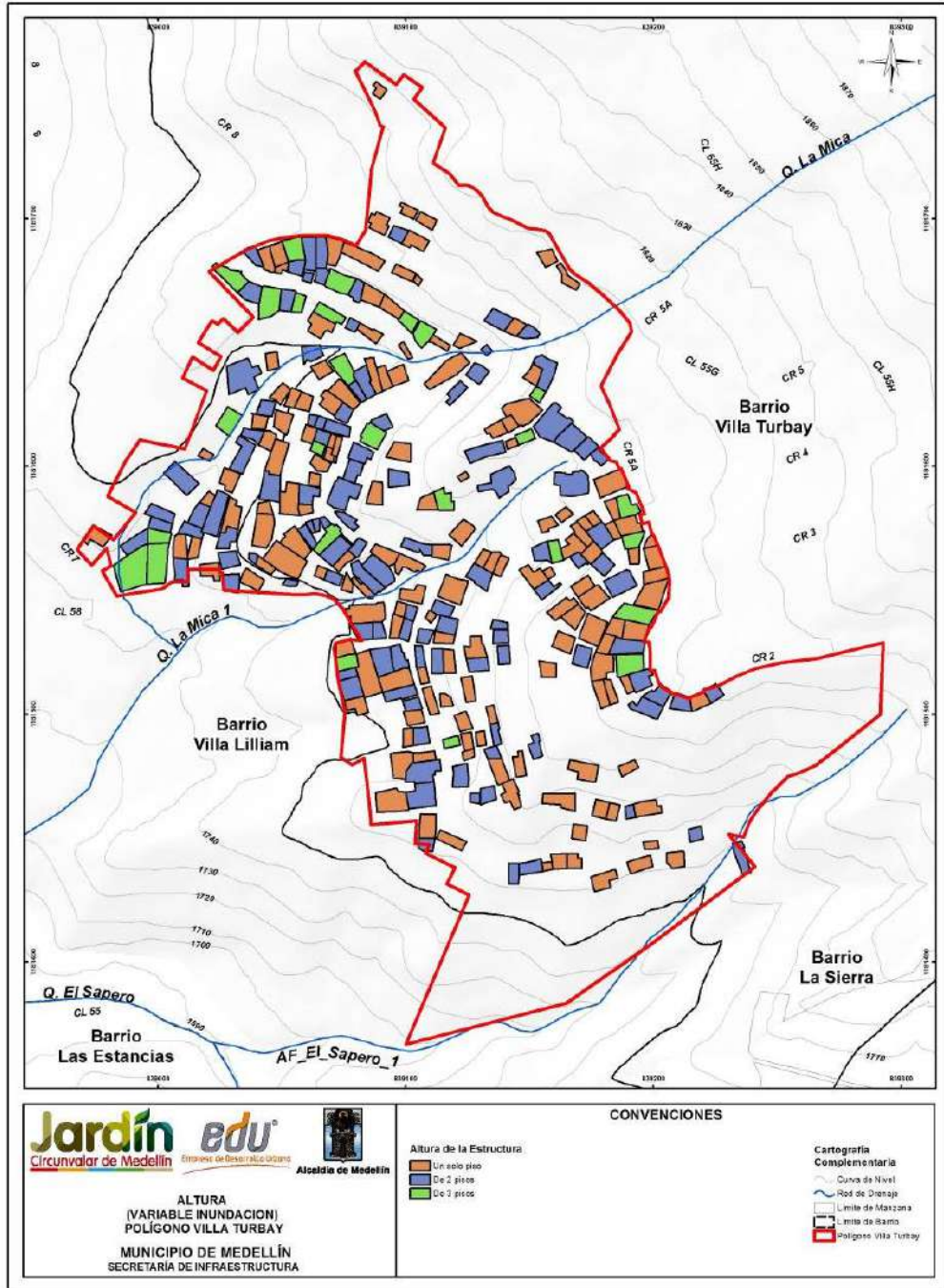
- ✓ En el polígono de Villa Turbay la gran mayoría de las estructuras poseen un tipo de estructura en Mampostería con un 83.67% y el 16.33% restante corresponde a las construcciones Ligeras (Tabla 78).
- ✓ El polígono Villa Turbay presenta en su mayoría estructuras en estado Medio, esto significa que estructuralmente se cuentan con viviendas de materiales tradicionales (mampostería) en un estado aceptable, sin llegar a estar completamente buenos. Esta calificación de estado Medio tiene un porcentaje de viviendas de 83.67%. El estado que le sigue es el Malo con un 14%. En menor porcentaje se encuentran las estructuras Buenas con el 2.33% (Tabla 79).
- ✓ En el polígono de Villa Turbay un poco más de la mitad de las viviendas inspeccionadas poseen un solo piso con un 53% del total. Le siguen las construcciones de 2 pisos con un 38.33%. En menor porcentaje se encuentran las edificaciones de 3 pisos con un 8.67% (Tabla 80).
- ✓ En casi la mitad de las estructuras presentes en el polígono de Villa Turbay se tiene una densidad Muy baja con un 75%. Le siguen las construcciones con densidad Baja con un 17%. En menores porcentajes se encuentran las estructuras con densidades Medias y Altas con un 6% y 2% respectivamente (Tabla 81).

	<p align="center"> SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA “ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN” INFORME POLIGONO VILLA TURBAY </p>	
---	---	---

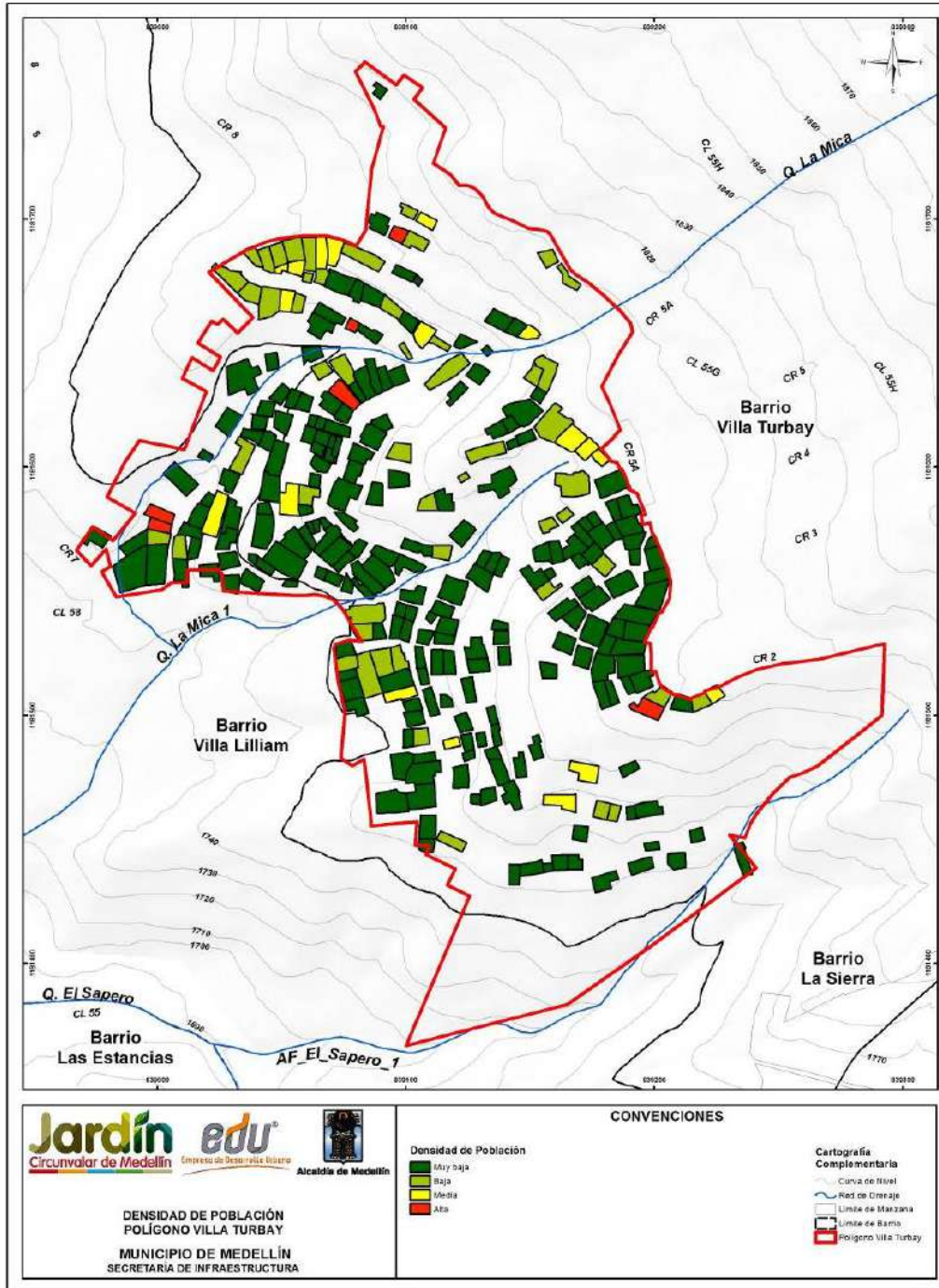
De igual forma, se evaluó la vulnerabilidad para las vías de acceso y equipamientos dentro del Polígono Villa Turbay. Para el caso de las vías, se tiene que el Factor de Vulnerabilidad por Densidad (FVD) y el Factor de Vulnerabilidad por Tamaño (FVT) son constantes con los valores 4 y 4 respectivamente, asociados a Alta Densidad debido a la circulación de personas y vehículos y considerando que son estructuras de una planta. Para el caso de los equipamientos, su grado de vulnerabilidad sigue siendo el indicado por la misma metodología y factores aplicados en el análisis de vulnerabilidad de las edificaciones. En el Mapa 68 se presenta el resultado del análisis de vulnerabilidad física ante inundaciones en el Polígono Villa Turbay para las Vías de Acceso y Equipamientos.



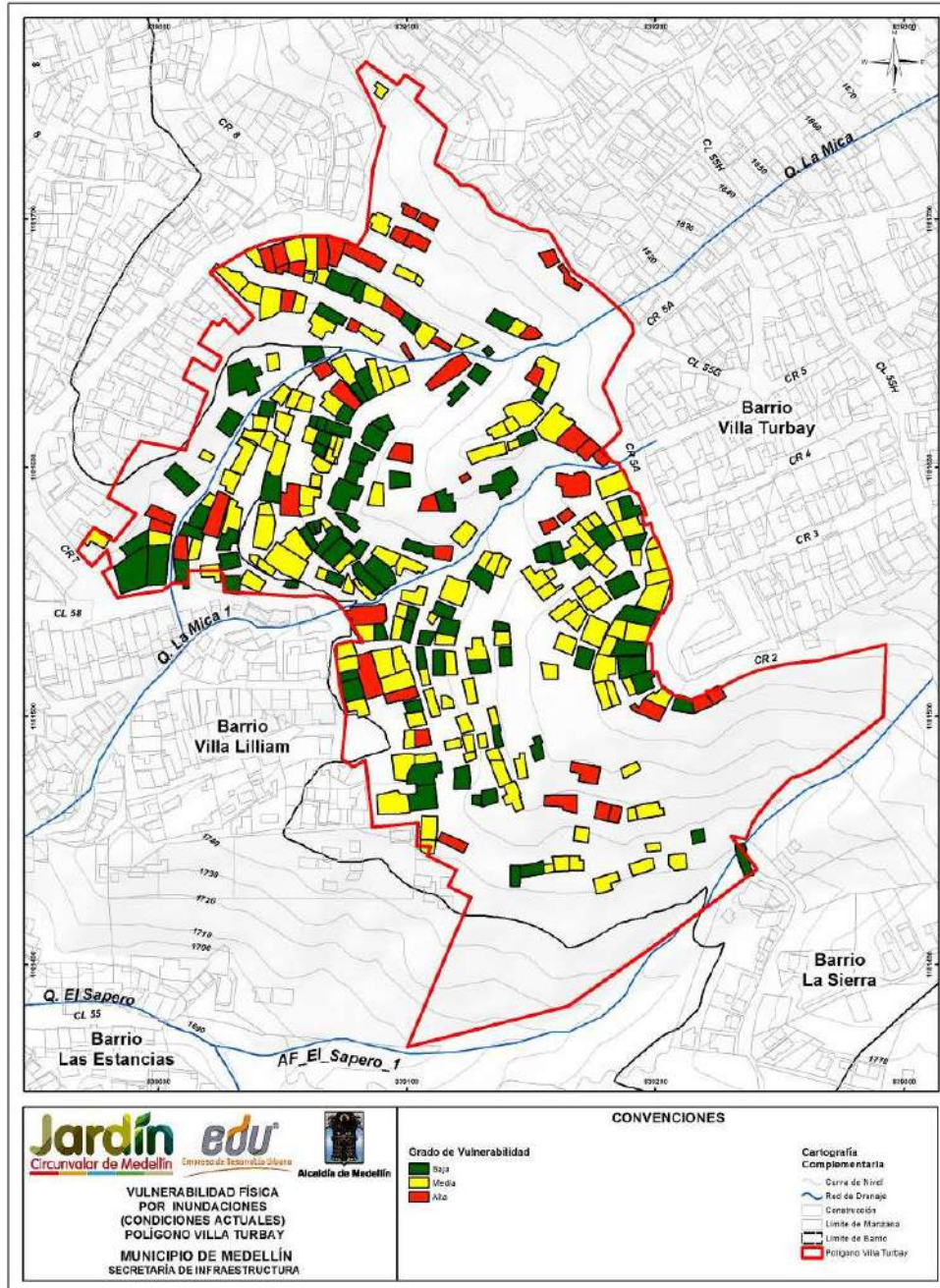
Mapa 64. Localización espacial del estado de estructura por inundación en el Polígono Villa Turbay
 (32_VTBEstadoEstructura_Medellin_C y 32_VTBEstadoEstructura_Medellin_T)



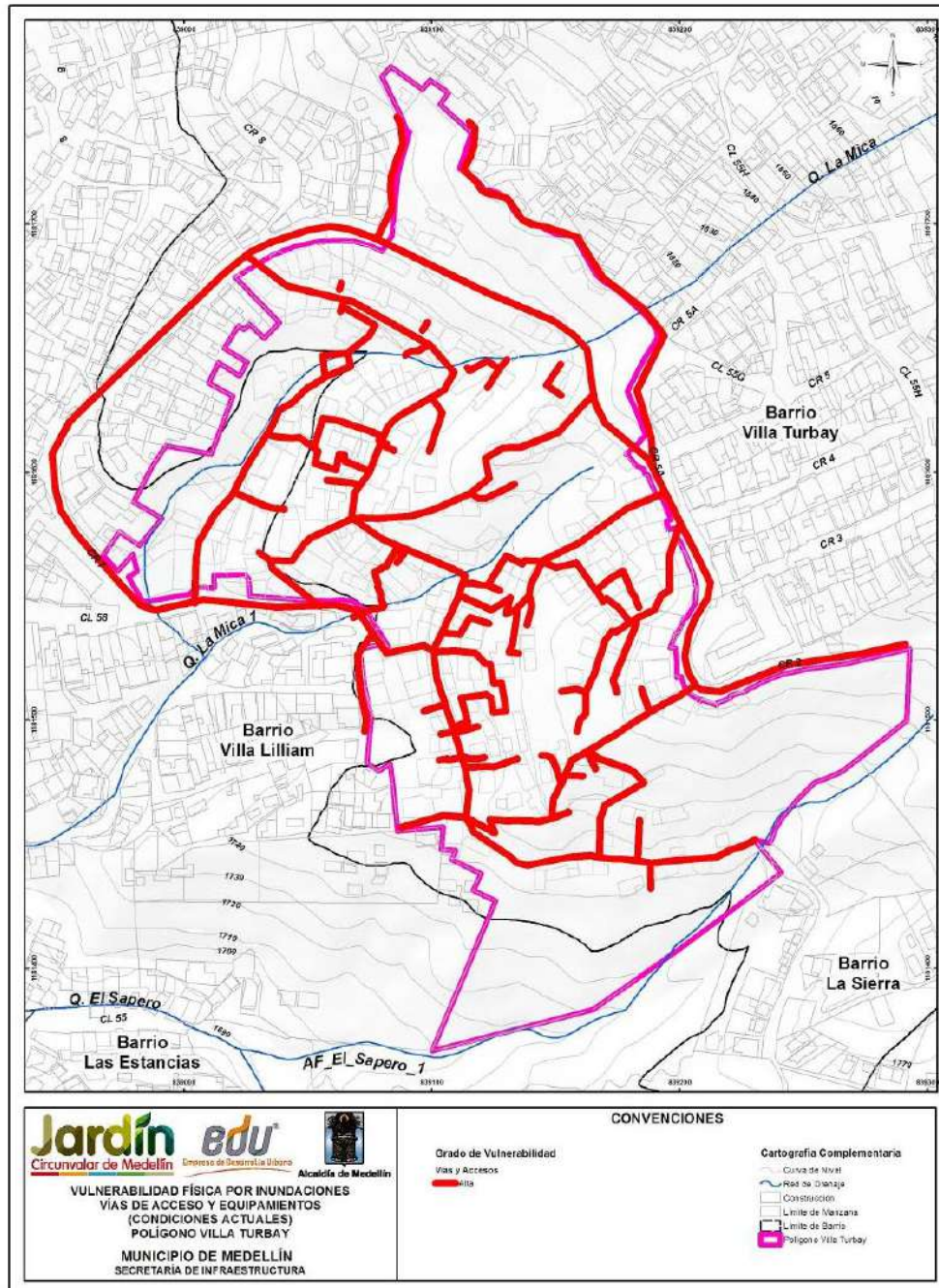
Mapa 65. Localización espacial de la altura de estructura por inundación en el Polígono Villa Turbay (33_VTBAlturadelaConstrucción_Medellin_C y 33_VTBAlturadelaConstrucción_Medellin_T)



Mapa 66. Localización espacial la densidad de la población en el Polígono Villa Turbay (34_VTBDensidaddePoblación_Medellin_C y 34_VTBDensidaddePoblación_Medellin_T)



Mapa 67. Análisis de vulnerabilidad para inundaciones y avenidas torrenciales en el Polígono Villa Turbay
 (38_VTBVulnerabilidadFisicaporInundaciones_Medellin_C y 38_VTBVulnerabilidadFisicaporInundaciones_Medellin_T)



Mapa 68. Análisis de vulnerabilidad física ante inundaciones en el Polígono Villa Turbay para las Vías de Acceso y Equipamientos
(47_VTBVulnerabilidadInundacionAccesosEquipamientos_Medellin_C y
47_VTBVulnerabilidadInundacionAccesosEquipamientos_Medellin_T)

16.4 SOPORTE FOTOGRÁFICO DE LAS ESTRUCTURAS

De la Tabla 82 a la Tabla 84 se presenta el registro fotográfico tomado en el Polígono Villa Turbay.

Tabla 82. Registro fotográfico en el Polígono Villa Turbay



Tabla 83. Registro fotográfico en el Polígono Villa Turbay (Continuación)

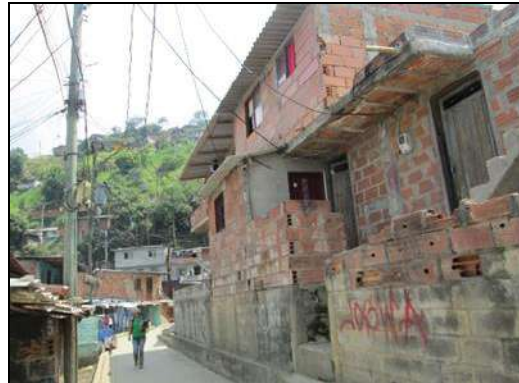
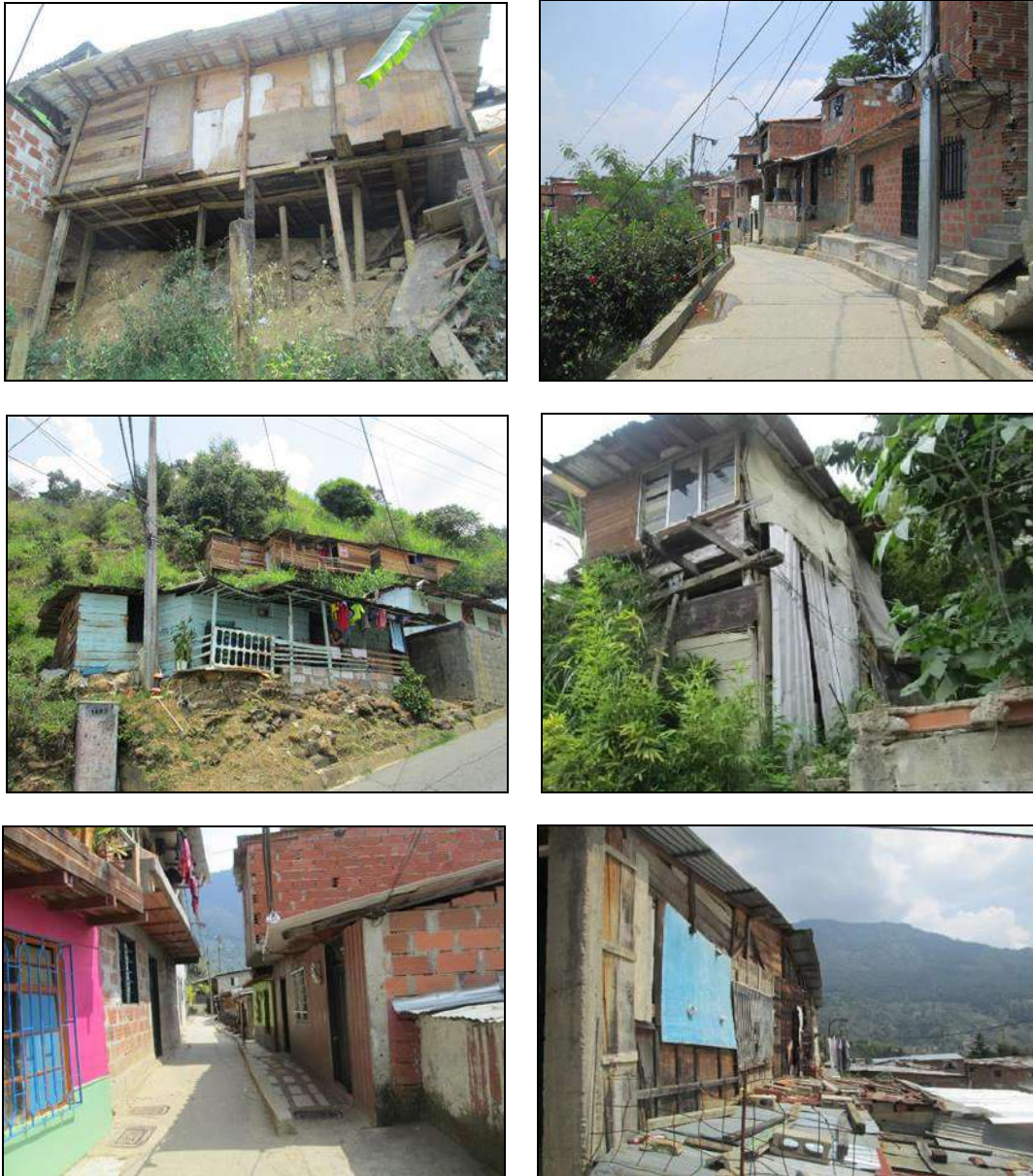




Tabla 84. Registro fotográfico en el Polígono Villa Turbay (Continuación)



	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

17. RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA

17.1 ASPECTOS GENERALES

Se entiende como riesgo aceptable aquel nivel en que los individuos o comunidades se muestran dispuestos a aceptar sin invertir recursos para la contención del mismo. El riesgo admisible o tolerable, por otro lado, es el nivel de riesgo hasta el cual el individuo o la comunidad están dispuestos a aceptar a cambio de ciertos beneficios o con cierta cantidad de inversión.

En el caso del Proyecto Barrios Sostenibles, el riesgo aceptable será el requerido para comparar cuando se tenga la evaluación de las condiciones actuales de la ladera, mientras que el riesgo admisible será aquel que sirva de comparación para cuando se tengan las condiciones de mitigación a través de la implementación de las medidas estructurales y no estructurales.



Actualmente, en Medellín no se tiene una categorización en términos de lo que corresponde a riesgo aceptable o admisible y en el mundo estos valores pueden variar dependiendo, por ejemplo, de la importancia de la obra y la vida útil de la misma. Whitman (1987) cuestionó la existencia de padrones o niveles para establecer el riesgo admisible, y en caso de que los mismos se fijen, podría resultar peligroso establecer un criterio inflexible que podría implicar durante la etapa de diseño la ejecución de análisis con precisiones posiblemente fuera de la realidad.

17.2 CÁLCULO DEL RIESGO

El riesgo está relacionado con la probabilidad de que se den consecuencias negativas desde el punto de vista de vidas y la infraestructura, de manera que se hace necesaria su estimación cuantitativa para la toma de decisiones. Estos análisis pueden llevarse a cabo, por ejemplo, en forma determinística, de modo que la estimación del impacto probable se hace con base en un evento o escenario o aleatorio, integrando el análisis de escenarios múltiples, cada uno con una frecuencia de ocurrencia dada, para obtener así una estimación genérica del riesgo (Yamín et al., 2013).

Las cuantificaciones son claves, puesto que permiten hacer determinaciones de una manera objetiva y reproducible, con resultados que se pueden comparar en distintas zonas. Más aún, ayudan a identificar vacíos en los datos de entrada y las posibles debilidades o falencias de los análisis empleados. La cuantificación es también útil para gestión del riesgo, debido a que permite integrar análisis de costo-beneficio y proporciona la base para la priorización de acciones de mitigación y designación de recursos. Además, facilita la comunicación entre profesionales, propietarios y tomadores de decisiones (Corominas et al., 2014). Analíticamente, el riesgo específico se podrá calcular con base en la siguiente expresión:

$$R = P(H_i) \cdot V \cdot E$$

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

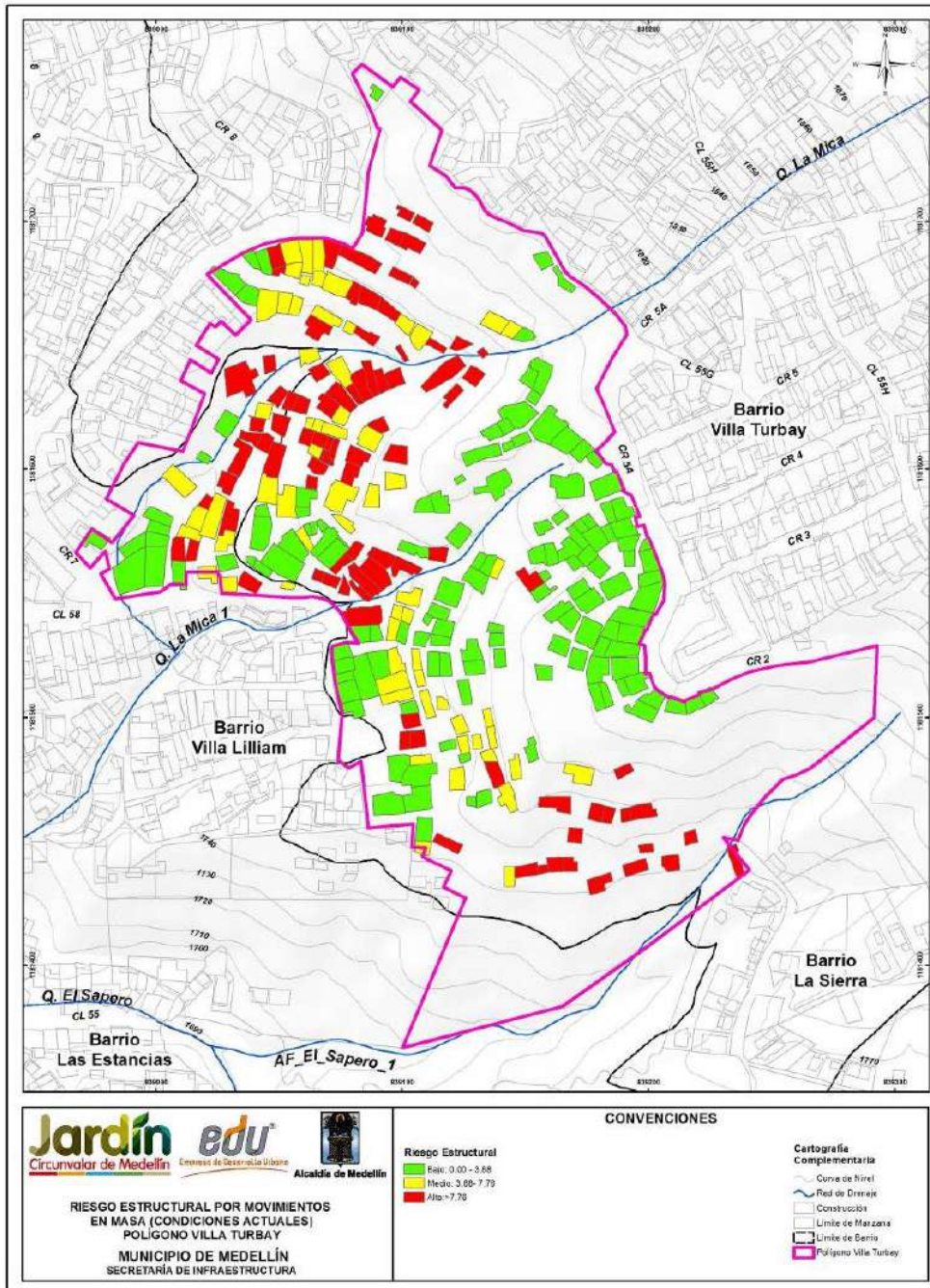
Donde, R es el riesgo específico o grado de pérdidas esperadas debido a una amenaza de magnitud o intensidad (H_i), que ha ocurrido en un área específica y en un tiempo dado. En este caso los escenarios de amenaza son el de movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales. $P(H_i)$ es la amenaza o probabilidad de ocurrencia de un movimiento en masa, inundación u avenida torrencial, con una magnitud o intensidad específica (H_i) en un tiempo dado y en un área específica. V es vulnerabilidad del elemento expuesto o la proporción de E probablemente afectada en forma negativa por el evento de magnitud (H_i) expresada en una escala entre 0 y 1 como en el caso de la vulnerabilidad por movimientos en masa. E es el valor total o costo de los elementos físicos expuestos o amenazados por la amenaza; para el caso de personas.

Teniendo en cuenta lo anterior, los términos a los que se quiere llegar con los análisis de riesgo, son análisis materializados bien sea representados en porcentajes de pérdidas, costos económicos o en pérdidas de vida. De esta forma se tendrá un valor tangible del riesgo que permitirá la toma de decisiones en cuanto al proyecto.

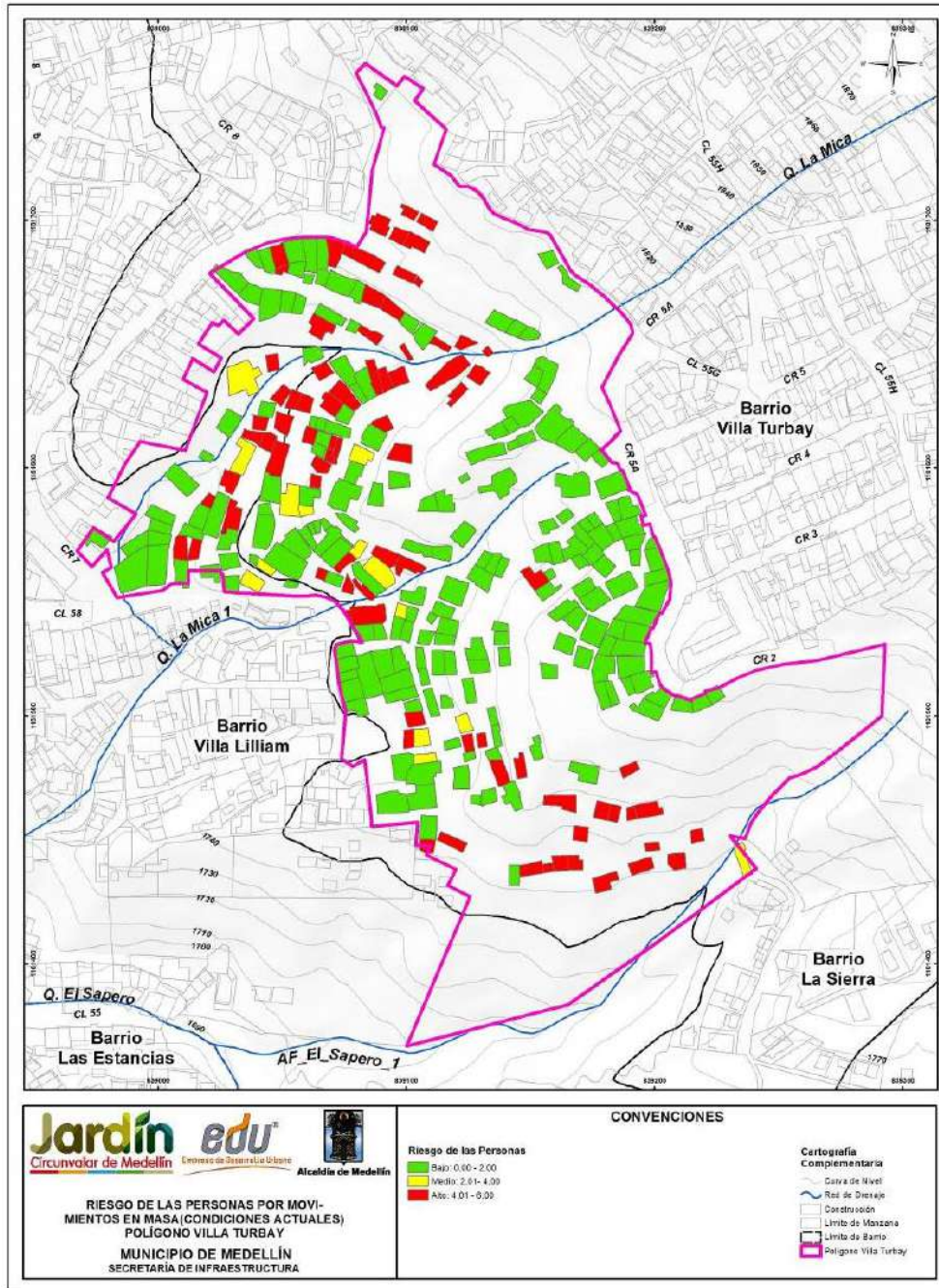
17.3 RESULTADOS

El análisis de riesgo por movimientos en masa se hizo considerando el mapa de amenaza por movimientos en masa proyectados para 50 años. En este último se consigna la probabilidad de falla total considerando la variabilidad de los parámetros y la actuación del sismo en 50 años. Se tuvieron en cuenta, además, los mapas de vulnerabilidad estructural y de personas presentados y analizados en el Numeral 16.2.4.

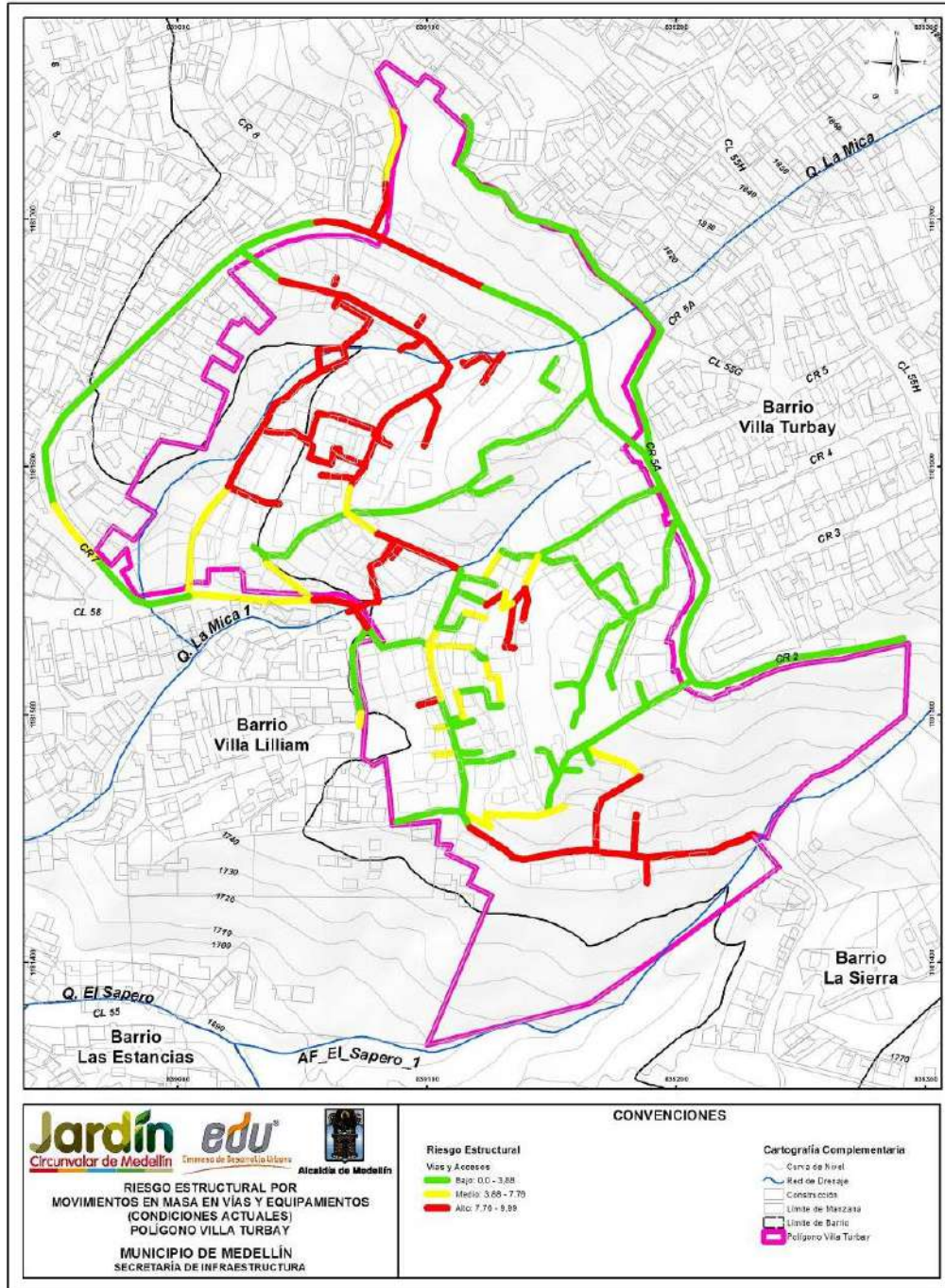
En Mapa 69 y en el Mapa 70 se presentan los resultados de los análisis de riesgo considerando las condiciones actuales de las viviendas, en términos de porcentaje de pérdidas económicas y en términos de porcentaje de pérdidas de vidas, respectivamente. El Mapa 71 presenta la categorización del riesgo por movimiento en masa de las vías de acceso del polígono, clasificándolo en riesgo bajo, medio y riesgo alto mitigable y no mitigable. Se puede observar que es más crítico el resultado del riesgo en términos de porcentaje de pérdidas económicas, obteniéndose un 32% de viviendas y vías de acceso con riesgo alto, principalmente en el sector noroccidental y suroriental del polígono. Al analizar las variables que finalmente permiten llegar a este resultado se puede determinar que es la presencia de focos de inestabilidad dentro del polígono, la responsable de los resultados obtenidos.



Mapa 69. Análisis de riesgo estructural de viviendas y construcciones por movimientos en masa en el Polígono Villa Turbay (39_VTBRiesgoEstructuralMovimientososenMasa_Medellin_C y 39_VTBRiesgoEstructuralMovimientososenMasa_Medellin_T)



Mapa 70. Análisis de riesgo de las personas por movimientos en masa en el Polígono Villa Turbay
(40_VTB Riesgo Personas Movimientos en Masa_Medellin_C y 40_VTB Riesgo Personas Movimientos en Masa_Medellin_T)



Mapa 71. Análisis de riesgo estructural de vías de acceso por movimientos en masa (48_EDPRiesgoEstructuralMovimientosenMasa_ViasEquipamientos_Medellin_C y 48_EDPRiesgoEstructuralMovimientosenMasa_ViasEquipamientos_Medellin_T)

Teniendo en cuenta los resultados anteriores, se generó un mapa de riesgo total que consistió en la unificación del riesgo estructural y el riesgo de las personas. Este mapa de riesgo total se hizo basados en la propuesta del Servicio Geológico Colombiano (SGC), en su Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa (2015).

Tabla 85. Matriz de unificación del riesgo de estructuras y de personas para determinar el riesgo total

RIESGO ESTRUCTURAS	RIESGO DE PERSONAS		
	BAJO	MEDIO	ALTO
BAJO	B	B	M
MEDIO	M	M	A
ALTO	M	A	A



Finalmente fue posible categorizar el riesgo en un solo mapa entre bajo, medio y alto donde la descripción de cada categoría se indica en la Tabla 86.

Tabla 86. Categorización del riesgo total

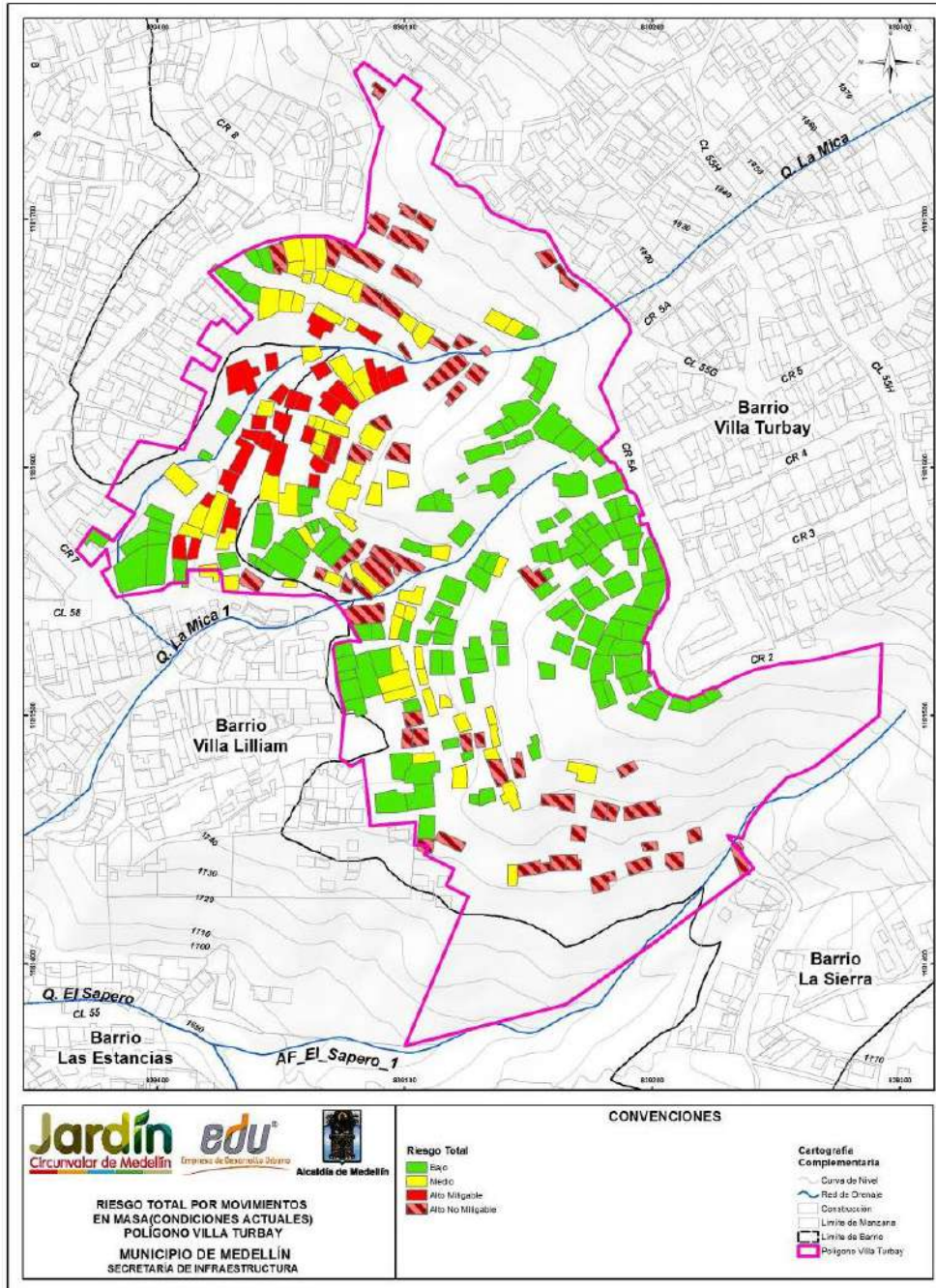
ALTO (A)	Alta probabilidad de víctimas fatales y lesiones serias en la población. La implementación de medidas de intervención es prácticamente inviable desde el punto de vista técnico. Se debe hacer una evaluación económica detallada para establecer la posibilidad de mitigación y disminución del nivel de riesgo. Las pérdidas por materialización de la amenaza superan en todos los casos los valores económicos de los bienes.
MEDIO (M)	Lesiones moderadas muy frecuentes, con alguna probabilidad de víctimas fatales. Se requiere evitar que el nivel de riesgo aumente, pero las medidas de intervención son en todo caso viables técnica y económicamente.
BAJO (B)	Probabilidad de víctimas fatales prácticamente nula. Es un riesgo aceptable y requiere tan solo medidas de prevención.

Adicionalmente, la categoría de riesgo alto fue subcategorizada en riesgo alto mitigable y riesgo alto no mitigable. Cuando los costos de reubicación de asentamientos e infraestructura exceden los costos de las alternativas de intervención propuestas, se considera que el riesgo es mitigable. Si por el contrario, los beneficios de la reubicación de asentamientos e infraestructura representan la mejor opción económica, se deduce que el riesgo es no mitigable.

En el Mapa 72 se presenta finalmente la clasificación del riesgo considerando incluso la subcategorización de riesgo alto mitigable y no mitigable. Se muestra que de las 300 estructuras, 140 de ellas presentan un riesgo bajo ante movimientos en masa (46.7%), 69 presentan riesgo medio ante movimientos en masa (23.0%) y 91 presentan riesgo alto ante movimientos en masa (30.3%). Se puede observar que las estructuras que

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	--	---

presentan riesgo alto se localizan a lo largo del polígono. Al analizar las variables que finalmente permiten llegar a este resultado, se puede determinar que es la presencia de focos de inestabilidad al interior del Polígono Villa Turbay, en sitios de cicatrices de procesos inactivos ocurridos hace veinte años, la responsable principal de los resultados obtenidos.



Mapa 72. Análisis de riesgo total de viviendas y construcciones por movimientos en masa para las condiciones actuales en el Polígono Villa Turbay (41_VTB Riesgo Total Movimientos en Masa_Medellin_C y 41_VTB Riesgo Total Movimientos en Masa_Medellin_T)

18. RIESGO POR INUNDACIONES Y AVENIDAS TORRENCIALES

18.1 METODOLOGÍA

A partir de los resultados de la evaluación de la amenaza y la vulnerabilidad por inundaciones y avenidas torrenciales, es posible evaluar finalmente el riesgo existente en el Polígono Villa Turbay ante este tipo de fenómenos.

De acuerdo con lo presentado en los capítulos de amenaza por inundaciones y avenidas torrenciales, la amenaza evaluada trae implícito la calificación de la intensidad del fenómeno y la magnitud de los daños potenciales. A su vez, la evaluación de la vulnerabilidad considera la densidad habitacional y la resistencia de las estructuras frente a este tipo de fenómenos. Con base en esto, la asignación del riesgo se realizó de manera cualitativa combinando los resultados de los niveles de amenaza y los niveles de vulnerabilidad según el esquema mostrado en la Figura 200.

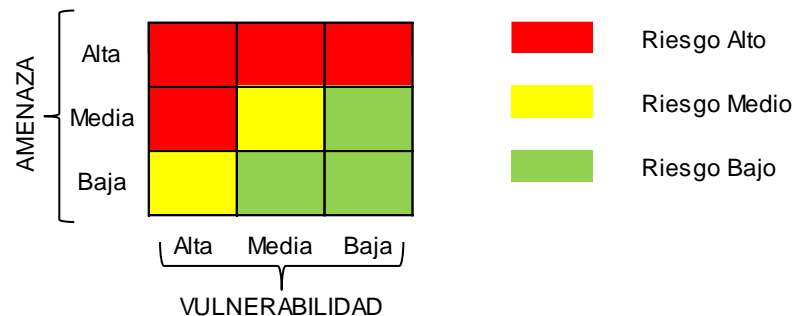




Figura 200. Clasificación del riesgo para inundaciones y avenidas torrenciales según el grado de amenaza y de vulnerabilidad

18.2 RESULTADOS

Luego de aplicar la metodología para la calificación del nivel del riesgo ante fenómenos de inundación, se obtuvieron los resultados que se presentan en el Plano P-2445-VT-43, donde se clasifica cada zona del polígono en categorías de riesgo alto, medio y bajo para las condiciones actuales.

Se considera como riesgo alto no mitigable aquel bajo el cual se encuentran las estructuras que por su cercanía al cauce su carácter de riesgo alto no puede ser reducido sin modificar sustancialmente las condiciones del cauce, de la corriente y de la estructura misma, y porque además se encuentran ubicadas parcial o totalmente al interior de la zona de retiro hidrológico. Por su parte, las estructuras clasificadas como riesgo alto mitigable corresponden a aquellas que bajo condiciones actuales se ven afectadas por insuficiencia hidráulica de obras existentes y cuya condición de riesgo alto puede eliminarse mediante algunas adecuaciones o ampliaciones de la capacidad hidráulica de estas obras.

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	--	---

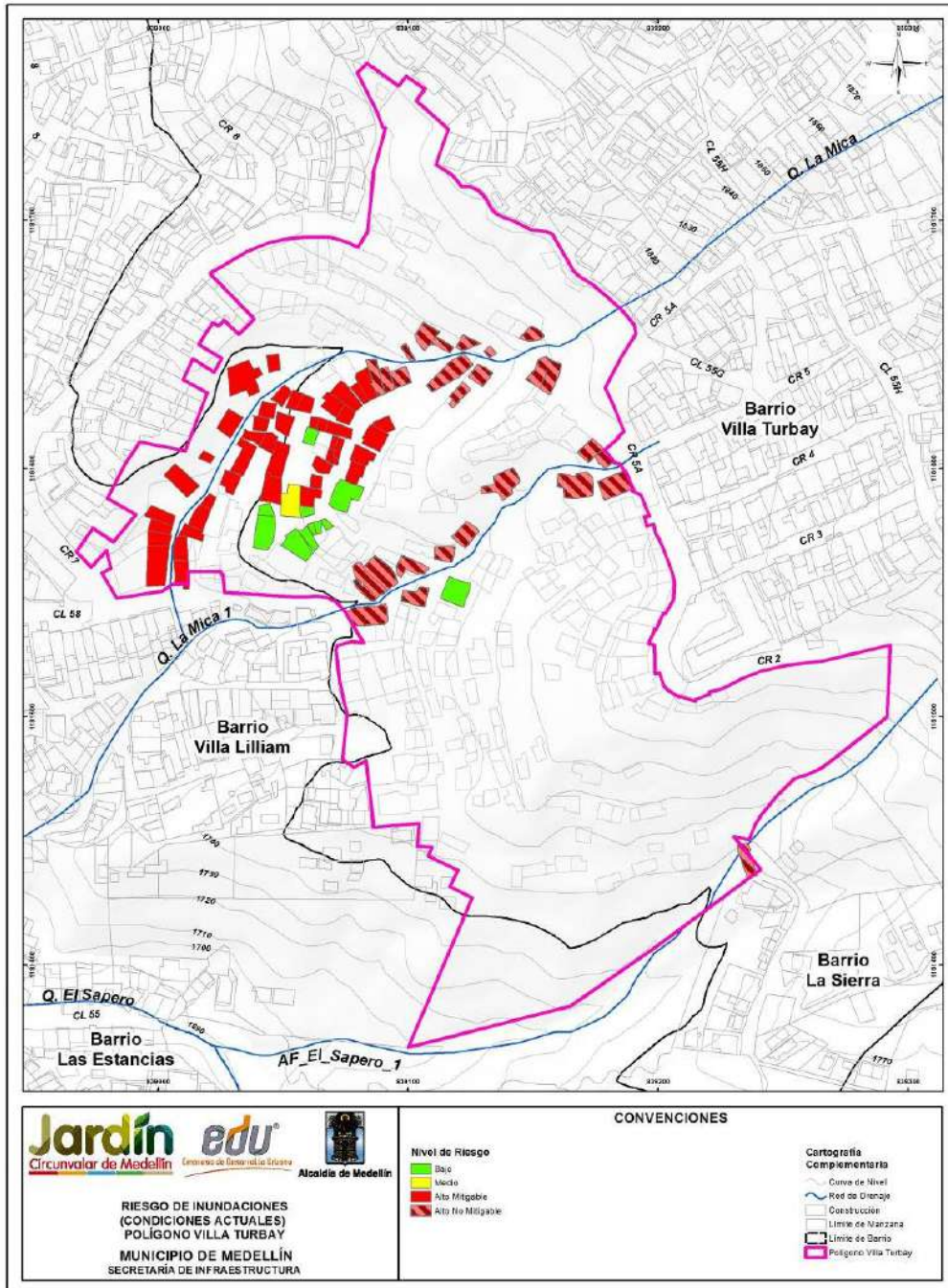
En el Polígono Villa Turbay la mayoría de las viviendas puestas en riesgo alto por inundación se debe a los derrames ocasionados por la intervención de la Quebrada La Mica hecha aguas arriba de la Estructura 1. Debido a la insuficiencia de la sección hidráulica aguas arriba de la Estructura 1, se genera un derrame que se extiende a través de los senderos peatonales y escaleras y que tiene contacto con las edificaciones (Mapa 73).

En la zona central del polígono las viviendas están bajo situación de riesgo alto por inundación debido a la cercanía que tienen con el cauce de la Quebrada La Mica 1, pudiendo estar así en contacto con la mancha del fenómeno.

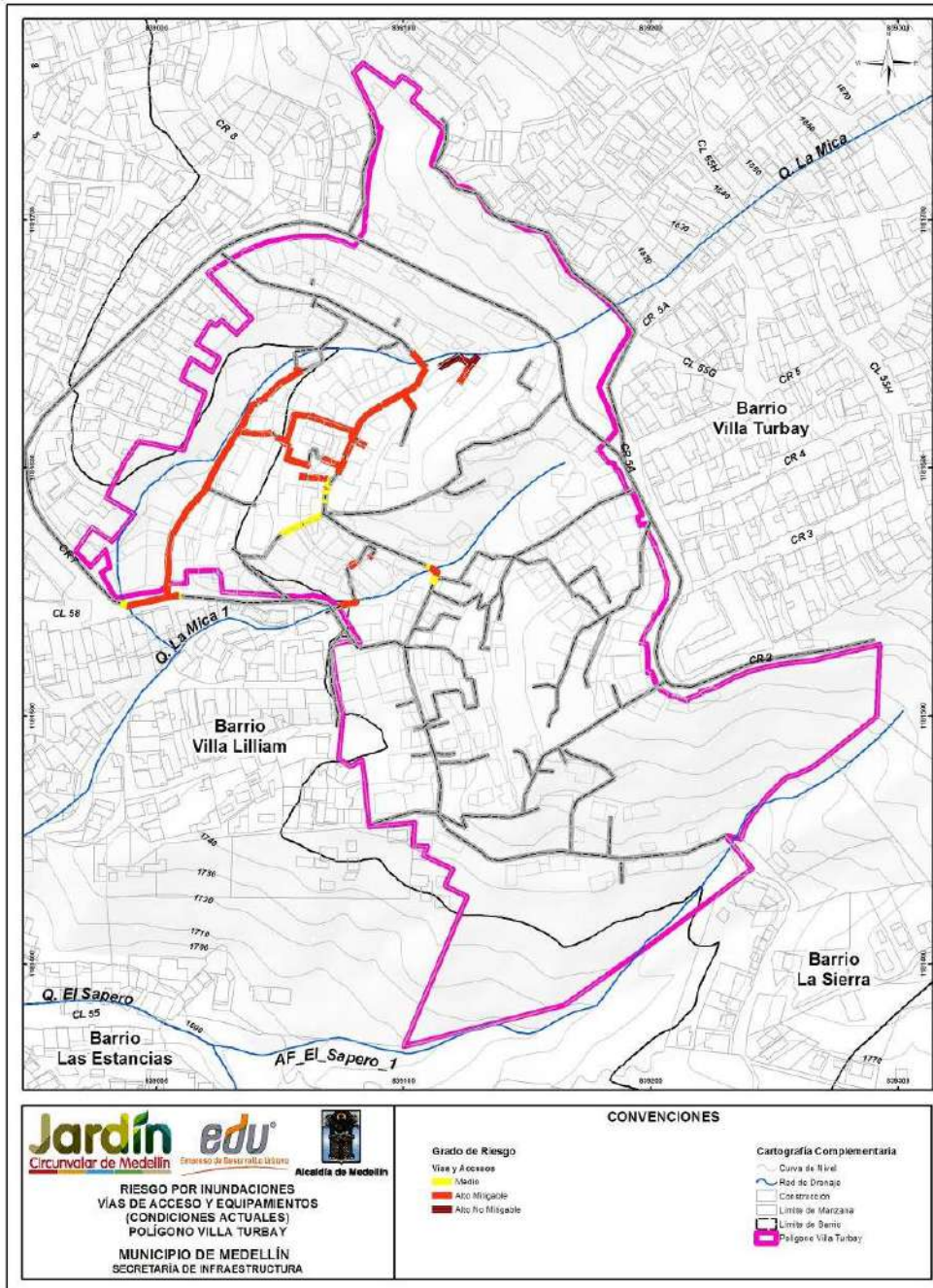
En el costado sur del polígono hay una vivienda con riesgo alto, situación debida a la cercanía de esta edificación con el cauce del Afluente el Saperó.

De igual manera, en el Mapa 74 se puede observar el nivel de riesgo para las vías de acceso. En aquellos tramos de corredores o vías de acceso donde la mancha de inundación asociada a un periodo de retorno de 100 años, en las quebradas La Mica y La Mica 1, intersecta estos corredores se generan condiciones de amenaza alta y de riesgo alto (según su vulnerabilidad). Por tanto, corresponde a un riesgo intrínseco a la ubicación del corredor respecto de la corriente hídrica. Las vías de acceso que se encuentran bajo alto riesgo por inundaciones al interior del Polígono Villa Turbay corresponden todas a corredores peatonales y no a vías vehiculares., donde para este último dada la ausencia de estructuras especiales no existe un grado de clasificación.

De acuerdo con lo expuesto en el Numeral 15.4, en el polígono de estudio no se presenta riesgo por avenidas torrenciales.



Mapa 73. Riesgo por inundaciones en condiciones actuales en el Polígono Villa Turbay para viviendas y construcciones (43_VTB Riesgo Inundaciones_Medellin_C y 43_VTB Riesgo Inundaciones_Medellin_T)



Mapa 74. Riesgo por inundaciones en condiciones actuales en el Polígono Villa Turbay para las vías de acceso y equipamientos (49_VTB Riesgo Inundacion Accesos Equipamientos_Medellin_C y 49_VTB Riesgo Inundacion Accesos Equipamientos_Medellin_T)

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
--	---	--

19. ANÁLISIS DE REDES DE SERVICIOS PÚBLICOS

En este capítulo se presenta el análisis complementario efectuado considerando la presencia de redes de servicios públicos al interior del Polígono Villa Turbay. Para llevar a cabo este análisis, se superpusieron dichas redes, según información entregada por la EDU a SIGA, en los mapas de amenaza por movimientos en masa y por inundaciones. Posteriormente se hizo una valoración de la vulnerabilidad de las estructuras correspondientes a las redes y con base en estos dos aspectos se hicieron análisis sobre el riesgo al que finalmente están expuestas las redes.

19.1 CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES EXISTENTES

En el Polígono Villa Turbay se presenta cobertura parcial de redes de acueducto y de alcantarillado de Empresas Públicas de Medellín (EPM), tal como puede observarse en el Mapa 76 o en el Mapa 76.



- ✓ En relación con la red de alcantarillado, las líneas existentes se encuentran distribuidas en diversas zonas del polígono, alineadas principalmente en sentido nororiente-suroccidente. La totalidad de las líneas de alcantarillado corresponden al tipo combinado, en concreto, con diámetros de 200 mm principalmente.
- ✓ De igual forma, la red de acueducto presenta líneas distribuidas por diferentes zonas del polígono, correspondiendo casi todas a materiales de policloruro de vinilo (PVC), con diámetros que oscilan entre 75 mm y 200 mm.
- ✓ En relación con las redes de gas, este polígono no cuenta con cobertura de este tipo de redes por parte de EPM.

Con la finalidad de detectar si existen otras redes de servicios públicos diferentes a las de EPM, se superpuso el levantamiento topográfico realizado por La EDU con el mapa de las redes de EPM. Este ejercicio permitió concluir que algunas de las redes que presenta la información de topografía de La EDU no está contenidas en la información de EPM, y que existen algunas cámaras de inspección ubicadas en el costado noroccidental del polígono probablemente asociadas a redes de alcantarillado combinado.

Adicionalmente, no se descarta la existencia de líneas de tuberías o mangueras instaladas por la comunidad para el suministro de agua hacia la parte alta del polígono, las cuales quedan por fuera del alcance general del presente estudio.

19.2 SUPERPOSICIÓN EN MAPAS DE AMENAZA

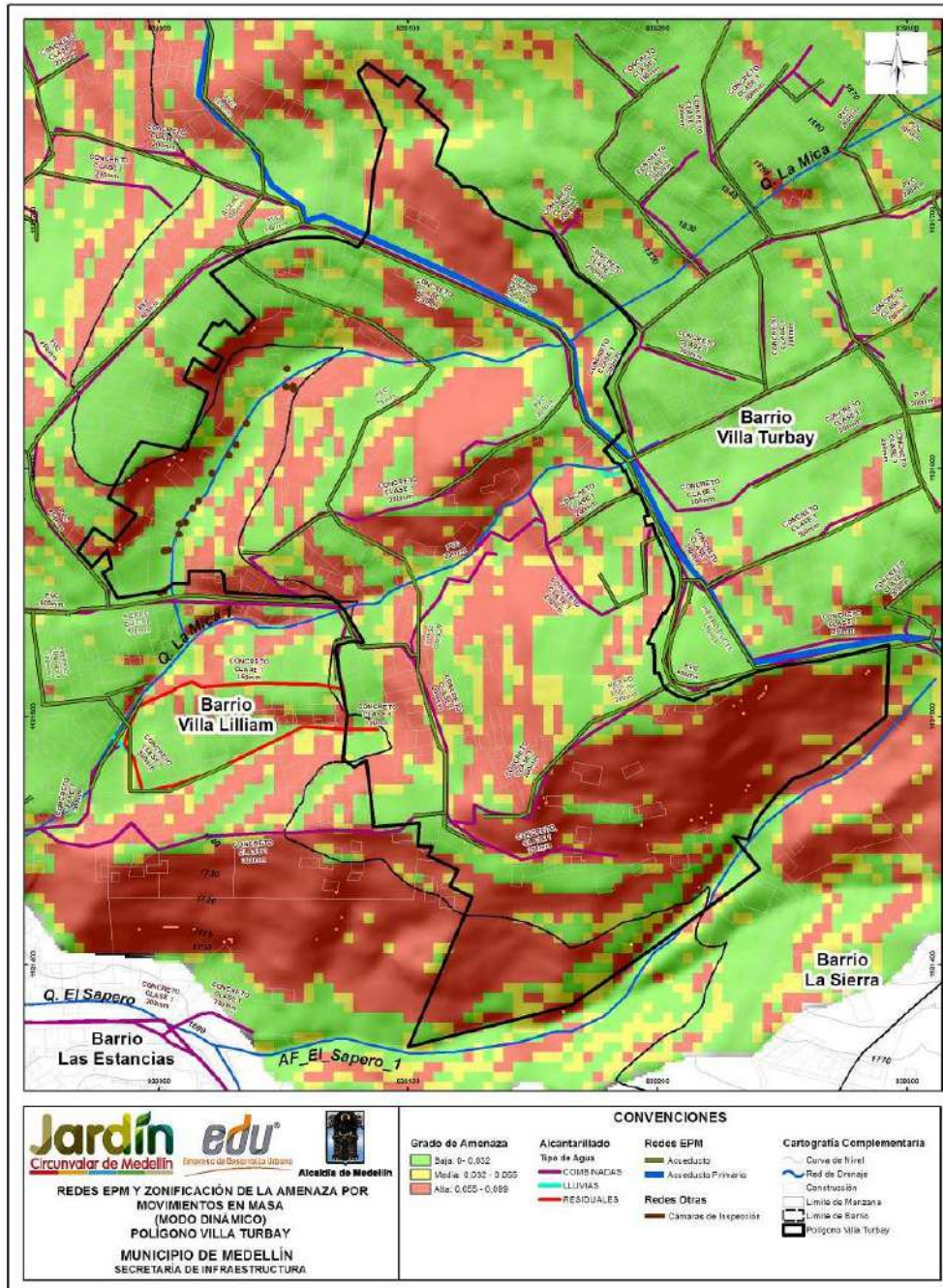
Se presentó en este informe el mapa de zonificación de la amenaza considerando la variabilidad de los parámetros de resistencia al corte y el efecto del sismo para un periodo de exposición de 50 años. En el Mapa 75 se presenta este mismo mapa pero sobre él se han superpuesto las redes de servicios públicos diferenciándose con las debidas convenciones los diferentes tipos de redes.

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	--	---

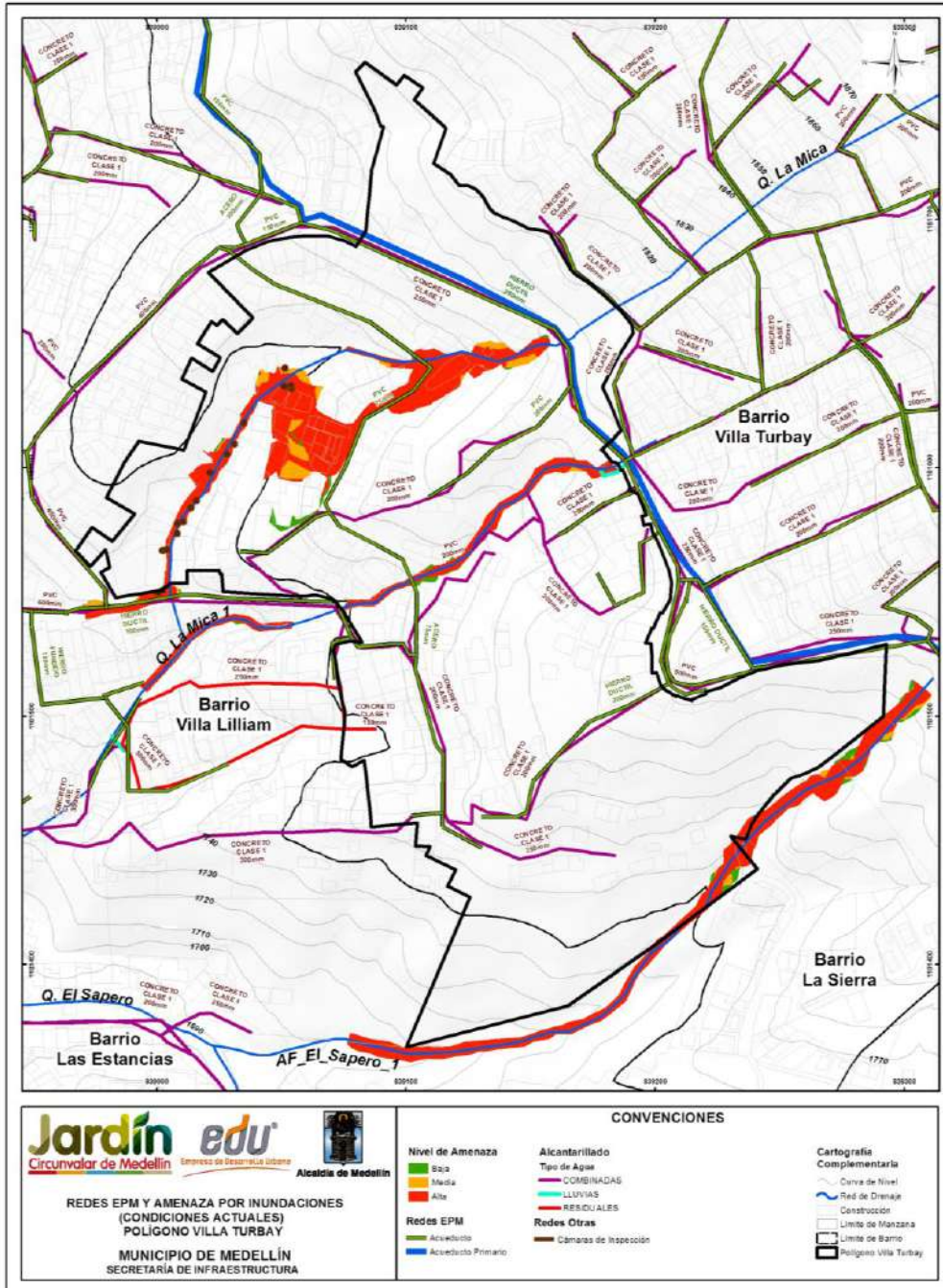
La superposición efectuada sobre el mapa de amenaza por movimiento en masa mostrada en el Mapa 75, permite ver diferenciadas las redes de acueducto, alcantarillado y gas sobre el mapa de amenaza por movimiento en masa proyectado para 50 años considerando la variabilidad de los parámetros de resistencia al corte y la acción de un sismo de 0.25g. Resultan especialmente importantes de analizar los tramos de redes que se encuentran en zonas de amenaza alta, al interior del polígono como tal. Se resalta el hecho de que gran parte del polígono presenta una inestabilidad potencial alta debido a las pendientes de las laderas, en conjunto con los parámetros de resistencia al corte y el sismo de diseño. En este sentido, se resaltan varios tramos en las redes de acueducto y alcantarillado de EPM que cruzan el polígono en sentido de noreste a suroeste, norte a sur y sur a norte. Se trata de redes de acueducto construidas en su gran mayoría con tuberías de policloruro de vinilo (PVC) con diámetro de 75 mm a 100 mm y redes de alcantarillado construidas con tuberías en concreto de 200 mm a 250 mm y un tramo de policloruro de vinilo (PVC) con diámetro de 200 mm.

En este informe se presentaron los mapas de amenaza por inundaciones para el Polígono Villa Turbay. En el Mapa 75 se presenta este mismo mapa pero sobre él se han superpuesto las redes de servicios públicos diferenciándose con las debidas convenciones los diferentes tipos de redes, las cuales se presentan además de forma independiente en el Mapa 76. En el Capítulo 15 se demostró que el Polígono Villa Turbay no presenta amenaza ante fenómenos de avenidas torrenciales. Por esto, los análisis de las redes de servicios públicos no se han llevado a cabo considerando este tipo de amenaza.



La superposición efectuada sobre el mapa de amenaza por inundaciones en condiciones existentes, mostrada en el Mapa 76, permite determinar que más del 70% de las redes de servicios públicos existentes al interior del Polígono Villa Turbay se encuentran por fuera de las zonas de amenaza alta por inundaciones. En relación con la red de alcantarillado de EPM, se presenta intersección de la mancha de amenaza con la descarga de algunos aliviaderos de la red hacia la Quebrada La Mica 1, lo cual es una situación típica y normal en las descargas de estos elementos por su inevitable cercanía puntual a las fuentes hídricas. En relación con la red de acueducto de EPM, se destaca la línea de 75 mm de diámetro en PVC ubicada sobre la Calle 55EE, en la parte norte del polígono, que cruza una amplia zona de amenaza alta por inundaciones. De igual forma, las redes existentes diferentes a las de EPM se encuentran ubicadas en una zona de amenaza alta por inundaciones. Sin embargo, en condiciones proyectadas, la amenaza alta es eliminada especialmente en la zona norte del polígono, implicando con ello que quedan también fuera de amenaza más del 95% del total de las redes.



Mapa 75. Redes de servicios públicos sobre mapa de zonificación de la amenaza por movimientos en masa proyectado para 50 años considerando la variabilidad de los parámetros y la acción del sismo de 0.25g (VTBRedesEPMYAmenazaMovimientosenMasa_Medellin_C)



Mapa 76. Superposición de redes de servicio público sobre la amenaza por inundaciones (VTBRedesEPM_Medellin_C)

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

19.3 ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD DE LAS REDES

La vulnerabilidad de las redes depende del tipo de tubería que se esté usando. Para este sitio en particular, en el alcantarillado se han encontrado tuberías en concreto no reforzado y en policloruro de vinilo (PVC), y para el acueducto en policloruro de vinilo (PVC) y en hierro dúctil (HD). Algunas características de estas tuberías son mostradas a continuación, en los Numerales 19.3.1 a 19.3.3. En el numeral 19.3.4 se presentan conclusiones finales con respecto a la vulnerabilidad.

19.3.1 Tubería en concreto no reforzado (Clase 1 y Clase 2)

Son tubos de concreto sin refuerzo, de sección circular y son utilizados en la conducción de aguas lluvias, de aguas negras y de residuos líquidos industriales, para drenajes de vías y, en general, como conductos no sometidos a presión hidrostática interna. Dependiendo de la resistencia del concreto, la tubería se clasifica en tipo 1 y en tipo 2. Estas tuberías son fabricadas bajo las especificaciones descritas en la Norma Técnica Colombiana NTC 1022 (2014). Las uniones de las tuberías de concreto no reforzado y las de concreto reforzado son uniones de espigo-campana con empaque de caucho. Las tuberías de concreto son tuberías clasificadas como tuberías rígidas, cuya sección transversal no se puede distorsionar, sin causar colapso.

19.3.2 Tubería en Policloruro de Vinilo (PVC)

Los tramos de PVC en las tuberías de acueducto, generalmente presentan un comportamiento bueno. Cuando se presentan daños por fugas, éstas ocurren en las conexiones. Por esta razón, la parte más vulnerable ante los efectos en masa son las conexiones.

19.3.3 Tubería en Hierro Dúctil (HD)



Es una tubería antigua que se instaló hasta finales de la década de 1970 fabricada con acero sin recubrimiento. El ángulo máximo de deflexión de las campanas es de 5°.

19.3.4 Vulnerabilidad de los diferentes tipos de redes

Según la descripción anterior, las conexiones de las tuberías de concreto sin refuerzo, de hierro dúctil y las de PVC tienen una baja capacidad de deformación diferencial horizontal y se concluye entonces que estas son altamente vulnerables ante un movimiento en masa. Este tipo de estructuras también es vulnerable a un lavado del material de fundación debido a una inundación o a una avenida torrencial cerca de los cauces de quebrada.



19.4 EVALUACIÓN DEL RIESGO DE LAS REDES

Teniendo en cuenta la alta vulnerabilidad de las redes de servicios públicos, como se explicó en el numeral anterior, se concluye que el riesgo en el cual se encuentran las ubicadas justo en las zonas de amenaza alta por deslizamiento es también alto. Se

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	--	---

recomienda entonces que se evalúe en conjunto con E.P.M. la situación de riesgo de las redes en este polígono para que se hagan los correctivos del caso.

En relación con el riesgo de las redes de servicios públicos por inundaciones, en los apartados anteriores se concluyó que más del 70% de las redes de servicios se encuentran fuera de la zona de amenaza en condiciones existentes, por lo que es posible afirmar también que en la misma proporción estas redes se encuentran fuera de riesgo por inundaciones. Adicionalmente, en condiciones proyectadas las redes existentes quedarán casi en su totalidad por fuera de riesgo por inundaciones.

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

20. ZONAS DE RETIRO HIDROLÓGICO Y GEOLÓGICO

20.1 JUSTIFICACIÓN



De acuerdo con los aspectos que son necesarios incluir en el estudio de los diferentes polígonos del Proyecto Barrios Sostenibles, se deben realizar los ajustes a las hidrologías e hidráulicas de las Quebradas La Castro (Polígono Esfuerzos de Paz), La Loquita (Polígono Pinares de Oriente), La Mica y Af. El Saperó 1 (Polígono Villa Turbay) y determinar los respectivos retiros hidrológicos y geológicos. Así las cosas, se presenta y discute en este numeral el respectivo retiro hidrológico y geológico para la Quebrada La Mica y la Quebrada Af. El Saperó 1 del Polígono Villa Turbay.

20.2 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Como se indica en el documento “DISEÑO DE LA METODOLOGÍA PARA LA FORMULACIÓN DE PLANES INTEGRALES DE ORDENAMIENTO Y MANEJO DE MICROCUENCAS (PIOM)”, elaborado por la Universidad Nacional de Colombia para el instituto Mi Río en el año 2002 (Universidad Nacional de Colombia, 2002), los retiros a las corrientes de agua se refieren a zonas alrededor de los cauces que los contiene, en las que se imponen restricciones sobre el uso del suelo y algunas intervenciones antrópicas. Tradicionalmente se ha relacionado la zona de retiro como una franja definida por líneas paralelas a ambos lados de la corriente y a una distancia predefinida de los bordes del cauce en condiciones de máxima inundación. Se entiende por zona de retiro la faja de terreno paralela a las líneas de máxima inundación o al borde superior del canal natural o artificial. En este documento, se indica que para determinar el retiro hidrológico y geológico, se deben incluir los siguientes aspectos:

- ✓ La zona del cauce, el lecho y las márgenes evidentes de la corriente para el flujo de aguas máximas promedias, conocida en la morfología como bancallena. Como se indica en el documento antes citado, en esta zona, excepto la recreación pasiva, no se puede hacer ninguna intervención antrópica sin la autorización específica de la autoridad ambiental.
- ✓ En el contexto de la prevención de desastres en la zona de retiro se debe incluir toda el área donde la dinámica del cauce y su flujo constituyen factores de riesgo. Así se considera la zona donde en las grandes crecidas de la corriente, los niveles del agua o las velocidades del flujo, determinan la existencia de condiciones de amenaza hidrológica alta. Como se indica en el documento antes citado, en esta zona no se pueden construir edificaciones permanentes o de ocupación permanente, ni se pueden hacer modificaciones en el terreno que puedan obstaculizar o modificar el flujo de las aguas y sus sedimentos durante las crecidas.
- ✓ La zona donde la estabilidad de las márgenes y las riberas constituyen amenaza geotécnica alta.

Por otro lado, se indica en el documento “PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA DEL RÍO ABURRÁ (POMCA)”, elaborado por la Universidad Nacional de

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

Colombia para Cornare, Corantioquia y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá en el año 2005 (Universidad Nacional de Colombia, 2005), que en el marco del Decreto 1729 de 2002 las autoridades ambientales deben formular los Planes de Ordenación de las Cuencas POMCA y es a través de este instrumento de planificación que se identifican para cada cuenca la franja o zona de retiro a los cuerpos de agua. El ancho de estas debe estar sustentado en los estudios técnicos hidrológicos y con base en los resultados de estos estudios se debe concertar con los propietarios de los predios los usos permitidos, prohibidos y compatibles con la decisión del POMCA. Así las cosas, es necesario establecer desde el POMCA lineamientos y acciones que permitan definir de una manera más clara las zonas de retiro.



A continuación, se presenta de forma resumida la propuesta para la delimitación de las zonas de retiro a corrientes implementada a través del POMCA en los Planes de Ordenamiento Territorial (POT) de los municipios con presencia en la Cuenca del río Aburrá.

En primer lugar, hay que tener en cuenta que deben considerarse, entre otros aspectos, los siguientes:

- ✓ Al interior del cauce no deben ubicarse edificaciones ni construcciones, ya que representan una zona de alto riesgo a la inundación. Los retiros quedan definidos entonces a partir del cauce (Tr=10 años).
- ✓ Los retiros asociados a las consideraciones geológicas y de corredores ribereños se miden a partir del cauce (Tr =10 años).
- ✓ Las franjas de retiro se construyen a partir de criterios hidrológico, geológico, vegetación de ribera y la instalación de redes de servicios. El retiro a corrientes será delimitado por la envolvente de las franjas definidas por cada uno de ellos.

En el caso particular de los polígonos en estudio, se consideran los aspectos mencionados, pero en cuanto a franjas de retiro, se tienen en cuenta las correspondientes a criterios hidrológicos y geológicos, con respecto a los cuales se anota en el documento que se viene citando lo siguiente:

- ✓ El **retiro hidrológico** corresponde a una zona de amenaza alta a la inundación, que se reserva para que la corriente transcurra sin ocasionar problemas tanto en condiciones normales como en crecientes. Su determinación exige que se diferencie la ubicación del sitio en el perfil altitudinal de la corriente, para determinar si se está en cauce de montaña (parte alta), piedemonte (parte media) o llanura aluvial (parte baja).
- ✓ El **retiro asociado a la amenaza geológica** corresponde a una franja de terreno ubicada en ambos lados del cauce (Tr=10 años) en las corrientes naturales. La zona aledaña al cauce, puede tener una inclinación natural que la hace susceptible a movimientos en masa. Se determina entonces, el retiro geológico con base en una superficie teórica en el talud respecto a la horizontal y a los procesos erosivos asociados al cauce. La determinación del ancho de la franja de retiro geológico, se

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

inicia con la zonificación de la amenaza por movimientos en masa. Esta zonificación asigna valores cualitativos (amenaza alta, media o baja) a porciones del terreno diferenciables con base en las características geotécnicas. Adicionalmente, se requiere como insumo un reconocimiento de los procesos erosivos asociados al cauce. El retiro geológico se calcula de una manera diferencial según el tipo de amenaza, como se indica a continuación:



En las zonas en las que la amenaza por movimientos en masa sea baja, no se considerará retiro por estabilidad de las laderas. El retiro en esta zona quedará determinado por los demás retiros considerados, que en este caso en particular se trata del retiro hidrológico.

En las zonas en las que la amenaza por movimientos en masa sea media, se establecerá un retiro dado por una superficie de falla teórica de los taludes aledaños al cauce con una inclinación respecto de la horizontal de 50° a 70° trazada a partir del cauce. Este retiro debe ser ajustado comprobando que el espesor de la franja dada por la superficie de falla teórica, incluya completamente cualquier movimiento en masa presente en las laderas aledañas al cauce, e inclusive, que queden algunos metros más de terreno, de 5 m a 10 m. Si la parte superior de los movimientos en masa sobrepasa la franja, el retiro debe ser llevado hasta que la incluya y tenga 10 m más.

En las zonas en las que la amenaza por movimientos en masa sea alta, se establecerá un retiro de los taludes aledaños al cauce dado por una superficie de falla teórica con una inclinación de 45° respecto a la horizontal trazada a partir del canal dominante. Al igual que en las zonas de amenaza media, todos los procesos morfodinámicos deben quedar inmersos en la franja de retiro y contar con 10 m a 15 m más. De no ser así, dicha franja debe ser ampliada hasta que todos queden incluidos y cuente con 15 m más de terreno.

20.3 RESULTADOS

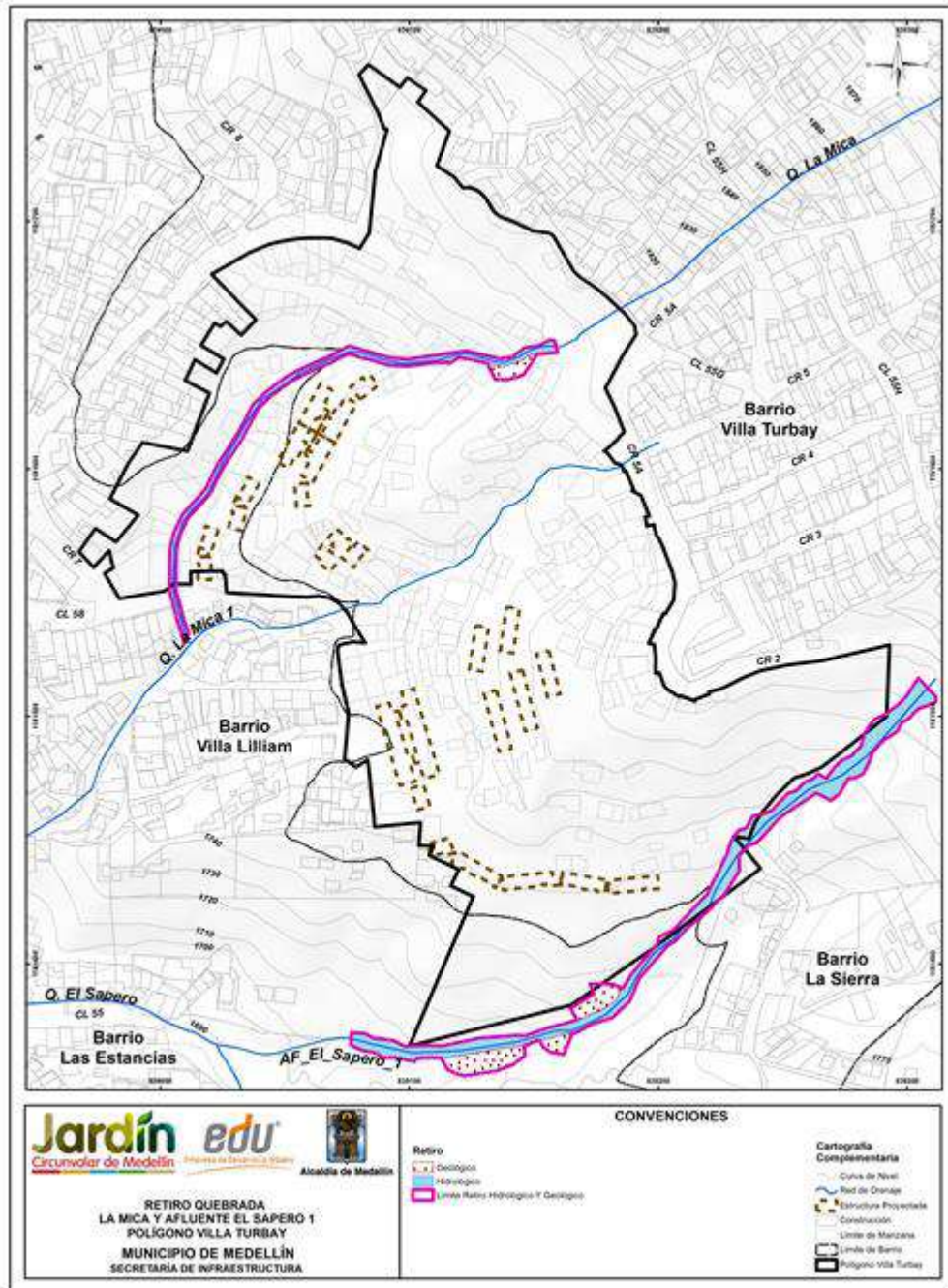
En el caso de la Quebrada La Mica y de la Quebrada Af. El Saperó 1 en el Polígono Villa Turbay, se trata de cauces de montaña, esto por cuanto es la zona de producción de sedimentos donde la corriente tiene un cauce encajonado y grandes velocidades del flujo durante las crecidas. Según esto último, la totalidad del área cubierta por un caudal con un periodo de retorno de 100 años, $T_r=100$ años se considera zona de amenaza alta y define así el retiro hidrológico. Como se demuestra en el Capítulo 15 y se concluye particularmente en el Numeral 15.4, el Polígono Villa Turbay no presenta amenaza ante fenómenos de avenidas torrenciales. De esta manera, los caudales para la modelación hidráulica corresponden a los de aguas claras, sin considerar las mayoraciones que estipula el Acuerdo 09 de 2012 para cuando existe amenaza de torrencialidad. Es por esta razón que para definir las zonas de retiro por efectos de hidrología, no se han tenido en cuenta la amenaza por avenidas torrenciales.

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	--	---



Posteriormente, se tomó el mapa de zonificación de la amenaza por movimientos en masa. Se detectaron las zonas de amenaza media o alta y en ellas se tomó la topografía de detalle para marcar el retiro geológico. Se marcó el retiro dado por una superficie de falla teórica de los taludes aledaños al cauce (Tr=10 años) con una inclinación respecto de la horizontal de 50° cuando la amenaza era media y de 45° cuando la amenaza era alta. El retiro geológico se delimitó entonces considerando las franjas de amenaza media y alta presentes alrededor del cauce (Tr=10 años). A partir de allí se realizó una ampliación de 5 m de dicha franja si la amenaza era media y de 10 m si la amenaza era alta.

En el caso particular del Polígono Villa Turbay, las pendientes del terreno aledaño al cauce de la Quebrada La Mica son tan críticas como la metodología expone en un pequeño sector al costado occidental del polígono sobre la margen izquierda de la quebrada. En el caso de la Quebrada El Saperó 1, las pendientes del terreno aledaño al cauce son tan críticas como la metodología expone en un pequeño sector al costado suroriental del polígono tanto sobre la margen izquierda como sobre la margen derecha de la quebrada. Así las cosas, el retiro a respetar para las Quebradas La Mica y El Saperó 1 dentro del Polígono Villa Turbay es el retiro hidrológico más el geológico. El mapa con los retiros queda entonces definido en el Mapa 77.

Es importante aclarar que este mapa se analizó en función de los procesos morfodinámicos de la zona. Como se observa en el mapa de procesos morfodinámicos, los mapeados para la quebrada en cuestión corresponden a procesos inactivos incluso en la fecha de las fotografías en las cuales fueron detectados. Se consideró entonces que los retiros no debían ser afectados por la presencia de procesos inactivos desde hace varias décadas.



Mapa 77. Retiro geológico e hidrológico en las Quebrada La Mica y Afluente El Saperó 1 dentro del Polígono Villa Turbay (45_VTRetiroHidrologicoyGeologico_Medellin_C y 45_VTRetiroHidrologicoyGeologico_Medellin_T)

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

21. PLANTEAMIENTO DE OBRAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO

En los Capítulos 17 y 18 de este informe se presentaron los resultados de las evaluaciones del riesgo por movimientos en masa y por inundaciones y avenidas torrenciales. En este capítulo se presenta lo relacionado con el planteamiento de las obras de mitigación dirigidas a control de los factores de riesgo detectados y presentados en los capítulos mencionados.

Para lograr lo anterior, se diseñaron fichas de análisis de alternativas de solución, las cuales se presentan como anexo a este informe. Se trata de dos fichas, una en la cual se evalúan las alternativas de mitigación del riesgo por movimientos en masa y otra en la que se evalúan las alternativas de mitigación del riesgo por inundaciones y avenidas torrenciales.

Cada una de las fichas contiene una descripción general de la problemática, incluyendo esta descripción un registro gráfico, el riesgo, la vulnerabilidad y la amenaza, además de una directriz general sobre las soluciones analizadas. Luego se presentan las alternativas evaluadas, mostrándose de cada una de ellas las características, el esquema, las ventajas, las desventajas y el costo aproximado. Después se muestra la valoración de cada una de las soluciones considerando los aspectos técnico, económico, socio ambiental y mantenimiento. A estos aspectos se les dio una importancia de 40%, 20%, 30% y 10%, en su orden, de manera que juntos constituyen el 100%. Cada aspecto fue subdividido y puntuado, de manera que se da una valoración final de cada solución que es el resultado de sumar los productos del porcentaje asignado a cada subdivisión efectuada por la puntuación otorgada. La mejor solución para mitigación del riesgo es la que mayor valor obtenga luego de hacerse la operación descrita.

Las fichas para el análisis de las respectivas obras de mitigación por movimientos en masa se presentan en el Anexo 07.

21.1 OBRAS PARA MOVIMIENTOS EN MASA

El análisis de riesgo efectuado por movimientos en masa, dio lugar a un número importante de viviendas del polígono con riesgo alto, principalmente en los costados noroccidental y suroriental. Así las cosas, se procedió a la ejecución de análisis de estabilidad localizados en dichas zonas, por medio de secciones transversales que consideraran la localización de los principales focos de inestabilidad y en el sentido de la trayectoria de estos. Finalmente, se analiza la condición de riesgo de las viviendas localizadas en la zona central del polígono, en donde algunas estructuras presentan riesgo medio y bajo aun cuando en la zona se presentan áreas de amenaza alta, con probabilidades de falla entre 0.055 y 0.1. La localización en planta de los Perfiles 1 a 3, que fueron los analizados se muestra en la Figura 201.

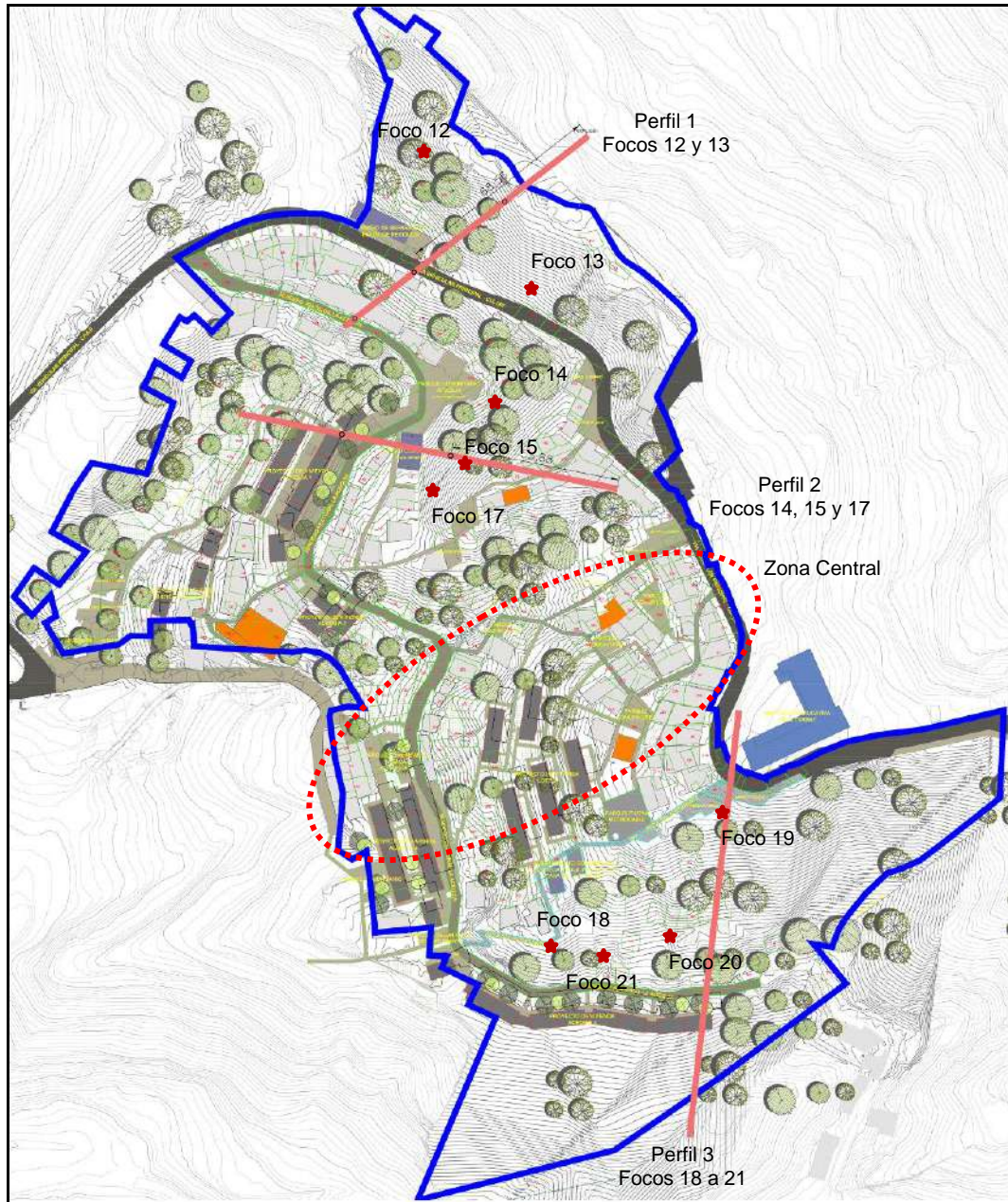


Figura 201. Localización en planta de los Perfiles 1 a 5 cercanos a los Focos 2, 3, 5, 7 y 10 incluyendo implantación del Proyecto Barrios Sostenibles

Los tres perfiles mencionados, se investigaron en condiciones actuales y teniendo en cuenta la variabilidad en parámetros de resistencia al corte y sismo, obteniéndose los resultados que se presentan y discuten a continuación. El valor de probabilidad de falla

incluida en cada figura hace referencia a la obtenida con el software de análisis, pero normalizada para un periodo de 50 años. En términos generales, puede anotarse que los resultados obtenidos ratifican a los focos como puntos probables de inestabilidad, pudiéndose hacer los comentarios que se presentan más adelante en este mismo numeral.

En la Figura 202 se presentan los resultados obtenidos para el Perfil 1, representativo de las condiciones alrededor de los Focos 12 y 13, ubicados al costado norte del Polígono Villa Turbay. Se observa que efectivamente el factor de seguridad es bajo y la probabilidad de falla se encuentra dentro del rango considerado como crítico en este estudio. La superficie de falla más crítica parte del Horizonte IIA de las Dunitas, pero es larga, involucrando tanto a dicho Horizonte IIA de las Dunitas como al Horizonte IC de los Cuerpos Asociados al Batolito Antioqueño. En la parte baja, donde aflora en superficie el Horizonte IC de los Cuerpos Asociados al Batolito Antioqueño las superficies son menos críticas, con factores de seguridad que pudieran acercarse más a valores aceptables.

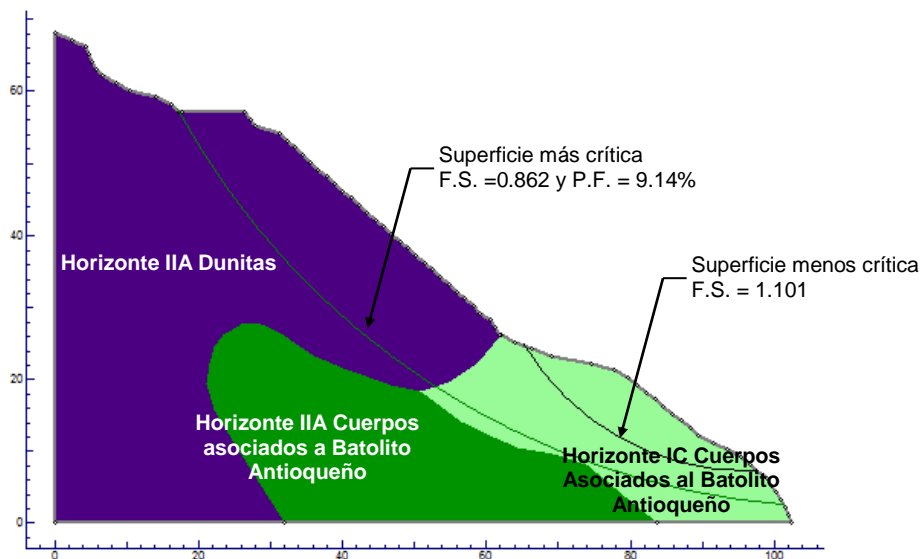


Figura 202. Análisis de estabilidad del Perfil 1 en condiciones naturales

Se hicieron análisis adicionales, considerando los resultados de los ensayos de corte directo efectuados específicamente para esta UMI sobre muestras del Horizonte IC de Cuerpos Asociados al Batolito Antioqueño. En la Figura 203 se presentan los resultados obtenidos, con base en los cuales es posible ratificar la existencia de la superficie de falla crítica antes mostrada. Los resultados no son drásticamente diferentes de los obtenidos con base en los parámetros promedio presentados en el Capítulo 16 e indican entonces la validez de considerar los de dicho capítulo.

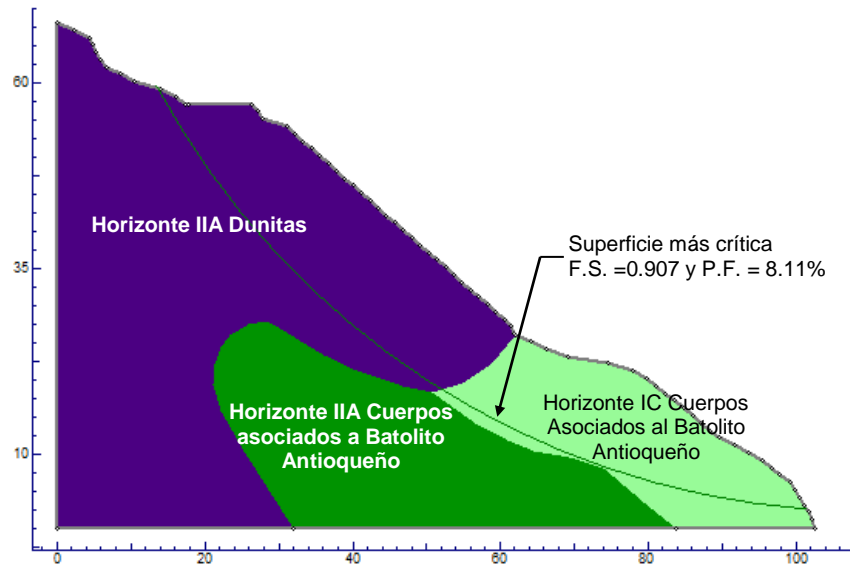


Figura 203. Análisis de estabilidad del Perfil 1 en condiciones naturales y parámetros ajustados

Los resultados de los análisis de estabilidad efectuados para el Perfil 1 indican entonces que es necesaria la intervención de la zona con el fin de mitigar el riesgo. Se han hecho los análisis de estabilidad que se presentan en la Figura 204. Se observa que las pantallas de contención son una solución adecuada para mejorar las condiciones de estabilidad de la zona. Se logran sobretodo disminuciones de la probabilidad de falla, llevándola a valores menores que los del límite inferior del rango considerado como crítico en este estudio.

Teniendo en cuenta que la parte alta de la zona representada a este perfil corresponde a un área no muy urbanizada, de alta pendiente y desarrollada en materiales rocosos, se han hecho los análisis que se muestran en la Figura 205 y en la Figura 206.

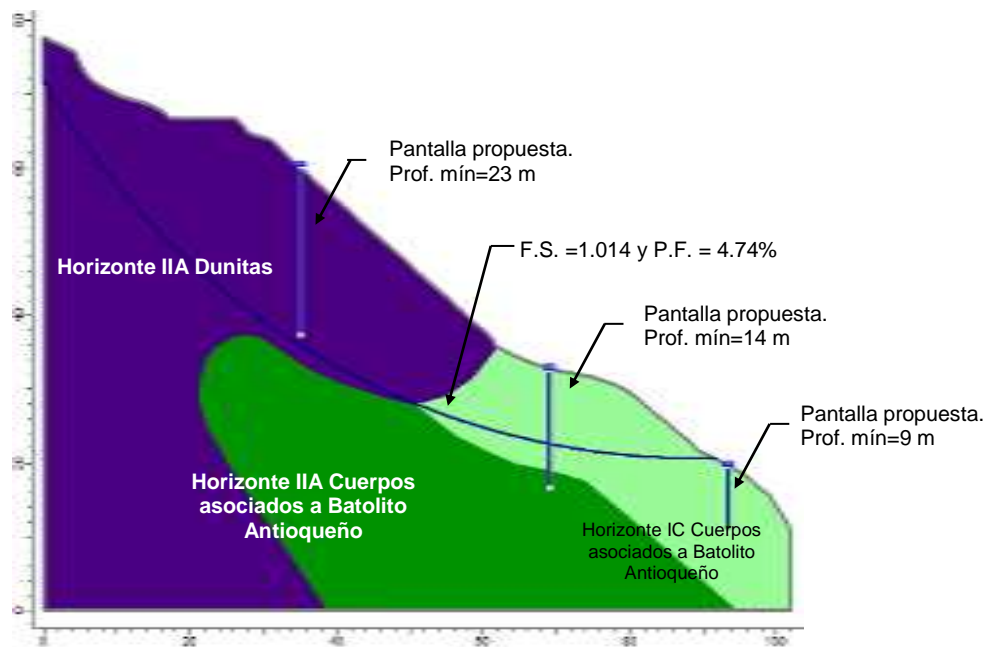


Figura 204. Análisis de estabilidad del Perfil 1 considerando tres pantallas de contención

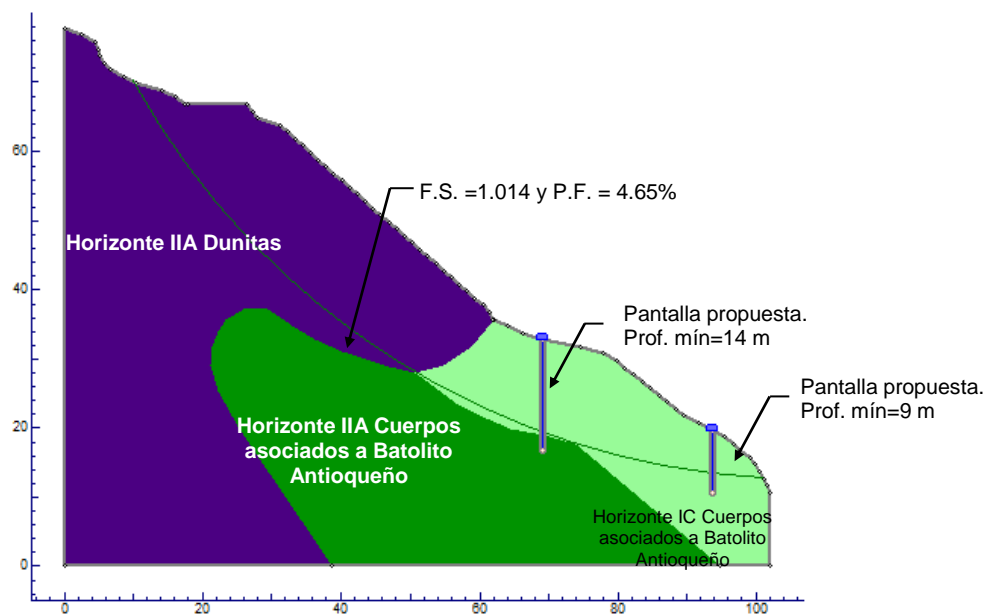


Figura 205. Análisis de estabilidad del Perfil 1 considerando dos pantallas de contención

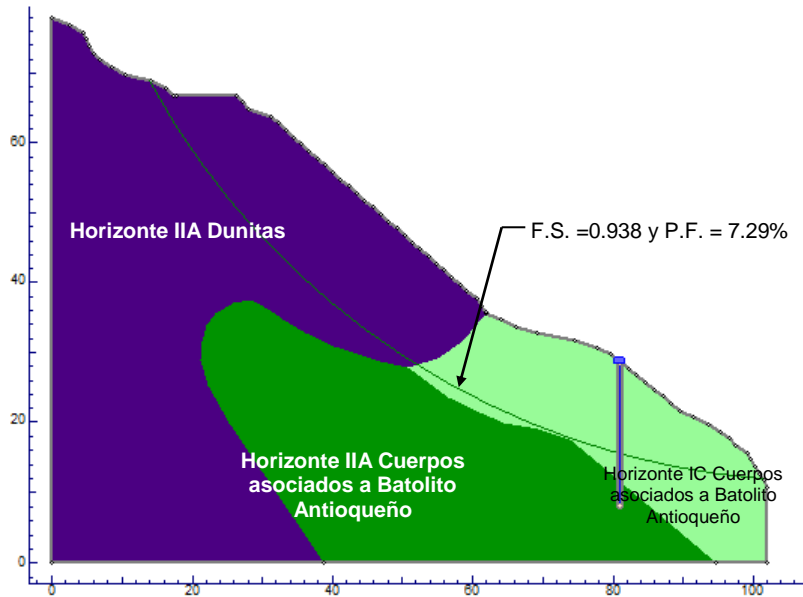


Figura 206. Análisis de estabilidad del Perfil 1 considerando una pantalla de contención

En lo que tiene que ver con la zona alrededor del Perfil 1, se recomienda construir por lo menos la pantalla más baja, la cual se ha proyectado de forma que pueda integrarse al Proyecto Barrios Sostenibles. De esta forma se considera como mitigable el riesgo de estructuras localizadas hacia abajo de esta pantalla. La parte más alta debe mantenerse sin avances en los procesos de urbanismo. Las viviendas que se encuentran en alto riesgo deben ser reubicadas y dichas áreas deben ser protegidas por medio de reforestación adecuada para fines de estabilidad y obras de control de erosión como trinchos, entre otros.

En la Figura 207 se presentan los resultados obtenidos para el Perfil 2, representativo de las condiciones alrededor de los Focos 14, 15 y 17, ubicados en el centro del Polígono Villa Turbay. Se observa que efectivamente el factor de seguridad es bajo y la probabilidad de falla se encuentra dentro del rango considerado como crítico en este estudio. La superficie de falla más crítica es larga, involucrando tanto al Horizonte IC de las Dunitas como al Horizonte IC de los Cuerpos Asociados al Batolito Antioqueño. Los resultados indican que las superficies de falla más críticas se desarrollan principalmente en la parte alta, donde el perfil corresponde a un área no muy urbanizada, de alta pendiente y desarrollada en materiales rocosos. Se recomienda que esta parte más alta debe mantenerse sin avances en los procesos de urbanismo. Las viviendas que se encuentran en alto riesgo deben ser reubicadas y dichas áreas deben ser protegidas por medio de reforestación adecuada para fines de estabilidad y obras de control de erosión como trinchos, entre otros. En cuanto a las estructuras del Proyecto Barrios Sostenibles, las excavaciones que se proyecten deben considerar pantallas de contención profundas que eviten problemas de estabilidad global.

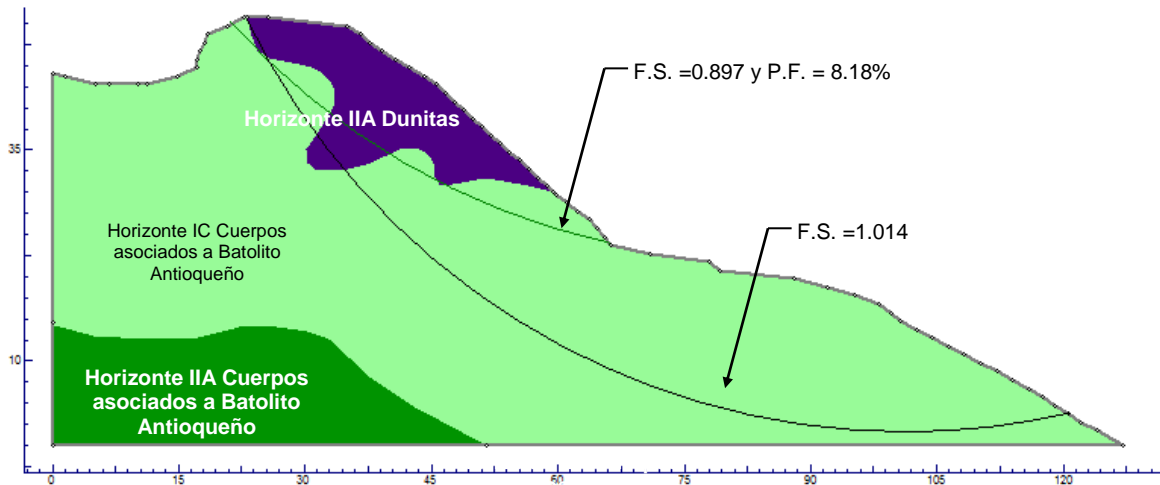


Figura 207. Análisis de estabilidad del Perfil 2 en condiciones naturales

En la Figura 208 se presentan los resultados obtenidos para el Perfil 3, representativo de las condiciones alrededor de los Focos 18 a 21. Se observa que efectivamente el factor de seguridad es bajo y la probabilidad de falla se encuentra dentro del rango considerado como crítico en este estudio. La superficie de falla más crítica es larga, involucrando al Horizonte IC de los Cuerpos Asociados al Batolito Antioqueño. Esta superficie de falla larga se aproxima bastante a la de un talud infinito, como los ratifican los resultados de las evaluaciones hechas con Herramientas SIG. Esto implica que con pantallas de contención es imposible controlar estos problemas de estabilidad, porque lo que se lograría sería sólo trasladar la falla hacia abajo. Se considera entonces que las viviendas en este sector se encuentran en alto riesgo no mitigable. Las que se proyecten como parte del Proyecto Barrios Sostenibles debe considerar la implementación de sistemas de contención de la ladera en la parte posterior, por medio de anclajes pasivos, de manera que se logren controlar las superficies de falla más críticas detectadas por medio de este estudio.

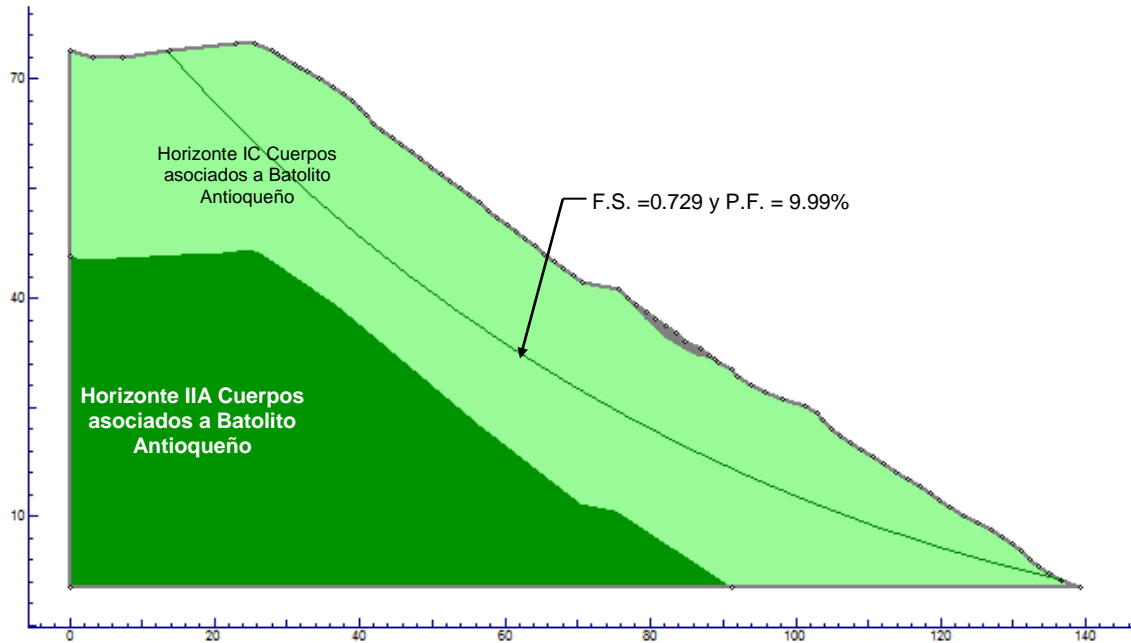




Figura 208. Análisis de estabilidad del Perfil 3 en condiciones naturales

Finalmente, en el caso de la Zona Central del Polígono Villa Turbay, se observa en el Mapa 72 que las estructuras presentan riesgo total medio y bajo. Esto sucede aun cuando en el Mapa 44 se tienen áreas de amenaza alta con probabilidades de falla entre 0.055 y 0.1 y en el Mapa 58 se tienen estructuras con vulnerabilidad estructural media con valores entre 0.388 y 0.776 y alta con valores entre 0.776 y 1.0. Cabe resaltar, que según la definición presentada en la metodología, el riesgo estructural se define como el producto de relacionar la amenaza con la vulnerabilidad. Así mismo, el riesgo total es el producto de relacionar el riesgo estructural con el riesgo de las personas.

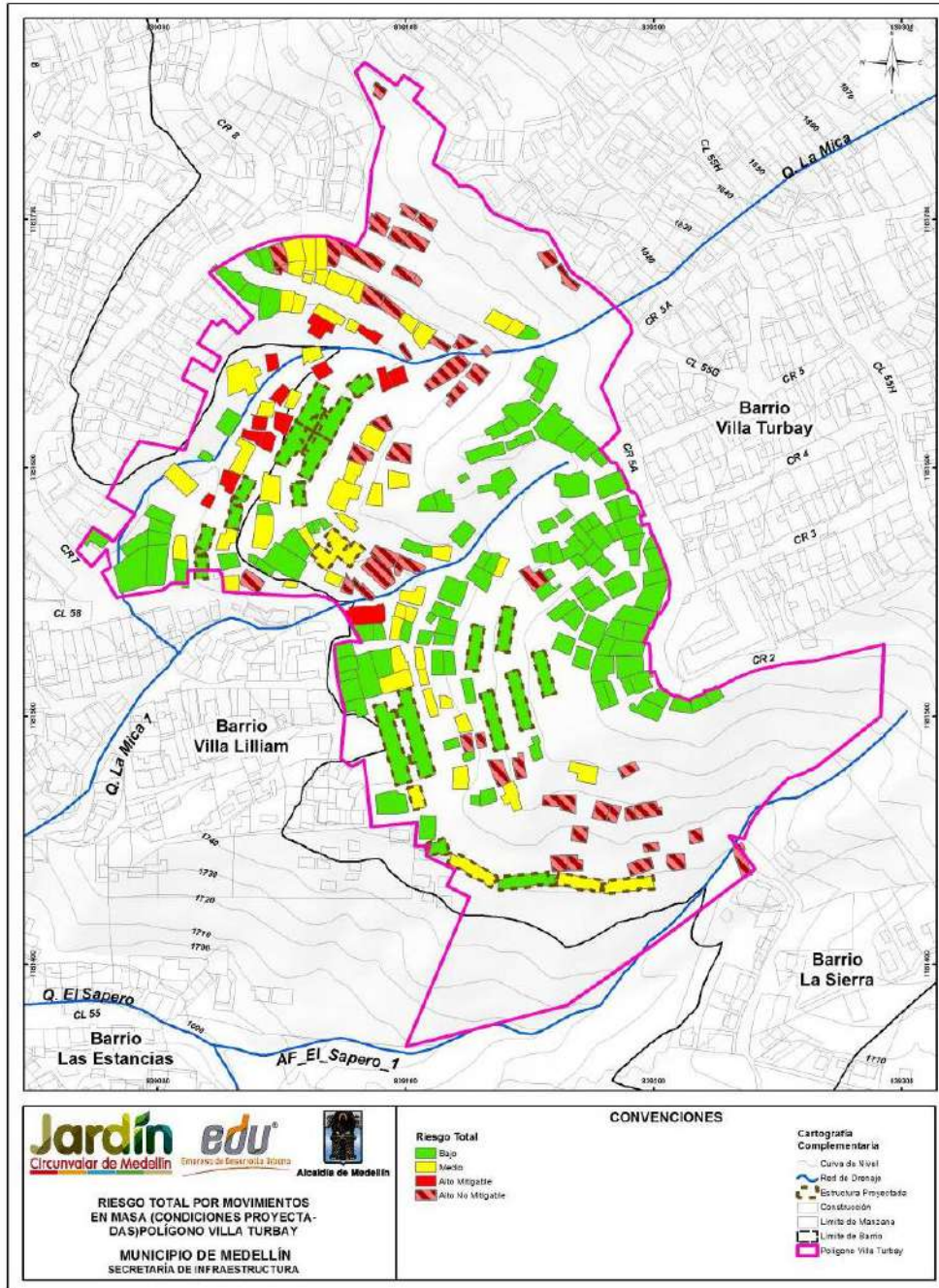
La evaluación de la vulnerabilidad involucra el factor de intensidad de los movimientos en masa más probables, el cual se asocia a los elementos expuestos, debido a su localización con respecto al foco de inestabilidad más probable; y el factor de resistencia de las estructuras, la cual varía entre media y baja en esta zona. En este caso en particular, como se indicó antes en el Numeral 13.2, no se consideró un foco puntual de inestabilidad en la zona, debido a que no se registraron procesos morfodinámicos recientes en la zona y los que fueron identificados, en la parte alta de la ladera, datan de los años 1959 y 1983 y se encuentran inactivos. Es por esto, que las estructuras se encuentran principalmente amenazadas por encontrarse dentro de zonas inestables que por el impacto de un movimiento en masa.

Dicho esto, se concluye que el valor del riesgo estructural obtenido es el resultado numérico de relacionar la vulnerabilidad y la amenaza puntual del sitio donde se localizan las estructuras, considerando además que para resultados de riesgo estructural medio y

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	--	---

alto se puede presentar un riesgo total medio cuando el riesgo de personas en la estructura es bajo y medio, en algunos casos (Tabla 85).

Considerando las observaciones hechas, el mapa de riesgo total final quedaría como se muestra en el Mapa 78.



Mapa 78. Análisis de riesgo total de viviendas y construcciones por movimientos en masa para las condiciones proyectadas en el Polígono Villa Turbay (42_VTB Riesgo Total Movimientos en Masa Cond Proyecto Medellín_C y 42_VTB Riesgo Total Movimientos en Masa Cond Proyecto Medellín_T)

Finalmente, luego de efectuado el análisis de riesgo por movimientos en masa para el Polígono Esfuerzos de Paz, se recomienda monitorear los desplazamientos a largo plazo en la zona central del polígono y así poder establecer mecanismos de alarma. Se propone un sistema de instrumentación compuesto por dos inclinómetros de 25 m de profundidad cada uno, localizados en la parte alta y media de la ladera, como se muestra en la Figura 211. Se recomienda que esta instrumentación se instale próxima a los nuevos edificios de Barrios Sostenibles y que sean monitoreados con una frecuencia mínimo de una lectura mensual durante el primer año después de construidos los edificios, y dependiendo de los resultados de dicho monitoreo, sí no se detectan desplazamientos considerables en la zona, se recomienda un monitoreo preventivo de tres lecturas al año. A seguir se presentan algunos aspectos generales sobre los inclinómetros:

Las deformaciones laterales del terreno, en lo que tiene que ver con magnitud, dirección y profundidad de los movimientos, se monitorean con ayuda de los inclinómetros. Estos equipos, se deberán instalar en las zonas donde se proyectan la construcción de las pilas de los muros pantallas recomendados. De esta forma se podrá evaluar el comportamiento de las pantallas después de efectuado las labores correspondientes.

Estos elementos consisten de una tubería ranurada diametralmente, la cual se instala dentro de una perforación efectuada en un terreno en el que se sospecha que están ocurriendo o pueden ocurrir movimientos (Figura 209). Adicionalmente, se debe contar con un torpedo, el cual se usa primero para medir la posición inicial de la tubería cuando acaba de ser instalada y luego para medir las posiciones sucesivas de la tubería cuando esta se va moviendo.



Figura 209. Tubería de inclinómetros ranurada diametralmente (Tomada de Roctest y Telemac)

La función de la tubería es entonces proveer el acceso para el torpedo de lecturas. Las ranuras longitudinales marcadas en el interior de la tubería, controlan la orientación del torpedo y proveen una superficie desde la cual se pueden hacer lecturas repetibles.

Al instalar el inclinómetro se debe buscar que una de las ranuras quede en el mismo sentido en que se espera ocurra el movimiento, el cual se denomina convencionalmente Sentido A. Las ranuras ubicadas a 90° del Sentido A constituyen el denominado Sentido B y normalmente permiten controlar una orientación en la que no se esperan mayores movimientos.

Como se muestra en la Figura 210, se habla tanto del Sentido A+ como del Sentido A- y tanto del Sentido B+ como del Sentido B-. El Sentido A+ queda orientado hacia la dirección donde se espera que se den los mayores movimientos (pendiente abajo) y el Sentido A- en dirección contraria (pendiente arriba). Según esto, los Sentidos A-, B+ y B- se encuentran orientados hacia donde no se espera que se den mayores movimientos.

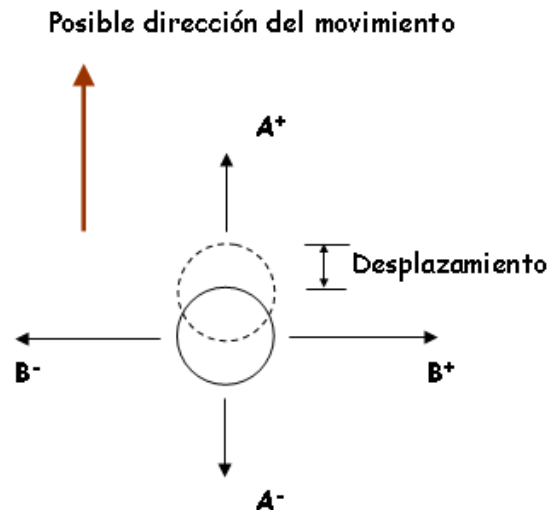


Figura 210. Disposición de los Sentidos A y B en los inclinómetros

Esta información se presenta, entre otras razones, para que se tenga en cuenta en los procesos de contratación de sistemas de instrumentación correspondientes. Especialmente lo indicado en cuanto a la tubería mostrada en la Figura 209 se considera de especial relevancia. El Plástico ABS del cual están hechas las tuberías de esta figura junto con el tipo de ensamble que es interno, hacen que sean precisas, de alta durabilidad y permiten además que se puedan instalar en perforaciones de diámetro apenas ligeramente mayor que 70 mm.

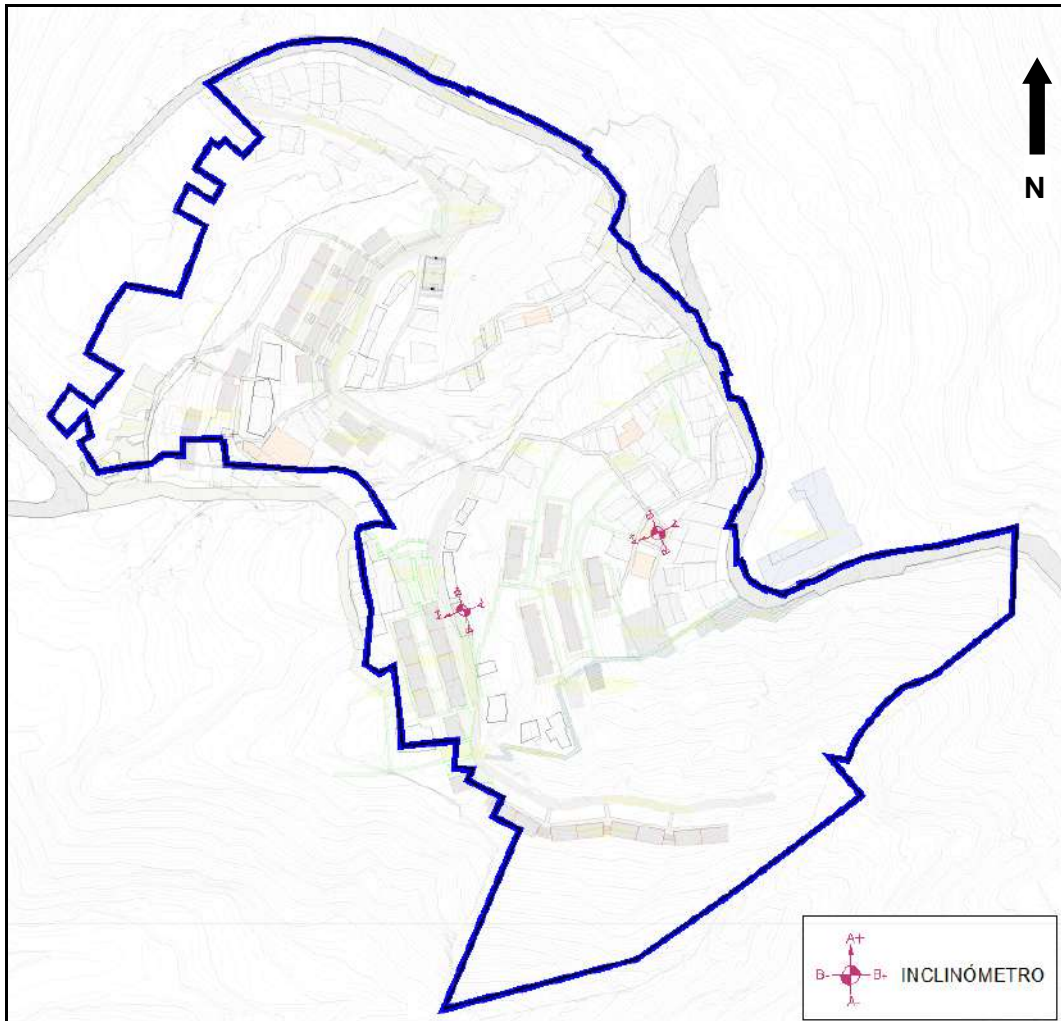
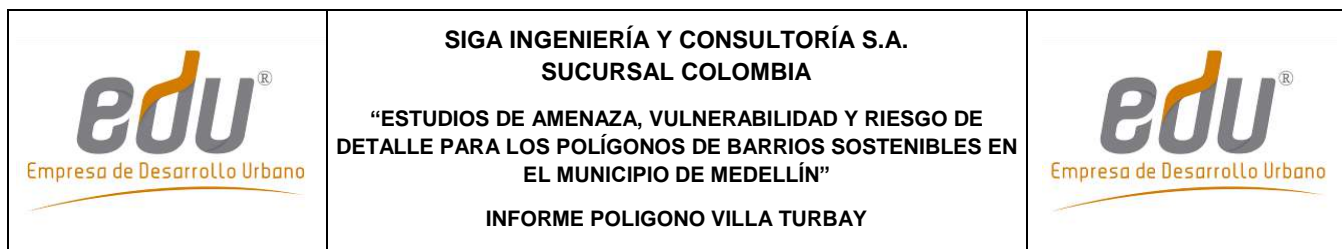


Figura 211. Localización de inclinómetros propuestos para monitoreo de Polígono Villa Turbay incluyendo implantación del Proyecto Barrios Sostenibles

21.2 OBRAS PARA INUNDACIONES

21.2.1 Análisis de resultados en condiciones actuales

Dado que en este polígono de estudio se presenta un número importante de viviendas con riesgo alto por inundaciones, debido a la insuficiencia hidráulica de las estructuras existentes en el cauce de las Quebrada La Mica, La Mica 1 y el Afluente el Sapero 1, se plantean diversas obras que buscan incrementar la capacidad del sistema de drenaje al interior del polígono. En el caso del drenaje Afluente El Sapero, la deficiencia hidráulica se debe a un cruce sobre un camino peatonal que atraviesa el polígono, el cual posee capacidad inferior a 2.33 años, por tanto se plantea la reconfiguración del cauce en un



tramo de 12.0 m ajustando una sección trapezoidal de 1.6 m de ancho y taludes 1 H:1 V, para adecuar un paso peatonal tipo puente con una luz de 6.1 m.

En el caso de la Quebrada La Mica 1, la deficiencia hidráulica corresponde al tramo de canalización asociado a la estructura 2, la cual atraviesa una vía peatonal por intermedio de una tubería de 59”, la cual posee capacidad hidráulica inferior a 50 años periodo de retorno, por tanto se determinó cambiar dicha tubería por un Box Culvert de 1.80 m de ancho y 1.80 m de alto.



La obra de cruce de la quebrada La Mica en la Calle 55F, cuenta actualmente con un diámetro menor a 10”, lo cual indica que tendría problemas de capacidad hidráulica al considerar los caudales estimados y también una posible obstrucción. Esto podría potenciar zonas adicionales de inundación desde la vía, y por eso dentro de las alternativas de control a la inundación se planteó cambiar dicha obra de tal forma que tenga la capacidad de recibir el caudal de la vía (cosa que actualmente hace), y que al tiempo permita el paso del caudal de 100 años que se calcula tendría la microcuenca, bajo la hipótesis que la totalidad del flujo de escorrentía tendería a concentrarse en el sitio de la obra.

La Quebrada La Mica inicia justo después del cruce del drenaje con la calle 55f en el límite oriental del polígono, en esta zona la quebrada fluye en condiciones naturales, presentando abundante vegetación en su cauce, el cual llega hasta el cruce con el camino existente, de ahí continúa con un canal escalonado hasta incorporarse en una cobertura que descarga en la Quebrada La Mica 1, este sistema debido a las intervenciones de sus obras posee capacidad en conjunto inferior a 2.33 años, por lo que se planteó en un primer tramo una reconfiguración del cauce siguiendo una sección transversal de 1.60 m de ancho, una altura media de 1.0 m con taludes 1 H: 1 V, acompañado de llaves en concreto ciclópeo espaciadas en la vertical cada 1.5 m, posteriormente continúa un box culvert de 1.60 m de ancho por 1.60 m de alto, seguido de una canal escalonado con sección rectangular de 1.60 m de ancho por 1.00 m de alto y termina con una cobertura de 1.60 m de ancho por 1.60 m de alto, hasta descargar en la Quebrada La Mica 1.

Todas las estructuras se definieron a partir de un análisis de alternativas, el cual se presenta en el Anexo 07. Se consideraron diversos aspectos como costos, grado de solución del problema entre otros.

Finalmente en los Planos P-2445-VT-OM-01, P-2445-VT-OM-02 y P-2445-VT-OM-03, se presentan los diseños de estas estructuras mencionadas que dan solución a la problemática de riesgo alto para casi la totalidad de las viviendas del polígono. Las viviendas que permanecen en riesgo alto por inundaciones en condiciones proyectadas corresponden a algunas que se encuentran invadiendo los cauces, por lo que se consideraron con riesgo alto no mitigable.

Los mapas tipo raster de velocidad y profundidad de flujo para condiciones existentes se incluyen en el Anexo 12 donde se presenta la geodatabase del proyecto.

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

21.2.2 Análisis de resultados en condiciones proyectadas

Los análisis en condiciones existentes se encuentran descritos en la evaluación hidráulica presentada en el numeral 12.3, donde se especifican los resultados de las diferentes variables hidráulicas y se muestran las manchas de inundación, a partir de las cuales, se plantearon las diferentes obras de mitigación.

Las manchas de inundación, así como la zonificación de la amenaza y del riesgo por inundaciones en condiciones proyectadas se presentan respectivamente en el Mapa 79, Mapa 80 y Mapa 81. En el Mapa 82 se muestra el retiro a la quebrada planteado por el POT (2014) y el retiro hidrológico en condición proyectada obtenido del presente estudio.

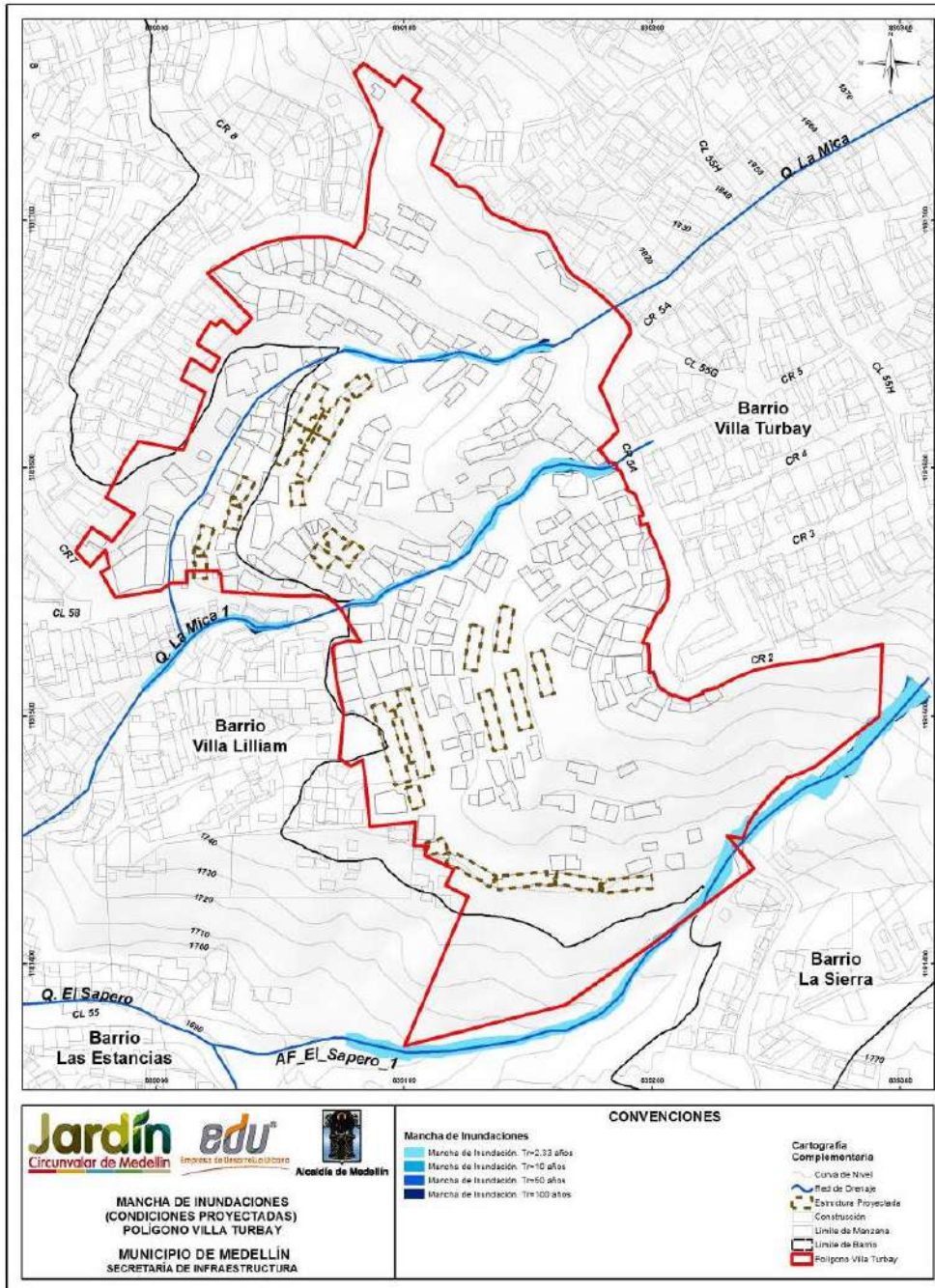
Las memorias de diseño de las obras proyectadas se presentan en el Anexo 08, donde se incluyen los resultados de la evaluación de la capacidad hidráulica de cada una de ellas.

Los resultados presentados en el Anexo 08 permiten concluir que las obras que se han proyectado cuentan con la capacidad hidráulica requerida para permitir el paso de las crecientes de diseño. Los resultados obtenidos en la modelación hidráulica en condiciones proyectadas indican que las obras propuestas cumplen con las condiciones geométricas que permiten la mitigación o reducción del riesgo existente por inundaciones en el polígono Villa Turbay ya que reducen las manchas de inundación, eliminan problemas de vertimientos y derrames para todos los periodos de retorno analizados.

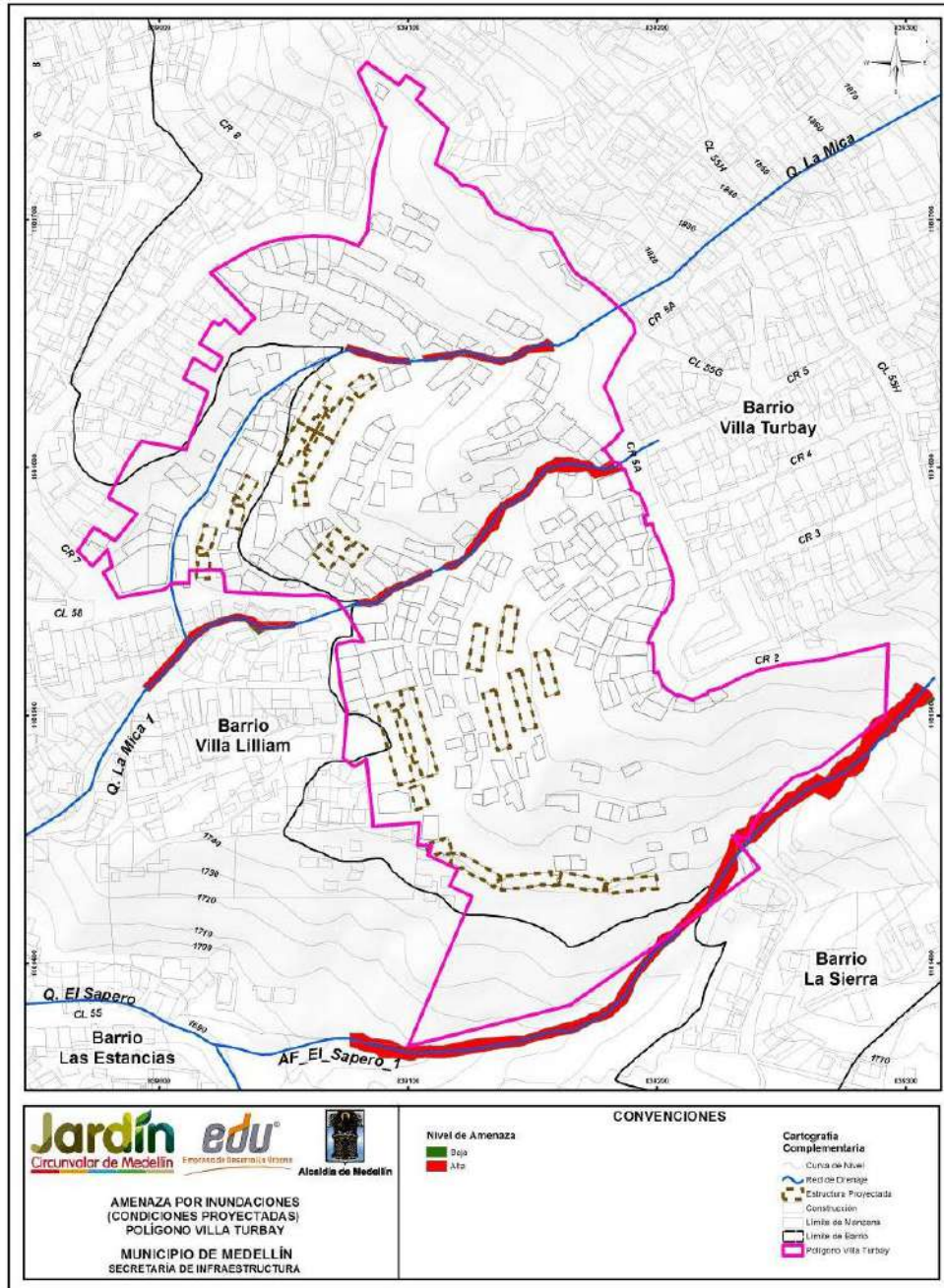
En relación con las condiciones existentes, las condiciones proyectadas significan cambios importantes en las variables hidráulicas únicamente en aquellos tramos de influencia de las obras proyectadas, específicamente donde se modifican las condiciones para que el flujo sea transportado de forma ordenada a través de los cauces y las diferentes estructuras. Por tratarse de una zona de alta pendiente, el régimen de flujo seguirá siendo de tipo supercrítico, eliminando los controles hidráulicos que actualmente generan las estructuras existentes con baja capacidad o la ausencia de estructuras y/o cauces definidos.

En el Mapa 82 se puede apreciar que una parte de la infraestructura de viviendas proyectadas se encuentra dentro de la zona de retiro a corrientes hídricas establecida por el POT (2014), cuya franja de retiro total se construye a partir de la envolvente de las franjas de retiros parciales establecidas para cubrir aspectos hidrológicos, geológicos, entre otros. A partir de los resultados del presente estudio puede concluirse que la infraestructura de viviendas proyectadas está por fuera de los límites de la mancha de inundación asociados a 100 años periodo de retorno, es decir, se encuentran fuera de lo que sería la franja de retiro hidrológico que se delimitaría a partir de los resultados del presente estudio. Adicional a lo anterior, en este polígono se presenta el retiro geológico obtenido en este estudio, del cual se puede concluir que este no afecta ninguna infraestructura de viviendas proyectadas.

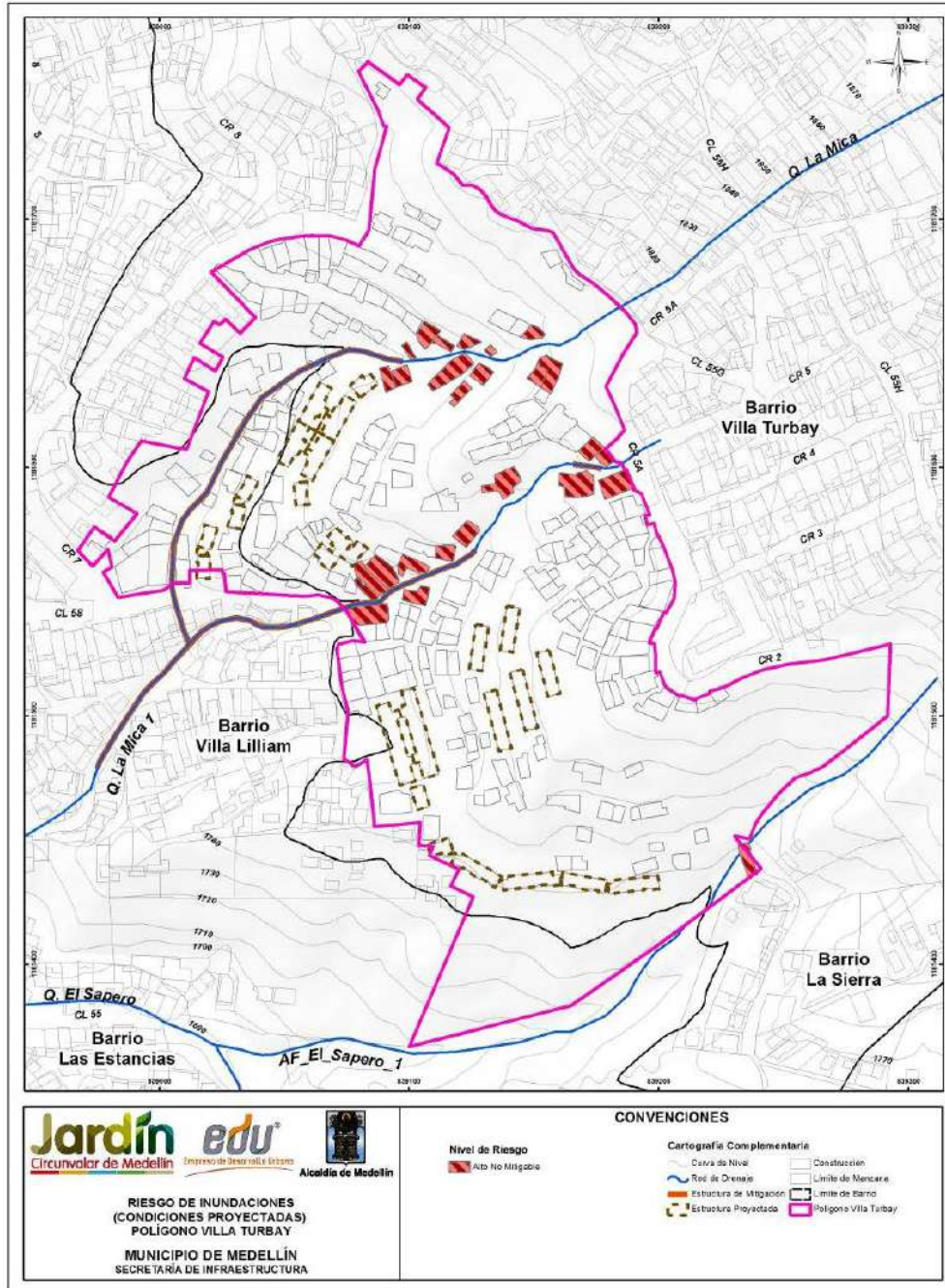
Los mapas tipo raster de velocidad y profundidad de flujo para condiciones proyectadas se incluyen en el Anexo 12 donde se presenta la geodatabase del proyecto.



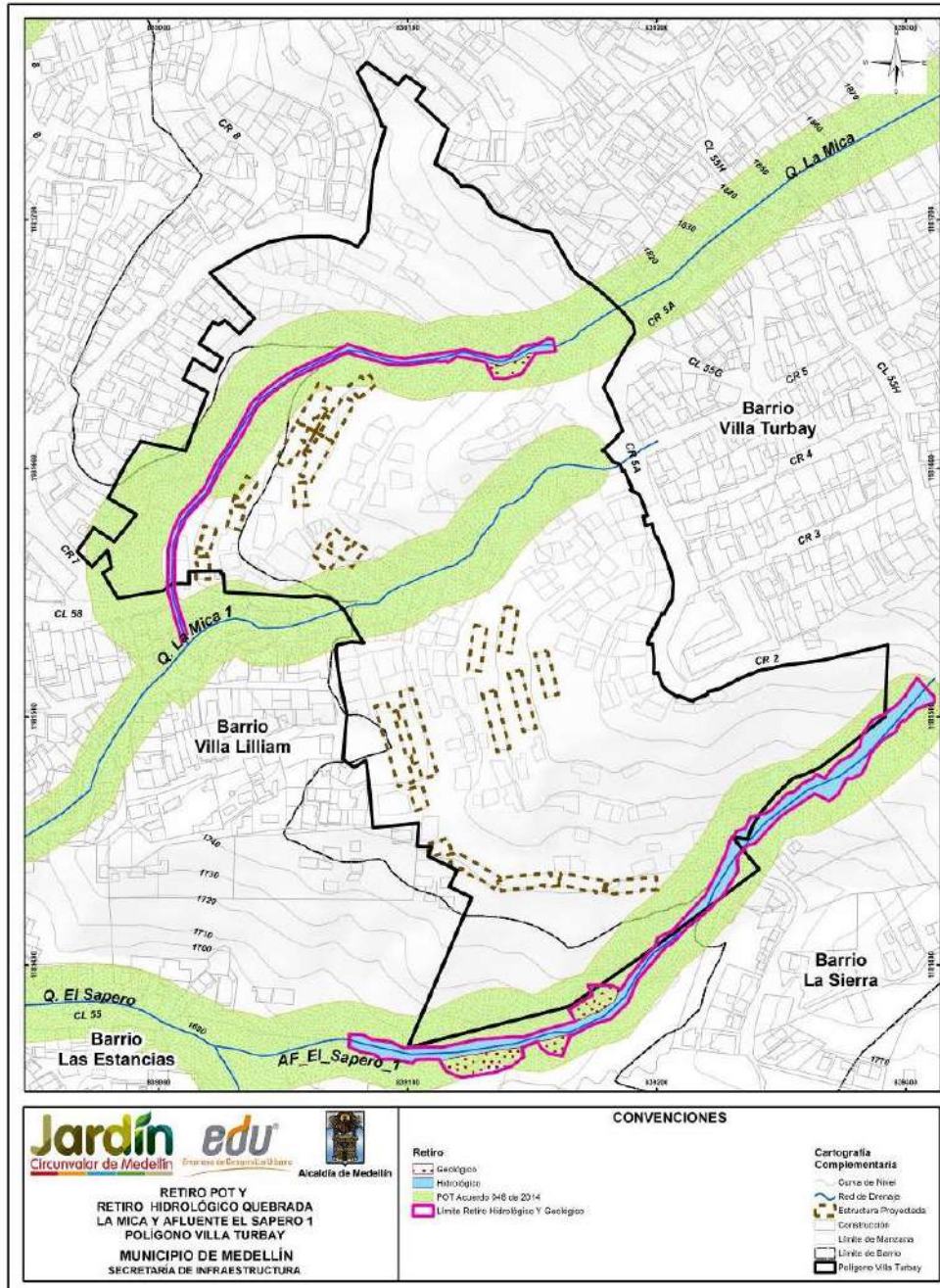
Mapa 79. Manchas de Inundación para los diferentes periodos de retorno. Polígono Villa Turbay. Condiciones Proyectadas.
 (22_VTBManchaInundacionesCondProyecto_Medellin_C y
 22_VTBManchaInundacionesCondProyecto_Medellin_T)





Mapa 80. Análisis de amenaza por inundaciones en condiciones proyectadas en las Quebradas La Mica, La Mica 1 y el afluente El Sapero 1. Polígono Villa Turbay (24_VTBAmenazasInundacionesCondProyecto_Medellin_C y 24_VTBAmenazasInundacionesCondProyecto_Medellin_T)



Mapa 81. Análisis de riesgo por inundaciones para las viviendas y construcciones en el Polígono Villa Turbay en condiciones proyectadas (44_VTB Riesgo Inundaciones Cond Proyecto_Medellin_C y 44_VTB Riesgo Inundaciones Cond Proyecto_Medellin_T)



Mapa 82. Retiro POT y retiro hidrológico para la Quebrada La Mica 1 y Afluyente El Saperó

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

22. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La zona de estudio se localiza en la parte alta de la ladera centro oriental, entre los límites rurales y urbanos de la ciudad de Medellín. Los polígonos correspondientes al “Proyecto Barrios Sostenibles”, se encuentran ubicados al interior de diferentes barrios en la Comuna 8 (Villa Hermosa) y en la Comuna 3 (Manrique). Los polígonos localizados al interior de la Comuna 8 son los ubicados dentro de los Barrios Golondrinas, El Faro, Trece de Noviembre, Pinares de Oriente, San Antonio, Esfuerzos de Paz y Villa Turbay. El polígono localizado al interior de la Comuna 3 corresponde al ubicado dentro del Barrio La Cruz.

Específicamente el polígono objeto de este informe es el correspondiente al Barrio Villa Turbay, el cual está delimitado por el norte la Calle 55F, por el sur con un tramo de la línea de cauce de la Quebrada El Saperó, por el oriente con la Carrera 2 y un tramo de la línea de cauce de la Quebrada El Saperó y por el occidente con la Carrera 5E, la Calle 58 y la Carrera 8.

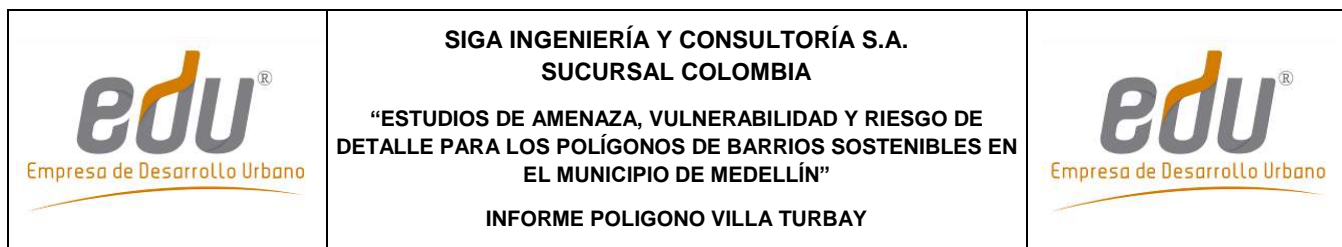
De este polígono, se ha efectuado el estudio de riesgo ante fenómenos de movimientos en masa, inundación y avenidas torrenciales y la evaluación de las zonas que se consideran de riesgo mitigable y no mitigable dentro del mismo. Se tuvieron en cuenta tres escenarios de amenazas enfocados desde el punto de vista geológico, geotécnico, hidrológico e hidráulico, que podrían afectar a las comunidades que habitan el Polígono Villa Turbay, pudiéndose entonces resaltar lo siguiente:

En cuanto a la **Unidad Morfodinámica Independiente (UMI)** dentro de la cual se enmarca el estudio:

La UMI del Polígono Villa Turbay tiene un área aproximada de 448 hectáreas y se localiza hacia el extremo sur oriental de la Comuna 8 y se posiciona hacia el costado sur de la UMI San Antonio. En resumen, la UMI está enmarcada principalmente por la cuenca de la Quebrada La Castro siendo este el afluente principal y eje de la UMI objeto de estudio. La UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay limita con todas las UMI del Proyecto Barrios Sostenibles de la Comuna 8, desde la parte baja con la UMI San Antonio y la UMI Pinares de Oriente, en la parte media con la UMI Trece de Noviembre involucrando el flanco sur del Cerro Pan de Azúcar y finalmente en su parte alta con la UMI El Faro - Golondrinas.

En lo relacionado con los **Aspectos Geológicos y Geomorfológicos** tanto de la UMI como del polígono:

Las formaciones superficiales corresponden a los horizontes de meteorización IC y IIA de las Dunitas de Medellín (JKuM), Horizonte IC de Cuerpos asociados al Batolito Antioqueño (KcdA) depósitos aluviotorrenciales (Qalt), depósito de talus (Qt), depósitos de flujo de lodos y/o escombros (Qfl/e), cenizas volcánicas removilizadas y/o in situ y llenos antrópicos (Qll) asociados a las construcciones generadas por la expansión urbana.



Las unidades geomorfológicas predominantes de la UMI Esfuerzos de Paz – Villa Turbay son las unidades de lomos tales como Lomo Alargado con Vertientes Fuertes (LARVF), Peldaño Bajo (PÑB), Lomeríos Amplios (LRA) y Superficies moderadas en depósitos y materiales antrópicos.

Los procesos morfodinámicos encontrados son predominantemente activos y consisten en deslizamientos y caída de rocas, cárcavas, surcos, zonas de empozamiento de agua y bloques en superficie por erosión.



En lo que tiene que ver con procesos morfodinámicos asociados a la dinámica fluvial de los drenajes de la UMI Esfuerzos de Paz-Villa Turbay, a partir de la fotointerpretación se identificaron cicatrices de movimientos en masa y cárcavas, principalmente en las márgenes de la quebrada San Antonio y la Quebrada La Castro (incluidos sus afluentes). En menor proporción se encontraron procesos en las márgenes de las quebradas La Mica y La Mica 1. Los procesos observados pueden estar asociados a socavación del cauce de las quebradas.

El mapa de aptitud geológica-geotécnica fue generado a partir de las formaciones geológicas superficiales, unidades geomorfológicas y procesos morfodinámicos. Finalmente, el mapa de aptitud geológica-geotécnica indica que la proporción de las zonas no aptas y no aptas por normatividad representan la mayor parte de la UMI. Al interior del Polígono Villa Turbay predominan las zonas aptas con restricciones altas seguidas de las zonas aptas con restricciones moderadas.

En lo relacionado con los **Aspectos Geotécnicos** tanto de la UMI como del polígono, refiriéndose estos principalmente a la caracterización de los materiales determinados por medio de la exploración del subsuelo:

Para la caracterización de los materiales presentes en el área de estudio, se ejecutaron pruebas de laboratorio sobre las muestras alteradas e inalteradas recuperadas por medio de los sondeos exploratorios. El programa de ensayos de laboratorio se realizó con el objetivo de determinar propiedades índice del suelo fundamentales para determinar las condiciones de estado de los materiales clasificándolos mediante el Sistema de Clasificación Unificada de Suelos para propósitos ingenieriles, y para realizar una caracterización de las propiedades mecánicas de los mismos. Algunas de las muestras alteradas fueron destinadas a ensayos de clasificación como son humedad natural, límites de consistencia, granulometría por tamizado y lavado sobre la malla 200 y gravedad específica. Sobre las muestras inalteradas, se realizaron ensayos de resistencia al corte para determinar los parámetros de resistencia al corte del suelo. Se realizaron ensayos de corte directo para condiciones consolidadas drenadas. La revisión de la información básica también jugó un papel importante en la caracterización de los materiales.

Todos los ensayos recopilados sugieren, como era de esperarse, una variabilidad considerable de las propiedades geotécnicas de los materiales. Por esto, se realizó un análisis estadístico de las propiedades de los materiales que conformando el perfil

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

geotécnico típico, representan mayor amenaza para el proyecto. Estos análisis son necesarios para la aplicación de cualquier método probabilístico que permita encontrar la probabilidad de falla de una ladera, objetivo primordial de este estudio. Por tal razón, se requiere una gran cantidad de información en términos de parámetros de resistencia, por lo que se consideró conveniente unir todos aquellos ensayos de las diferentes UMI o polígonos que caracterizarán los diferentes estratos u horizontes del proyecto.



Se identificaron primero las variables que generan incertidumbre siendo estas la cohesión, el ángulo de fricción interna y el peso específico del suelo. Fue asumida una función de distribución de probabilidad normal para cada uno de estos parámetros. Luego se determinaron los momentos estadísticos de bajo orden, es decir, la media y la desviación estándar. Adicionalmente, fue calculado la covarianza o coeficiente de variación (COV) de cada uno de los parámetros.

En lo relacionado con los **Evaluación de la Vulnerabilidad Estructural** específicamente para el polígono:

Las estructuras que predominan en el polígono son en mampostería en un estado medio que hace referencia a un estado entre bueno y malo. No se considera una calificación buena, dado que las construcciones en mampostería son simples, no tienen confinamiento ni se puede considerar como mampostería estructural. También se observaron estructuras en mampostería en un estado Bueno, dándole esta calificación debido a que estaban mejor estructuradas e incorporaban en su concepción elementos como columnas y vigas de concreto reforzado con una esbeltez proporcional entre ancho y altura. Además se encontraron estructuras prefabricadas y en madera en un estado con notable deterioro. Las fundaciones de las estructuras son superficiales no convencionales dado que existe una gran cantidad de construcciones en las que sus cimentaciones son troncos de madera, terreno natural, delgadas losas en mampostería y/o concreto o simplemente estructuras con una esbeltez no proporcional entre altura y ancho.

En lo relacionado con la **Evaluación de la Amenaza y del Riesgo por Movimientos en Masa** específicamente para el polígono:



Considerándose el mapa de zonificación de la amenaza total por movimientos en masa para 50 años, teniendo en cuenta la variabilidad de los parámetros y la acción del sismo de 0.25g, se identifican los Focos 12, 13, 14, 15, 16, 17 y 22 en el sector norte del Polígono Villa Turbay. Estos son sitios potencialmente inestables, ubicados en una ladera urbanizada, de alta pendiente y desarrollada superficialmente en el Horizonte IC de Cuerpos asociados al Batolito Antioqueño. En la zona se mapearon vaguadas y procesos morfodinámicos actualmente inactivos. La inestabilidad potencial se asocia entonces con las pendientes de la ladera en conjunto con los parámetros de resistencia al corte y su variabilidad asociada, factores que en caso del sismo de diseño generan probabilidades de falla relativamente altas. En el sector sur del polígono se identifican los Focos 18, 19,

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

20 y 21, con probabilidades de falla del orden del 10% desarrollándose también sobre Horizonte IC de Cuerpos asociados al Batolito Antioqueño, en una zona poco urbanizada.

Desde el punto de vista del riesgo por movimientos en masa, se pudo determinar que es más crítico el resultado en términos de porcentaje de pérdidas económicas, el cual da lugar a un número importante de viviendas del sector norte del polígono con riesgo alto. Al analizar las variables que finalmente permiten llegar a este resultado, se puede determinar que es la presencia de focos de inestabilidad dentro del polígono, las altas pendientes del terreno y a los procesos morfodinámicos mapeados en la zona, la responsable de los resultados obtenidos. Considerando a los focos de inestabilidad asignándoles perfiles representativos se pueden hacer las siguientes anotaciones con respecto a las soluciones a implementar:

- ✓ El Perfil 1 es el representativo de las condiciones alrededor de los Focos 12 y 13, ubicados al costado norte del Polígono Villa Turbay. En lo que tiene que ver con la zona alrededor este perfil, se recomienda construir por lo menos una pantalla de contención con pilas en la parte más baja, la cual se ha proyectado de forma que pueda integrarse al Proyecto Barrios Sostenibles. De esta forma se considera como mitigable el riesgo de estructuras localizadas hacia abajo de esta pantalla. La parte más alta debe mantenerse sin avances en los procesos de urbanismo. Las viviendas que se encuentran en alto riesgo deben ser reubicadas y dichas áreas deben ser protegidas por medio de reforestación adecuada para fines de estabilidad y obras de control de erosión como trinchos, entre otros.
- ✓ Para el Perfil 2, representativo de las condiciones alrededor de los Focos 14, 15 y 17, ubicados en el centro del Polígono Villa Turbay, se recomienda que la parte más alta debe mantenerse sin avances en los procesos de urbanismo. Las viviendas que se encuentran en alto riesgo deben ser reubicadas y dichas áreas deben ser protegidas por medio de reforestación adecuada para fines de estabilidad y obras de control de erosión como trinchos, entre otros. En cuanto a las estructuras del Proyecto Barrios Sostenibles, las excavaciones que se proyecten deben considerar pantallas de contención profundas que eviten problemas de estabilidad global.
- ✓ Para el Perfil 3, representativo de las condiciones alrededor de los Focos 18 a 21, los análisis efectuados permiten determinar que con pantallas de contención es imposible controlar los problemas de estabilidad, porque lo que se lograría sería sólo trasladar la falla hacia abajo. Se considera entonces que las viviendas en este sector se encuentran en alto riesgo no mitigable. Las que se proyecten como parte del Proyecto Barrios Sostenibles debe considerar la implementación de sistemas de contención de la ladera en la parte posterior, por medio de anclajes pasivos, de manera que se logren controlar las superficies de falla más críticas detectadas por medio de este estudio.

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

En lo relacionado con la **Evaluación de la Amenaza y del Riesgo por Inundación y Avenidas Torrenciales** específicamente para el polígono:

En el Polígono Villa Turbay existen diversas viviendas que presentan amenaza alta y riesgo alto por inundación debido a los derrames ocasionados por la intervención e invasión de los cauces de la Quebrada La Mica, La Mica 1 y el Afluente El Sapero, así como también por la insuficiencia de la sección hidráulica de diversas estructuras que generan derrames con bajos periodos de retorno, los cuales se extienden a través de los senderos peatonales y escaleras y que tiene contacto con las edificaciones aledañas.



Se plantearon obras de mitigación en cada uno de los cauces del Polígono Villa Turbay con la finalidad de reducir o eliminar el riesgo por inundaciones. Estas obras consisten en reconformaciones del cauce, llaves de fondo, box culverts, canales escalonados y coberturas, y en conjunto permiten solucionar la problemática a la mayoría de las viviendas con riesgo alto. Las viviendas que permanecen en riesgo alto por inundaciones en condiciones proyectadas corresponden a algunas que se encuentran invadiendo los cauces, por lo que se consideraron con riesgo alto no mitigable.

Los eventos tipo avenidas torrenciales en el polígono de estudio presentan muy baja probabilidad de ocurrencia. Este resultado es consistente con lo registrado en las actividades de exploración geológica donde no se detectaron depósitos de material torrencial a lo largo de los cauces investigados. Es consistente también con lo reportado en Desinventar.

Según la superposición realizada a la capa de edificaciones proyectadas por la EDU, y la capa de retiros a corrientes hídricas establecidos por el POT (2014), se observó que algunas edificaciones están dentro de los límites de la franja de retiro. A partir de los resultados del presente estudio de detalle puede concluirse que la infraestructura de viviendas proyectadas está por fuera de los límites de la mancha de inundación asociados a 100 años periodo de retorno y de los retiros geológicos, es decir, se encuentra fuera de lo que sería la franja de retiro hidrológico y geológico que se delimitaría a partir de estos resultados. Es importante mencionar que la delimitación de la envolvente de retiro total a la corriente hídrica se encuentra fuera del alcance del presente estudio.

Así las cosas, finalmente se puede concluir que se logró el alcance definido desde el principio para el Polígono Villa Turbay. Se llegó hasta definición de las condiciones de riesgo ante fenómenos de movimientos en masa, inundación y avenidas torrenciales y la evaluación de las zonas que se consideran de riesgo mitigable y no mitigable, por medio de métodos cuantitativos y fácilmente reproducibles. Al interior de las zonas con riesgo mitigable se llegó hasta el establecimiento de las medidas de estabilización que puedan ayudar a la mitigación de dicho riesgo, incluyéndose medidas de tipo estructural. No obstante, es importante resaltar el hecho de que además de las obras diseñadas deben tenerse en cuenta las recomendaciones dadas desde el punto de vista de riesgo por movimiento en masa, las cuales incluyen:

- ✓ Para el Perfil 1 una pantalla de contención con pilas en la parte más baja, proyectada de forma que pueda integrarse al Proyecto Barrios Sostenibles.

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	--	---

- ✓ Para el Perfil 2 se recomienda que la parte más alta se mantenga sin avances en los procesos de urbanismo. Las viviendas que se encuentran en alto riesgo deben ser reubicadas y dichas áreas deben ser protegidas por medio de reforestación adecuada para fines de estabilidad y obras de control de erosión como trinchos, entre otros. En cuanto a las estructuras del Proyecto Barrios Sostenibles, las excavaciones que se proyecten deben considerar pantallas de contención profundas que eviten problemas de estabilidad global.
- ✓ Para el Perfil 3, se considera que las viviendas en este sector se encuentran en alto riesgo no mitigable. Las que se proyecten como parte del Proyecto Barrios Sostenibles debe considerar la implementación de sistemas de contención de la ladera en la parte posterior, por medio de anclajes pasivos, de manera que se logren controlar las superficies de falla más críticas detectadas por medio de este estudio.

En el Anexo 08 se presentan las memorias de diseño de las obras de mitigación recomendadas. En los Planos P-2445-VT-OM-01 a P-2445-VT-OM-05 del Anexo 09 se presentan los diseños de estas estructuras mencionadas que dan solución a la problemática de riesgo del polígono. En el Anexo 11 se presentan las cantidades de obra, presupuesto y especificaciones.

Finalmente, el Anexo 12 contiene la información correspondiente a la metodología del trabajo en SIG con el manual de usuario y con las rutinas que se implementaron para generar los mapas de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, además de las bases de datos, los archivos de mapa, los archivos raster y complementarios. La información se localiza en una carpeta (directorio) llamada Proy_Riesgos_EDU, y al interior de ésta, 14 subdirectorios que contienen la información requerida por los usuarios del proyecto y que son los necesarios para el entendimiento de la información, y a su vez al interior de algunos de estos subdirectorios, se ubicaron otras carpetas que dan cuenta de diversos aspectos de la información geográfica (Figura 212).

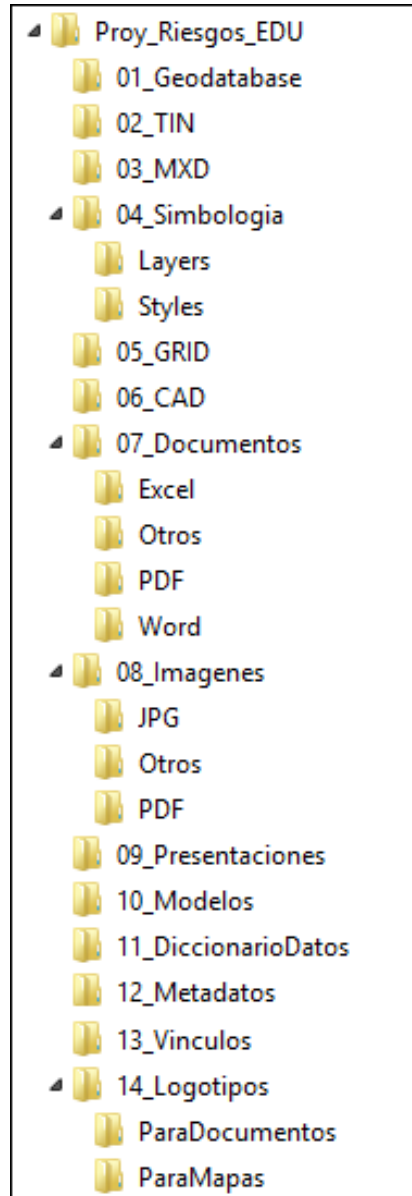




Figura 212. Estructura general de la información entregada

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

23. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMVA, (2012). Directrices y lineamientos para la elaboración de los estudios geológicos geomorfológicos, hidrológicos, hidráulicos, hidrogeológicos y geotécnicos para intervenciones en zonas de ladera, en el Valle de Aburrá. Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

AMVA, (2009). Amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones en el Valle de Aburrá. Formulación de propuestas de gestión (Vol. Libro II). (C. y. Proyecto en conjunto del Área Metropolitana del Valle de Aburrá con los municipios de Medellín y Envigado, Ed.) Medellín: Área metropolitana del Valle de Aburrá.

AMVA, (2007). Microzonificación y evaluación del Riesgo Sísmico del Valle de Aburrá (Publicación Institucional No. 29 ed.). Medellín: Área Metropolitana del Valle de Aburrá.

AMVA, CORNARE, CORANTIOQUIA, Universidad Nacional de Colombia Sede Medellín. (2005). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá. Convenio de Cooperación No. 652 de 2005.

Aleotti P., Chowdhury R., (1999). Landslide Hazard Assessment: Summary Review And New Perspectives[J]. Bull. Eng. Env., 58:21-44.

Amatruda G., Bonnard C., Castelli M., Forlati F., Giacomelli M., Morelli M., Paro L., Piana F., Pirulli M., Polino R., Prat P., Ramasco M., Scavia C., Bellardone G., Campus S., Durville J.L., Poisel R., Preh A., Roth W., Tentschert E.H., (2004). A key approach: the IMIRILAND project method. In: Bonnard C, Forlati F, Scavia C (eds) Identification and mitigation of large landslide risks in Europe—advances in risk assessment. European Commission Fifth Framework Program. Balkema, Rotterdam, pp 13–44.

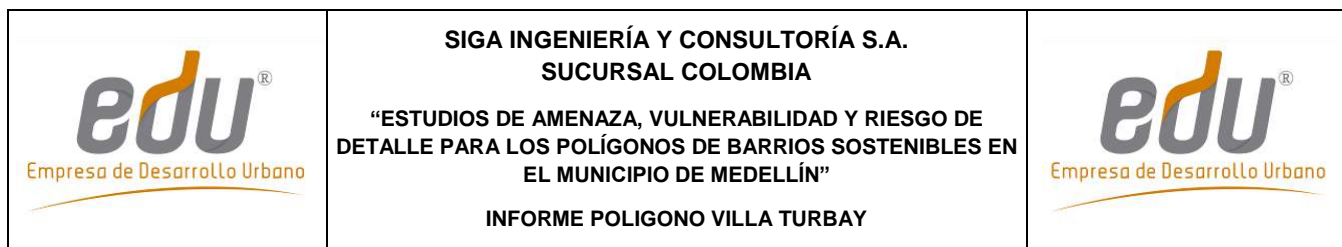
Anbalagan, D., (1992). Landslide Hazard Evaluation And Zonation Mapping In Mountainous Terrain [J]. Engineering Geology, 32; 269 - 277.

Ariztizábal, E. & Gómez, J. (2007). Inventario de emergencias y desastres en el Valle de Aburrá. Originados por fenómenos naturales y antrópicos en el periodo 1880-2007.

Barton, N., R. Lien, and J. Lunde (1974). “Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Tunnel Support.” Rock Mechanics. Vol 6, No. 4, Vienna, Austria, Dec., pp. 417-440.

Brass. A., Wadge, G. and Reading, A. J., (1989). ‘Designing a Geographical Information System for the prediction of landsliding potential in the West Indies’, Proc. Economic Geology and Geotechnics of Active Tectonic Regions, University College, London, 3-7 April 1989, 13pp.

Carrara A., (1995). GIS Technology In Mapping Landside Hazard [A]. In: CARRARA A, GUZZETTI F (eds.). Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards[C]. Dordrecht: Kluwer Acad. Pub1., 135 - 176.



Case, J.E., Duran, L.G., López, A., Moore, W.R., (1971). Tectonic investigations in western Colombia and Eastern Panamá. Geological Society of America Bulletin 82, 2685-2712.

Chow, Ven Te; Maidment, David R.; Mays & Larry W., (1994). Hidrología Aplicada. McGraw-Hill.

Chow, Ven Te.(1994). Hidráulica de Canales Abiertos. McGraw-Hill.

Consortio Microzonificación, (2006). Microzonificación sísmica detallada de los municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Envigado. Informe Final para el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. 745 P.

Corominas, J., Van Westen, C., Frattini, P., Cascini, L., Malet, J. P., Fotopoulou, S. & Smith, J. T. (2014). Recommendations for the quantitative analysis of landslide risk. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 73(2), 209-263.

Coupé F., Arboleda E. & García C., (2007). Villatina: Algunas reflexiones 20 años después de la tragedia. Gestión y Ambiente. Volumen 10 – No. 2. Medellín, agosto de 2007.

Cruden, D.M. & Varnes, D.J., (1996). Landslide types and processes. Landslide investigation and mitigation, TRB Special Report 247. National Academy Press, Washington, DC, pp. 36–75.

Daí, F. C. & Lee, C. F., (2001). Terrain-based mapping of landslide susceptibility using a geographical information system: a case study[J]. Can. Geotech. J., 38:911-923.

DEACIVIL (2014) “Estudios de Microzonificación Geológico – Geotecnia, de Suelos, E Hidrológicos y Análisis de Estabilidad de Laderas para la Recuperación de Zonas de Riesgo en Sectores del Cerro Pan De Azúcar Influenciadas por los Proyectos del Cinturón Verde Metropolitano en la Ciudad De Medellín”.

Deere, D. U. & Patton, F. D., (1971). Slope stability in residual soils. En Proc. Fourth Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Puerto Rico. Vol. 1. Pág. 87-170. 1971.

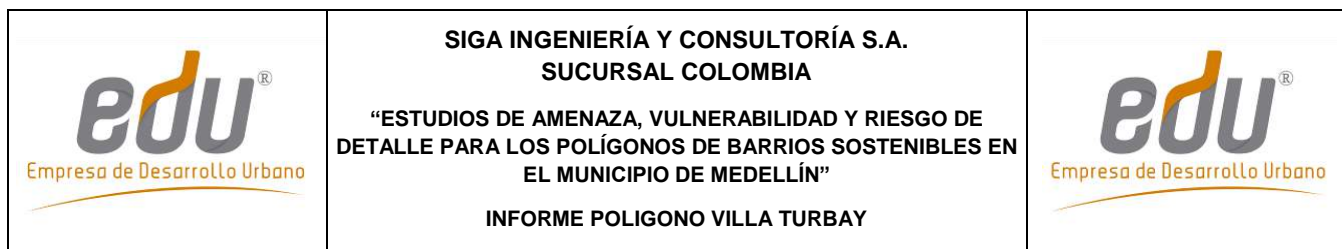
Duncan, J. M. (2000) Factors of safety and reliability in geotechnical engineering. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, Vol. 130(10), 985–1003.

Empresas Públicas de Medellín, (2005). Revista Hidrometeorológica. Volumen 1. Número 1.

El-Ramly, H., N.R. Morgenstern, e Cruden, D.M. (2006) Lodalen slide: a probabilistic assessment. Canadian Geotechnical Journal, 43: 956–968.

Figueras, S., Macau, A., Goula, X., Gonzalez, M.(2005) “Aplicación del método de Newmark para el estudio de los movimientos de ladera activados por terremotos en Andorra”. VI Simposio Nacional sobre Taludes y Laderas Inestables. Valencia – España. 21-24.

FLO-2D, (2010). Reference Guide and GDS Manual.



FHWA, (2012). Hydraulic Design of Highway Culverts. Third Edition.

García, R.; Rodríguez, J.J.; O'Brian, J.S., (2004). Hazard Zone Delineation for Urbanized Alluvial Fans.

González H., (1980). Geología de las planchas 167 (Sonsón) y 187 (Salamina). Boletín Geológico Volumen 23, No. 1. Ingeominas.

Graham, J. (1984). Methods Stability Analysis. Slope Instability. Ed. D. Brunsten & D.B. Prior. 6:171-215, John Wiley & Sons Ltd, London.

Grosse, E., (1926). Mapa geológico de la parte occidental de la cordillera central entre el río Arma y Sacaoyal. Escala 1:50000. El Terciario Carbonífero de Antioquia. Berlín.

Guimaraes, M.T. (2015), Avaliação Quantitativa da Vulnerabilidade Física Associada a Processos de Deslizamentos de Encostas. Departamento De Engenharia Civil E Ambiental. Teses Doctoral. Universidad de Brasilia, Brasilia

Hidalgo, C. & Hoyos, F., (1998). Recarga de acuíferos y corrientes superficiales en la ladera occidental del Valle de Aburrá, trabajo dirigido de grado, 54 p, Facultad de Minas, Medellín.

Hoyos, F., (1985). Régimen de aguas subterráneas en suelos residuales profundos derivados de rocas cristalinas en la Cordillera Central, II Simposio Colombiano de Hidrogeología, Memorias, p. 107-125, Bogotá.

Hoyos, F., (1990). Efecto de infiltraciones distantes en la inestabilidad de laderas. I Curso Internacional de Zonificación Geológica y Geotécnica de Laderas de Alta Pendiente. Facultad de Minas. Medellín, 1990. Boletín de Vías, v XVII, n 71, pp 97-128. Universidad Nacional. Manizales.

Hoyos, F., (1992). Variación regional en la composición isotópica del agua lluvia en Colombia, Memorias del XV Congreso Latinoamericano de Hidráulica, Cartagena.



Hoyos, F., (1994). The Moses Rod: groundwater in generation of deep seated landslides. Bulletin of the Association of Engineering Geologists v XXXI, n 1. pp 133-149.

Hoyos, F., (1998). Recarga de acuíferos en la Cordillera Central de Colombia determinada mediante isótopos ambientales. XVIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica - Memorias. Montevideo.

Hoyos, F., (2000). Evaluación hidrogeológica del Corredor del Túnel Aburra-Oriente, Informe a Concesión Túnel Aburra Oriente, 47 p., Medellín.

Hoyos, F., (2001). Precipitaciones y deslizamientos, elementos hidrológicos e hidrogeológicos en el análisis de estabilidad de laderas, III Seminario Panamericano de deslizamientos, Memorias, 327-336, Cartagena.

Hoyos, F., (2007). Elementos hidrológicos e hidrogeológicos en el análisis de estabilidad de laderas. www.academia.edu.co Hoyos, F., 2009, Mina Conasfaltos. Bello -

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

Copacabana. Hidrogeología de los depósitos aluviales del río Medellín en su zona de influencia. Informe. 65 p. Medellín.

Hoyos, F., (2012). Discriminación de flujos subterráneos hacia el Valle de Aburrá desde el Planalto de Santa Elena y los Valles de San Nicolás. Informe a Concesión Túnel Aburra Oriente. 26 p. Medellín

Hoyos, F. & Arnason, B., (1994). Claves isotópicas en la hidrogeología de alta montaña, Boletín de Vías, XXI, 90, 51-64.

Hoyos, F. & Arnason, B., (1995). Stable isotopes for high mountain hydrogeology in Colombia. IAEA Symposium on Water Resources Management. Viena.

Hoyos, F. & Arnason, B., (1996). El caso del gradiente cero: hidrología isotópica en la zona central de Antioquia. Seminario Nacional de hidráulica. Memorias pp195-206. Bogotá.

Hoyos P., F. & Arnason, B., (1996). El caso del gradiente cero: hidrología isotópica en la zona central de Antioquia. Seminario Nacional de hidráulica. Memorias pp195-206. Bogotá 1996

Hoyos P., F., Arnason, B. & Salazar, B., (1996). Del altiplano al valle: una conexión hidráulica inferida a partir de información isotópica. Congreso Latinoamericano de Hidráulica. Memorias pp 379-389. Guayaquil 1996.

Huggett R. J., (2007). Fundamentals of geomorphology, second edition, New York. pp 184-219.

Hungr, O., (1997). Some Methods of Landslide Intensity Mapping. In: Cruden, D.M., Fell, R. (Eds.), Landslide risk assessment — Proceedings of the International Workshop on Landslide Risk Assessment, Honolulu, 19–21 February 1997. Balkema, Rotterdam, pp. 215–226.



INGEOCILCÓN LTDA (2014). “Estudios y diseños hidrológicos, hidráulicos y estructurales de los cauces influenciados por los proyectos del piloto Cinturón Verde metropolitano”.

INGEOMINAS (2005). Mapa Geológico Plancha 147 Medellín Oriental, escala 1:50.000, Memoria explicativa. Ingeominas 314p.

INTEGRAL (2010). Estudio hidrogeológico del Túnel de Oriente. Informe a la Concesión Túnel Aburrá Oriente, 49 p. Medellín.

INTEINSA (2013). Estudio geológico geotécnico para la reubicación del tanque de almacenamiento Llanaditas. Preparado para EPM. I-2300-011-ELL-03, Informe Final.

INTEINSA (2011). Estudio geológico - geotécnico para la ubicación de un tanque de impulsión en el municipio Medellín en el sector Llanaditas. Preparado para EPM. I-2189-ELL-02, Informe Final.

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	---	---

Lantada, M. N, (2007) Evaluación del riesgo sísmico mediante métodos avanzados y técnicas GIS. Aplicación a la ciudad de Barcelona. Tesis doctoral Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria del Terreny, Cartogràfica i Geofísica. Barcelona – España. 2007.

Li. Z., Nadim F., Huang H., Uzielli M., Lacasse S., (2010). Quantitative Vulnerability Estimation for Scenario-Based Landslide Hazards. Springer Verlag. Landslides 7:125-134.

Louie, J. N. (2001). Faster. Better: shear-wave velocity to 100 meter depth from refraction microtremor arrays, Bull. Seism. Soc. Am. 91, 347-364.

López, Jose L. Courtel Francois, (2008). An Integrated Approach for Debris-Flow Risk Mitigation in the North Coastal Range of Venezuela.

Newmark N (1965). “Effects of earthquakes on dams and embankments”. Géotechnique, 15.2. pp 139-159.

NTC 1022 (2014). Norma Técnica Colombiana – Tubos de Concreto Sin Refuerzo para Alcantarillado. Sexta actualización. Editada por el Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC) 2009-03-27.

Posada, P. Blanca Olivia (2000). Sensores remotos y SIG en la cartografía de cenizas volcánicas. Tesis de Maestría. Universidad EAFIT.

POT (2014). Plan de Ordenamiento Territorial del Municipio de Medellín. Acuerdo 48 de 2014.

Ragozin, A.L., Tikhvinsky, I.O. (2000). Landslide hazard, vulnerability and risk assessment. In: Bromhead, E., Dixon, N., Ibsen, M.-L. (Eds.), Landslides. In: Research, Theory and Practice. Proceedings of the 8th International Symposium on Landslides, Cardiff, 26–30 June 2000, pp. 1257–1262.



Restrepo, J.J. y Toussaint, J.F., (1974). Obducción cretácea en el Occidente Colombiano. Anales Fac. Minas, Univ. Nacional, Medellín, N. 58, pp 73-105

Restrepo, J. J., Toussaint, J. F., (1984). Unidades Litológicas de Los Alrededores de Medellín en: Memorias de la I Conferencia Sobre Riesgos Geológicos del Valle de Aburrá. pp 1-26

Rodríguez, C., (1990). Hidrología isotópica en Colombia, Universidad Nacional, 45 p. Bogotá.

Rosgen, Dave (1994). Applied River Morphology. Second Edition.

San Buenaventura (2014). “Estudios y diagnóstico físico para la formulación de los proyectos barrios sostenibles en los sectores Golondrinas, Versalles, Rancho de lata al interior de los macroproyectos Llanaditas, La Cruz y El Picacho, dentro del marco del proyecto cinturón verde metropolitano en la ciudad de Medellín”. Polígono de Intervención Altos de la Torre. Barrios Sostenibles. Documento Técnico de Soporte Fase de Diagnóstico. Contrato de Asociación 63 de 2014. Universidad San Buenaventura, Mayo 2014.

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	--	---

SGC, (2015). Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa. Servicio Geológico Colombiano, Bogotá, Colombia.

Skempton, W., (1964). Long-term stability of clay slopes, *Geotechnique*, 14, 75-101.

Takahashi, Tamotsu (2007). *Debris Flow: Mechanics, Prediction and Countermeasures*. Taylor & Francis Group, London, UK.

Taylor, D.W., (1948). *Fundamentals of Soil Mechanics*. Wiley, New York.

Thouret, J.C., Enjolras, G., Martelli, K., Santoni, O., Luque, J. A., Nagata, M., Arguedas, A., and Macedo, L. (2013). Combining criteria for delineating lahar- and flash-flood-prone hazard and risk zones for the city of Arequipa, Peru.

Tóth, J. (1963). A theoretical analysis of groundwater flow in small drainage basins, *Journal of Geophysical Research*, 67, 4375^o-4387.

Universidad Nacional de Colombia (1997). Evaluación hidrogeológica preliminar para los municipios de El Retiro, Rionegro, La Ceja, El Carmen de Viboral, Guarne y Marinilla, Medellín.

Universidad Nacional de Colombia (2000). Investigación de aguas subterráneas en la región Valles de San Nicolás, Medellín.

UPB (2014). “Estudios, diagnóstico, formulación y diseños de los proyectos barrios sostenibles en el sector la arenera y tres sectores más al interior de los planes maestro pan de azúcar, llanaditas, y los sectores del plan maestro centro oriental pertenecientes a la comuna ocho, dentro del marco del proyecto cinturón verde metropolitano en la ciudad de Medellín”. Polígono de Intervención Villa Turbay – La Mica. Barrios Sostenibles. Documento Técnico de Soporte Fase de Diagnóstico. Convenio 67 de 2014. Universidad Pontificia Bolivariana, Septiembre 2014.

Uzielli, M. (2006). Risk and Vulnerability for Geohazards – Probabilistic Estimation of Regional Vulnerability to Landslides. ICG report 2006-2-7, Oslo.



Uzielli, M., Nadim, F., Lacase, S., Kaynia, A.M. (2008). A conceptual Framework for Quantitative Estimation of Physical Vulnerability to Landslides. *Engineering Geology* 102. 251-256

Van Westen C J, Terlien M T J, (1996). An Approach Towards Deterministic Landslide Hazard Analysis in GIS: A Case Study From Manizales (Colombia) [J]. *Earth Surface Processes and Landforms*, 21: 853 - 868.

Varnes, D.J. (1984). Landslide hazard zonation: a review of principles and practice. *Natural Hazard*. Vol. 3: 63, UNESCO Press.

Vega, J. A. (2013). Estimación del riesgo por deslizamientos de laderas generados por eventos sísmicos en la ciudad de Medellín usando herramientas de la Geomática. Caso aplicado a edificaciones urbanas. La Plata - Argentina. 2012. pp51.

Vélez, M.V.; Smith, R. (1997). *Hidrología de Antioquia*.



	<p style="text-align: center;">SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p style="text-align: center;">“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p style="text-align: center;">INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	--	---

Ward, T. J., Ruh-Ming, L. and Simons, D. B. 1982. 'Mapping landslide hazards in forest watershed', Journal of Geotechnical Engineering Division, Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 108(GT2), 3 19-324.

Whitman, R. V. (1984). Evaluating Calculated Risk in Geotechnical Engineering. Journal of Geotechnical Engineering, 110 (2): 144-188

XIE MO-wen, ZHOU G, ESAKI T, (2003).GIS Component Based 3D Landslide Hazard Assessment System: 3DSLOPEGIS. Chinese Geographical Science, Volume 13, Number 1. Science Press, Bijing China. pp 66-72.

Yamín, L. E., Ghesquiere, F., Cardona, O. D. & Ordaz, M. G. (2013). Modelación probabilista para la gestión del riesgo de desastres: el caso de Bogotá, Colombia. Banco Mundial, Universidad de los Andes.

	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLIGONO VILLA TURBAY</p>	
---	--	---

24. LIMITACIONES

El presente informe se fundamenta en las condiciones del terreno encontradas durante los trabajos de exploración en campo, la información básica recopilada, y posteriormente, en los análisis efectuados.

Lo estimado son proyecciones aplicando la “buena práctica profesional”, haciendo un esfuerzo razonable en términos de recursos y de la aplicación del conocimiento para proponer soluciones a los problemas planteados. Sin embargo, la naturaleza es aleatoria en cuanto a la intensidad y frecuencia en la ocurrencia de los fenómenos, por lo que el ingeniero puede estimar más no predecir la ocurrencia de los eventos naturales que pueden afectar una obra de ingeniería.