
	<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 PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

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 PINARES DE ORIENTE**

MAYO DE 2018



VERSIÓN 10



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 PINARES DE ORIENTE



CONTROL DE VERSIÓN			
Versión	Fecha	Capítulo Modificado	Descripción
0	22/06/2015	No Aplica	Documento Inicial
1	16/07/2015	Todos	Revisión general y correcciones
2	14/08/2015	Todos	Documento Final
3	30/10/2015	Todos	Correcciones al Documento Final
4	20/11/2015	Fue incluido un nuevo capítulo con análisis de redes de servicios públicos y fueron modificados los de vulnerabilidad y conclusiones y recomendaciones	Revisión del Documento Final
5	03/12/2015	Se hicieron modificaciones a Capítulos 19 y 20	Revisión del Documento Final
6	15/12/2015	Se hicieron modificaciones a Capítulo 20	Revisión del Documento Final
7	22/12/2015	Se incluyeron convenciones en figura del Capítulo 20	Revisión del Documento Final
8	20/05/2016	Se hicieron ajustes de acuerdo con solicitud de La EDU. Se modificaron especialmente Introducción y Conclusiones	Revisión del documento Final
9	30/11/2017	Se hicieron ajustes de acuerdo con solicitud del DAP, DAGRD y SMA.	Revisión del documento Final
10	18/05/2018	Se hicieron ajustes de acuerdo con solicitud de La Interventoría con base en requerimientos del DAP, DAGRD y SMA.	Revisión del documento Final



	<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 PINARES DE ORIENTE </p>	
---	---	---

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:

TABLA DE CONTENIDO

CONTROL DE VERSIÓN	2
CONTROL DE VERSIÓN	¡Error! Marcador no definido.
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 DE LA UMI.....	9
4. ASPECTOS GEOLÓGICOS.....	15
4.1 GEOLOGÍA REGIONAL.....	15
4.1.1 Llenos antrópicos (Qll)	15
4.1.2 Cenizas volcánicas (Qcv).....	17
4.1.3 Depósitos aluviotorrenciales (Qat)	17
4.1.4 Depósitos de deslizamiento (Qd)	17
4.1.5 Depósitos de flujo de lodos y/o escombros (QFIII, NFI, NQFII)	17
4.1.6 Cuerpos asociados al Batolito Antioqueño (KcdA)	18
4.1.7 Dunitas de Medellín (JKuM).....	18
4.2 GEOLOGÍA LOCAL	19
4.2.1 Llenos antrópicos (Qll)	24

	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 PINARES DE ORIENTE	
---	---	---

4.2.2	Depósitos de deslizamiento (Qd)	25
4.2.3	Depósitos de talus (Qt)	25
4.2.4	Depósitos de flujo de lodos y/o escombros (Qfl/e)	26
4.2.5	Dunitas de Medellín (JKuM)	28
5.	ASPECTOS GEOMORFOLÓGICOS.....	33
5.1	GEOMORFOLOGÍA REGIONAL.....	33
5.1.1	Macrounidades geomorfológicas	33
5.1.2	Unidades Geomorfológicas.....	36
5.2	GEOMORFOLOGÍA LOCAL	39
5.2.1	Unidad Peldaño Bajo PÑB	43
5.2.2	Unidad Peldaño Tectónico PÑT	44
5.2.3	Unidad Picacho P	44
5.2.4	Unidad Escarpe Largo Semicircular ELSC.....	45
5.2.5	Unidad Escarpe E	46
5.2.6	Unidad Lomo Amplio con Vertientes Moderadas LAVM.....	46
5.2.7	Unidad Lomo Alargado con Vertientes Fuertes LARVF	47
5.2.8	Unidad Superficie Antrópica SA.....	47
5.2.9	Unidad Superficies Suaves sobre Depósitos Moderadamente Incisados	47
5.2.10	Unidad Superficies Suaves sobre Depósitos Poco Incisados SSDPI	48
5.2.11	Unidad de Superficies con Baja Incisión SBI.....	49
5.2.12	Unidad de Vertiente Escarpada VE.....	49
5.2.13	Unidad de Vertiente Suave VS	49
5.2.14	Unidad de Dolinas.....	50
5.3	MORFODINÁMICA REGIONAL	52
5.4	MORFODINÁMICA LOCAL	58



6.	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL	64
6.1	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL REGIONAL	64
6.2	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL LOCAL	64
6.2.1	Orientación y buzamiento	67
6.2.2	Espaciamiento	71
6.2.3	Continuidad.....	72
6.2.4	Abertura.....	73
6.2.5	Relleno	74
6.2.6	Alteración.....	75
6.2.7	Rugosidad	76
6.2.8	Agua	78
6.2.9	Resistencia de las paredes	78
6.3	ANÁLISIS ESTRUCTURAL	79
7.	EVALUACIÓN DE LA APTITUD GEOLÓGICA.....	86
7.1	ASPECTOS GENERALES	86
7.2	MAPA DE CRITICIDAD DE ZONAS HOMOGÉNEAS.....	87
7.3	MAPA DE CRITICIDAD MORFODINÁMICA	91
7.4	MAPA DE ZONIFICACIÓN DE APTITUD GEOLÓGICA.....	93
8.	ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS	98
8.1	ASPECTOS GENERALES	98
8.2	LA RECTA METEÓRICA O RECTA DE CRAIG	100



8.3	EL GRADIENTE OROGRÁFICO	104
8.4	EL GRADIENTE NULO	108
8.5	MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL	112
8.5.1	Zonas de recarga.....	112
8.5.2	Caracterización del acuífero	113
8.5.3	Flujo regional y flujo local.....	113
8.5.4	Zonas de descarga	114
8.6	INSTRUMENTACIÓN GEOTÉCNICA	114
8.6.1	Piezómetros P-PO-PZ-06A a P-PO-PZ-06D	117
8.6.2	Piezómetros P-PO-PZ-08B y P-PO-PZ-08D	118
8.6.3	Piezómetros P-PO-PZ-11B y P-PO-PZ-11D	119
8.6.4	Análisis de la instrumentación en función del modelo propuesto.....	120
8.7	AMENAZA POR MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL	121
9.	ASPCTOS SÍSMICOS.....	126
10.	ASPECTOS GEOTÉCNICOS.....	130
10.1	SONDEOS EXPLORATORIOS	130
10.1.1	Perforaciones.....	130
10.1.2	Líneas geofísicas.....	140
10.2	ENSAYOS DE LABORATORIO	155
10.2.1	Ensayos de clasificación.....	156
10.2.2	Ensayos de resistencia al corte.....	161
10.3	PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE LOS MATERIALES.....	166





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 PINARES DE ORIENTE





10.3.1	Aspectos generales	166
10.3.2	Lleno antrópico	167
10.3.3	Depósitos de flujo de lodos y/o escombros	168
10.3.4	Depósitos de deslizamiento	169
10.3.5	Depósitos coluviales	170
10.3.6	Suelos derivados de las Dunitas (Horizontes IB y IC)	172
10.3.7	Análisis variacional de los parámetros de resistencia al corte	173
11.	ASPECTOS HIDROLÓGICOS	174
11.1	GENERALIDADES	174
11.2	REVISIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA	174
11.3	ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS Y RÉGIMEN DE PRECIPITACIÓN.....	177
11.3.1	Estación Planta Villa Hermosa	179
11.3.2	Estación Mazo	179
11.3.3	Estación Miguel de Aguinaga.....	180
11.4	DELIMITACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS CUENCAS	181
11.4.1	Parámetros morfométricos de las cuencas	184
11.4.2	Usos del suelo	184
11.4.3	Tiempos de concentración	187
11.5	CAUDALES MÁXIMOS	188
11.5.1	Intensidades de Diseño	188
11.5.2	Método Racional	190
11.5.3	Hidrogramas sintéticos	191
11.5.4	Regionalización de caudales	195
11.5.5	Resumen de caudales	198





12.	ASPECTOS HIDRÁULICOS	199
12.1	REVISIÓN DE INFORMACIÓN BÁSICA	199
12.2	DESCRIPCIÓN GENERAL DE CAUCES	199
12.2.1	Quebrada La Loquita	201
12.2.2	Quebrada La Loquita 1	205
12.2.3	Drenaje Afluyente La Loquita.....	209
12.3	ANÁLISIS HIDRÁULICO EN INUNDACIONES.....	211
12.3.1	Descripción del Modelo FLO-2D	211
12.3.2	Caudales empleados en la modelación.....	212
12.3.3	Información topográfica	212
12.3.4	Tamaño de la malla	212
12.3.5	Condiciones de Frontera.....	213
12.3.6	Condiciones Iniciales	213
12.3.7	Condiciones de estabilidad numérica.....	213
12.3.8	Coefficiente de rugosidad	214
12.3.9	Estructuras hidráulicas.....	214
12.3.10	Resultados en la Quebrada La Loquita (Condiciones Actuales).....	214
12.3.11	Resultados en la Quebrada La Loquita 1 (Condiciones Actuales).....	218
12.3.12	Resultados Afluyente La Loquita Est. 9 y Est. 10 (Condiciones actuales).....	219
13.	AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	223
13.1	METODOLOGÍA.....	223
13.1.1	Aspectos generales	223
13.1.2	Escenarios de análisis	223
13.1.3	Cálculo de los factores de seguridad	225
13.1.4	Cálculo de la probabilidad de falla	228

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

13.1.5	Implementación de Sistemas de Información Geográfica (SIG)	230
13.1.6	Criterios para calificar la amenaza	233
13.2	RESULTADOS	234
14.	AMENAZA POR INUNDACIÓN.....	242
14.1	ASPECTOS GENERALES	242
14.2	METODOLOGÍA.....	242
14.3	RESULTADOS	245
15.	AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES	248
15.1	ASPECTOS GENERALES	248
15.2	AVENIDAS TORRENCIALES POR MOVIMIENTOS EN MASA	248
15.3	AVENIDAS TORRENCIALES POR REMOCIÓN DEL MATERIAL DEL LECHO 249	
15.4	RESULTADOS	251
16.	EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	252
16.1	ASPECTOS GENERALES	252
16.2	VULNERABILIDAD PARA MOVIMIENTOS EN MASA.....	254
16.2.1	Metodología de análisis	254
16.2.2	Calibración de la metodología.....	260
16.2.3	Levantamientos de campo y análisis de la información.....	269
16.2.4	Determinación y zonificación de la vulnerabilidad física y de personas.....	282

	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 PINARES DE ORIENTE	
---	--	---

16.3	VULNERABILIDAD PARA INUNDACIONES	292
16.4	SOPORTE FOTOGRÁFICO PANORAMA GENERAL DE LAS ESTRUCTURAS 304	
17.	RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	308
17.1	ASPECTOS GENERALES	308
17.2	CÁLCULO DEL RIESGO.....	308
17.3	RESULTADOS	309
18.	RIESGO POR INUNDACIONES Y AVENIDAS TORRENCIALES	318
18.1	METODOLOGÍA.....	318
18.2	RESULTADOS	318
19.	ANÁLISIS DE REDES DE SERVICIOS PÚBLICOS.....	322
19.1	CARACTERÍSTICAS DE LAS REDES EXISTENTES.....	322
19.2	SUPERPOSICIÓN EN MAPAS DE AMENAZA	323
19.3	ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD DE LAS REDES	327
19.3.1	Tubería en concreto no reforzado (Clase 1).....	327
19.3.2	Tubería en acero y en hierro dúctil (HD)	327
19.3.3	Tubería en Policloruro de Vinilo (PVC)	327
19.3.4	Vulnerabilidad de los diferentes tipos de redes	327
19.4	EVALUACIÓN DEL RIESGO DE LAS REDES	327

	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 PINARES DE ORIENTE	
---	--	---

20.	ZONAS DE RETIRO HIDROLÓGICO Y GEOLÓGICO.....	329
20.1	JUSTIFICACIÓN	329
20.2	METODOLOGÍA GENERAL	329
20.3	RESULTADOS	331
21.	PLANTEAMIENTO DE OBRAS DE MITIGACIÓN DEL RIESGO.....	334
21.1	OBRAS PARA RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA	334
21.2	OBRAS PARA RIESGO POR INUNDACIONES	342
21.2.1	Análisis de resultados en condiciones actuales	342
21.2.2	Análisis de resultados en condiciones proyectadas	342
22.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	348
23.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	358
24.	LIMITACIONES	365

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Zonificación de la UMI Pinares de Oriente, Zona alta y baja. (Sin escala)	9
Figura 2.	Zona parte alta de la UMI Pinares de Oriente.....	10
Figura 3.	Panorama general de las condiciones de los drenajes La Loquita en la zona baja del Polígono Pinares de Oriente	12
Figura 4.	Zona parte baja de la UMI Pinares de Oriente.....	13
Figura 5.	Materiales antrópicos en la Perforación P-PO-PR-11	25
Figura 6.	Depósito de deslizamiento en la parte alta de la UMI	26
Figura 7.	Depósito de talus.....	26
Figura 8.	Depósito de flujo de lodos y/o escombros en la parte superior de la UMI	28
Figura 9.	Evidencias de dunita cizallada en la zona de estudio	29
Figura 10.	Horizonte IB de meteorización de las Dunitas de Medellín	29
Figura 11.	Horizonte IC de meteorización donde se muestran bloques fantasmas y suelo residual	30
Figura 12.	Horizonte IC de meteorización que exhibe estructura esquistosa en la Dunita	30
Figura 13.	Horizonte IIA de meteorización con estructuras de esquistosidad en la Dunita	31
Figura 14.	Paredes de roca, localizadas en la parte alta de la UMI sobre unidades geomorfológicas de escarpes y lomos.....	32
Figura 15.	Perfil A-A' de unidades geomorfológicas	42
Figura 16.	Perfil B-B' de unidades geomorfológicas	42
Figura 17.	Perfil C-C' de unidades geomorfológicas.....	43
Figura 18.	Peldaño Bajo PÑB, Superficies con Baja Incisión SBI y Escarpes Largos Semicirculares ELSC	43
Figura 19.	A) PÑT-Peldaño Tectónico, P Cerro Pan de Azúcar (CPA), ELSC Escarpe Largo Semicircular, SSDPI Superficies Suaves Sobre Depósitos Poco Incisados y LAVM Lomo Amplio con Vertientes Moderadas. B) Relieve escalonado con descansos o peldaños limitados por zonas escarpadas	44
Figura 20.	Unidad de Picacho P Cerro Pan de Azúcar (CPA)	45

Figura 21.	Unidad de Escarpes Largos Semicirculares ELSC	45
Figura 22.	Unidad de Escarpe E localizada en la parte alta de la UMI	46
Figura 23.	Unidad de Lomo Amplio con Vertientes Moderadas LAVM	46
Figura 24.	Unidad de Lomo Alargado con Vertientes Fuertes LARVF	47
Figura 25.	Unidad de Superficie Antrópica SA sobre el Tanque Santa Elena	47
Figura 26.	Unidad de Superficies Suaves sobre Depósitos Moderadamente Incisados SSDMI y Vertiente Escarpada VE	48
Figura 27.	Unidad de Superficies Suaves sobre Depósitos Poco Incisados-SSDPI y Lomo Amplio con Vertientes Moderadas LAVM.....	48
Figura 28.	Unidad de Superficies Suaves sobre Depósitos Poco Incisados SSDPI y Peldaño Tectónico PÑT.....	49
Figura 29.	Unidad de Vertiente Suave VS y Superficies Suaves sobre Depósitos Poco Incisados SSDPI	50
Figura 30.	Principales formaciones genéticas de una dolina (Huggett, 2007).....	51
Figura 31.	Principales formaciones genéticas de una dolina (Huggett, 2007).....	52
Figura 32.	Dolina cartografiada en la parte alta de la UMI	52
Figura 33.	Distribución de los fenómenos según su tipología	55
Figura 34.	Análisis de los barrios más afectados por los fenómenos.....	55
Figura 35.	Fotografía del deslizamiento de Villatina en septiembre de 1987	58
Figura 36.	Proceso activo en extremo este de la UMI (A) visto desde lejos y (B) visto de frente.....	60
Figura 37.	Escarpes de roca en la parte alta de la UMI con alto grado de fracturamiento	62
Figura 38.	Bloques expuestos por lavado del suelo residual (A) parte alta de la UMI y (B) parte baja de la UMI en la unidad geomorfológica de peldaño tectónico PÑT	63
Figura 39.	Surcos de erosión (A) y erosión superficial (B) que se encuentra en la parte superior de la UMI	63
Figura 40.	Diagrama de polos con todos los datos obtenidos en el levantamiento de discontinuidades.....	68
Figura 41.	Diagrama de rosas con todos los datos obtenidos en el levantamiento de discontinuidades.....	68

Figura 42.	Diagrama de polos con los datos obtenidos en el levantamiento de discontinuidades en las estaciones AMD01-U-PO y AMD05-U-PO	70
Figura 43.	Análisis de la característica de espaciamento de las discontinuidades	72
Figura 44.	Análisis de la característica de continuidad de las discontinuidades.....	73
Figura 45.	Análisis de la característica de abertura de las discontinuidades	74
Figura 46.	Análisis de la característica de relleno de las discontinuidades	75
Figura 47.	Análisis de la característica de alteración de las discontinuidades	76
Figura 48.	Esquema para calificar la rugosidad de una discontinuidad (Tomado de Gonzales de Vallejo, 2002)	77
Figura 49.	Análisis de la característica de la rugosidad de las discontinuidades	77
Figura 50.	Análisis de la característica de agua en las discontinuidades.....	78
Figura 51.	Análisis de la característica de resistencia de las paredes de las discontinuidades.....	79
Figura 52.	Secciones analizadas en partes alta y baja de la UMI.....	80
Figura 53.	Análisis cinemático Sección 1. a) Deslizamiento planar, b) Falla por cuña, c) Volcamiento flexural, d) Volcamiento directo	82
Figura 54.	Análisis cinemático Sección 2. a) Deslizamiento planar, b) Falla por cuña, c) Volcamiento flexural, d) Volcamiento directo	83
Figura 55.	Análisis cinemático Sección 3. a) Deslizamiento planar, b) Falla por cuña, c) Volcamiento flexural, d) Volcamiento directo	84
Figura 56.	Análisis cinemático Sección 4. a) Deslizamiento planar, b) Falla por cuña, c) Volcamiento flexural. d) Volcamiento directo	85
Figura 57.	Metodología utilizada para elaboración de Mapa de Aptitud Geológica.....	86
Figura 58.	Localización esquemática de las unidades geomorfológicas de interés hidrogeológico (Sin escala)	99
Figura 59.	Recta Meteórica para Colombia	100
Figura 60.	Pluviómetros instalados alrededor de la zona de estudio	102
Figura 61.	Relación Deuterio : Oxígeno 18 en muestras de la Comuna Nororiental ...	104
Figura 62.	Variación del contenido de Deuterio en el agua lluvia con la altura de precipitación en Colombia	106
Figura 63.	Variación del contenido de Oxígeno 18 en el agua lluvia con la altura de precipitación en Colombia	106



	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 PINARES DE ORIENTE	
---	---	---

Figura 64.	Variación del contenido de Deuterio con la altura de precipitación en Colombia combinada con contenido de Deuterio en manantiales en la Comuna Nororiental	107
Figura 65.	Variación del contenido de Oxígeno 18 con la altura de precipitación en Colombia combinada con contenido de Deuterio en manantiales en la Comuna Nororiental	107
Figura 66.	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).....	110
Figura 67.	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.....	113
Figura 68.	Esquema de localización en profundidad de los piezómetros de hilo vibrátil	116
Figura 69.	Cotas piezométricas en Piezómetros P-PO-PZ-06A a P-PO-PZ-06D.....	118
Figura 70.	Cotas piezométricas en Piezómetros P-PO-PZ-08B a P-PO-PZ-08D.....	119
Figura 71.	Cotas piezométricas en Piezómetros P-PO-PZ-11B a P-PO-PZ-11D.....	120
Figura 72.	Líneas equipotenciales y de flujo local para el Polígono Pinares de Oriente	121
Figura 73.	Representación esquemática del mecanismo de falla propuesto con intervención antrópica (Skempton, 1964)	124
Figura 74.	Representación esquemática del mecanismo de falla propuesto sin intervención antrópica (Skempton, 1964)	125
Figura 75.	Localización de los polígonos dentro de las zonas homogéneas (Microzonificación Sísmica del Área Urbana de Medellín, 1999)	126
Figura 76.	Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Pinares de Oriente	134
Figura 77.	Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Pinares de Oriente (Continuación)	135
Figura 78.	Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Pinares de Oriente (Continuación)	136
Figura 79.	Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Pinares de Oriente (Continuación)	137

Figura 80.	Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Pinares de Oriente (Continuación)	138
Figura 81.	Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Pinares de Oriente (Continuación)	139
Figura 82.	Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea P-PO-LG-01	143
Figura 83.	Dispersión y ajuste para la Línea P-PO-LG-01	143
Figura 84.	Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-PO-LG-01	143
Figura 85.	Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-PO-LG-01	144
Figura 86.	Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea P-PO-LG-02.....	145
Figura 87.	Dispersión y ajuste para la Línea P-PO-LG-02.....	145
Figura 88.	Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-PO-LG-02	145
Figura 89.	Tomografía - Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-PO-LG-02	146
Figura 90.	Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea P-PO-LG-03.....	147
Figura 91.	Dispersión y ajuste para la Línea P-PO-LG-03.....	147
Figura 92.	Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-PO-LG-03	147
Figura 93.	Tomografía - Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-PO-LG-03	148
Figura 94.	Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea P-PO-LG-04.....	149
Figura 95.	Dispersión y ajuste para la Línea P-PO-LG-04.....	149
Figura 96.	Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-PO-LG-04	149
Figura 97.	Tomografía - Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-PO-LG-04	150
Figura 98.	Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea P-PO-LG-05.....	151
Figura 99.	Dispersión y ajuste para la Línea P-PO-LG-05.....	151
Figura 100.	Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-PO-LG-05	151

Figura 101. Tomografía - Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-PO-LG-05	152
Figura 102. Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea U-PO-LG-09.....	153
Figura 103. Dispersión y ajuste para la Línea U-PO-LG-09.....	153
Figura 104. Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea U-PO-LG-09	153
Figura 105. Tomografía - Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea U-PO-LG-09	154
Figura 106. Curva de resistividad vs profundidad (AB/2), P-PO-SEV-01.....	155
Figura 107. Ensayos de clasificación en Carta de Plasticidad de Casagrande.....	159
Figura 108. Porcentajes de gravas, arenas y finos variando con la profundidad	159
Figura 109. Índice plástico, límite líquido y humedad natural variando con la profundidad.	160
Figura 110. Índice de consistencia, relación de vacíos y saturación variando con la profundidad.	160
Figura 111. Resultados corte directo Muestra P-PO-PR-08-M4 a 3.45 m de profundidad	163
Figura 112. Resultados corte directo Muestra P-PO-PR-08-M6 a 5.45 m de profundidad	164
Figura 113. Resultados corte directo Muestra P-PO-PR-12-M8 a 7.30 m de profundidad	164
Figura 114. Resultados corte directo Muestra U-PO-PP-04-M4 a 1.50 m de profundidad	164
Figura 115. Resultados corte directo Muestra U-PO-PP-06-M5 a 2.25 m de profundidad	165
Figura 116. Resultados corte directo Muestra U-PO-02-M1 a 1.00 m de profundidad..	165
Figura 117. Resultados corte directo Muestra P-PO-PP-11-M4 a 3.50 m de profundidad	165
Figura 118. Resultados corte directo Muestra P-PO-PP-13-M4 a 3.30 m de profundidad	166
Figura 119. Análisis estadístico parámetros de resistencia al corte del lleno antrópico	167
Figura 120. Análisis estadístico parámetros de resistencia al corte del depósito de vertiente	169

Figura 121.	Análisis de estabilidad de talud estable	170
Figura 122.	Análisis estadístico parámetros de resistencia al corte del depósito de vertiente tipo flujo de lodos	171
Figura 123.	Análisis estadístico parámetros de resistencia al corte de los suelos residuales derivados de las Dunitas	172
Figura 124.	Precipitación media mensual y precipitaciones anuales en la Estación Planta Villa Hermosa	179
Figura 125.	Precipitación media mensual y precipitaciones anuales en la Estación Mazo	179
Figura 126.	Precipitación media mensual y precipitaciones anuales en la Estación Miguel de Aguinaga	180
Figura 127.	Índice Multivariado del ENSO (Fuente: NOAA)	181
Figura 128.	Canal natural de la Quebrada La Loquita antes del ingreso al Polígono Pinares de Oriente	201
Figura 129.	Estructuras de entrada y salida de la cobertura (Est. 1)	202
Figura 130.	Canal en concreto Quebrada La Loquita Subtramo 3	203
Figura 131.	Estructura de entrada y salida de alcantarilla que cruza la Calle 56EE Quebrada La Loquita	204
Figura 132.	Canal natural en las inmediaciones del costado sur del Polígono Pinares de Oriente	205
Figura 133.	Subtramo 1 Cuneta triangular Quebrada La Loquita 1	206
Figura 134.	Quebrada La Loquita 1 Subtramo 1 Cuneta semicircular	207
Figura 135.	Quebrada La Loquita 1 Box Culvert bajo escalas	207
Figura 136.	Drenaje Afluyente La Loquita Alcantarilla bajo la Calle 56EE	210
Figura 137.	Canalización drenaje Afluyente la Loquita	210
Figura 138.	Modelo de cuerpo libre para mecanismo de falla planar	226
Figura 139.	Modelo general de implementación en SIG para determinar la amenaza por movimiento en masa	233
Figura 140.	Tipo de daños según velocidad y profundidad de Flujo	243
Figura 141.	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)	244



	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 PINARES DE ORIENTE	
---	---	---

Figura 142.	Variación del esfuerzo a lo largo de la Quebrada La Loquita.....	251
Figura 143.	Esquema general que muestra los escenarios donde podría localizarse un movimiento en masa	256
Figura 144.	Parámetros de altura y distancia del deslizamiento a las estructuras físicas vulnerables.....	259
Figura 145.	Diagrama de secuencia para la evaluación de la vulnerabilidad física para movimientos en masa	260
Figura 146.	Localización de puntos de referencia para la definición del polígono asociado al Deslizamiento Villatina ocurrido en 1987 sobre fotografías del mismo...	261
Figura 147.	Polígono asociado al deslizamiento Villatina ocurrido en 1987sobre cartografía IGAC de 1973 con puntos de referencia tomados de fotografías	262
Figura 148.	Polígono asociado al deslizamiento Villatina trazada por medio de registro fotográfico del mismo sobre la cartografía del año 1973.....	263
Figura 149.	Perfil A-A' de unidades geomorfológicas de la UMI San Antonio (SIGA, 2018)	265
Figura 150.	Comparación entre mapa de factor de intensidad (z) y derrame del deslizamiento Villatina como forma de validación de la metodología de estudio	268
Figura 151.	Zonificación Pinares de Oriente.....	271
Figura 152.	Distribución de frecuencia de la vulnerabilidad física de las estructuras....	286
Figura 153.	Diagrama de secuencia para la evaluación de la vulnerabilidad física para inundaciones	294
Figura 154.	Clasificación del riesgo para inundaciones y avenidas torrenciales según el grado de amenaza y de vulnerabilidad	318
Figura 155.	Tubería de inclinómetros ranurada diametralmente.....	338
Figura 156.	Disposición de los Sentidos A y B en los inclinómetros	339
Figura 157.	Localización de inclinómetros propuestos para monitoreo de zona norte del Polígono Pinares de Oriente.....	340
Figura 158.	Localización de inclinómetros propuestos para monitoreo de zona suroriental del Polígono Pinares de Oriente.....	341
Figura 159.	Estructura general de la información entregada	357

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Rangos de pendientes para definición de la geomorfología local	39
Tabla 2.	Cantidad de fenómenos que ocurren en cada uno de los barrios que se encuentran al interior y cerca del Proyecto Barrios Sostenibles	54
Tabla 3.	Registro de los principales fenómenos ocurridos alrededor de la zona de estudio	57
Tabla 4.	Listado de fotografías aéreas recopiladas por el consultor	58
Tabla 5.	Colores definidos para los procesos según año	60
Tabla 6.	Estructuras en las Dunitas de Medellín reportadas por Consorcio Microzonificación, 2006.....	64
Tabla 7.	Distribución de los datos tomados en las estaciones geomecánicas	67
Tabla 8.	Familias de discontinuidades considerando todos los datos.....	67
Tabla 9.	Familias de discontinuidades en la estación AMD01-U-PO	69
Tabla 10.	Familias de discontinuidades en la estación AMD05-U-PO	69
Tabla 11.	Descripción del espaciamiento de las discontinuidades	71
Tabla 12.	Descripción de la continuidad de las discontinuidades	72
Tabla 13.	Descripción de la abertura de las discontinuidades	74
Tabla 14.	Buzamiento y dirección del buzamiento de las secciones analizadas.....	80
Tabla 15.	Resumen resultados análisis cinemático	81
Tabla 16.	Matriz de valoración de niveles de criticidad de las Unidades Geomorfológicas	87
Tabla 17.	Matriz de valoración de niveles de criticidad de las Zonas Homogéneas	88
Tabla 18.	Contenido isotópico en agua lluvia en las muestras tomadas como parte de este estudio.....	102
Tabla 19.	Contenido isotópico en muestras de manantiales tomadas como parte de este estudio de la ladera nororiental del Valle de Aburrá.....	103
Tabla 20.	Contenido isotópico en manantiales y quebradas de la ladera nororiental del Valle de Aburrá	105
Tabla 21.	Contenido isotópico en manantiales y quebradas de las laderas de los Valles de Aburrá y San Nicolás.....	108

Tabla 22.	Perfiles de suelo típicos característicos de la Zona Homogénea 10	128
Tabla 23.	Coeficientes espectrales para los sismos de control de daño y diseños....	129
Tabla 24.	Exploración geotécnica utilizada en la UMI Pinares de Oriente	132
Tabla 25.	Tabla de Valores de Resistividad eléctrica (Arias, 2011)	141
Tabla 26.	Coordenadas de las líneas realizadas en la UMI Pinares de Oriente	141
Tabla 27.	Resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio	156
Tabla 28.	Variables de estado de algunas de las muestras ensayadas.....	158
Tabla 29.	Resultados ensayos de corte directo modalidad CD	163
Tabla 30.	Parámetros de resistencia al cortante con sus respectivos análisis variacionales	173
Tabla 31.	Estaciones pluviográficas en la zona que son operadas por EPM (EPM, 2005) y precipitación total anual	177
Tabla 32.	Coordenadas de los puntos de salida del flujo en cada cuenca.....	184
Tabla 33.	Parámetros morfométricos de las cuencas de influencia en Pinares de Oriente	184
Tabla 34.	Usos del suelo en las cuencas de influencia en Pinares de Oriente	187
Tabla 35.	Modelos empleados en el cálculo del tiempo de concentración.....	188
Tabla 36.	Tiempos de concentración calculados para las cuencas	188
Tabla 37.	Valores de Parámetros C, H y M para curvas IDF de estaciones EPM (2005)	189
Tabla 38.	Intensidades de precipitación en mm/h para cada cuenca	189
Tabla 39.	Coeficientes de escorrentía calculados para cada cuenca	190
Tabla 40.	Coordenadas para los puntos de salida de las cuencas consideradas para las cuencas consideradas en la regionalización.	196
Tabla 41.	Resultados de regionalización de caudales máximos.....	196
Tabla 42.	Resumen de Caudales Máximos para TR 2.33 Años	198
Tabla 43.	Resumen de Caudales Máximos para TR 10 Años	198
Tabla 44.	Resumen de Caudales Máximos para TR 50 Años	198
Tabla 45.	Resumen de Caudales Máximos para TR 100 Años	198
Tabla 46.	Resumen de estructuras hidráulicas Quebrada La Loquita	205



	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 PINARES DE ORIENTE	
---	---	---

Tabla 47.	Resumen de estructuras hidráulicas Quebrada La Loquita 1	208
Tabla 48.	Resumen de estructuras hidráulicas quebrada Afluente La Loquita	211
Tabla 49.	Qda. La Loquita: velocidades y profundidades de flujo en el Subtramo 1 (Cauce Natural)	215
Tabla 50.	Qda. La Loquita: velocidades y profundidades máximas de flujo en el Subtramo 3 (Canal trapezoidal).....	217
Tabla 51.	Qda. La Loquita: velocidades y profundidades máximas de flujo en el Subtramo 5 (Cauce Natural).....	217
Tabla 52.	Qda. La Loquita 1: velocidades y profundidades máximas de flujo en el Subtramo 1 (Cunetas y alcantarillas).....	218
Tabla 53.	Qda. La Loquita 1: velocidades y profundidades máximas en las llanuras de inundación Subtramo 3 (Red de alcantarillado)	219
Tabla 54.	Afluente La Loquita: profundidades y velocidades en la canalización.....	220
Tabla 55.	Afluente La Loquita: profundidades de flujo y velocidades en el ingreso a la alcantarilla	221
Tabla 56.	Nivel de amenaza según los valores del factor de seguridad	234
Tabla 57.	Nivel de amenaza considerando la probabilidad de ruptura en 50 años	234
Tabla 58.	Asignación de la calificación de la Probabilidad de Inundaciones.....	243
Tabla 59.	Asignación de la calificación de la Intensidad de Inundaciones	244
Tabla 60.	Propiedades de los materiales de los cauces con influencia en el Polígono Pinares de Oriente	250
Tabla 61.	Clasificación de velocidad de fenómenos (Cruden & Varnes, 1996).....	255
Tabla 62.	Factor por tipo de estructura.....	257
Tabla 63.	Factor por altura de la estructura.....	257
Tabla 64.	Factor de estado de la estructura	258
Tabla 65.	Tipo de ocupación – Movimiento en Masa.....	273
Tabla 66.	Tipo de estructura – Movimiento en Masa	273
Tabla 67.	Estado de la estructura – Movimiento en Masa	273
Tabla 68.	Alturas de las estructuras – Movimiento en Masa.....	274
Tabla 69.	Tipo de cubierta – Movimiento en Masa	274





	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 PINARES DE ORIENTE	
---	---	---

Tabla 70.	Categorización de la vulnerabilidad estructural física ante fenómenos de movimientos en masa	282
Tabla 71.	Categorización de la vulnerabilidad de las personas ante fenómenos de movimientos en masa	287
Tabla 72.	Factores de vulnerabilidad considerados para el Proyecto Barrios Sostenibles del Polígono Villa Turbay	289
Tabla 73.	Factor de vulnerabilidad por Calidad de la Edificación para Inundaciones y Avenidas Torrenciales	292
Tabla 74.	Cálculo Índice de Vulnerabilidad Residencial (RvI) y la Vulnerabilidad Física a partir de BuV	293
Tabla 75.	Tipo de estructura – Inundaciones	295
Tabla 76.	Estado de la estructura – Inundaciones.....	295
Tabla 77.	Altura de la estructura – Inundaciones	295
Tabla 78.	Densidad de población – Inundaciones	296
Tabla 79.	Registro fotográfico en el Polígono Pinares de Oriente	304
Tabla 80.	Matriz de unificación del riesgo de estructuras y de personas para determinar el riesgo total.....	313
Tabla 81.	Categorización del riesgo total	313
Tabla 82.	Inventario de las estructuras en alto riesgo no mitigable por movimientos en masa en el Polígono Pinares de Oriente	316



LISTA DE MAPAS

Mapa 1	Localización general de todas las UMI de Barrios Sostenibles	6
Mapa 2.	UMI asociada al Polígono Pinares de Oriente	8
Mapa 3.	Usos generales del suelo rural UMI Pinares de Oriente (POT, 2014)	11
Mapa 4.	Usos generales del suelo urbano (POT, 2014)	14
Mapa 5.	Geología regional (Consortio Microzonificación, 2006)	16
Mapa 6.	Geología local de UMI Pinares de Oriente.....	21
Mapa 7.	Perfil estratigráfico A-A.....	22
Mapa 8.	Perfiles estratigráficos B-B' y C-C'	23
Mapa 9.	Bloques o macrounidades geomorfológicas de la zona de estudio.....	35
Mapa 10.	Unidades geomorfológicas de la zona de estudio.....	38
Mapa 11.	Análisis de pendientes de la UMI Pinares de Oriente	40
Mapa 12.	Unidades geomorfológicas de la UMI Pinares de Oriente.....	41
Mapa 13.	Procesos morfodinámicos UMI Pinares de Oriente	61
Mapa 14.	Geología estructural de la UMI Pinares de Oriente.....	66
Mapa 15.	Criticidad geomorfológica UMI Pinares de Oriente	89
Mapa 16.	Criticidad de zonas homogéneas UMI Pinares de Oriente.....	90
Mapa 17.	Criticidad morfodinámica UMI Pinares de Oriente	92
Mapa 18.	Categorías de suelo de protección, producción y suburbano (POT, 2014) ..	95
Mapa 19.	Clasificación del suelo (POT, 2014).....	96
Mapa 20.	Aptitud Geológica UMI Pinares de Oriente	97
Mapa 21.	Localización en planta de los piezómetros de hilo vibrátil.....	115
Mapa 22.	Localización de la exploración directa e indirecta	131
Mapa 23.	Información cartográfica empleada en el estudio.....	176
Mapa 24.	Estaciones pluviográficas operadas por EPM 2005.....	178
Mapa 25.	Red hídrica en la UMI Pinares de Oriente	182



Mapa 26.	Delimitación de las cuencas con influencia sobre la UMI Pinares de Oriente	183
Mapa 27.	Usos del suelo en las cuencas de influencia en la UMI Pinares de Oriente Modificado del POT (2014).....	186
Mapa 28.	Cuencas consideradas en el método de regionalización	197
Mapa 29.	Localización de obras en las Quebradas La Loquita, La Loquita 1 y Afluente La Loquita	200
Mapa 30.	Manchas de inundación para las Quebradas La Loquita, La Loquita 1 y Afluente La Loquita en condiciones actuales.....	216
Mapa 31.	Manchas de Inundación para los diferentes periodos de retorno en condiciones actuales.Polígono Pinares de Oriente	222
Mapa 32.	Análisis del factor de seguridad de la UMI Pinares de Oriente en condiciones estática.....	236
Mapa 33.	Análisis del factor de seguridad de la UMI Pinares de Oriente en condiciones pseudo-estáticas con sismo de 0.25g.....	237
Mapa 34.	Análisis de probabilidad de falla de la UMI Pinares de Oriente en condiciones actuales y naturales	238
Mapa 35.	Análisis de probabilidad de falla de la UMI Pinares de Oriente en condiciones pseudo-estático con un sismo 0.25g periodo de retorno de 475 años (PDOProbabilidadFallaTotalUMI_Medellin_C).....	239
Mapa 36.	Análisis de probabilidad de falla anualizado de la UMI Pinares de Oriente en condiciones pseudo-estático con un sismo 0.25g.....	240
Mapa 37.	Zonificación de la amenaza total por movimientos en masa proyectado para 50 años considerando la variabilidad de los parámetros y la acción del sismo de 0.25g	241
Mapa 38.	Amenaza por Inundaciones Quebradas La Loquita, La loquita 1 y Afluente La Loquita del Polígono Pinares de Oriente	246
Mapa 39.	Superposición de Vías de Acceso y Equipamientos sobre la amenaza por inundaciones	247
Mapa 40.	Unidades geomorfológicas de la UMI San Antonio (SIGA, 2018)	264
Mapa 41.	Localización vías de acceso y equipamientos en el Polígono Pinares de Oriente	272

	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 PINARES DE ORIENTE	
---	---	---

Mapa 42.	Localización espacial del tipo de estructura por movimiento en masa en el Polígono Pinares de Oriente.....	275
Mapa 43.	Localización espacial del desplante de fundaciones por movimiento en masa en el Polígono Pinares de Oriente.....	276
Mapa 44.	Localización espacial del estado de la estructuras por movimiento en masa en el Polígono Pinares Oriente.....	277
Mapa 45.	Localización espacial del tipo de cubierta por movimiento en masa en el Polígono Pinares de Oriente.....	278
Mapa 46.	Localización espacial de la altura de las estructuras por movimiento en masa en el Polígono Pinares de Oriente.....	279
Mapa 47.	Parámetro resistencia de las estructuras para la metodología de vulnerabilidad física por movimientos en masa	281
Mapa 48.	Factor de intensidades de deslizamientos que afectan el Polígono Pinares de Oriente	283
Mapa 49.	Análisis de la vulnerabilidad estructural por movimientos en masa en el Polígono Pinares de Oriente.....	284
Mapa 50.	Análisis de la vulnerabilidad estructural por movimientos en masa de las vías de acceso y equipamientos en el Polígono Pinares de Oriente	285
Mapa 51.	Análisis de la vulnerabilidad de las personas por movimientos en masa en el Polígono Pinares de Oriente.....	288
Mapa 52.	Análisis de la vulnerabilidad estructural del Polígono Pinares de Oriente por movimientos en masa con el nuevo Proyecto Barrios Sostenibles	290
Mapa 53.	Análisis de la vulnerabilidad de las personas del Polígono Pinares de Oriente por movimientos en masa con el nuevo Proyecto Barrios Sostenibles	291
Mapa 54.	Localización espacial del tipo de estructura para inundaciones en el Polígono Pinares de Oriente	297
Mapa 55.	Localización espacial del estado de la estructura para inundaciones en el Polígono Pinares de Oriente.....	298
Mapa 56.	Localización espacial de la altura de las estructura para inundaciones en el Polígono Pinares de Oriente.....	299
Mapa 57.	Localización espacial de la densidad de población para inundaciones en el Polígono Pinares de Oriente.....	300
Mapa 58.	Análisis vulnerabilidad física ante inundaciones en condiciones en el Polígono Pinares de Oriente.....	301



	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 PINARES DE ORIENTE	
---	---	---

Mapa 59.	Análisis de vulnerabilidad física ante inundaciones en el Polígono Pinares de Oriente con el nuevo Proyecto Barrios Sostenibles	302
Mapa 60.	Análisis de vulnerabilidad física ante inundaciones en el Polígono San Antonio para las Vías de Acceso y Equipamientos.....	303
Mapa 61.	Análisis de riesgo estructural de viviendas y construcciones por movimientos en masa en el Polígono Pinares de Oriente	310
Mapa 62.	Análisis de riesgo de las personas por movimientos en masa en el Polígono Pinares de Oriente	311
Mapa 63.	Análisis de riesgo estructural de vías de acceso y equipamientos por movimientos en masa en el Polígono Pinares de Oriente.....	312
Mapa 64.	Análisis de riesgo total de viviendas y construcciones por movimientos en masa para las condiciones actuales en el Polígono Pinares de Oriente	315
Mapa 65.	Riesgo por inundaciones en condiciones actuales en el Polígono Pinares de Oriente para las viviendas y construcciones.....	320
Mapa 66.	Riesgo por inundaciones en condiciones actuales en el Polígono Pinares de Oriente para las vías de acceso y equipamientos.....	321
Mapa 67.	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	324
Mapa 68.	Superposición de redes de servicio público sobre la amenaza por inundaciones.Condiciones actuales.....	325
Mapa 69.	Superposición de redes de servicio público sobre la amenaza por inundaciones. Condiciones proyectadas	326
Mapa 70.	Zona de retiro hidrológico y geológico planteado en la Quebrada La Loquita del Polígono Pinares de Oriente.....	333
Mapa 71.	Análisis de riesgo total de viviendas y construcciones por movimientos en masa para las condiciones proyectadas en el Polígono Pinares de Oriente	337
Mapa 72.	Manchas de Inundación para los diferentes periodos de retorno..... Polígono Pinares de Oriente.Condiciones Proyectadas	344
Mapa 73.	Análisis de amenaza por inundaciones para condiciones proyectadas en las Quebradas La Loquita, La Loquita 1 y Afluente La Loquita Polígono Pinares de Oriente	345

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE </p>	
---	---	---

Mapa 74. Análisis de riesgo por inundaciones para las viviendas y construcciones en el Polígono Trece de Noviembre en condiciones proyectadas 346

Mapa 75. Retiro POT y retiro hidrológico para las quebradas La Loquita, La Loquita 1 y Afluente La Loquita 347

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

LISTA DE MAPAS ATLAS



- 01_PDOLocalizacionGeneral_Medellin_T
- 02_PDOLocalizacionUMI_Medellin_T
- 03_PDOPequeñaGeomorfologiaRegional_Medellin_T
- 04_PDOPequeñaGeologiaLocalUMI_Medellin_T
- 05_PDOPerfilesGeologicos_Medellin_T
- 06_PDOPerfilesGeologicos_Medellin_T
- 07_PDOPequeñaMacroUnidadesGeomorfologicas_Medellin_T
- 08_PDOPequeñaUnidadesGeomorfologicas_Medellin_T
- 09_PDOPendientes_Medellin_T
- 10_PDOPequeñaGeomorfologiaLocal_Medellin_T
- 11_PDOPequeñaProcesosMorfodinamicos_Medellin_T
- 12_PDOPequeñaGeologiaEstructural_Medellin_T
- 13_PDOPequeñaExploracion_Medellin_T
- 14_PDOPequeñaClasificaciondelSuelo_Medellin_T
- 15_PDOPequeñaCategoriasSueloProteccionProduccionySuburbano_Medellin_T
- 16_PDOPequeñaUsosdelSueloUrbano_Medellin_T
- 17_PDOPequeñaUsosdelSueloRural_Medellin_T
- 18_PDOPequeñaAptitudGeologicaGeotecnica_Medellin_T
- 19_PDOPequeñaAmenazaMovimientosenMasa_Medellin_T



**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 PINARES DE ORIENTE



- 20_PDORedHidricaUMI_Medellin_T
- 21_PDOManchaInundaciones_Medellin_T
- 22_PDOManchaInundacionesCondProyecto_Medellin_T
- 23_PDOAmenazasInundaciones_Medellin_T
- 24_PDOAmenazasInundacionesCondProyecto_Medellin_T
- 25_PDOTipodeEstructura_Medellin_T
- 26_PDODesplantedeFundaciones_Medellin_T
- 27_PDOEstadodelaEstructura_Medellin_T
- 28_PDOTipodeCubierta_Medellin_T
- 29_PDOAlturadelaConstrucción_Medellin_T
- 30_PDOMapadeResistencia_Medellin_T
- 31_PDOTipodeEstructura_Medellin_T
- 32_PDOEstadodelaEstructura_Medellin_T
- 33_PDOAlturadelaConstrucción_Medellin_T
- 34_PDODensidaddePoblacion_Medellin_T
- 35_PDOViasdeAccesosyEquipamientos_Medellin_T
- 36_PD OVulnerabilidadEstructuralMovimientosenMasa_Medellin_T
- 37_PD OVulnerabilidadPersonasMovimientosenMasa_Medellin_T
- 38_PD OVulnerabilidadFisicaporInundaciones_Medellin_T
- 39_PDORiesgoEstructuralMovimientosenMasa_Medellin_T
- 40_PDORiesgoPersonasMovimientosenMasa_Medellin_T

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE </p>	
---	---	---

41_PDORiesgoTotalMovimientosenMasa_Medellin_T

42_PDORiesgoTotalMovimientosenMasaCondProyecto_Medellin_T

43_PDORiesgoInundaciones_Medellin_T

44_PDORiesgoInundacionesCondProyecto_Medellin_T

45_PDORiesgoVulnerabilidadEstructuralMovimientosenMasa_ViasEquipamientos_Medellin_T

46_PDORiesgoVulnerabilidadInundacionAccesosEquipamientos_Medellin_T

47_PDORiesgoEstructuralMovimientosMasa_ViasEquipamientos_Medellin_T

48_PDORiesgoInundaciones_ViasEquipamientos_Medellin_T

49_PDORiesgoRetiroHidrologicoyGeologico_Medellin_T



**SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A.
SUCURSAL COLOMBIA**

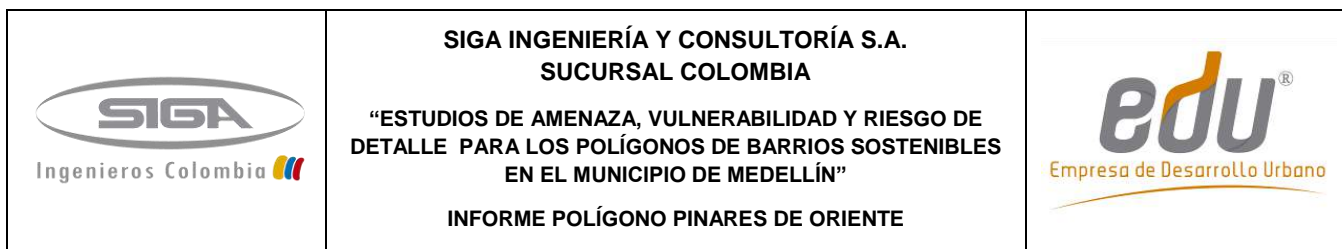
**“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE
DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES
EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”**

INFORME POLÍGONO PINARES DE ORIENTE



LISTA DE PLANOS

P-2445-PO-OM-01	Barrera dinámica
P-2445-PO-OM-02	Anclajes Pasivos
P-2445-PO-OM-03	Obras Hidráulicas – La Loquita
P-2445-PO-OM-04	Obras Hidráulicas – La Loquita1
P-2445-PO-OM-05	Obras Hidráulicas – Afluente La Loquita
P-2445-PO-OM-06	Detalles estructurales – Qda. La Loquita
P-2445-PO-OM-07	Detalles estructurales – Qda. La Loquita
P-2445-PO-OM-08	Detalles estructurales – Sitio 2 La Loquita1
P-2445-PO-OM-09	Detalles estructurales – Afluente La Loquita



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 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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</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 Pinares de Oriente. 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 Pinares de Oriente, 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, presentándose los diseños de las obras de mitigación del riesgo propuestas.

Es importante aclarar que esta Versión 11 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 11 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 metodología 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. Es importante aclarar en este punto que pese a las modificaciones efectuadas en esta Versión 11 del estudio del Polígono Pinares de Oriente, las obras de mitigación recomendadas en las versiones anteriores siguen siendo las necesarias para atender el nivel de riesgo obtenido.



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

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	--	---

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 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 nuevas 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 Pinares de Oriente.

- ✓ 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.



	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	--	---

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 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 local 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.

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	--	---

- ✓ El análisis de vulnerabilidad de los elementos físicos expuestos a los tres fenómenos en estudio (movimiento en masa, inundaciones y avenidas torrenciales) 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 la Quebrada La Loquita.
- ✓ 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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</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 ubicado dentro del Barrio La Cruz. En la Mapa 1 se presenta la localización general de todas las UMI definidas para cada uno de los polígonos de estudio.

El Polígono Pinares de Oriente tiene un área aproximada de 3.59 hectáreas, de las cuales 2.07 hectáreas pertenecen al área urbana y 1.52 hectáreas se encuentran sobre suelo de expansión o por fuera del perímetro urbano sobre suelo rural. El polígono correspondiente al Barrio Pinares de Oriente se encuentra localizado en la parte alta de la zona centro oriental de Medellín, en la Comuna 8 (Villa Hermosa) y en la base del Cerro Pan de Azúcar. Sus límites son con el cerro Pan de Azúcar al norte, con el Barrio Villatina al sur, con el Ecoparque Campo Santo (también en el Barrio Villatina) por el oriente y con los Barrios Trece de Noviembre y La Libertad por el occidente.

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

3. UNIDAD MORFODINÁMICA INDEPENDIENTE (UMI)

3.1 GENERALIDADES

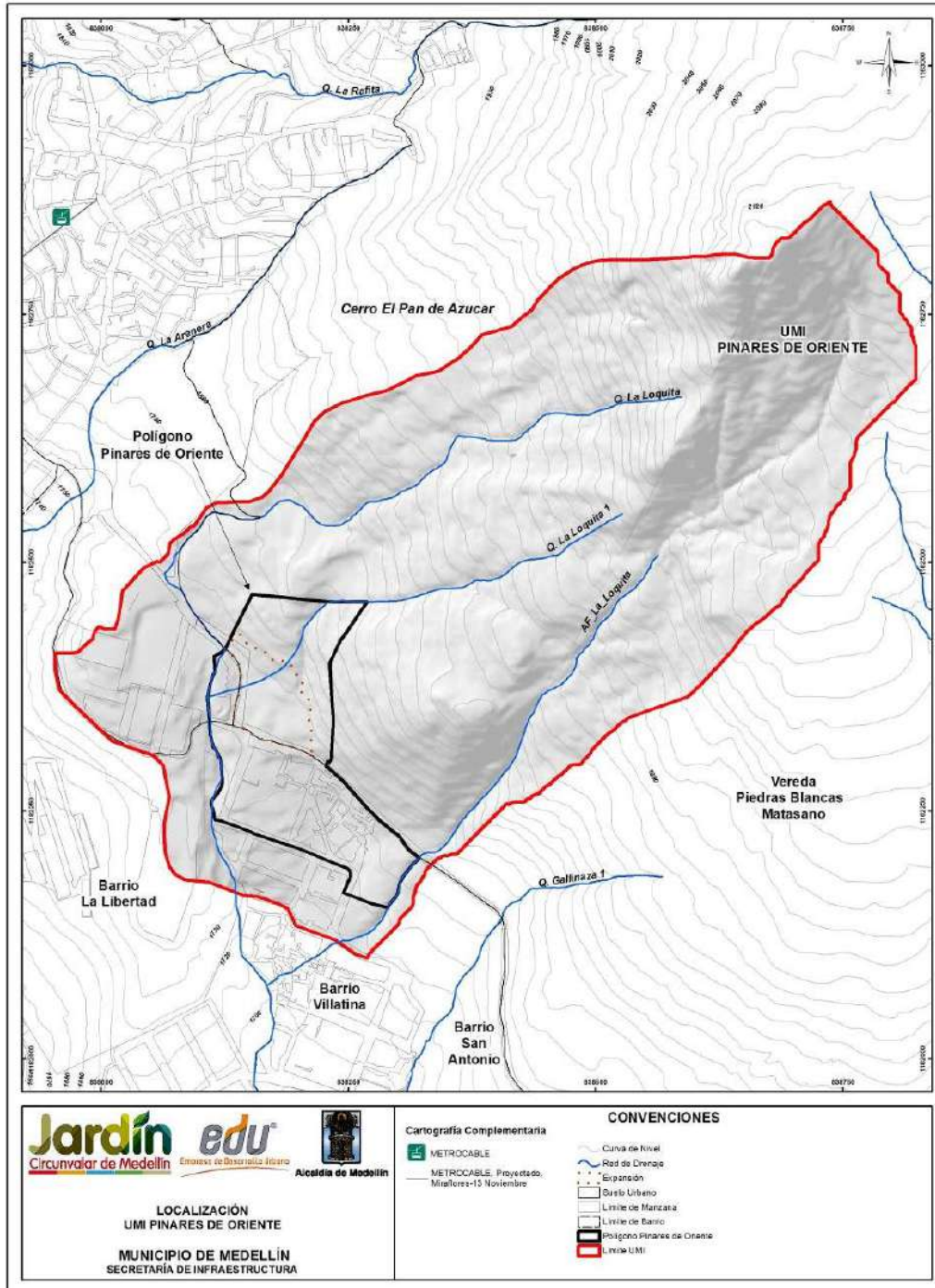
Como punto de partida para la ejecución del estudio que se presenta en este informe, se requiere la delimitación de la conocida como Unidad Morfodinámica Independiente (UMI), entendiéndola a ésta como la unidad del territorio que enmarca el predio de interés o que presenta un comportamiento independiente 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 del Área Metropolitana del Valle de Aburrá, el cual es tratado de forma detallada en el conocido como Código de Laderas del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA, 2012). Según dicho 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 cada polígono de estudio dentro del Proyecto Barrios Sostenibles, específicamente la del Polígono Pinares de Oriente localizado en la Comuna 8. Siguiendo los lineamientos del que se denominará en este informe como Código de Laderas del Valle de Aburrá (AMVA, 2012), se consideraron aspectos de tipo geológico, geomorfológico, geotécnico, hidrológico e hidráulico. De forma resumida, puede decirse que se incluyó el área en la que cualquier proceso morfodinámico, potencial o existente pudiera afectar las estructuras programadas, bien fuera porque las impactara directamente o porque a través de las corrientes de agua pudiera llegar hasta la zona del proyecto.

La suma de todas las UMI de la Comuna 8 da lugar a 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 UMI del polígono ubicado al interior del Barrio Pinares de Oriente tiene un área aproximada de 31 hectáreas y se localiza hacia el norte de la Comuna 8, entre las UMI definidas para los Barrios Trece de Noviembre al Norte y San Antonio al Sur.

En el numeral que sigue de este capítulo, se hace referencia a la UMI correspondiente al polígono ubicado dentro del Barrio Pinares de Oriente, la cual se seguirá denominando en este informe como UMI Pinares de Oriente o simplemente como la UMI. También se hará referencia al Polígono Pinares de Oriente, correspondiente al polígono en estudio dentro del barrio con este mismo nombre. En el Mapa 2 se presenta la UMI asociada al Polígono Pinares de Oriente.



Mapa 2. UMI asociada al Polígono Pinares de Oriente
(02_PDOLocalizacionUMI_Medellin_C y 02_PDOLocalizacionUMI_Medellin_T)

3.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LA UMI

En la Figura 1 se muestra la UMI Pinares de Oriente dividida en dos zonas, incluyéndose fotografías de cada una de estas zonas de interés. Esta UMI se localiza en el centro de la Comuna 8, se encuentra limitada hacia la parte alta con el costado sur del Cerro Pan de Azúcar y se posiciona entre la UMI Trece de Noviembre y la UMI San Antonio. Hacia el costado sur, este polígono incluye las zonas de afectación del movimiento de Villatina (1987), lo que actualmente se identifica como el Campo Santo. Hacia la parte baja, la UMI se encuentra limitada con la Calle 56E y finaliza con la Calle 56A.

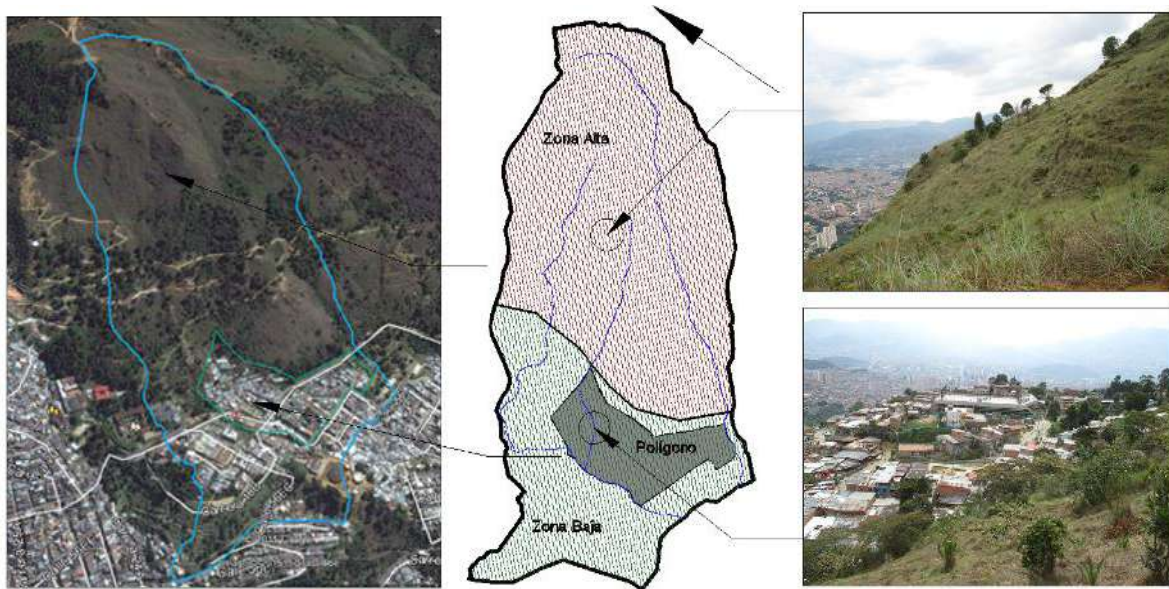


Figura 1. Zonificación de la UMI Pinares de Oriente, Zona alta y baja. (Sin escala)

La zona alta pertenece a la parte rural que corresponde al uso del suelo “forestal protector” como se muestra en el Mapa 3. En esta zona se destaca un terreno de pendientes altas, muy altas y escarpadas, con ángulos de inclinación mayores que 15°. Las pendientes escarpadas se concentran principalmente en la parte más alta, cerca del Cerro Pan de Azúcar, y en la parte baja de la zona, entre la divisoria de aguas de la Quebrada La Loquita 1 y La Loquita. En ambas zonas se destaca la alta concentración de procesos morfodinámicos, evidenciándose en la parte alta cerca del Cerro Pan de Azúcar una mayor presencia de los mismos. En la zona alta se destaca también la presencia de fragmentos de roca en superficie de diversos tamaños con un grado ligero a moderado de meteorización, los cuales se manifiestan como afloramientos en algunos sectores de la UMI o como bloques rodados de las partes más altas que descansan sobre relieve más suave. El principal detonante de estos desprendimientos de roca es la meteorización y la disolución de los fragmentos a través de los planos de discontinuidad. En esta zona no se evidencia ningún tipo de urbanismo por efecto de las altas pendientes y por pertenecer a un área con restricciones ambientales, salvo en la parte limítrofe con la zona baja donde se tienen algunos asentamientos no consolidados de viviendas en

madera. La ladera de la zona alta se presenta desprovista de vegetación arbórea y solo se tienen áreas con pastos y arbustos donde el único uso actualmente es el turístico. La Figura 2 presenta un panorama de diferentes sectores de la zona alta de la UMI Pinares de Oriente.

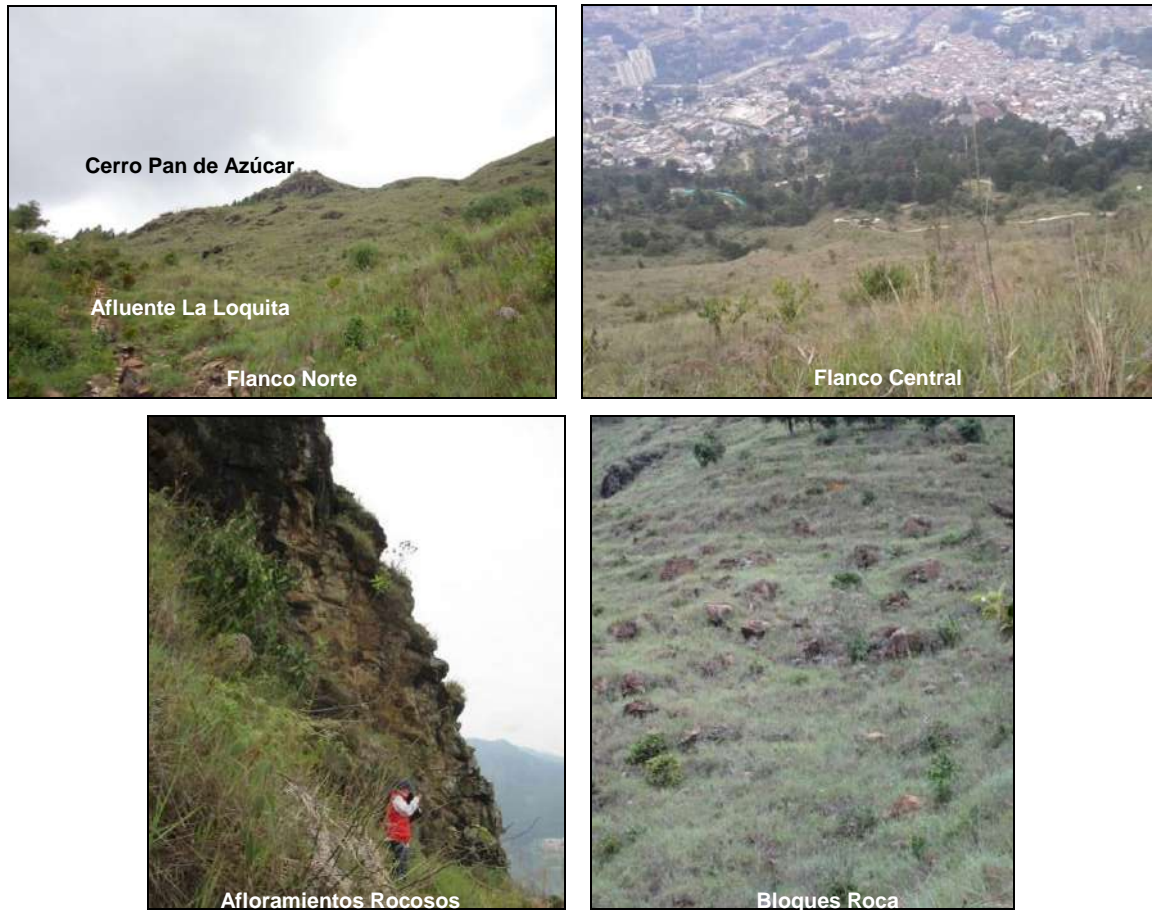
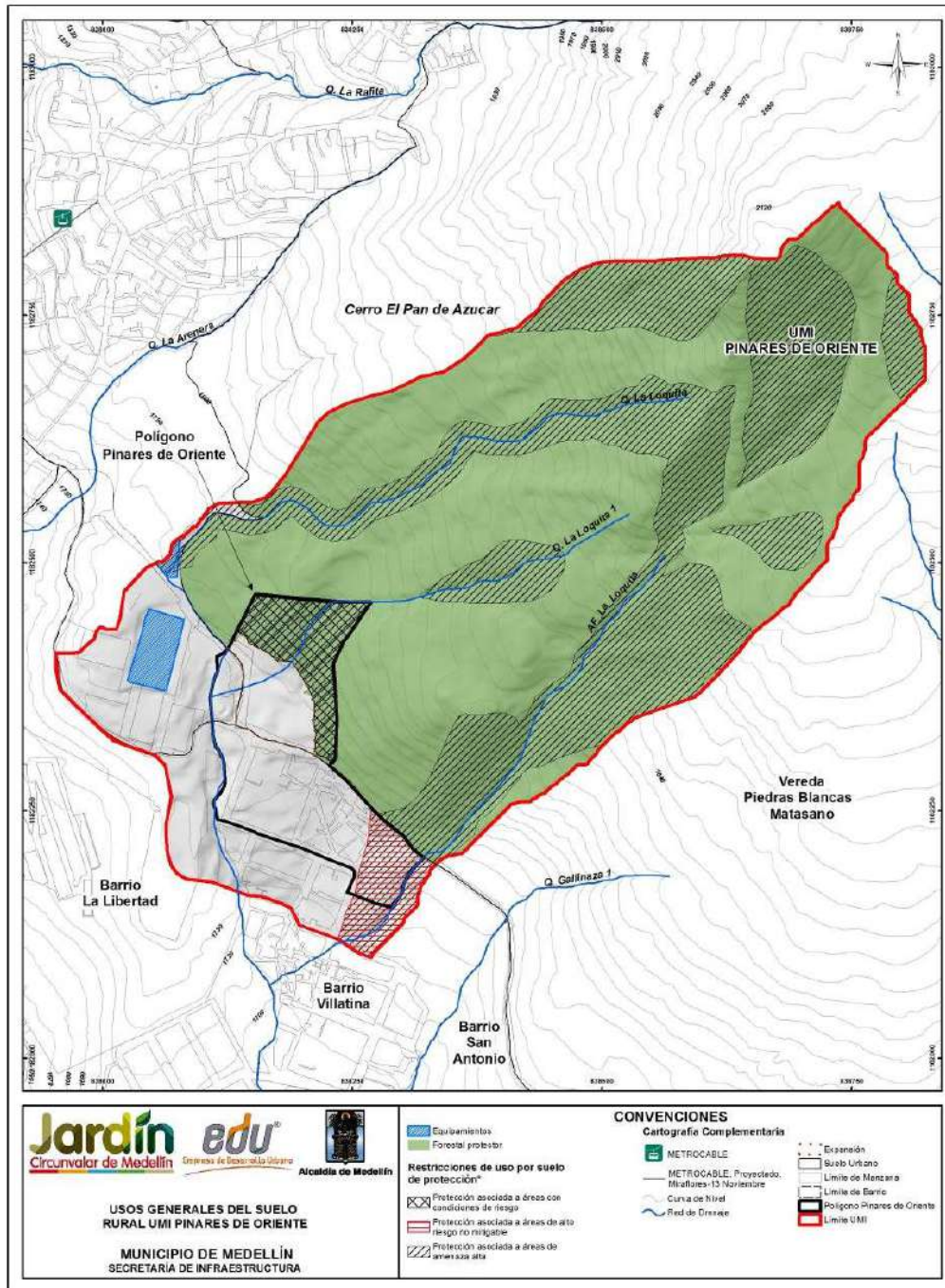


Figura 2. Zona parte alta de la UMI Pinares de Oriente



Mapa 3. Usos generales del suelo rural UMI Pinares de Oriente (POT, 2014)
 (17_PDOUsosdelSueloRural_Medellin_C y 17_PDOUsosdelSueloRural_Medellin_T).

La zona baja presenta características diferentes a las encontradas en la zona alta. Se presentan relieves bajos a moderados y los drenajes de las Quebradas La Loquita y La Loquita 1 se presentan canalizados a través de coberturas o sistemas de alcantarillado, los cuales deberán ser verificados para garantizar su correcto funcionamiento hidráulico. Estos drenajes en el momento que llegan a la zona baja comienzan a manifestar mayor intervención antrópica, principalmente por la presencia de varias estructuras localizadas sobre el cauce o la presencia de otras estructuras que funcionan como elementos de captación para la utilización del agua de las corrientes como en el caso de los lavaderos de los microbuses. En la Figura 3 se presentan algunas evidencias de estructuras que obstruyen el flujo normal de la Quebrada La Loquita en el Polígono Pinares de Oriente.

La zona baja de la UMI, que es donde se localiza el Polígono de Pinares de Oriente, el uso del suelo muestra un significativo urbanismo, donde la mayor parte del área se encuentra ocupada por viviendas como se muestra en el Mapa 4. Presenta mayor complejidad ante los diferentes panoramas de amenaza objeto de este estudio. Desde el punto de vista geológico-geotécnico, habría consecuencias por procesos de movimiento en masa en la parte alta. Desde el punto de vista hidráulico, se tienen las posibles consecuencias por inundaciones que se puedan manifestar por efecto de la incapacidad u obstrucción de las estructuras que canalizan los drenajes principales que cruzan el polígono.



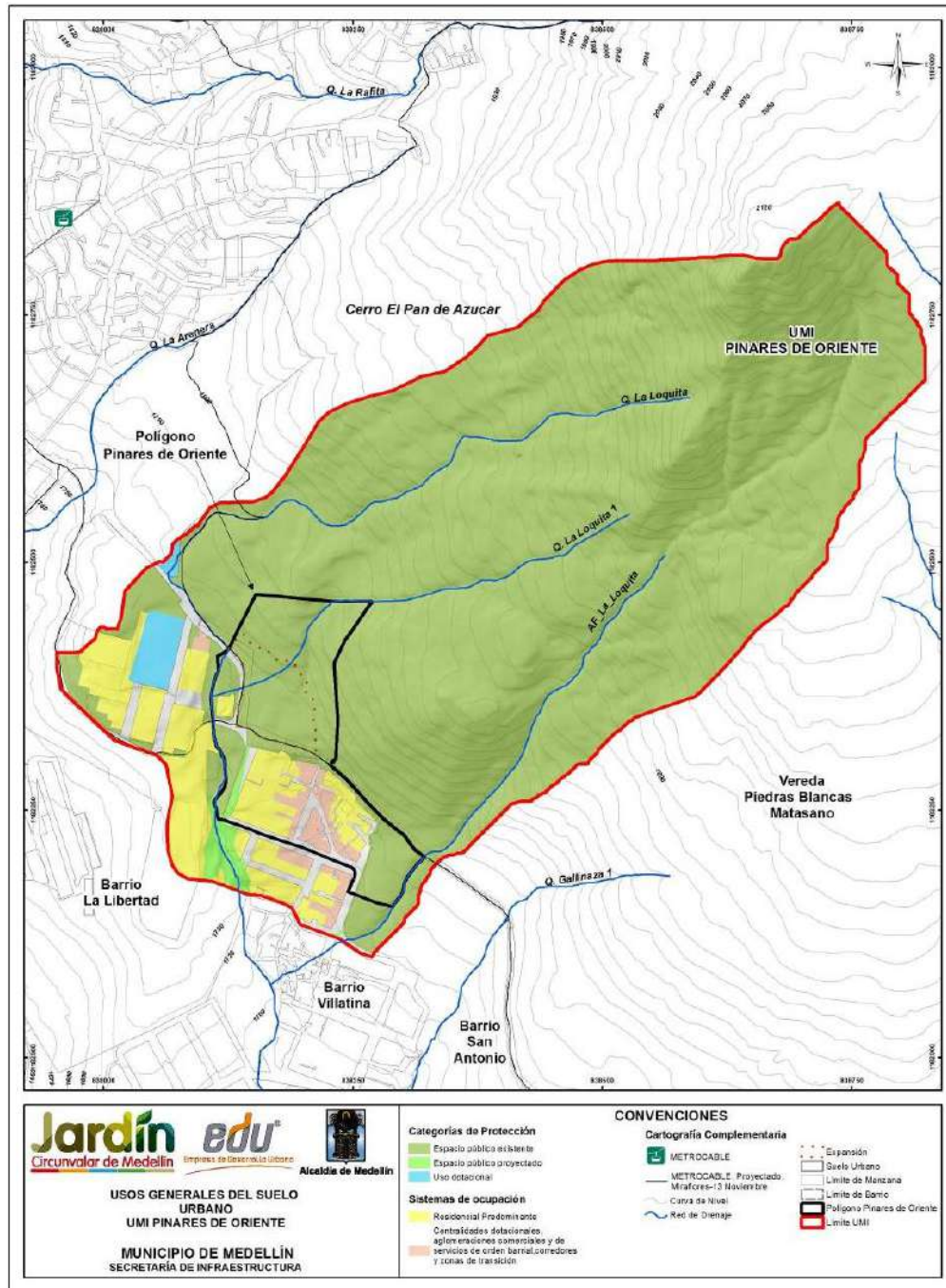
Figura 3. Panorama general de las condiciones de los drenajes La Loquita en la zona baja del Polígono Pinares de Oriente





Figura 4. Zona parte baja de la UMI Pinares de Oriente

Se puede ver según lo anotado, que la selección de la UMI Pinares de Oriente partió del análisis de las condiciones morfométricas, morfodinámicas, hidráulicas e hidrológicas de la zona. Desde el punto de vista hidrológico, la UMI Pinares de Oriente abarca las divisorias de los afluentes de la Quebrada La Loquita. No obstante, la escogencia de los límites de esta UMI están más enfocados en la actividad y afectación de procesos morfodinámicos, que por su direccionamiento podrían afectar el Polígono Pinares de Oriente.

En el costado sur, la UMI comprende parte del Cerro Pan de Azúcar donde en su parte baja se presenta una concentración de procesos morfodinámicos y desciende por la ladera para incorporar la zona de drenaje del afluente del extremo sur de la Quebrada La Loquita. Hacia el costado norte el límite consideró igualmente la divisoria de aguas de la Quebrada La Loquita en su extremo norte y hacia la parte baja de la quebrada limitó con la UMI San Antonio, por donde se presume descendió el proceso morfodinámico de Villatina, la cual tendrá más incidencia en el Polígono San Antonio que en el de Pinares de Oriente.



Mapa 4. Usos generales del suelo urbano (POT, 2014)
(16_PDUsosdelSueloUrbano_Medellin_C y 16_PDUsosdelSueloUrbano_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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</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 por 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.

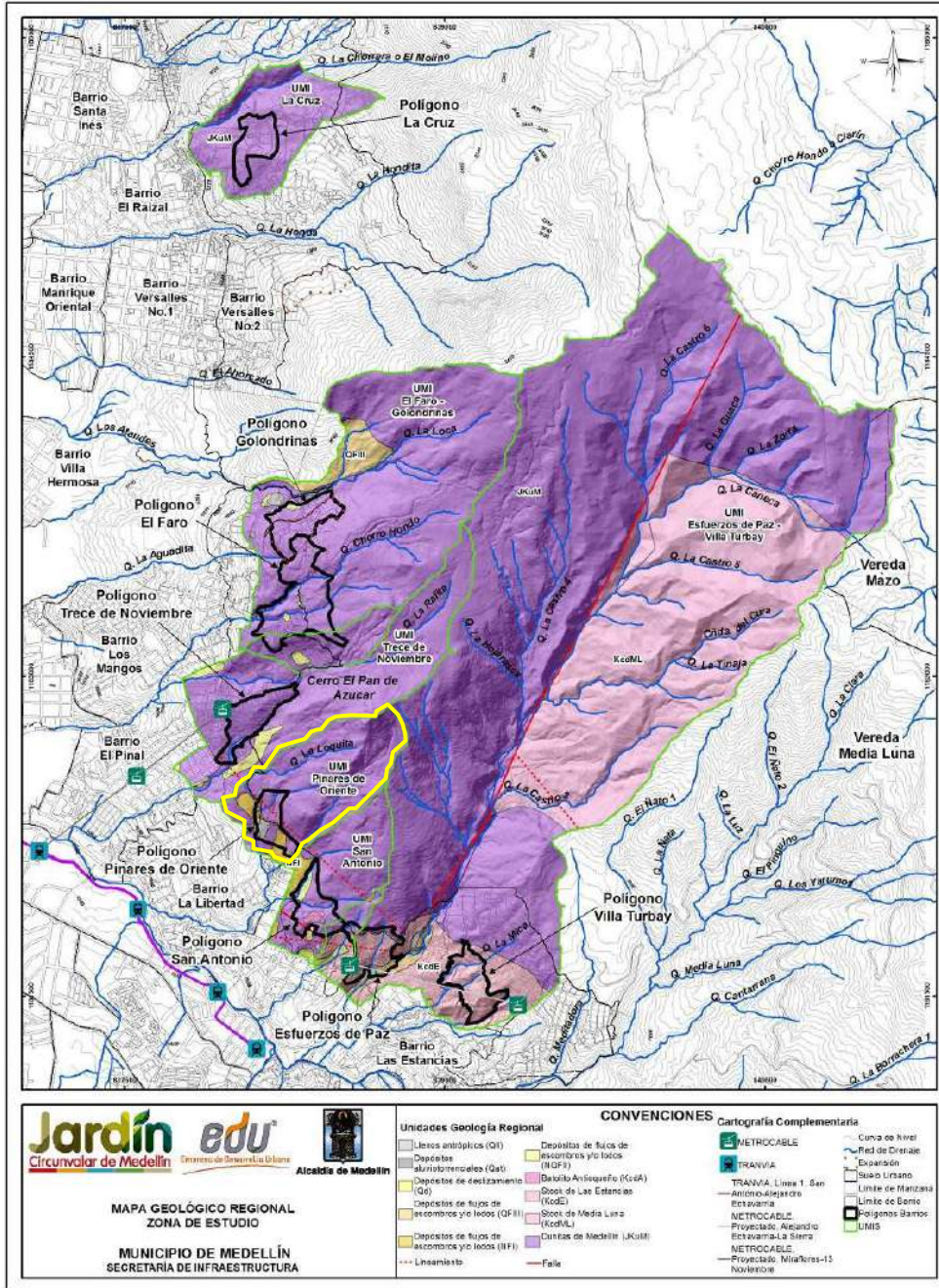
La UMI Pinares de Oriente se ubica sobre las unidades geológicas denominadas como Dunitas de Medellín (JKuM) y depósitos de flujos de lodos y/o escombros (NFI). A continuación, se describen en orden cronológico todas las unidades, desde las más recientes hasta las más antiguas.

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 (Consortio Microzonificación, 2006)
 (03_PDGeologiaRegional_Medellin_C y 03_PDGeologiaRegional_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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</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 (Consortio 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 (Consortio 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 las cuales se desprendieron los materiales que los forman (Consortio 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 (Consortio 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 (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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</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 depositación (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. También puede dar lugar a depósitos de flujo con predominio 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.

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 a 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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</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 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 escorrentía, 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.

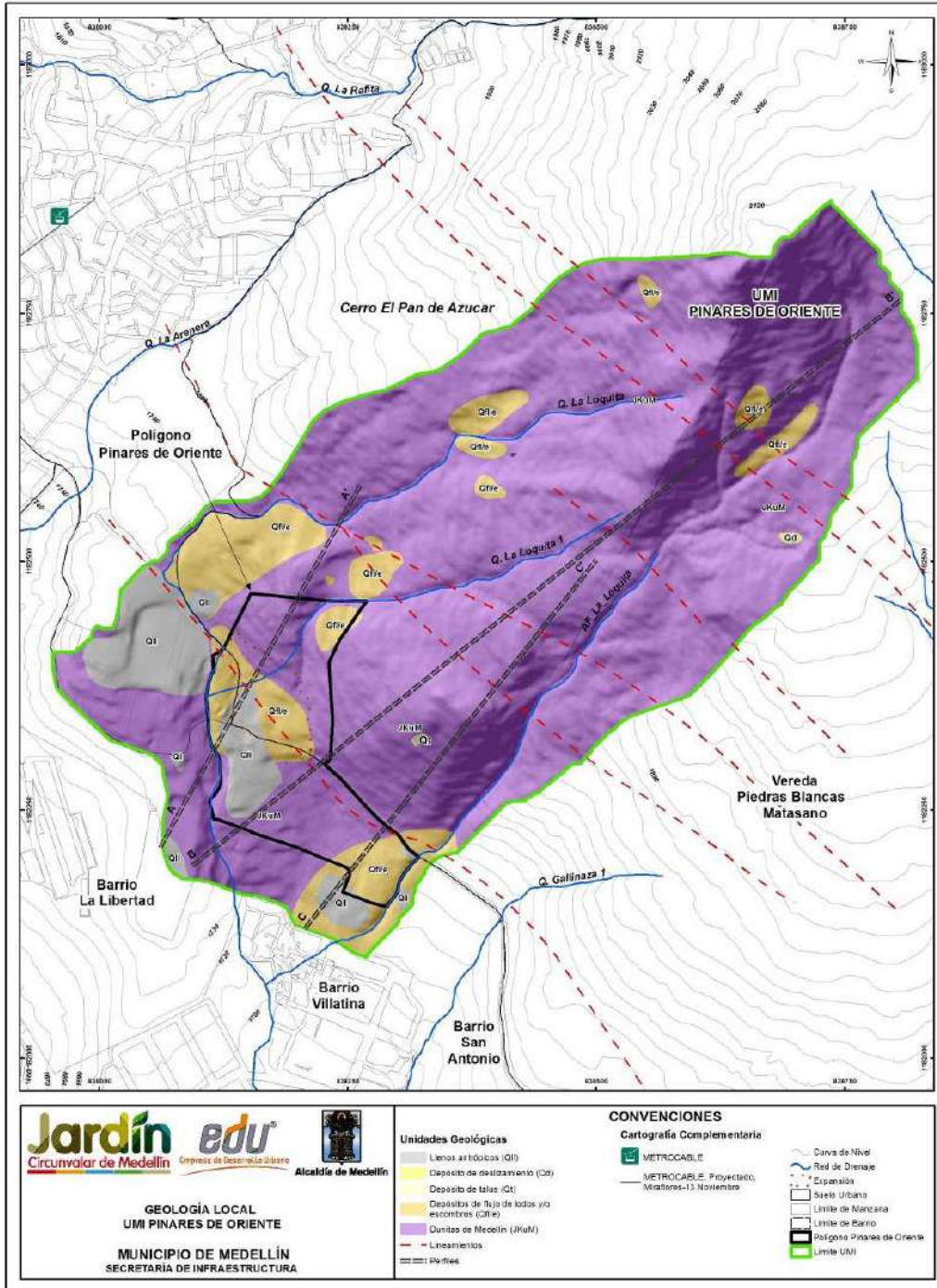
4.2 GEOLOGÍA LOCAL

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, INCIGAM, INGEOCILCÓN, TECNISUELOS, INTEINSA, entre otras. En el Numeral 10.1.1 se presenta la información sobre la localización de las perforaciones de dichos estudios, las cuales fueron consultadas para la elaboración del modelo geológico y fueron clasificadas en “Perforaciones Estudios Anteriores Utilizadas” y “Perforaciones Estudios Anteriores No Utilizadas”.

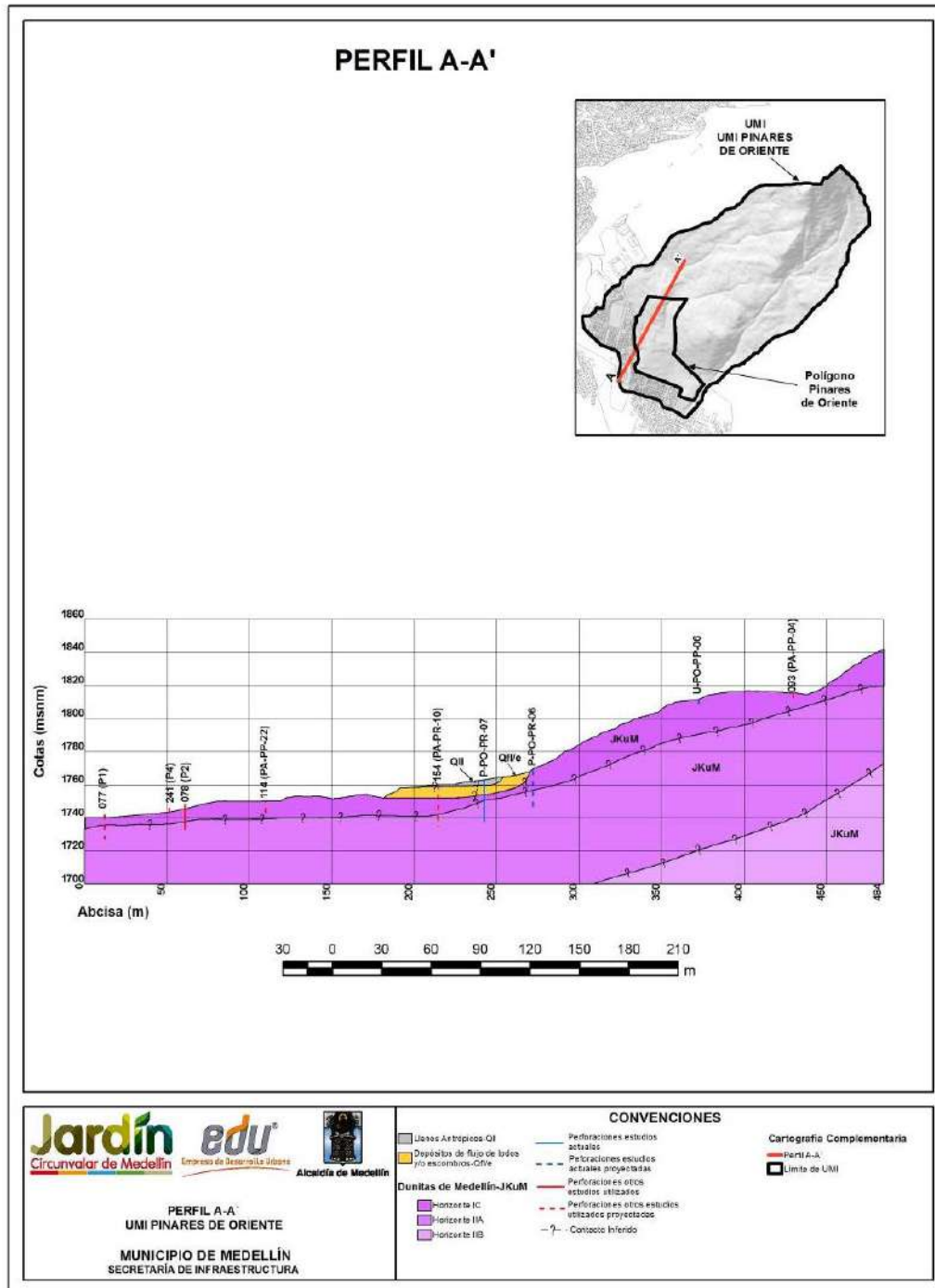
	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	--	---

Después de correlacionar dichas perforaciones con la exploración directa e indirecta ejecutada para el presente estudio, realizar los recorridos de campo y utilizar herramientas como análisis multitemporal y geomorfológico, se obtuvo como resultado el modelo geológico de la UMI Pinares de Oriente (Mapa 6). En el Mapa 7 y en el Mapa 8 se presentan los perfiles estratigráficos típicos.

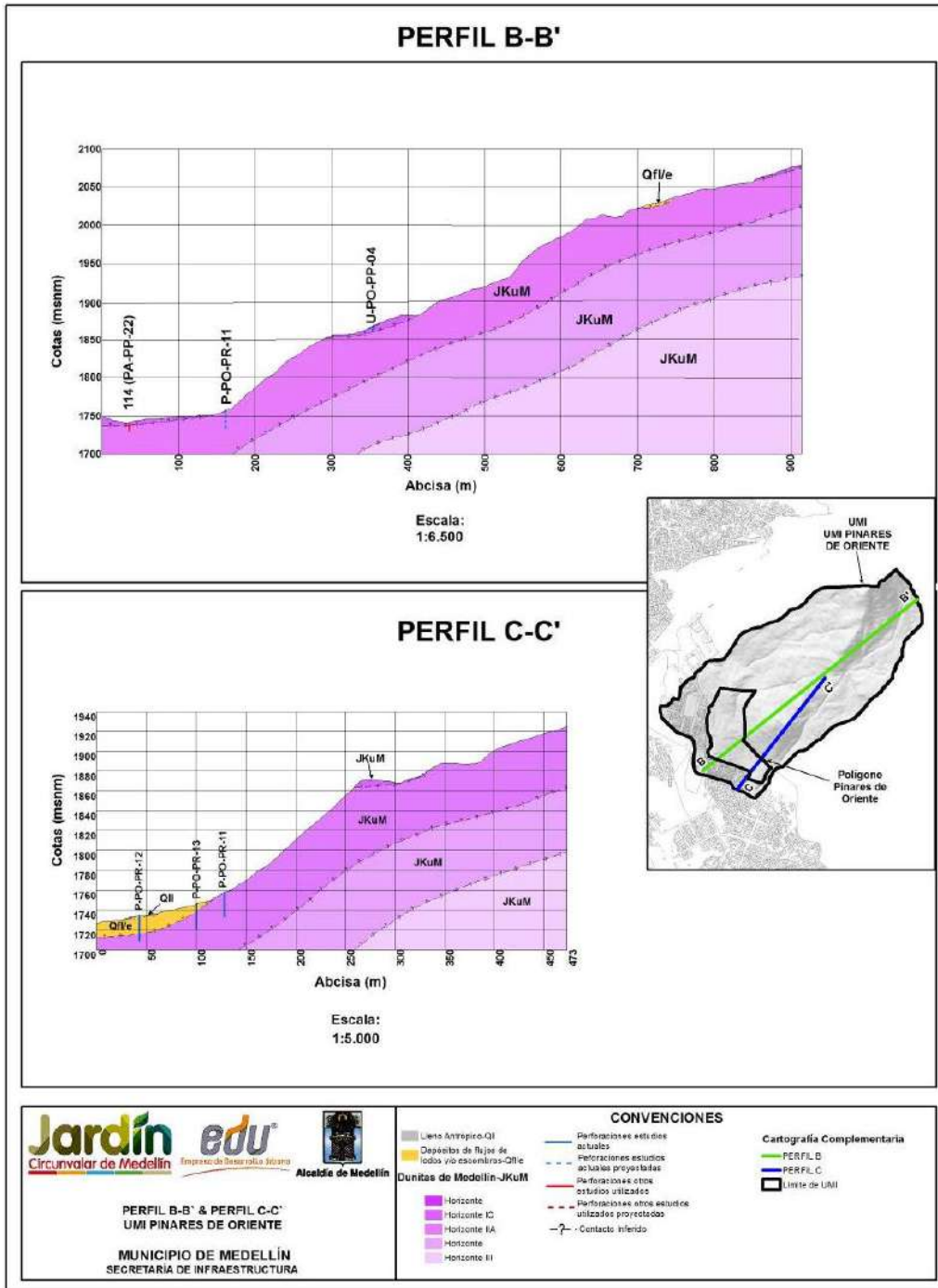
La unidad geológica predominante corresponde a los horizontes de meteorización de las Dunitas de Medellín (JKuM), las cuales son suprayacidas por depósitos de flujo de lodos y/o escombros (Qfl/e) y depósito de deslizamiento (Qd), además se presentan llenos antrópicos (Qll) asociados a las construcciones generadas por la expansión urbana.





Mapa 6. Geología local de UMI Pinares de Oriente
 (04_PDGeologiaLocalUMI_Medellin_C y 04_PDGeologiaLocalUMI_Medellin_T)



Mapa 7. Perfil estratigráfico A-A
(05_PDOPerfilesGeologicos_Medellin_C y 05_PDOPerfilesGeologicos_Medellin_T)



Mapa 8. Perfiles estratigráficos B-B' y C-C'
(06_PDOPerfilesGeologicos_Medellin_C y 06_PDOPerfilesGeologicos_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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

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

4.2.1 Llenos antrópicos (QII)

En la UMI Pinares de Oriente se encuentran cuerpos que en superficie abarcan longitudes entre 7 m y 123 m y en profundidad alcanzan espesores variables entre 2.5 m y 14.0 m. Estos llenos fueron caracterizados en las Perforaciones P-PO-PR-07, P-PO-PR-11, P-PO-PR-12, P-PO-PR-13, 077 (P1), 078 (P2), 116(PA-PP-23A), 154(PA-PR-10), 246(P2), 248(P4) y 461 (P7), suprayaciendo los suelos residuales de las Dunitas de Medellín y los depósitos de flujo de lodos y/o escombros. Además, se utilizaron las Líneas Geofísicas P-PO-LG-01 y P-PO-LG-03 como apoyo para determinar la extensión en superficie y en profundidad de estos cuerpos, de acuerdo con las velocidades de onda de corte bajas que presentan.

El lleno antrópico encontrado en la Perforación P-PO-PR-07 y 154(PA-PR-10), tiene entre 3.0 m y 4.5 m de espesor y está localizado hacia el noroeste del área de estudio. Tiene una relación matriz/fragmentos de 70/20 y 10% de materiales antrópicos. La matriz es limosa de color café, gris y negra, húmeda y de consistencia blanda. Los fragmentos son de dunitas y nódulos de hierro, frescos a levemente meteorizados, de tamaño grava fina. Los materiales antrópicos corresponden a ladrillos, vidrio, plástico y tela.

Con la Perforación P-PO-PR-11 se caracteriza el lleno localizado en el talud inferior de la vía principal, hacia el sudeste de la zona de estudio. Este cuerpo tiene un espesor de 2.5 m y una relación matriz/fragmentos de 80/20. La matriz es de color pardo y café rojizo, su tamaño de grano es limo, presenta una tenacidad media, consistencia blanda y el material está seco. Los fragmentos son subangulares y corresponden a dunita. Contiene fragmentos antrópicos correspondientes a ladrillos y telas.

La Perforación P-PO-PR-12 y la Línea Geofísica P-PO-LG-01, ubicadas en el extremo suroriental de la UMI, muestran un lleno de 2.5 m de espesor. Tiene una relación matriz/fragmentos de 80/10 con 10% de materiales antrópicos. La matriz es limo arenosa con tenacidad baja, consistencia blanda y húmeda. Los fragmentos son de dunita tamaño grava, moderadamente meteorizados, angulares a subangulares. Los materiales antrópicos corresponden a ladrillos.

Hacia el sudeste de la UMI, se localiza un lleno detectado en la Perforación P-PO-PR-13 con espesor de 2.0 m. Tiene matriz limo arenosa, de color negro y manchas grises, con tenacidad baja, consistencia blanda y húmeda, con relación matriz/fragmentos 85/15 con 5% de materiales antrópicos. Los materiales antrópicos corresponden a fragmentos de concreto, plástico y raíces; mientras que los fragmentos corresponden a dunitas medianamente meteorizados.

Hacia el sur de la UMI se identifica un lleno antrópico en las Perforaciones 077(P1), 078(P2), la Línea Geofísica P-PO-LG-03 y en la Estación de Campo AMD26-U-PO. Este lleno tiene un espesor variable entre 2.0 m y 3.0 m y es matriz soportado con 100% de

matriz. La matriz es limosa de color pardo amarillento, húmeda a seca, consistencia firme a blanda y de tenacidad media. Contiene desechos antrópicos tales como plástico.

Al oeste del Polígono Pinares de Oriente se encuentra el lleno antrópico definido a partir de la Perforación 116(PA PP 23A) del estudio DEACIVIL (2014) y de las Perforaciones 246(P2), 248(P4) de TECNISUELOS (2012). Tiene un espesor variable entre 1.5 m y 6.5 m y suprayace el suelo residual de las Dunitas de Medellín. Es un material heterogéneo que varía entre limo y limo arcilloso de color café amarillento con zonas café oscuras, presenta algunas raíces.



Figura 5. Materiales antrópicos en la Perforación P-PO-PR-11

4.2.2 Depósitos de deslizamiento (Qd)

Este depósito fue identificado en la Estación de Capo AMD10-U-PO, en la parte superior de la UMI, cerca de la frontera con la UMI de San Antonio. Se trata de un cuerpo ovalado con una longitud de 10 m y un ancho de 5 m. Es un depósito matriz soportado con relación matriz/fragmentos de 90/10. La matriz es limosa de color café anaranjado, húmedo, de consistencia firme y tenacidad baja (Figura 6).

4.2.3 Depósitos de talus (Qt)

Este depósito fue identificado en la Estación de Campo AMD25-U-PO, hacia el sureste de la UMI, en la unidad geomorfológica denominada Escarpe Largo Semicircular de la parte media de la UMI. Este depósito tiene un espesor de 2.0 m, es ovalado, mide 8 m de

longitud y 3 m de ancho, está formado por fragmentos de dunita moderadamente meteorizados, angulares a subangulares, que miden entre 20 cm y 100 cm (Figura 7).





Figura 6. Depósito de deslizamiento en la parte alta de la UMI



Figura 7. Depósito de talus

4.2.4 Depósitos de flujo de lodos y/o escombros (Qf/e)

Se encuentran distintos cuerpos distribuidos en la parte inferior, media y superior, de la UMI, en algunas partes cubiertos por llenos antrópicos. Tienen espesores entre 3 m y 20.8 m y abarcan longitudes entre 10 m y 156 m. Se encontraron en las Perforaciones P-PO-PR-06, P-PO-PR-07, P PO-PR-11, P-PO-PR-12, P PO-PR-13,

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

U-PO-PP-06, 093 (PA-PP-04), 154 (PA-PR-10), 457 (P3) y 461 (P7), así como en las Estaciones de Campo MAD01-PO, MAD02 PO, MAD04-U-PO, MAD05-PO, MAD01-U PO, AMD05 U PO, AMD15-U-PO, AMD16-U-PO, AMD18 U PO, AMD20 U PO, AMD22-U-PO y AMD28 PO.

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.

Hacia la parte inferior de la UMI, al interior del polígono, se localiza un depósito de flujo de lodos y/o escombros, suprayacido por un lleno antrópico. Este depósito fue reportado en las Perforaciones P-PO-PR-06, P-PO-PR-07 y 154 (PA PR-10), con espesor variable entre 3 m y 13.5 m. Tiene relación matriz/fragmentos de 75/25. La matriz es de tamaño limo y arcilla, de color café y pardo amarillento, húmeda, consistencia blanda y tenacidad media. Los fragmentos corresponden a dunita con tamaño máximo grava fina, leve a fuertemente meteorizados, dispuestos aleatoriamente y con espejos de falla. También se encuentran nódulos de hierro con tamaño inferior que 5 mm.

En el extremo suroriental de la UMI se reporta un depósito de flujo de lodos y/o escombros, el cual está formado por dos eventos depositacionales identificados a través del análisis multitemporal, en donde uno de los eventos corresponde al deslizamiento de Villatina. Se detectó en las Perforaciones P-PO-PR-11, P-PO-PR-13, 457 (P3) y 461 (P7) y en las estaciones de campo MAD04-PO, MAD05-U-PO y MAD06-U-PO, con espesor variable entre 7.2 m y 20.8 m. Tiene relación matriz/fragmentos variable entre 70/30 y 40/60. La matriz es arcillosa, de color pardo oscuro a pardo amarillento, húmeda, de tenacidad baja y consistencia blanda. Los fragmentos corresponden a dunitas, esquistos verdes y rocas graníticas, angulares a subangulares, tamaño grava, con diferentes grados de meteorización. Además, pueden tener ceniza volcánica mezclada, cristales de asbesto y nódulos de hierro.

En la parte media se encuentran ocho depósitos de flujo de lodos y/o escombros con espesores variables entre 2.0 m y 8.0 m, cada uno de ellos es descrito a continuación:

- ✓ El depósito localizado hacia el occidente de la UMI, está reportado en la Perforación PA-PP-04 y en la Estación de Campo AMD20 U PO. Tiene relación matriz/fragmentos 80/20, la matriz tiene tamaño de grano limoso, de color café anaranjado.
- ✓ Los depósitos localizados en las Estaciones de Campo MAD01-PO, MAD02 PO, AMD22-U-PO, MAD01-U-PO y en diferentes puntos de control, son matriz-soportados con una relación matriz/fragmentos que varía entre 80/20 y 40/60, la matriz es limosa a limo arenosa, de color café anaranjado, húmeda, consistencia

firme y tenacidad media. Los fragmentos son de dunita, están moderadamente meteorizados, subangulares, con tamaños entre 2 cm y 100 cm.

- ✓ Los depósitos encontrados hacia el noroccidente de la UMI, encima de la franja de suelo residual, fueron identificados en las Estaciones de Campo AMD18-U-PO, AMD28-PO y en puntos de control realizados durante el recorrido. Consisten en depósitos clasto soportados, con relación matriz/fragmentos variable entre 30/70 y 20/80. Los fragmentos son angulares a subangulares, corresponden a dunita levemente meteorizada. La matriz es muy orgánica, de color café oscura y húmeda.

En la parte superior, se definieron tres depósitos en las Estaciones de Campo AMD05-U-PO, AMD16-U-PO y AMD15-U-PO, con espesores superiores a 1.0 m cartografiados en afloramientos vistos en campo (Figura 16).



Figura 8. Depósito de flujo de lodos y/o escombros en la parte superior de la UMI

Estos depósitos de la parte superior tienen una relación matriz/fragmentos variable entre 40/60 y 80/20, la matriz es limosa a limo arenosa, de color negro a pardo naranja con manchas grises, húmeda, consistencia blanda a firme, tenacidad alta. Los fragmentos son de dunitas, dunitas milonitizadas, meteorizados, subangulares, con tamaños variables entre 15 cm y 100 cm de diámetro.

4.2.5 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 PO PR 08, P-PO-PR-09, P-PO-PR-07, P-PO-PR-11, P-TN-PR-09, U-PO-PP-04, U-PO-PP-06 y en las Líneas Geofísicas P-PO-LG-02, P-PO-LG-04, P-PO-LG-05 y U-PO-U-LG-09. 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 (Figura 17).



Figura 9. Evidencias de dunita cizallada en la zona de estudio

El Horizonte IB se encuentra aflorando en forma de franjas tanto en la parte alta, media y baja de la UMI, de acuerdo con las Perforaciones P-PO-PR-08 y U-PO-PP-04, con espesores variables entre 1.0 m y 1.4 m. Consiste en un suelo de color pardo naranja, con tamaño de grano limo y arcilla, húmedo, consistencia firme a blanda y tenacidad baja, que contiene raíces, micas y nódulos de hierro.

Además, en la Estación de Campo MAD05-U-PO, localizada en taludes sobre la calle 56C cerca del tanque Santa Elena, se encuentra un afloramiento de 2 m de espesor del horizonte IB, el cual tiene alto contenido de nódulos de hierro (Figura 10).



Figura 10. Horizonte IB de meteorización de las Dunitas de Medellín

El Horizonte IC se encuentra en las Perforaciones P-PO-PR-08, U-PO-PP-06 y U-PO-PP-04 y la Línea Geofísica P-PO-LG-05, donde muestra espesores de hasta 7.0 m. En los tres casos se trata de un horizonte de meteorización de una brecha. El suelo es arcilloso, de color pardo anaranjado con manchas verdes, húmedo y con tenacidad media. Contiene bloques de dunita frescos y con textura esquistosa, se encuentran además bloques fantasmas en suelo residual localizado en la parte alta de la UMI en el sector conocido como Alto de la Cruz (Figura 11 y Figura 12), con diferentes grados de meteorización subangulares y angulares. En algunas zonas se pueden observar espejos de falla.

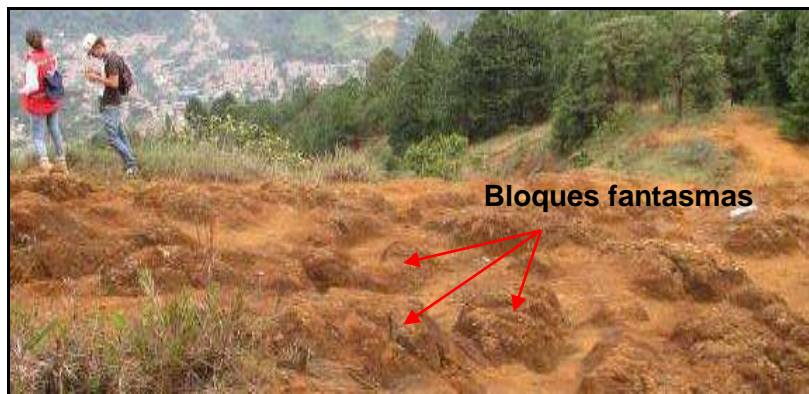


Figura 11. Horizonte IC de meteorización donde se muestran bloques fantasmas y suelo residual



Figura 12. Horizonte IC de meteorización que exhibe estructura esquistosa en la Dunita

El Horizonte IIA se cartografió con base en las Perforaciones P-PO-PR-07, P-PO-PR-08, P-TN-PR-09, P-PO-PR-13 y P-PO-PR-11 y en las Líneas Geofísicas P-PO-LG-02, P-PO-LG-04 y U-PO-LG-09, con espesores inferidos superiores a 12 m. Consiste en bloques de dunita y dunita milonitizada con longitudes inferiores a 20 cm. La roca se

encuentra moderadamente meteorizada, fracturada y diaclasada, presenta alteraciones a serpentina y pátinas de oxidación negras y pardas en las superficies de ruptura. Se observan igualmente espejos de falla y zonas de cizalla. Se encontró una zona de cizalla, en la Perforación P-PO-PR-11 y en la Estación de Campo AMD15-U-PO, evidenciada por la presencia de bloques con tamaño máximo de 4 cm, angulares en un suelo arcilloso de color gris (Figura 9). La recuperación de las muestras en las perforaciones en promedio es del 60%.

En la Figura 13 se muestra un afloramiento del Horizonte IIA de meteorización sobre un talud que se tiene dispuesto para obras de estabilización, encontrado sobre la Calle 56EC, parte baja de la UMI, cerca del Tanque Santa Elena. Se observan bloques de roca con estructura esquistosa (milonitizada) en suelo saprolítico que conserva venillas de color blanco y verde crema, asociados a minerales como talco y serpentina.





Figura 13. Horizonte IIA de meteorización con estructuras de esquistosidad en la Dunita

Además, el Horizonte IIA fue identificado en las Estaciones de Campo AMD02-U-PO, AMD03-U-PO, AMD13-U-PO, AMD14-U-PO, MAD03-U-PO, MAD01-PO, MAD02-PO, AMD17-U-PO, AMD24-U-PO, AMD04-U-PO, en diferentes puntos de control. La roca está fracturada, moderadamente meteorizada y con pátinas negras (Figura 14).



Figura 14. Paredes de roca, localizadas en la parte alta de la UMI sobre unidades geomorfológicas de escarpes y lomos

En algunas zonas se encuentran bloques en superficie de milonitas y dunitas, con tamaños cercanos a 1 m de longitud y subangulares. También se observan escarpes en roca cuyos espesores visibles varían de 1.8 m a 7.0 m. El porcentaje de suelo/roca varía entre 70/30 y 80/20, el suelo es de color naranja con manchas verdes y negras, el tamaño de grano es limo con muchas micas, su consistencia es blanda, la tenacidad es baja y está húmeda.

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</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.

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. En la zona de estudio regionalmente se tienen las macrounidades que se describen a continuación:

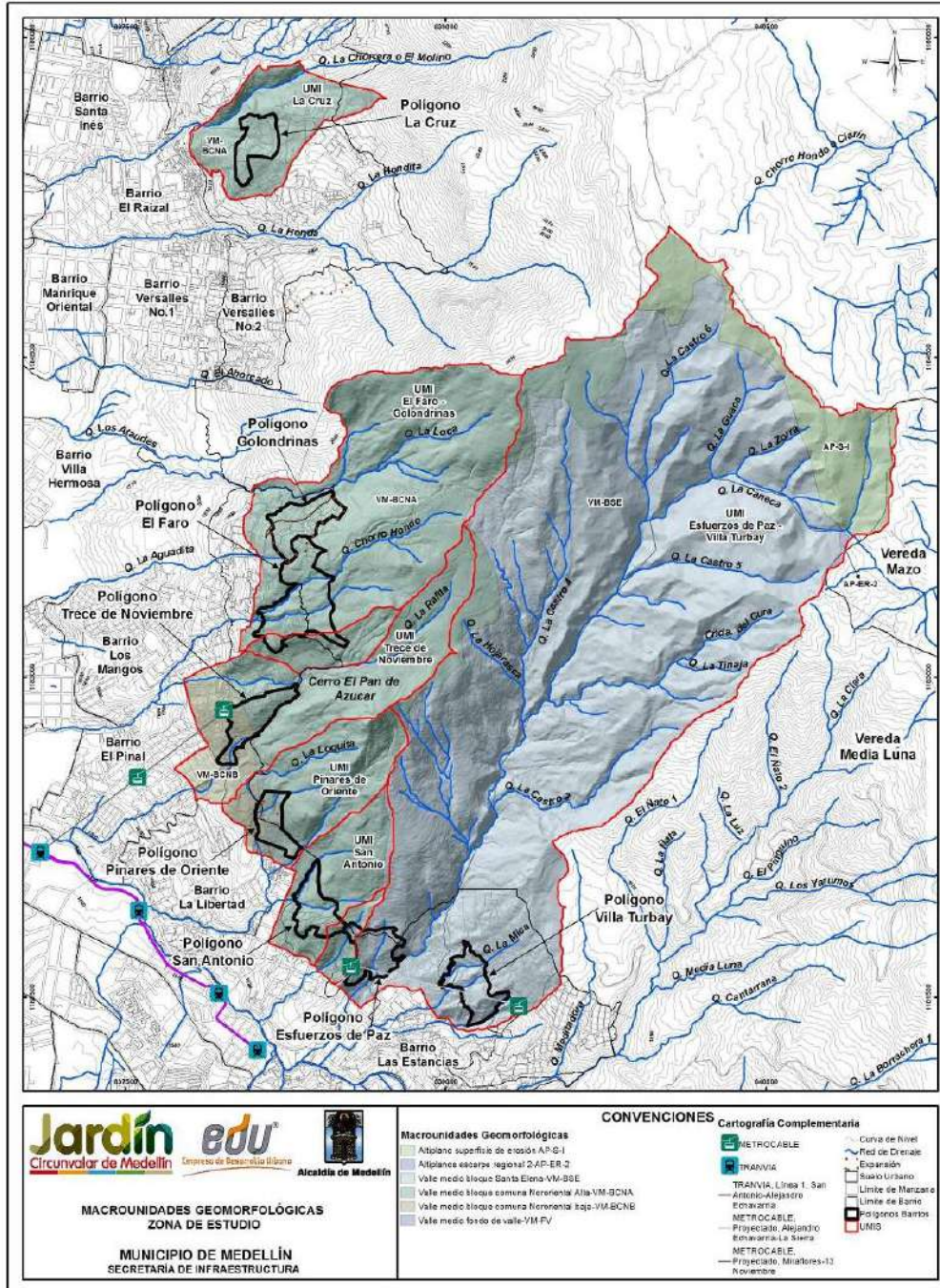
- ✓ Superficie de erosión S-I (AP-S-I), ubicada a altura del corregimiento de Santa Elena hacia el oriente de Medellín. Se encuentran entre alturas de 2500 msnm y 2600 msnm y se caracterizan por ser superficies con baja incisión pertenecientes al altiplano mencionado anteriormente en medio de sistemas 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 en el cual se 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. 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

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE </p>	
---	---	---



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, donde se observa que la UMI Pinares de Oriente se ubica sobre las macrounidades Valle Medio Bloque Comuna Nororiental Alta (VM-BCNA), Valle Medio Bloque Comuna Nororiental Baja (VM-BCNB).





Mapa 9. Bloques o macrounidades geomorfológicas de la zona de estudio (07_PD0MacroUnidadesGeomorfológicas_Medellin_C y 07_PD0MacroUnidadesGeomorfológicas_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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</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, pudiéndose citar las siguientes:

- ✓ 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. 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.

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	--	---

- ✓ 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. En este se observa que la UMI Pinares de Oriente se ubica sobre la Unidad de Lomos (L), Unidad de Peldaños (PÑ) y Unidad de Vertiente en suelos residuales moderadamente incisados (VSRMI).

A continuación se presenta la descripción de todas las unidades geomorfológicas y se menciona la macrounidad donde se encuentran.

5.2 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

Para la elaboración del mapa de unidades geomorfológicas, se procedió en primer lugar a elaborar el mapa de pendientes de la UMI Pinares de Oriente. 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).

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

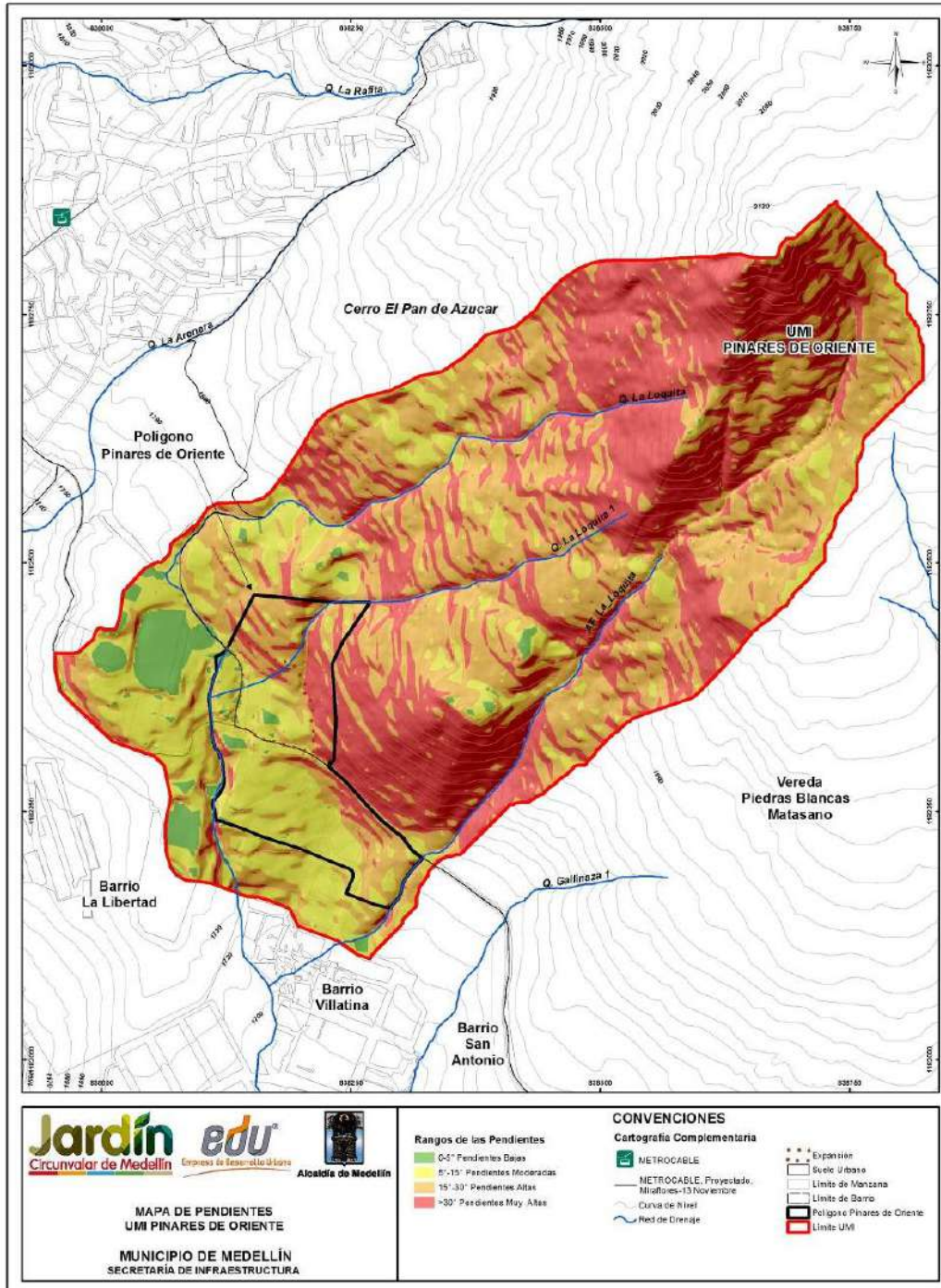
Rango	Clasificación	Rasgo Geomorfológico	Tipo de Proceso
0° a 5°	Baja	Planicies	Erosión superficial
5° a 15°	Moderada	Superficies Suaves	Erosión superficial
15° a 30°	Alta	Superficies Moderadas	Movimientos en masa y Erosión superficial
> 30°	Muy Alta	Laderas Empinadas	Movimientos en masa y Caída de rocas

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:

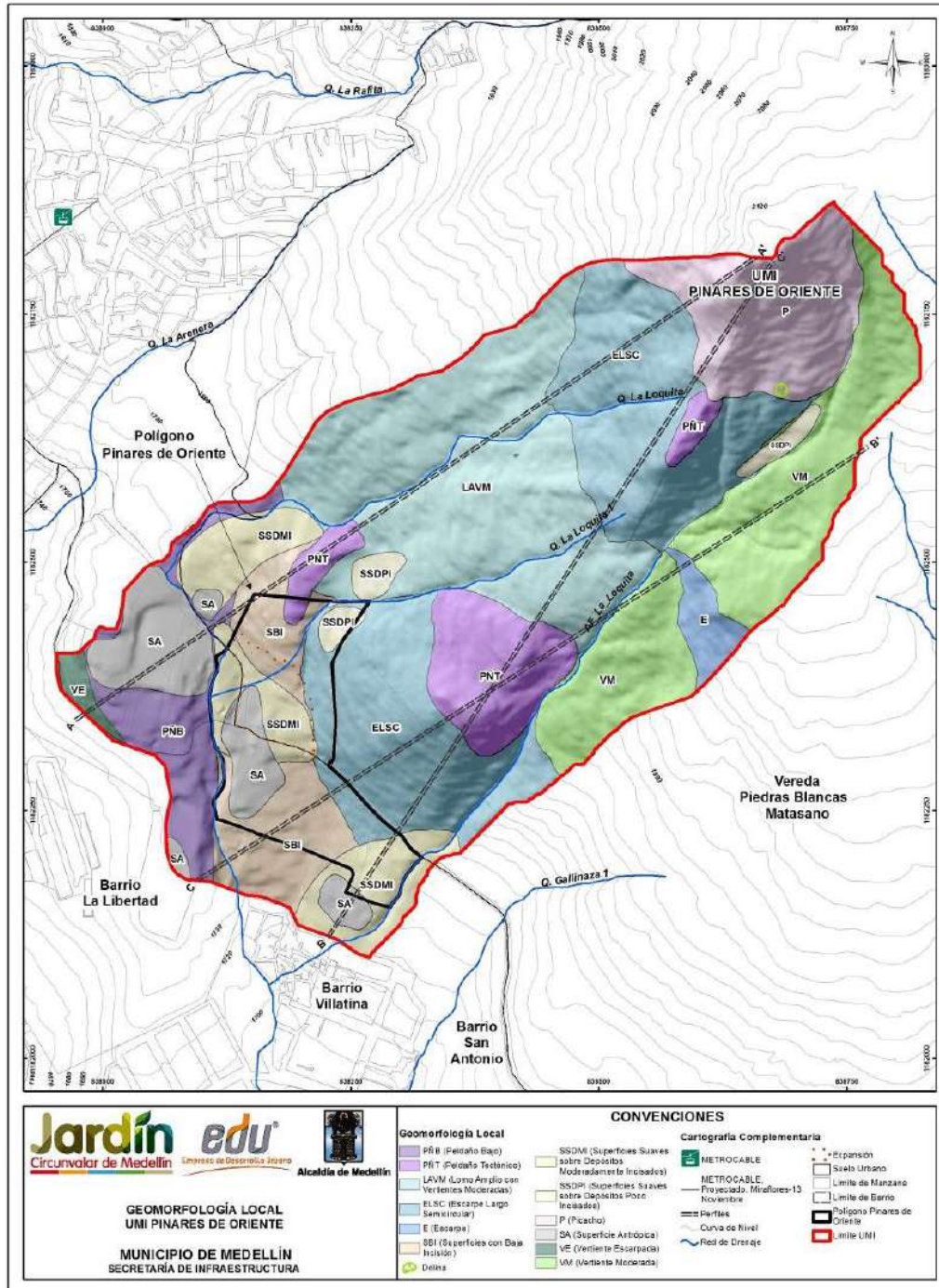
- ✓ Las zonas resaltadas en color verde son las de pendientes bajas (0° a 5°), correspondientes a planicies. Estas zonas se encuentran localizadas en la parte baja del polígono, cerca de donde se localiza el Tanque Santa Elena, están asociadas a rasgos tectónicos denominados como peldaños o descansos 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 naranja y amarillo, respectivamente. Son las predominantes en la UMI. Conciernen a superficies suaves y moderadas modeladas por la incisión de las quebradas y sus afluentes.
- ✓ Las zonas con pendientes mayores que 30° (rojo) son caracterizadas por presentar vertientes escarpadas moldeadas en roca, estando algunas hoy día cubiertas por la vegetación, como es el caso del Cerro Pan de Azúcar (CPA) y zonas aledañas.

Posteriormente, 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 trece unidades geomorfológicas que se describen detalladamente en los Numerales 5.2.1 a 5.2.14 de este capítulo.

En el Mapa 12 se presenta el mapa de unidades geomorfológicas de la UMI Pinares de Oriente y de la Figura 15 a la Figura 17 se muestran los perfiles esquemáticos de las unidades más sobresalientes.



Mapa 11. Análisis de pendientes de la UMI Pinares de Oriente (09_PDOPendientes_Medellin_C y 09_PDOPendientes_Medellin_T)



Mapa 12. Unidades geomorfológicas de la UMI Pinares de Oriente
 (10_PD0GeomorfologíaLocal_Medellin_C y 10_PD0GeomorfologíaLocal_Medellin_T)

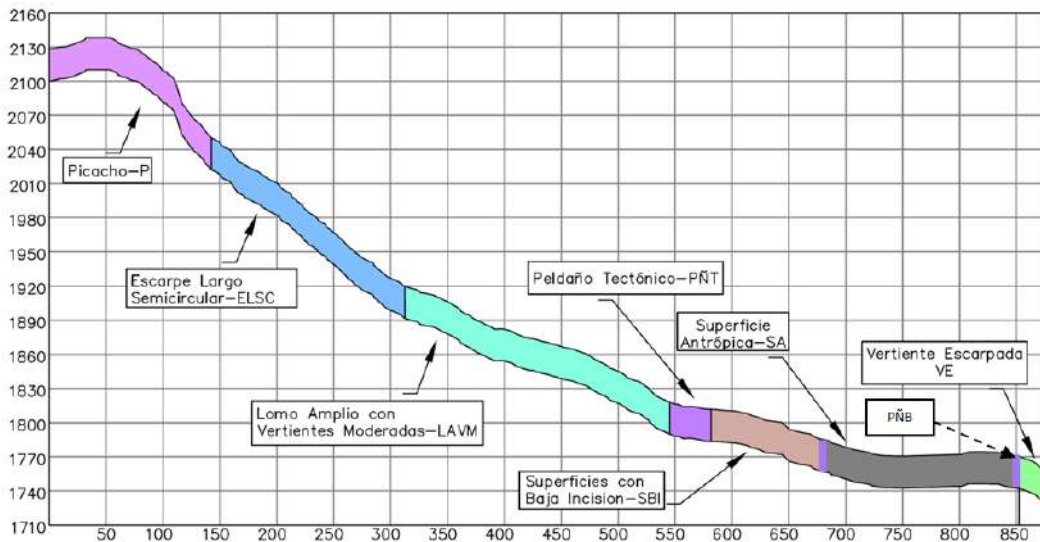


Figura 15. Perfil A-A' de unidades geomorfológicas

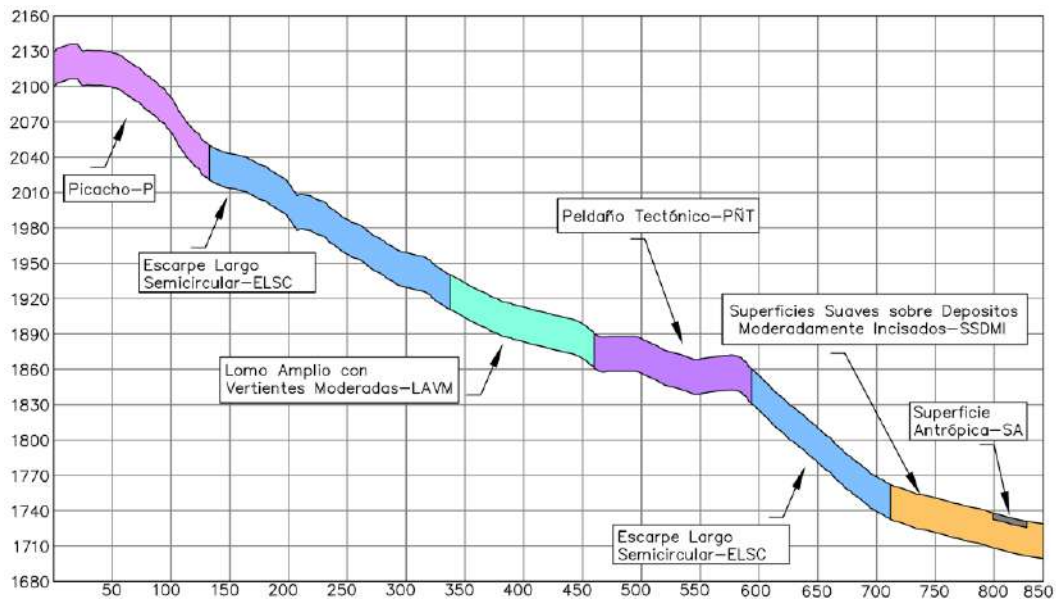


Figura 16. Perfil B-B' de unidades geomorfológicas

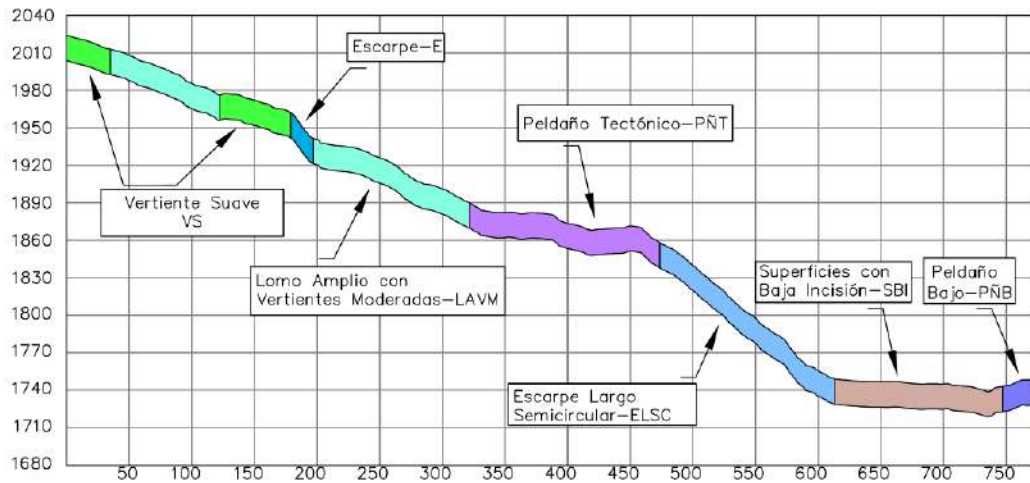


Figura 17. Perfil C-C' de unidades geomorfológicas

5.2.1 Unidad Peldaño Bajo PÑB

Esta unidad se encuentra localizada hacia el sur (Parte baja) de la UMI y del polígono, donde actualmente se localiza el Tanque Santa Elena. Se encuentra entre las cotas 1740 msnm y 1750 msnm, limitada por lineamientos asociados a rasgos tectónicos observados principalmente en quiebres de pendiente. Esta unidad presenta forma de ovalo alagado, topes planos a moderadamente convexos con pendientes menores de 15°. Litológicamente esta unidad se desarrolla sobre suelo residual de las Dunitas de Medellín y llenos antrópicos (Figura 18).



Figura 18. Peldaño Bajo PÑB, Superficies con Baja Incisión SBI y Escarpes Largos Semicirculares ELSC

5.2.2 Unidad Peldaño Tectónico PÑT

Se encuentran en la parte media y alta de la UMI. La localizada en la parte media corresponde a la expresión geomorfológica denominada “Silleta o Silla de Montar”. Se halla entre las cotas 1860 msnm, y 1872 msnm. Como su 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 peldaño tectónico localizado en la parte alta de la UMI se encuentra entre las cotas 2026 msnm y 2038 msnm, presentando topes suaves con pendientes menores de 5° y con forma de óvalo alargado y estrecho.

Ambos peldaños se encuentran limitados por la unidad de escarpes y lineamientos observados en la cartografía y las fotografías aéreas, 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 19. Litológicamente se desarrollan sobre el Horizonte IIA de Dunitas de Medellín.

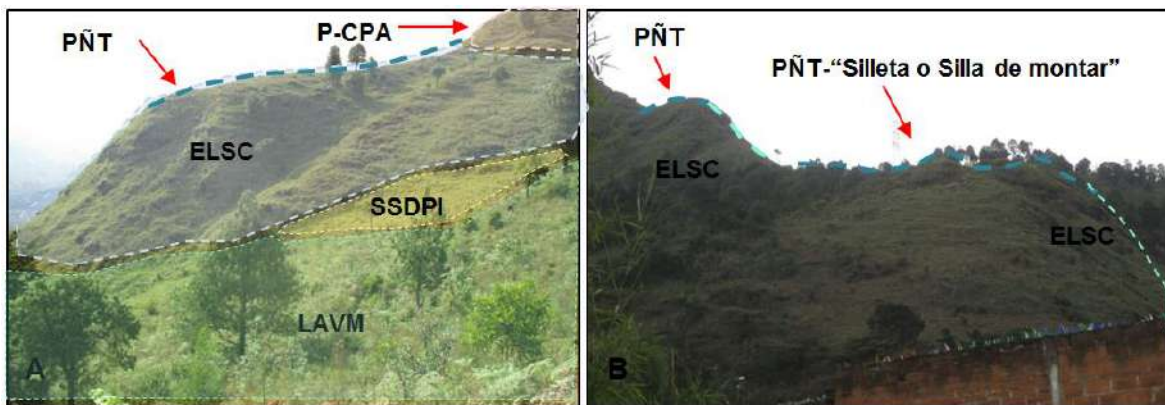


Figura 19. A) PÑT-Peldaño Tectónico, P Cerro Pan de Azúcar (CPA), ELSC Escarpe Largo Semicircular, SSDPI Superficies Suaves Sobre Depósitos Poco Incisados y LAVM Lomo Amplio con Vertientes Moderadas. B) Relieve escalonado con descansos o peldaños limitados por zonas escarpadas

5.2.3 Unidad Picacho P

Se localiza en la parte alta de la UMI, hacia el norte. Esta unidad se encuentra el Cerro Pan de Azúcar (CPA). Se caracteriza por encontrarse en el rango de pendientes mayores de 30°, entre las cotas 2138 msnm y 2148 msnm. Es una geoforma muy distinguible en el relieve, presenta forma ovalada a irregular, sus vertientes son fuertes a escarpadas con

topes convexos y planos. Litológicamente se encuentra sobre el Horizonte IIA de Dunitas. En esta unidad geomorfológica se desarrollan procesos de inestabilidad como caída de rocas, el cual es favorecido por el agua de escorrentía que acelera la erosión superficial (Figura 20).

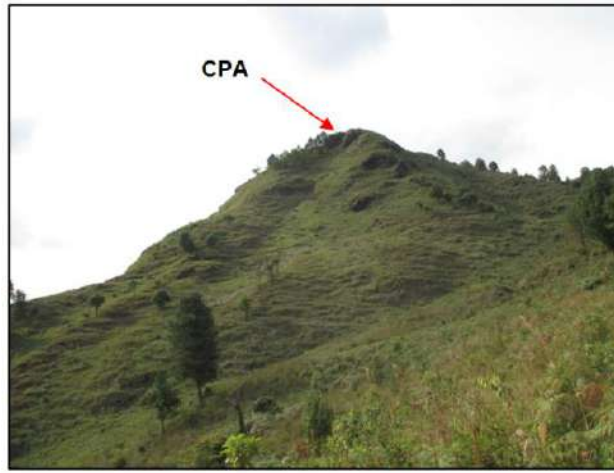


Figura 20. Unidad de Picacho P Cerro Pan de Azúcar (CPA)

5.2.4 Unidad Escarpe Largo Semicircular ELSC

Se encuentra ubicada en la parte alta de la UMI y parte superior del polígono. Se caracteriza por presentar pendientes muy escarpadas con ángulos mayores de 30°, presenta paredes (frentes de roca) con alturas mayores de 100 m, formas semicirculares a ovaladas limitados por lineamientos y peldaños tectónicos. Litológicamente esta unidad se desarrolla sobre el Horizonte IIA de las Dunitas. En esta unidad geomorfológica se desarrollan procesos de inestabilidad como caída de rocas, el cual es desencadenado por procesos de erosión superficial como se ilustra en la Figura 21.



Figura 21. Unidad de Escarpes Largos Semicirculares ELSC

5.2.5 Unidad Escarpe E

Se encuentra ubicado en la parte alta de la UMI sobre la margen izquierda de la Quebrada La Loquita. Se caracteriza por presentar pendientes muy escarpadas con ángulos mayores de 30°, presenta paredes (frentes de roca) con alturas entre 50 m y 80 m, con formas irregulares cóncavas y convexas. Esta unidad geomorfológica hace parte del escarpe sobre el cual se tiene la cicatriz de deslizamiento de Villatina en la UMI correspondiente a San Antonio. Litológicamente esta unidad se desarrolla sobre el Horizonte IIA de las Dunitas de Medellín. En esta unidad geomorfológica se desarrollan procesos de inestabilidad como caída de rocas, el cual es desencadenado por procesos de erosión superficial (Figura 22).



Figura 22. Unidad de Escarpe E localizada en la parte alta de la UMI

5.2.6 Unidad Lomo Ampio con Vertientes Moderadas LAVM

Se localiza en la parte media de la UMI. Limita en la parte superior con la Unidad Escarpes Largos Semicirculares y en la parte inferior con la Unidad Superficies con Baja Incisión. Se caracteriza por presentar topes subangulosos con pendientes menores de 15°, vertientes cortas con pendientes moderadas a fuertes, presenta formas alargadas con bajo grado de incisión. Litológicamente, esta unidad se desarrolla principalmente sobre el Horizonte IIA y suelo residual de Dunitas de Medellín y en pequeñas zonas se localizan depósitos de flujos de lodos y/o escombros (Figura 23).



Figura 23. Unidad de Lomo Ampio con Vertientes Moderadas LAVM

5.2.7 Unidad Lomo Alargado con Vertientes Fuertes LARVF

Se localiza en la parte alta de la UMI. Limita en la parte superior por la unidad de Peldaño Alto cerca del Cerro Pan de Azúcar (CPA), en cuanto a su extensión gran parte de esta unidad se localiza sobre la UMI de Esfuerzos de Paz y Villa Turbay. Se caracteriza por presentar topes continuos de pendientes suaves de 15°, vertientes cortas con pendientes moderadas a fuertes, presenta formas alargadas con moderado grado de incisión (Figura 24). Litológicamente, esta unidad se desarrolla principalmente sobre el Horizonte IIA y suelo residual de Dunitas de Medellín.



Figura 24. Unidad de Lomo Alargado con Vertientes Fuertes LARVF

5.2.8 Unidad Superficie Antrópica SA

Se encuentran concentradas en la parte media y baja de la UMI. Son superficies explanadas con formas irregulares modificadas antrópicamente, con pendientes suaves entre 0° y 5° de inclinación. Sobre esta unidad se localiza el Tanque Santa Elena como se ilustra en la Figura 25.



Figura 25. Unidad de Superficie Antrópica SA sobre el Tanque Santa Elena

5.2.9 Unidad Superficies Suaves sobre Depósitos Moderadamente Incisados

Se encuentran localizadas de manera aleatoria en la UMI. La de mayor área se ubica sobre la margen izquierda y derecha de la Quebrada La Loquita. Estas geoformas se caracterizan por presentar pendientes menores de 15° y formas ovaladas, laderas cortas moderadamente incisadas y topes suaves. Son el resultado de procesos de inestabilidad

generados en las unidades geomorfológicas de escarpes largos semicirculares (ELSC) y Lomos Amplios con Vertientes Moderadas (LAVM). Como su nombre lo indica, se desarrollan sobre depósitos de flujo de lodos y/o escombros.



Figura 26. Unidad de Superficies Suaves sobre Depósitos Moderadamente Incisados SSDMI y Vertiente Escarpada VE

5.2.10 Unidad Superficies Suaves sobre Depósitos Poco Incisados SSDPI

Se encuentran localizadas en la parte alta del polígono, sobre ambas márgenes de la Quebrada La Loquita 1. Estas geoformas se caracterizan por presentar pendientes menores a 15° y formas ovaladas, laderas muy cortas poco incisadas y topes suaves. Son el resultado de procesos de inestabilidad generados en las unidades geomorfológicas de escarpes largos semicirculares (ELSC) y Lomos Amplios con Vertientes Moderadas (LAVM). Como su nombre lo indica, se desarrollan sobre depósitos de flujo de lodos y/o escombros (Figura 27 y Figura 28).



Figura 27. Unidad de Superficies Suaves sobre Depósitos Poco Incisados-SSDPI y Lomo Amplio con Vertientes Moderadas LAVM

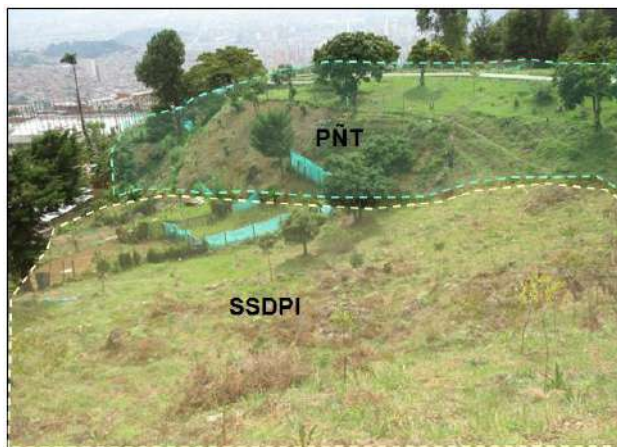


Figura 28. Unidad de Superficies Suaves sobre Depósitos Poco Incisados SSDPI y Peldaño Tectónico PNT

5.2.11 Unidad de Superficies con Baja Incisión SBI

Localizada en la parte inferior de la UMI y sobre gran parte del polígono. Presenta topes suaves rugosos con pendientes menores de 5° y bajo grado de incisión. Se encuentra limitada por la unidad de Escarpes Largos Semicirculares y por la unidad de Peldaño Bajo (Figura 18). Litológicamente se desarrolla sobre suelo residual de las Dunitas de Medellín.

5.2.12 Unidad de Vertiente Escarpada VE

Se localiza en la parte baja de la UMI. Se caracteriza por presentar laderas cortas con pendientes fuertes a escarpadas e inclinaciones mayores a los 15° con bajo grado de incisión; se encuentra completamente urbanizada (Figura 26). Esta geoforma se desarrolla sobre suelo residual de las Dunitas de Medellín.

5.2.13 Unidad de Vertiente Suave VS

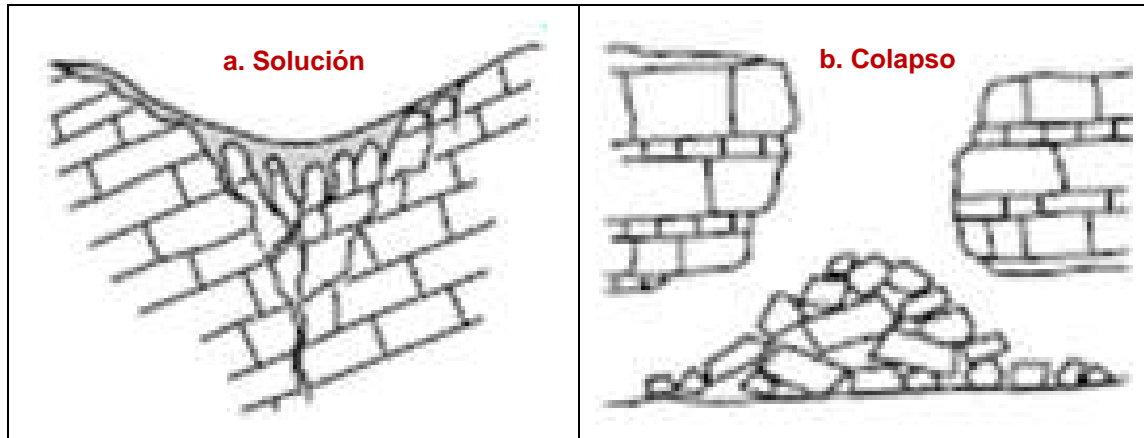
Se localiza en la parte media de la UMI en los límites con la UMI de Esfuerzos de Paz. Se caracteriza por presentar laderas cortas con pendientes suaves con inclinaciones menores de 15° con bajo grado de incisión y de forma convexa (Figura 41). Esta geoforma se desarrolla sobre suelo residual de las Dunitas de Medellín.



Figura 29. Unidad de Vertiente Suave VS y Superficies Suaves sobre Depósitos Poco Incisados SSDPI

5.2.14 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 30 , aunque todos estos procesos en conjunto también dan origen a una dolina (poligenética) (Huggett, 2007).



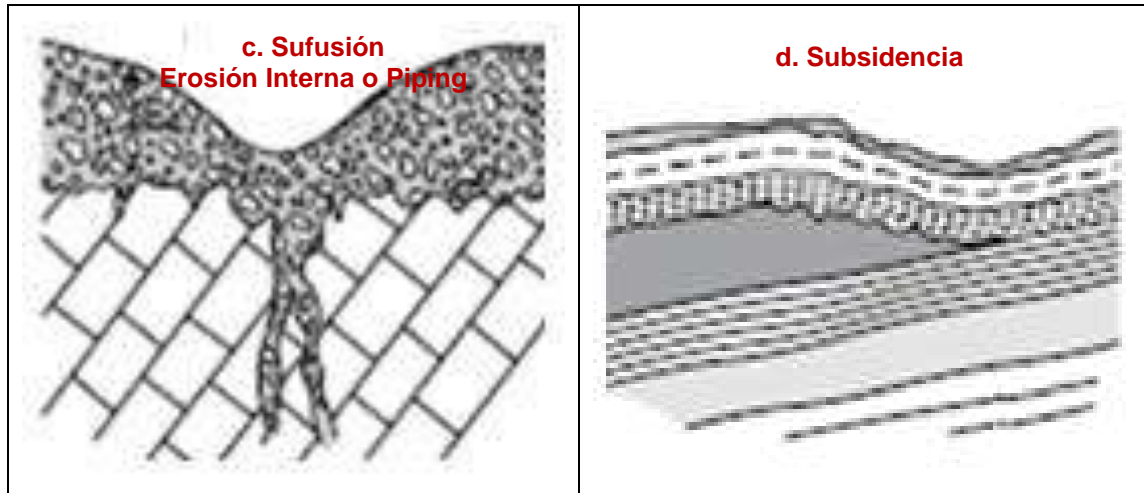


Figura 30. Principales formaciones genéticas de una dolina (Huggett, 2007)

En el Valle de Aburrá han sido reportados pseudokarst, los cuales han sido denominados así porque 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 30 son los procesos de formación que se asocian a las dolinas reportadas en la UMI de Pinares de Oriente, dado el fuerte control estructural evidenciado en lineamientos, geoformas de origen estructural (peldaños, peldaños tectónicos), patrones de meteorización particulares (bloques rocosos en abundante suelo) y estructuras de disolución/erosión en la roca como acanaladuras. Estos factores ponen en evidencia la conjugación de procesos que dan origen al paisaje pseudokarstico en las Dunitas de Medellín (Figura 31).



Figura 31. Principales formaciones genéticas de una dolina (Huggett, 2007)



En el Mapa 12 se cartografió una dolina, localizada en la parte alta de la UMI, cuyas dimensiones son aproximadamente 5 m de largo, 4 m de ancho y 0.7 m de profundidad. Esta se encuentra cubierta por vegetación y con bloques de rocas de diámetros variables entre 0.5 m y 0.7 m, como se ilustra en la Figura 32.



Figura 32. Dolina cartografiada en la parte alta de la UMI

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 mensuales 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 estrecha relación directa

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	--	---

de las condiciones hidrometeorológicas, como factor detonante, de los fenómenos naturales que ocurren en el Valle de Aburrá (Aristizabal & 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 los retiros y las zonas inundables de las quebradas. (Aristizabal & 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 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 1989 (Aristizabal & Gómez, 2007), ambos ocurridos en la 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 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 Aburrá (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). 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 caídos 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 a los polígonos. Por su parte, la Figura 33 y la Figura 34 presentan un análisis de frecuencia de ocurrencia de los principales fenómenos y cuáles son los barrios más afectados por los mismos.

En la Figura 33 y en la Figura 34 se puede observar que los deslizamientos son los fenómenos más recurrentes en la zona de estudio, seguidos de los fenómenos de inundación tal como lo describió Aristizabal & 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 34 muestra que los barrios más afectados por diferentes fenómenos según los registros encontrados son Villa Tina, 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.

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%

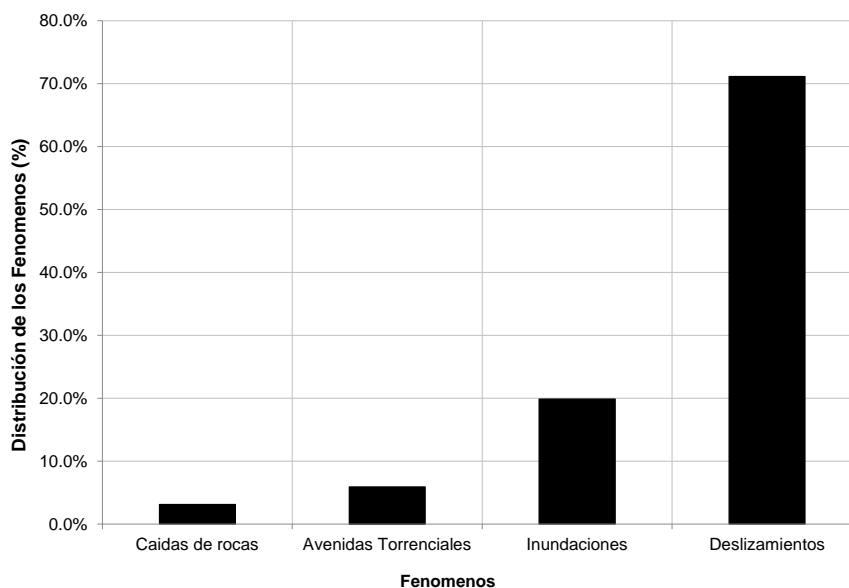


Figura 33. Distribución de los fenómenos según su tipología

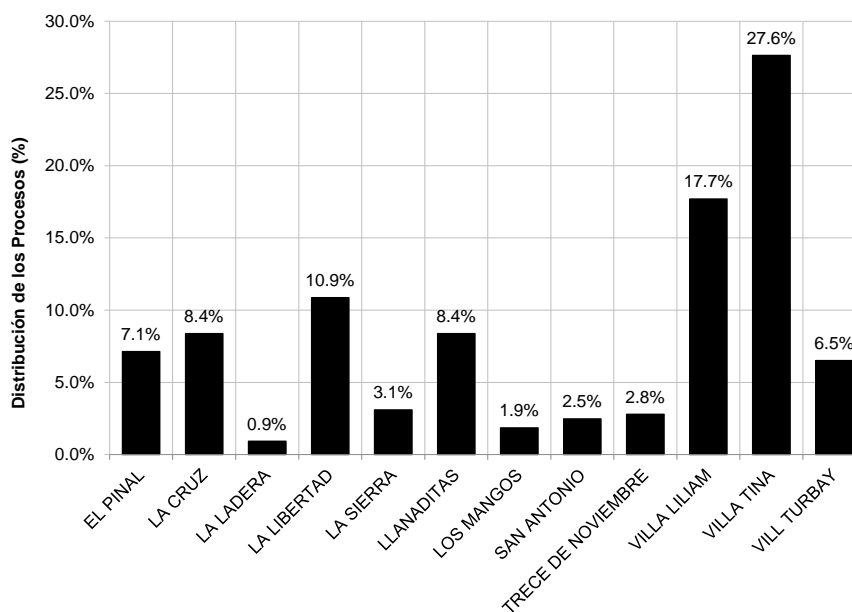




Figura 34. Análisis de los barrios más afectados por los fenómenos

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

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

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	--	---

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 35). 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”.

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 de tierra detonados por lluvias en el sector de Villa Turbay durante el primer fin de semana del mes de abril, provocaron el colapso de cuatro viviendas y el fallecimiento de cuatro personas.

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	2010	Reptaciones y movimientos lentos
Enciso - Los Mangos	6 de junio de 2011	Deslizamiento por redes de servicios públicos
Villa Turbay - Las Miras	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 injerencia de redes de servicios públicos



Figura 35. Fotografía del deslizamiento de Villatina en septiembre de 1987 (Periódico El Mundo, 8 de octubre de 1987)

5.4 MORFODINÁMICA LOCAL

Como parte del análisis morfodinámico de la UMI Pinares de Oriente, se llevó a cabo el análisis multitemporal con la fotointerpretación de las 103 fotografías aéreas recopiladas, correspondientes a 15 líneas de vuelo para el período comprendido entre 1959 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
1976	FD-87	3	29-35	1 : 10.000
1981-1983	R-898	1	261-271	1 : 5.160
1985	Geovial-2	6	31-34	1 : 3.200
1987	Geovial-18	19	232-240	1 : 5.300
1987	Geovial-18	20	212-222	1 : 4.600
1987	Geovial-18	21	243-246	1 : 5.200
1987	Geovial-18	22	252-257	1 : 5.300

Tabla 4. Listado de fotografías aéreas recopiladas por el consultor

AÑO	VUELO	FAJA	FOTOS	ESCALA
1994	Geovial 65/3	32	156-160	1 : 5000
1994	Geovial 65/3	33	98-109	1 : 5.000
1994	Geovial 65/3	34	130-141	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
2004	AE-182	2	726-729	1 : 10.700
2004	AE-183	3	985-987	1 : 19.900

En el Mapa 13 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 anotar 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.

Los procesos morfodinámicos identificados consisten en deslizamientos y caída de rocas, cárcavas, surcos, dolinas, y bloques en superficie por erosión. Aunque la mayoría de los procesos son inactivos, se presentan procesos activos en los años 1957, 1987 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 en mayor proporción en el área comprendida entre la parte media y alta de cada UMI. Estos deslizamientos son planares y rotacionales, principalmente inactivos, tienen coronas con anchos entre 5 m y 200 m y escarpes de hasta 10 m sobre los horizontes de meteorización de las Dunitas de Medellín.

Tabla 5. Colores definidos para los procesos según año

Año de Visualización	Color en el Plano
1959	Naranja
1983	Magenta
1987	Verde
1998	Rosado
2004	Azul
2015	Rojo

Los deslizamientos se dan principalmente hacia la parte alta y media de la UMI, con coronas entre 5 m y 100 m, sobre los Horizontes IC y IIA de las Dunitas de Medellín, donde también se dan desgarres con dimensiones entre 3 m y 5 m y escarpes de 1,5 m a 2 m de alto, algunos sobre pequeños depósitos de flujos de lodos y/o escombros. En el extremo este de la UMI se encuentra un deslizamiento activo, con 50 m de largo, 60 m de ancho y un escarpe de 5 m de altura, parcialmente cubierto por vegetación (Figura 36), el cual también fue identificado en el análisis multitemporal para el año 1957.

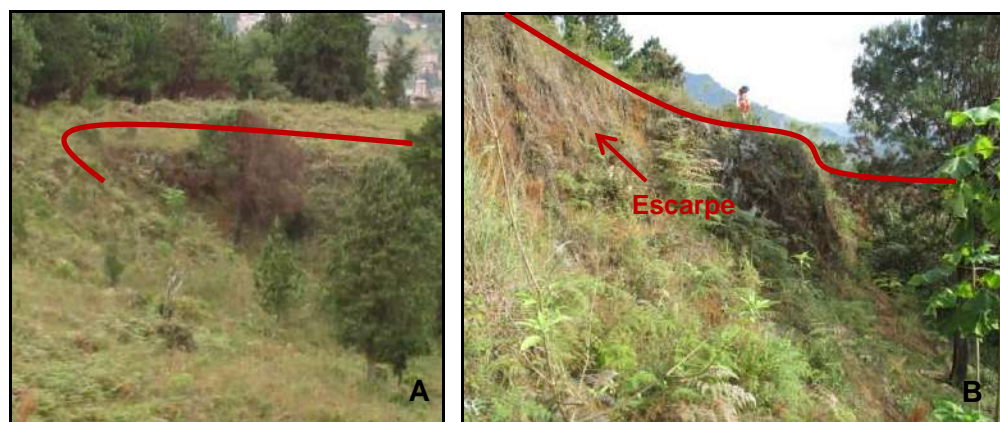
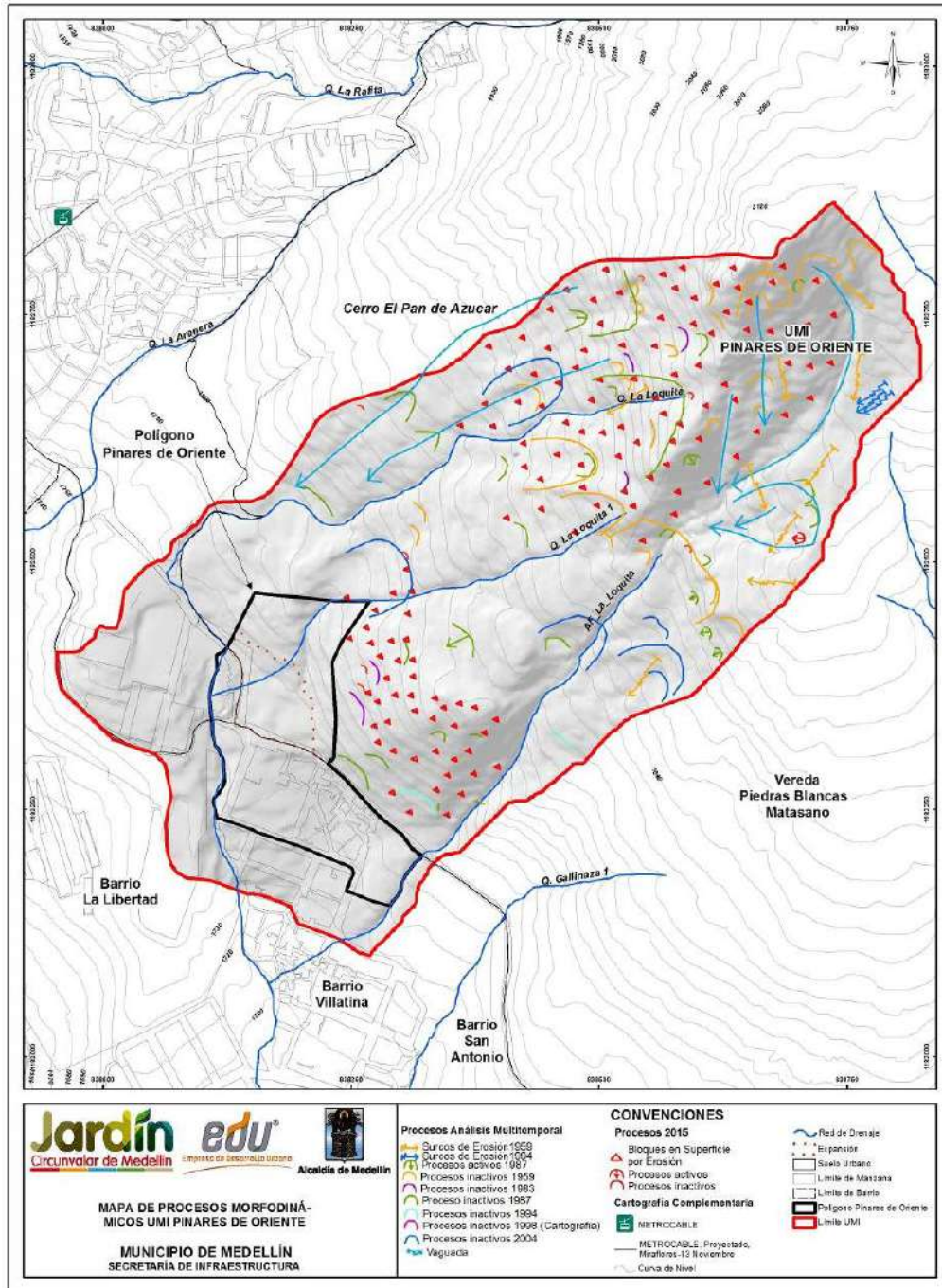


Figura 36. Proceso activo en extremo este de la UMI (A) visto desde lejos y (B) visto de frente



Mapa 13. Procesos morfodinámicos UMI Pinares de Oriente
 (11_PDOProcesosMorfodinámicos_Medellin_C y
 11_PDOProcesosMorfodinámicos_Medellin_T)

Las caídas de rocas son evidenciadas principalmente en las unidades geomorfológicas denominadas como Escarpes Largos Semicirculares (ELSC), la Unidad de Picacho (P) en el Cerro Pan de Azúcar (CPA) y la Unidad de Peldaño Tectónico (PÑT), especialmente sobre el Horizonte IIA de las Dunitas de Medellín.

Este fenómeno se da esencialmente 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 37).



Figura 37. Escarpes de roca en la parte alta de la UMI con alto grado de fracturamiento

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 (Figura 38). 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 el desprendimiento.

En los recorridos de campo se observaron escarpes de roca en la parte alta de la UMI, cerca del cerro Pan de Azúcar y en la parte baja detrás del polígono, en las laderas de pendiente fuerte del peldaño tectónico.

Los surcos de erosión y los bloques en superficie por erosión son producto de procesos de erosión superficial eólica y fluvial. Se encuentran surcos en la parte superior de la UMI en el extremo este, sobre el Horizonte IC de las Dunitas de Medellín, con aproximadamente 3 m de largo, 30 cm de ancho y entre 10 cm y 15 cm de profundidad. Además, la erosión genera formas columnares o de montículos en el suelo, con 50 cm a 80 cm de alto (Figura 39). Los bloques en superficie se encuentran en la mayor parte de la UMI, especialmente en zonas con pendientes fuertes y moderadas cerca del Cerro Pan de Azúcar y en la parte baja en el lado este de la UMI especialmente en las vertientes del peldaño tectónico.

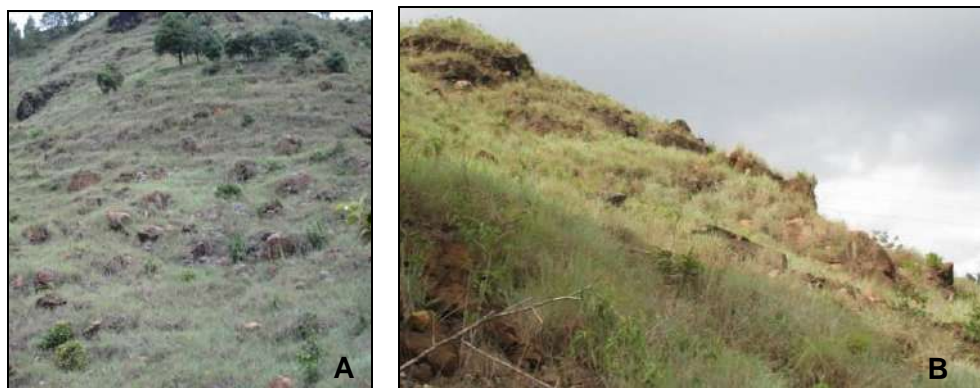


Figura 38. Bloques expuestos por lavado del suelo residual (A) parte alta de la UMI y (B) parte baja de la UMI en la unidad geomorfológica de peldaño tectónico PÑT

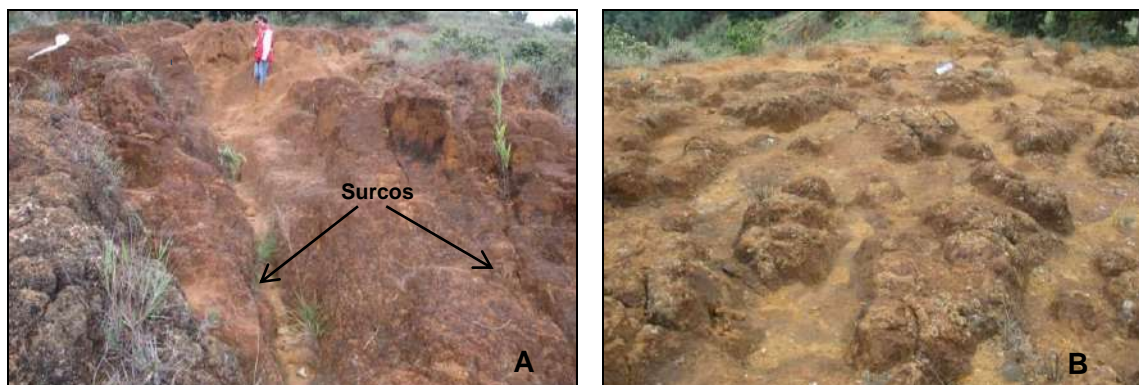


Figura 39. Surcos de erosión (A) y erosión superficial (B) que se encuentra en la parte superior de la UMI

El análisis multitemporal con la fotointerpretación de las 103 fotografías aéreas recopiladas, correspondientes a 15 líneas de vuelo para el período comprendido entre 1959 y 2004 y con escalas variables entre 1:3.200 y 1:21.700, permite concluir que no se tienen procesos morfodinámicos asociados a la dinámica fluvial de los drenajes de la UMI Pinares de Oriente. No se identificó la presencia de procesos de socavación por medio de la fotointerpretación efectuada.

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). 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. Del sistema de fallas con dirección NE, las principales trazas son La Chapa y Santa Elena (Consortio Microzonificación, 2006).



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 Consortio 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 Pinares de Oriente se encontraron estructuras tales como lineamientos geológicos, discontinuidades y zonas de cizalla, los cuales se presentan en el Mapa 14.

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	--	---

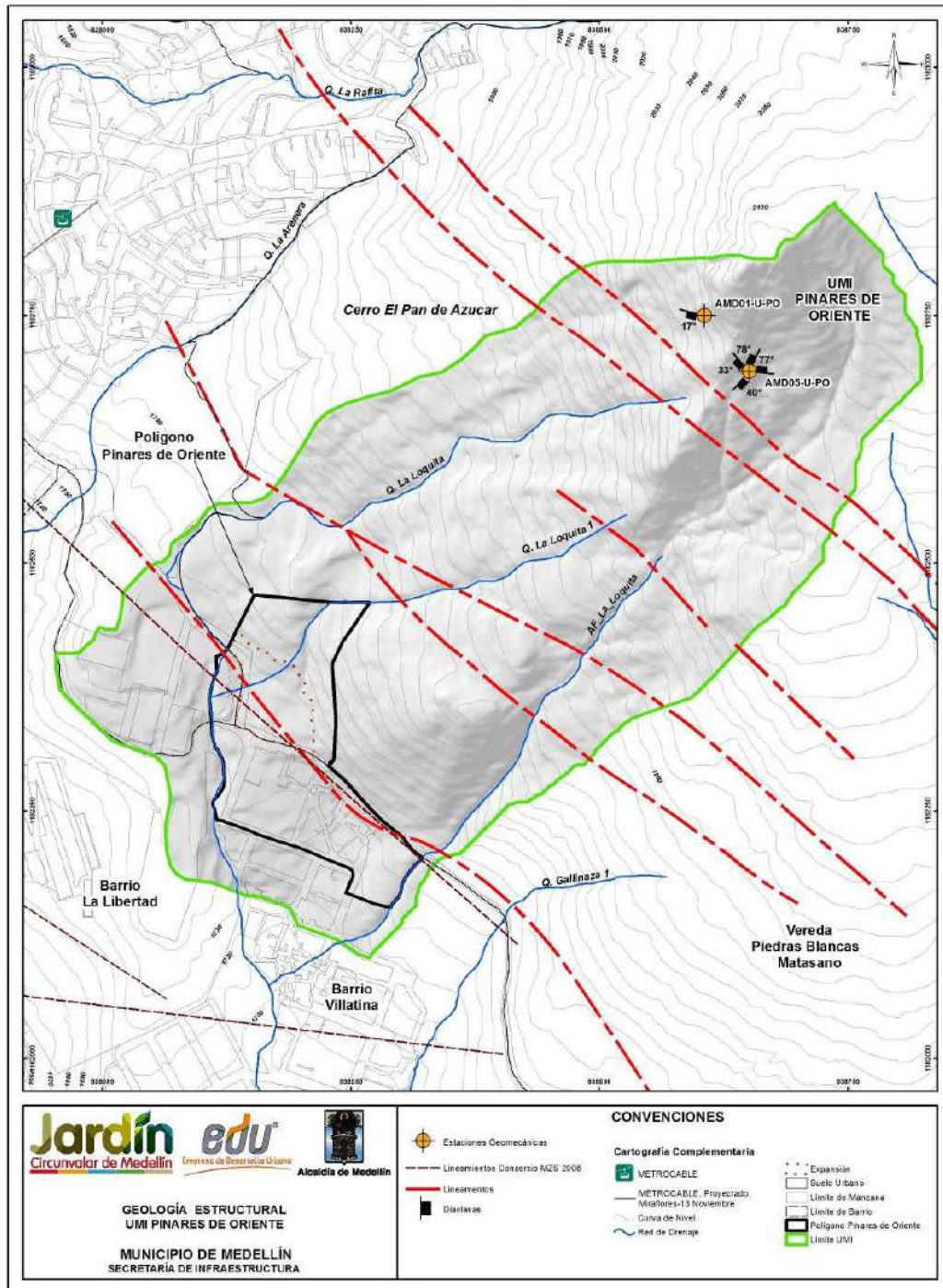
Los lineamientos se identificaron a través de los análisis geomorfológicos y fotogeológicos, encontrando tendencias NW-SE, en donde la primera se relaciona con la dirección del contacto Anfibolitas Dunitas de Medellín (Falla Contacto Anfibolitas Dunitas). Además, cabe resaltar la posible relación de estos lineamientos geológicos con las evidencias de falla encontradas en los recorridos de campo y en las perforaciones, lo cual lleva a concluir que las Dunitas de la zona de estudio están cizalladas.

Para la caracterización de los afloramientos del macizo rocoso evidenciado en el Polígono Pinares de Oriente, 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 Pinares de Oriente.

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.



Mapa 14. Geología estructural de la UMI Pinares de Oriente
 (12_PD0GeologiaEstructural_Medellin_C y 12_PD0GeologiaEstructural_Medellin_T)

6.2.1 Orientación y buzamiento

En cada una de las estaciones geomecánicas al interior de la UMI Pinares de Oriente se tomaron datos de rumbo y buzamiento para los planos de discontinuidad, bajo la notación buzamiento/dirección de buzamiento. En total se recolectaron 111 datos distribuidos en dos estaciones geomecánicas, como se indica en la Tabla 7. Cabe añadir que cada estación geomecánica de la UMI Pinares de Oriente corresponde a una franja alargada de terreno sobre la cual se encontró aflorando el macizo rocoso.

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

Estación	Coordenadas		Número de Datos
	Norte	Este	
AMD01-U-PO	1182749	838605	102
AMD05-U-PO	1182693	838650	9

En el Mapa 14 se presenta la localización de las estaciones geomecánicas mostradas en la Tabla 7, 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 dos 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.

La Figura 40 presenta el diagrama de polos y la Figura 41 el diagrama de rosas, obtenidos con todas las discontinuidades tomadas en las estaciones geomecánicas. Se pueden observar concentraciones de polos que permiten definir, en principio, dos tendencias (familias) principales, 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	18°/200°	N70°W/18°SW	9-10
2	78°/020°	N70°W/78°NE	5-6

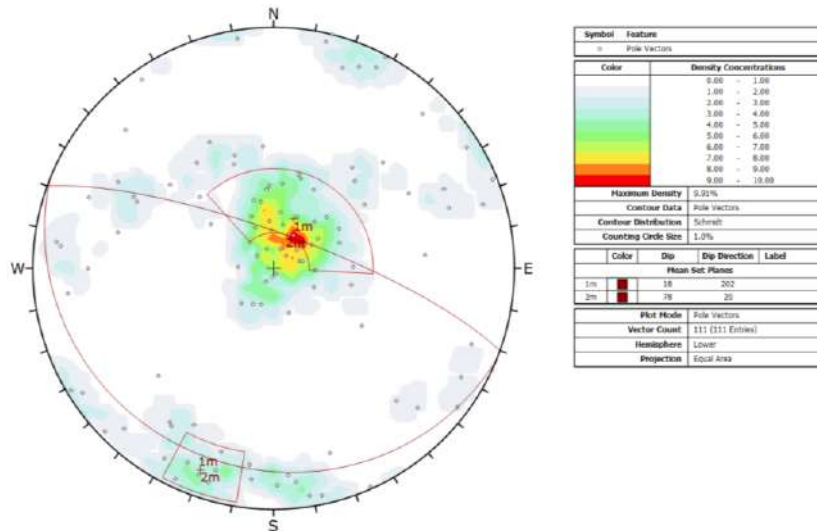


Figura 40. Diagrama de polos con todos los datos obtenidos en el levantamiento de discontinuidades

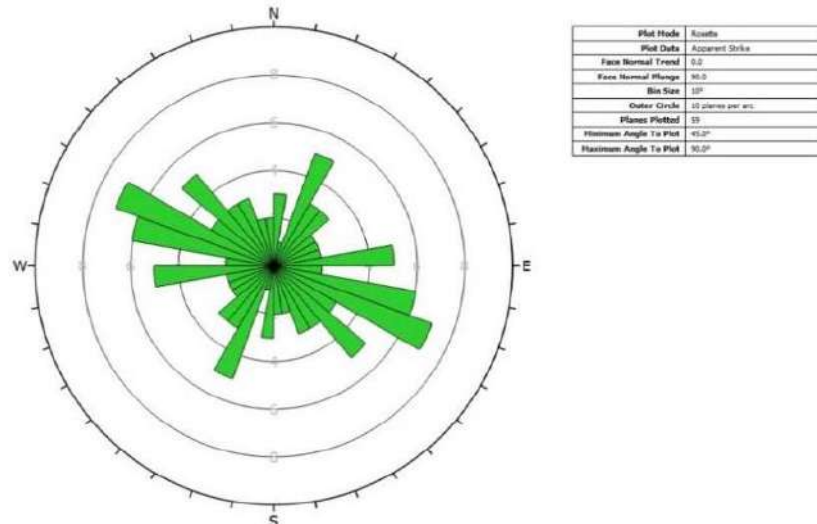


Figura 41. Diagrama de rosas con todos los datos obtenidos en el levantamiento de discontinuidades

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 42. La Estación AMD01-U-PO muestra una familia, mientras que la Estación AMD05-U-PO muestra cuatro familias de discontinuidades, las cuales se detallan en la Tabla 9 y en la Tabla 10.



 <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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	 <p>edu[®] Empresa de Desarrollo Urbano</p>
---	--	---

Tabla 9. Familias de discontinuidades en la estación AMD01-U-PO

Familia	Buzamiento/Dirección Buzamiento	Rumbo/Buzamiento	Concentración (%)
1	17/194	N76°W/17°SW	9 – 11

Tabla 10. Familias de discontinuidades en la estación AMD05-U-PO

Familia	Buzamiento/Dirección Buzamiento	Rumbo/Buzamiento	Concentración (%)
1	33/229	N41°W/33°SW	9.2-11.5
2	77/006	N84°W/77°NE	9.2-11.5
3	40/131	N41°E/40°SE	20.7 – 23
4	80/305	N26°E/78°NW	20.7 – 23

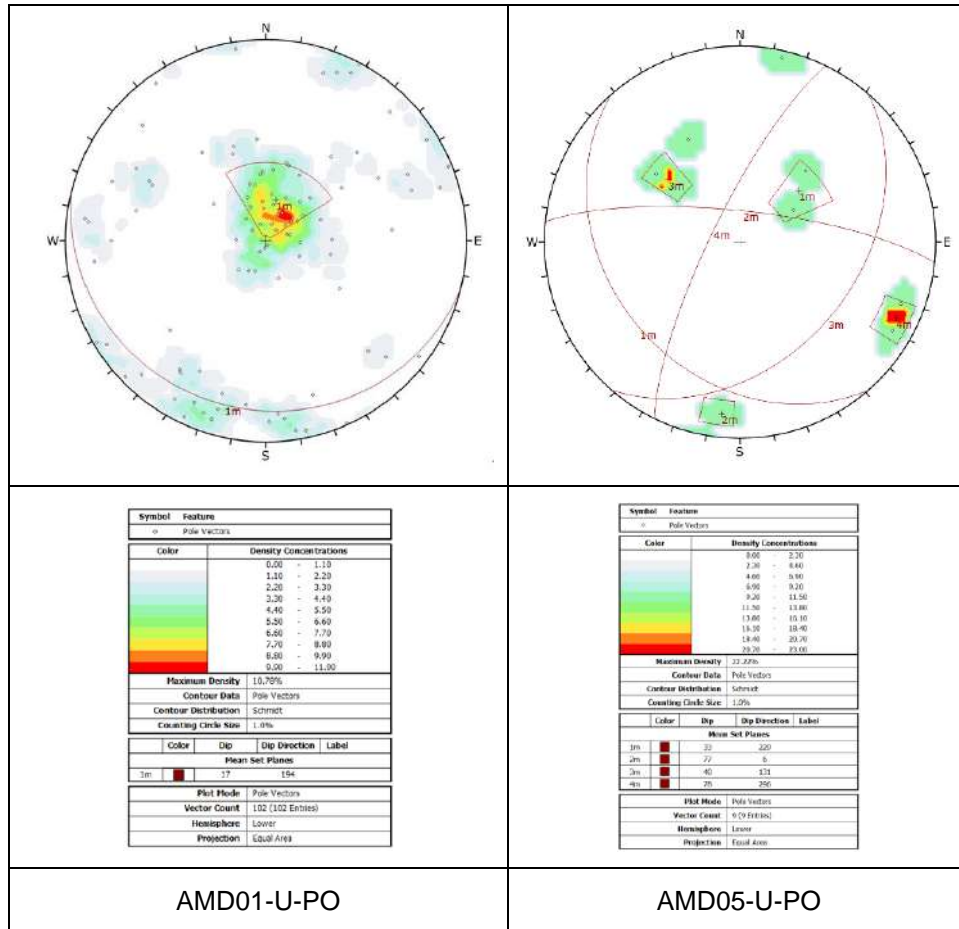


Figura 42. Diagrama de polos con los datos obtenidos en el levantamiento de discontinuidades en las estaciones AMD01-U-PO y AMD05-U-PO

En la Estación AMD01-U-PO 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 la Estación AMD05-U-PO, las Familias 1 y 2 se correlacionan con el patrón de discontinuidades global de la UMI. Además, aparecen dos familias nuevas de discontinuidades (Familias 3 y 4), 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 Pinares de Oriente tiene cuatro tendencias de discontinuidades, de las cuales dos se consideran familias principales (Familias 1 y 2) y las otras dos familias secundarias (Familias 3 y 4).

La Familia 1 muestra la tendencia principal para esta UMI. Además, puede inferirse lo siguiente:

- ✓ De acuerdo con el análisis general, la Familia 1 (N70°W/18°SW) es semejante a la falla N80°W/45°SW, reportada por el Consorcio Microzonificación (2006) como el contacto entre dunita-anfibolita en el municipio de Santa Elena.
- ✓ De acuerdo con el análisis local, las Familias 3 y 4 encontradas son puntuales para la estación AMD05-U-PO.
- ✓ La Familia 4 (N26°E/78°NW) del análisis local, podría correlacionarse con la zona de cizalla S35°W/55°W reportada por el Consorcio Microzonificación (2006) en la vía al Plan, Envigado.
- ✓ 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 locales de macizo.

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 11 y en la Figura 43 los respectivos resultados.

En los levantamientos realizados predominan las discontinuidades separadas a moderadamente juntas, las cuales corresponden a casi el 60% de la totalidad. Sin embargo, cabe añadir que al sumar las discontinuidades muy juntas, juntas y moderadamente juntas suman cerca del 53% de la totalidad, lo cual indica que el macizo rocoso presenta un grado de fracturación importante.

Tabla 11. 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

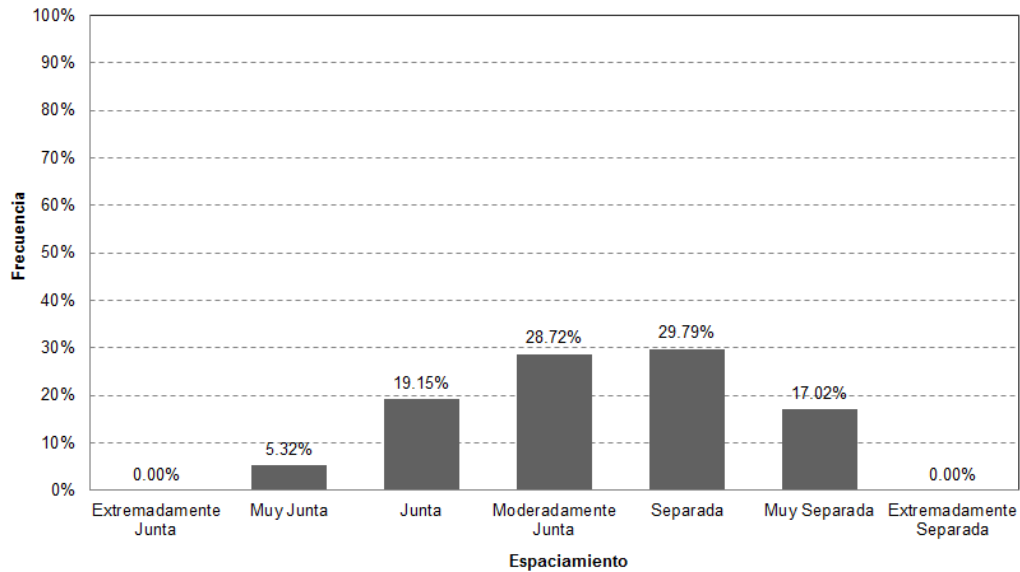


Figura 43. Análisis de la característica de espaciamiento de las discontinuidades

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 12.

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.

Tabla 12. 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

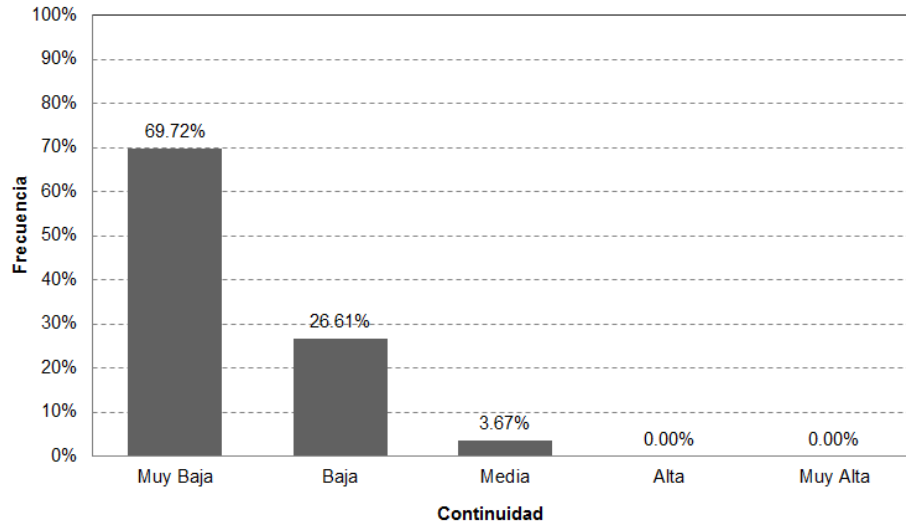


Figura 44. Análisis de la característica de continuidad de las discontinuidades

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 13.

Las discontinuidades se presentaron predominantemente abiertas a moderadamente abiertas. Sin embargo, la Figura 45 muestra una distribución casi normal, por lo cual las variaciones van desde cerradas hasta extremadamente anchas. Esto equivale a tener discontinuidades con aberturas entre 0.1 mm hasta 100 cm. Los procesos que más favorecen la abertura de estos planos se asocian a la meteorización y disolución en la roca que amplían la zona discontinua.

Tabla 13. 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
Cavernosa	> 1 m

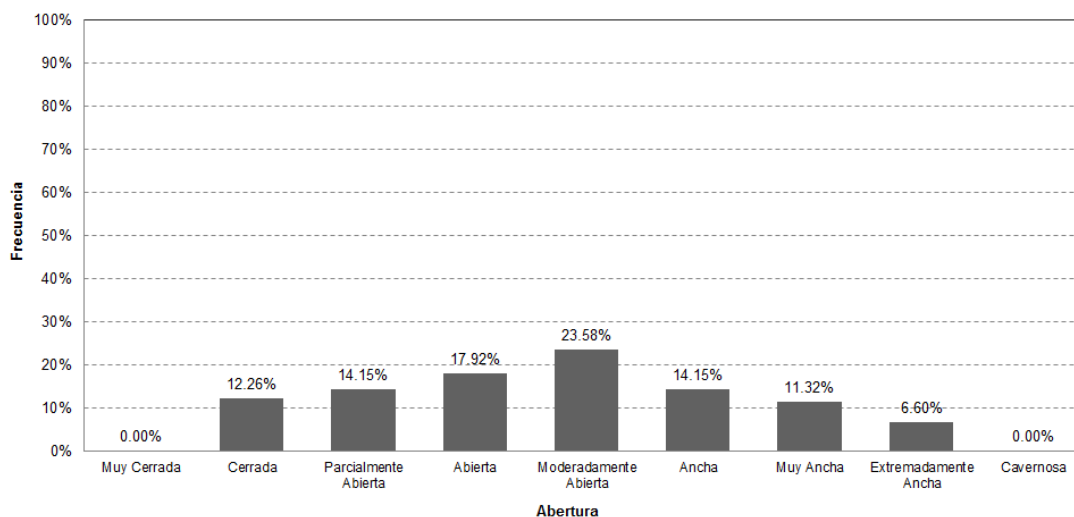


Figura 45. Análisis de la característica de abertura de las discontinuidades

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 46.

Con respecto al relleno, cabe resaltar que el 68% de las discontinuidades no presentan ningún relleno. Por otra parte, el 19% presentan relleno blando de más o menos 5 mm, el cual corresponde principalmente a material limoso y arcilloso.

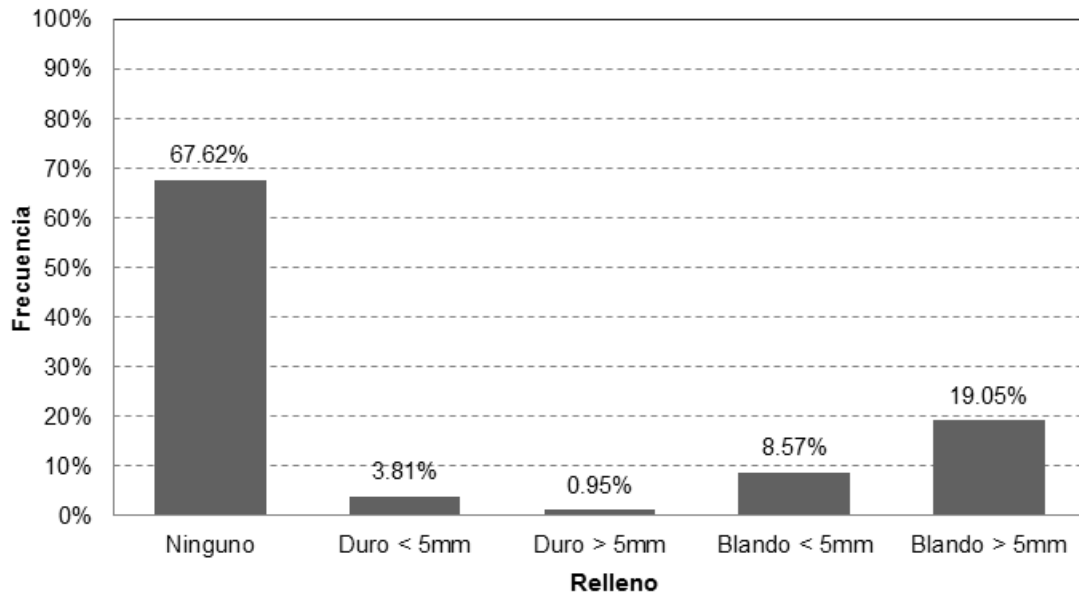


Figura 46. Análisis de la característica de relleno de las discontinuidades

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 (Figura 47).

La totalidad en las discontinuidades levantadas en cada una de las estaciones geomecánicas mostraron un nivel entre moderada y muy alteradas, con 38% y 60% del total, respectivamente.

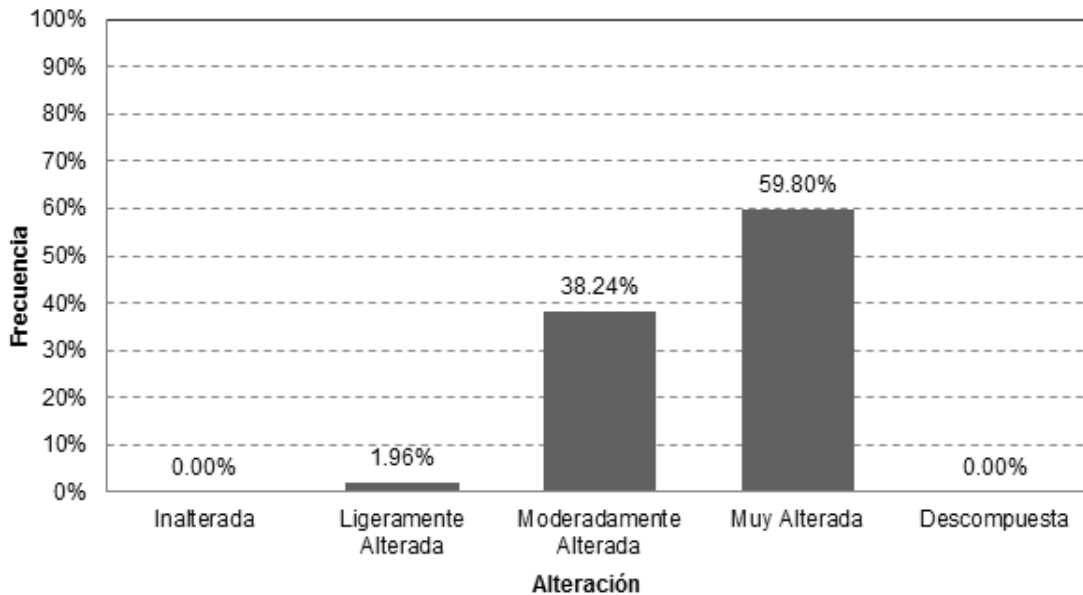


Figura 47. Análisis de la característica de alteración de las discontinuidades

6.2.7 Rugosidad

Esta propiedad determina la resistencia al corte de la discontinuidad, dándose que 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 48. 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, como se puede apreciar en la Figura 62, las discontinuidades se presentaron predominantemente planas con un 92%, onduladas con un 20% y escalonadas con un 3%.

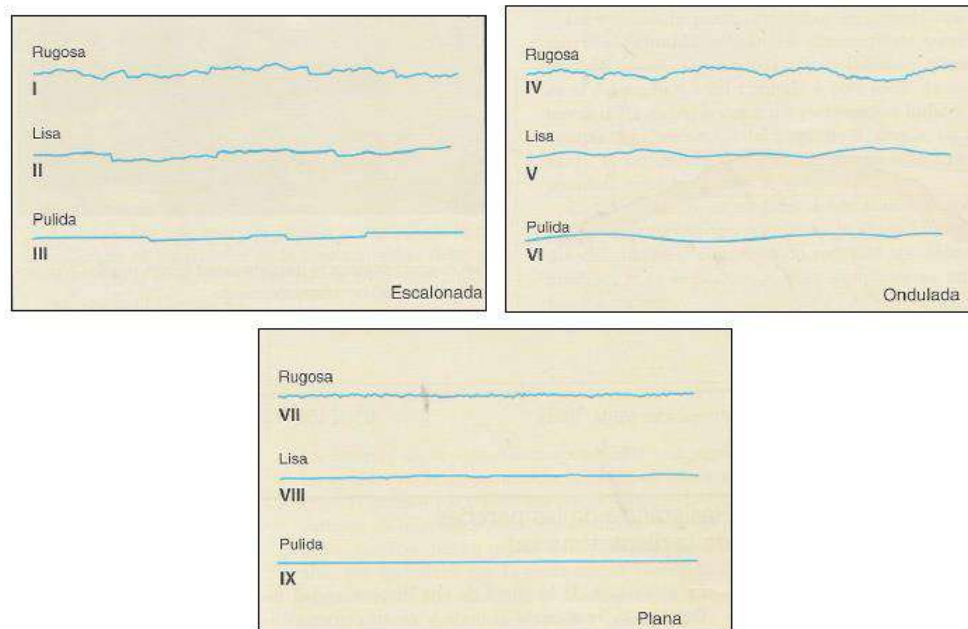


Figura 48. Esquema para calificar la rugosidad de una discontinuidad (Tomado de Gonzales de Vallejo, 2002)

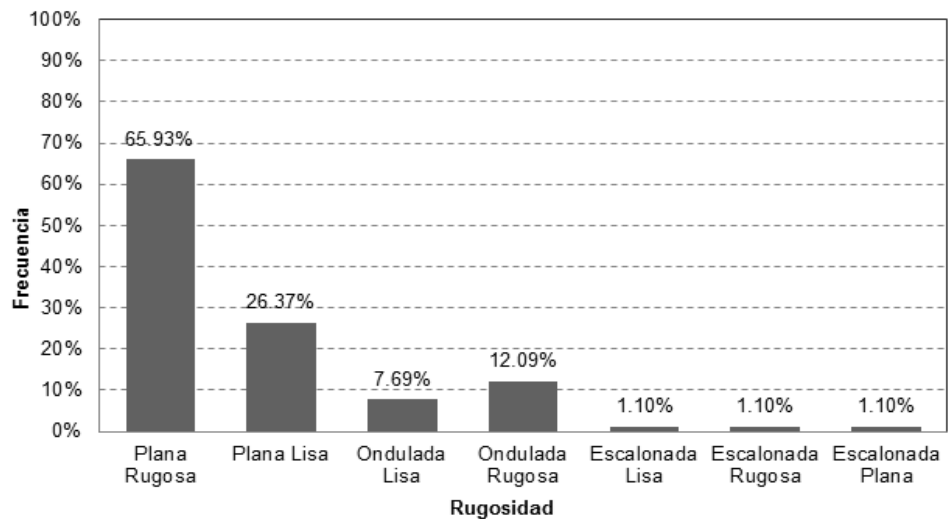


Figura 49. Análisis de la característica de la rugosidad de las discontinuidades

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.

Con respecto al agua, 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.

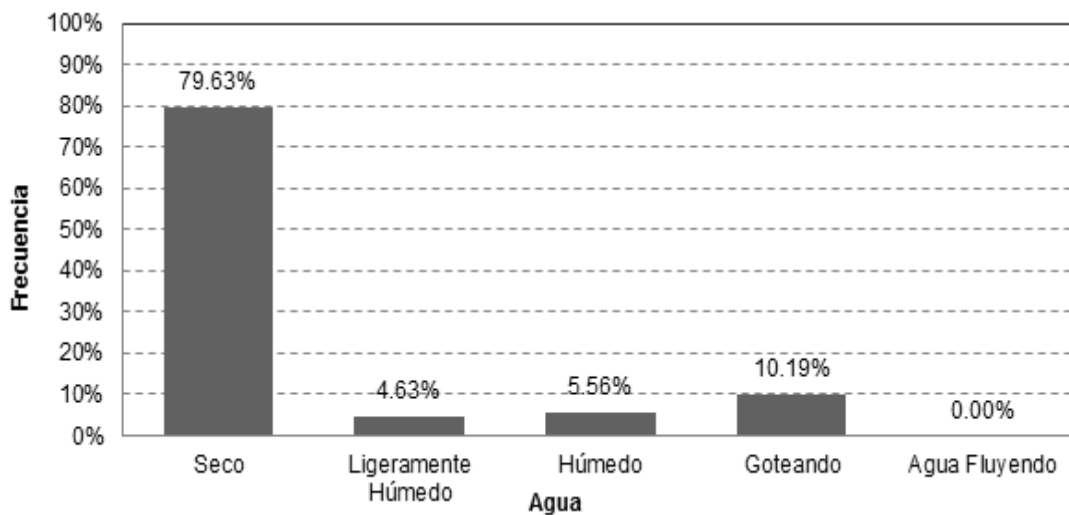


Figura 50. Análisis de la característica de agua en las discontinuidades

6.2.9 Resistencia de las paredes

Es la resistencia a la compresión inconfiada, 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 este caso se resalta que el 92% de las discontinuidades presentan una resistencia de las paredes muy dura, como puede comprobarse en la Figura 64.

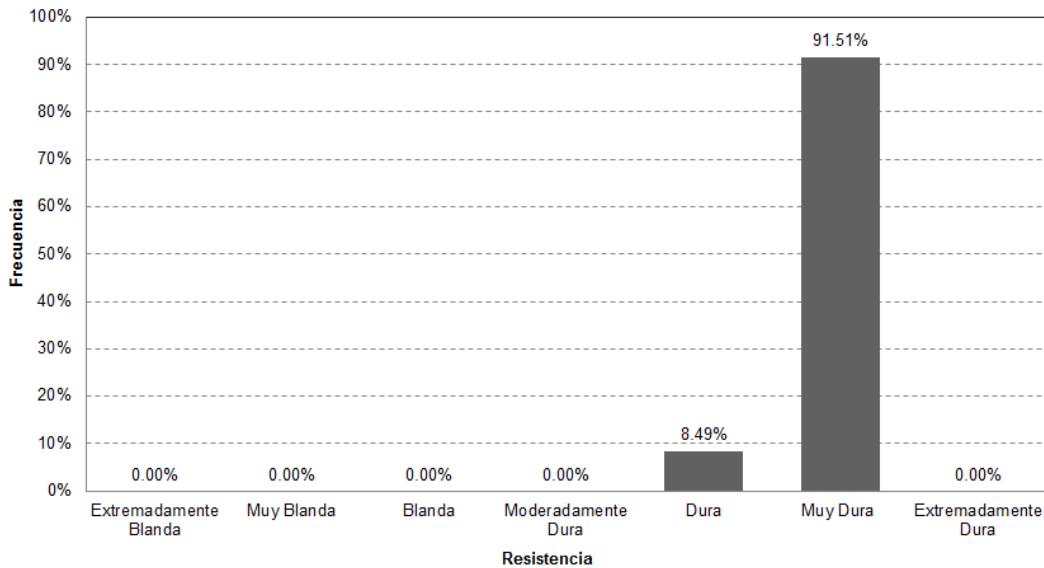


Figura 51. Análisis de la característica de resistencia de las paredes de las discontinuidades

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 cerca de las cuales se tomaron datos estructurales o se observaron escarpes en roca, localizados como se muestra en la Figura 52 y en la Tabla 14.

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. A partir de las características de relleno y alteración de las discontinuidades se definió un ángulo de fricción de 25° considerando que es el límite inferior, según la clasificación de Barton et al. (1974), para un índice de alteración de las discontinuidades (J_a) de 2, es decir, para “planos de discontinuidades ligeramente alterados que presentan minerales no reblandecibles, partículas arenosas, roca desintegrada libre de arcillas, etc.”.

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 la 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.

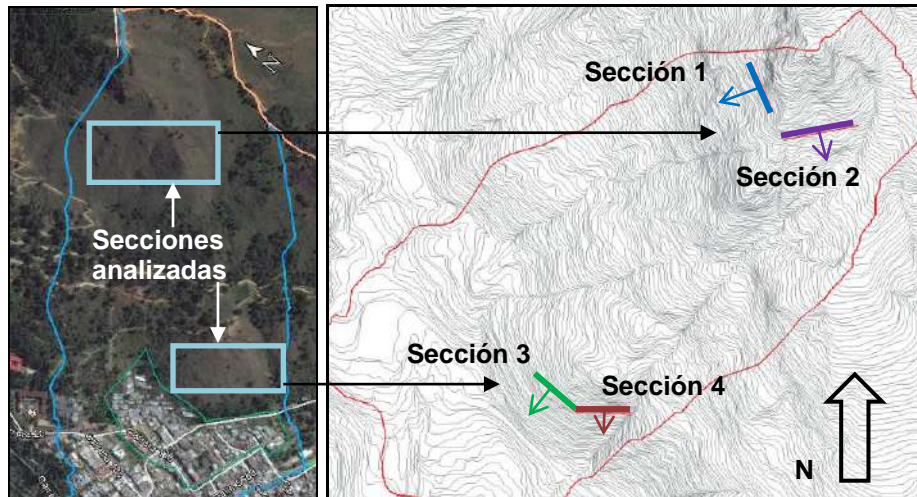


Figura 52. Secciones analizadas en partes alta y baja de la UMI

Tabla 14. Buzamiento y dirección del buzamiento de las secciones analizadas

Sección	Buzamiento	Dirección del Buzamiento
1	52°	246°
2	39°	169°
3	41°	221°
4	42°	181°

Los resultados gráficos de los análisis realizados se muestran de la Figura 53 a la Figura 56, mientras que los resultados numéricos se presentan en la Tabla 15. En las observaciones de la tabla se incluyen las probabilidades de falla para las familias más críticas de cada mecanismo.

Tabla 15. Resumen resultados análisis cinemático

Sección	Falla planar	Falla por cuña	Volcamiento flexural	Volcamiento directo	Volcamiento oblicuo	Volcamiento por base	Observaciones
1	9.91%	7.65%	6.31%	5.14%	3.26%	26.13%	Falla planar familia 1 (26.92%), Falla por volcamiento en base familia 1 (73.08%).
2	7.21%	6.45%	6.31%	3.21%	3.59%	27.93%	Falla planar familia 1 (23.08%), Falla por volcamiento flexural familia 2 (16.67%), Falla por volcamiento por la base familia 1 (84.62%)
3	9.01%	5.63%	9.01%	3.67%	4.14%	27.93%	Falla planar familia 1 (34.62%), Falla por volcamiento flexural familia 2 (83.33%), Falla por volcamiento por la base familia 1 (84.62%)
4	8.11%	8.89%	11.71%	2.95%	4.00%	30.63%	Falla planar familia 1 (26.92%), Falla por volcamiento flexural familia 2 (83.33%), falla por volcamiento en base (88.46%)

De acuerdo con los resultados obtenidos para el análisis cinemático de la UMI Pinares de Oriente (Tabla 15) se puede concluir lo siguiente:

- ✓ El mecanismo de falla predominante para las cuatro secciones de la ladera analizada es el volcamiento (mecanismo por la base), con probabilidades cercanas al 30%. La Sección 4 es la más crítica para este tipo de falla.
- ✓ El otro mecanismo de falla predominante es el de falla planar, con probabilidad entre 7% y 10%, siendo la Sección 1 la más crítica.
- ✓ El volcamiento oblicuo es el mecanismo con menor probabilidad de falla para las Secciones 1 y 2.
- ✓ La Sección 4 tiene la menor probabilidad para la mayoría de los mecanismos de falla.

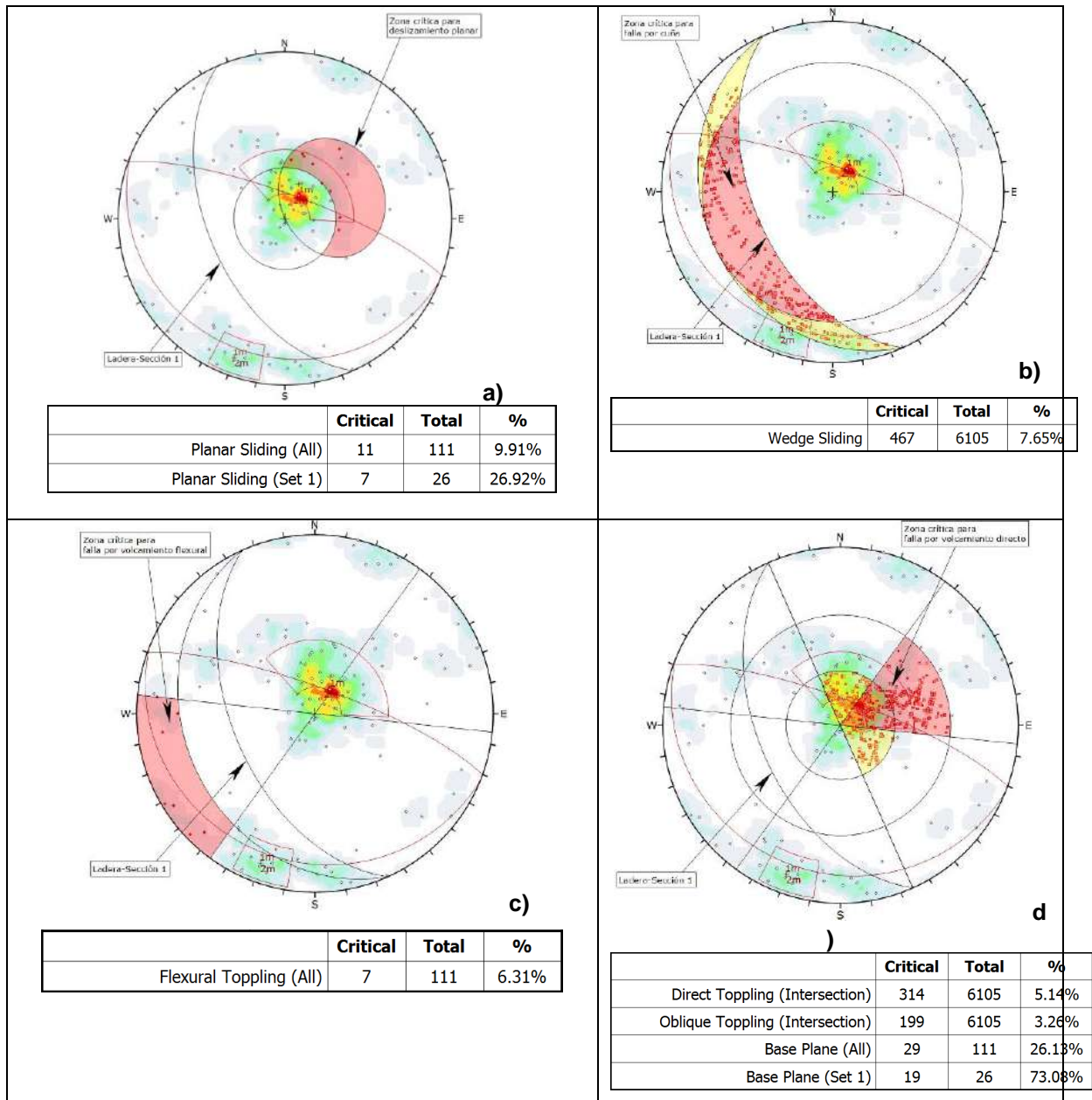


Figura 53. Análisis cinemático Sección 1. a) Deslizamiento planar, b) Falla por cuña, c) Volcamiento flexural, d) Volcamiento directo

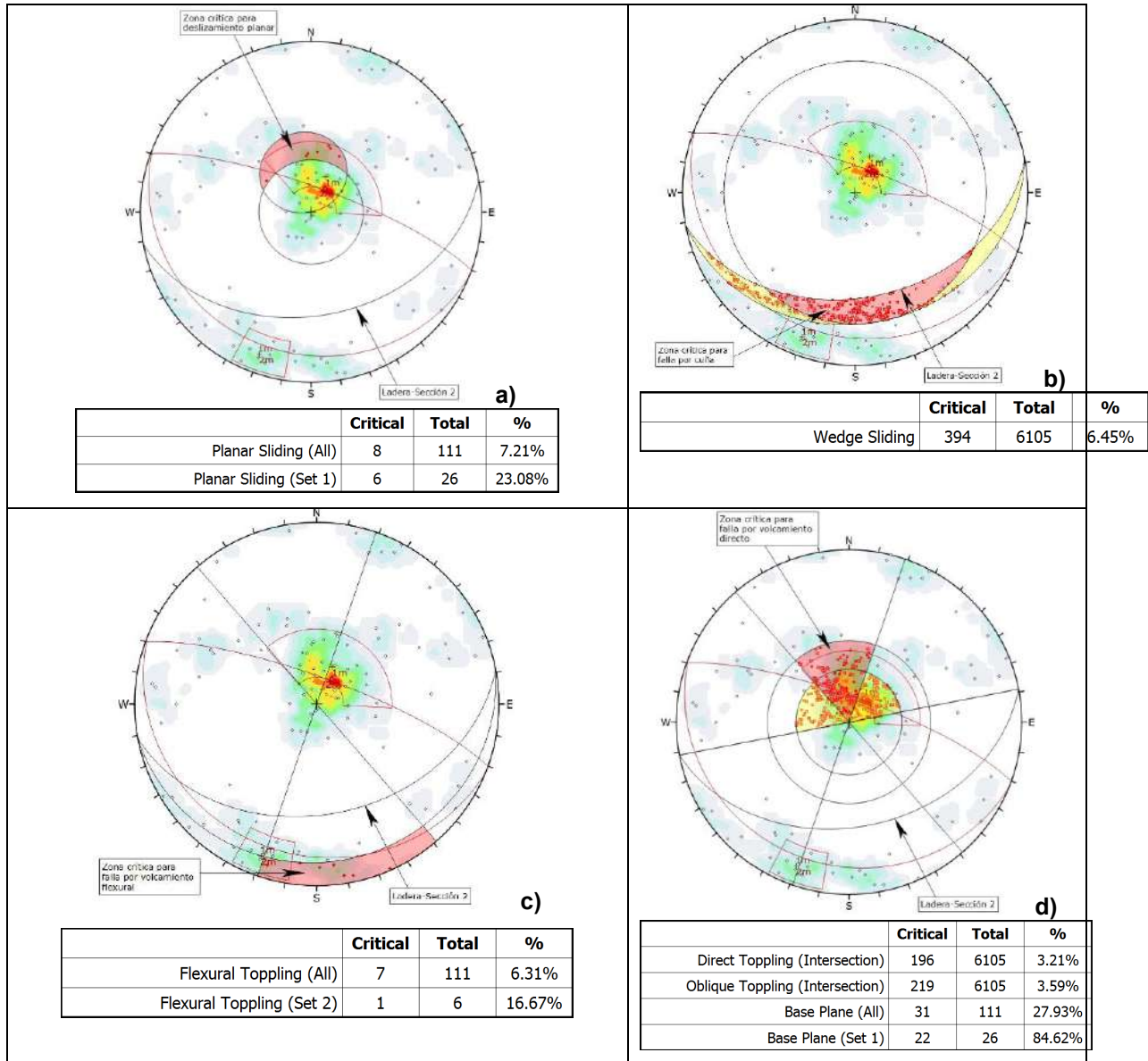


Figura 54. Análisis cinemático Sección 2. a) Deslizamiento planar, b) Falla por cuña, c) Volcamiento flexural, d) Volcamiento directo

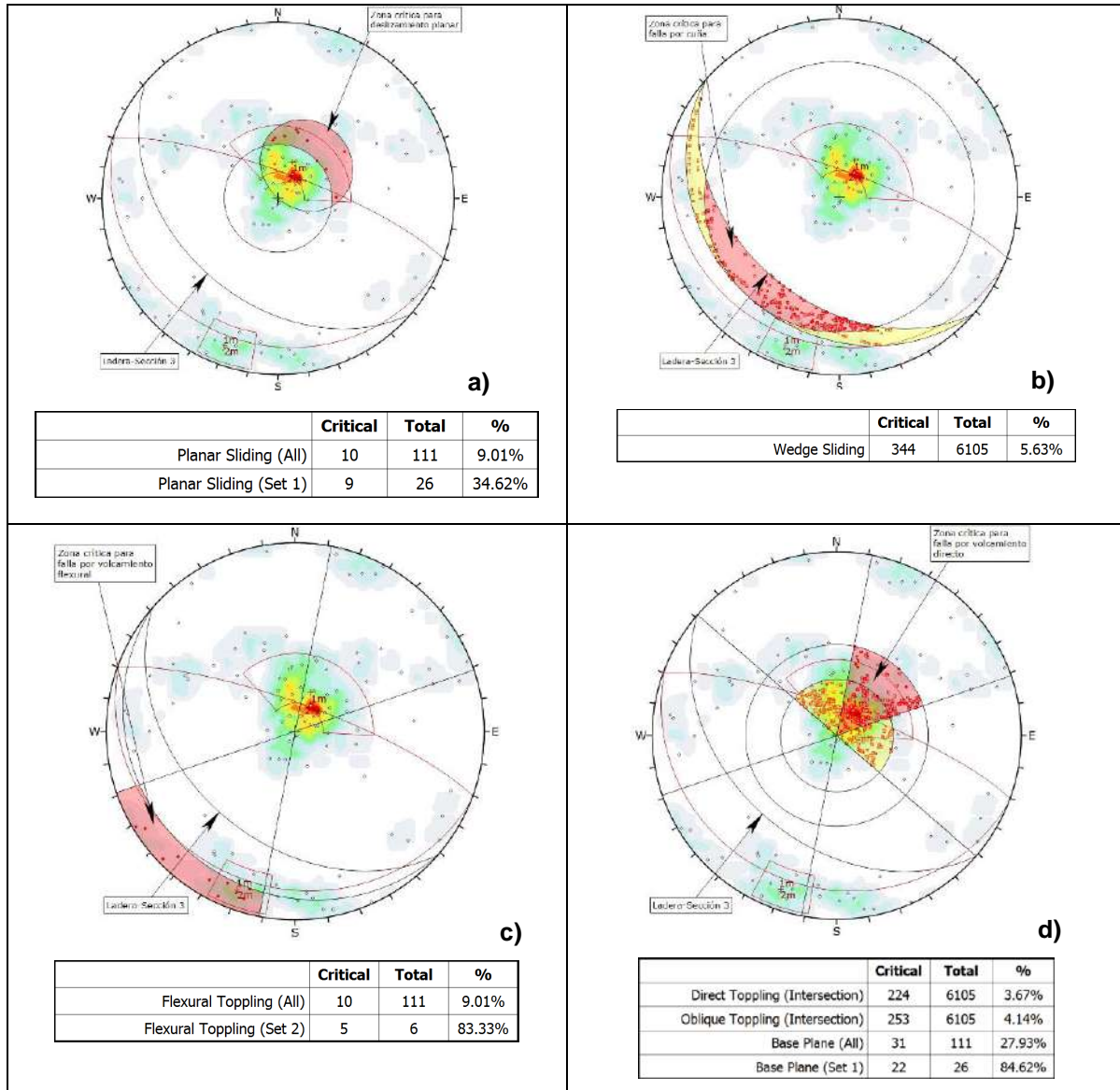


Figura 55. Análisis cinemático Sección 3. a) Deslizamiento planar, b) Falla por cuña, c) Volcamiento flexural, d) Volcamiento directo

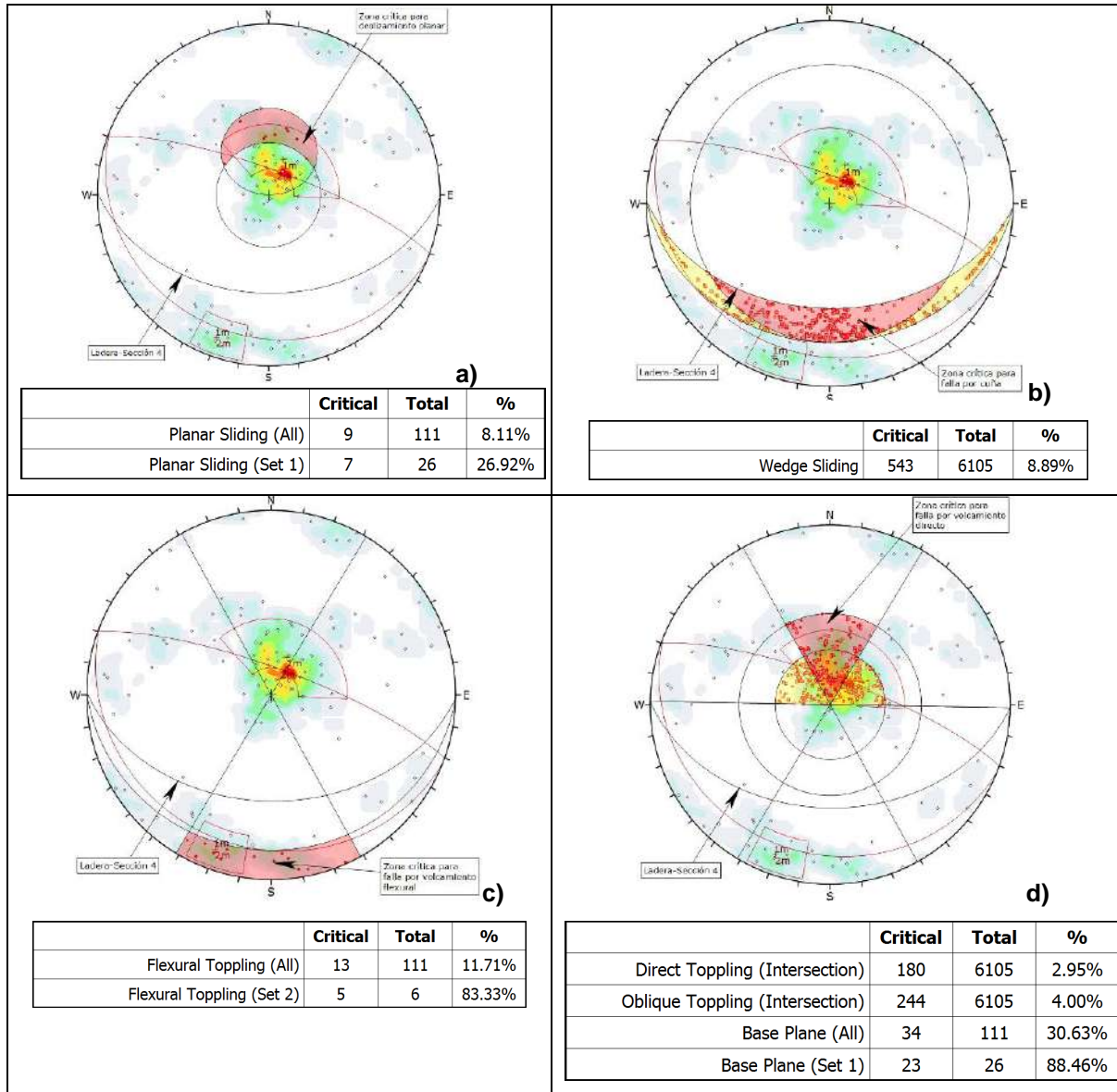


Figura 56. Análisis cinemático Sección 4. a) Deslizamiento planar, b) Falla por cuña, c) Volcamiento flexural. d) Volcamiento directo

7. EVALUACIÓN DE LA APTITUD GEOLÓGICA

7.1 ASPECTOS GENERALES

Basados en el que se ha venido denominado en este informe como Código de Laderas del AMVA (2012), una vez realizados los estudios geológicos y geomorfológicos para la UMI de estudio, se procedió con la realización del mapa de zonificación de la aptitud geológica de la UMI Pinares de Oriente.

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 57.

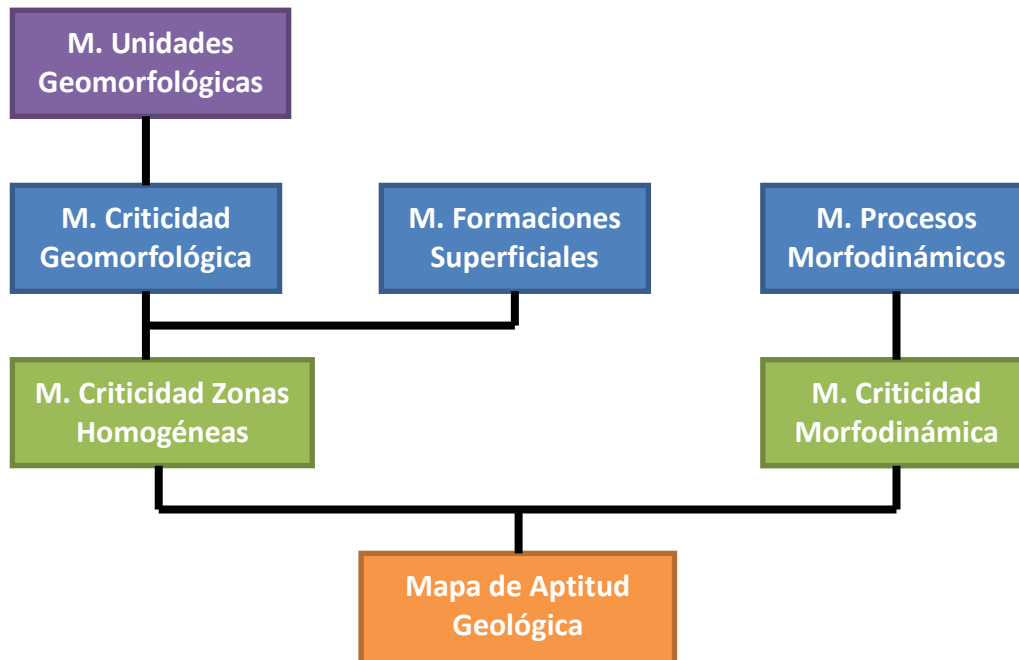


Figura 57. Metodología utilizada para elaboración de Mapa de Aptitud Geológica

Como se observa en la Figura 57, 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 16). 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 16. Matriz de valoración de niveles de criticidad de las Unidades Geomorfológicas

Unidad Geomorfológica	Nivel de Criticidad
Peldaño Tectónico	2
Peldaño Bajo	1
Escarpe	3
Escarpe Largo Semicircular	3
Lomo Alargado con Vertientes Fuertes	2
Lomo Amplio con Vertientes Moderadas	2
Picacho	3
Superficie Antrópica	1
Superficies Suaves sobre Depósitos Moderadamente Incisados	1
Superficies Suaves sobre Depósitos Poco Incisados	1
Superficies con Baja Incisión	1
Vertiente Suave	2
Vertiente Escarpada	3

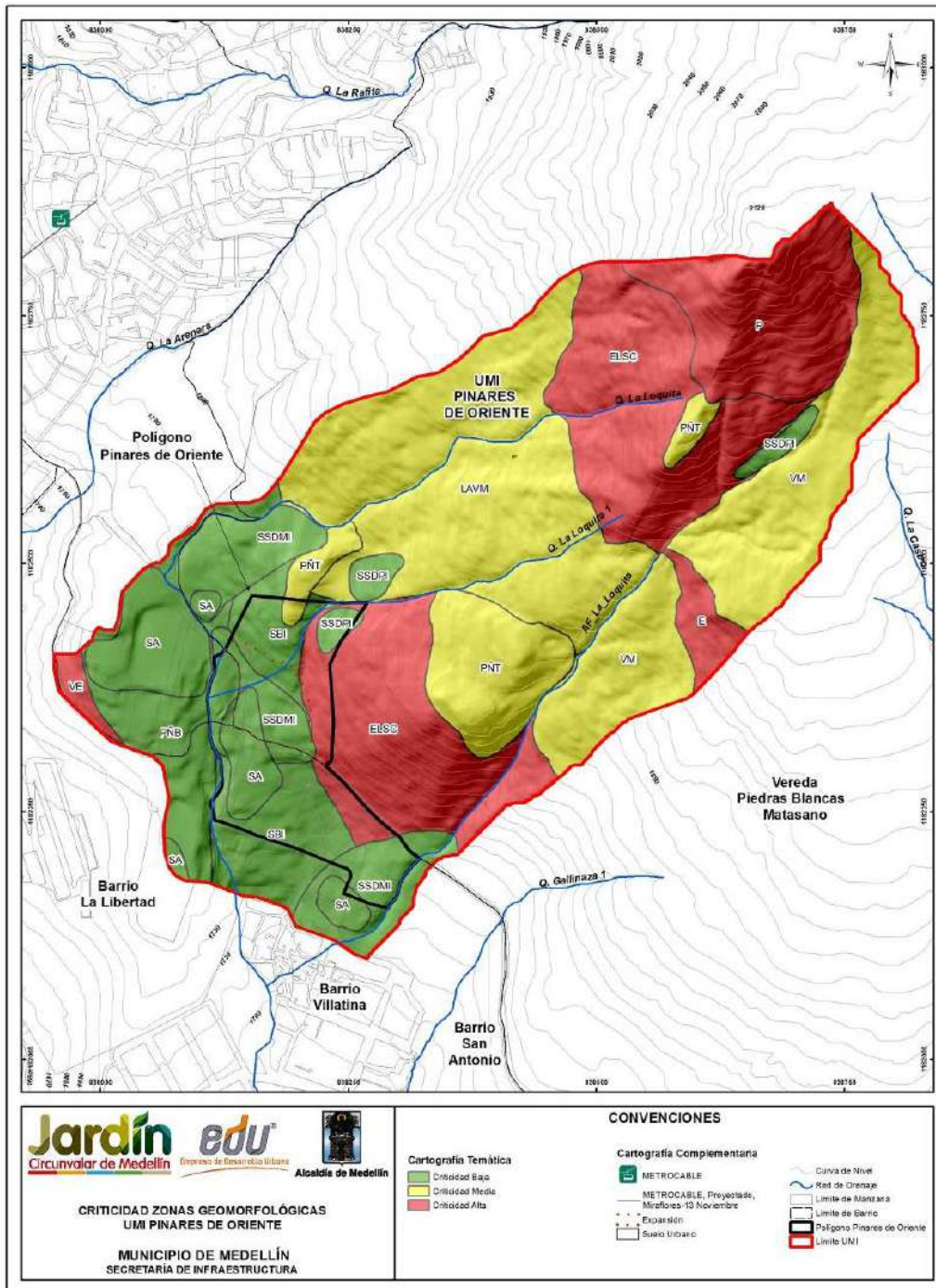
En el Mapa 15 se muestra el análisis de la criticidad geomorfológica finalmente obtenido para la UMI Pinares de Oriente.

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 17.

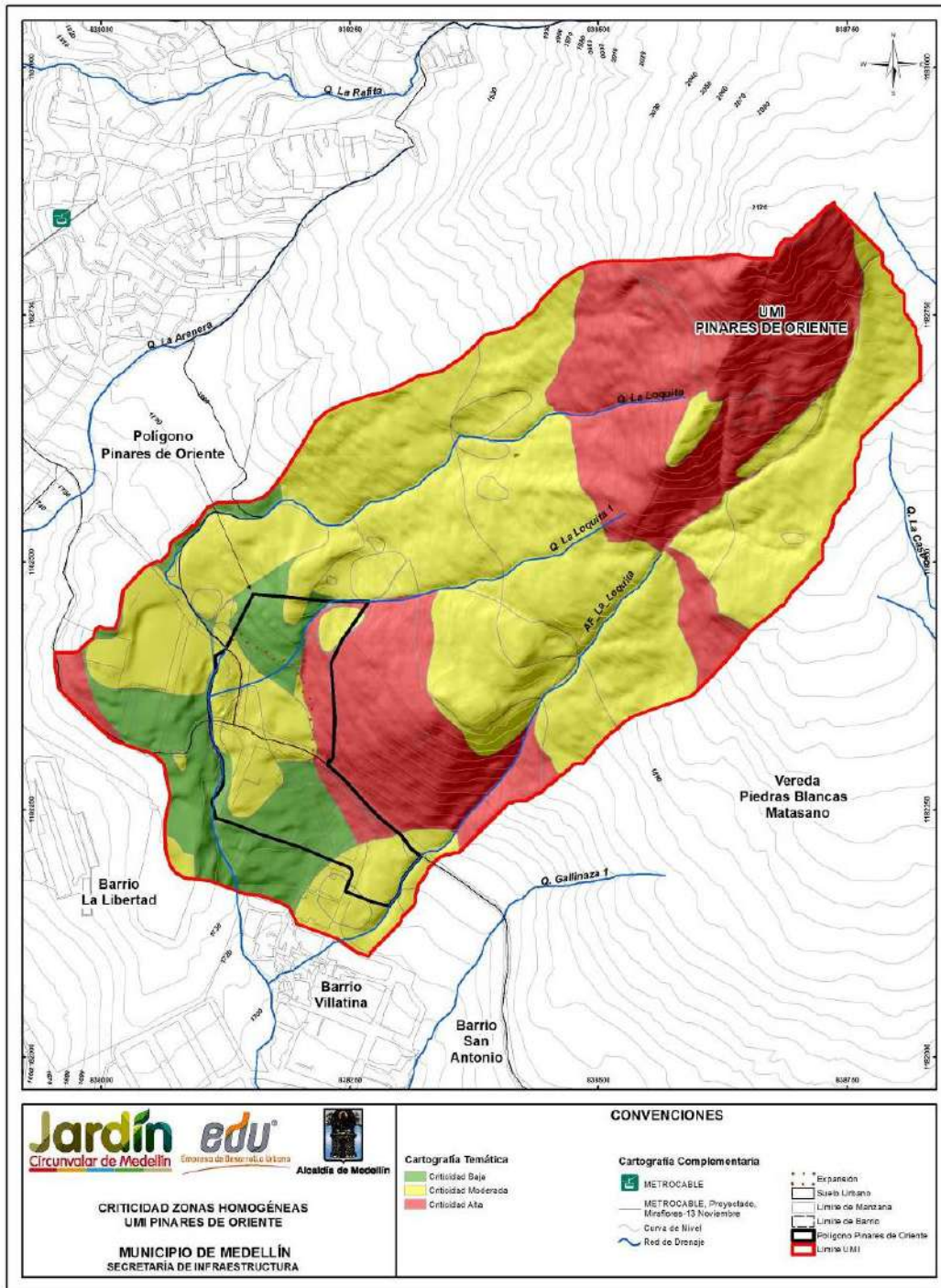
Finalmente, se genera el mapa de criticidad de las zonas homogéneas asignando un color para cada nivel de criticidad. El color verde se asigna para el Nivel 1 (Bajo), el color amarillo se asigna para el Nivel 2 (Moderado) y el color rojo se asigna para el Nivel 3 (Alto). Se obtuvo entonces el mapa de criticidad de zonas homogéneas que se muestra en el Mapa 16.

Tabla 17. Matriz de valoración de niveles de criticidad de las Zonas Homogéneas

Criticidad Unidad Geomorfológica	Formación Superficial	Criticidad Zona Homogénea
1	Lleno Antrópico	2
	Depósitos de vertientes (deslizamiento, coluvial, flujo de lodos y/o escombros)	2
	Horizonte IB y IC de Dunitas	1
	Horizonte IIA de Dunitas	2
2	Lleno Antrópico	3
	Depósitos de vertiente (deslizamiento, coluvial, flujo de lodos y/o escombros)	2
	Horizonte IB y IC de Dunitas	2
	Horizonte IIA de Dunitas	2
3	Lleno Antrópico	3
	Depósitos de vertientes (deslizamiento, coluvial, flujo de lodos y/o escombros)	3
	Horizonte IB y IC de Dunitas	3
	Horizonte IIA de Dunitas	3



Mapa 15. Criticidad geomorfológica UMI Pinares de Oriente
 (PDOCriticidadZonasGeomorfológicas_Medellin_C)



Mapa 16. Criticidad de zonas homogéneas UMI Pinares de Oriente (PDOcriticidadZonasHomogéneas_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

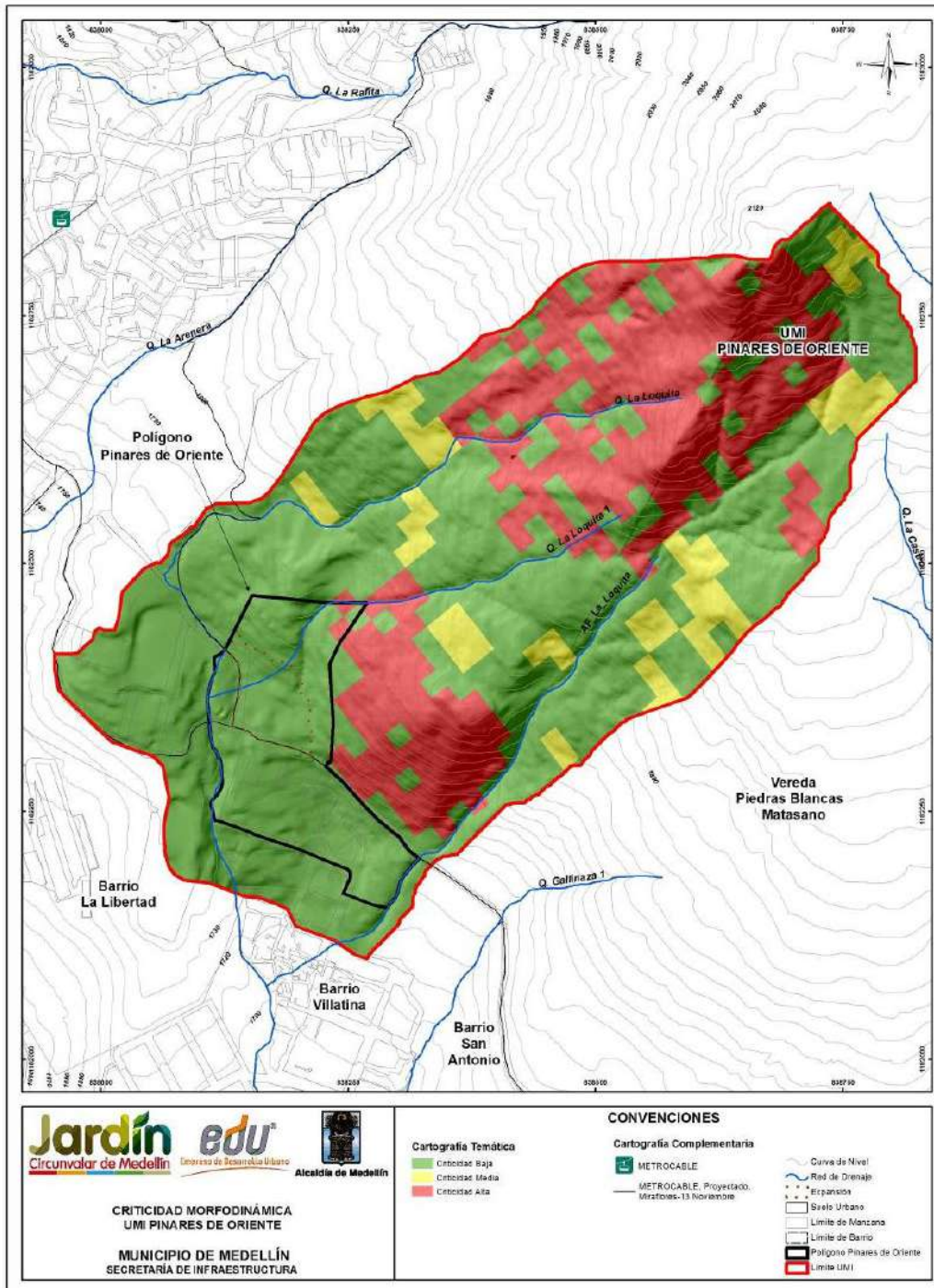
- ✓ Densidad baja cuando se tiene menos que un proceso morfodinámico dentro de la UCT.
- ✓ Densidad moderada cuando se tiene un proceso morfodinámico dentro de la UCT.
- ✓ Densidad alta cuando se tiene más de un proceso morfodinámico dentro de la UCT.

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 siguientes criterios de decisión:

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 17 se presenta el análisis de la criticidad morfodinámica de la UMI Pinares de Oriente 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 17. Criticidad morfodinámica UMI Pinares de Oriente (PDOcriticidadMorfodinámica_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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</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 también se considerarán como no aptas.

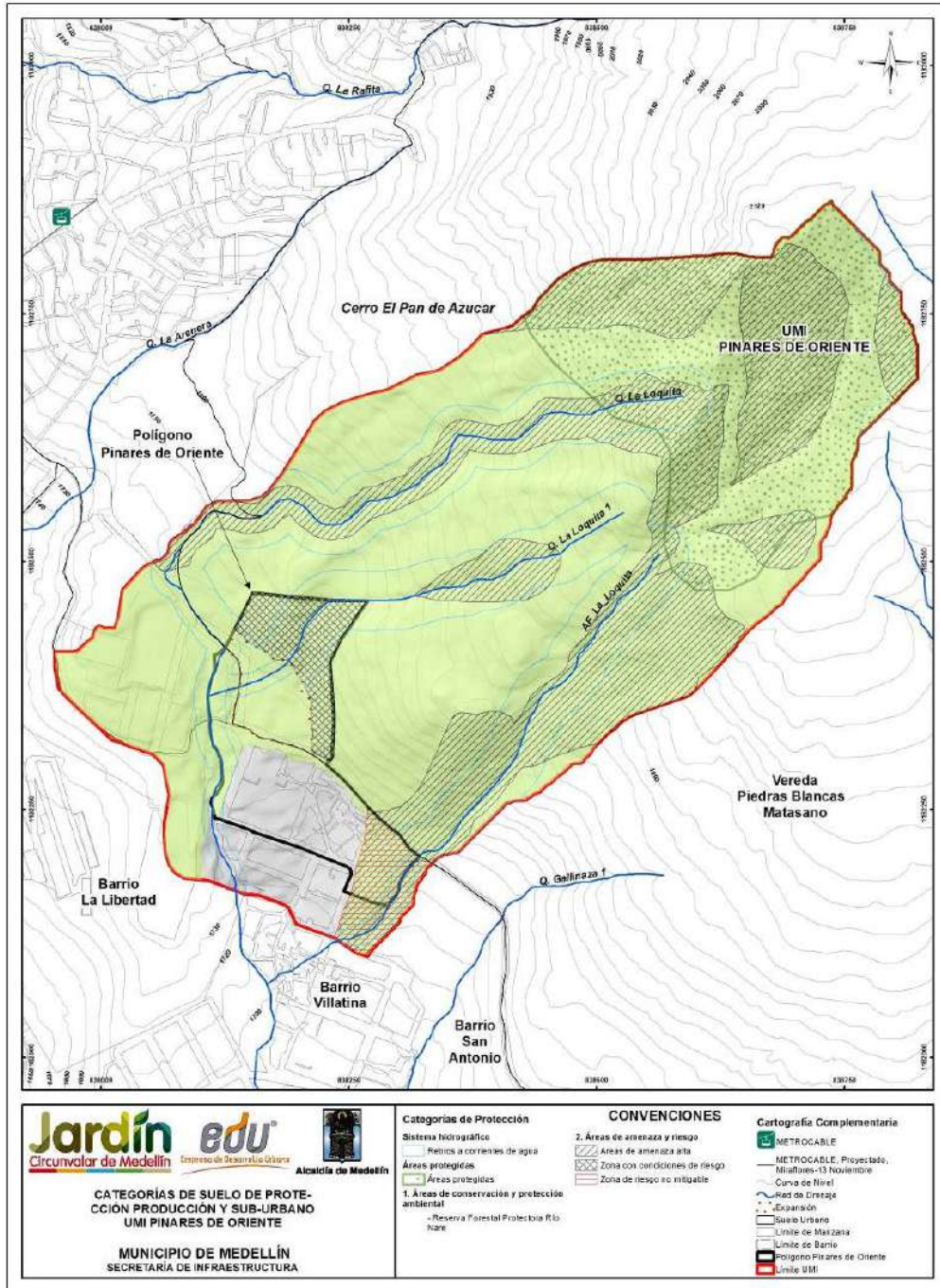
En el Mapa 20 se presenta la aptitud geológica de la UMI Pinares de Oriente obtenido a con la metodología descrita anteriormente.

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	--	---

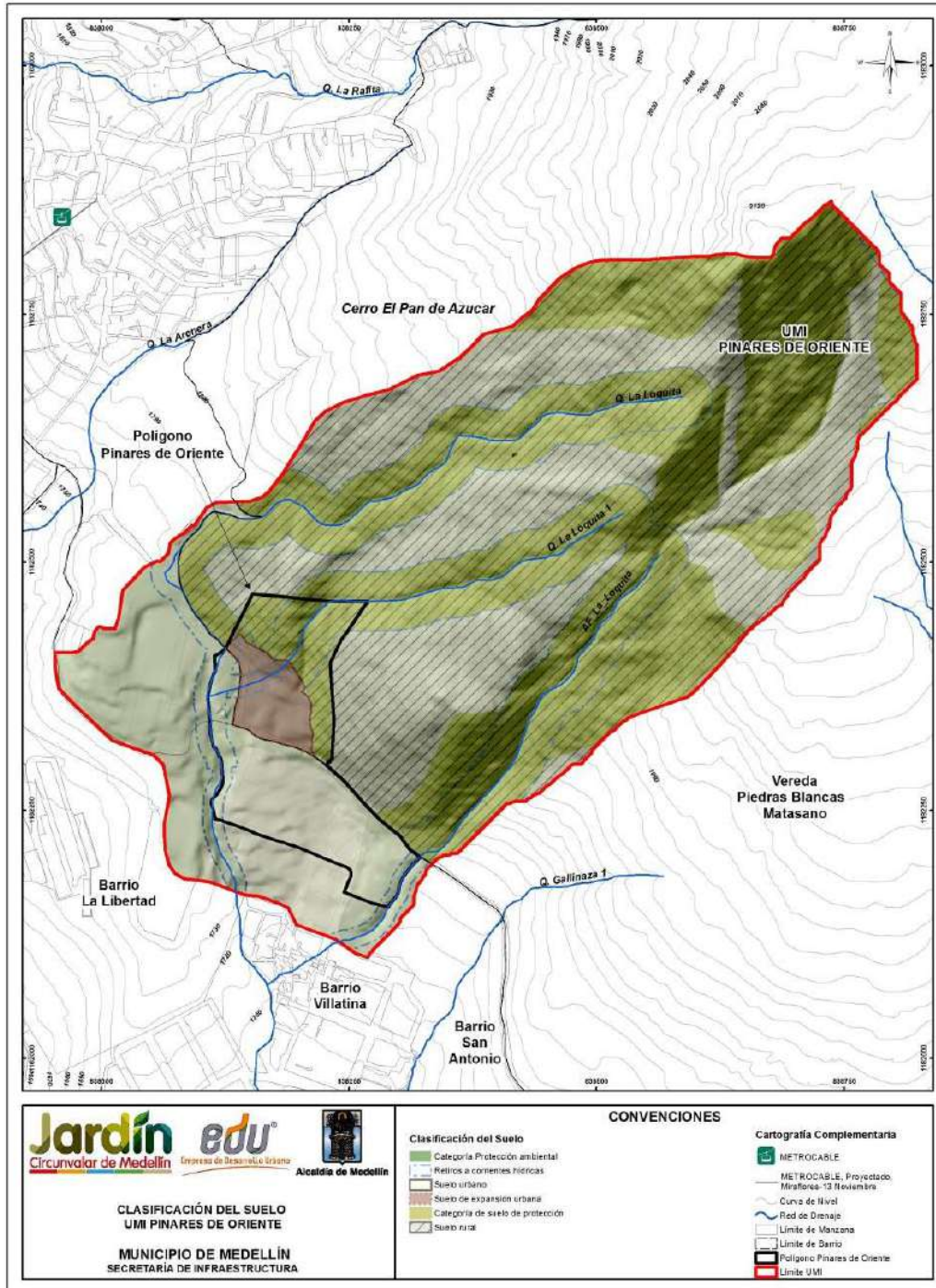
Este mapa está refinado con base en lo observado en campo y teniendo en cuenta las áreas que por norma tengan restricción, como lo son las áreas protegidas y los retiros a corrientes de agua, según las especificaciones del POT (2014) del municipio de Medellín, como se muestran en el Mapa 18 y el Mapa 19 en este informe. 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.

De acuerdo con el mapa finalmente obtenido, se tienen entonces las siguientes observaciones:

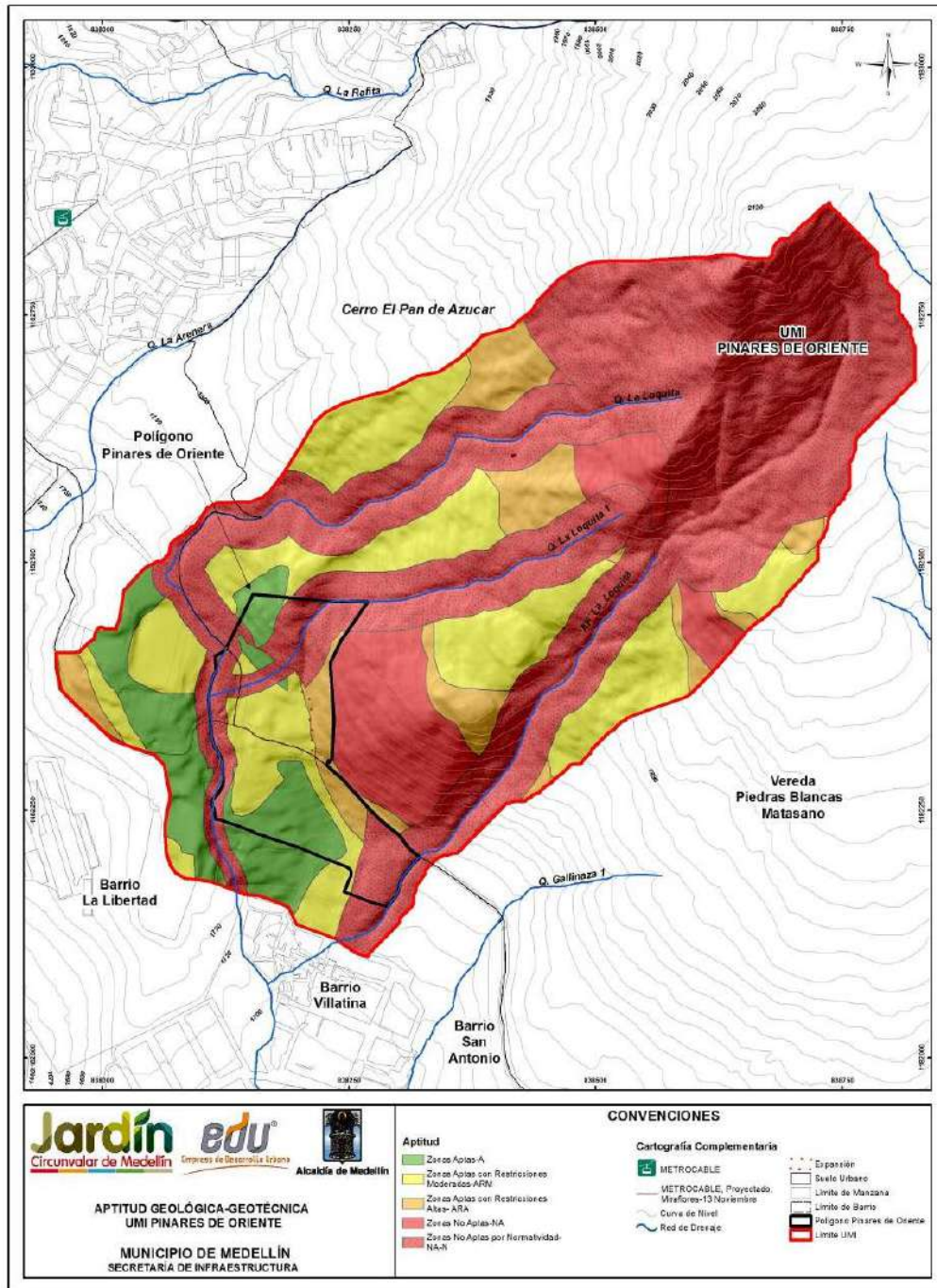
- ✓ Las Zonas Aptas se encuentran hacia el sector sur occidental de la UMI Pinares de Oriente y corresponden a gran proporción del polígono. Hacia el sector suroriental también se halla otra pequeña zona.
- ✓ Las Zonas Aptas con Restricciones Moderadas son las que más predominan en la UMI Pinares de Oriente y corresponden a la mayor parte de ocupación del Polígono Pinares de Oriente.
- ✓ Las Zonas Aptas con Restricciones Altas se encuentran distribuidas en gran parte del área de interés y ocupan el oriente del polígono en estudio.
- ✓ Las Zonas No Aptas se concentran en la parte media y alta de la UMI. Dentro de estas zonas se consideraron también, los retiros de algunas que no presentaban retiros en el POT (2014).
- ✓ Las Zonas No Aptas por Normatividad se encuentran en la parte alta de la UMI, nororiente del sitio en estudio, en los alrededores de las Quebradas La Loquita y La Loquita 1 y en el extremo sureste de la UMI. Estas zonas corresponden a la Reserva Forestal Protectora Río Nare, retiros de Quebradas La Loquita y La Loquita 1, y las zonas de riesgo no mitigable definidas por el POT del Municipio de Medellín según el Acuerdo 48 de 2014. Estas últimas, se asocian a la zona del desastre de Villatina, ya que según El numeral 5 del Artículo 60 del POT, se consideran suelos de protección y que tienen restringida la posibilidad de urbanizarse, las zonas que han sido objeto de declaratoria de calamidad pública o desastre.





Mapa 18. Categorías de suelo de protección, producción y suburbano (POT, 2014) (15_PDOCategoríasSueloProteccionProduccionySuburbano_Medellin_C y 15_PDOCategoríasSueloProteccionProduccionySuburbano_Medellin_T)



Mapa 19. Clasificación del suelo (POT, 2014)
(14_PDOClasificaciondelSuelo_Medellin_C y 14_PDOClasificaciondelSuelo_Medellin_T)



Mapa 20. Aptitud Geológica UMI Pinares de Oriente
(18_PDOAptitudGeológicaGeotécnica_Medellin_C y
18_PDOAptitudGeológicaGeotécnica_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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

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 58 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 Plan alto 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 Plan alto 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 Plan alto 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 Plan alto 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 58. Localización esquemática 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 59 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:

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

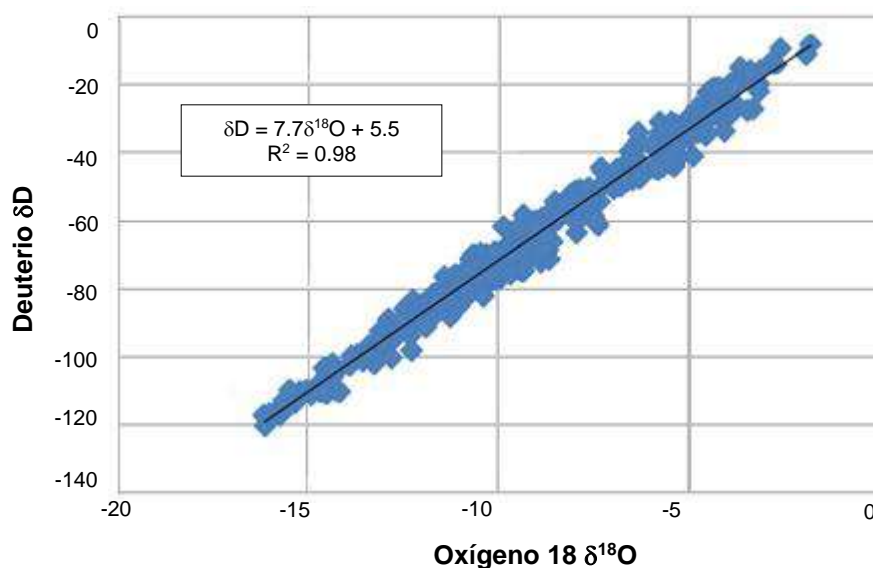


Figura 59. Recta Meteórica para Colombia

Existen otras versiones (Rodríguez, 1990) de la ecuación de la Recta Meteórica para Colombia, aunque se prefiere la presentada en la Figura 59 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 60). Las muestras de agua de manantiales fueron colectadas durante un lapso seco al finalizar el mes de junio de 2015.

Específicamente en la Tabla 18 y en la Tabla 19 se presenta la información obtenida por medio de las muestras ensayadas en este proyecto. El gráfico de la Figura 61 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 59 vs. Figura 61). 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 60. Pluviómetros instalados alrededor de la zona de estudio

Tabla 18. 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°	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



 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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE	 edu [®] Empresa de Desarrollo Urbano
--	---	--

Tabla 18. 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-08	03/07/15	835283.30	1178828.00	1550	-87.5	-11.98	Medellín Castropol

Tabla 19. 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	Observaciones
EDU-09	03/07/15	838772.26	1182739.33	1950	-78.7	-10.96	Plan Pan de Azúcar
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	

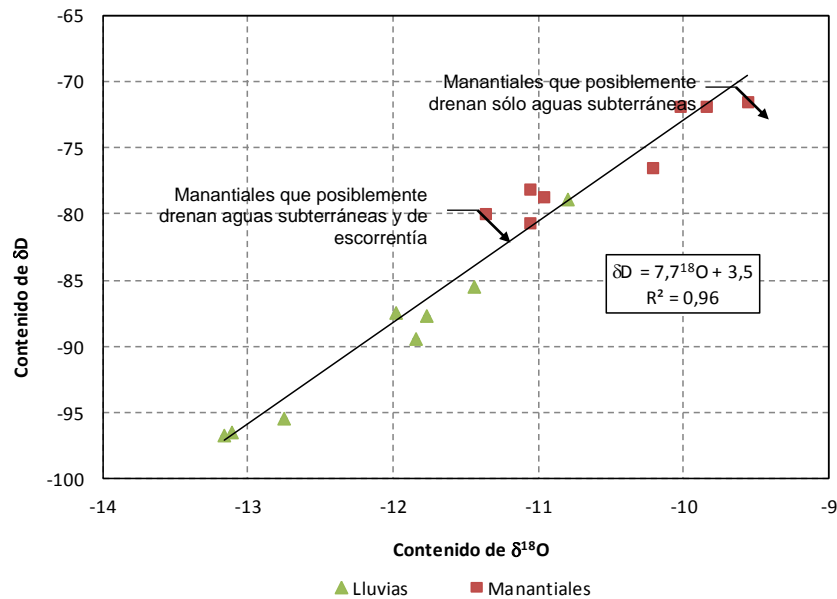


Figura 61. Relación Deuterio : Oxígeno 18 en muestras de la Comuna Nororiental

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.

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 62 y la Figura 63 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 19 y complementados con los de la Tabla 20. A partir de la información de dichas tablas fueron elaboradas la Figura 64 y la Figura 65.

Tabla 20. 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.

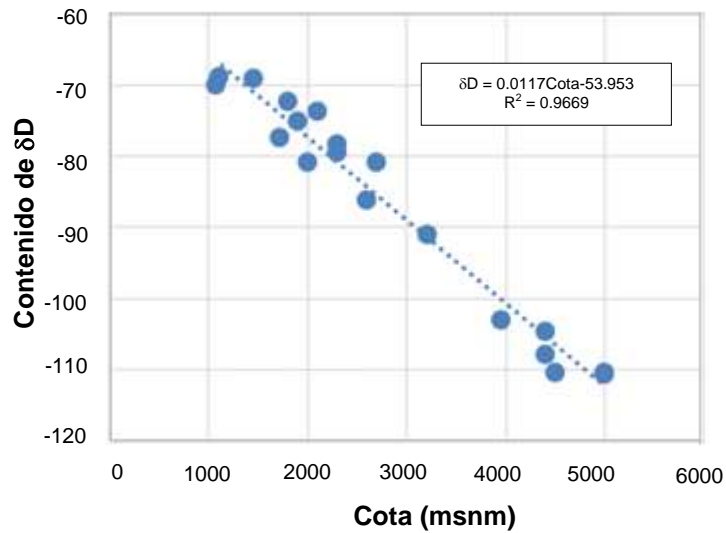


Figura 62. Variación del contenido de Deuterio en el agua lluvia con la altura de precipitación en Colombia

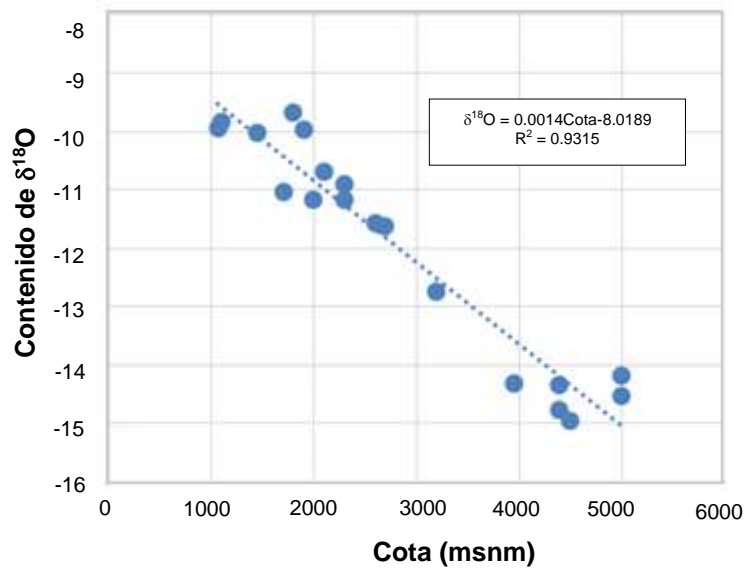


Figura 63. Variación del contenido de Oxígeno 18 en el agua lluvia con la altura de precipitación en Colombia

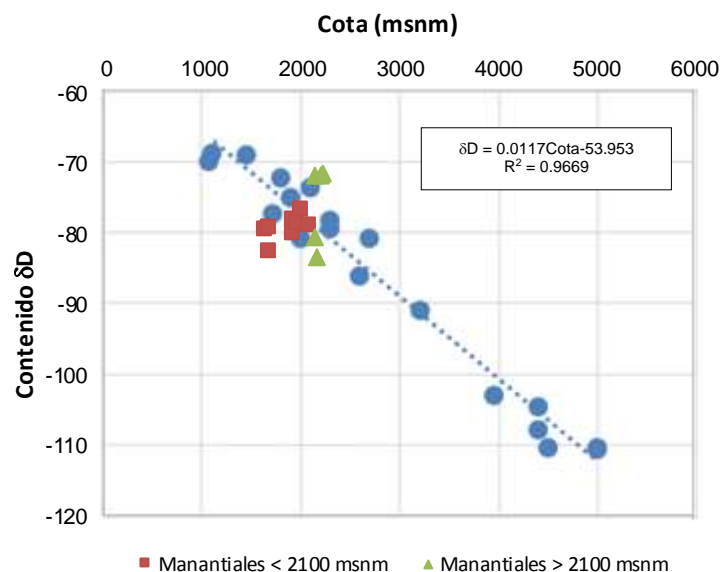


Figura 64. Variación del contenido de Deuterio con la altura de precipitación en Colombia combinada con contenido de Deuterio en manantiales en la Comuna Nororiental

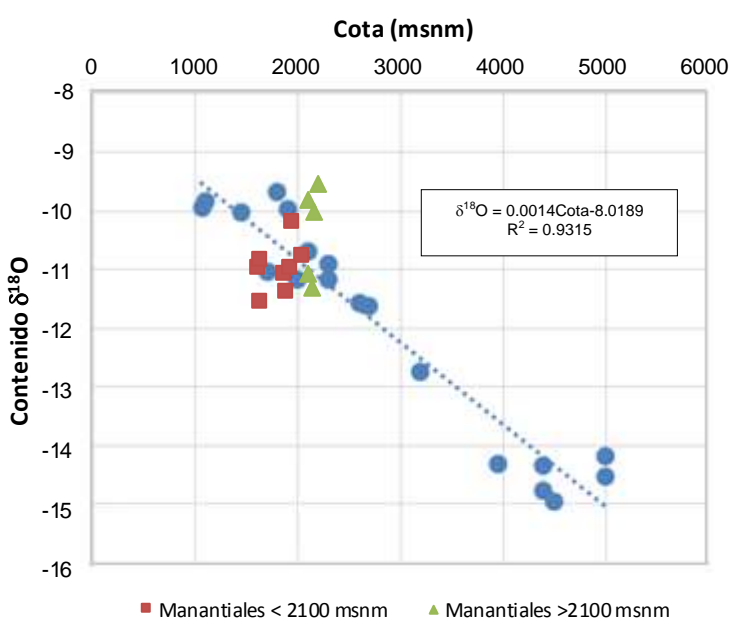


Figura 65. Variación del contenido de Oxígeno 18 con la altura de precipitación en Colombia combinada con contenido de Deuterio en manantiales en la Comuna Nororiental

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 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 21 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 21. 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	Via 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

Tabla 21. 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-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 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 66 se presenta un gráfico preparado con los datos presentados en la Tabla 21 junto con los de este proyecto presentados en la Tabla 19. 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.

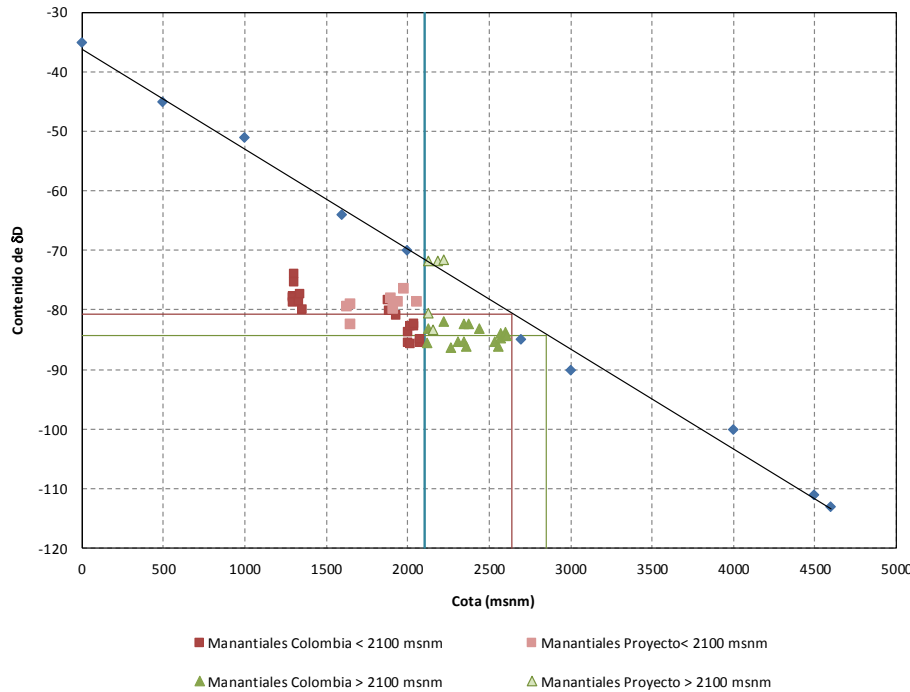




Figura 66. Variación del contenido de Deuterio en agua subterránea con la altura de precipitación en Colombia combinada con contenido de Deuterio en manantiales en el Valle de Aburrá (Hoyos, 2012)

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 66 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

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	--	---

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

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

en cuenta que estas muestras fueron colectadas sin tener en cuenta las condiciones de lluvia antecedente.

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 67. 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.

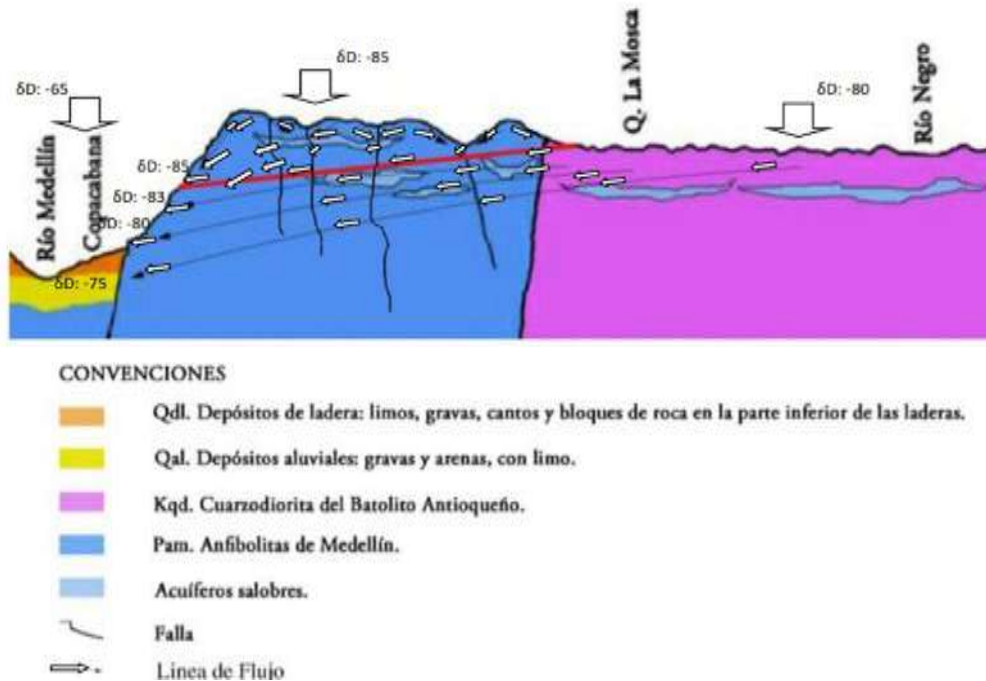




Figura 67. Modelo conceptual de la recarga, flujo local y regional y descarga del agua subterránea en el sistema hidrogeológico Planalto de Santa Elena, Valle de San Nicolás, Valle de Aburrá

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 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

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

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.

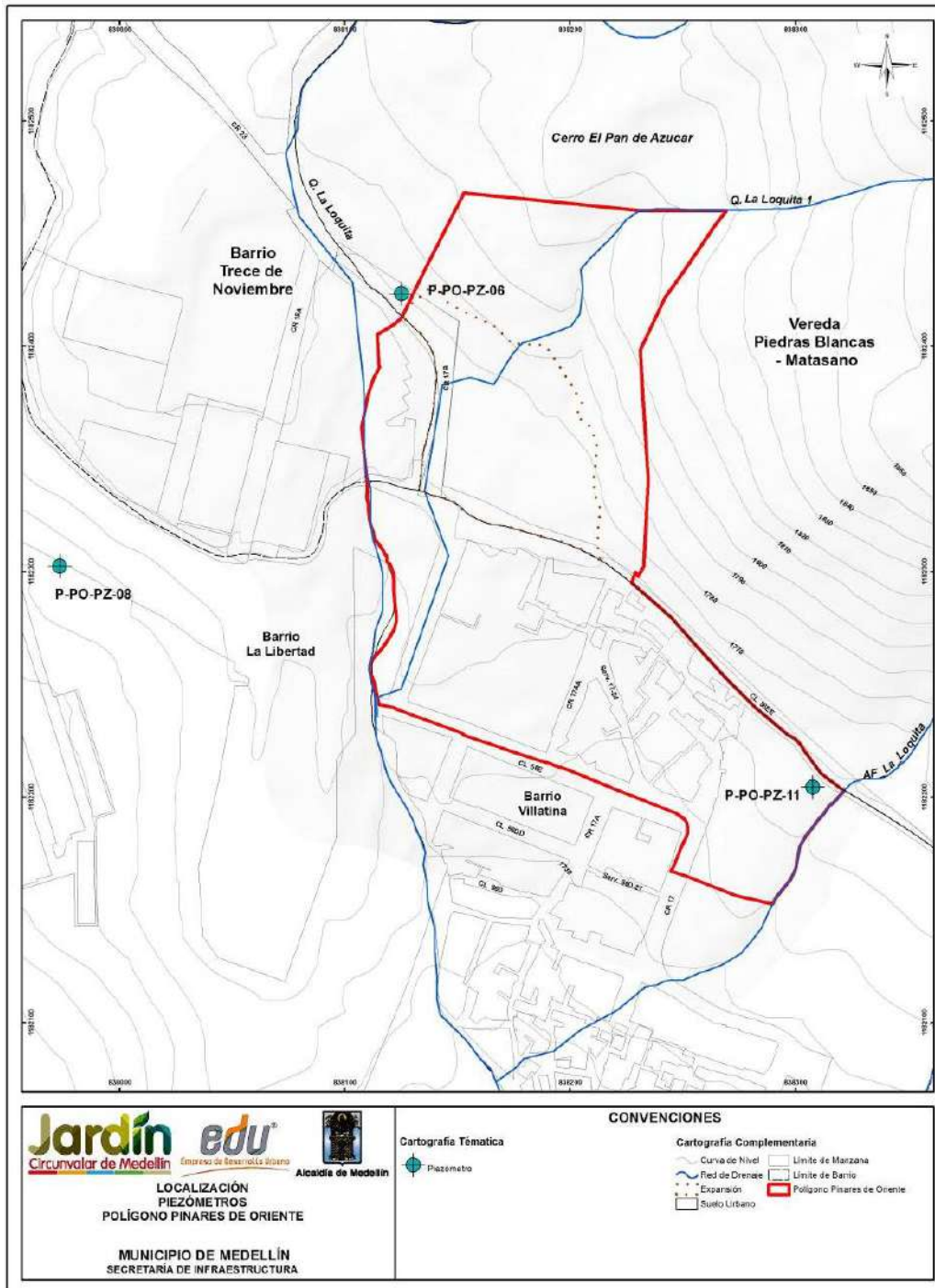
8.5.4 Zonas de descarga

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 Pinares de Oriente, se hicieron recorridos de campo detallados con el fin específico de levantar los manantiales existentes. Fue posible levantar tres, uno cerca de la cota 1920 msnm, otro cerca de la cota 1970 msnm y uno más alto en la cota 2040 msnm. De esta forma, es posible determinar que en la zona se tienen estos tres manantiales, en los cuales se aflora desde el punto de vista geológico los Horizontes IC y IIA de las Dunitas de Medellín.

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-PO-PR-06, P-PO-PR-08 y P-PO-PR-11 realizadas en el Polígono Pinares de Oriente (Mapa 21).



Mapa 21. Localización en planta de los piezómetros de hilo vibrátil (PDOInstrumentacion_Medellin_C)

Se escogieron las Perforaciones P-PO-PR-06 y P-PO-PR-11 dado que se encuentran cerca de la zona de cambio de pendiente entre la zona alta y parte baja de la UMI. La Perforación P-PO-PR-08 se eligió para observar un punto más bajo de la UMI donde se pudiese tener alguna continuidad en el nivel freático. Los piezómetros instalados son del tipo múltiple y fueron denominados como Piezómetros P-PO-PZ-06A a P-PO-PZ-06D los de la Perforación P-PO-PZ-06, P-PO-PZ-08B y P-PO-PZ-08D los de la Perforación P-PO-PZ-08 y P-PO-PZ-11B y P-PO-PZ-11D los de la Perforación P-PO-PZ-11 (Figura 68).

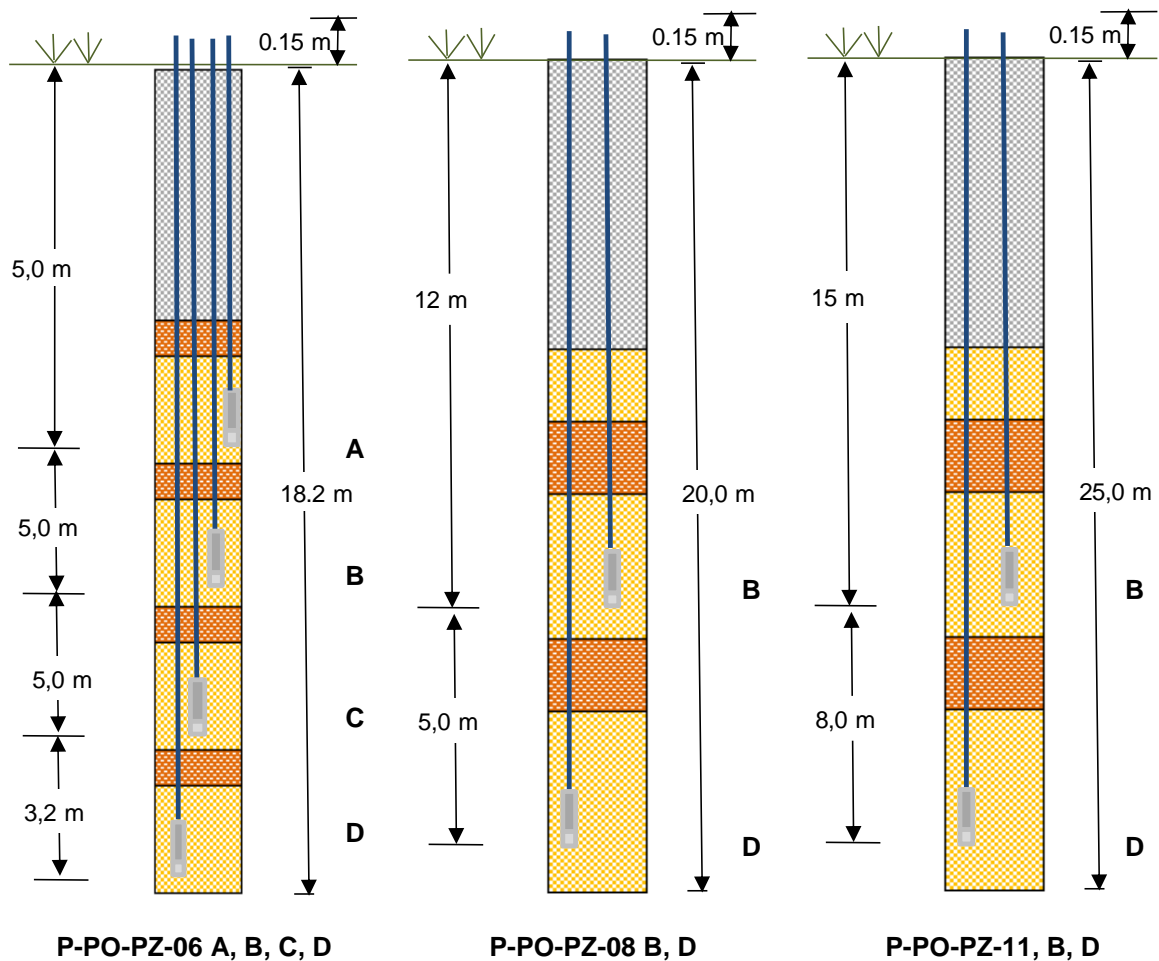


Figura 68. Esquema de localización en profundidad de los piezómetros de hilo vibrátil

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. De la Figura 69 a la Figura 71 presentan las gráficas de variación de dichas cotas piezométricas con el tiempo para cada uno de estos piezómetros, agrupados de acuerdo con la perforación dentro de la cual fueron instalados. 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 Pinares de Oriente.

8.6.1 Piezómetros P-PO-PZ-06A a P-PO-PZ-06D

En la Figura 69 se presentan los registros obtenidos con los Piezómetros P-PO-PZ-06A a P-PO-PZ-06D, mostrándose además la estratigrafía correspondiente a la perforación dentro de la cual fueron instalados estos equipos.

Se puede observar que los Piezómetros P-PO-PZ-06A a P-PO-PZ-06D se instalaron todos dentro del Horizonte IC.

Con respecto al sondeo en que fueron instalados estos equipos, la Perforación P-PO-PZ-06, vale la pena destacar el hecho de que el nivel freático presentó mucha variación durante la ejecución del sondeo, habiéndose registrado niveles seco el 20/03/2015, y nuevamente seco en el momento de la instalación de los equipos.

Con base en los registros obtenidos hasta el momento, se puede establecer que no se tiene un nivel freático. Los cuatro 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.

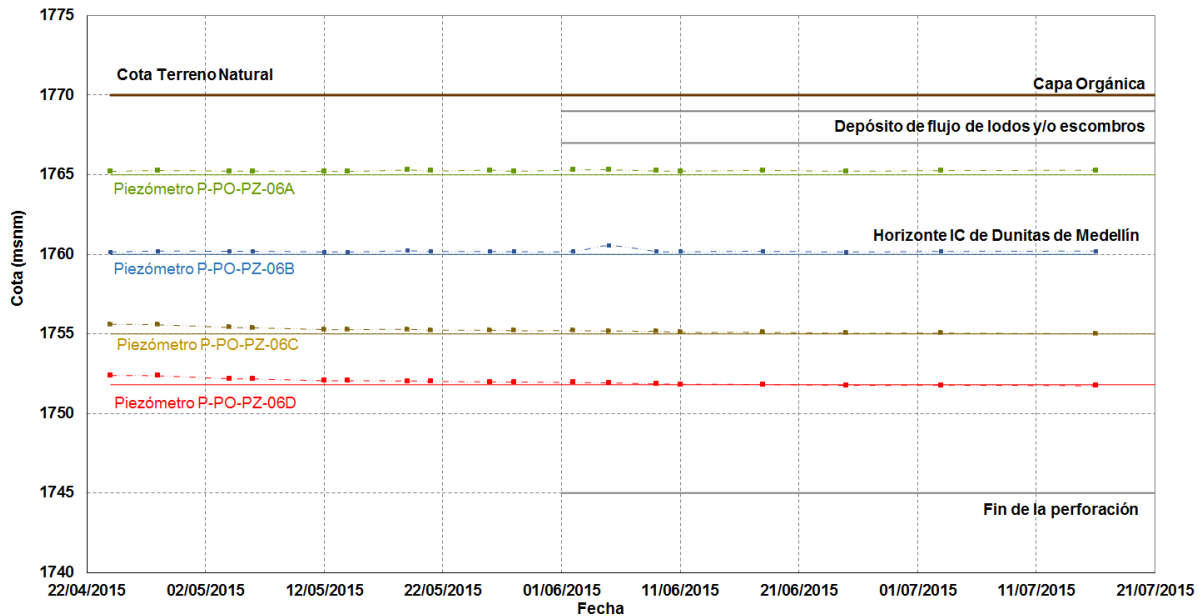


Figura 69. Cotaciones piezométricas en Piezómetros P-PO-PZ-06A a P-PO-PZ-06D

8.6.2 Piezómetros P-PO-PZ-08B y P-PO-PZ-08D

En la Figura 70 se presentan los registros obtenidos con los Piezómetros P-PO-PZ-08B y P-PO-PZ-08D, mostrándose además la estratigrafía correspondiente a la perforación dentro de la cual fueron instalados estos equipos.

Se puede observar que los Piezómetros P-PO-PZ-08B y P-PO-PZ-08D se instalaron todos dentro del Horizonte IIA.

Con respecto al sondeo en que fueron instalados estos equipos, la Perforación P-PO-PZ-08, vale la pena destacar el hecho de que el nivel freático fue reportado en la mañana y en la tarde y en todas las medidas fue seco.

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.

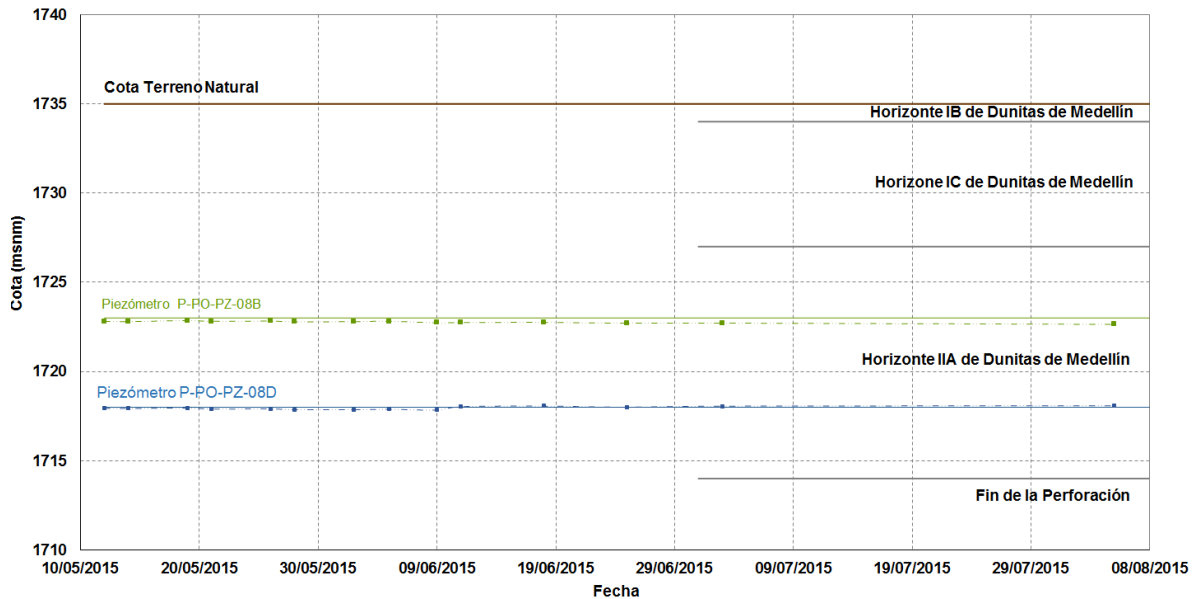


Figura 70. Cotas piezométricas en Piezómetros P-PO-PZ-08B a P-PO-PZ-08D

8.6.3 Piezómetros P-PO-PZ-11B y P-PO-PZ-11D

En la Figura 71 se presentan los registros obtenidos con los Piezómetros P-PO-PZ-11B y P-PO-PZ-11D, mostrándose además la estratigrafía correspondiente a la perforación dentro de la cual fueron instalados estos equipos.

Se puede observar que los Piezómetros P-PO-PZ-11B y P-PO-PZ-11D se instalaron todos dentro del Horizonte IIA.

Con respecto al sondeo en que fueron instalados estos equipos, la Perforación P-PO-PZ-11, vale la pena destacar el hecho de que la presencia de un nivel freático fue reportado al momento de la instalación a 8.5 m de profundidad.

Con base en los registros obtenidos hasta el momento, se puede establecer que realmente 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.

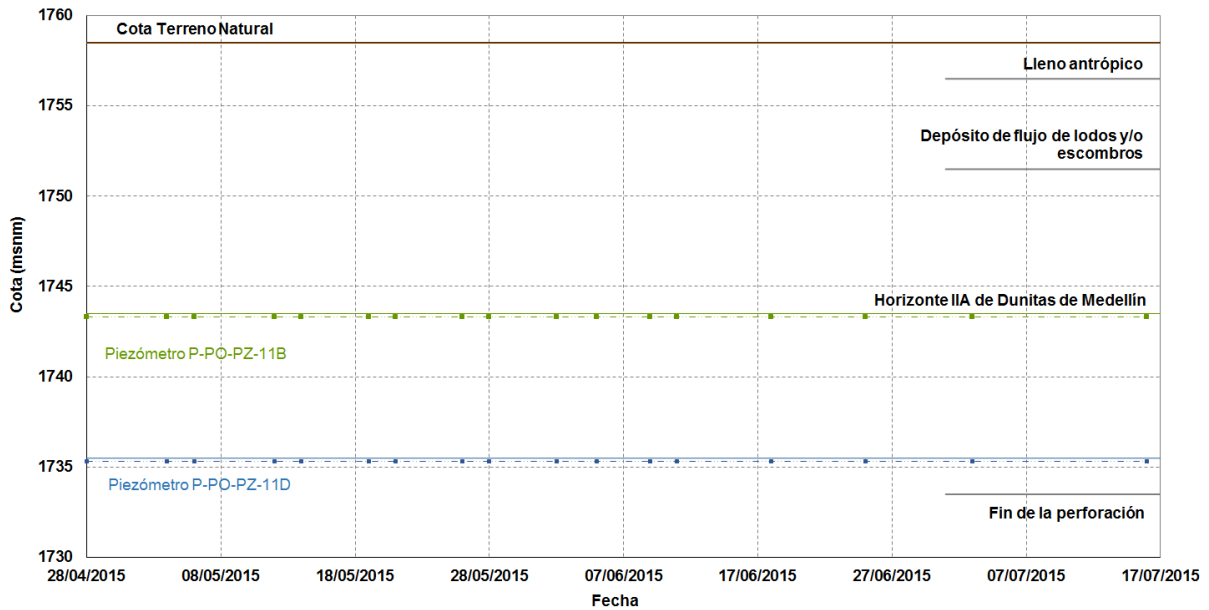


Figura 71. Cotas piezométricas en Piezómetros P-PO-PZ-11B a P-PO-PZ-11D

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 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 corresponden al flujo que se establece entre el Altiplano de Rionegro y el Valle de Aburrá.

La instrumentación instalada en la UMI Pinares de Oriente, limitada por el número de perforaciones que fue posible ejecutar, no parece haber ayudado a ratificar estas afirmaciones, como si lo hizo la instalada de la UMI Trece de Noviembre. Los piezómetros no interceptaron el flujo subterráneo regional ni local.

No obstante, las condiciones de flujo del agua subterránea en la UMI Pinares de Oriente pueden ser esquematizadas en la red de flujo que se presenta en la Figura 72. Las líneas equipotenciales fueron definidas a partir de los manantiales levantados en campo, incluyendo los nacimientos de las quebradas en la zona de estudio. También se tuvieron en cuenta las líneas de drenaje superficial con corrientes permanentes (Quebradas La Loquita y La Loquita 1), 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.

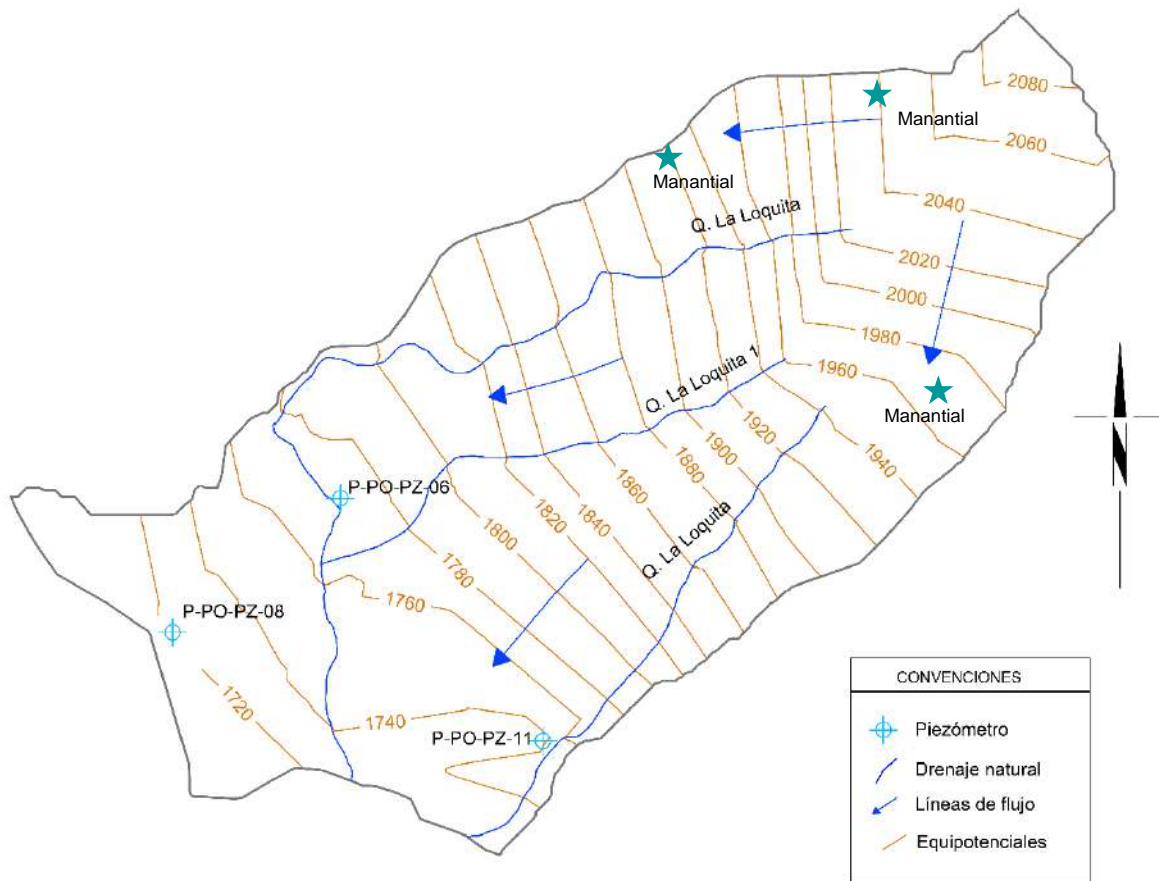




Figura 72. Líneas equipotenciales y de flujo local para el Polígono Pinares de Oriente

En la Figura 90 se han colocado los piezómetros instalados en la UMI Pinares de Oriente, aunque sus cotas piezométricas realmente no fueron de utilidad para trazar las líneas equipotenciales y las correspondientes líneas de flujo. Como se explicó en los Numerales 8.6.1 a 8.6.3, todos los piezómetros de esta UMI 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 del sondeo en el cual fueron instalados.

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 acuicludo 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.

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---



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 91 y en la Figura 92. 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).

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	--	---

- ✓ 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.

En el caso de la UMI Pinares de Oriente, 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 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.



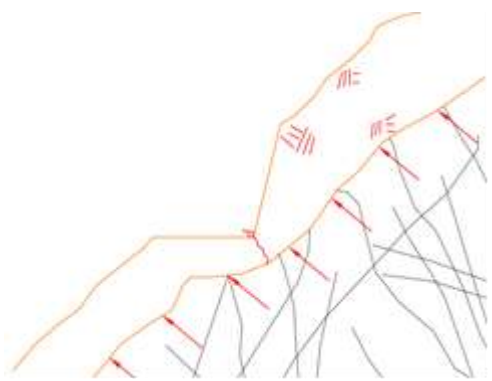
Condición de equilibrio

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



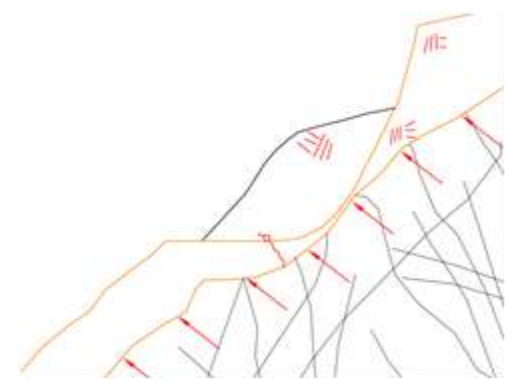
Cambio en las condiciones de equilibrio

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

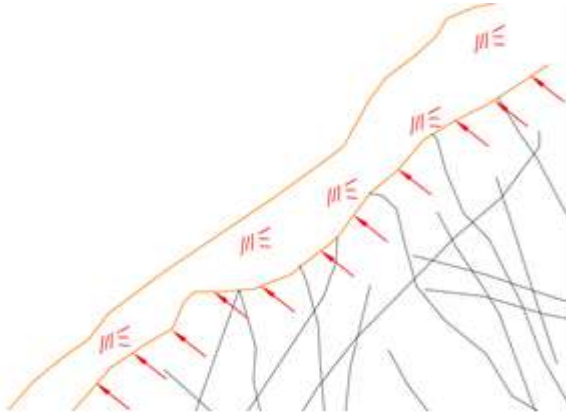
Rotura del manto de regolito por acción de la fuerza asociada a la presión hidrostática en el techo del basamento rocoso



Colapso de la masa de regolito

Finalmente el material que ha sufrido rotura colapsa

Figura 73. Representación esquemática del mecanismo de falla propuesto con intervención antrópica (Skempton, 1964)



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



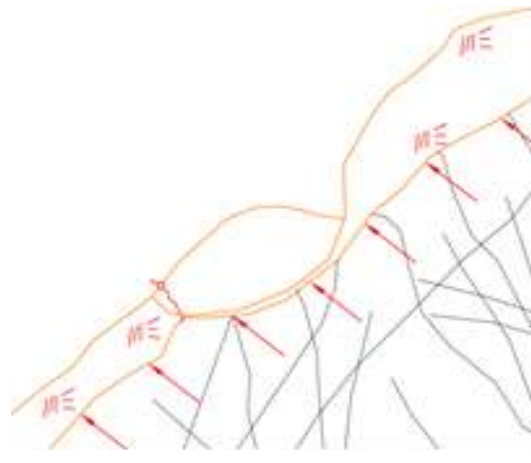
Cambio en las condiciones de equilibrio

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 74. Representación esquemática del mecanismo de falla propuesto sin intervención antrópica (Skempton, 1964)

9. ASPCTOS SÍSMICOS

La Figura 75 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 Pinares de Oriente.

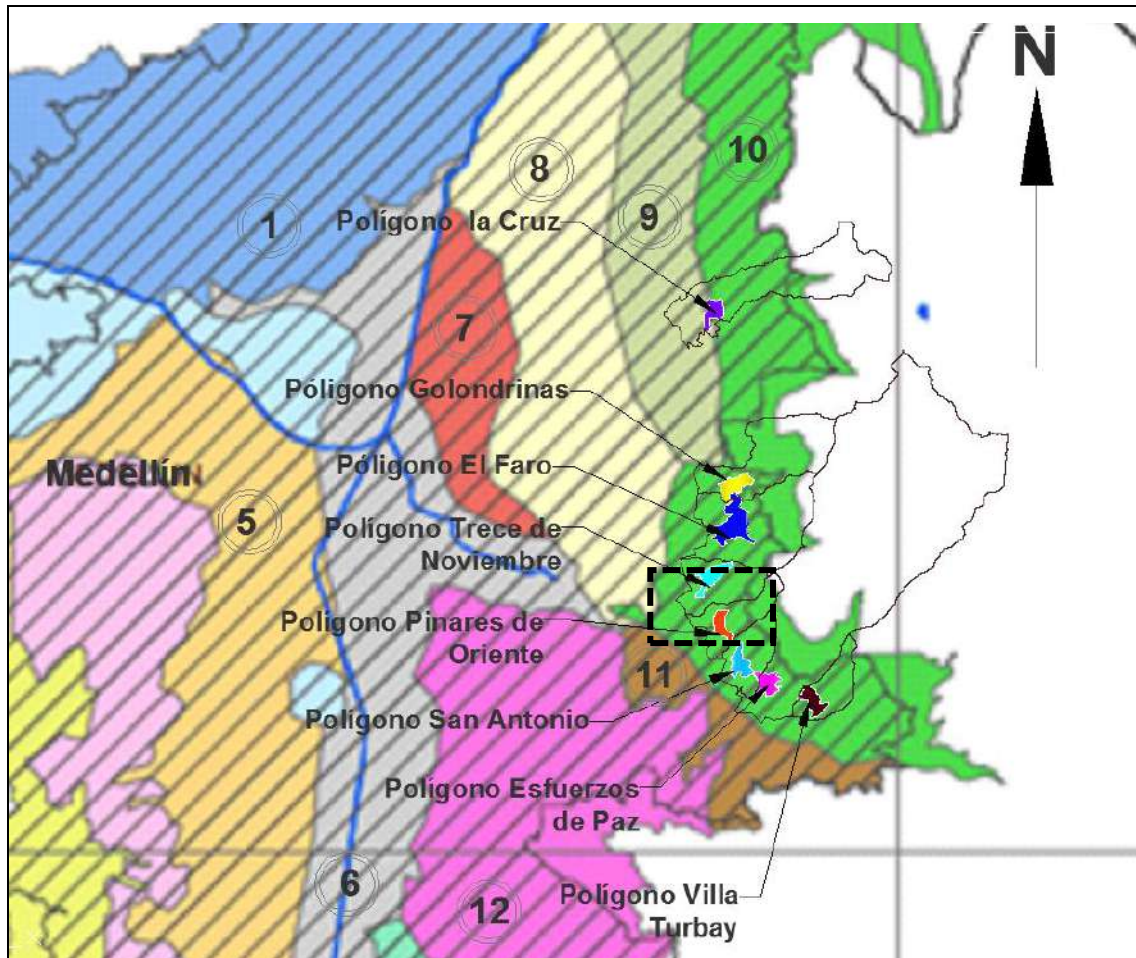




Figura 75. Localización de los polígonos dentro de las zonas homogéneas (Microzonificación Sísmica del Área Urbana de Medellín, 1999)

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. El Polígono La Cruz, que también hace parte del proyecto de Barrios Sostenibles, 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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	--	---

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 Pinares de Oriente, 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 4.2), 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.

La Tabla 22 presenta los perfiles típicos que caracterizan la Zona Homogénea 10 según la Microzonificación Sísmica del Área Urbana de Medellín (1999). En la UMI Pinares de Oriente, la unidad geológica predominante corresponde a las Dunitas de Medellín (JKuM), las cuales son suprayacidas por depósitos de flujo de lodos y/o escombros (Qf/e) y depósito de deslizamiento (Qd), además se presentan llenos antrópicos (QII) asociados a las construcciones generadas por la expansión urbana. Los Mapa 7 al Mapa 8 de este informe se presentan los perfiles geológico-geotécnicos generales determinados con base en la exploración disponible para la zona de estudio y el reconocimiento de campo. Así

 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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE	 edu [®] Empresa de Desarrollo Urbano
--	---	--

las cosas, se puede establecer que el perfil geológico general de la UMI Pinares de Oriente se puede asociar principalmente con el denominado Perfil I de la Microzonificación Sísmica.

Tabla 22. 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 23).

Tabla 23. 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.

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

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.

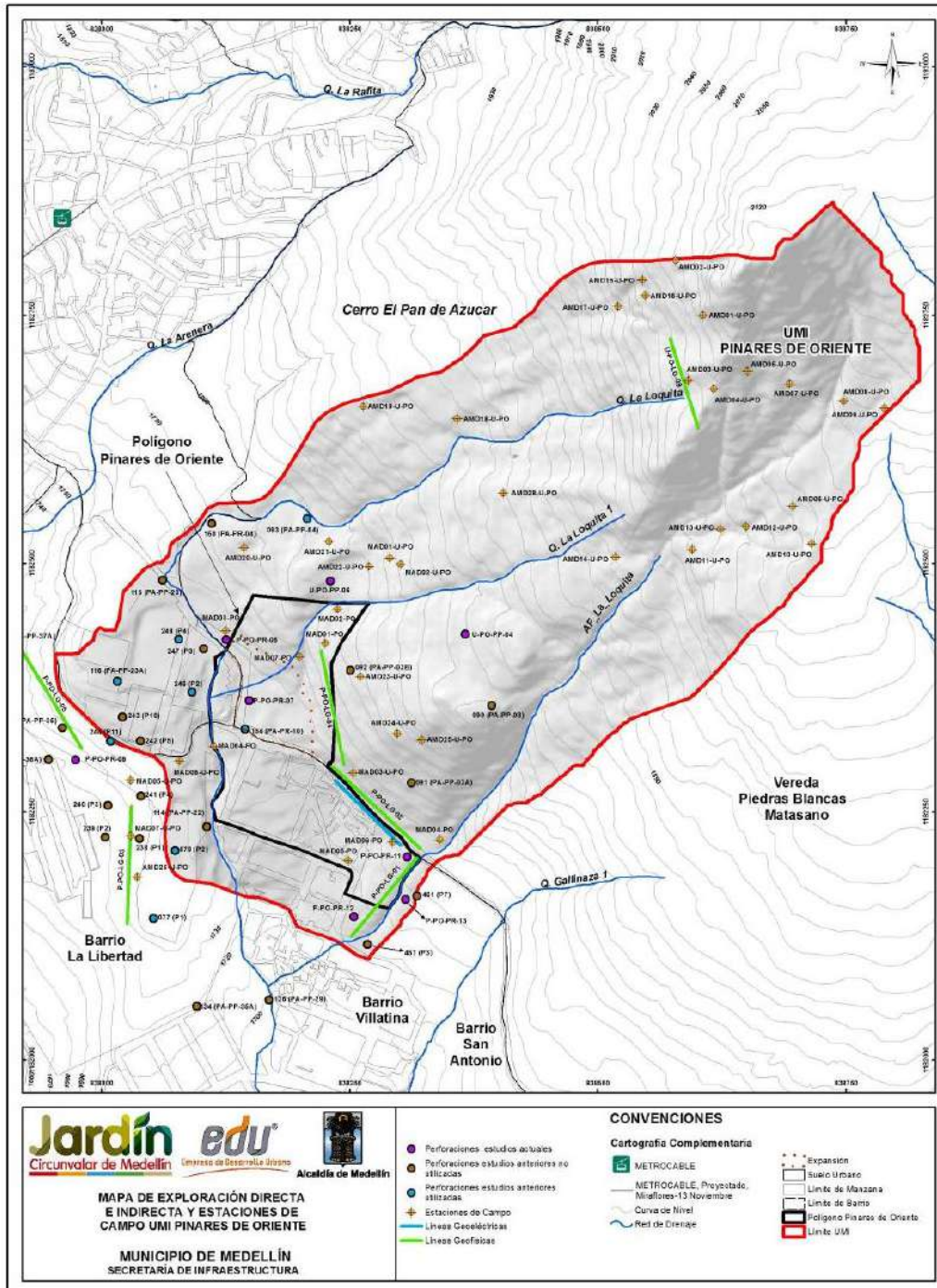
El Mapa 22 presenta la localización de la exploración considerada para la UMI Pinares de Oriente. Se pueden observar los sondeos tanto de tipo directo (perforaciones) como indirecto (líneas de geofísica), que en conjunto conforman un sistema de exploración que cubre ampliamente la zona de estudio a nivel local y regional.

10.1.1 Perforaciones

En la Tabla 24 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.

En total se realizaron seis perforaciones a rotación dentro de la UMI Pinares de Oriente, correspondientes a las Perforaciones P-PO-PR-06, P-PO-PR-07, P-PO-PR-08, P-PO-PR-11, P-PO-PR-12 y P-PO-PR-13 y dos perforaciones a percusión denominadas U-PO-PP-04 y U-PO-PP-06 hacia la parte alta donde se dificultó el acceso de equipos roto percutores.

Para la caracterización de los materiales al interior de esta UMI fue considerada la información obtenida de diez perforaciones realizadas en estudios anteriores por INTEINSA (2012), DEACIVIL (2014), TECNISUELOS-INGESTRUCTURAS (2013), TECNISUELOS (2012) e INGEOCILCÓN (2009), correspondientes a las perforaciones 77 (P1), 78 (P2), 93 (PA-PP-04), 116 (PA-PP-23A), 154 (PA-PR-10), 244 (P11), 246 (P2), 248 (P4), 457 (P3) y 461 (P7), respectivamente. En el Anexo 02 se presenta la descripción detallada de los sondeos realizados por el Proyecto y de los estudios anteriores que fueron considerados.



Mapa 22. Localización de la exploración directa e indirecta (13_PDOExploracion_Medellin_C y 13_PDOExploracion_Medellin_T)



 <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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	 <p>edu[®] Empresa de Desarrollo Urbano</p>
---	--	---

Tabla 24. Exploración geotécnica utilizada en la UMI Pinares de Oriente

Perforación		Prof. (m)	Prof. N.F. (m)	Cota Terreno	Coordenada Este	Coordenada Norte
Proyecto (2015)	P-PO-PR-06	25.00	Seco	1770	1182423.398	838125.004
	P-PO-PR-07	25.00	6.35	1764	1182361.993	838148.250
	P-PO-PR-08	19.50	Seco	1735	1182302.477	837973.345
	P-PO-PR-11	25.00	8.5	1758	1182204.444	838307.665
	P-PO-PR-12	25.00	7.9	1734	1182144.526	838253.967
	P-PO-PR-13	25.00	No Reporta	1746	1182161.877	838305.839
	U-PO-PP-04	7.20	Seco	1868	1182428.814	838365.849
	U-PO-PP-06	4.95	Seco	1812	1182482.328	838229.952
	77 (P1)	15.00	Seco	1742	1182142.906	838051.608
	78 (P2)	15.00	Seco	1748	1182210.957	838073.985
Deacivil (2014)	93 PA-PP-04	2.30	Seco	1809	1182545.262	838206.919
	116 PA-PP-23A	10.45	Seco	1772	1182381.607	838015.238
	154 PA-PR-10	25.00	6.2	1760	1182333.401	838144.244

Tabla 24. Exploración geotécnica utilizada en la UMI Pinares de Oriente

Perforación		Prof. (m)	Prof. N.F. (m)	Cota Terreno	Coordenada Este	Coordenada Norte
Tecnisuelos-Ingestructuras (2013)	244 (P11)	4.70	Seco	1757	1182320.828	838008.564
Tecnisuelos (2012)	246 (P2)	10.00	2.8	1766	1182370.739	838090.779
	248 (P4)	15.45	11.0	1770	1182423.848	838077.127
Ingeocilcón Georingiería (2009)	457 (P3)	11.45	Seco	1730	1182116.648	838267.412
	461 (P7)	7.45	Seco	1749	1182165.063	838317.441

De la Figura 76 a la Figura 81 se presentan las gráficas de variación de la resistencia a la penetración estándar con la profundidad para todos los sondeos. Se exceptúa la Perforación 154 (PA-PR-10), en la que no se realizó el ensayo de penetración estándar. Adicionalmente, se ha incluido 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 en el Numeral 4.2 de este informe.

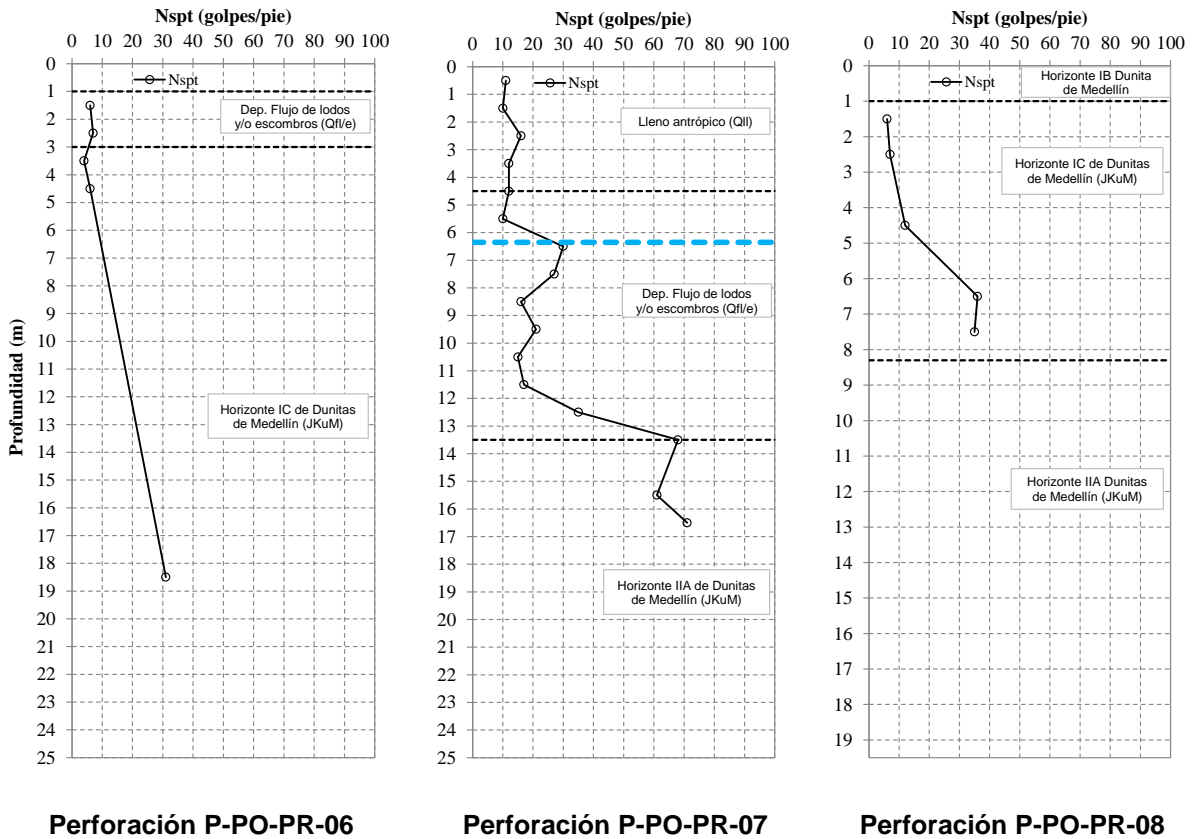


Figura 76. Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Pinares de Oriente

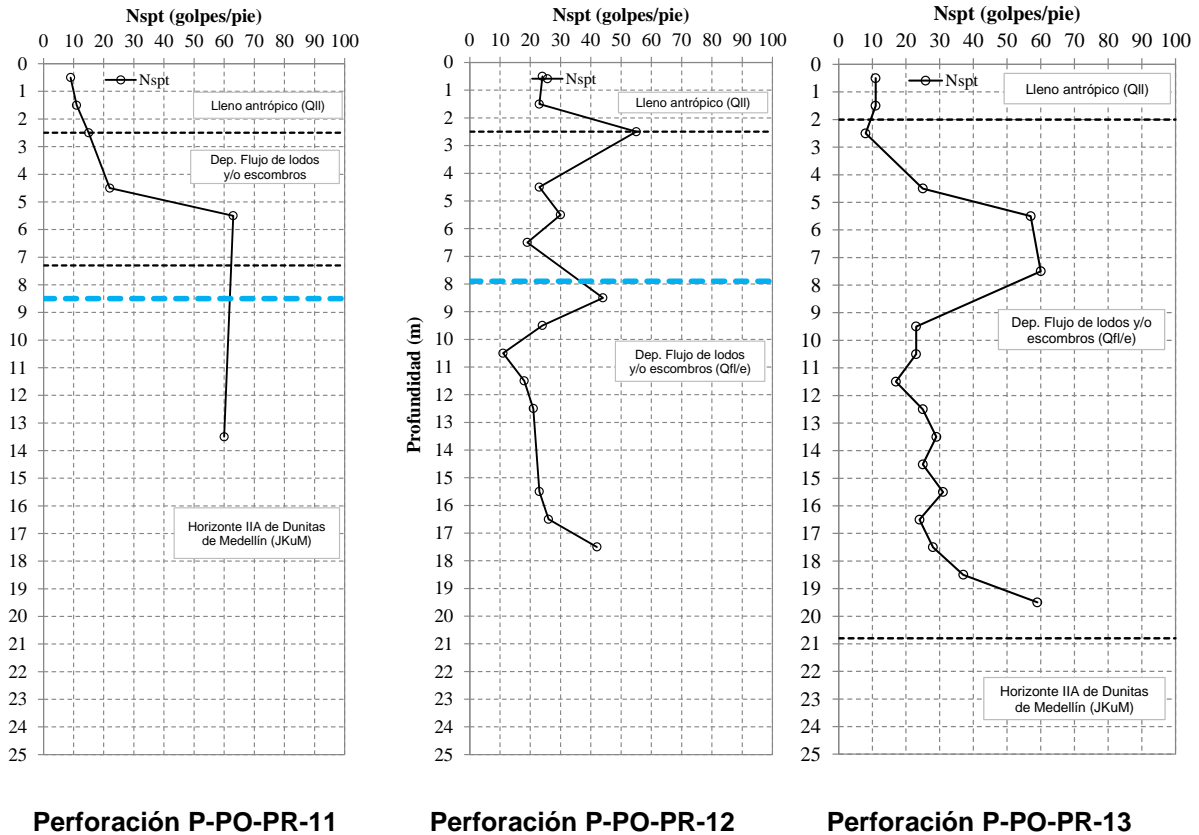


Figura 77. Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Pinares de Oriente (Continuación)

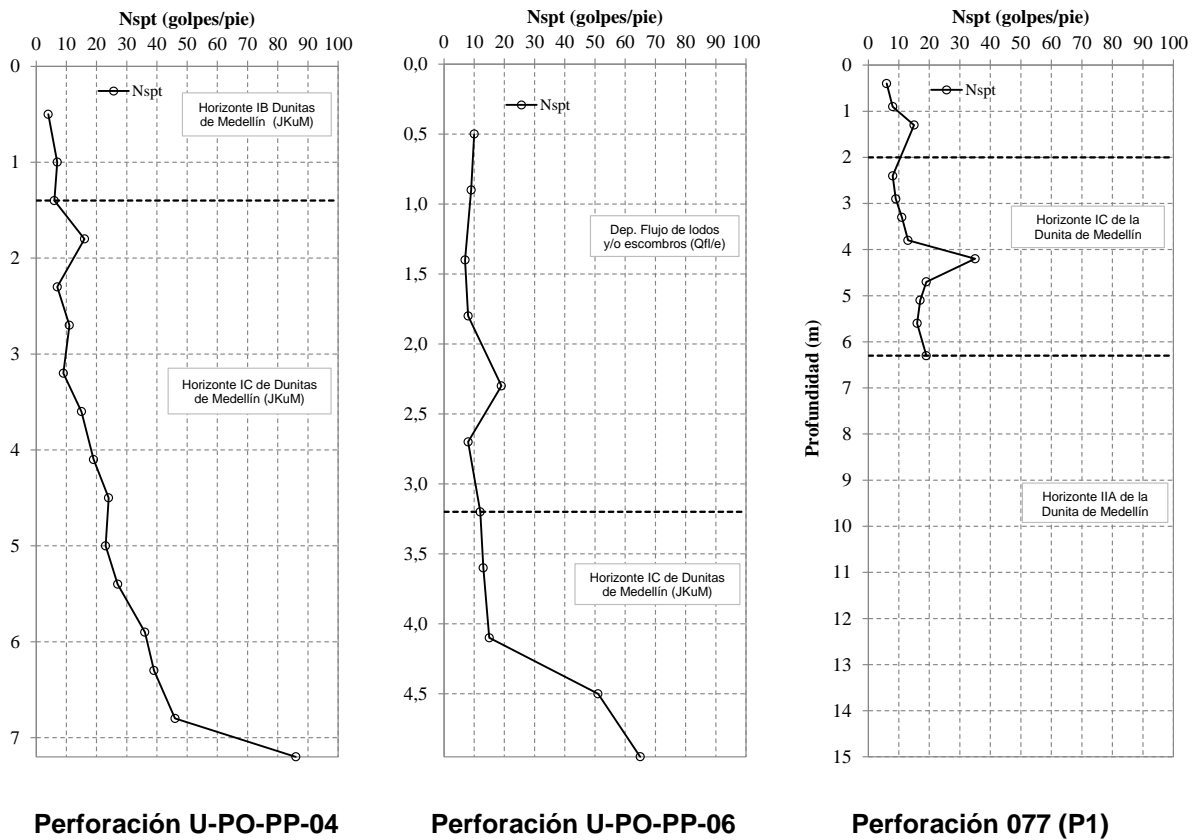
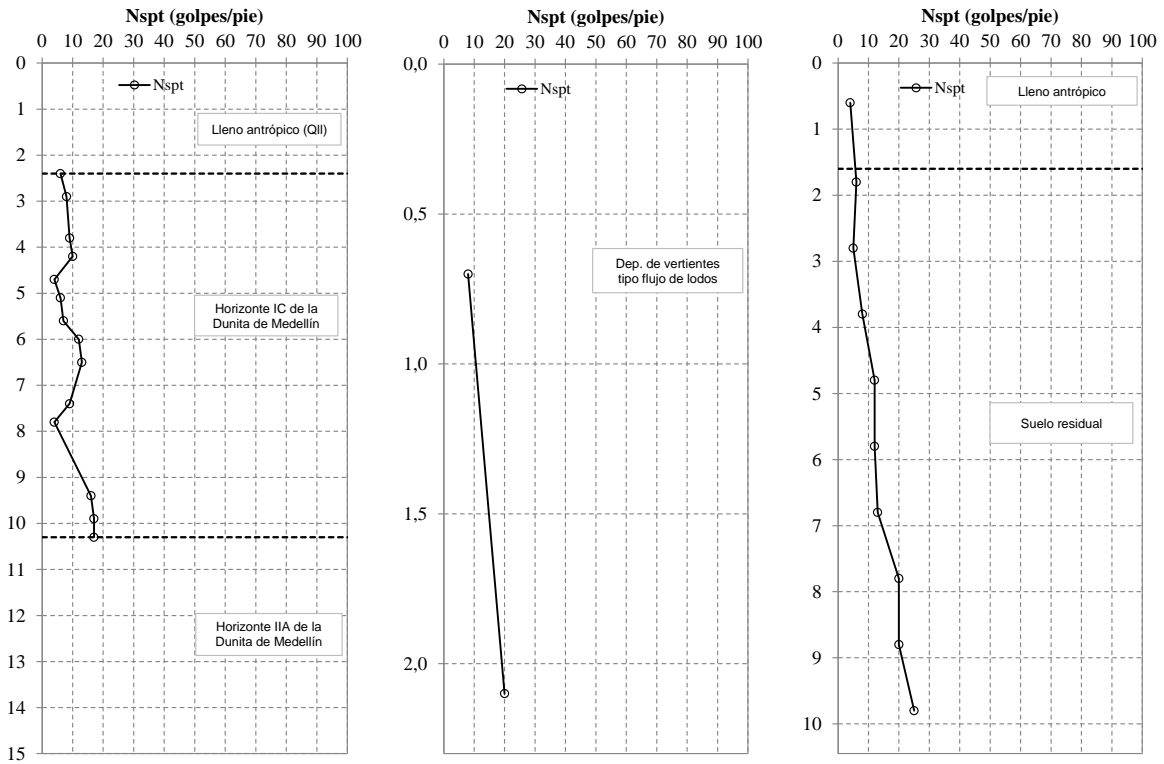


Figura 78. Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Pinares de Oriente (Continuación)



Perforación 078 (P2)

Perforación 093 (PA-PP-04)

Perforación 116 (PA-PP-23A)

Figura 79. Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Pinares de Oriente (Continuación)

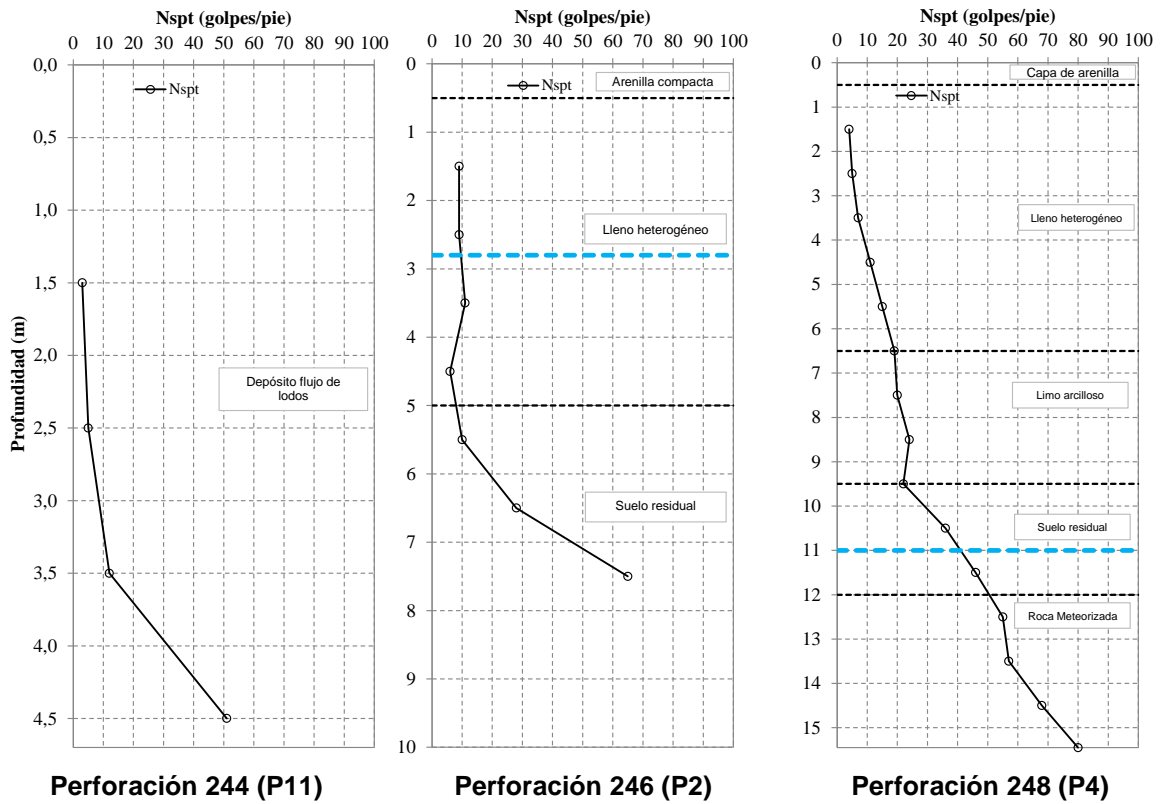


Figura 80. Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Pinares de Oriente (Continuación)

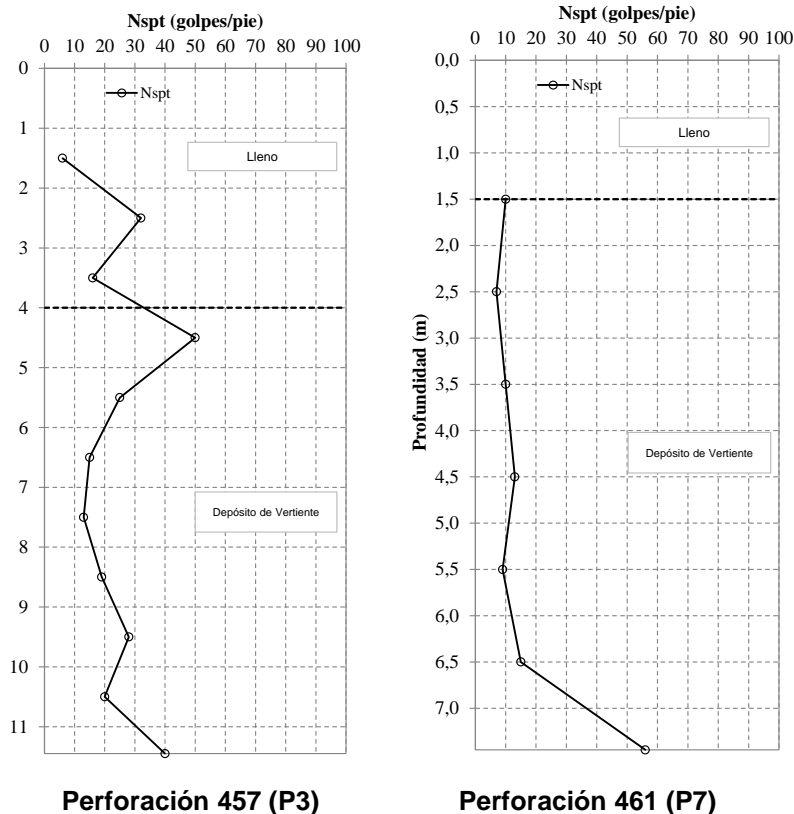




Figura 81. Gráficos de variación de la resistencia a la penetración estándar en perforaciones de la UMI Pinares de Oriente (Continuación)

En la UMI Pinares de Oriente se encuentran cuerpos de llenos antrópicos que en superficie abarcan longitudes entre 7 m y 123 m y en profundidad alcanzan espesores variables entre 1.5 m y 6.5 m. Estos llenos fueron caracterizados en las Perforaciones P-PO-PR-07, P-PO-PR-11, P-PO-PR-12, P-PO-PR-13, P-TN-PR-09, 077 (P1), 078 (P2), 116 (PA-PP-23A), 154 (PA-PR-10), 246 (P2), 248 (P4) y 461 (P7), suprayaciendo los suelos residuales de la Dunita de Medellín y los depósitos de flujo de lodos y/o escombros. Este material presenta resistencias a la penetración estándar muy variables, entre 9 golpes/pie e incluso 51 golpes/pie.

Por debajo de los llenos antrópicos o aflorando en superficie se tienen los depósitos de flujo de lodos y/o escombros. Se encuentran doce cuerpos distribuidos en la parte superior, central y baja de la UMI. Estos depósitos fueron identificados en las Perforaciones P-PO-PR-06, P-PO-PR-07, P-PO-PR-11, P-PO-PR-12, P-PO-PR-13, U-PO-PP-06, 093 (PA-PP-04), 244 (P11), 457 (P3) y 461 (P7). La resistencia a la penetración varía considerablemente entre 6 golpes/pie y 68 golpes/pie, entre los 1.5 m y 19.5 m de profundidad.

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

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-PO-PR-06, P-PO-PR-07, P-PO-PR-08, P-PO-PR-11, P-PO-PR-13, U-PO-PP-04, U-PO-PP-06, 077 (P1) y 078 (P2). 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 los primeros 3 m de esta formación las resistencias más bajas, del orden de 4 golpes/pie. Luego la resistencia aumenta, llegando incluso a 86 golpes/pie.

10.1.2 Líneas geofísicas

En la zona de estudio se ejecutaron siete líneas geofísicas, en seis de ellas se realizó el ensayo geofísico ReMi (Refraction Microtremor) para complementar el análisis geológico geotécnico y en la otra se realizó un Sondeo Eléctrico Vertical (S.E.V) para determinar las condiciones hidrogeológicas en el Polígono Pinares de Oriente. La localización en planta de estos ensayos se muestra en el Mapa 22 y en el Mapa 13_PDOExploracion_Medellin_T.

Inicialmente se tenían proyectadas tres líneas geofísicas para el proyecto Pinares de Oriente, sin embargo dada la complejidad y necesidad de caracterizar algunas zonas en particular, se realizaron de forma adicional las Líneas P-PO-LG-01, para identificar y corroborar el espesor y las características del depósito de flujo de lodos y escombros producto del deslizamiento de Villatina (1987), la Línea P-PO-LG-05, para identificar el límite de un lleno antrópico sobre el flanco noroccidental de la UMI, y la Línea U-PO-LG-09, para realizar una proyección de posibles espesores de suelo en las zonas de alta pendiente fundamental para los modelos de amenaza. Se considera que la ejecución de estas líneas, fue fundamental para la construcción del modelo geológico geotécnico de detalle de la UMI Pinares de Oriente.

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 ± 20 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 25 muestra algunos valores teóricos de resistividad de algunos materiales encontrados en la corteza terrestre.



Tabla 25. 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

Las líneas en las que se realizó el ensayo ReMi fueron denominadas P-PO-LG-01, P-PO-LG-02, P-PO-LG-03, P-PO-LG-04, P-PO-LG-05 y U-PO-LG-09. El sondeo eléctrico vertical (SEV) fue denominado P-PO-SEV-01. En la Tabla 26 se presentan las coordenadas de los puntos inicial y final de los ensayos ejecutados, en origen MAGNA SIRGAS.

Tabla 26. Coordenadas de las líneas realizadas en la UMI Pinares de Oriente

Nomenclatura	Coordenada inicial		Cota inicial	Coordenada final		Cota final
	ESTE	NORTE		ESTE	NORTE	
P-PO-LG-01	838317.16	1182203.21	1758.51	838251.01	1182124.35	1730.02
P-PO-LG-02	838232.51	1182295.74	1760.55	838321.28	1182212.70	1760.82

 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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE	 edu [®] Empresa de Desarrollo Urbano
--	---	--

P-PO-LG-03	838029.75	1182255.50	1742.08	838025.61	1182137.41	1738.09
P-PO-LG-04	837979.38	1182314.17	1741.83	837916.01	1182417.33	1733.62
P-PO-LG-05	838220.97	1182411.66	1799.69	838243.96	1182297.60	1770.13
U-PO-LG-09	838572.70	1182726.31	2026.99	838600.90	1182636.63	2034.54
P-PO-SEV-01	838234.87	1182281.52	1756.40	838300.99	1182216.24	1758.08

En la Figura 82 se 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 P-PO-LG-01. Empleando los puntos seleccionados de dispersión se realiza el ajuste presentado en la Figura 83, con el fin de establecer el perfil de velocidad de propagación de Ondas S. La Figura 84 presenta el perfil promedio de velocidad de propagación de Ondas S a lo largo de la línea geofísica de 70 m de longitud. En la Figura 85 se presenta la tomografía obtenida para la Línea Geofísica P-PO-LG-01 en una imagen suavizada. En general, los resultados obtenidos ayudan a determinar la siguiente estratigrafía típica:

- ✓ Una capa superficial desde la superficie del terreno hasta los 7.0 m de profundidad, con velocidad de propagación de Ondas S de 194 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia blanda
- ✓ Una segunda capa desde los 7.0 m hasta los 19.8 m de profundidad, con velocidad de propagación de Ondas S de 392 m/s, la cual puede definirse como un suelo de consistencia media.
- ✓ Una capa intermedia entre 19.8 m y 28.8 m de profundidad, con velocidad de propagación de Ondas S de 730 m/s, la cual puede definirse como un suelo de consistencia media a dura.
- ✓ Una capa más profunda desde los 28.8 m en adelante, con velocidad de propagación de Ondas S de 783 m/s, la cual puede definirse como un suelo de consistencia dura.

La Línea P-PO-LG-01 fue fundamental para identificar y corroborar el espesor y las características del depósito de flujo de lodos y escombros producto del deslizamiento de Villatina (1987). Se puede establecer a partir de estos resultados, que el depósito de flujo de lodos y/o escombros tiene un espesor alrededor de los 20 m en este sector, esto puede ser verificable con los Sondeos P-PO-PR-11, P-PO-PR-12, y P-PO-PR-13 realizados en este polígono.

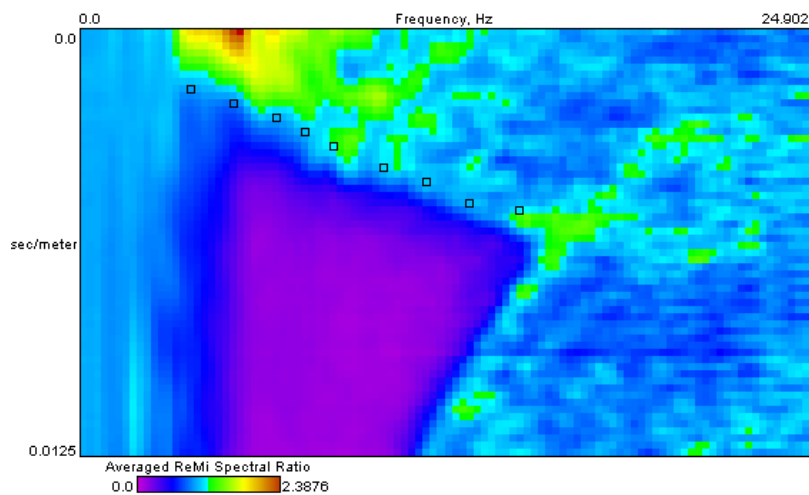


Figura 82. Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea P-PO-LG-01

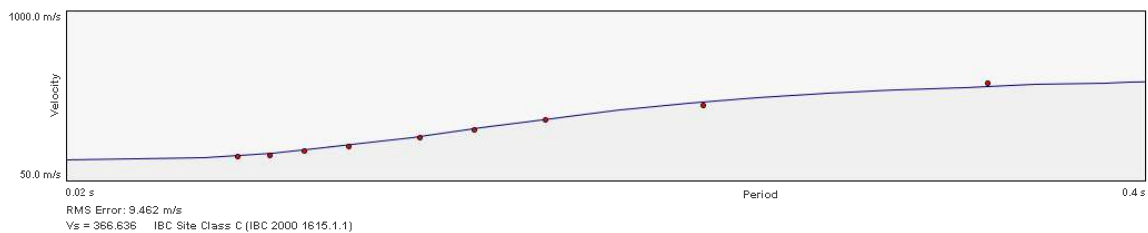


Figura 83. Dispersión y ajuste para la Línea P-PO-LG-01

	Density	Shear Velocity
7.0 m	1.81 g/cc	194.484 m/s
19.8 m	1.81 g/cc	391.828 m/s
28.8 m	1.81 g/cc	730.133 m/s
40.0 m	1.81 g/cc	782.993 m/s

Figura 84. Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-PO-LG-01

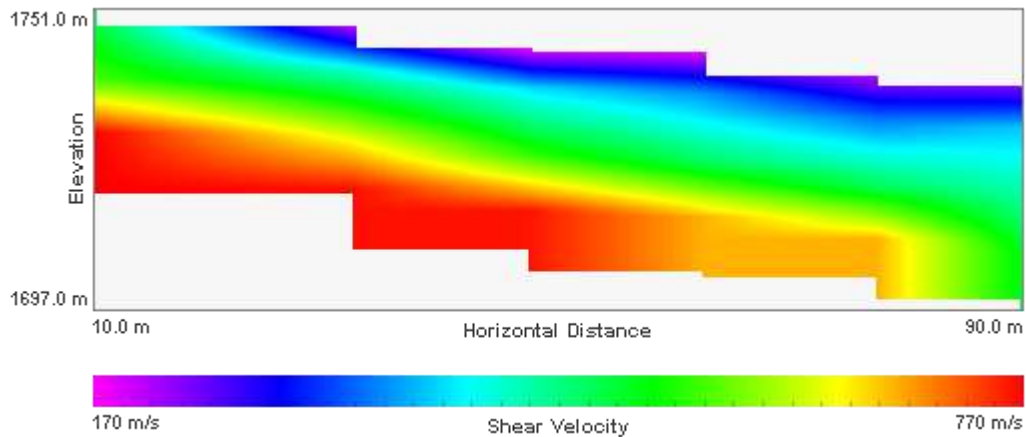


Figura 85. Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-PO-LG-01

En la Figura 86 se 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 P-PO-LG-02. Empleando los puntos seleccionados de dispersión se realiza el ajuste presentado en la Figura 87 mostrada a continuación, con el fin de establecer el perfil de velocidad de propagación de Ondas S. La Figura 88 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 89 se presenta la tomografía obtenida para la línea P-PO-LG-02 en una imagen suavizada. En general, los resultados obtenidos ayudan a determinar la siguiente estratigrafía típica:

- ✓ Una capa superficial desde la superficie del terreno hasta los 5.0 m con velocidad de propagación de Ondas S de 271 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia blanda.
- ✓ Una segunda capa desde los 5.0 m hasta los 16.0 m de profundidad, con velocidad de propagación de Ondas S de 709 m/s, la cual puede definirse como un suelo de consistencia media.
- ✓ Una capa intermedia entre 16.0 m y 28.8 m de profundidad, con velocidad de propagación de Ondas S de 838 m/s, la cual puede definirse como un suelo de consistencia firme.
- ✓ Una capa más profunda desde los 38.8 m de profundidad en adelante, con velocidad de propagación de Ondas S de 1076 m/s, la cual puede definirse como material de consistencia dura.

Se observa la existencia de un material de 5.0 m de espesor cuya velocidad de onda de corte se puede asociar a la de un suelo, no obstante se descarta por la magnitud de esta, la cual supera los 270 m/s que se pueda tratar de un lleno antrópico. Las observaciones fueron corroboradas igualmente con la perforación P-PO-PR-08.

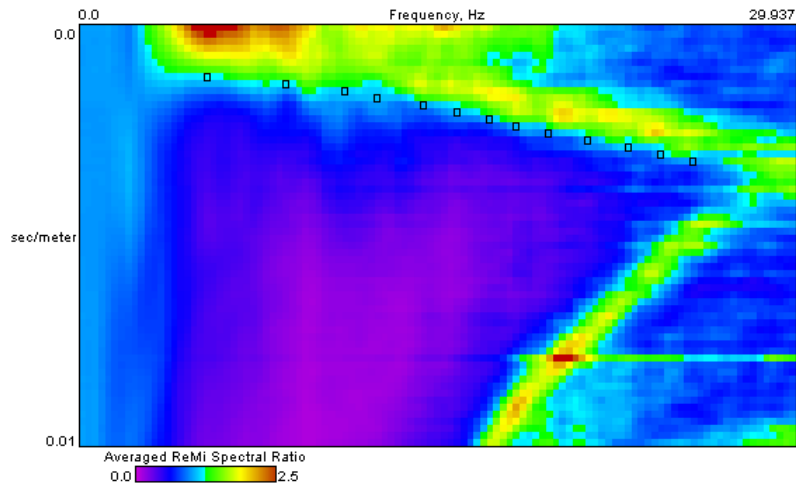


Figura 86. Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea P-PO-LG-02

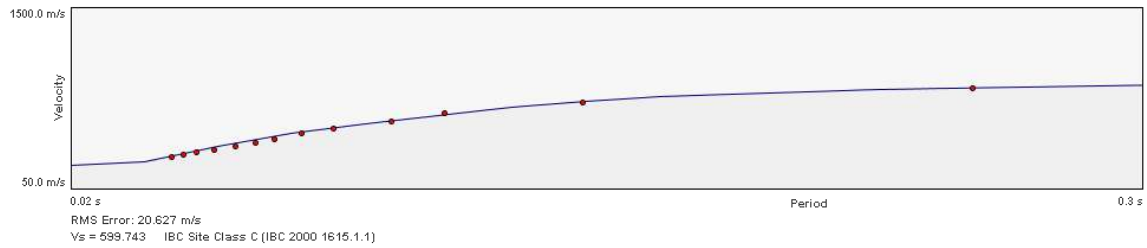
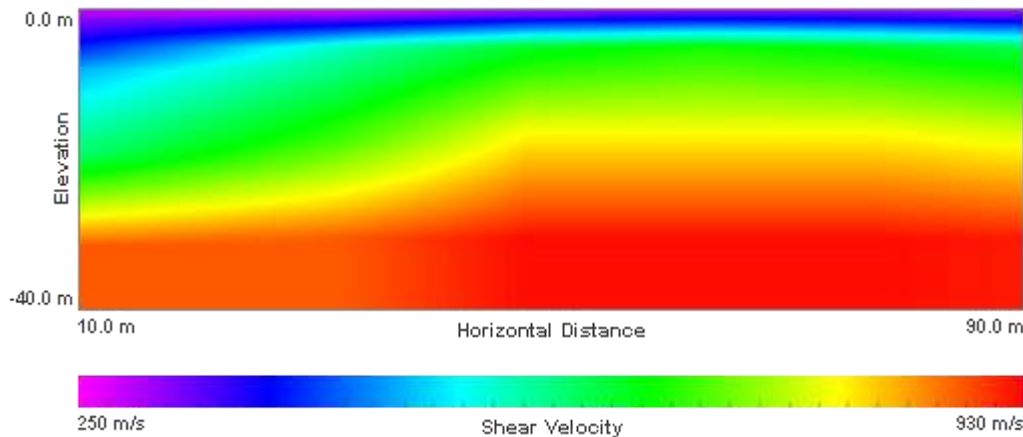


Figura 87. Dispersión y ajuste para la Línea P-PO-LG-02

	Density	Shear Velocity
5.0 m	1.81 g/cc	270.684 m/s
16.0 m	1.81 g/cc	709.091 m/s
28.8 m	1.81 g/cc	837.947 m/s
40.0 m	1.81 g/cc	1076.404 m/s

Figura 88. Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-PO-LG-02



**Figura 89. Tomografía - Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S)
Línea P-PO-LG-02**

En la Figura 90 se 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 P-PO-LG-03. Empleando los puntos seleccionados de dispersión se realiza el ajuste presentado en la Figura 91 mostrada a continuación, con el fin de establecer el perfil de velocidad de propagación de Ondas S. La Figura 92 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 93 se presenta la tomografía obtenida para la línea P-PO-LG-03 en una imagen suavizada. En general, los resultados obtenidos ayudan a determinar la siguiente estratigrafía típica:

- ✓ Una capa superficial desde la superficie del terreno hasta los 5.0 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 5.0 m a 12.4 m de profundidad, con velocidad de propagación de Ondas S de 344 m/s, la cual puede definirse como un suelo de consistencia media.
- ✓ Una capa intermedia entre 12.4 m y 24.8 m de profundidad, con velocidad de propagación de Ondas S de 549 m/s, la cual puede definirse como un suelo de consistencia firme.
- ✓ Una capa más profunda desde los 24.8 m de profundidad en adelante, con velocidad de propagación de Ondas S de 748 m/s, la cual puede definirse como un material duro.

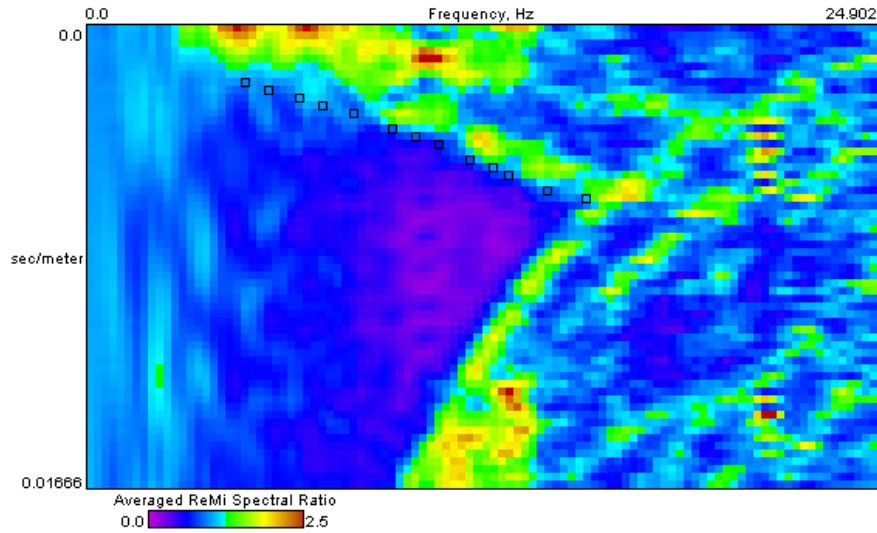


Figura 90. Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea P-PO-LG-03

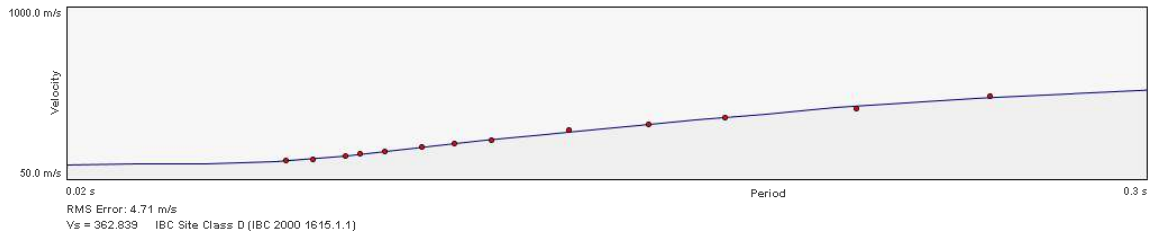


Figura 91. Dispersión y ajuste para la Línea P-PO-LG-03

	Density	Shear Velocity
5.0 m	1.81 g/cc	154.801 m/s
12.4 m	1.81 g/cc	344.025 m/s
24.8 m	1.81 g/cc	648.774 m/s
40.0 m	1.81 g/cc	747.702 m/s

Figura 92. Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-PO-LG-03

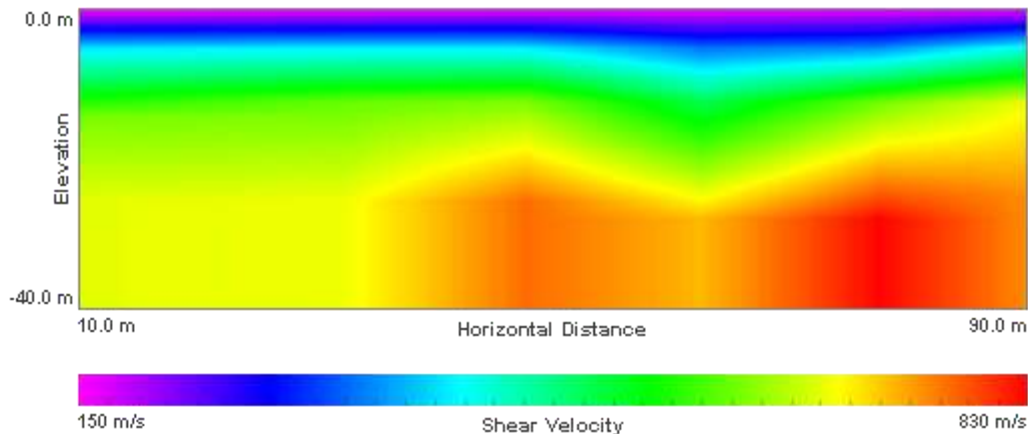


Figura 93. Tomografía - Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-PO-LG-03

En la Figura 94 se 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 P-PO-LG-04. Empleando los puntos seleccionados de dispersión se realiza el ajuste presentado en la Figura 95 mostrada a continuación, con el fin de establecer el perfil de velocidad de propagación de Ondas S. La Figura 96 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 97 se presenta la tomografía obtenida para la línea P-PO-LG-04 en una imagen suavizada. En general, los resultados obtenidos ayudan a determinar 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 356 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia blanda.
- ✓ Una segunda capa desde los 4.6 m hasta los 12.4 m de profundidad, con velocidad de propagación de Ondas S de 720 m/s, la cual puede definirse como un suelo de consistencia media.
- ✓ Una capa intermedia entre 12.4 m y 24.8 m de profundidad, con velocidad de propagación de Ondas S de 1148 m/s, la cual puede definirse como un suelo de consistencia firme.
- ✓ Una capa más profunda desde los 24.8 m de profundidad en adelante, con velocidad de propagación de Ondas S de 1501 m/s, la cual puede definirse como un material de consistencia dura.

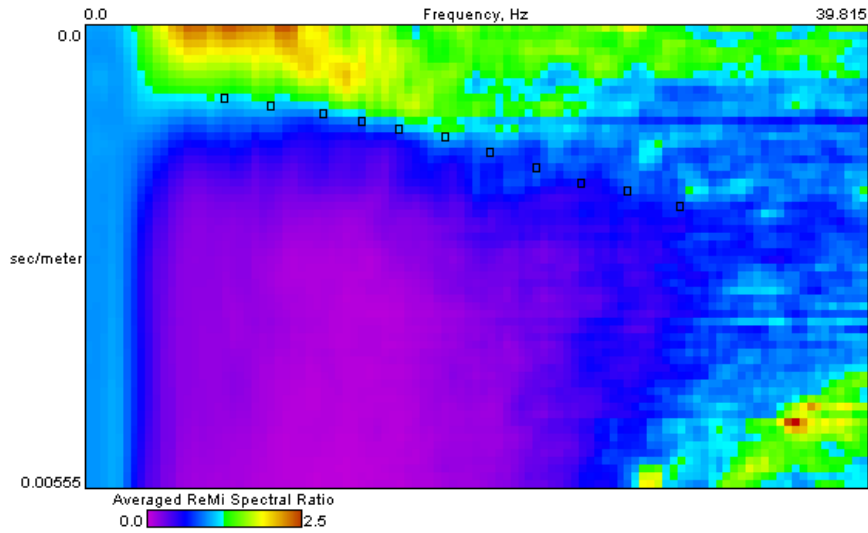


Figura 94. Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea P-PO-LG-04

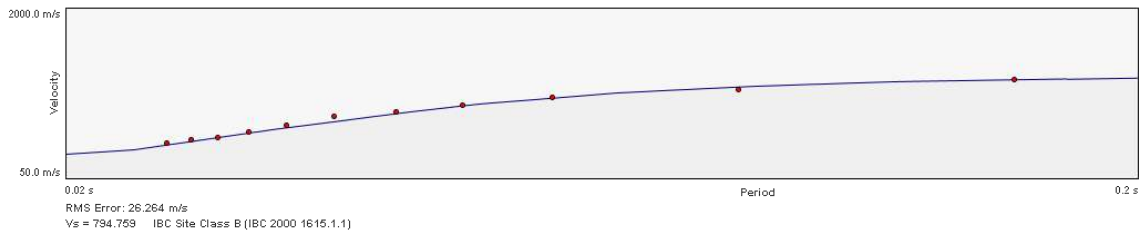


Figura 95. Dispersión y ajuste para la Línea P-PO-LG-04

	Density	Shear Velocity
4.6 m	1.81 g/cc	355.669 m/s
12.4 m	1.81 g/cc	720.327 m/s
24.8 m	1.81 g/cc	1147.549 m/s
40.0 m	1.81 g/cc	1501.481 m/s

Figura 96. Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-PO-LG-04

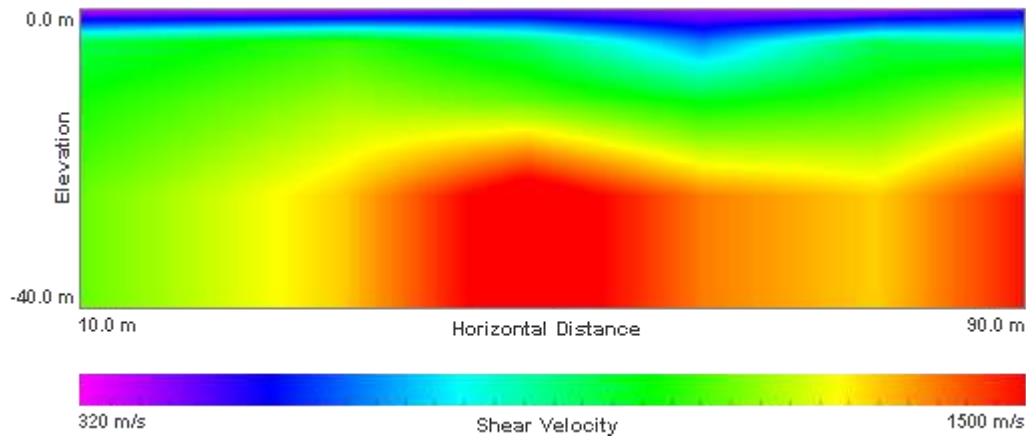


Figura 97. Tomografía - Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-PO-LG-04

En la Figura 98 se 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 P-PO-LG-05. Empleando los puntos seleccionados de dispersión se realiza el ajuste presentado en la Figura 99 mostrada a continuación, con el fin de establecer el perfil de velocidad de propagación de Ondas S. La Figura 100 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 101 se presenta la tomografía obtenida para la línea P-PO-LG-05 en una imagen suavizada. En general, los resultados obtenidos ayudan a determinar la siguiente estratigrafía típica:

- ✓ Una capa superficial desde la superficie del terreno hasta los 4.2 m con velocidad de propagación de Ondas S de 284 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia blanda.
- ✓ Una segunda capa desde los 4.2 m hasta los 12.4 m de profundidad, con velocidad de propagación de Ondas S de 575 m/s, la cual puede definirse como un suelo de consistencia media.
- ✓ Una capa intermedia entre 12.4 m y 17.85 m de profundidad, con velocidad de propagación de Ondas S de 658 m/s, la cual puede definirse como un suelo de consistencia firme.
- ✓ Una capa más profunda desde los 17.85 m de profundidad en adelante, con velocidad de propagación de Ondas S de 1112 m/s, la cual puede definirse como un material duro.

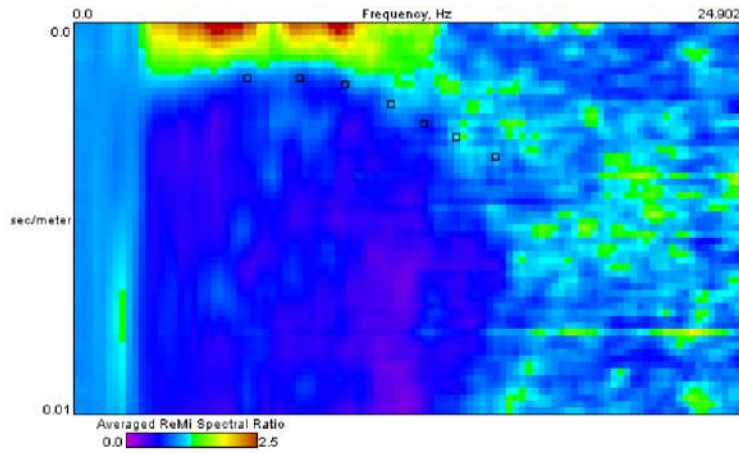


Figura 98. Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea P-PO-LG-05

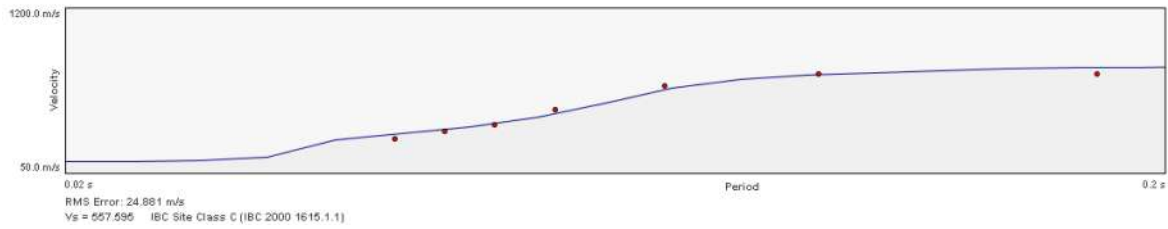
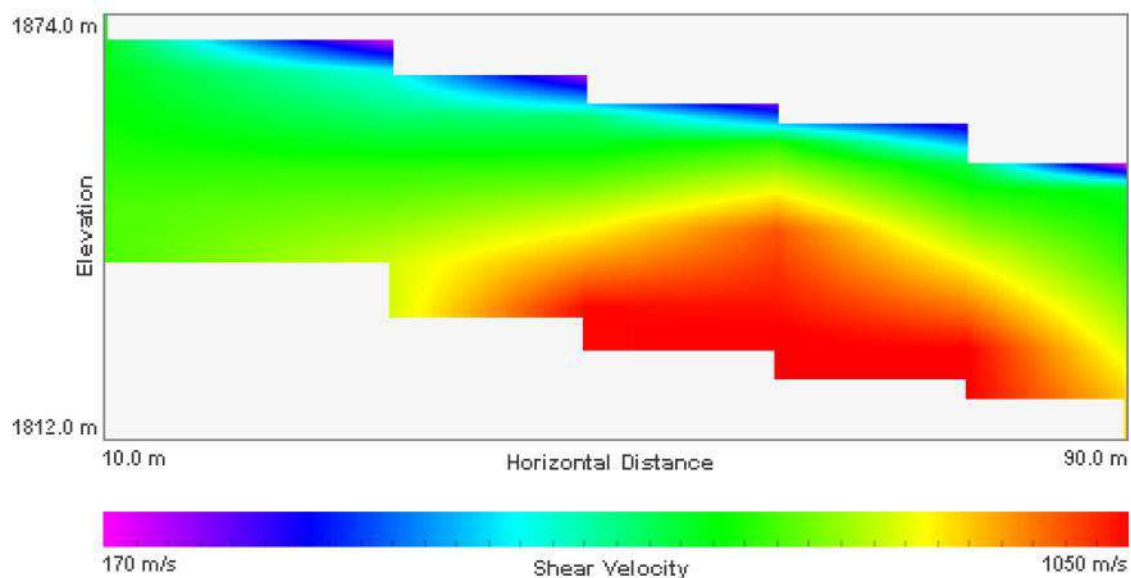


Figura 99. Dispersión y ajuste para la Línea P-PO-LG-05

	Density	Shear Velocity
3.6 m	1.81 g/cc	154.545 m/s
16.6 m	1.81 g/cc	821.757 m/s
28.8 m	1.81 g/cc	886.364 m/s
40.0 m	1.81 g/cc	941.573 m/s

Figura 100. Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea P-PO-LG-05



**Figura 101. Tomografía - Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S)
Línea P-PO-LG-05**

En la Figura 102 se 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-PO-LG-09. Empleando los puntos seleccionados de dispersión se realiza el ajuste presentado en la Figura 103 mostrada a continuación, con el fin de establecer el perfil de velocidad de propagación de Ondas S. La Figura 104 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 105 se presenta la tomografía obtenida para la línea U-PO-LG-09 en una imagen suavizada. En general, los resultados obtenidos ayudan a determinar la siguiente estratigrafía típica:

- ✓ Una capa superficial desde la superficie del terreno hasta los 3.0 m con velocidad de propagación de Ondas S de 202 m/s, la cual corresponde a un suelo de consistencia blanda.
- ✓ Una segunda capa desde los 3.0 m hasta los 7.4 m de profundidad, con velocidad de propagación de Ondas S de 325 m/s, la cual puede definirse como un suelo de consistencia media.
- ✓ Una capa intermedia entre 7.4 m y 11.2 m de profundidad, con velocidad de propagación de Ondas S de 653 m/s, la cual puede definirse como un suelo de consistencia firme.
- ✓ Una capa más profunda desde los 16.8 m de profundidad en adelante, con velocidad de propagación de Ondas S de 899 m/s, la cual puede definirse como un material duro.

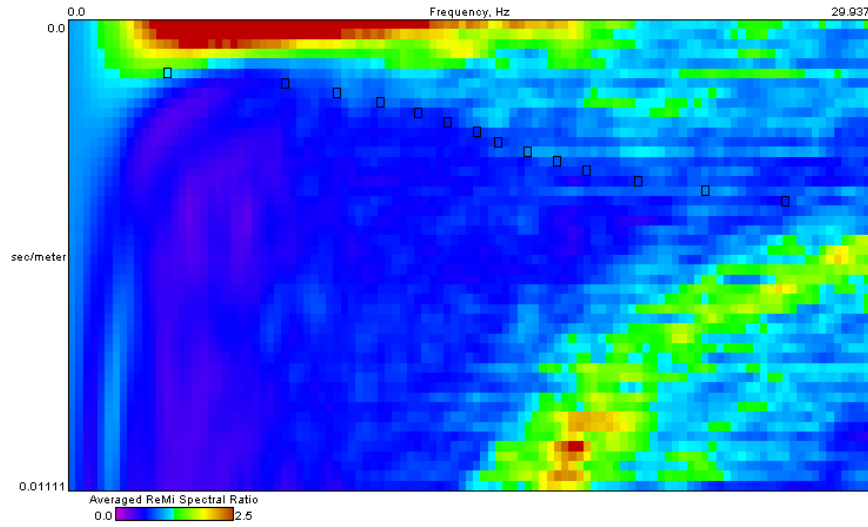


Figura 102. Gráfico fase frecuencia (p-f) Línea U-PO-LG-09

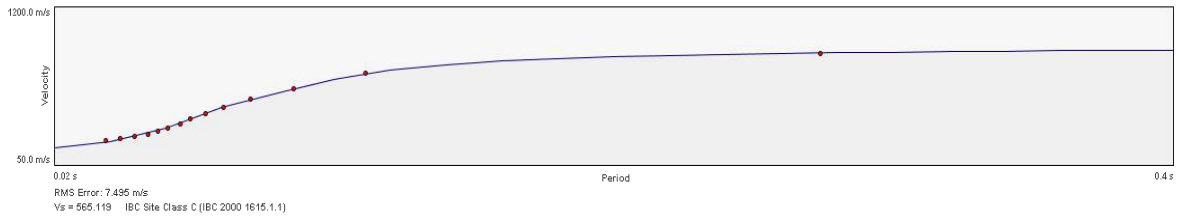
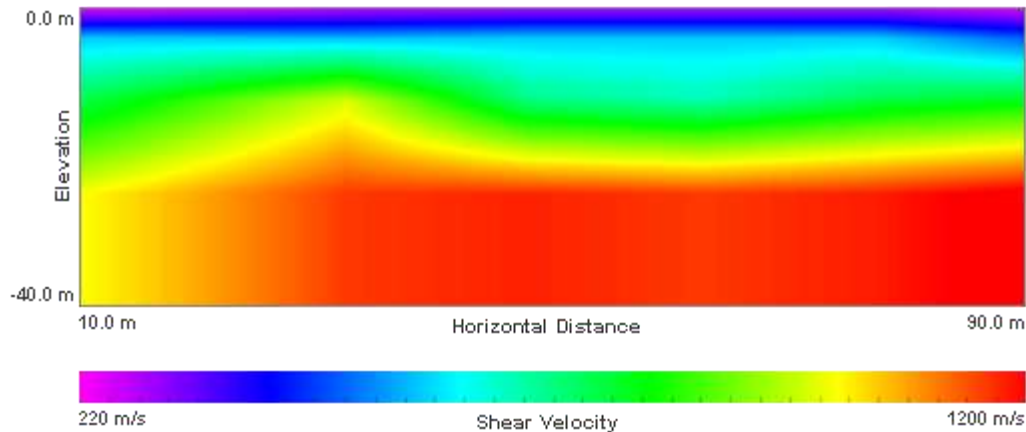


Figura 103. Dispersión y ajuste para la Línea U-PO-LG-09

	Density	Shear Velocity
3.0 m	1.8 g/cc	201.532 m/s
7.4 m	1.8 g/cc	324.872 m/s
11.2 m	1.8 g/cc	652.605 m/s
16.8 m	1.8 g/cc	899.285 m/s
40.0 m	1.8 g/cc	1016.752 m/s

Figura 104. Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S) Línea U-PO-LG-09



**Figura 105. Tomografía - Perfil de velocidad de propagación de onda de corte (S)
Línea U-PO-LG-09**

En la Figura 106 se muestra el resultado del sondeo eléctrico vertical P-PO-SEV-01 en el que se observa la presencia de cuatro 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 25.9%. En general, los resultados permiten identificar la siguiente estratigrafía:

- ✓ La primera capa cuenta con un espesor de 1.18 m con resistividad de 4055 Ω .m.
- ✓ La segunda capa tiene un espesor de 0.439 m con resistividad de 42519 Ω .m.
- ✓ Desde los 1.62 m hasta 30 m de profundidad existe un cambio de material con valores de resistividad de 4271 Ω .m.

En el Sondeo P-PO-SEV-01 se distinguieron tres capas de materiales que en términos hidrogeológicos no mostraron valores de resistividad suficientes para interpretar que alguna de las capas que lo conforman tenga la capacidad de almacenar líquidos.

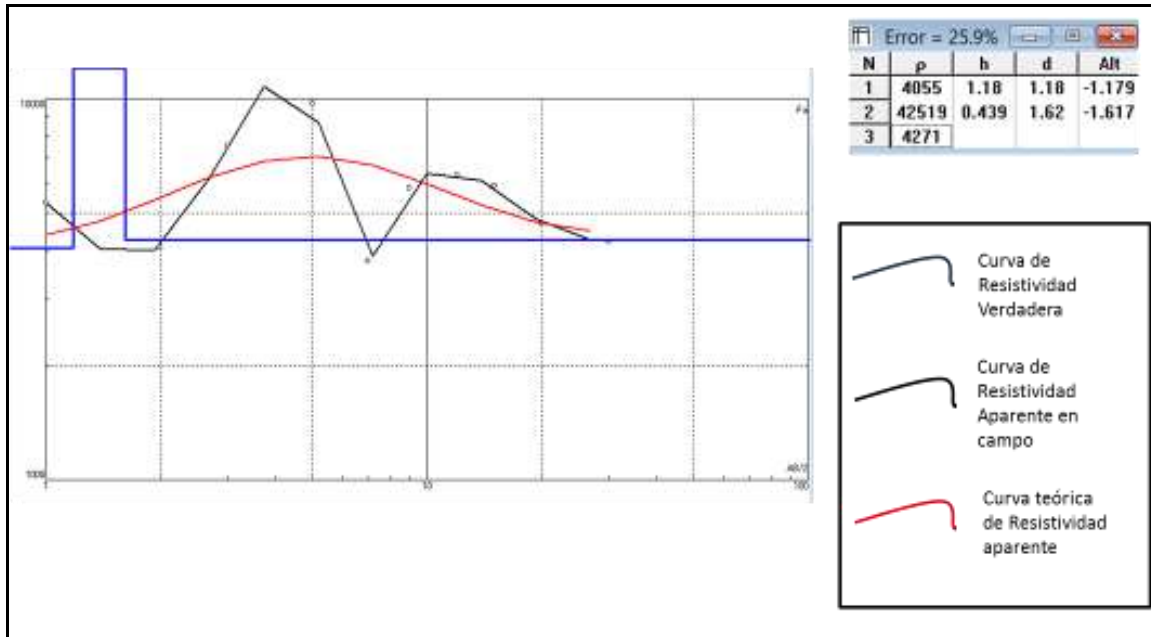


Figura 106. Curva de resistividad vs profundidad (AB/2), P-PO-SEV-01.

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, 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 27 presenta el resumen de los resultados de los ensayos de clasificación y en la Tabla 28 se presentan las variables de estado de algunas de las muestras tomadas durante la campaña exploratoria.

Tabla 27. Resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio

Sondeo	Muestra	Profundidad [m]	Estrato	w [%]	LL [%]	IP [%]	IC	% Gravas	% Arenas	% Finos	USCS
P-PO-PR-07	M5	4-4.50	Lleno antrópico	34.50	49.00	15.00	0.97	5.00	35.00	60.00	ML
P-PO-PR-11	M3	2-2.50	Lleno antrópico	39.50	55.00	21.00	0.74	7.00	23.00	70.00	MH
P-PO-PR-12	M3	2-2.50	Lleno antrópico	32.20	52.00	11.00	1.80	39.00	27.00	34.00	GM
P-PO-PR-06	M3	2-2.50	Depósito de flujo de lodos y/o escombros	34.90	43.00	7.00	1.16	2.00	23.00	75.00	ML
P-PO-PR-07	M11	10-10.50	Depósito de flujo de lodos y/o escombros	36.50	48.00	33.00	0.35	6.00	38.00	56.00	CL
P-PO-PR-11	M5	4-4.50	Depósito de flujo de lodos y/o escombros	39.60	55.00	18.00	0.86	9.00	23.00	68.00	MH
P-PO-PR-12	M6	5-5.50	Depósito de flujo de lodos y/o escombros	37.80	49.00	15.00	0.75	2.00	27.00	71.00	ML
P-PO-PR-12	M12	10-10.50	Depósito de flujo de lodos y/o escombros	0.50	48.00	12.00	3.96	1.00	21.00	78.00	ML



 <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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	 <p>edu[®] Empresa de Desarrollo Urbano</p>
--	---	--

Tabla 27. Resumen de los resultados de los ensayos de laboratorio

Sondeo	Muestra	Profundidad [m]	Estrato	w [%]	LL [%]	IP [%]	IC	% Gravas	% Arenas	% Finos	USCS
P-PO-PR-12	M20-M21	16-17.50	Depósito de flujo de lodos y/o escombros	30.90	45.00	8.00	1.76	5.00	23.00	72.00	ML
P-PO-PR-13	M5	4-4.50	Depósito de flujo de lodos y/o escombros	32.30	61.00	29.00	0.99	27.00	27.00	46.00	SM
P-PO-PR-13	M8	7-7.50	Depósito de flujo de lodos y/o escombros	36.10	56.00	21.00	0.95	23.00	24.00	53.00	MH
P-PO-PR-13	M12	11-11.50	Depósito de flujo de lodos y/o escombros	50.00	56.00	19.00	0.32	7.00	33.00	60.00	MH
P-PO-PR-13	M20	19-19.50	Depósito de flujo de lodos y/o escombros	39.20	60.00	23.00	0.90	12.00	26.00	62.00	MH
U-PO-PP-06	M4-M6	1.8-2.30	Depósito de flujo de lodos y/o escombros	36.10	52.00	16.00	0.99	1.00	26.00	73.00	MH
P-PO-PR-06	M5	4-4.50	Residual (IB-IC) de Dunitas de Medellín	62.90	82.00	37.00	0.52	5.00	20.00	75.00	MH
P-PO-PR-06	M19	18-18.50	Residual (IB-IC) de Dunitas de Medellín	92.40	87.00	40.00	-0.14	0.00	11.00	89.00	MH
P-PO-PR-08	M1	0-1.00	Residual (IB-IC) de Dunitas de Medellín	37.50	60.00	15.00	1.50	0.00	23.00	77.00	MH
P-PO-PR-08	M3	2-2.50	Residual (IB-IC) de Dunitas de Medellín	61.40	66.00	11.00	0.42	0.00	10.00	90.00	MH
P-PO-PR-08	M5	4-4.50	Residual (IB-IC) de Dunitas de Medellín	51.00	86.00	34.00	1.03	4.00	19.00	77.00	MH
P-PO-PR-08	M8	7-7.50	Residual (IB-IC) de Dunitas de Medellín	21.20	54.00	22.00	1.49	72.00	11.00	16.00	GM
U-PO-PP-04	M2-M3	0.5-1.50	Residual (IB-IC) de Dunitas de Medellín	30.30	43.00	3.00	4.23	1.00	30.00	69.00	ML
U-PO-PP-04	M6	2.3-2.70	Residual (IB-IC) de Dunitas de Medellín	43.30	55.00	9.00	1.30	0.00	14.00	86.00	MH
U-PO-PP-04	M16	6.8-7.20	Residual (IB-IC) de Dunitas de Medellín	22.30	51.00	12.00	2.39	35.00	35.00	30.00	SM
U-PO-PP-06	M10-M11	4.5-5.00	Residual (IB-IC) de Dunitas de Medellín	37.30	64.00	22.00	1.21	4.00	35.00	61.00	MH
P-PO-PR-07	M16	15-15.50	Transición (IIA) de Dunitas de Medellín	53.70	120.00	63.00	1.05	36.00	22.00	42.00	GM

Tabla 28. Variables de estado de algunas de las muestras ensayadas

Sondeo	Muestra	Profundidad [m]	Estrato	w [%]	Gs	e	S [%]
P-PO-PR-11	M3	2-2.50	Lleno antrópico (QII)	39.50	2.94	1.46	79.18
P-PO-PR-12	M3	2-2.50	Lleno antrópico (QII)	32.20	2.95	1.34	70.58
P-PO-PR-07	M11	10-10.50	Depósito de flujo de lodos y/o escombros	36.50	2.92	1.34	79.50
P-PO-PR-13	M12	11-11.50	Depósito de flujo de lodos y/o escombros	50.00	3.03	1.67	90.71
U-PO-PP-06	M4-M6	1.8-2.30	Depósito de flujo de lodos y/o escombros	36.10	3.12	1.50	75.34
P-PO-PR-06	M5	4-4.50	Residual (IB-IC) de Dunitas de Medellín	62.90	3.02	2.02	94.19
P-PO-PR-08	M1	0-1.00	Residual (IB-IC) de Dunitas de Medellín (JKuM)	37.50	3.07	1.42	81.07
U-PO-PP-04	M2-M3	0.5-1.50	Residual (IB-IC) de Dunitas de Medellín (JKuM)	30.30	3.14	1.34	70.71
U-PO-PP-04	M16	6.8-7.20	Residual (IB-IC) de Dunitas de Medellín (JKuM)	22.30	2.89	1.03	62.69
U-PO-PP-06	M10-M11	4.5-5.00	Residual (IB-IC) de Dunitas de Medellín (JKuM)	37.30	3.07	1.41	80.84

Para el análisis de esta información se trazaron las gráficas que se presentan en la Figura 107 hasta la Figura 110. 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.

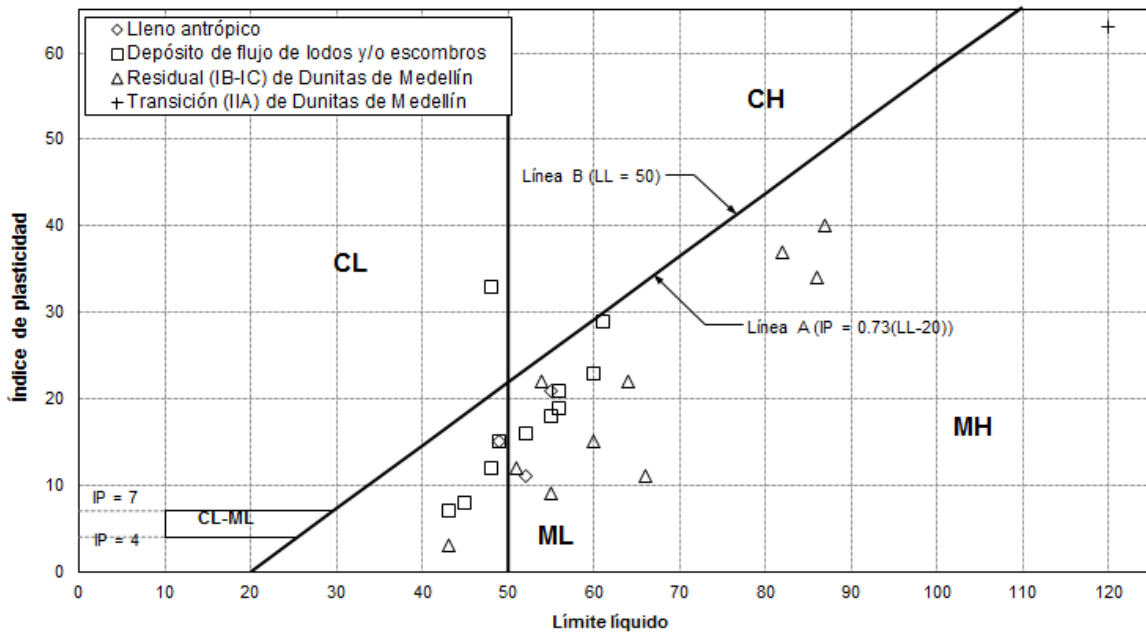


Figura 107. Ensayos de clasificación en Carta de Plasticidad de Casagrande

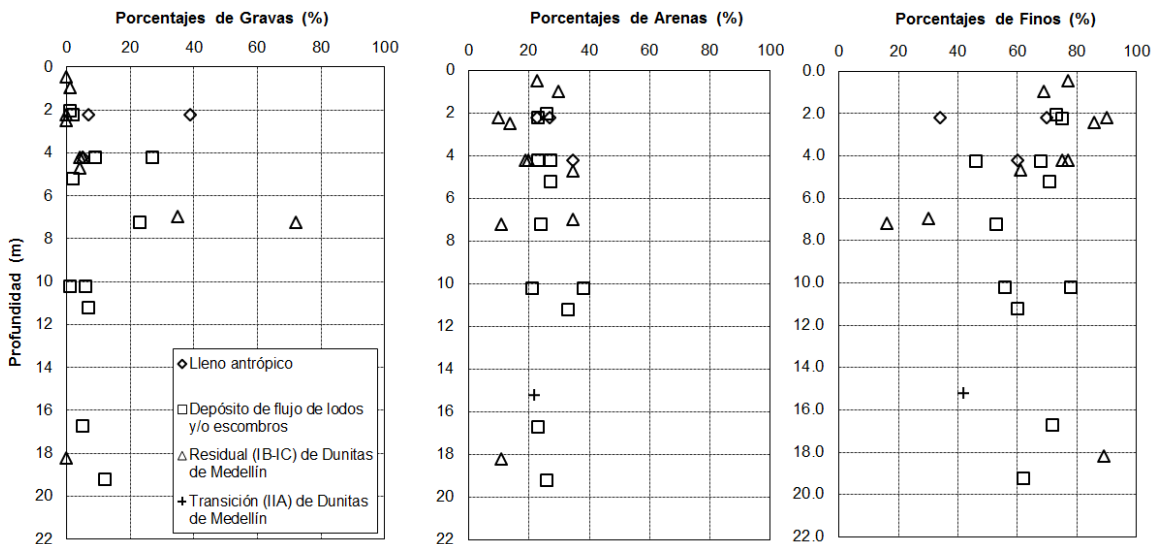


Figura 108. Porcentajes de gravas, arenas y finos variando con la profundidad

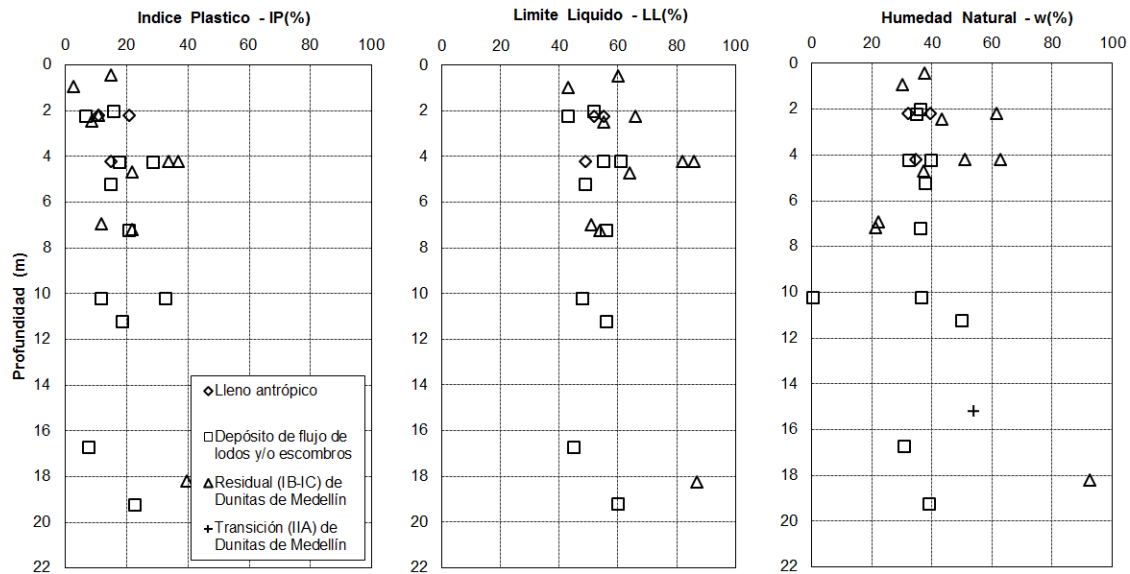


Figura 109. Índice plástico, límite líquido y humedad natural variando con la profundidad.

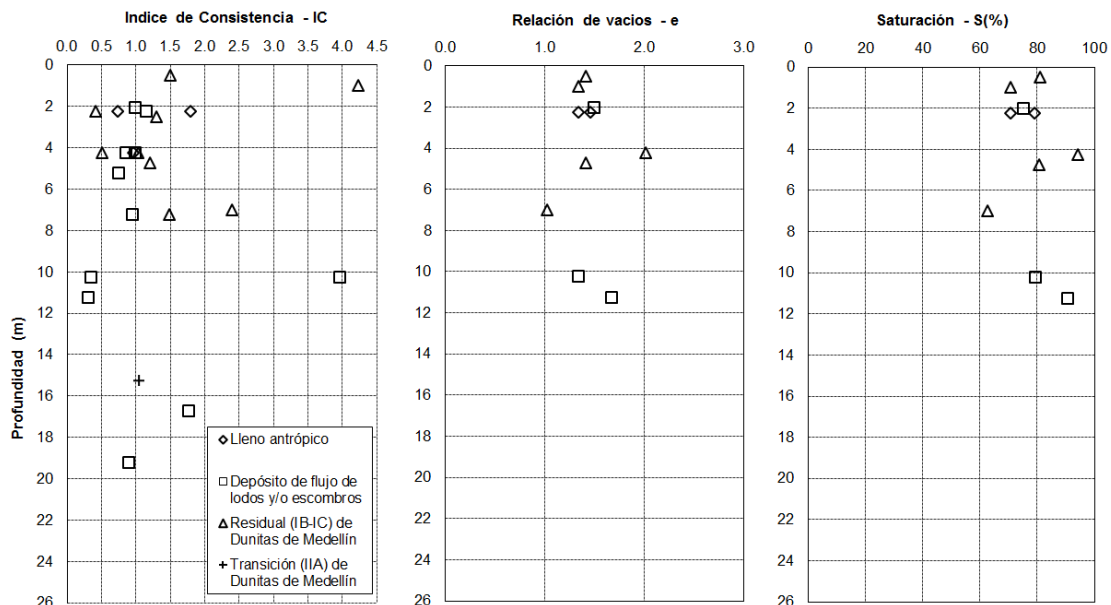




Figura 110. Índice de consistencia, relación de vacíos y saturación variando con la profundidad.

En los llenos antrópicos predomina la fracción fina, con un contenido de gravas entre 5% y 39%, un contenido de arenas variando de 23% a 35% y una fracción fina del 34% al 60%. En general, la fracción fina de los llenos antrópicos caracterizados presenta límites líquidos por encima de 50%, límites plásticos variando entre 34% y 41%, e índices 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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

plasticidad entre 11% y 21%, de manera que se tienen materiales altamente plásticos. Por su parte, la gravedad específica de estos materiales es en promedio 2.9, lo cual permite inferir la presencia de minerales pesados en la composición del estrato, mientras que la relación de vacíos promedio de 1.4 indica que se está ante materiales porosos. Finalmente, la saturación de los materiales se encuentra en valores cercanos al 80% y la consistencia de estos materiales varía de blanda a dura. De acuerdo con lo anterior, los llenos antrópicos se caracterizan por ser materiales heterógeneos y porosos. La fracción fina tiene un comportamiento parecido, puesto que en la mayoría de los casos clasificó como limo de alta plasticidad MH, al igual que los suelos residuales de la zona, ello debido a que los llenos se componen de una combinación de materiales antrópicos (adobes, vidrios, plástico) y suelo de la zona.



En los depósitos de flujos de lodos y/o escombros predominó la fracción fina, con un contenido entre el 46% y el 78% de finos, del 31% al 38% de arenas y entre 1% y 27% para las gravas. La fracción fina de las muestras se caracterizó por tener límites líquidos entre el 43% y 51% (ambos lados de la Línea B), un límite plástico medio de 36% e índices de plasticidad que van de 7% hasta 33%, quedando la mayoría por debajo de la Línea A. De acuerdo con lo anterior, las muestras analizadas clasificaron en gran parte como limos de alta plasticidad (MH) y baja plasticidad (ML), según el Sistema de Clasificación Unificada de Suelos. La gravedad específica de los materiales tiene un valor promedio de 3.0, indicando la presencia de minerales pesados, por su parte se tiene una relación de vacíos promedio de 1.50 y saturación promedio del 82%. La consistencia varió de blanda a dura.

En los suelos residuales (IB-IC) de Dunitas predominó la fracción fina, con un contenido entre 19% y 90% de finos, 10% a 35% de arenas y 0% a 72% de gravas. La fracción fina de la mayoría de las muestras presentó límites líquidos superiores a 50% (derecha de la Línea B), límites de plasticidad entre 32% y 55% e índices de plasticidad variando de 3% a 40% (debajo de la Línea A). De acuerdo con lo anterior, la mayoría de las muestras analizadas clasificaron como limos de alta plasticidad (MH), con base en el Sistema de Clasificación Unificada de Suelos. La gravedad específica de los materiales varía de 2.9 a 3.1, lo cual permite la presencia de minerales pesados. Por su parte, se tienen relaciones de vacíos entre 1.0 y 2.0, mostrando que se tienen materiales porosos, con saturaciones entre el 62% y el 94%, así como consistencias de blandas a duras.

En la matriz de la Transición IIA de Dunitas predominó la fracción gruesa con un 36% de gravas, 22% de arenas y 42% de finos. El límite líquido tiene un valor de 120 (a la derecha de la Línea B), el límite plástico es de 57%, obteniendo un índice plasticidad de 63% (debajo de la Línea A), de manera que el material clasifica como un limo de alta plasticidad (MH), de acuerdo con el Sistema de Clasificación Unificada de Suelos.

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

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	--	---

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. En el Polígono Pinares de Oriente se pudieron ejecutar ocho ensayos de corte directo modalidad CD.

- ✓ Una muestra P-PO-PR-08-M4, a 3.45 m de profundidad en residual (IB-IC) de las dunitas de Medellín.
- ✓ Una muestras P-PO-PR-08-M6, a 5.45 m de profundidad en residual (IB-IC) de las dunitas de Medellín.
- ✓ Una muestra P-PO-PR-12-M8, a 7.30 m de profundidad en depósito de flujo de lodos y/o escombros.
- ✓ Una muestra U-PO-PP-04-M4, a 1.50 m de profundidad en residual (IB-IC) de las dunitas de Medellín.
- ✓ Una muestra U-PO-PP-06-M5, a 2.25 m de profundidad en depósito de flujo de lodos y/o escombros.
- ✓ Una muestras UPO02-M1, a 1.0 m de profundidad en residual (IB-IC) de las dunitas de Medellín.
- ✓ Una muestra P-PO-PR-11-M4 a 3.50 m de profundidad en depósitos de vertiente flujo de lodos y/o escombros
- ✓ Una muestra P-PO-PR-13-M4 a 3.50 m de profundidad en depósitos de vertiente flujo de lodos y/o escombros.

En la Tabla 29 se presenta un resumen de las propiedades y parámetros de resistencia al corte de las muestras ensayadas.

Tabla 29. Resultados ensayos de corte directo modalidad CD

Sondeo - Muestra	Profundidad [m]	Estrato	w [%]	γ_h [kN/m ³]	γ_d [kN/m ³]	G _s	e	S [%]	c' [kPa]	ϕ' [°]
P-PO-PR-08-M4	3.45	Residual (IB-IC) de las Dunitas de Medellín.	47.0	15.1	10.3	3.07	2.00	75.00	21.00	22.00
P-PO-PR-08-M6	5.45	Residual (IB-IC) de las Dunitas de Medellín.	43.0	15.7	10.5	3.07	1.80	74.00	32.00	23.00
P-PO-PR-12-M8	7.30	Depósito de flujo de lodos y/o escombros.	26.0	18.3	14.3	2.95	1.04	76.00	13.00	21.00
U-PO-PP-04-M4	1.50	Residual (IB-IC) de las Dunitas de Medellín.	39.2	17.7	12.7	3.09	1.52	73.30	21.00	27.00
U-PO-PP-06-M5	2.25	Depósito de flujo de lodos y/o escombros.	32.0	17.9	13.5	2.98	1.14	82.20	38.00	21.00
U-PO-02-M1	1.00	Residual (IB-IC) de las Dunitas de Medellín.	27.3	19.2	13.9	3.01	1.20	77.00	35.00	24.00
P-PO-PR-11-M4	3.50	Depósito de flujo de lodos y/o escombros.	38.4	16.0	11.5	2.94	1.49	75.00	37.00	25.00
P-PO-PR-13-M4	3.30	Depósito de flujo de lodos y/o escombros.	18.7	16.5	13.8	3.03	1.12	48.70	0.00	21.00

De la Figura 111 a la Figura 118, se presentan las envolventes de los resultados de cada uno de los ensayos de corte directo realizados para las muestras en el Polígono Pinares de Oriente.

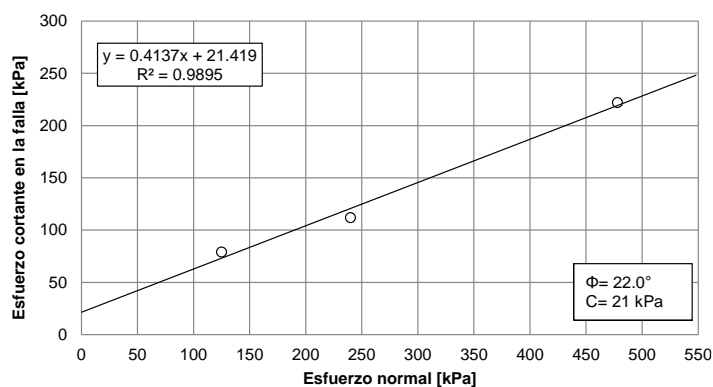


Figura 111. Resultados corte directo Muestra P-PO-PR-08-M4 a 3.45 m de profundidad

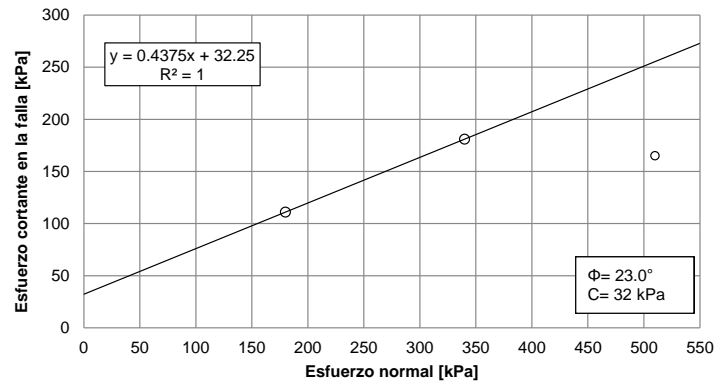


Figura 112. Resultados corte directo Muestra P-PO-PR-08-M6 a 5.45 m de profundidad

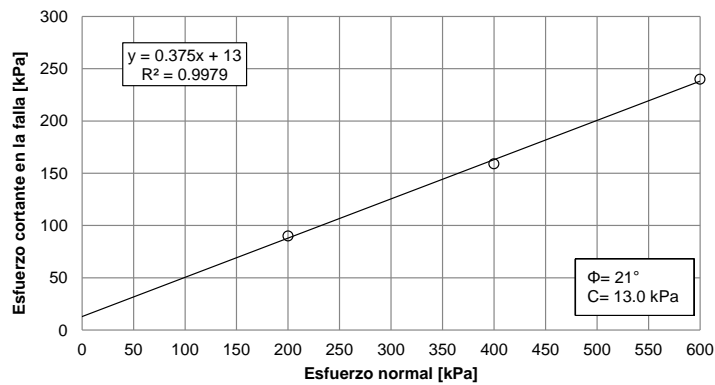


Figura 113. Resultados corte directo Muestra P-PO-PR-12-M8 a 7.30 m de profundidad

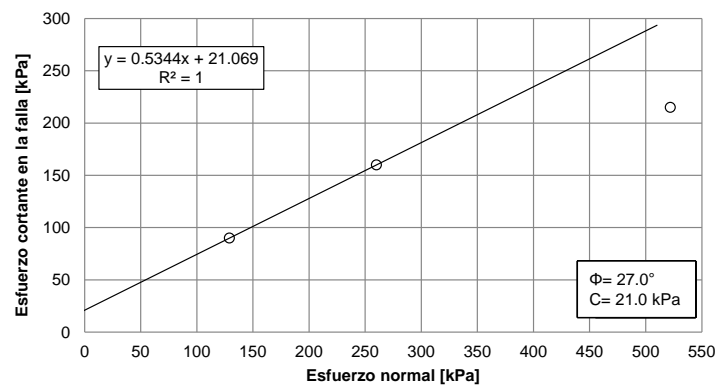


Figura 114. Resultados corte directo Muestra U-PO-PP-04-M4 a 1.50 m de profundidad

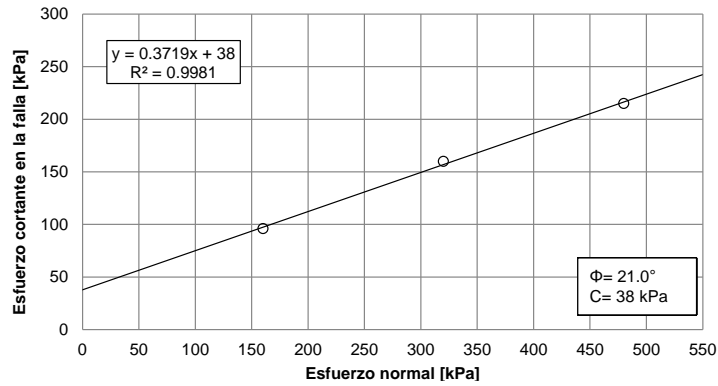


Figura 115. Resultados corte directo Muestra U-PO-PP-06-M5 a 2.25 m de profundidad

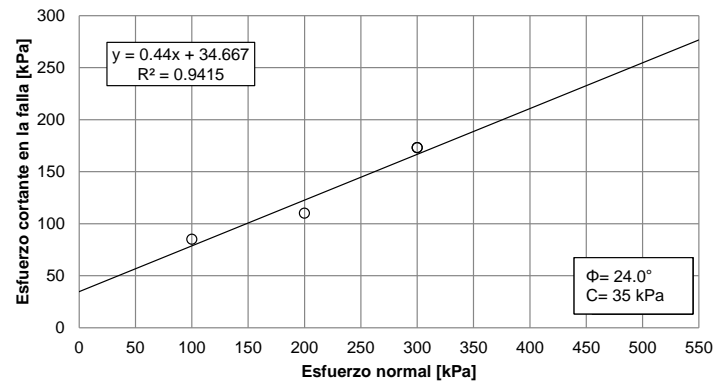


Figura 116. Resultados corte directo Muestra U-PO-02-M1 a 1.00 m de profundidad

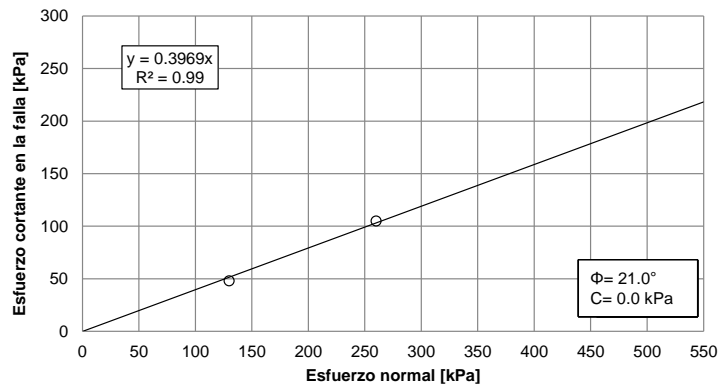


Figura 117. Resultados corte directo Muestra P-PO-PP-11-M4 a 3.50 m de profundidad

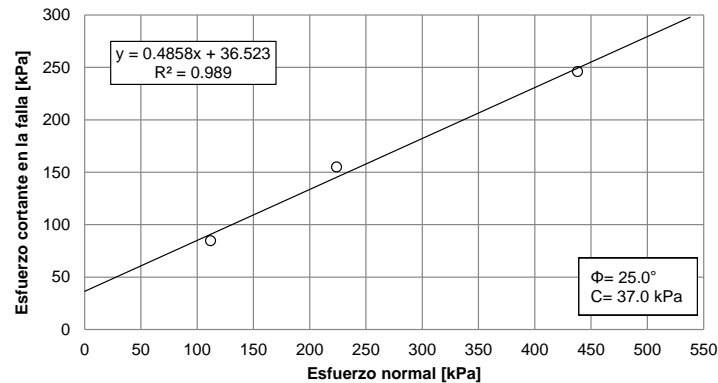


Figura 118. Resultados corte directo Muestra P-PO-PP-13-M4 a 3.30 m de profundidad

10.3 PARÁMETROS DE RESISTENCIA AL CORTE DE LOS MATERIALES

10.3.1 Aspectos generales

Como parte del proceso de caracterización de los materiales, fueron recopilados todos los ensayos de resistencia al corte realizados en la zona de interés. Los ensayos de resistencia al corte considerados de los diferentes estudios, fueron aquellos ejecutados bajo modalidad drenada o en su defecto no drenada con medición de presiones de poros, de tal forma que se pudieran obtener los parámetros de resistencia al corte en condiciones efectivas. Los estudios de los consultores que cumplieron las características anteriores fueron los de las empresas DEACIVIL (2014), GEOCING S.A.S (2012) y además los ensayos de resistencia al corte ejecutados por el Proyecto en proyectos cercanos a la zona de estudio y ensayos propios del proyecto.

Los resultados de los ensayos de laboratorio recopilados y compilados fueron inicialmente clasificados al interior de la base de datos de acuerdo con la formación geológica asociada. La base de datos presenta adicionalmente información como localización, sitio al cual se le podría asociar para este proyecto, identificación y profundidad de la muestra y finalmente los parámetros de resistencia al corte en condiciones efectivas (cohesión efectiva, ángulo de fricción interna efectiva y peso unitario húmedo).

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 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.

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 120.

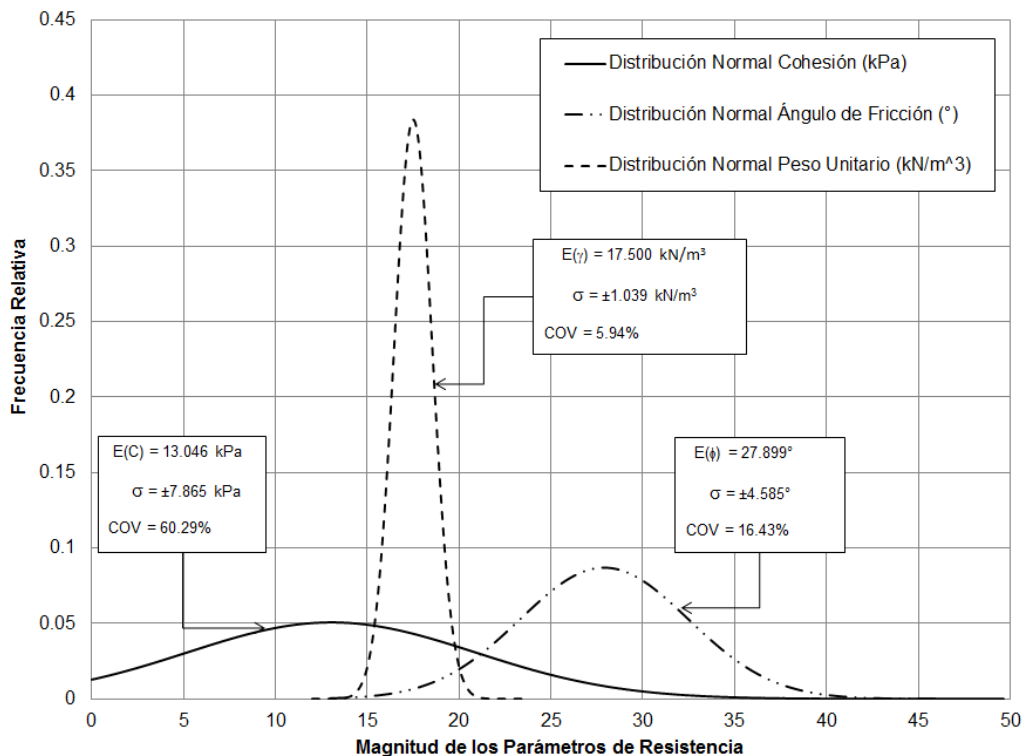




Figura 119. Análisis estadístico parámetros de resistencia al corte del lleno antrópico

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.

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

- ✓ 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 .

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 120.

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 $\pm 12.431 \text{ kPa}$. 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 .

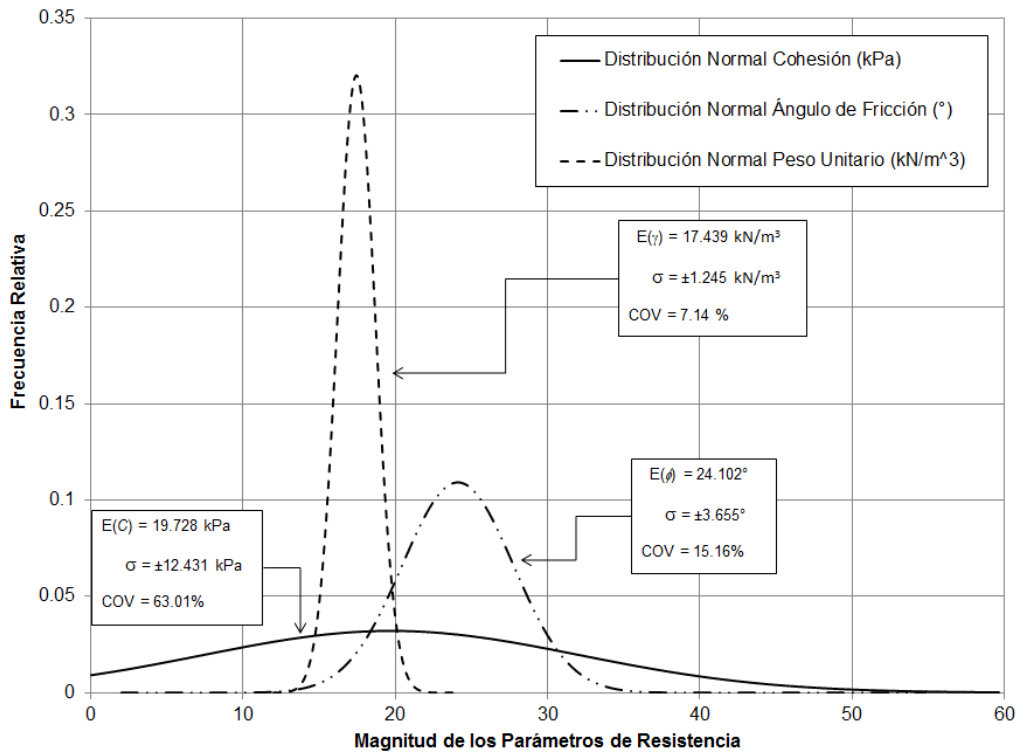


Figura 120. Análisis estadístico parámetros de resistencia al corte del depósito de vertiente

10.3.4 Depósitos de deslizamiento

Para determinar los parámetros de resistencia al corte de este material, se optó en primera instancia por tener en cuenta los resultados de los ensayos de resistencia al corte de los estudios realizados por el Proyecto, determinando para estos ensayos los parámetros de resistencia residual. Se obtuvo así un valor de ángulo de fricción interna promedio de 24° y una cohesión promedio de 16 kPa.

A partir de esta información se hicieron análisis de tipo regresivo. Para el análisis se consideró una sección donde aflora el depósito de deslizamiento. Se establece que presenta condiciones de estabilidad bajas representadas por factores de seguridad no mayores que 1.2. Los resultados de los análisis de estabilidad efectuados se presentan en la Figura 121.

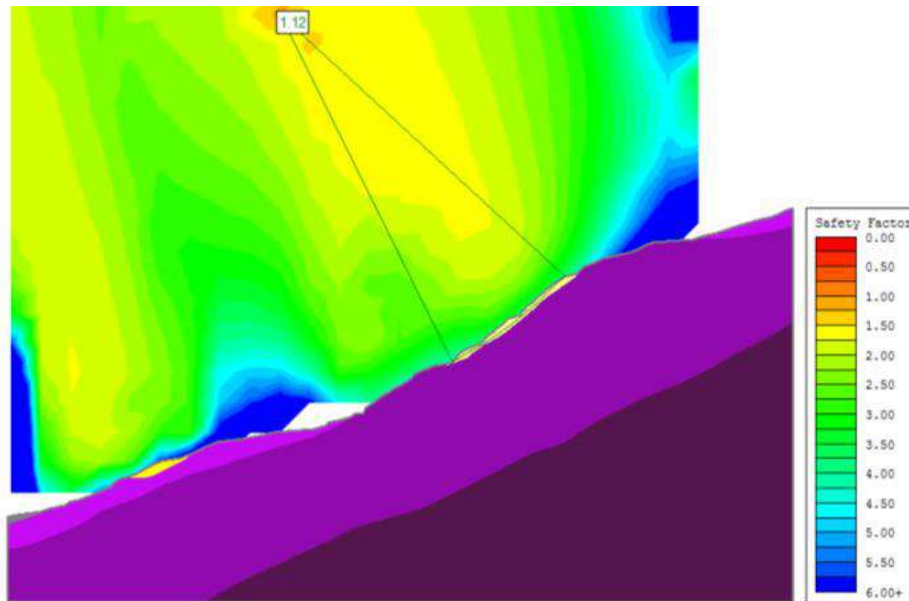


Figura 121. Análisis de estabilidad de talud estable

Para estos análisis de estabilidad se utilizó el programa SLIDE V6 (Rocscience, 2006). El programa resuelve problemas bidimensionales por el método del equilibrio límite, utilizando entre otros métodos los propuestos por Bishop, Spencer y Morgenstern-Price, para superficies de falla circulares y no circulares. Permite considerar variaciones de los niveles piezométricos (construyendo las redes de flujo por el método de los elementos finitos), distribuciones de presión de poros y variación de los coeficientes de la relación de presión de poros. Adicionalmente, permite estimar la probabilidad de falla al asignar valores promedio y desviación estándar a cada una de las propiedades de los materiales asociados a la superficie de deslizamiento. Se empleó la teoría de Spencer asumiendo una función de fuerza interdovelas de constante a media altura, debido a que esta satisface todas las condiciones de equilibrio de fuerzas y momentos.

Se puede observar que efectivamente, el factor de seguridad para la superficie de falla más crítica tiene un valor cercano a 1.1. Por lo tanto se concluye que los parámetros obtenidos representan las condiciones de campo.

10.3.5 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 120.

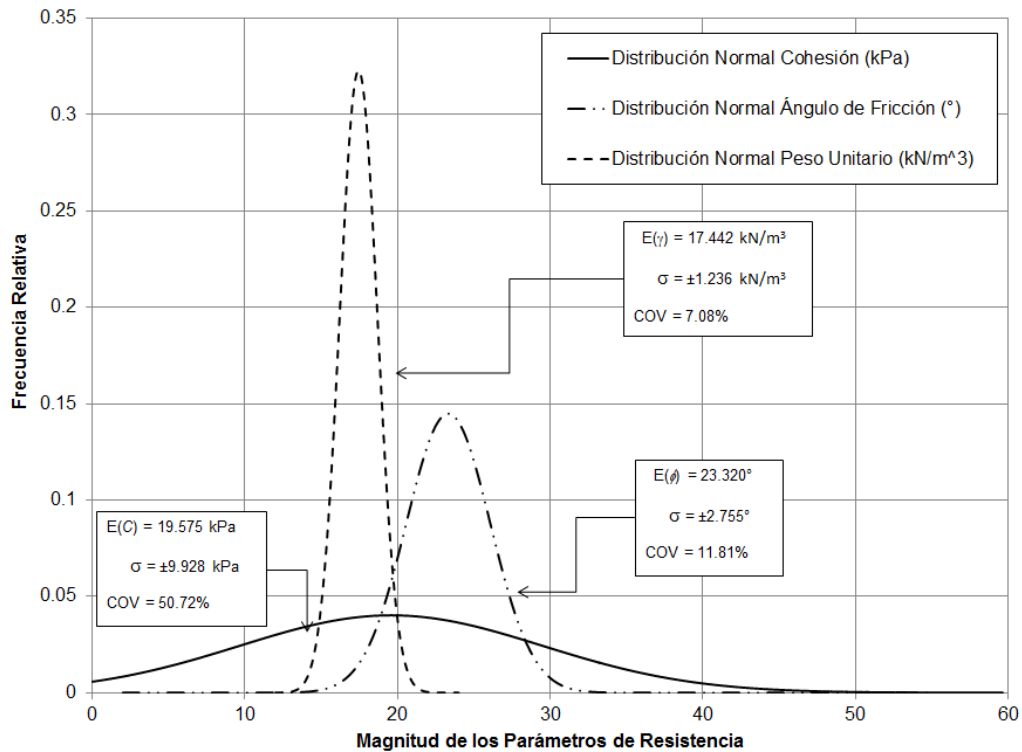


Figura 122. Análisis estadístico parámetros de resistencia al corte del depósito de vertiente tipo flujo de lodos

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 ± 2.755°, 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/m³ con una desviación estándar asociada de ±1.236 kN/m³. 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.

10.3.6 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 123.

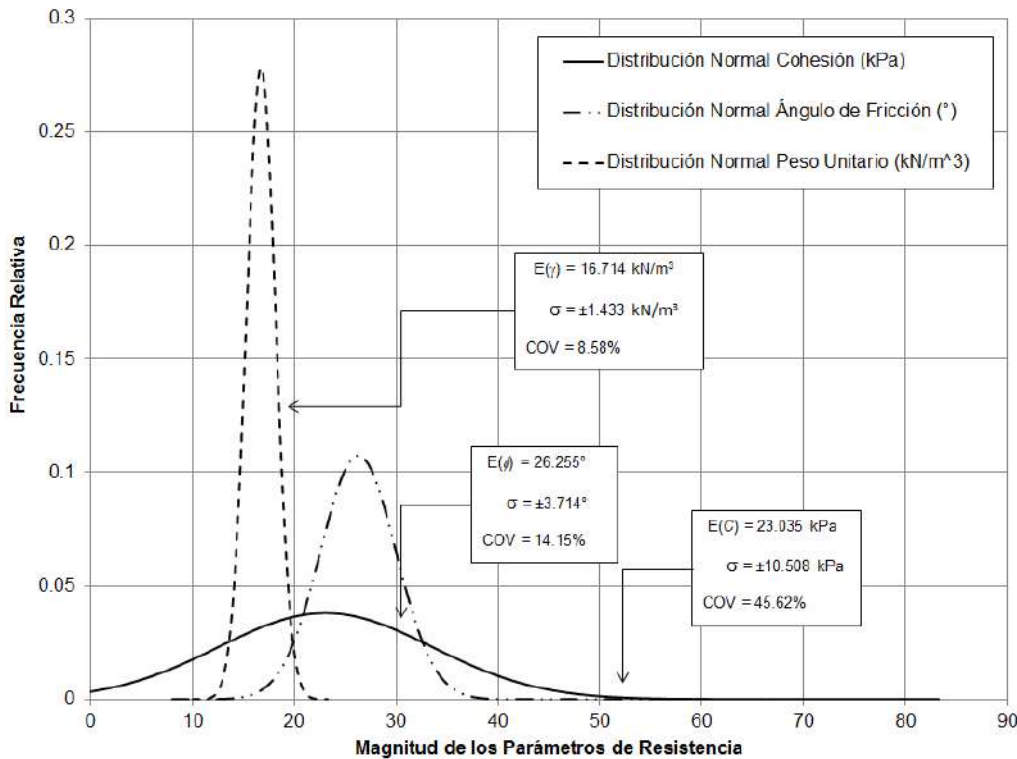


Figura 123. Análisis estadístico parámetros de resistencia al corte de los suelos residuales derivados de las Dunitas

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.

- ✓ 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.

10.3.7 Análisis variacional de los parámetros de resistencia al corte



En la Tabla 30 se presenta el resumen de los parámetros obtenidos para los diferentes materiales.

Tabla 30. 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 (%)
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

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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</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 Pinares de Oriente, así como el régimen de precipitaciones que caracteriza a la Unidad Morfodinámica Independiente Pinares de Oriente. 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.

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 en Abril de 2015

Las zonas cubiertas por cada una de las cartografías empleadas en el estudio se pueden observar en el Mapa 23. 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

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
--	---	--

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 la siguiente información de las estaciones hidrometeorológicas de las estaciones pluviométricas y pluviográficas que se encuentran ubicadas en la zona de estudio o cerca de ella:

- ✓ 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).

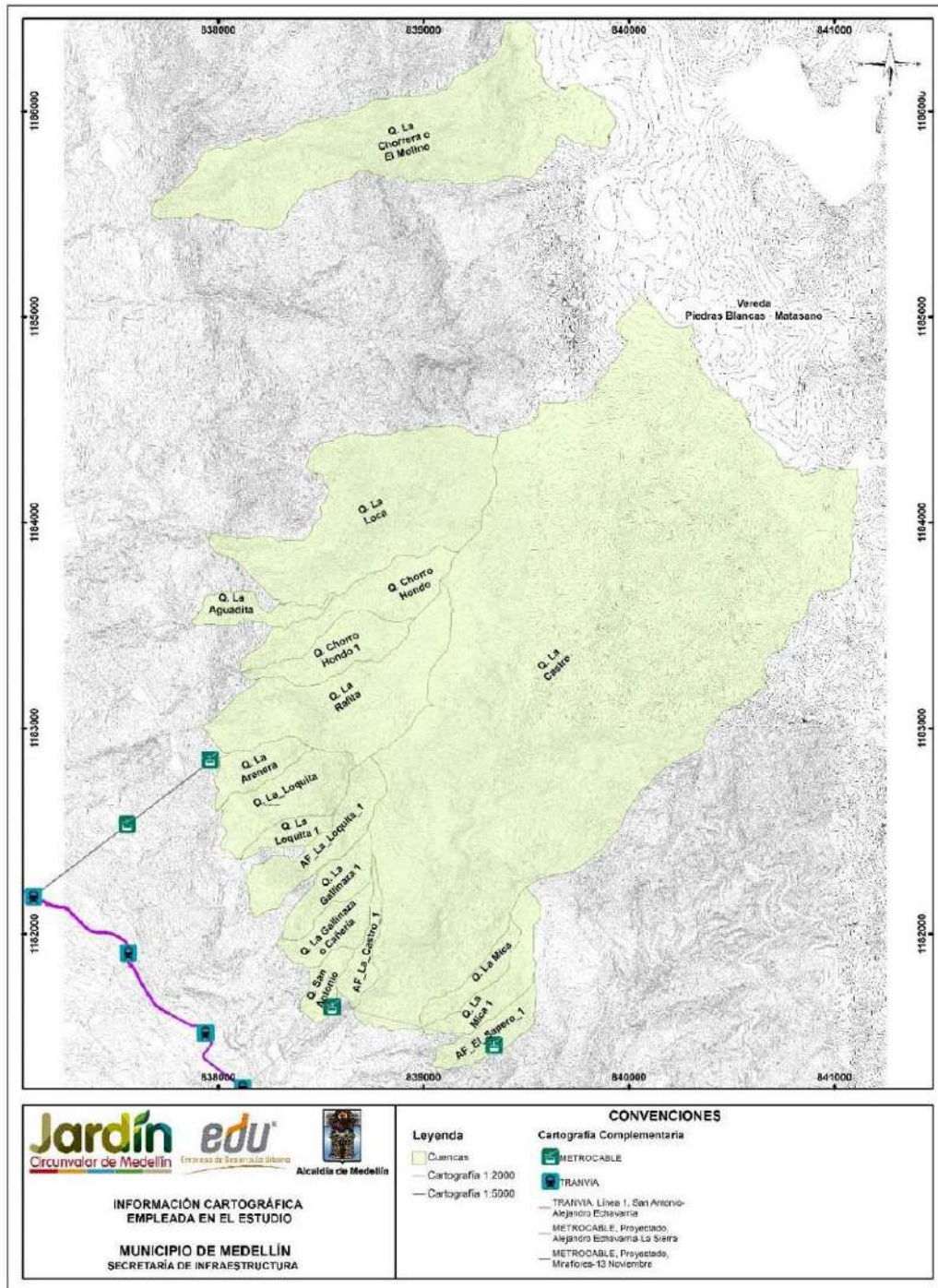
Como insumo importante para este estudio, la Empresa de Desarrollo Urbano suministró estudios previos relacionados con hidrología e hidráulica en algunos de los cauces que son objeto del presente estudio. Los estudios suministrados por la EDU corresponden a los siguientes:

- ✓ Estudios y diseños hidrológicos, hidráulicos y estructurales de los cauces influenciados por los proyectos del piloto Cinturón Verde metropolitano, realizado por INGEOCILCON (2014).
- ✓ Revisión de la información de los estudios y diseños hidrológicos, hidráulicos y estructurales de los cauces influenciados por los proyectos del piloto cinturón verde metropolitano tramo 1 sector c cerro Pan de Azúcar camino de la vida, realizado por CONCAVAS (2013).

En los primeros estudios, realizados por INGEOCILCON, se encuentran los análisis hidrológicos e hidráulicos para 17 quebradas del llamado Cinturón Verde. De estas 17 corrientes, hay cuatro quebradas que intervienen en el polígono objeto de este estudio, las cuales son Chorro Hondo, La Loca, El Molino y La Aguadita.

En los estudios realizados por CONCAVAS, se encuentran los estudios hidrológicos e hidráulicos para seis quebradas del llamado Cinturón Verde. De estas seis corrientes hay cuatro quebradas que intervienen en los polígonos objeto de este estudio, siendo estas La Loquita, La Arenera, San Antonio y La Rafita.

De esta manera, de cada una de las corrientes mencionadas se tiene un estudio hidráulico e hidrológico realizado por INGEOCILCON o por CONCAVAS, en puntos que a pesar de no coincidir precisamente con los puntos de interés para este proyecto, se tuvieron en cuenta como punto de referencia. Del componente hidrológico se destaca la regionalización hecha por INGEOCILCON a partir de los resultados obtenidos para las 17 cuencas mediante el método racional para la estimación de caudales máximos.



Mapa 23. Información cartográfica empleada en el estudio
(PDOInformacioncartograficaempleadaenelestudio_Medellin_C)

11.3 ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS Y RÉGIMEN DE PRECIPITACIÓN

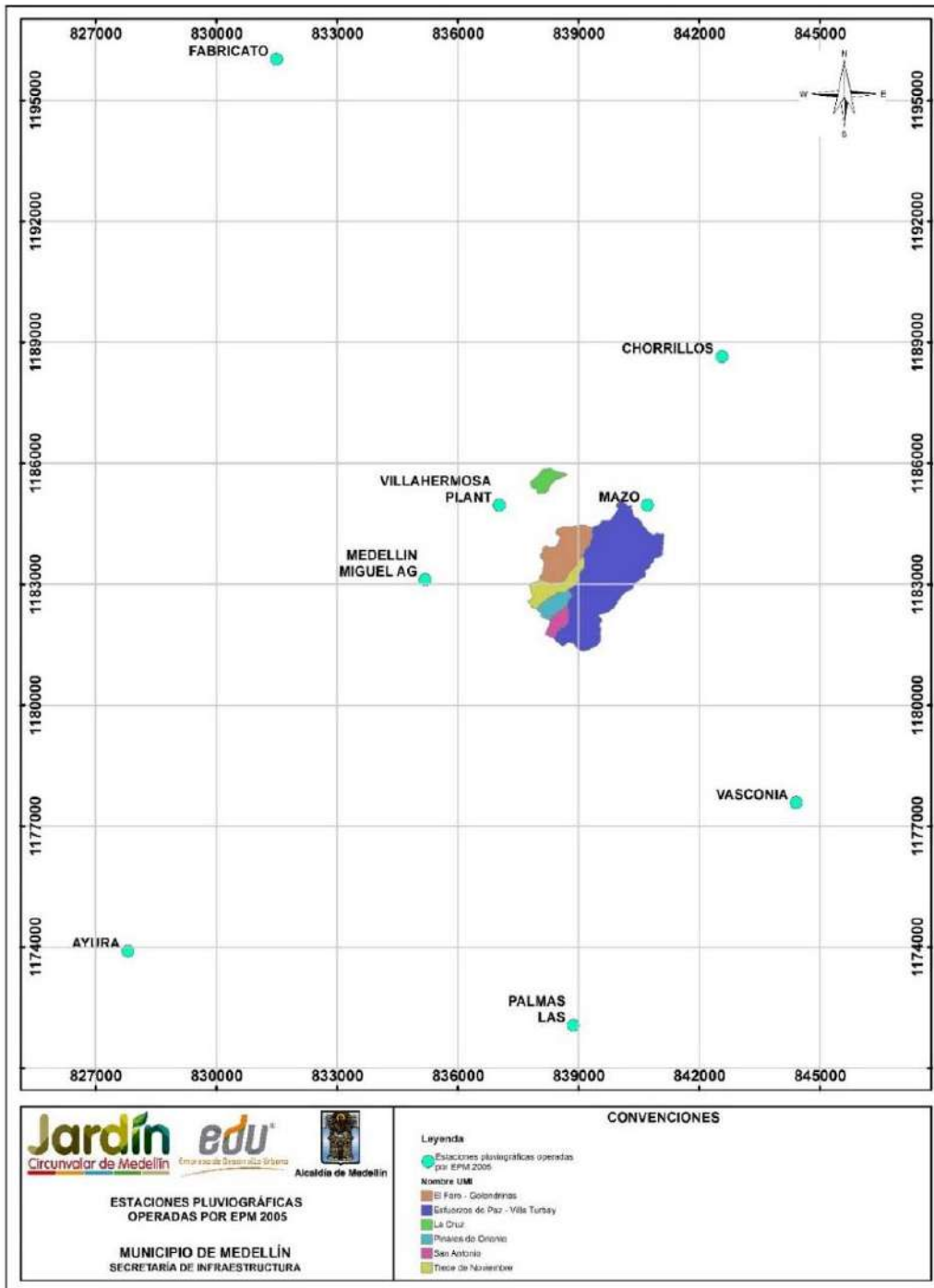
En la zona de estudio o cerca de ella se encuentran instaladas diversas estaciones pluviométricas que han registrado las precipitaciones durante años. Las entidades que operan actualmente estas estaciones son: Empresas Públicas de Medellín (EPM), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM) y el Sistema de Alerta Temprana del Valle de Aburrá (SIATA). Entre todas estas estaciones, las de mayor interés para este 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 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 31 se presenta un listado de las estaciones consideradas y en el Mapa 24 se muestra la ubicación de estas con respecto a la zona de estudio.

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 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 31). En el Anexo 04 se muestra el mapa con la variación de la precipitación media multianual.

Tabla 31. 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



Mapa 24. Estaciones pluviográficas operadas por EPM 2005
(PDOEstacionesPluviograficasOperadasEPM2005_Medellin_C)

11.3.1 Estación Planta Villa Hermosa

En la gráfica de la izquierda de la Figura 124 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 124 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.

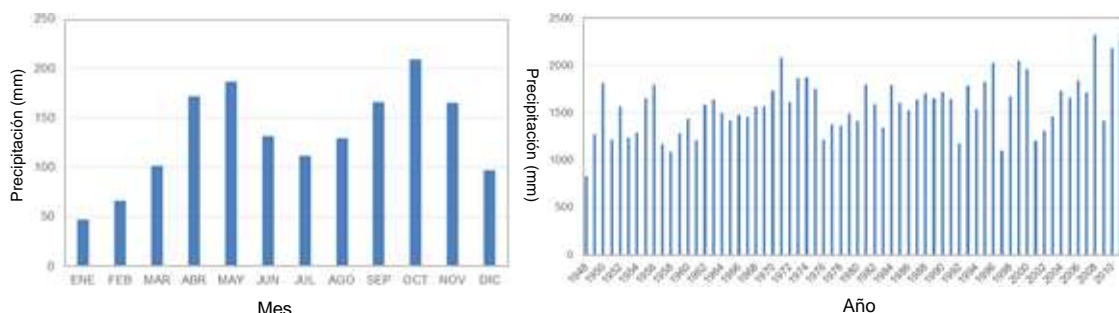


Figura 124. Precipitación media mensual y precipitaciones anuales en la Estación Planta Villa Hermosa

11.3.2 Estación Mazo

En la gráfica a la izquierda de la Figura 125 se muestran las precipitaciones medias mensuales en la estación Mazo para el periodo comprendido entre 1948 y 2011.

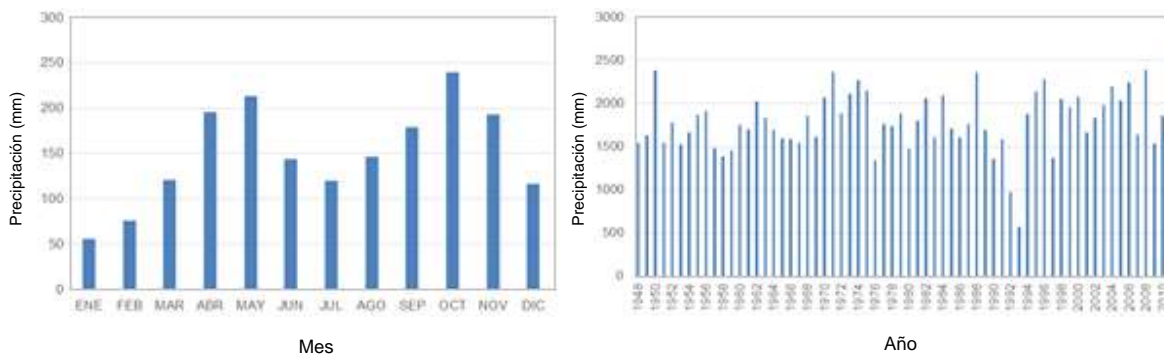


Figura 125. Precipitación media mensual y precipitaciones anuales en la Estación Mazo

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 125 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 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 126 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 126 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 La Niña.

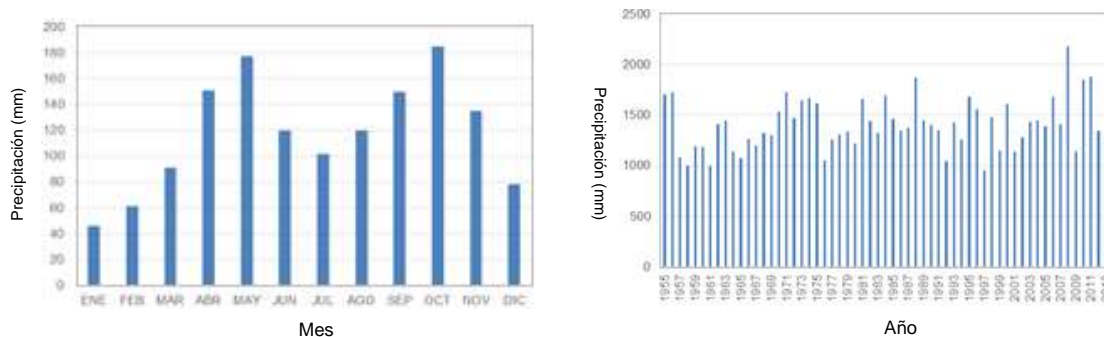


Figura 126. Precipitación media mensual y precipitaciones anuales en la Estación Miguel de Aguinaga

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.

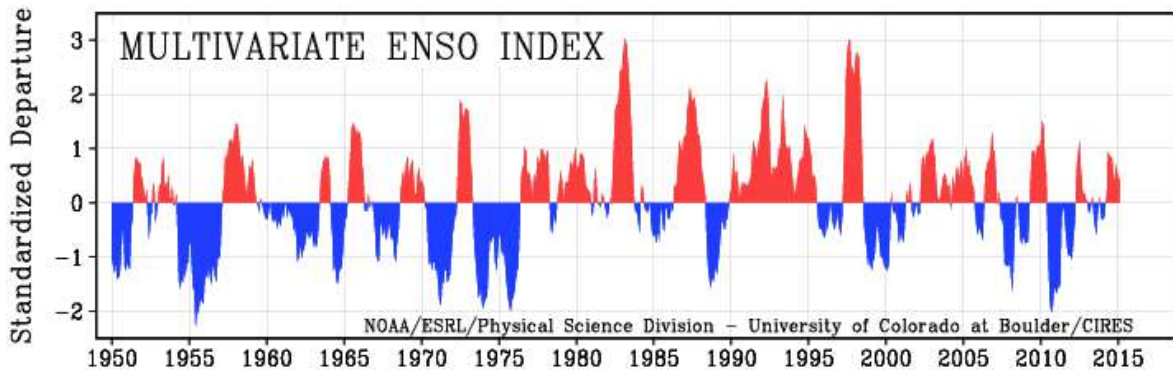


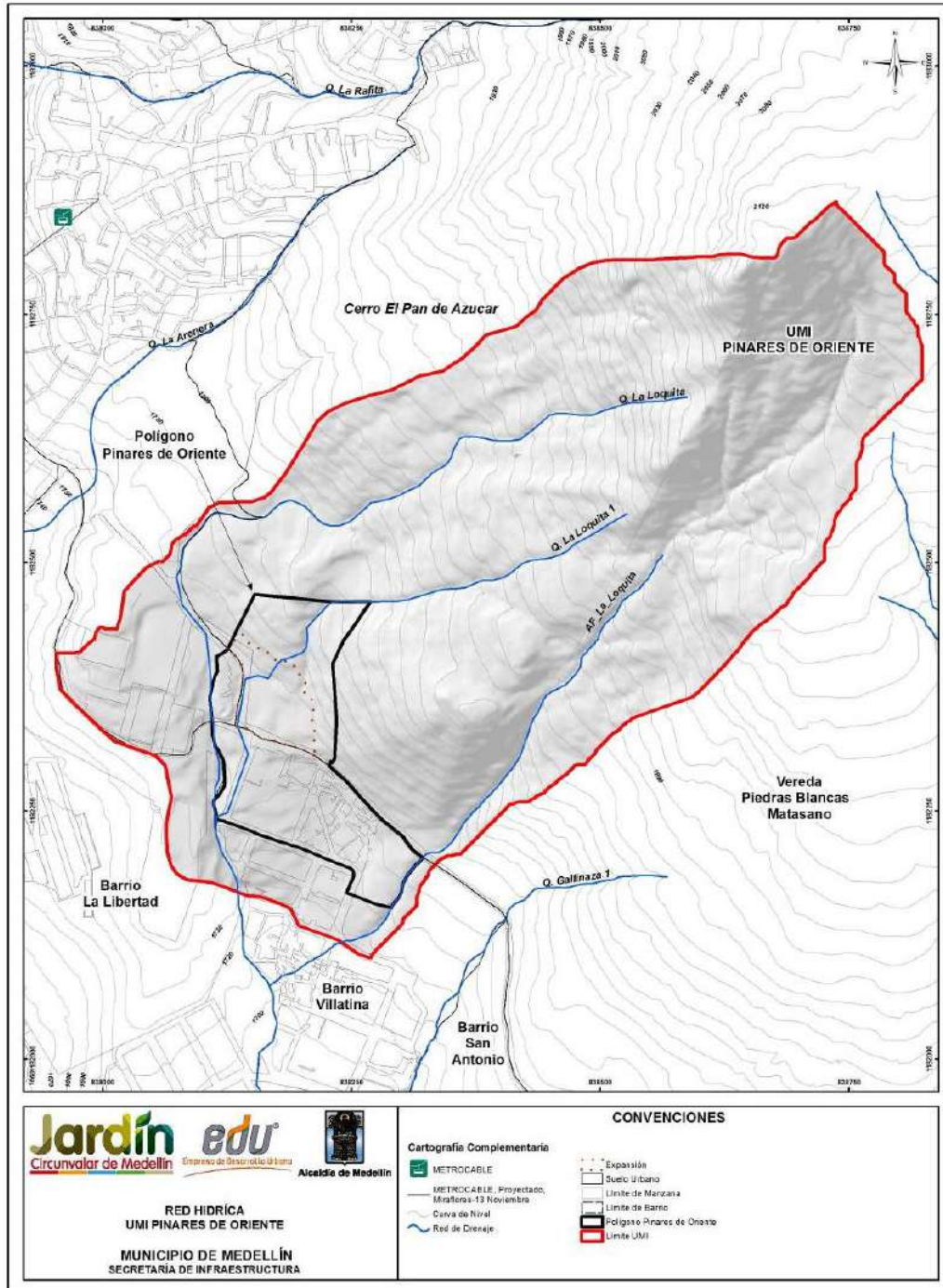
Figura 127. Índice Multivariado del ENSO (Fuente: NOAA)

11.4 DELIMITACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LAS CUENCAS

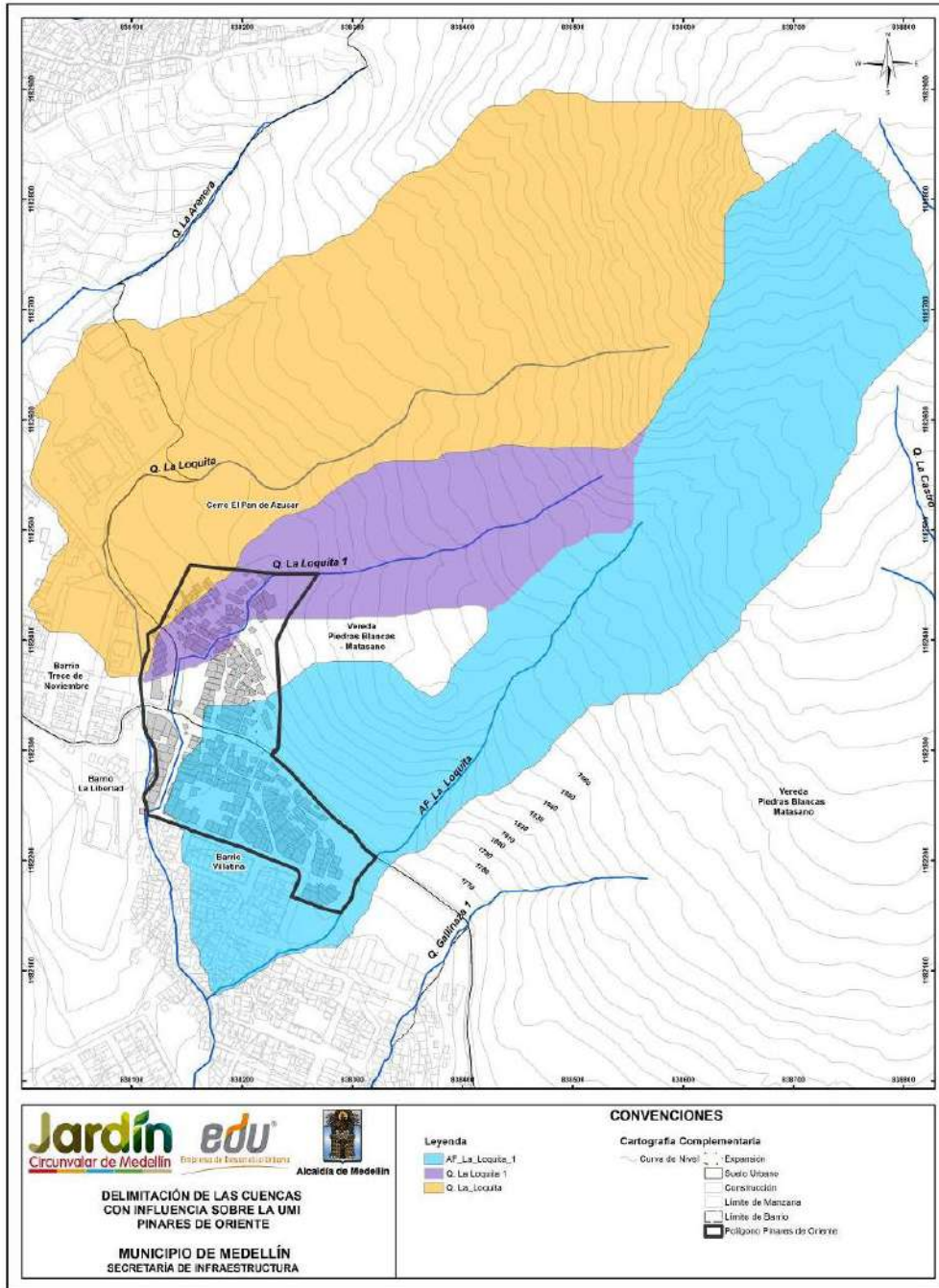
En el Mapa 25 se presenta la red hídrica de la UMI Pinares de Oriente. Esta red fue establecida a partir del modelo digital del terreno generado con la información cartográfica, incluyendo los cauces naturales que tienen influencia sobre cada uno de los ocho polígonos de interés para el presente estudio. Se sometió a revisión y validación con respecto a la red hídrica del Plan de Ordenamiento Territorial (POT, 2014) del Municipio de Medellín 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 (2014) como base para la elaboración del presente estudio.

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 Pinares de Oriente, 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.

En el Mapa 26 se presenta esta misma red de drenaje, además de las cuencas asociadas a las corrientes de agua que tienen influencia sobre el Polígono Pinares de Oriente. En particular para el Polígono y para la UMI Pinares de Oriente, las corrientes naturales que tienen influencia corresponden a la Quebrada La Loquita, la Quebrada La Loquita 1 y el Afluente de La Loquita. La primera corre por el costado norte del polígono, la última corre por el costado sur y la segunda corre por la zona central del polígono.



Mapa 25. Red hídrica en la UMI Pinares de Oriente
(20_PDORedHidricaUMI_Medellin_C y 20_PDORedHidricaUMI_Medellin_T)



Mapa 26. Delimitación de las cuencas con influencia sobre la UMI Pinares de Oriente (PDODelimitacionCuencasUMI_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. Para el trazado de las cuencas se tuvo en consideración que estas debían abarcar los polígonos objeto de este estudio. De esta manera se presentan en la Tabla 32 las coordenadas de los puntos de salida del flujo para las quebradas de La Loquita, La Loquita 1 y el Afluente La Loquita 1. Por otro lado, en la Tabla 33 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 32. Coordenadas de los puntos de salida del flujo en cada cuenca

PUNTO	POLÍGONO	CUENCA	X	Y
1	Pinares_de_Oriente	AF_La_Loquita_1	838172.89	1182080.72
2	Pinares_de_Oriente	Q. La Loquita 1	838110.36	1182364.25
3	Pinares_de_Oriente	Q. La Loquita	838108.32	1182367.83

Tabla 33. Parámetros morfométricos de las cuencas de influencia en Pinares de Oriente



Cuenca	Area (m2)	Pendiente media de la cuenca (%)	Perímetro (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 Loquita	168095.63	54.47	2011.87	1893.09	2138.00	1762.00	738.26	227.69	828.26	31.43
Q. La Loquita 1	45124.96	50.71	1167.55	1872.19	2010.48	1762.39	507.70	88.88	542.57	42.10
AF_La_Loquita	153260.09	54.61	2426.53	1917.07	2138.00	1702.32	966.40	158.59	1062.31	39.33

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

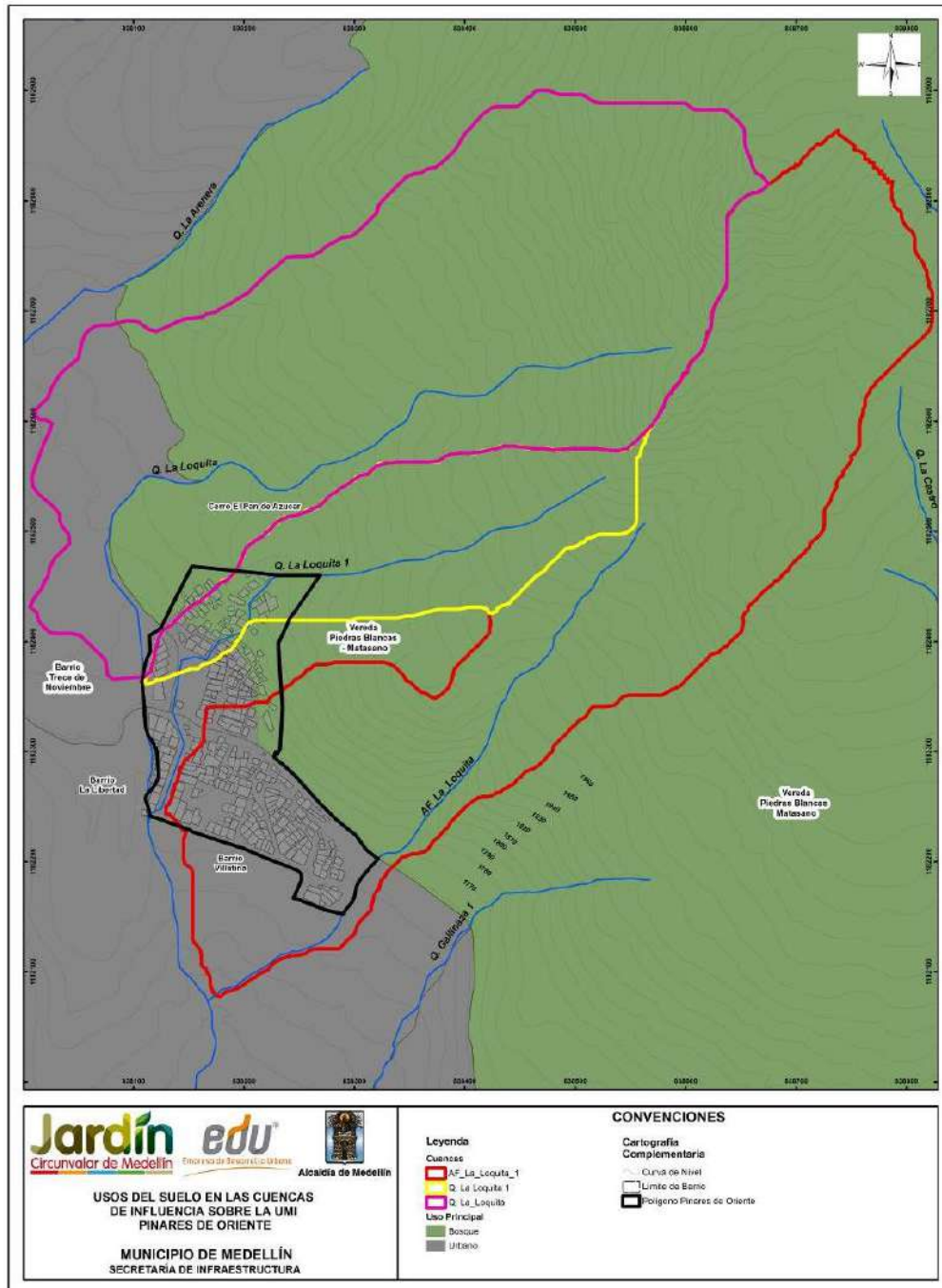
Para la asignación de los usos del suelo al interior de cada una de las cuencas con fines de modelación hidrológica, se empleó la información correspondientes a usos del suelo definidos que es indicada en el POT (2014) y la cual es presentada en los Mapas del Atlas 14_TDNClasificaciondelSuelo_Medellin_T al 17_TDNUsosdelSueloRural_Medellin_T para la UMI Trece de Noviembre. Esta información es retomada en este apartado EN el Mapa 27, en el cual se ha realizado una reclasificación en términos de los tipos de coberturas o usos del suelo con fines del cálculo hidrológico. En la Tabla 34 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. Pudo constatar que en la zona rural existen algunas diferencias de asignación al uso del suelo entre la ortofoto y el POT (2014), pero ambas fuentes coinciden en la asignación de la zona urbana. A pesar de lo

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	--	---

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 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 de cada cuenca, teniéndose que para las corrientes analizadas una relativa baja intervención antrópica de las cuencas, aspecto que se puede ver en la Tabla 34 ya que para las cuencas de las Quebradas La Loquita, La Loquita 1 y el Afluente la Loquita se tienen áreas urbanas del 15.1%, 5.4% y 19.6% respectivamente.



Mapa 27. Usos del suelo en las cuencas de influencia en la UMI Pinares de Oriente Modificado del POT (2014) (PDOUsosSuelosCuencasUMI_Medellin_C)

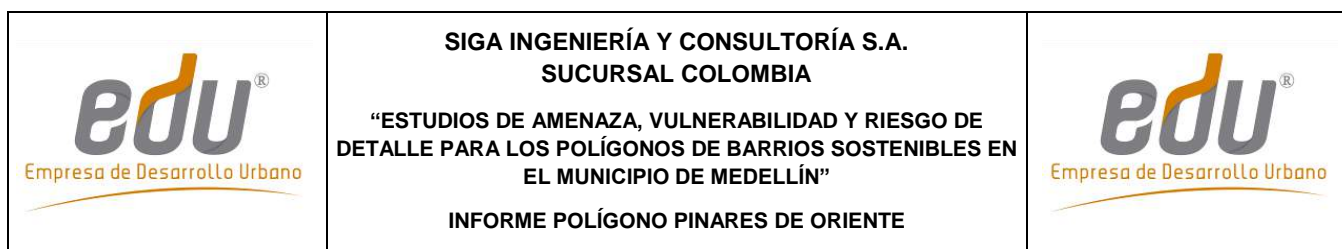


Tabla 34. Usos del suelo en las cuencas de influencia en Pinares de Oriente

CUENCA	Usos del Suelo (%)			
	Cultivos	Pastizales	Bosques	Urbano
Q. La Loquita	0.00%	0.00%	84.90%	15.10%
Q. La Loquita 1	0.00%	0.00%	94.63%	5.37%
AF. La Loquita	0.00%	0.00%	80.41%	19.59%

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 modelos propuestos por diferentes autores, los cuales se encuentran en función de los características morfométricas de la cuenca.

En la Tabla 35 se presentan los diferentes modelos empleados para la estimación del tiempo de concentración y en la Tabla 36 se presentan los resultados del cálculo del tiempo de concentración para las cuencas de influencia en el Polígono Pinares de Oriente.

Tabla 35. 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)	$T_c = \frac{(1.1 - C) \times L^{0.5}}{S^{0.333}}$	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	$T_c = \frac{0.108 \times (A \times L)^{1/3}}{S^{0.5}}$	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	$T_c = 0.066 \times \left(\frac{L}{S^{0.5}} \right)^{0.77}$	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 36. Tiempos de concentración calculados para las cuencas



Nombre cuenca	Tiempo de concentración (min)										Desv. Est.	Lim. Sup.	Lim. Inf.	Promedio	Tc tomado
	Kirpich	Teméz	F.A.A.	Pilgrim	Clark	California Culvert Practice	Passini I	California USBR	Giandotti	Promedio					
Q. La Loquita	5.4	8.2	18.2	23.2	9.8	4.1	6.0	5.3	13.4	10.4	6.6	17.0	3.8	7.5	7.5
Q. La Loquita 1	3.5	5.6	13.3	14.0	4.1	3.1	2.9	3.5	8.3	6.5	4.4	10.9	2.1	4.4	5.0
AF La Loquita	6.0	9.5	19.1	22.4	8.7	5.3	5.6	5.9	11.6	10.4	6.2	16.7	4.2	7.5	7.5

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

 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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE	 Empresa de Desarrollo Urbano
---	---	---

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 37 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 04.

Finalmente, en la Tabla 38 se presentan las intensidades medias en cada una de las cuencas que tienen influencia sobre el Polígono Pinares de Oriente.

Tabla 37. 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 38. Intensidades de precipitación en mm/h para cada cuenca

CUENCA	Intensidades de Diseño (mm/h)			
	TR2.33	TR10	TR50	TR100
Q. La Loquita	94.7	147.1	198.9	220.7
Q. La Loquita 1	102.1	162.3	222.3	247.6
AF_La_Loquita	94.5	147.6	200.1	222.2

11.5.2 Método Racional

Este método es uno de los de mayor empleo debido a su sencillez. Presenta validez 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 39.

Tabla 39. Coeficientes de escorrentía calculados para cada cuenca

Nombre Cuenca	Coeficientes de Escorrentía (Adimensional)			
	TR2.33	TR10	TR50	TR100
Q. La Loquita	0.41	0.47	0.55	0.59
Q. La Loquita 1	0.37	0.43	0.50	0.54
AF_La_Loquita	0.43	0.49	0.57	0.61

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 Pinares de Oriente 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.

 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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE	 Empresa de Desarrollo Urbano
---	--	---

$$U = U_p \left(\frac{t}{T_p} \right)^{n-1} e^{\left[(1-n) \left(\frac{t}{T_p} - 1 \right) \right]} \quad \text{Para } t \leq t_0$$

$$U = U_0 e^{\left[\frac{t_0 - t}{K} \right]} \quad \text{Para } t_0 < t \leq t_1$$

$$U = U_1 e^{\left[\frac{t_0 - t}{3K} \right]} \quad \text{Para } t > t_1$$

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.

	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 PINARES DE ORIENTE	
---	--	---

$$S = \frac{1000}{CN} - 10$$

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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</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 cartografiables 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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</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 la Tabla 3 del Anexo 04 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 40 y en el Mapa 12 se puede observar que para la regionalización fueron empleadas 18 cuencas, además de las coordenadas de cada uno de sus puntos de salida.



 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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE	 Empresa de Desarrollo Urbano
---	---	---

Tabla 40. Coordenadas para los puntos de salida de las cuencas consideradas para las cuencas consideradas en la regionalización.

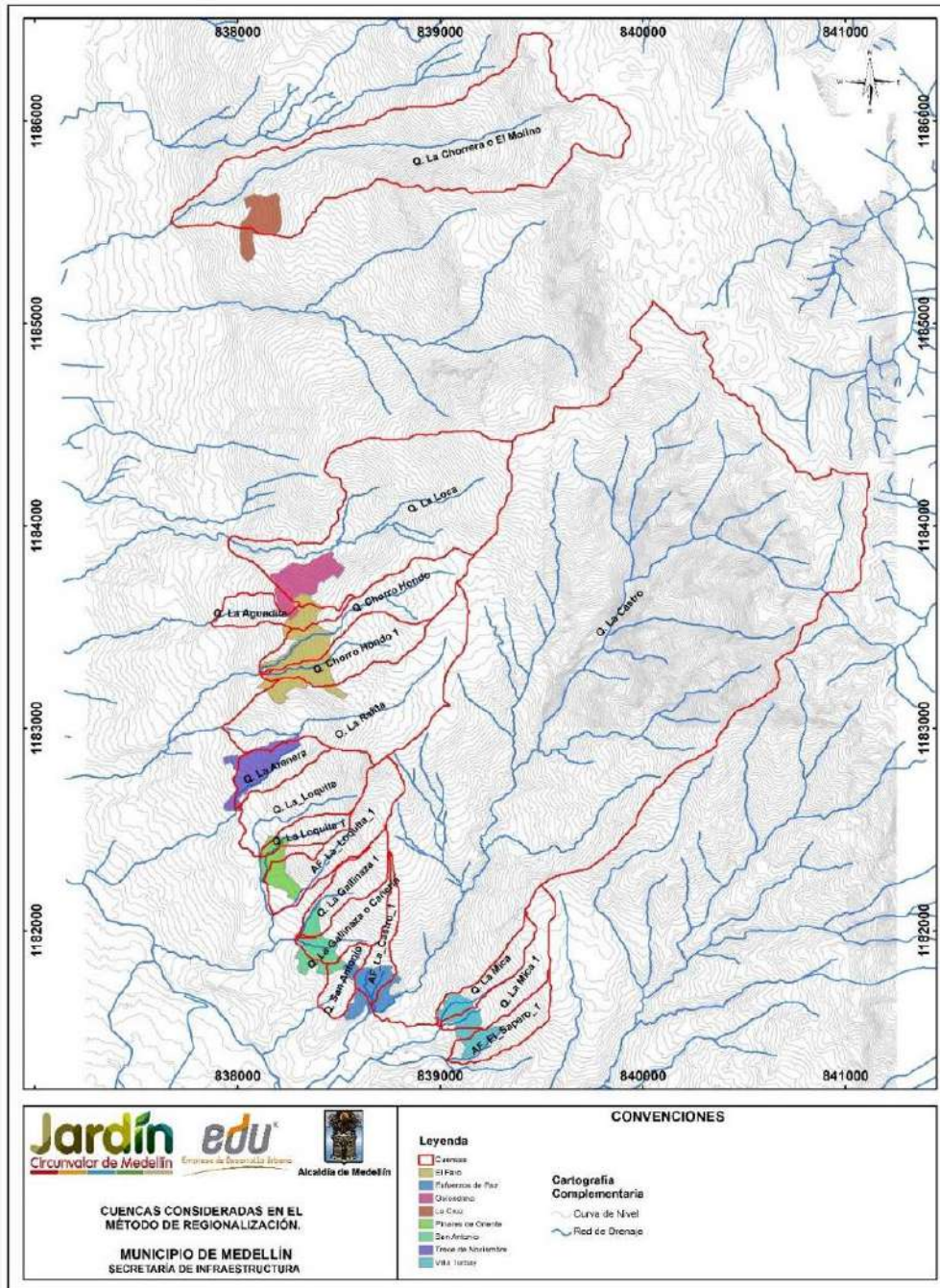
PUNTO	POLÍGONO	CUENCA	ESTE	NORTE
1	Villa_Turbay	AF_El_Sapero_1	839027.36	1181360.25
2	Villa_Turbay	Q. La Mica	839003.36	1181520.59
3	Villa_Turbay	Q. La Mica 1	839003.36	1181520.59
4	Esfuerzos_de_Paz	Q. La Castro	838659.35	1181629.17
5	Esfuerzos_de_Paz	AF_La_Castro_1	838656.25	1181636.64
6	Esfuerzos_de_Paz	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

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 muestran en el Anexo 04.

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 41** junto con el coeficiente de correlación.

Tabla 41. Resultados de regionalización de caudales máximos

Parámetro	Coeficientes de Regionalización			
	TR2.33	TR10	TR50	TR100
α	7.95	13.43	20.35	24.0020
θ	0.78	0.75	0.74	0.74
R2	0.96	0.96	0.96	0.97



**Mapa 28. Cuencas consideradas en el método de regionalización
(PDOCuencasParaMetodoRegionalizacion_Medellin_C)**

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 42 a la Tabla 45.

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 y la regionalización hecha, dado que esta permite analizar los caudales en caso de variaciones de sobre las cuencas.

Las cuencas analizadas al ser pequeñas cumplen satisfactoriamente las hipótesis del método racional. 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 42. Resumen de Caudales Máximos para TR 2.33 Años

CUENCA	Qmax (m3/s)					
	H.U. Williams-Hann	H.U. Snyder	H.U. SCS	Racional	Regionalización (Ingeocilcon)	Regionalización (Propia)
Q. La Loquita	0.26	0.23	0.25	1.81	1.56	1.99
Q. La Loquita 1	0.01	0.005	0.005	0.48	0.50	0.72
AF_La_Loquita	0.30	0.26	0.28	1.72	1.44	1.85

Tabla 43. Resumen de Caudales Máximos para TR 10 Años

CUENCA	Qmax (m3/s)					
	H.U. Williams-Hann	H.U. Snyder	H.U. SCS	Racional	Regionalización (Ingeocilcon)	Regionalización (Propia)
Q. La Loquita	1.06	1.00	1.06	3.25	2.60	3.50
Q. La Loquita 1	0.12	0.11	0.12	0.88	0.83	1.30
AF_La_Loquita	1.18	1.04	1.09	3.09	2.40	3.27

Tabla 44. Resumen de Caudales Máximos para TR 50 Años

CUENCA	Qmax (m3/s)					
	H.U. Williams-Hann	H.U. Snyder	H.U. SCS	Racional	Regionalización (Ingeocilcon)	Regionalización (Propia)
Q. La Loquita	2.25	2.13	2.24	5.07	3.97	5.39
Q. La Loquita 1	0.35	0.32	0.35	1.40	1.26	2.03
AF_La_Loquita	2.46	2.14	2.25	4.82	3.66	5.04

Tabla 45. Resumen de Caudales Máximos para TR 100 Años

CUENCA	Qmax (m3/s)					
	H.U. Williams-Hann	H.U. Snyder	H.U. SCS	Racional	Regionalización (Ingeocilcon)	Regionalización (Propia)
Q. La Loquita	2.84	2.67	2.81	6.06	4.64	6.39
Q. La Loquita 1	0.48	0.44	0.47	1.69	1.47	2.41
AF_La_Loquita	3.07	2.67	2.81	5.75	4.28	5.96

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</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 Pinares de Oriente. 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 desarrollo del presente capítulo se empleó como información de referencia los estudios hidráulicos suministrados por la Empresa de Desarrollo Urbano que fueron ejecutados por CÓNCAVAS (2013).

Para el caso particular del Polígono Pinares de Oriente fue necesario levantar información topográfica en los cauces de las Quebrada La Loquita, El Afluente de la Quebrada La Loquita y la Quebrada La Loquita 1, dado que la información de referencia no contiene levantamientos topográficos de detalle actualizados en estos cauces.

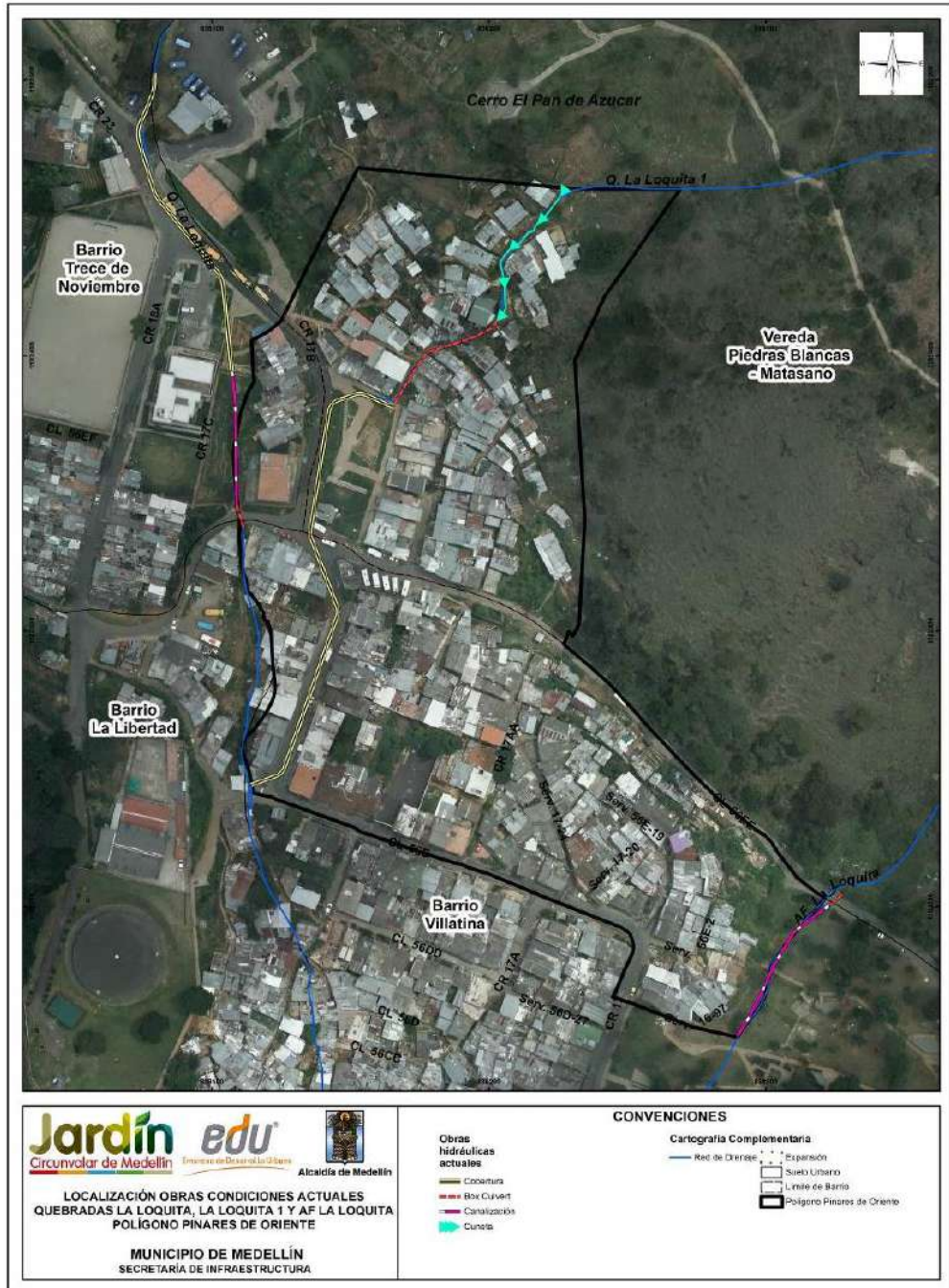
Dentro de la información básica también se cuenta con las observaciones realizadas durante la visita al sitio, en la cual se determinaron las condiciones actuales de las quebradas, sus características y algunos parámetros.

Se contó también con la información topográfica general del Polígono Pinares de Oriente 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 indicó que por medio del análisis multitemporal efectuado gracias a la fotointerpretación de las 103 fotografías aéreas recopiladas, correspondientes a 15 líneas de vuelo para el período comprendido entre 1959 y 2004 y con escalas variables entre 1:3.200 y 1:21.700, se pudo concluir que no se tienen procesos morfodinámicos asociados a la dinámica fluvial de los drenajes de la UMI Pinares de Oriente. No se identificó la presencia de procesos de socavación por medio de la fotointerpretación efectuada.

Como complemento al análisis de la dinámica de las corrientes de agua asociadas a la UMI Pinares de Oriente (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 de los cauces de las Quebradas La Loquita, La Loquita1 y el denominado Drenaje Afluente La Loquita (Mapa 29).



**Mapa 29. Localización de obras en las Quebradas La Loquita, La Loquita 1 y Afluyente La Loquita
(PDOLocalizacionObrasPoligonoPDO_Medellin_C)**

12.2.1 Quebrada La Loquita

El tramo analizado de la Quebrada La Loquita comprende una longitud total de 280 m, el cual inicia en el costado noroeste por fuera del Polígono Pinares de Oriente, cerca al parqueadero de buses contiguo a la Carrera 23 con Carrera 18 C y finaliza aguas abajo en el cruce con la Calle 56E.

En el Mapa 29 se muestra en planta el tramo de quebrada analizado, indicándose en ella las zonas que corresponden a cauce natural y las que corresponden a las estructuras antrópicas.

La Quebrada La Loquita ingresa por el costado norte del polígono contiguo al parqueadero de buses de la zona. A lo largo del tramo de estudio presenta varios subtramos, los cuales se describen a continuación:

12.2.1.1 Subtramo 1 (Canal natural)

Canal natural en este subtramo presenta un ancho que varía entre 0.80 m y 1.5 m y una pendiente que varía entre el 17% y 38%. En el Anexo 05 se presenta un perfil del cauce. En las márgenes se presenta vegetación, en algunos puntos localizados se presentan focos menores de erosión o socavación activos. En el fondo del cauce predomina la presencia de materiales gruesos, por lo que esta corriente se puede clasificar como de materiales no cohesivos. De acuerdo con la clasificación de Rosgen, el cauce natural de la Quebrada La Loquita puede catalogarse como de Tipo A3a+.

No se observó evidencia de flujo permanente en el cauce, lo que indica que corresponde a una corriente efímera que conduce escorrentía solo cuando se presentan precipitaciones (Figura 128).



Figura 128. Canal natural de la Quebrada La Loquita antes del ingreso al Polígono Pinares de Oriente

12.2.1.2 Subtramo 2 Cobertura-(Est. 1)

El ingreso de la Quebrada La Loquita al Polígono de Pinares de Oriente, se realiza mediante un sistema de cobertura conformado por una estructura de entrada, dos cámaras (MH) y tres tramos de tuberías, distribuidos de la siguiente manera:



- ✓ Encole con una estructura tipo box culvert, el cual posee una sección de 1.0 m de ancho por 1.20 m de alto y una longitud de 6.0 m.
- ✓ Tramo 1 de tubería con diámetro de 30” con una pendiente de 13.5% y una longitud de 29.0 m.
- ✓ Tramo 2 de tubería con diámetro de 30” con una pendiente de 6.81% y una longitud de 36.7 m.
- ✓ Tramo 3 de tubería con diámetro de 32” con una pendiente de 7.31% y una longitud de 46.0 m.
- ✓ Descole con una estructura de cabezote cuyas aletas corresponden al mismo canal de descarga.

En la Figura 129 se pueden observar las estructuras de entrada y salida de la cobertura por la cual es direccionada la Quebrada La Loquita.



Figura 129. Estructuras de entrada y salida de la cobertura (Est. 1)

La cobertura que conforma la red de alcantarillado a través de la cual fluye la quebrada fue levantada y se comparó con la información de redes suministrada por EPM, pudiéndose observar que hay concordancia entre las mismas.

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

12.2.1.3 Subtramo 3 Canalización (Est. 2)

La Quebrada La Loquita después de cruzar la cobertura descarga a un canal con sección trapezoidal con un ancho de 1.0 m, una altura de 0.60 m y z igual 0.5, con una longitud de 36.7 m. En los primeros 12.5 m del canal se presenta una pendiente del 30%, mientras que en los últimos 24.2 m se da una pendiente del 10%. El canal es de fondo continuo y no presenta evidencias de desgaste del concreto.

Como se puede observar en la Figura 130, las márgenes contiguas al canal presentan una alta vegetación aumentando la rugosidad en las laderas que drenan hacia el canal.



Figura 130. Canal en concreto Quebrada La Loquita Subtramo 3

12.2.1.4 Subtramo 4 Alcantarilla (Est. 3)

Luego de que la Quebrada La Loquita pasa por el canal de fondo continuo, descarga en una caja, para continuar su paso a través de una alcantarilla que cruza la Calle 56EE, con una tubería PVC de diámetro de 24” y una longitud de 7.3 m. La estructura de entrada se encuentra en buen estado, mientras que en la salida no se presenta una estructura definida, lo que permite una descarga descontrolada y generar procesos de socavación en su salida como se puede observar en la Figura 131.

12.2.1.5 Subtramo 5 (Canal natural)

El canal natural en este sector presenta un ancho que varía entre 1.0 m y 1.8 m y una pendiente que varía entre el 6.7% y 21.6%. En las márgenes se observan expresiones mínimas de vegetación y la presencia de viviendas ubicadas a menos de 1.0 m del cauce y viviendas cuyos muros actúan como márgenes. En algunos puntos localizados se presentan procesos menores de socavación. En el fondo del cauce predomina la presencia de materiales gruesos. De acuerdo con la clasificación de Rosgen, el cauce

natural de la Quebrada La Loquita en el Subtramo 5 puede catalogarse como de Tipo A3a+.



Figura 131. Estructura de entrada y salida de alcantarilla que cruza la Calle 56EE Quebrada La Loquita

El flujo que permanece en el cauce se encuentra asociado a descargas de aguas residuales y eventualmente hay descargas del alcantarillado de aguas lluvias lo que indica que corresponde a una corriente efímera que conduce escorrentía solo cuando se presentan precipitaciones (Figura 132).

En este tramo se presenta la descarga de la Quebrada La Loquita 1, el cual lo hace sobre su margen izquierda proveniente de un sistema de alcantarillado.

En la Tabla 46 se pueden observar las estructuras que se evidencian a lo largo de la quebrada la Loquita en el tramo de estudio y su respectiva descripción.

En general La Quebrada La Loquita no presenta cambios en el alineamiento de su cauce desde el año 1987 hasta hoy según se pudo determinar en la Fotografías disponibles de la Zona. Con respecto a la obras en ella localizada actualmente, no se pudo determinar en qué año fueron construidas ya que la escala de las fotografías no lo permite.

Tabla 46. Resumen de estructuras hidráulicas Quebrada La Loquita

Estructura	Ubicación	Tipo Estructura	Tipo sección	Tipo Fondo	Material Paredes	Material Fondo	Dimensiones				
							Ancho (m)	Alto (m)	Z	Diám.	Longitud (m)
Est.1	Entre Carrera 23 y Carrera 17B	Cobertura (L>20)	Circular	Uniforme	PVC	PVC				30" -32"	117.7
Est.2	Canal contiguo al centro de salud Metrosalud	Canal	Trapezoidal	Uniforme	Concreto	Concreto	1	0.6	0.5		36.7
Est.3	Cruce con Calle 56EE	Alcantarilla (L<=20m)	Circular	Uniforme	Concreto	Concreto				24"	11.27



Figura 132. Canal natural en las inmediaciones del costado sur del Polígono Pinares de Oriente

12.2.2 Quebrada La Loquita 1

El tramo a describir de la Quebrada La Loquita 1 comprende una longitud total de 290 m, el cual inicia en el costado norte en los límites con el Polígono Pinares de Oriente. Este drenaje cruza de norte a sur el polígono hasta descargar a la Quebrada La Loquita bajo el cruce con la Calle 56E. En la Mapa 29 se muestra en planta la localización y se indica en ella las zonas que corresponden al cauce y las que corresponden a las estructuras antrópicas.

12.2.2.1 Subtramo 1 Cunetas y alcantarillas (Est. 4, Est. 5 y Est. 6)

En este Subtramo 1 el drenaje es canalizado a través de cunetas triangulares con un ancho de 0.30 m y una profundidad de 0.30 m en un primer sector y luego en un cuneta tipo semicircular de 0.30 m, las cuales van paralelas a las escalas que sirven de ingreso a las diferentes viviendas.

Inicialmente comienza con una cuneta triangular ubicada en el costado izquierdo de las escalas en una longitud de 18 m, para luego realizar un cruce por medio de una tubería de 8” y continuar su descarga por una cuneta semicircular en un trayecto de 38.5 m hasta ingresar a una caja, como se puede observar en la Figura 133 y Figura 134.



Figura 133. Subtramo 1 Cuneta triangular Quebrada La Loquita 1

Según los recorridos en campo y la información de los habitantes del sector, se deduce que debido a la falta de capacidad de las estructuras de canalización el flujo termina corriendo sobre las escaleras bajando sin control y afectando las viviendas que se encuentran cercanas.

12.2.2.2 Subtramo 2 Alcantarilla tipo Box Culvert (Est. 7)

En este Subtramo el box culvert posee una sección de 0.80 m de ancho por 0.90 m de alto y una longitud de 50.4 m y se encuentra bajo las escaleras que se dirigen al parque infantil. Esta estructura se encuentra compuesta por:

- ✓ El encole es una caja de 0.50 m x 0.50 m y una profundidad de 0.60 m a partir de la cual sale una tubería de 8” en dirección al box culvert, como se puede observar en Figura 159.
- ✓ El descole se presenta en una caja de 1.40 m x 1.30 m y una profundidad de 2.2 m, para luego empalmar con una tubería de 20” de diámetro a un alcantarillado pluvial.

Según los recorridos en campo y la información de los habitantes del sector, debido a la baja capacidad de captación de esta estructura esta no trabaja eficientemente y el flujo que no alcanza a ingresar a la caja termina viajando por las escaleras anegando el parque infantil e incluso la vía principal.



Figura 134. Quebrada La Loquita 1 Subtramo 1 Cuneta semicircular



Figura 135. Quebrada La Loquita 1 Box Culvert bajo escalas

12.2.2.3 Subtramo 3 Cobertura (Est. 8)



El ingreso del Afluente La Loquita al sistema de la cobertura da por intermedio de la caja de descarga del box culvert del Subtramo 2 y a través de una tubería de PVC de 20". El sistema de alcantarillado se encuentra conformado por una estructura de entrada (caja), cinco cámaras (MH) y seis tramos de tuberías, distribuidos de la siguiente manera:

- ✓ El arranque se da en una caja de 1.40 m x 1.30 m y una profundidad de 2.2 m por medio de una tubería de 20".
- ✓ El Tramo 1 consta de una tubería con diámetro de 20" con una pendiente de 6.9% y una longitud de 21.2 m
- ✓ El Tramo 2 de tubería con diámetro de 10" con una pendiente de 11.6% y una longitud de 51.3 m.
- ✓ El Tramo 3 de tubería con diámetro de 10" con una pendiente de 8.7% y una longitud de 28.7 m.
- ✓ El Tramo 4 de tubería con diámetro de 20" con una pendiente de 11.4% y una longitud de 40.5 m.
- ✓ El Tramo 5 de tubería con diámetro de 20" con una pendiente de 13.2% y una longitud de 24.0 m.
- ✓ El Tramo 6 de tubería con diámetro de 20" con una pendiente de 8.8% y una longitud de 14.9 m.
- ✓ La descarga se realiza en la Quebrada La Loquita en la cota 1745.9 msnm, sobre la margen izquierda antes de ingresar al Box Culvert.

En la Tabla 47 se observan las estructuras hidráulicas por las cuales transita la Quebrada La Loquita 1.

Tabla 47. Resumen de estructuras hidráulicas Quebrada La Loquita 1

Estructura	Ubicación	Tipo Estructura	Tipo sección	Tipo Fondo	Material Paredes	Material Fondo	Dimensiones (m)				
							Ancho (m)	Alto (m)	Z	Diám.	Longitud (m)
Est.4	Fin escaleras Parque infantil	Cuneta	Triangular	Uniforme	Concreto	Concreto	0	0.15	1		16.28
Est.5	Sector escaleras	Alcantarilla (L<=20m)	Circular	Uniforme	Concreto	Concreto				8"	1.6
Est.6	Agua arriba parque infantil sector escaleras	Cuneta	MT	Uniforme	Concreto	Concreto				12"	37.92
Est.7	Costado oriental Carrera 23 Parque infantil	Cobertura (L>20)	Rectangular	Escalonado	Concreto	Concreto	0.8	0.9	0		50.4
Est.8	Carrera 17B en entre Carrera 23 y Calle 56E	Cobertura (L>20)	Circular	Uniforme	PVC	PVC				10"-20"	180.6

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

La cobertura que conforma la red de alcantarillado a través de la cual fluye la quebrada fue levantada y se comparó con la información de redes suministrada por EPM, pudiéndose observar que hay concordancia entre las mismas.

En general La Quebrada La Loquita 1 no presenta cambios en el alineamiento de su cauce desde el año 1987 hasta hoy según se pudo determinar en la Fotografías disponibles de la Zona. Con respecto a la obras en ella localizada actualmente, no se pudo determinar en qué año fueron construidas ya que la escala de las fotografías no lo permite.

12.2.3 Drenaje Afluente La Loquita

Este drenaje se encuentra ubicado en costado oriental del polígono siendo colindante con el Parque Campo Santo Villatina. Debido a las intervenciones realizadas en esa zona, la Quebrada La Loquita 1 se encuentra completamente canalizada en el tramo de estudio. Consta de dos subtramos, uno que corresponde a una alcantarilla y otro que corresponde a un canal, los cuales se describen a continuación.

12.2.3.1 Subtramo 1 (Alcantarilla) Est. 9

El drenaje afluente La Loquita inicia en el tramo de estudio con una caja o poceta con dimensiones de 1.30 m de ancho por 1.20 m de larga y una profundidad que no pudo determinarse puesto que se encontraba completamente obstruida al momento de su inspección. El drenaje continúa su paso a través de una alcantarilla que cruza bajo la Calle 56EE, con una tubería en PVC de diámetro de 36” y una longitud aproximada de 7.0 m. La estructura de entrada se encuentra en buen estado (requiere limpieza) y en la salida se observa un cabezote bien definido que empalma con el canal escalonado, como se observa en la Figura 136.

12.3.3.2 Subtramo 2 (Canalización) Est. 10

La alcantarilla del Subtramo 2 descarga en un canal escalonado trapezoidal en piedra pegada, con un ancho de 1.0 m, una altura de 1.70 m y z igual a 0.5, escalones con contrahuellas que varían entre 0.70 m y 0.80 m. La longitud del canal es de 59.0 m, en los cuales no hay evidencias de desgaste. La descarga de este ocurre en un box culvert con dimensiones de 1.30 m de ancho por 2.20 m de alto, como se observa en la Figura 136. El drenaje afluente La Loquita, corresponde a una corriente efímera que conduce escorrentía solo cuando se presentan precipitaciones.

En la Tabla 48 se muestran las dos estructuras por las cuales drena el Afluente la Loquita en su paso por el Polígono Pinares de Oriente y sus respectivas características geométricas, de localización y material.

Sobre el canal del afluente La Loquita se tiene una estructura en madera que constituye un paso peatonal, el cual por su configuración y las dimensiones del canal, no constituye un control hidráulico para el flujo.



Figura 136. Drenaje Afluente La Loquita Alcantarilla bajo la Calle 56EE



Figura 137. Canalización drenaje Afluente la Loquita

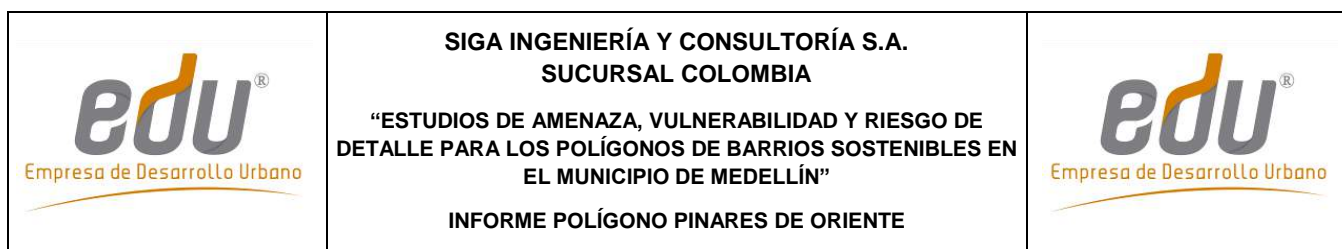


Tabla 48. Resumen de estructuras hidráulicas quebrada Afluyente La Loquita

Estructura	Ubicación	Tipo Estructura	Tipo sección	Tipo Fondo	Material Paredes	Material Fondo	Dimensiones (m)				
							Ancho (m)	Alto (m)	Z	Diám.	Longitud (m)
Est.1	Cruce de quebrada en Calle 56EE	Alcantarilla (L<=20m)	Circular	Uniforme	PVC	PVC				36"	7
Est.2	Sector límite con el parque campo santo Villatina	Canal	Trapezoidal	Escalonado	Piedra pegada/concreto ciclópeo	Piedra pegada/concreto ciclópeo	1	1.7	0.5		59

En el Afluyente La Loquita, según lo observado en fotografías satelitales (Google Earth) se puede establecer que la canalización de dicha corriente se llevó a cabo entre los años 2008 y 2011. Además para el resto de la corriente no se observan cambios en el alineamiento de la quebrada, la cual ha mantenido este desde el año con el que se cuenta información fotográfica de la zona.

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 Pinares de Oriente, 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 Pinares de Oriente no son susceptibles a generar fenómenos de avenida torrencial como se describe en el Capítulo 15, no es necesaria 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 Apartado 11.5 de hidrología por el método racional (Tabla 42 a Tabla 45).



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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

Esta relación implica tamaños de celda entre 0.7 m y 1.4 m de lado para los caudales de diseño. 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 condiciones secas en todo el dominio del modelo.

12.3.7 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.
- ✓ 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.

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

12.3.8 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.

12.3.9 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 Pinares de Oriente 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 Pinares de Oriente se ha considerado un 30% de obstrucción, con excepción de la estructura al final de la quebrada Afluyente La Loquita en la que se consideró un porcentaje de 50% dada la existencia de una rejilla coladera que podría retener algunos materiales reduciendo la capacidad hidráulica.

12.3.10 Resultados en la Quebrada La Loquita (Condiciones Actuales)

Los resultados de la modelación hidráulica realizada en la Quebrada La Loquita para condiciones actuales se presentan en el Mapa 30 o Mapa 31 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. 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. Se presentan algunos desbordamientos desde el inicio del tramo en estudio a partir de 10 años periodo de retorno.

Los resultados obtenidos en la modelación hidráulica se sometieron a verificación en campo a lo largo de la Quebrada La Loquita, 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 Loquita de manera separada por tramos. En el Anexo 05 se presentan los resultados de la evaluación hidráulica para los diferentes periodos de retorno analizados. En la geodatabase presentada en el Anexo 12 se incluyen los mapas tipo raster de velocidad y profundidad de flujo.

12.3.10.1 Subtramo 1 (Cauce Natural)

Como se puede observar en el Mapa 30 o Mapa 31, el canal natural presenta vertimientos hacia la vía a partir de un periodo de retorno de 10 años en condiciones actuales. Las inundaciones mostradas por el modelo presentan profundidades que oscilan entre 0.25 m y 1.31 m y bordeando completamente tres viviendas aledañas (Mapa 30).

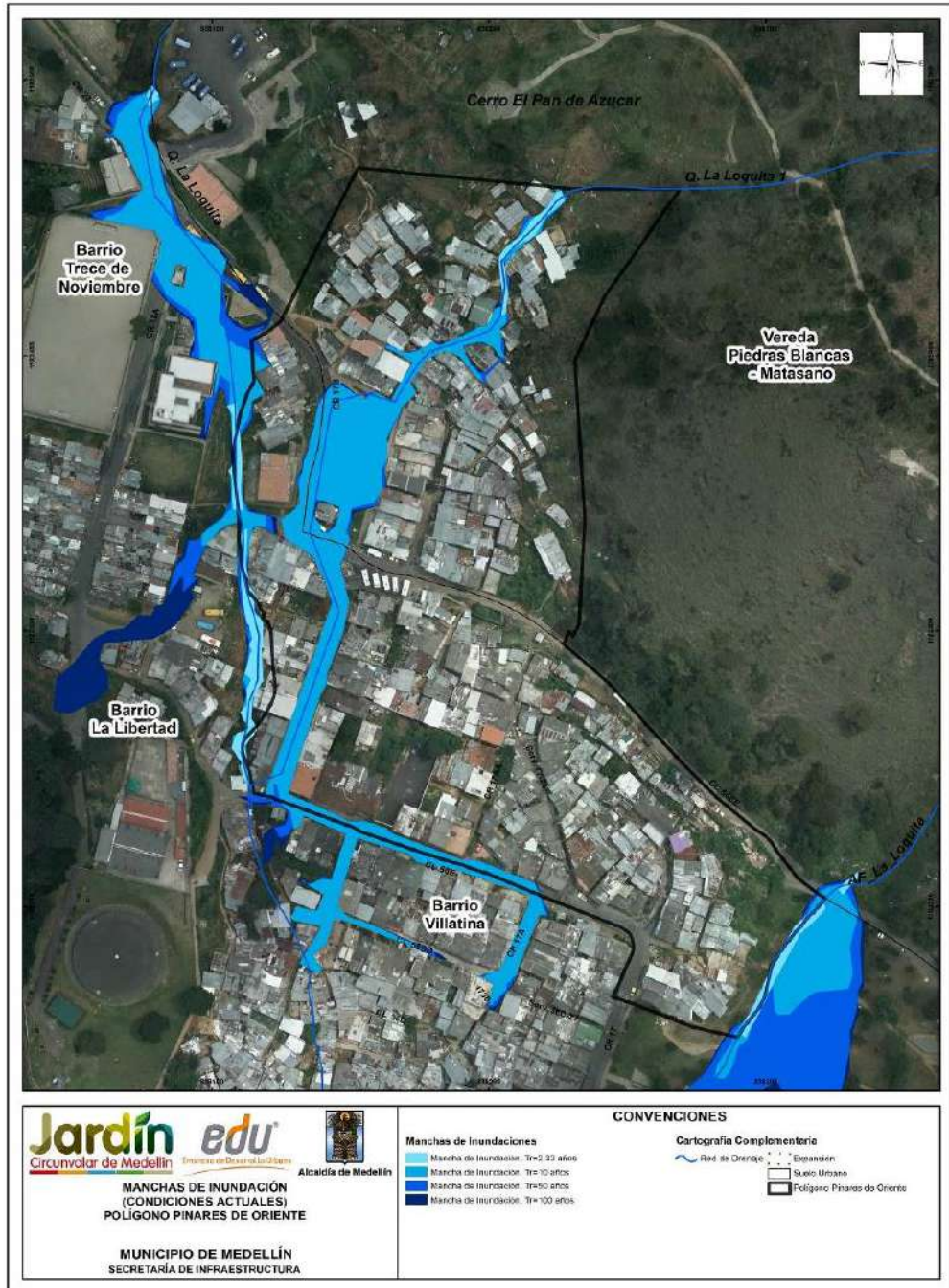
Para las condiciones del canal las profundidades máximas varían entre 0.72 m y 1.17 m para un periodo de retorno de 2.33 años y entre 2.17 m y 2.68 m para 100 años periodo de retorno, la velocidad máxima para 2.33 años es de 4.7 m/s y para 100 años es de 5.04 m/s. Las profundidades en la llanura son de un rango menor, debido a las pequeñas láminas de flujo, mientras que las velocidades presentan valores muy similares a la del canal dado que estas son medidas en la vía y por tanto la rugosidad en estas zonas es más baja y facilitan el aumento de este parámetro (Tabla 49).

Tabla 49. Qda. La Loquita: velocidades y profundidades de flujo en el Subtramo 1 (Cauce Natural)

VARIABLE	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)							
	2.33		10		50		100	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Profundidad Canal	0.72	1.17	1.35	2	1.92	2.51	2.17	2.68
Profundidad Llanuras	0	0	0	0.91	0	1.56	0	1.79
Velocidad en el canal	1.31	4.7	1.38	4.13	1.37	4.71	1.38	5.04
velocidad Llanuras	0	0	0	3.77	0	4.19	0	5.31

12.3.10.2 Subtramo 2 (Red de Alcantarillado) Est. 1

En el Mapa 30 se observa que hay vertimiento de agua generando mancha de inundación por causa de la estructura del Box Culvert de la carrera 17b que permite el ingreso a la red de alcantarillado. Esta problemática se presenta a partir de un periodo de retorno inferior a 10 años en condiciones actuales, y genera una mancha que cubre la Calle 23 e ingresa flujo hacia la zona del centro de salud Metro Salud, esta situación se presenta debido a la falta de encauzamiento del drenaje en lugar donde el tramo natural se comunica con el box culvert de la carrera 17b, adicionalmente a esta condición se presenta incapacidad hidráulica por sección del box y la propia estructura del alcantarillado.



Mapa 30. Manchas de inundación para las Quebradas La Loquita, La Loquita 1 y Afluente La Loquita en condiciones actuales (PDOManchasInundacionCondiActual_Medellin_C)

12.3.10.3 Subtramo 3 (Canal Trapezoidal) Est. 2

Los resultados de la evaluación hidráulica en el subtramo del canal artificial trapezoidal indican que de manera general éste cuenta con capacidad para transportar caudales en crecientes hasta de 100 años periodo de retorno (en condiciones actuales) sin afectar viviendas o vías principales, esto se debe a que el canal se encuentra en una zona donde la topografía es encañonada y aunque los niveles del agua sobrepasan el nivel de las paredes del canal no se presenta desbordamientos. Sin embargo, al final del tramo canalizado se presentan algunos problemas de desbordamientos hacia la vía (Calle 56EE), generado por el control hidráulico que ejerce la alcantarilla existente. En relación con las velocidades y profundidades máximas de flujo, en la Tabla 50 se presentan los rangos de variación de estas variables en el tramo del canal trapezoidal.

Tabla 50. Qda. La Loquita: velocidades y profundidades máximas de flujo en el Subtramo 3 (Canal trapezoidal)

VARIABLE	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)							
	2.33		10		50		100	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Profundidad Canal	0.54	1.81	0.52	1.89	0.66	2.46	0.69	3.13
Profundidad Llanuras	0	0.96	0	1.09	0	1.62	0	1.63
Velocidad en el canal	0.73	6.76	2.86	7.08	2.91	7.41	3	7.47
velocidad Llanuras	0	1.82	0	1.95	0	3.19	0	3.94

12.3.10.4 Subtramo 4 (Alcantarilla) Est. 3

En el Mapa 30 se observa que hay vertimiento de agua generando mancha de inundación por causa de la alcantarilla la cual no presenta capacidad hidráulica para evacuar los caudales asociados a diferentes periodos de retorno. Esta problemática se presenta a partir de un periodo de retorno de 2.33 años en condiciones actuales y genera una mancha que cubre la vía (Calle 56EE).

12.3.10.5 Subtramo 5 (Cauce Natural)

Como se puede observar en el Mapa 30 o Mapa 31, el canal natural presenta vertimientos hacia la vía a partir de un periodo de retorno de 10 años en condiciones actuales. Las inundaciones mostradas por el modelo presentan profundidades que oscilan entre 0.08 m y 1.39 m y bordeando completamente tres viviendas aledañas (Mapa 30). En relación con las velocidades y profundidades de flujo, en la Tabla 51, se presentan los rangos de variación de estas variables en el tramo del canal natural.

Tabla 51. Qda. La Loquita: velocidades y profundidades máximas de flujo en el Subtramo 5 (Cauce Natural)

VARIABLE	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)							
	2.33		10		50		100	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Profundidad Canal	0.24	1.46	0.33	1.59	0.44	2.06	0.46	2.17
Profundidad Llanuras	0	0.69	0	0.88	0	1.3	0	1.39
Velocidad en el canal	1.15	6.27	1.58	6.37	1.93	7.13	1.98	7.57
velocidad Llanuras	0	2.65	0	3.55	0	5.27	0	6.63

12.3.11 Resultados en la Quebrada La Loquita 1 (Condiciones Actuales)

Los resultados de la modelación hidráulica realizada en la Quebrada La Loquita 1 para condiciones actuales se presentan en el Anexo 05 y en el Mapa 30 o Mapa 31, donde 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 el Box Culvert y la cobertura en red de alcantarillado. Se presentan algunos desbordamientos desde el inicio del tramo en estudio a partir de 2.33 años periodo de retorno.

Los resultados obtenidos en la modelación hidráulica se sometieron a verificación en campo a lo largo de la Quebrada La Loquita 1, en los cuales se comprobó la representatividad del modelo topográfico y del modelo hidráulico con las condiciones reales en el sitio.

A continuación se describen los resultados de la modelación hidráulica en la Quebrada La Loquita 1 de manera separada por subtramos. En el Anexo 05 se presentan los resultados de la evaluación hidráulica para los diferentes periodos de retorno analizados. En la geodatabase presentada en el Anexo 12 se incluyen los mapas tipo raster de velocidad y profundidad de flujo.

12.3.11.1 Subtramo 1 (Cunetas y alcantarillas) Est. 4, Est. 5 y Est. 6

Como se puede observar en los resultados, las cunetas por las cuales viaja el drenaje no presentan capacidad. Las inundaciones mostradas por el modelo presentan profundidades que oscilan entre 0.30 m y 1.12 m y bordeando viviendas, vías y escaleras, (Mapa 30).

En el canal las profundidades máximas varían entre 0.3 m y 1.12 m para un periodo de retorno de 2.33 años y entre 0.52 m y 1.83 m para 100 años periodo de retorno. Por su parte, la velocidad máxima para 2.33 años es de 8.08 m/s y para 100 años es de 9.41 m/s. Las profundidades en la llanura son de un rango mayor, mientras que las velocidades presentan valores menores (Tabla 52).

Como se observa en dicha descripción de resultados la quebrada no presenta capacidad hidráulica por sección y en el momento de precipitaciones altas el flujo también se direcciona por las escaleras existentes convirtiéndolo en un a canal antrópico sin control.

Tabla 52. Qda. La Loquita 1: velocidades y profundidades máximas de flujo en el Subtramo 1 (Cunetas y alcantarillas)

VARIABLE	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)							
	2.33		10		50		100	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Profundidad Canal	0.3	1.12	0.33	1.48	0.38	1.74	0.52	1.83
Profundidad Llanuras	0	1.08	0	1.83	0	2.07	0	2.2
Velocidad en el canal	0.82	8.08	0.77	8.61	0.81	9.45	9.51	9.41
velocidad Llanuras	0	3.64	0	5.65	0	6.37	0	6.89

12.3.11.2 Subtramo 2 (Box Culvert) Est. 7

En este subtramo el flujo ocurre casi en su totalidad sobre las escaleras debido a que no existe un sistema de captación que permita el ingreso del flujo hacia el box culvert. Por tanto la capacidad de éste es sub-utilizada.

Debido a que no existe una estructura adecuada que le permita el ingreso de flujo al box culvert, éste no trabaja a su capacidad siendo sub utilizado permitiendo que el flujo que puede ingresar adhiere a la estructura se encuentra actualmente viajando por las escaleras.

12.3.11.3 Subtramo 3 (Red de alcantarillado) Est. 8

En este subtramo el flujo corre a través de la vía ya que la red no posee capacidad para evacuar las aguas asociadas a un periodo de retorno de 2.33 años, éste drenaje debido a no tener un cauce bien definido y a las obras no tener suficiente capacidad, se generan vertimientos hacia las viviendas.

La mancha de inundación comienza su vertimiento desde la primera obra existente dirigiéndose por las escaleras de acceso a las viviendas hasta llegar a la vía (Carrera 17B), de ahí continúa hasta llegar a la calle 56E, la cual corresponde al límite del polígono, este drenaje además genera inundaciones en la calle 56DD y las carreras 17AB y 17ª, que se encuentran fuera del área de influencia del polígono, en la Tabla 53, se presentan los resultados asociados a dicha mancha de inundación.

Los diferentes cambios de diámetro a lo largo de su recorrido hace que el sistema no posea capacidad para evacuar las aguas asociadas a diferentes periodos de retorno, por lo que se determina que la principal causa para que la red no funcione es falta de estructuras adecuadas que permitan el ingreso a la red y los estrechamientos de los diámetros de las tuberías.

Tabla 53. Qda. La Loquita 1: velocidades y profundidades máximas en las llanuras de inundación Subtramo 3 (Red de alcantarillado)

VARIABLE	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)							
	2.33		10		50		100	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Profundidad Llanuras	0.06	0.81	0.08	1.02	0.11	1.36	0.12	1.38
velocidad Llanuras	0.05	4.54	0.51	5.65	0.61	8.25	0.68	8.36

12.3.12 Resultados Afluente La Loquita Est. 9 y Est. 10 (Condiciones actuales)

Los resultados de la modelación hidráulica realizada en el Afluente La Loquita se presentan en el Anexo 4. En el Mapa 30 se puede observar 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, se presentan en el flujo altas velocidades y profundidades bajas. En esta quebrada juegan un papel importante las obras hidráulicas existentes en el cauce, tales como la alcantarilla sobre la calle 56EE y el canal.

Los resultados obtenidos en la modelación hidráulica se sometieron a verificación en campo a lo largo del Afluyente La Loquita, con la cual se comprobó la representatividad del modelo topográfico y del modelo hidráulico de las condiciones reales en el sitio.

En lo referente al paso peatonal ubicado sobre el canal se tiene que la cota inferior del tablero de este es 1751.03 msnm y la cota de la superficie del agua en para periodo de retorno de 100 años es 1748.33 msnm, por lo cual se puede concluir que esta estructura no constituye un control hidráulico para el flujo.

Los resultados del modelo indican a partir de un periodo de retorno de 10 años ocurren vertimientos sobre la calle 56EE y que el flujo continúa hacia el centro del Campo Santo de Villatina. Este vertimiento se presenta debido al control presente en la entrada de la Alcantarilla, la cual tiene una capacidad de 1.95 m³/s considerando una obstrucción del 30%. También se presentan vertimientos al ingreso del box culvert para un periodo de retorno de 10 años, considerando una obstrucción del mismo porcentaje; los vertimientos generados al ingreso de esta obra afectan el Campo Santo de Villatina.

En el canal se presentan profundidades de flujo máximas que varían entre 0.4 m y 1.3 m, 0.6 m y 3.3 m para períodos de retorno de 2.33 y 100 años respectivamente. De igual manera las velocidades máximas de flujo en el canal varían entre 3.3 m/s y 6.5 m/s, y entre 3.5 m/s y 8.2 m/s para los periodos de retorno de 2.33 y 100 años respectivamente (Tabla 54).

En la entrada de la alcantarilla de la calle 56EE se presentan velocidades de flujo mucho menores a las de la canalización dado el control que esta impone al flujo, teniéndose de esta manera profundidades máximas que varían entre 1.4 m y 2.1 m con velocidades máximas entre 1.2 m/s y 3.2 m/s para un periodo de retorno de 2.33 años. Para un periodo de retorno de 100 años se tienen profundidades máximas que varían entre 3.8 m y 3.9 m con velocidades máximas que oscilan entre 1.2 m/s y 4.9 m/s (Tabla 55).

Las profundidades de flujo y las velocidades en la llanura varían en un rango menor debido a las características del flujo sobre estas, el cual presenta pequeñas profundidades (inferiores o iguales a 0.05 m) y grandes rugosidades.

Finalmente, la mancha de inundación es como se puede observar a continuación el Mapa 30.

Tabla 54. Afluyente La Loquita: profundidades y velocidades en la canalización

VARIABLE	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)							
	2.33		10		50		100	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Profundidad Canal	0.35	1.32	0.43	2.4	0.54	3.17	0.56	3.32
Profundidad Llanuras	--	--	0.01	0.05	0.01	0.05	0.01	0.05
Velocidad en el canal	3.31	6.45	3.43	7.23	3.52	7.92	3.53	8.17
velocidad Llanuras	--	--	0.02	2.57	0.03	2.84	0.02	2.99

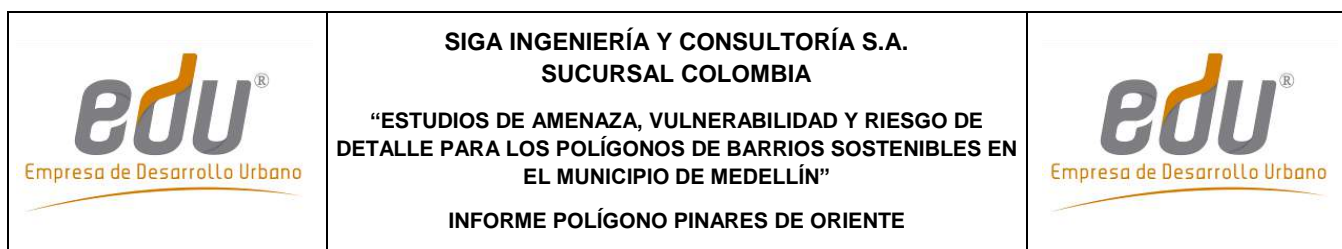
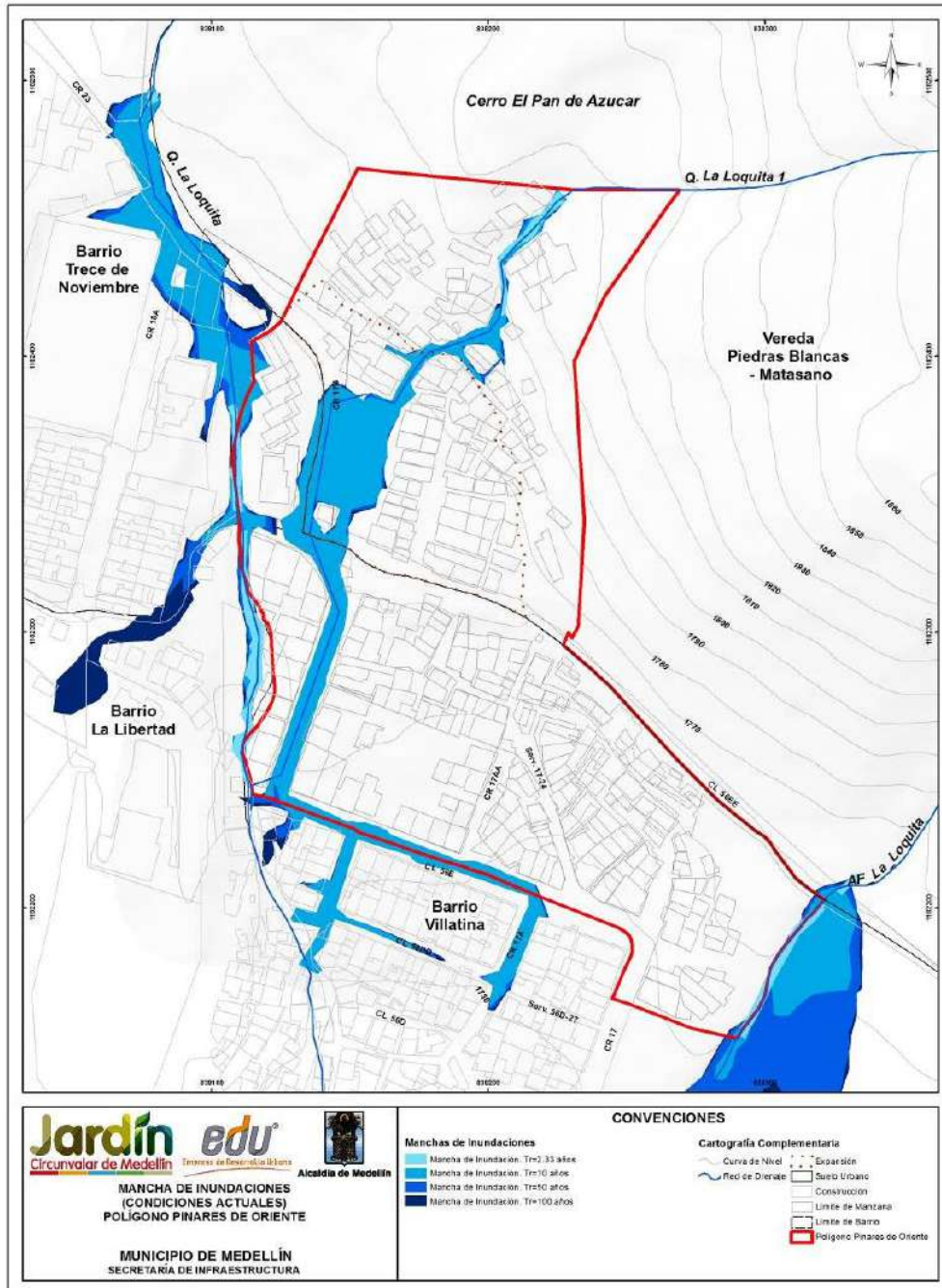




Tabla 55. Afluente La Loquita: profundidades de flujo y velocidades en el ingreso a la alcantarilla

VARIABLE	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)							
	2.33		10		50		100	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max	Min	Max
Profundidad Canal	1.38	2.08	3.17	3.25	3.72	3.65	3.84	3.92
Velocidad en el canal	1.15	3.23	1.15	4.03	1.15	4.7	1.15	4.91

A pesar de que la obra hidráulica existente actualmente se encuentra totalmente obstruida debido a los vertimientos de basuras y escombros en el lugar, se planteó como análisis de modelación una obstrucción al 30%, donde se determinó que la ancha de inundación no se incorpora al polígono y este a su vez se dirige hacia el Parque Campo Santo Villatina. Sin embargo se determinó que otra de las causas de los vertimientos es la incapacidad hidráulica de la estructura existente por su geometría.



Mapa 31. Manchas de Inundación para los diferentes periodos de retorno en condiciones actuales. Polígono Pinares de Oriente
(21_PDOManchaInundaciones_Medellin_C y 21_PDOManchaInundaciones_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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

13. AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

13.1 METODOLOGÍA

13.1.1 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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</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 presencia del nivel freático apenas se reportó en cuatro perforaciones de las trece consideradas.

13.1.2.2 Escenario 2



El segundo escenario que en principio se pendón considerar corresponde a las condiciones normales de lluvia y también a las extremas de dicha variable. No obstante, 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 en el caso particular de la UMI Pinares de Oriente, tal como se describe a continuación:

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, donde la presencia de niveles freáticos se ha manifestado sólo en zonas puntuales, estableciéndose como niveles freáticos colgados.

Otro aspecto involucra las condiciones hídricas de la UMI por efecto de pendiente y el uso del suelo. En la UMI se presentan pendientes en el terreno mayores que 30° y la presencia de drenajes naturales que funcionan como sistemas de canalización de las aguas de escorrentía. Análisis de infiltración/escorrentía mostrados en el Capítulo 11, muestran coeficientes de escorrentía por encima del 50% para el caso de las lluvias más probables y del 75% (TR 2.33 años) para el caso de las lluvias más críticas (TR 100 años) (Tabla 39). Los tiempos de concentración asociados a estas condiciones de pendiente son de hasta 14 min que son tiempos de concentración bajos, lo que demuestra que la cuenca responde rápido en términos de drenaje.

En cuanto a los usos del suelo, la UMI se caracteriza por poseer aproximadamente un 50% en uso forestal y el otro 50% en uso urbano. No obstante, en las zonas forestales apenas el 10% posee zonas boscosas y el resto corresponde a zonas desprovistas de vegetación espesa, lo que acelera más los procesos de evaporación y escorrentía y disminuye lo efectos de infiltración desde la superficie.

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 limos de alta plasticidad (MH) donde sus índices de plasticidad llegan a ser de 38 %, los límites líquidos están por encima del 60% y los porcentajes de saturación son en promedio del 80%. Adicionalmente, la determinación de coeficientes de permeabilidad a través de ensayos de laboratorio de consolidación, realizados sobre

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

algunas muestras de la zona arrojaron valores no menores de 1×10^{-9} m/s, lo que hace que se trate de materiales altamente impermeables.

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 9 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 contemplará 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 tienen 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 138).

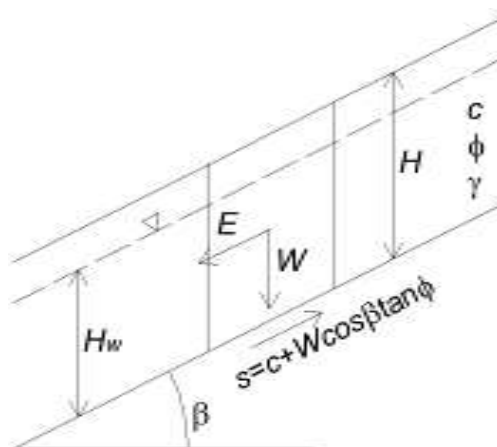


Figura 138. Modelo de cuerpo libre para mecanismo de falla planar

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 depósitos de flujo de lodos y/o escombros (Qfl/e), depósitos de deslizamiento (Qd) y depósitos coluviales y, 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 Pinares de Oriente, 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 superficies fueron empleadas para programar con

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

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 así 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

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	--	---



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

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	--	---

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; Da & Lee, 2001).

Según Van Westen & Terlien (1996), la teoría de equilibrio límite de talud infinito (Figura 138) 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 pixel individual resultarán en valores del factor de seguridad, que pueden utilizarse para crear un mapa de amenaza (Figura 139).

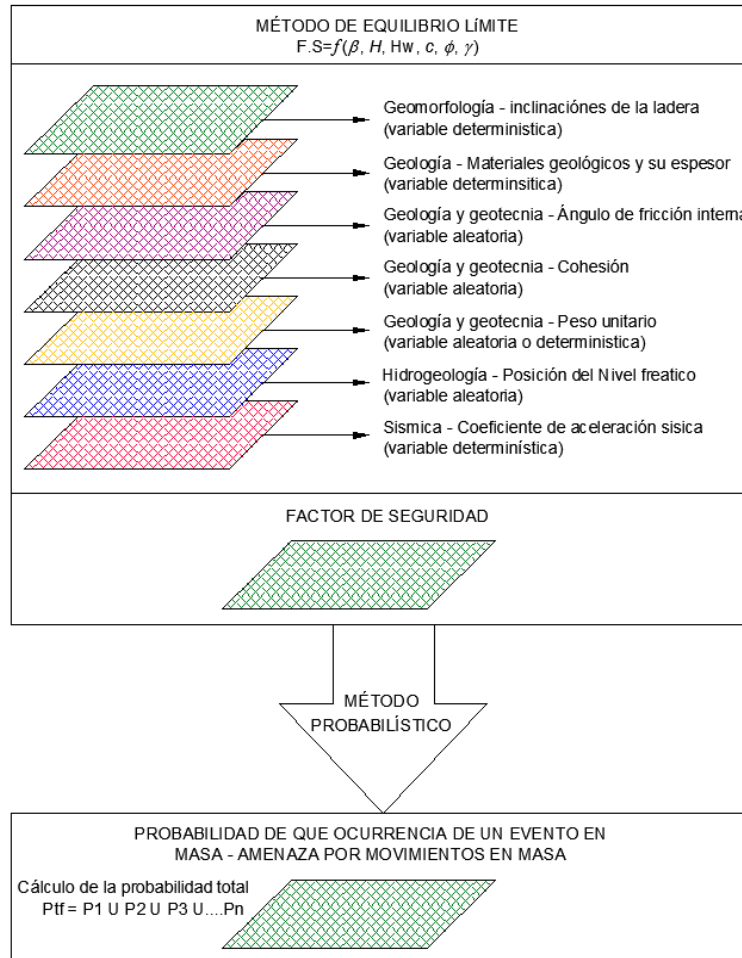


Figura 139. Modelo general de implementación en SIG para determinar la amenaza por movimiento en masa

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 ó 1:500) y 1:5.000 o de mayor detalle para el área rural (1:1.000 ó 1:500).

13.1.6 Criterios para calificar la amenaza

La Ficha Técnica del Proyecto Barrios Sostenibles estableció 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 56. En la Tabla 57 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 56. 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 57. 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%

13.2 RESULTADOS

En el Mapa 32 y en el Mapa 33 se presentan los respectivos análisis del factor de seguridad en condiciones estáticas y pseudoestáticas.

- ✓ En el caso del mapa de factores de seguridad (FS) en condiciones estáticas, se puede ver que la mayor parte del polígono presenta valores altos de FS, por encima de 1.5. En general, los factores de seguridad bajos ($FS \leq 1.2$) predominan en las zonas con pendientes muy altas, mayores que 30° .
- ✓ En el caso del mapa de factores de seguridad (FS) en condiciones pseudoestáticas, representativo del escenario con sismo, se puede ver que por lo menos el 40% del polígono presenta valores de FS menores o iguales que 1.2. Vale la pena aclarar que factores de seguridad pseudoestático mayores de 1.1 pueden considerarse aceptables, de tal manera que los FS considerados bajos en el polígono realmente alcanzan, en algunos puntos, valores que pudieran ser adecuados.

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	--	---

Por otro lado, el Mapa 34 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. Como se muestra en el Mapa 35, se evidencia la afectación de casi la totalidad de la zona con probabilidades de falla cercanas al 100%. Es importante aclarar que este escenario es considerando que el sismo de periodo de retorno de 475 años podría actuar de forma inmediata.

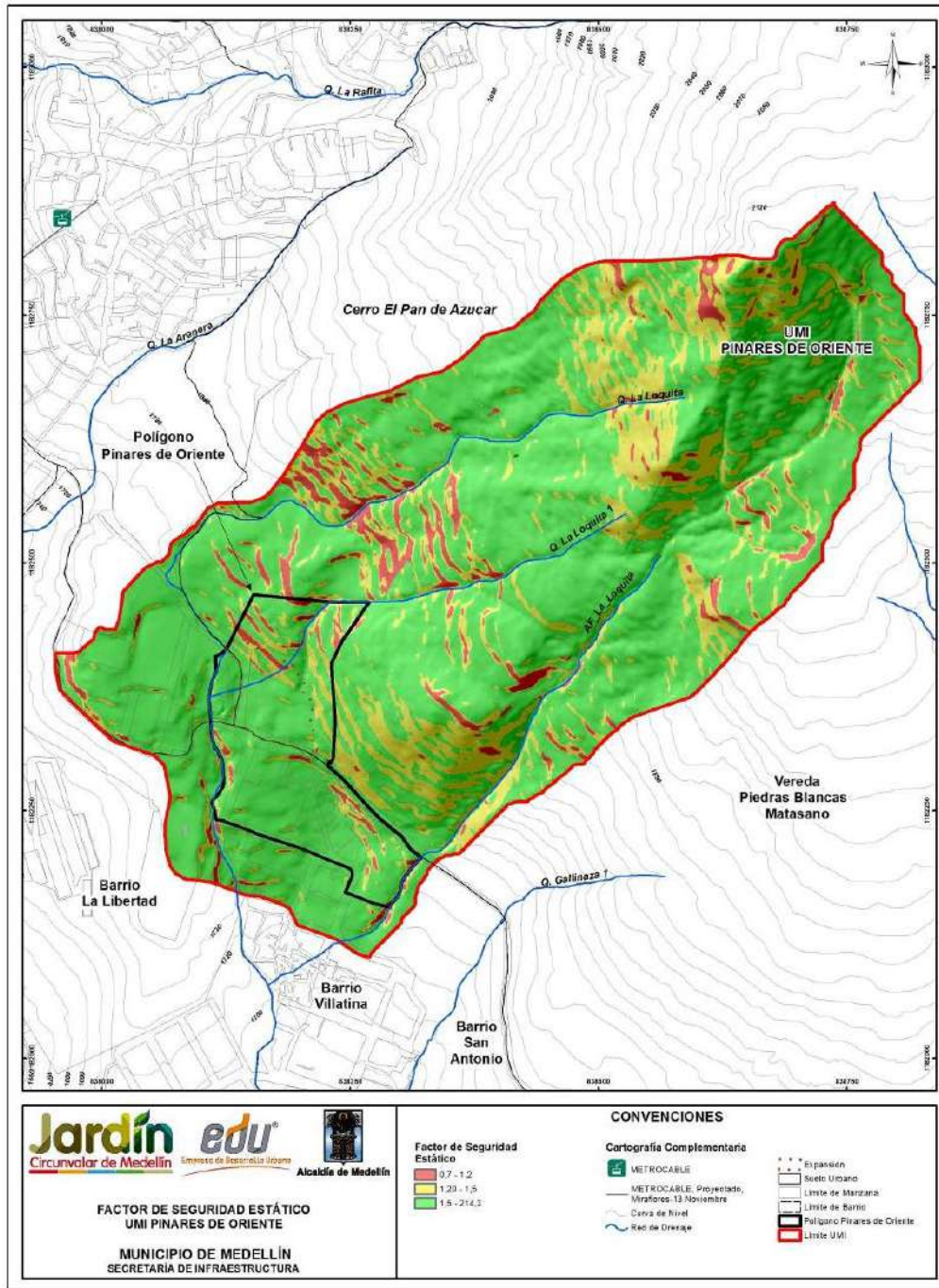
Para efectos de encontrar la probabilidad de falla a 50 años de proyección, se procedió a analizar el efecto del sismo dividiendo los resultados obtenidos en el Mapa 35 por el respectivo periodo de retorno de 475 años. Esto permitió el Mapa 36 que muestra la probabilidad de falla anualizada considerando la afectación del sismo de la zona. Posteriormente, para hacer la proyección de la probabilidad de falla a 50 años, que se considera es el periodo de exposición, se utilizó una función de probabilidad exponencial.

Finalmente, en el Mapa 37, se presenta el mapa de zonificación de la amenaza total considerando la variabilidad de los parámetros de resistencia al corte evaluado en el análisis del Mapa 34 y el efecto del sismo para un periodo de exposición de 50 años.

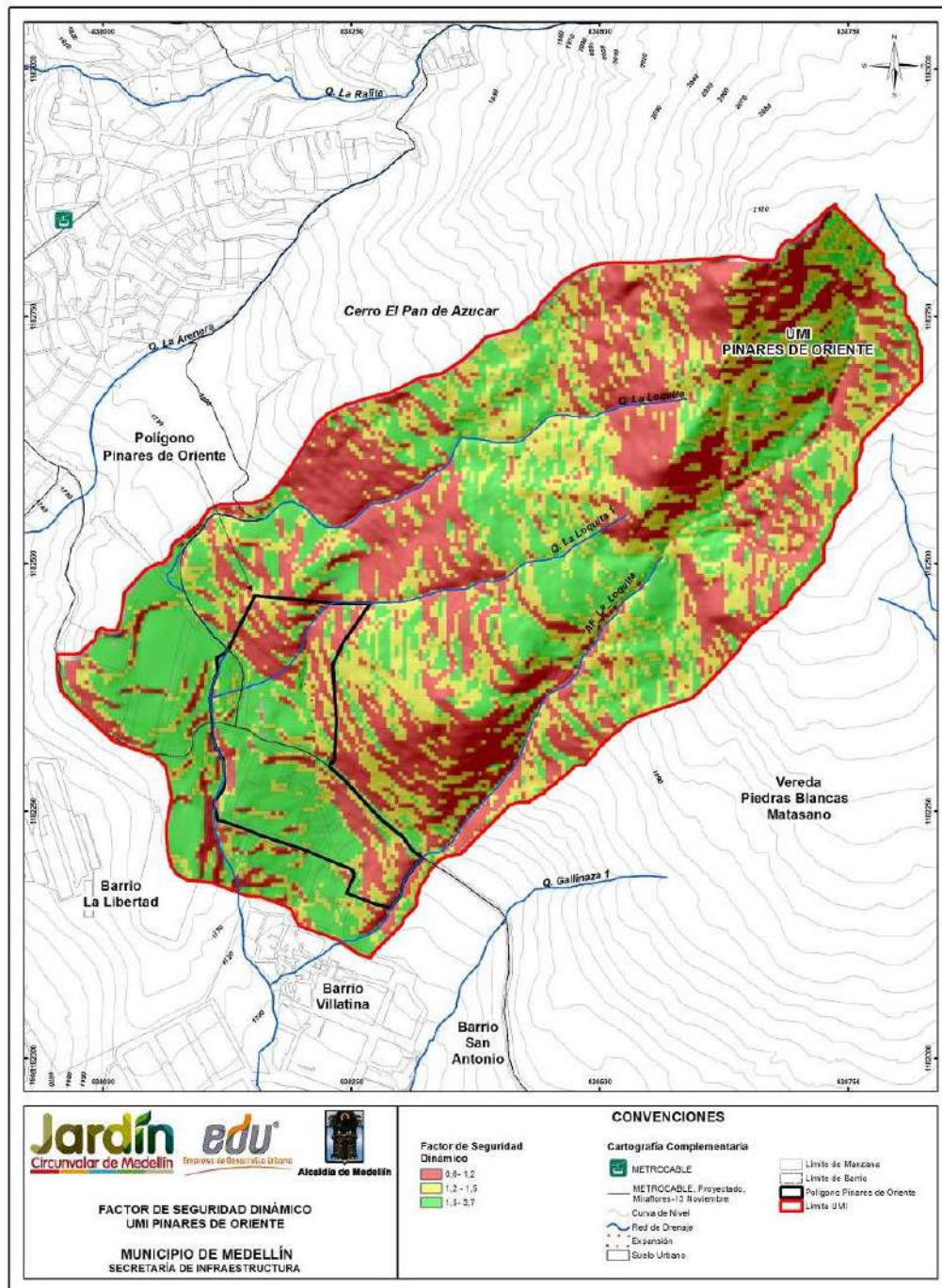
Considerándose el mapa de zonificación de la amenaza por movimientos en masa (Mapa 37) en conjunto con el mapa de pendientes (Mapa 11) y el de procesos morfodinámicos (Mapa 13) se observa que los sitios de mayor inestabilidad y que representan mayor afectación al polígono se localizan en la parte alta y por fuera éste. Se ubican en una ladera no urbanizada, de alta pendiente (>30°) y desarrollada superficialmente en el Horizonte IIA de Dunitas de Medellín. En la zona se mapearon procesos morfodinámicos actualmente inactivos y se registraron bloques en superficie debido a la erosión de la ladera. Por lo tanto, la inestabilidad potencial se asocia entonces con las pendientes de la ladera en conjunto con los bloques de roca encontrados en superficie.

En el costado suroriental del polígono, sobre la vía hacia San Antonio, se presenta otra zona potencialmente inestable como se observa en el Mapa 37. Estos son los sitios más críticos en el polígono, de tal manera que en caso de ocurrencia de un movimiento en masa, estos podrían afectar directamente las viviendas, 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.

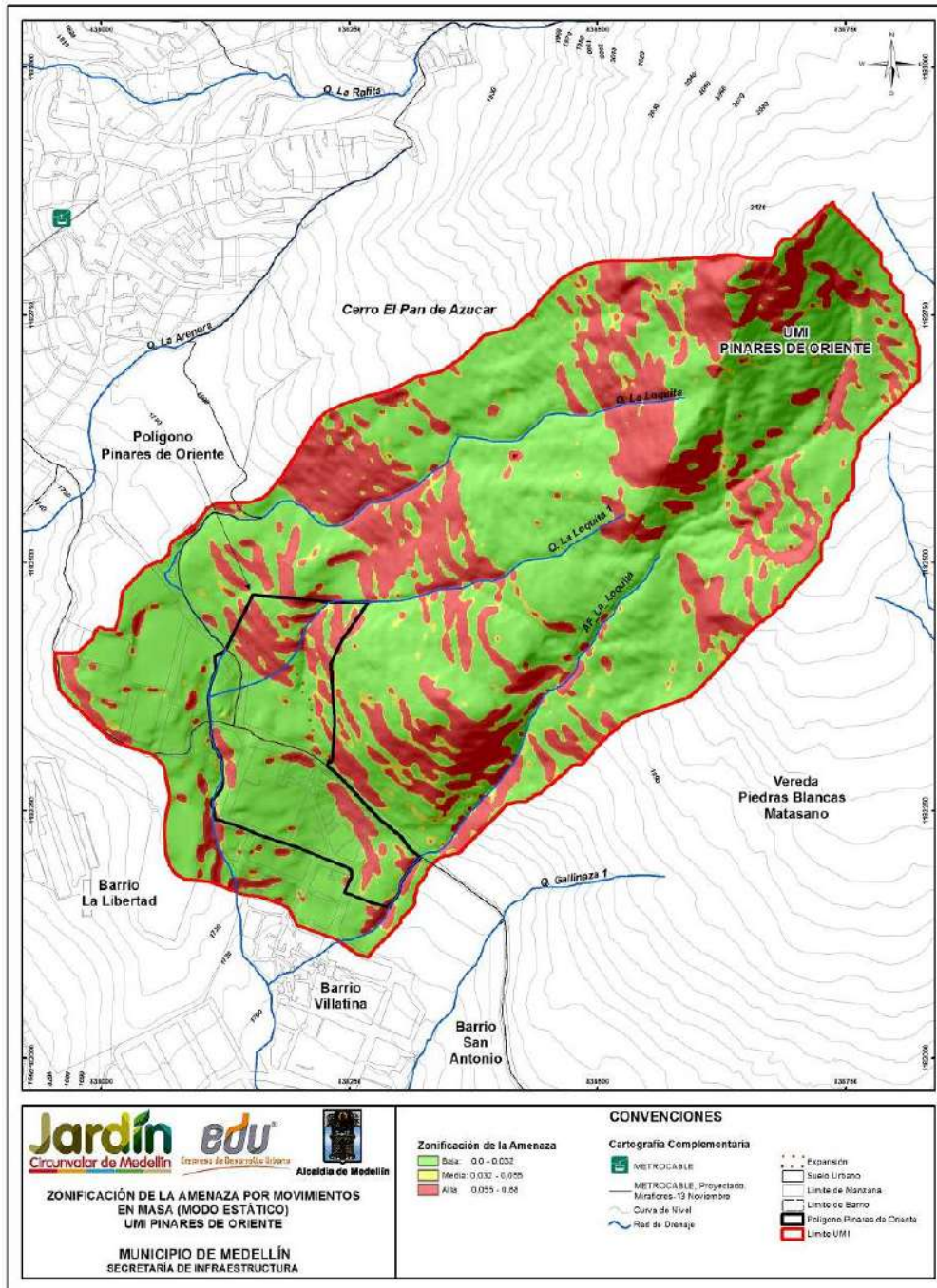
En general, las áreas con probabilidad de falla baja predominan y se extienden a lo largo y ancho de la UMI Pinares de Oriente.



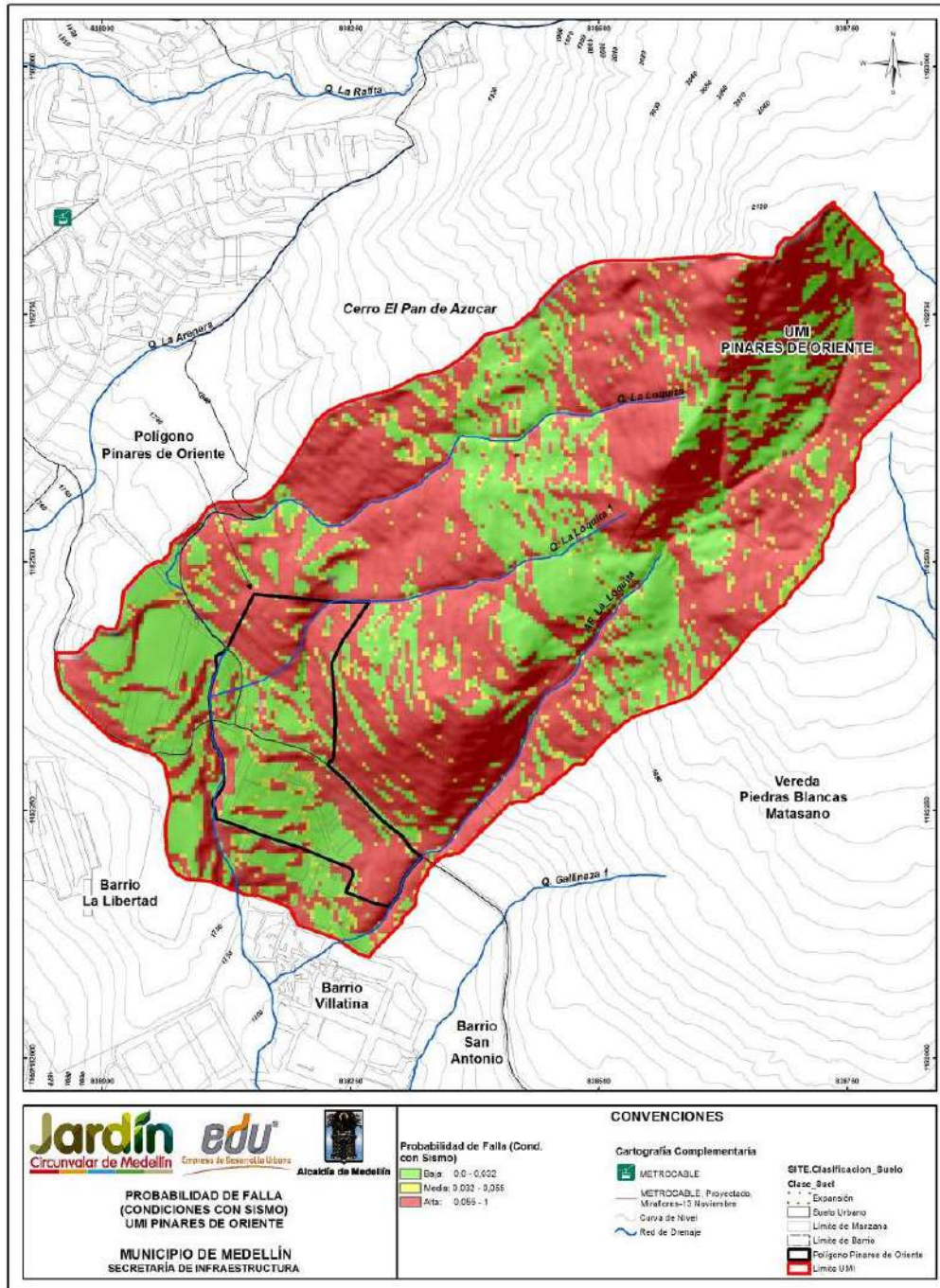
Mapa 32. Análisis del factor de seguridad de la UMI Pinares de Oriente en condiciones estática (PDFFactorSeguridadEstaticoUMI_Medellin_C)



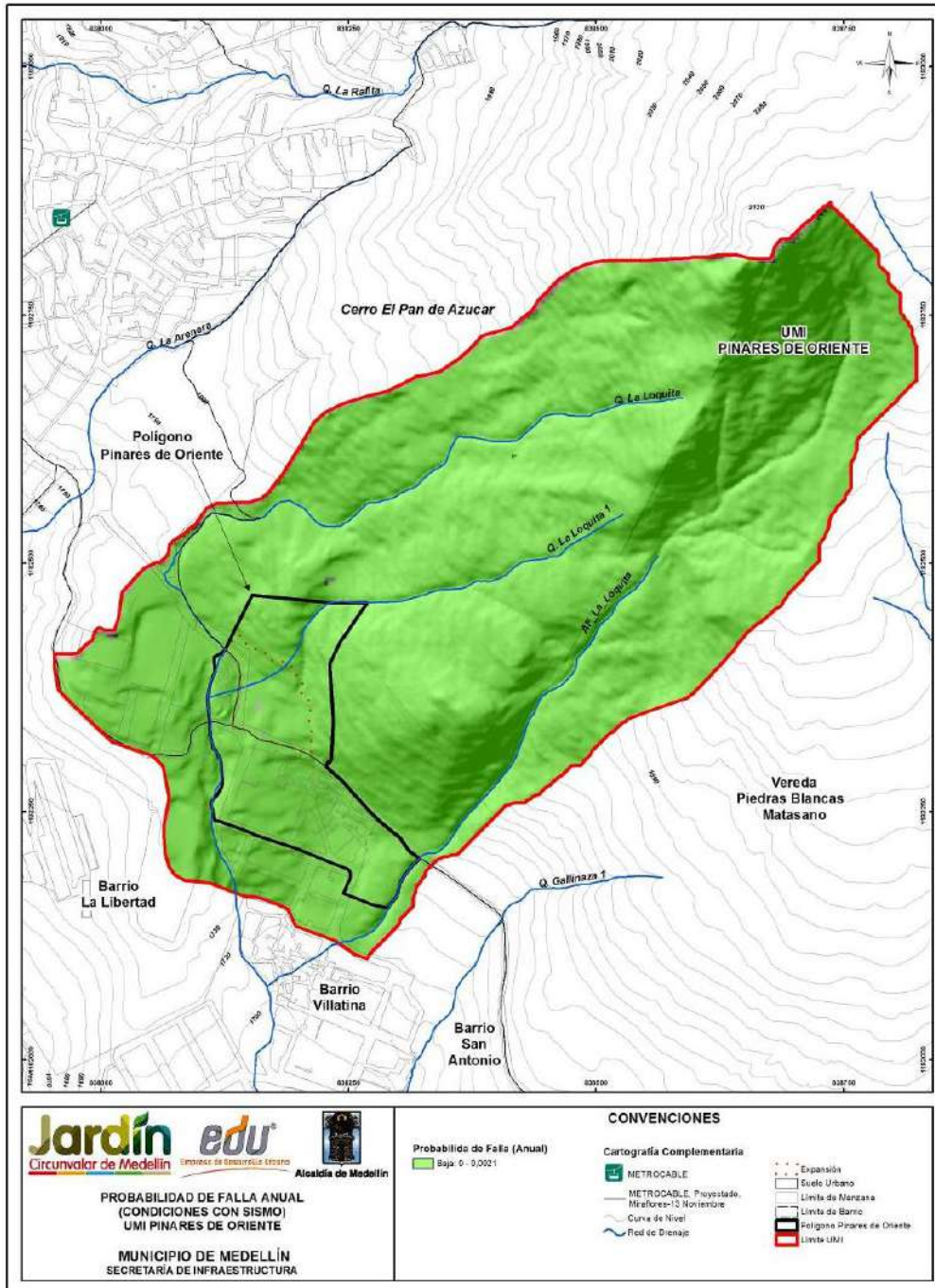
Mapa 33. Análisis del factor de seguridad de la UMI Pinares de Oriente en condiciones seudo-estáticas con sismo de 0.25g (PDFactorSeguridadDinamicoUMI_Medellin_C)



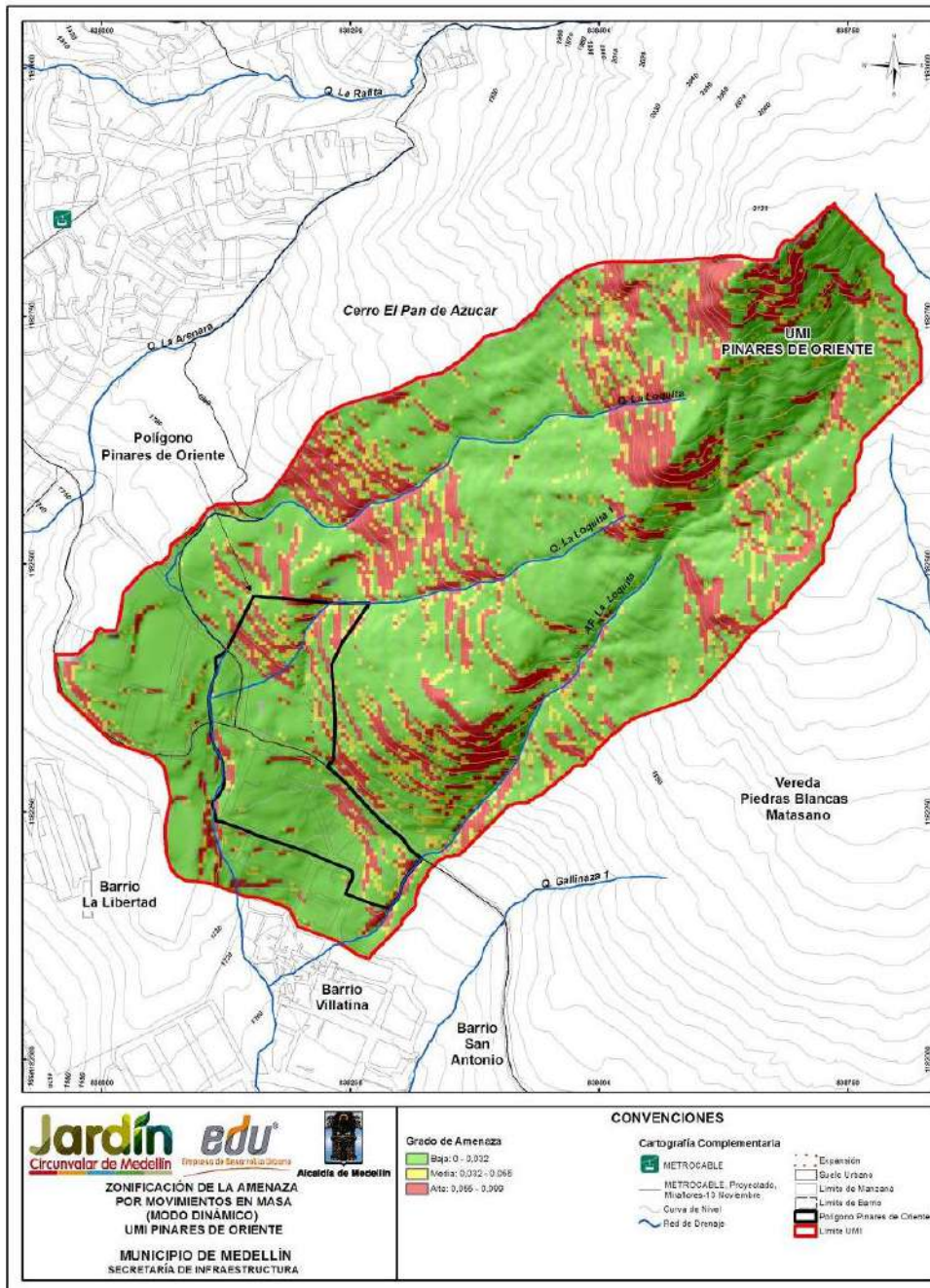
Mapa 34. Análisis de probabilidad de falla de la UMI Pinares de Oriente en condiciones actuales y naturales (PDOProbabilidadFallaCondicionesActualesUMI_Medellin_C)





Mapa 35. Análisis de probabilidad de falla de la UMI Pinares de Oriente en condiciones seudo-estático con un sismo 0.25g periodo de retorno de 475 años (PDOProbabilidadFallaTotalUMI_Medellin_C)



Mapa 36. Análisis de probabilidad de falla anualizado de la UMI Pinares de Oriente en condiciones seudo-estático con un sismo 0.25g (PDOProbabilidadFallaAnualUMI_Medellin_C)



Mapa 37. Zonificación de la amenaza total por movimientos en masa proyectado para 50 años considerando la variabilidad de los parámetros y la acción del sismo de 0.25g (19_PDOAmenazaMovimientosenMasa_Medellin_C y 19_PDOAmenazaMovimientosenMasa_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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

14. AMENAZA POR INUNDACIÓN

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, como se indica a continuación:

- ✓ 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 Pinares de Oriente, 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 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. Se pueden citar, 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 140). 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.

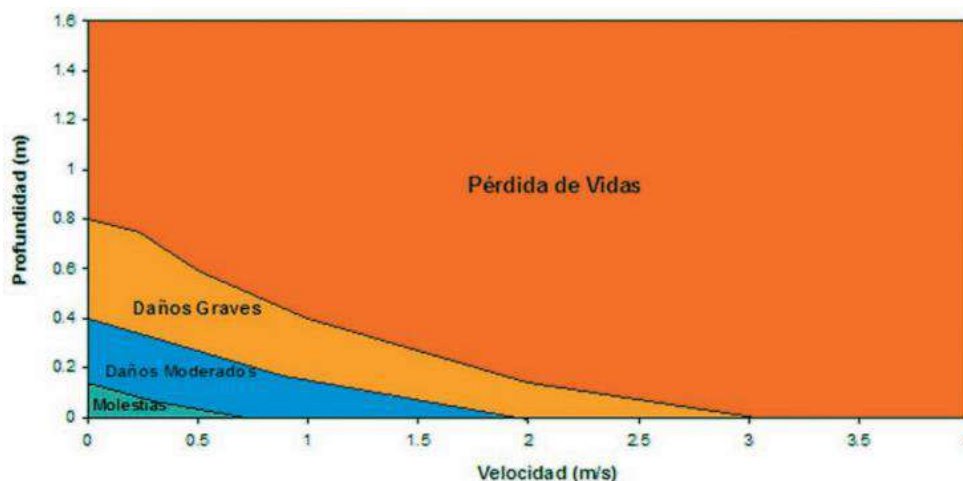


Figura 140. Tipo de daños según velocidad y profundidad de Flujo (Universidad Nacional de Colombia e Instituto Mi Rio, 2003)

Por su parte, para la probabilidad también se consideraron tres categorías de 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 58 y en la Tabla 59 se resume la clasificación de la probabilidad y la intensidad respectivamente según los criterios descritos.

Tabla 58. Asignación de la calificación de la Probabilidad de Inundaciones

Calificación de la Probabilidad	Periodo de retorno (Años)	Probabilidad de Excedencia (%)
Alta	TR ≤ 10	10% ≤ P
Media	10 < TR ≤ 50	2% ≤ P < 10%
Baja	50 < TR	P < 2%

Tabla 59. 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 141 se presenta de manera gráfica la asignación de la amenaza según la probabilidad y la intensidad, de acuerdo con metodologías de.

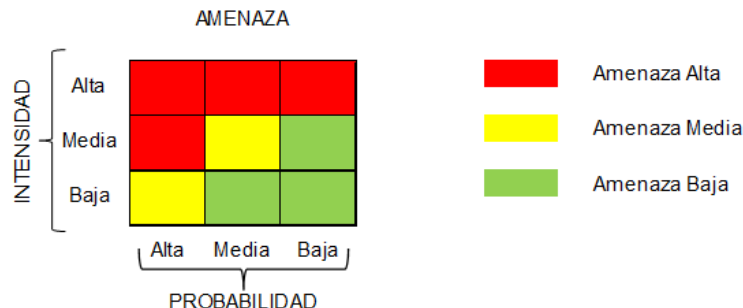




Figura 141. Asignación de la amenaza por Inundación a partir de la Intensidad y la probabilidad del fenómeno (Ofee et al (1997 y Fiebiger (1997) en López y Courtel 2006)

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.

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

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

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 el.

14.3 RESULTADOS

La evaluación de la amenaza por inundaciones generadas por las Quebradas La Loquita, La Loquita 1 y el Afluente La Loquita, principales drenajes del Polígono Pinares de Oriente, 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.

En el costado centro-occidental del polígono se encuentra concentrada la amenaza alta, debido a que esta zona se encuentra directamente influenciada por las Quebradas La Loquita y La Loquita 1, las cuales presentan déficit de capacidad hidráulica en su cauce y en sus estructuras hidráulicas. El flujo que no alcanza a ingresar a las diferentes obras fluye sobre las escaleras anegando el parque infantil y llegando hasta la vía principal que actúa como un canal, en el cual se presentan algunas profundidades de flujo que superan los bordillos de la vía generando amenaza por inundación rápida para las viviendas.

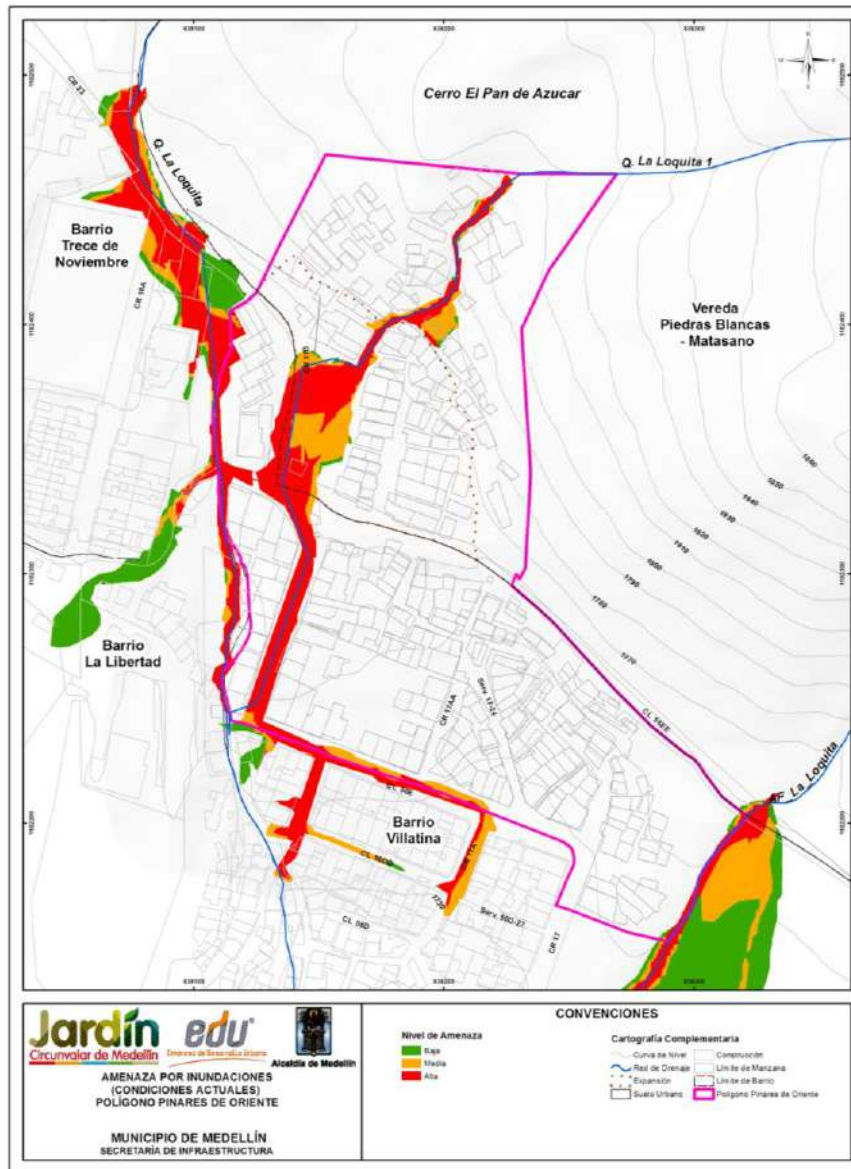
A nivel general, sobre el costado occidental, la Quebrada La Loquita presenta desbordamientos por incapacidad hidráulica de las diferentes estructuras por las cuales cruza, como lo son la red de alcantarillado ubicado en la Carrera 23 y la alcantarilla que cruza la Calle 56EE, esta situación sumada a los desbordamientos de la Quebrada La Loquita 1 conllevan igualmente a una amenaza alta.

En la zona sur y centro del Polígono Pinares de Oriente, la amenaza comienza a ser media dadas las características topográficas del terreno y a la lejanía de los cauces principales.

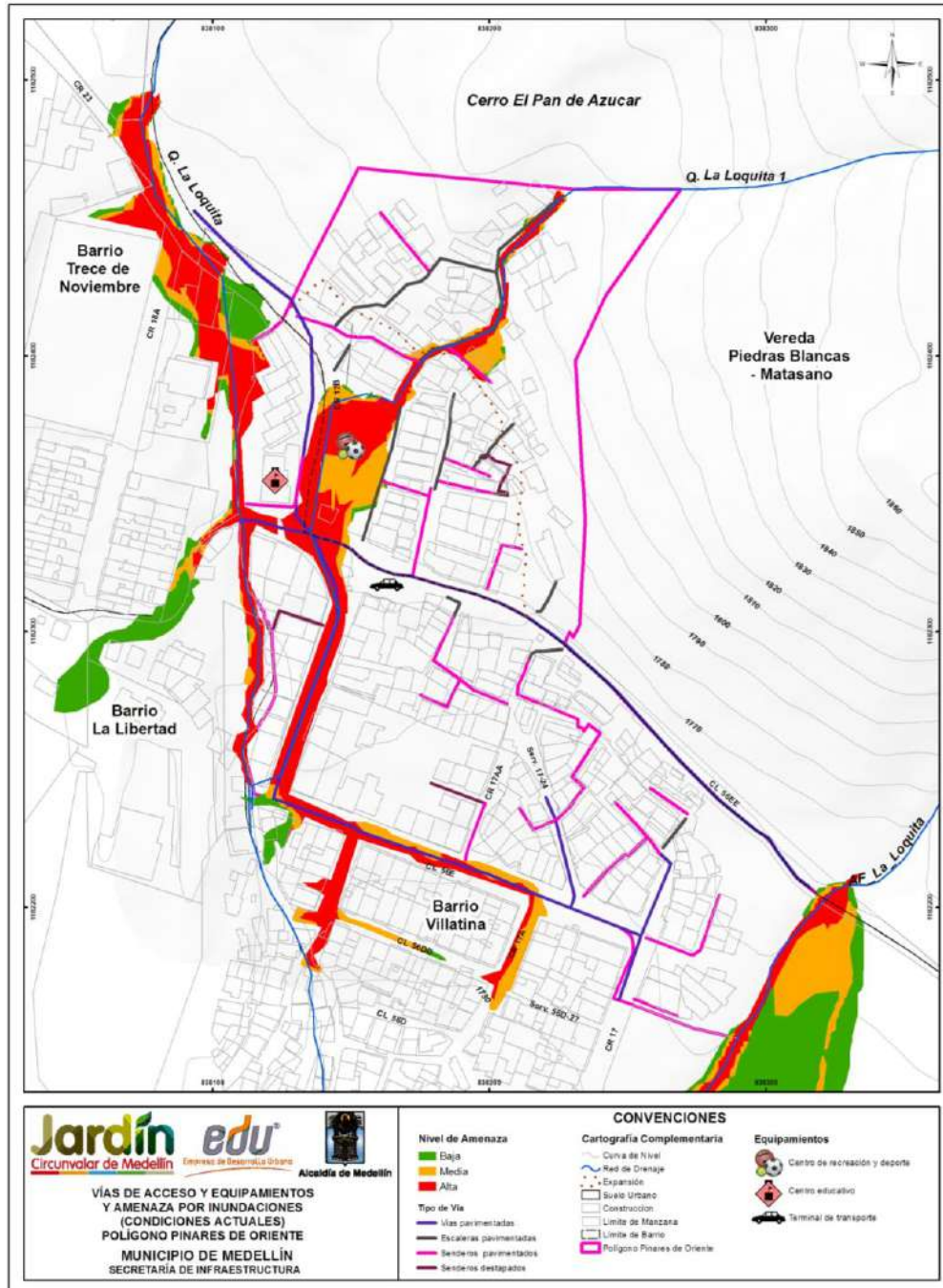
Sobre el costado oriental del polígono está el Afluente La Loquita, el cual se encuentra en los límites de éste, contiguo al Parque Campo Santo Villatina. Al interior del Polígono Pinares de Oriente, este cauce genera amenaza alta únicamente en su cauce, debido a que no hay presencia de viviendas cercanas que puedan ser afectadas por los desbordamientos que se puedan generar en eventos extremos.

En el Mapa 38 se presentan la amenaza por inundaciones para ambas quebradas en el Polígono Pinares de Oriente.



En el Mapa 39 se presenta el grado de amenaza en el que se clasificaron los tramos de vías o andenes. También, podemos observar la clasificación por amenaza para infraestructura especial (equipamientos).



Mapa 38. Amenaza por Inundaciones Quebradas La Loquita, La loquita 1 y Afluente La Loquita del Polígono Pinares de Oriente
(23_PDOAmenazasInundaciones_Medellin_C y 23_PDOAmenazasInundaciones_Medellin_T)



Mapa 39. Superposición de Vías de Acceso y Equipamientos sobre la amenaza por inundaciones (PDOAmenazaInundacionAccesosEquipamiento_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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

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 eventos pueden considerarse estadísticamente independientes, 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.

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 apartado 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 lo 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.

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.

$$\tau_r = g \cos \theta [C_* (\sigma - \rho) a] \tan \phi + c$$

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 60 para el cauce de la Quebrada La Loquita. En la Quebrada La Loquita 1 y el Afluente La Loquita no se realiza este análisis dado que sus cauces actualmente se encuentran cubiertos con estructuras tipo canales y coberturas que eliminan la posibilidad de generarse en ellos procesos de remoción del lecho.

En la Tabla 60 puede observarse que los materiales de las corrientes estudiadas tienen cohesiones que varían entre 13,1 kPa y 22,8 kPa correspondiendo el primero a llenos antrópicos y el segundo a depósitos de flujos y escombros.

El esfuerzo ejercido por el flujo sobre el lecho en cada sección a lo largo de La Quebrada La Loquita se presenta en la Figura 142. 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.

Tabla 60. Propiedades de los materiales de los cauces con influencia en el Polígono Pinares de Oriente

	Φ' (°)	c' (kPa)	γ (kN/m ³)
PINARES DE ORIENTE			
Quebrada La Loquita			
Lleno Antropico	26.90	13.05	17.43
Dunitas de Medellin (JKuM)	26.50	24.20	16.71
Depositos de flujo de lodos y escombros	24.13	22.79	17.43

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

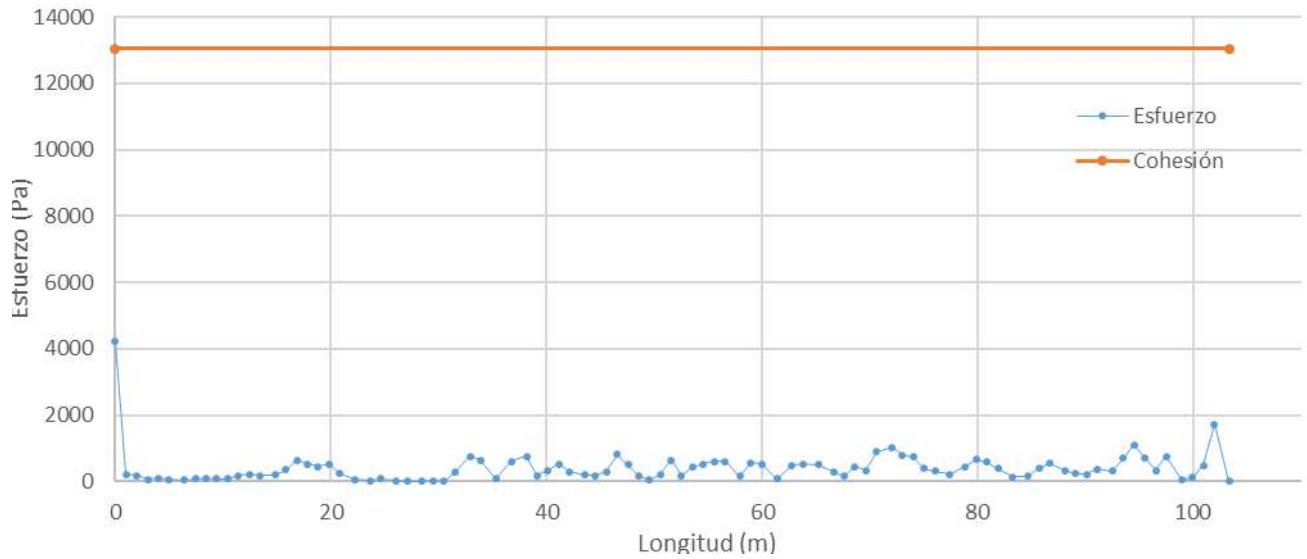




Figura 142. Variación del esfuerzo a lo largo de la Quebrada La Loquita

15.4 RESULTADOS

Por lo anotado en este capítulo, se concluye que el Polígono Pinares de Oriente 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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

16. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

16.1 ASPECTOS GENERALES

Según el POT (2014) del municipio de Medellín, 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 la 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 con 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) 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 a la densidad habitacional. 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

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	--	---

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 campo. En los trabajos y visitas de campo efectuados por el personal especialista en estructuras del Proyecto se levantó información adicional requerida para la valoración numérica de la vulnerabilidad como fue: tipo de ocupación (residencial, comercial o mixta), 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), 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), y el 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 Barrios Sostenible, los elementos de estructura física expuestos como son: líneas vitales (vías), equipamientos (equipamientos de salud, parques, plazas, plazoletas, 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), estructuras 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 efectos esperados sobre los elementos expuestos que se pueden presentar como resultado del fenómeno natural. Esto sólo se realizó para las estructuras identificadas al interior del polígono.

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 con 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 estructuras 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 de 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 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 143). Ambos factores son adimensionales y son calculados como:

$$I = \begin{cases} I_{gem} \cdot I_{dfm} & \text{Factor de intensidad geométrico, cuando las estructuras} \\ & \text{están dentro del movimiento en masa} \\ I_{din} \cdot I_{dpt} & \text{Factor de intensidad dinámico, cuando las estructuras están} \\ & \text{fuera del movimiento en masa} \end{cases}$$

Donde I_{gem} es el factor de intensidad geométrica, 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.

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:

$$I_{dpt} = 0.1 \cdot D_{dpt}$$

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 61) 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 61. Clasificación de velocidad de fenómenos (Cruden & Varnes, 1996)

CLASE	DESCRIPCIÓN	VELOCIDAD (mm/s)	PROBABLE NIVEL DE DESTRUCCIÓN
7	Extremadamente rápido	5×10^3	Desastre de gran violencia, estructuras destruidas por impacto del material desplazado, muchos muertos, improbable el escape
6	Muy rápido	5×10^1	Algunas vidas perdidas, la velocidad supera la velocidad de escape de las personas.
5	Rápido	5×10^{-1}	Es posible escapar o evacuar las estructuras, personas y equipamientos destruidos
4	Moderado	5×10^{-3}	Algunas estructuras temporales e insostenibles 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.

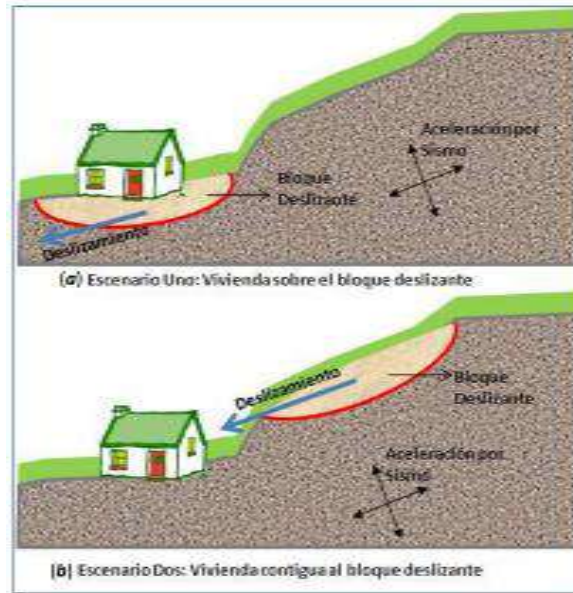


Figura 143. Esquema general que muestra los escenarios donde podría localizarse un movimiento en masa

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:



$$R = \left(\prod_{i=1}^{ns} \xi_i \right)^{1/ns}$$

- ✓ Factores de fundación (ξ_{sfd})
- ✓ Factores por el tipo de estructura (ξ_{sty})
- ✓ Factor de mantenimiento o estado (ξ_{smn})
- ✓ Factor de Altura o niveles de las estructuras (ξ_{sht})

Luego entonces la resistencia se podrá calcular por medio de la expresión que se presenta a continuación:

$$R = (\xi_{sfd} \cdot \xi_{est} \cdot \xi_{alt} \cdot \xi_{man})^{1/4}$$

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}):

 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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE	 edu [®] Empresa de Desarrollo Urbano
--	---	--

$$\xi_{sfd} = \left(\frac{D_{fun}}{10} \right)^{1/3} + 0.05$$

Con esta ecuación se podrían establecer unos rangos de valores para determinadas profundidades de fundación.

$\xi_{sfd}=1.05$ Para $D_{fun} > 10$ m

$\xi_{sfd}=0.63$ Para $2m < D_{fun} < 10$ m

$\xi_{sfd}=0.5$ Para $D_{fun} < 2$ m

De la Tabla 65 a la Tabla 64 se presentan los demás factores que hacen parte de la evaluación de la resistencia de las estructuras propiamente.

Tabla 62. 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 63. 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 64. 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_{dftm} 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 144 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 145 presenta un diagrama de flujo en el cual se observan los aspectos principales que componen la vulnerabilidad física por movimientos en masa.

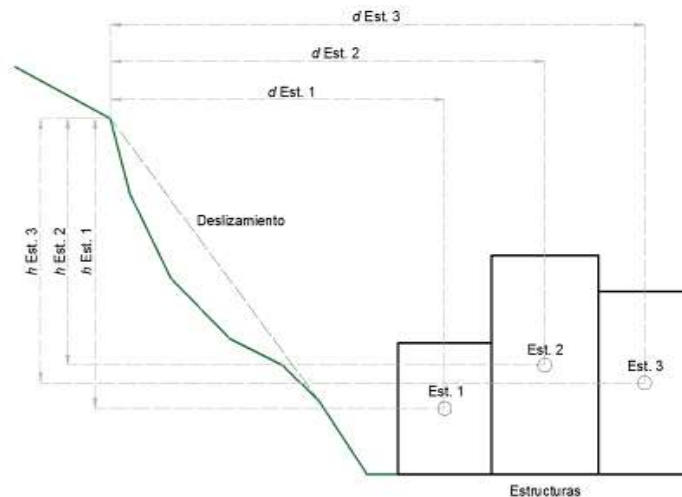


Figura 144. Parámetros de altura y distancia del deslizamiento a las estructuras físicas vulnerables

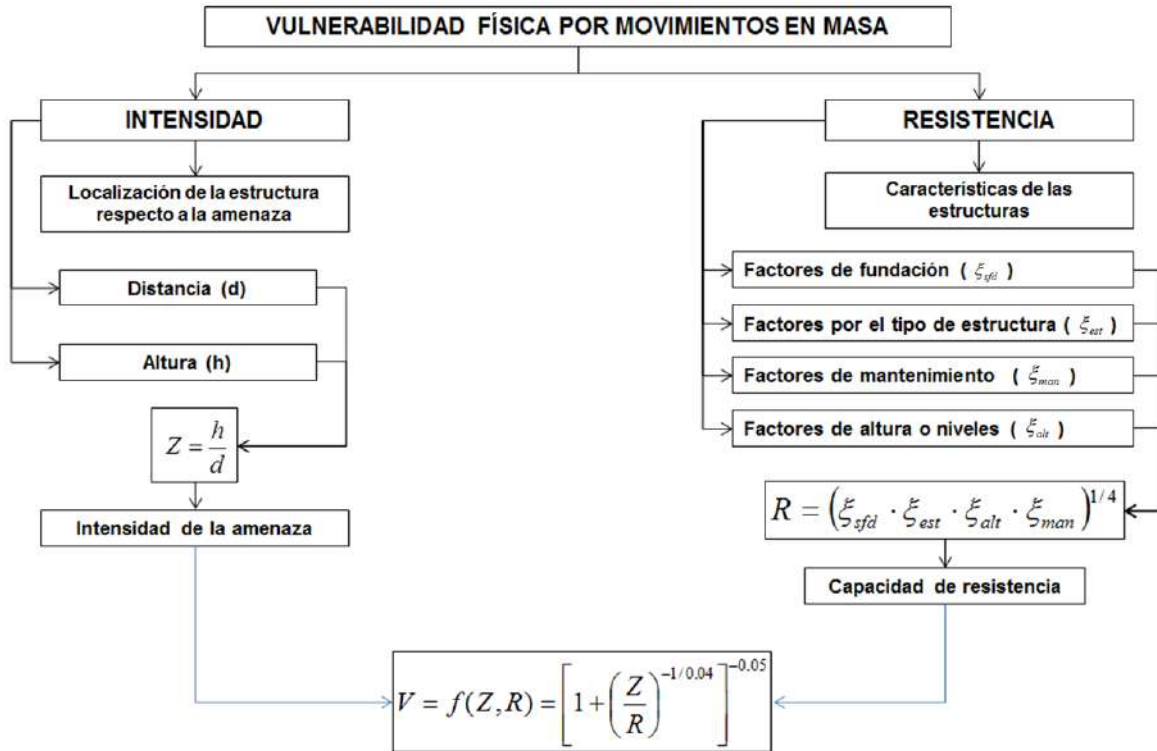


Figura 145. Diagrama de secuencia para la evaluación de la vulnerabilidad física para movimientos en masa

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 146).

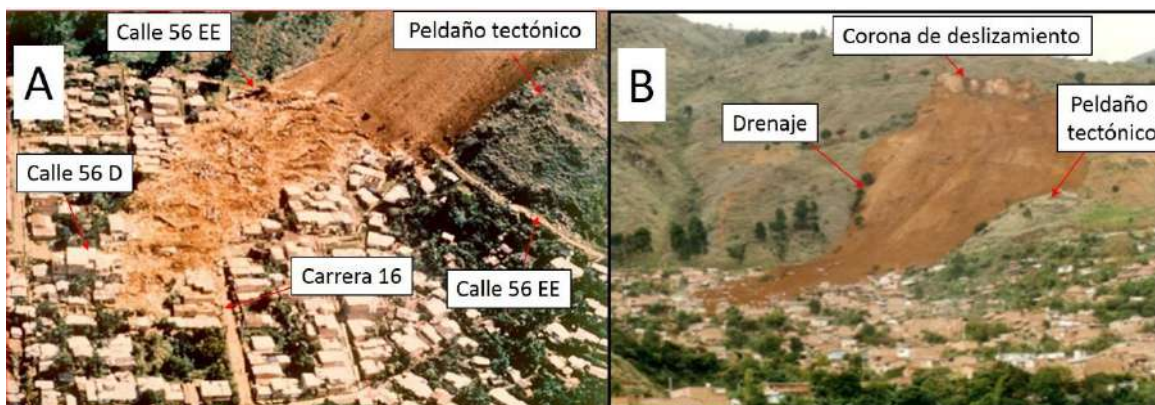


Figura 146. Localización de puntos de referencia para la definición del polígono asociado al Deslizamiento Villatina ocurrido en 1987 sobre fotografías del mismo

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 147).

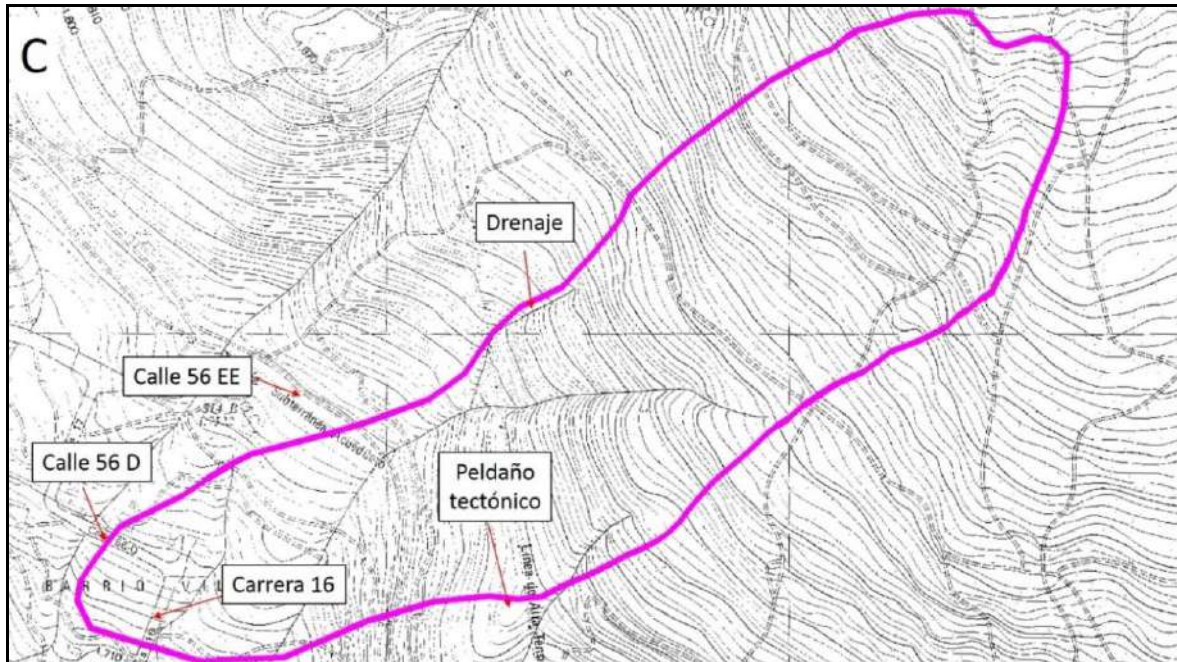


Figura 147. Polígono asociado al deslizamiento Villatina ocurrido en 1987 sobre cartografía IGAC de 1973 con puntos de referencia tomados de fotografías

La Figura 148, 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 40 y la Figura 149 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).

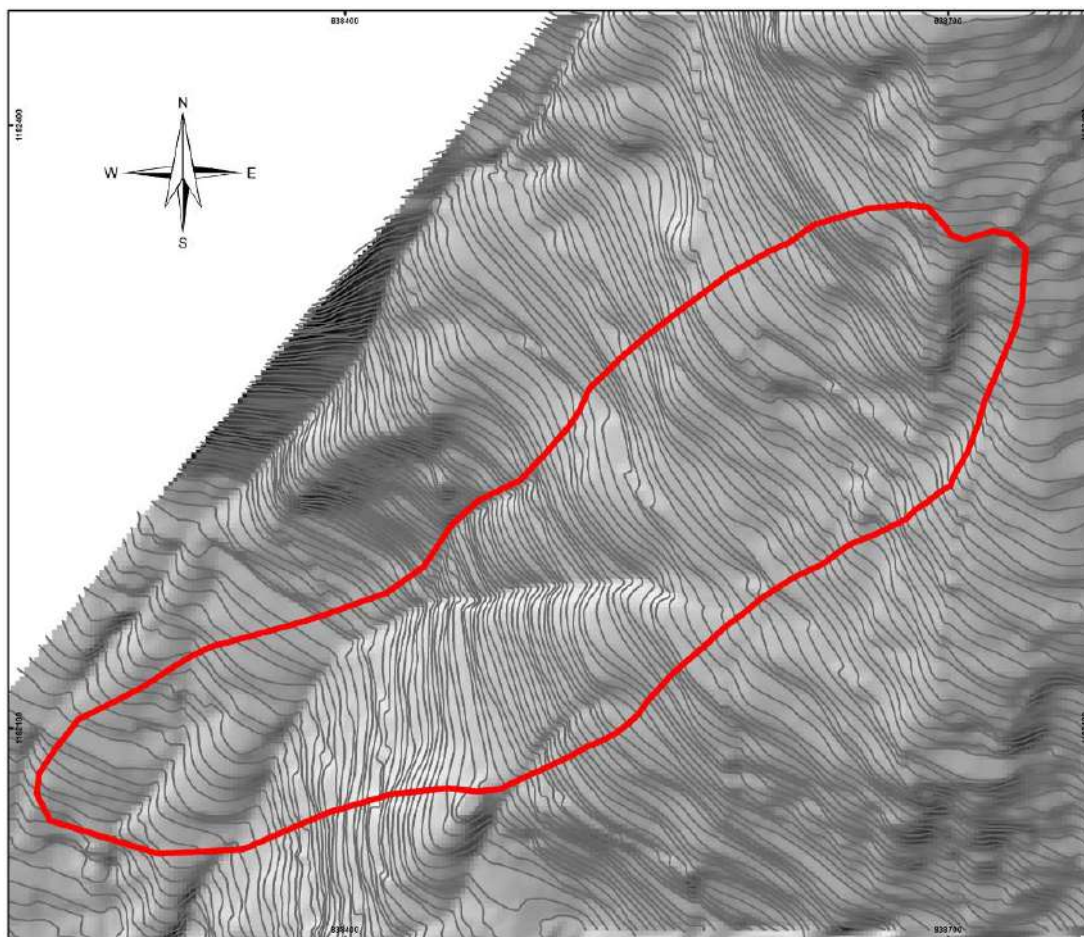
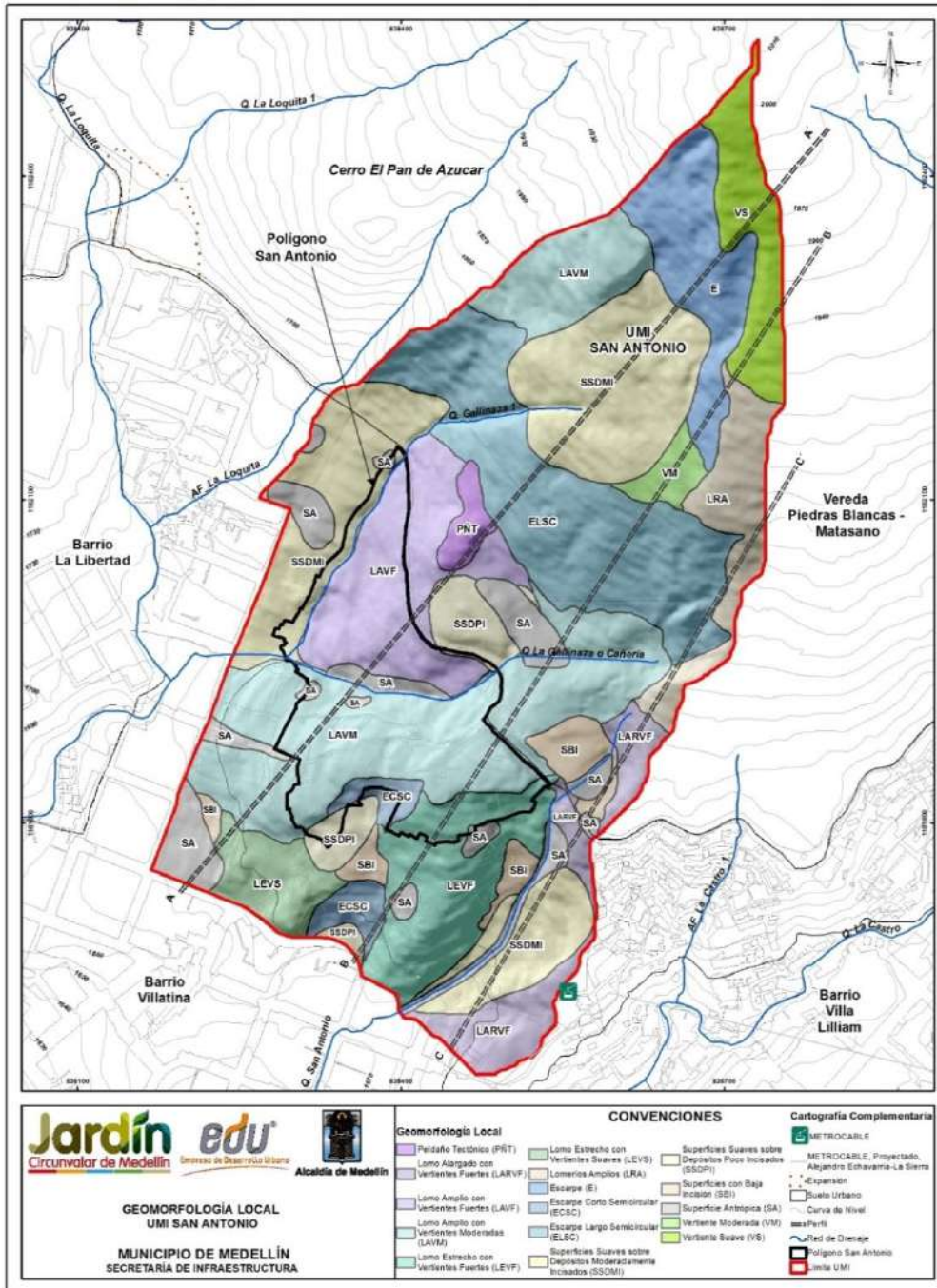


Figura 148. Polígono asociado al deslizamiento Villatina trazada por medio de registro fotográfico del mismo sobre la cartografía del año 1973



Mapa 40. Unidades geomorfológicas de la UMI San Antonio (SIGA, 2018)

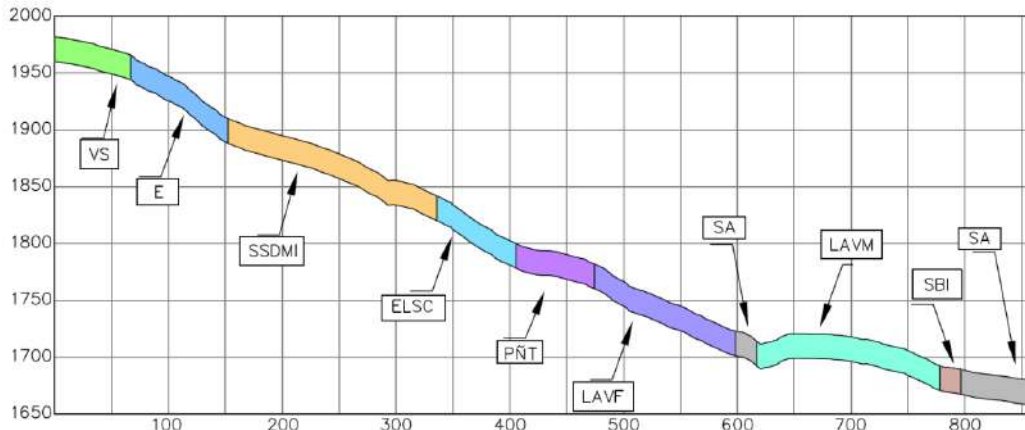




Figura 149. Perfil A-A' de unidades geomorfológicas de la UMI San Antonio (SIGA, 2018)

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 146. 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 146). 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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</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 144 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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</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 150, 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 150 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 polígono rojo calculado según la metodología.

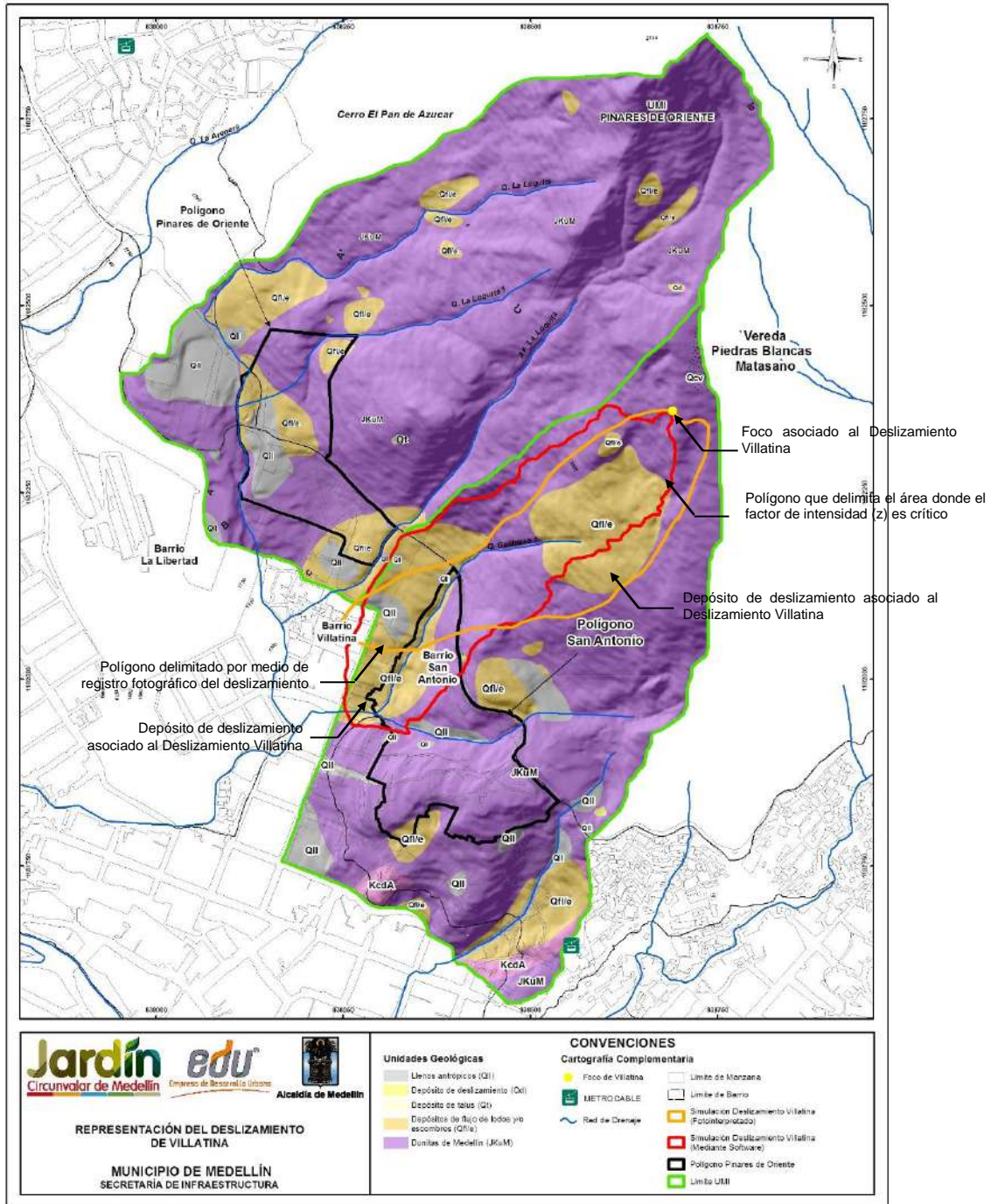




Figura 150. Comparación entre mapa de factor de intensidad (z) y derrame del deslizamiento Villatina como forma de validación de la metodología de estudio

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</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.

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 Pinares de Oriente, con un total de 305 estructuras (Figura 151). Las respectivas fichas de análisis para este polígono se presentan en el Anexo 06. El Mapa 41 presenta las vías y de acceso y equipamientos del polígono objeto de estudio

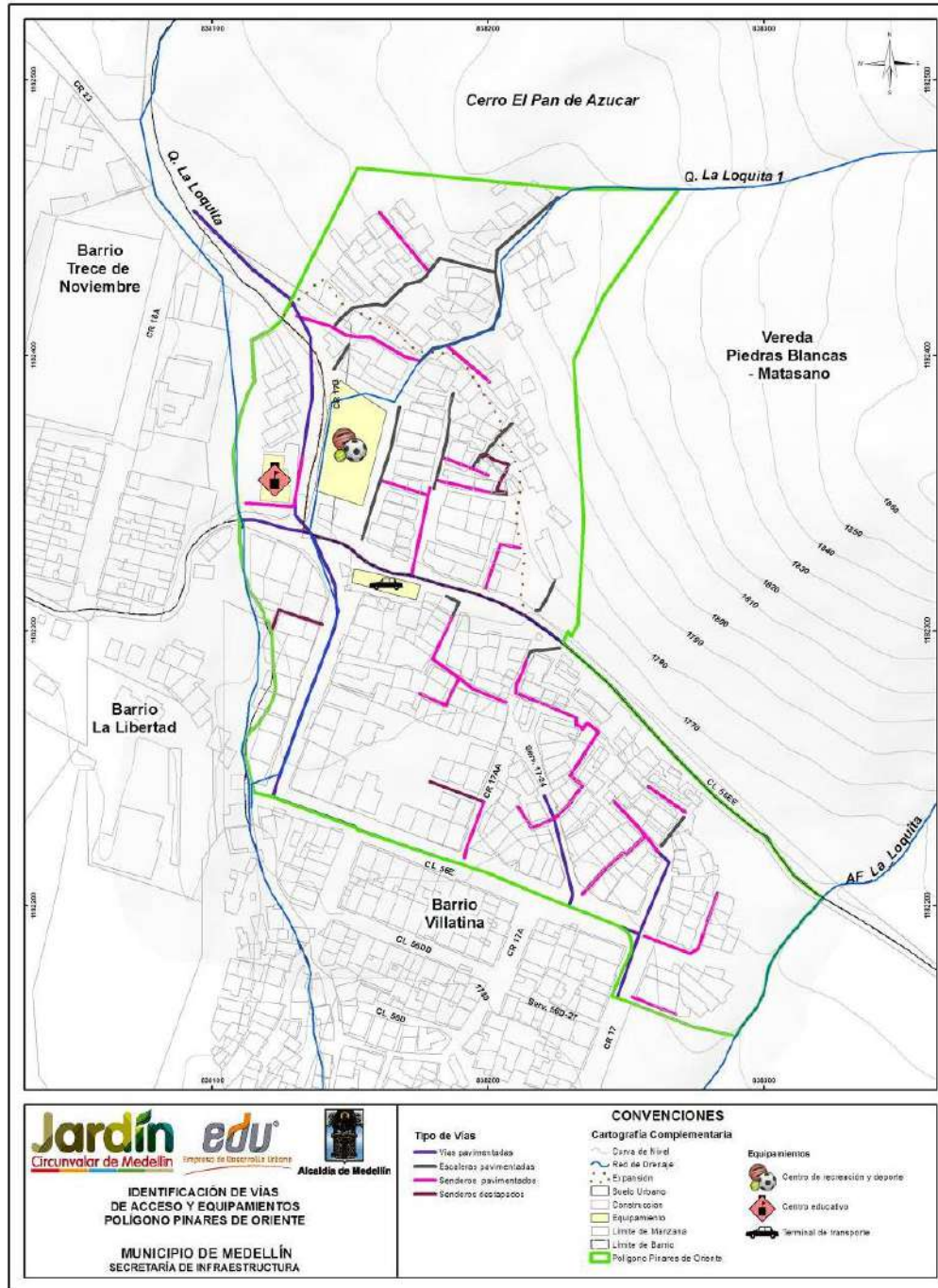
Para la delimitación del polígono de intervención se usaron los siguientes referentes físicos: La Calle 56EE en el noroccidente, por el sur con la Calle 17 y la Calle 56E, por el oriente con la línea de cauce de la Quebrada La Escorrentía en el Parque Campo Santo Villatina y por el occidente con la línea de cauce de la Quebrada La Loquita.

Luego de recopilada la información de campo, ésta fue 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 65 a Tabla 69) 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 en los Mapa 42 a Mapa 46.

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. El Mapa 47 presenta la distribución del factor resistencia donde un factor de resistencia de 1.0 corresponde a una vivienda de máxima resistencia.



Figura 151. Zonificación Pinares de Oriente



**Mapa 41. Localización vías de acceso y equipamientos en el Polígono Pinarés de Oriente
(35_PDOViasdeAccesosyEquipamientos_Medellin_C y
35_PDOViasdeAccesosyEquipamientos_Medellin_T)**

Tabla 65. Tipo de ocupación – Movimiento en Masa

Ocupación	Total Viviendas	%
Residencial	287	94.10
Comercial	10	3.28
Mixto	8	2.62
Total	305	100

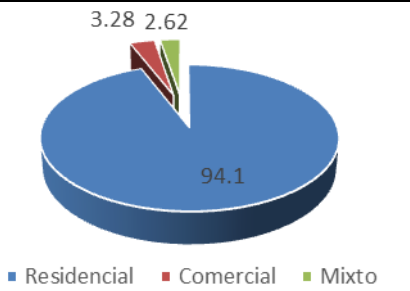


Tabla 66. Tipo de estructura – Movimiento en Masa

Tipo Estructura	Total Viviendas	%
Muy ligera	2	0.66
Ligera	80	26.23
Mixta	4	1.31
Mampostería	214	70.16
Concreto reforzado	5	1.64
Total	305	100

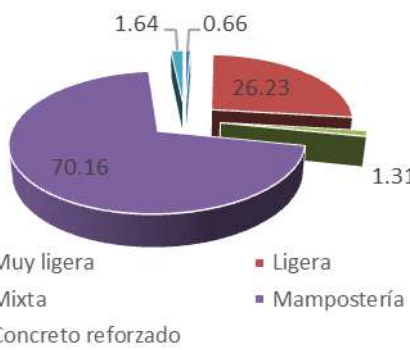


Tabla 67. Estado de la estructura – Movimiento en Masa

Estado Estructura	Total Viviendas	%
Muy mala	18	5.90
Mala	73	23.93
Media	148	48.52
Buena	58	19.02
Muy buena	8	2.62
Total	305	100

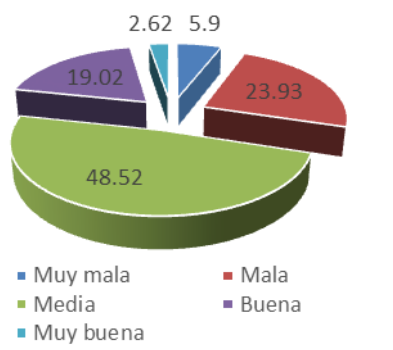


Tabla 68. Alturas de las estructuras – Movimiento en Masa

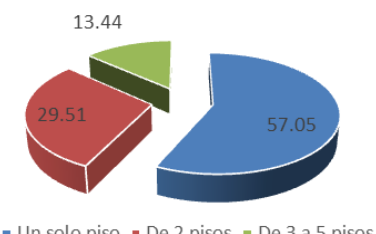

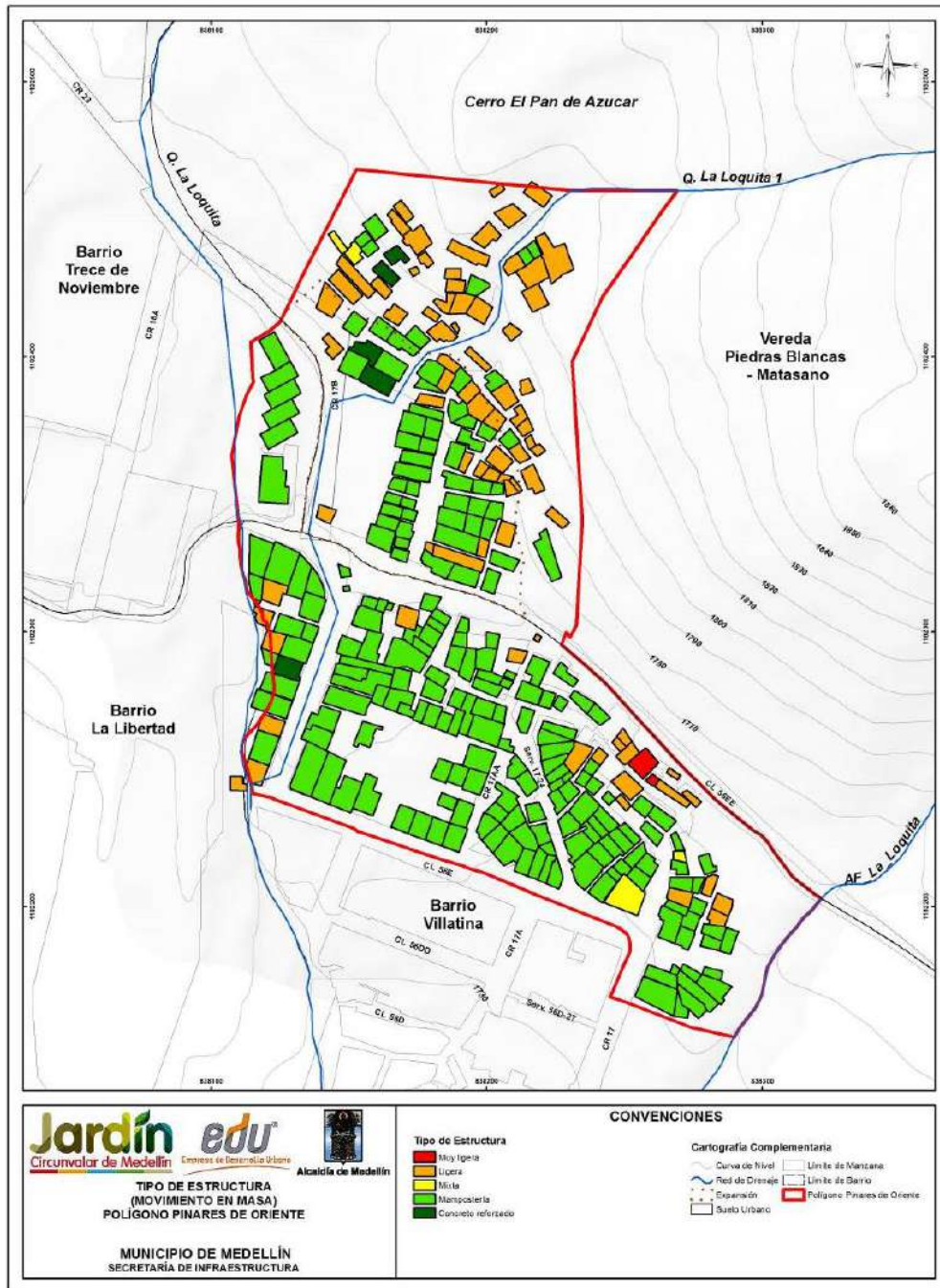
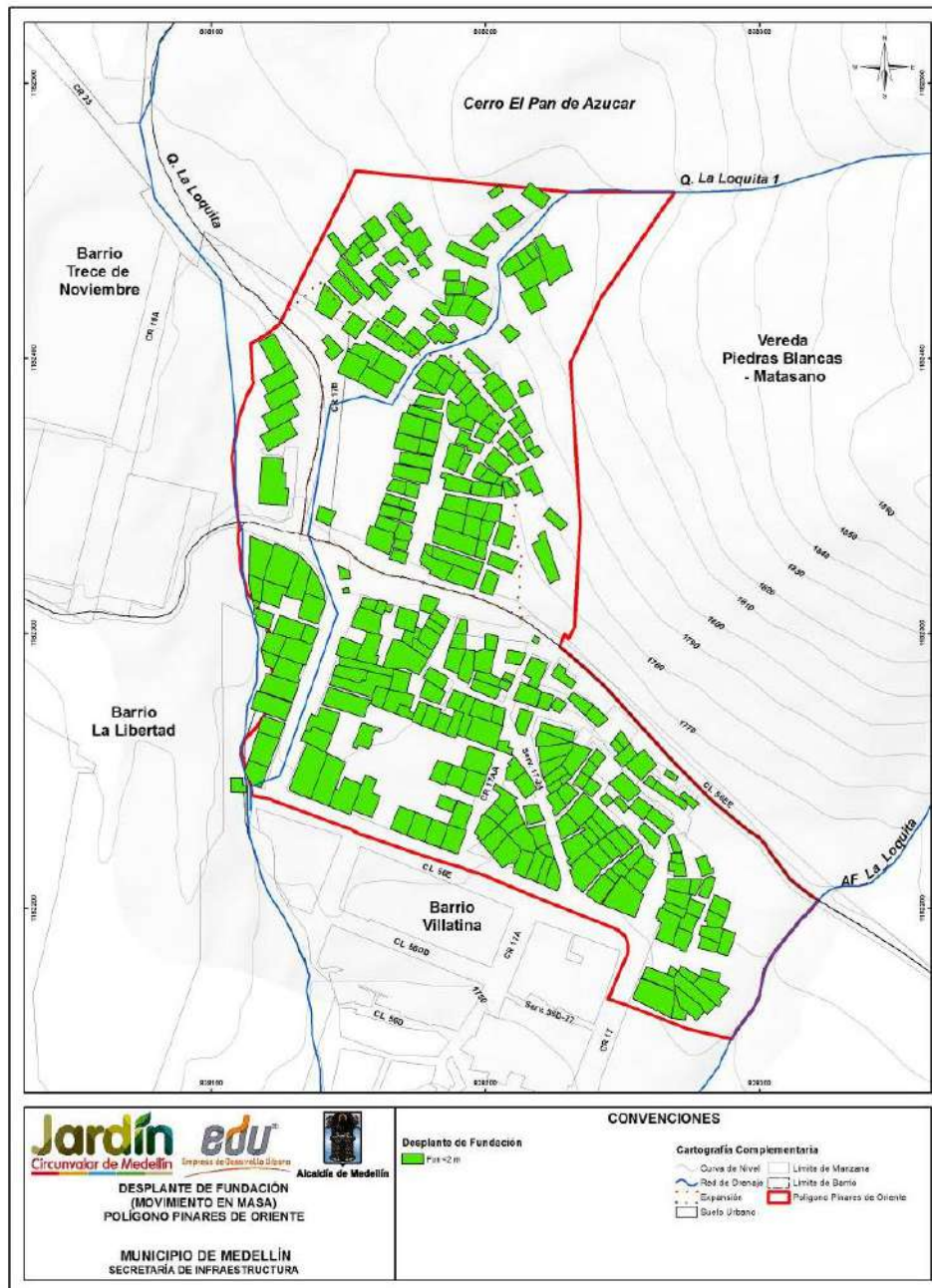
Altura Estructura	Total Viviendas	%	
Un solo piso	174	57.05	 <p>■ Un solo piso ■ De 2 pisos ■ De 3 a 5 pisos</p>
De 2 pisos	90	29.51	
De 3 a 5 pisos	41	13.44	
Total	305	100	

Tabla 69. Tipo de cubierta – Movimiento en Masa

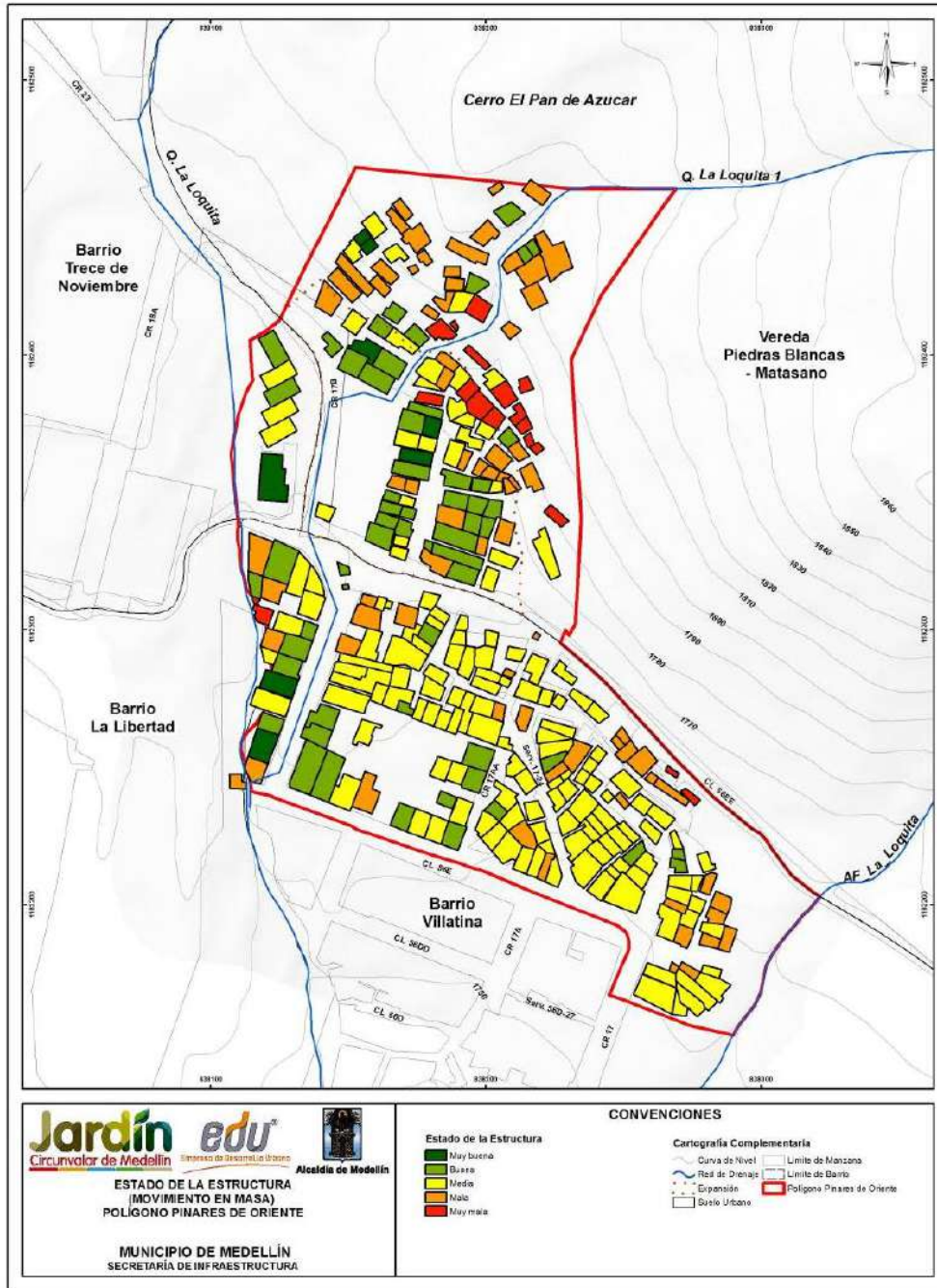
Tipo Cubierta	Total Viviendas	%	
Teja de zinc	282	92.46	 <p>■ Teja de zinc ■ Losa ■ Otro</p>
Losa	10	3.28	
Otro	13	4.26	
Total	305	100	



Mapa 42. Localización espacial del tipo de estructura por movimiento en masa en el Polígono Pinares de Oriente (25_PDOTipodeEstructura_Medellin_C y 25_PDOTipodeEstructura_Medellin_T)

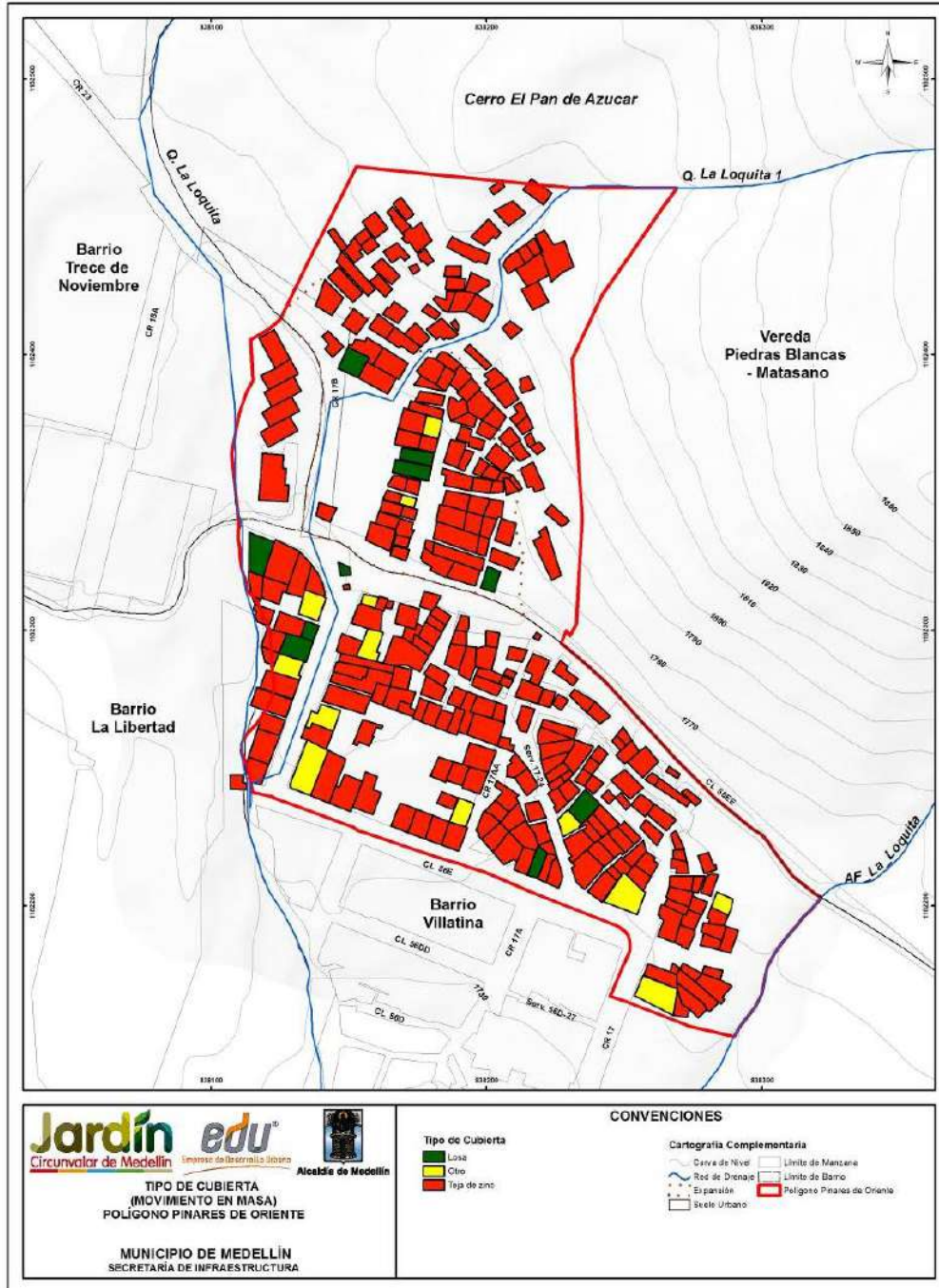


Mapa 43. Localización espacial del desplante de fundaciones por movimiento en masa en el Polígono Pinares de Oriente (26_PDODesplantedeFundaciones_Medellin_C y 26_PDODesplantedeFundaciones_Medellin_T)



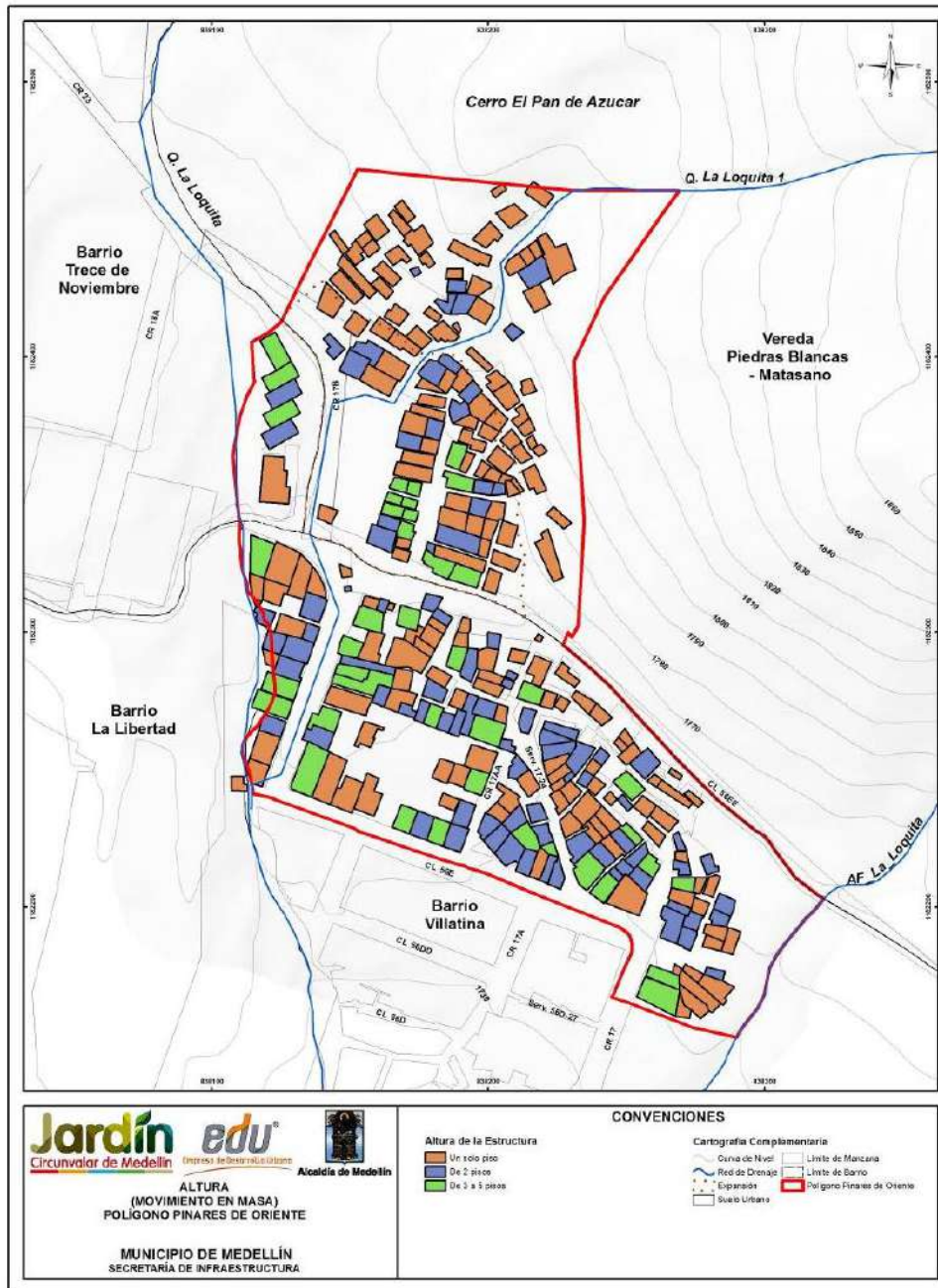
Mapa 44. Localización espacial del estado de la estructuras por movimiento en masa en el Polígono Pinares Oriente

(27_PDOEstadodelaEstructura_Medellin_C y 27_PDOEstadodelaEstructura_Medellin_T)





Mapa 45. Localización espacial del tipo de cubierta por movimiento en masa en el Polígono Pinares de Oriente

(28_PDOTipodeCubierta_Medellin_C y 28_PDOTipodeCubierta_Medellin_T)



Mapa 46. Localización espacial de la altura de las estructuras por movimiento en masa en el Polígono Pinares de Oriente (29_PDOAlturadelaconstruccion_Medellin_C y

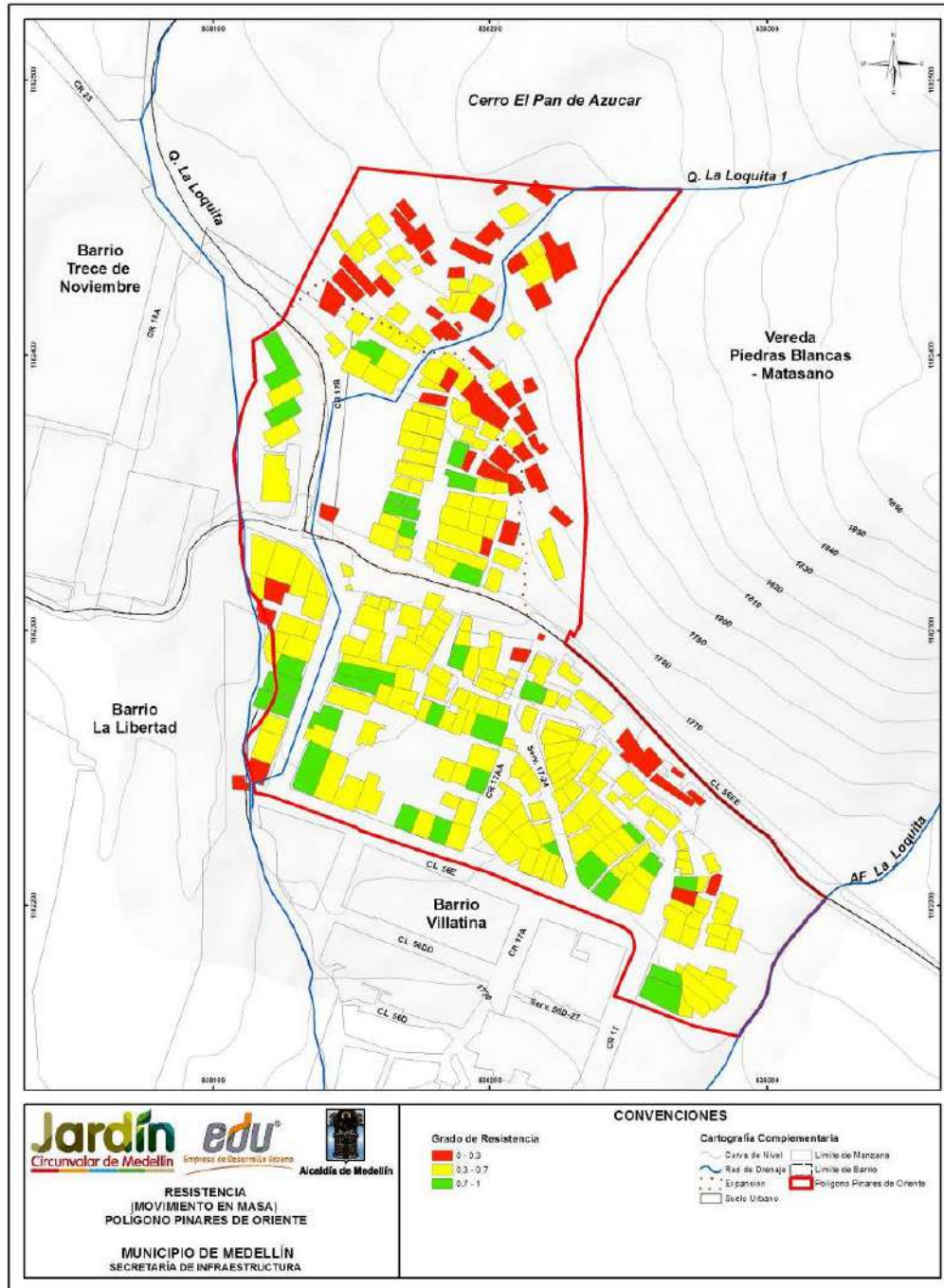
	<p>SIGA INGENIERÍA Y CONSULTORÍA S.A. SUCURSAL COLOMBIA</p> <p>“ESTUDIOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO DE DETALLE PARA LOS POLÍGONOS DE BARRIOS SOSTENIBLES EN EL MUNICIPIO DE MEDELLÍN”</p> <p>INFORME POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

29_PDOAlturadelaConstruccion_Medellin_T)

Con base en los mapas anteriormente presentados (Mapa 42 a Mapa 46), se puede anotar lo siguiente:

- ✓ El uso predominante de las estructuras en el Polígono Pinares de Oriente es el residencial, el cual representa el 94.10% de los usos presentes en el polígono. Las viviendas con uso comercial o mixto representan entre el 3.28% y 2.62% respectivamente.
- ✓ En el Polígono Pinares de Oriente se tiene un gran porcentaje de las estructuras en mampostería equivalente al 70.16% de la cantidad total de las viviendas, le siguen las construcciones en madera (Ligera) con el 26.23% y en menor porcentaje se encuentran las construcciones en concreto y concreto y madera, con 1.64% y 1.31% respectivamente.
- ✓ Un poco menos de la mitad de las estructuras inspeccionadas en el polígono de Pinares de Oriente presenta un estado medio, con un 48.52%. Sin embargo también se encontraron estructuras en mal estado (Mala), principalmente en la zona 1, con un 23.93% y estructuras buenas en el resto de zonas con un 19.02%. Las categorías Muy mala y Muy buena tienen porcentajes menores, el 5.90% y el 2.62 respectivamente.
- ✓ Un poco más de la mitad de las construcciones del Polígono Pinares de Oriente tienen un solo piso, correspondiente a un 57.05%. Le siguen los predios de dos pisos con un 29.51% y de tres a cinco pisos con un 13.44%.
- ✓ La mayoría de las construcciones tiene teja de zinc con un 92.46%, le siguen las cubiertas en otro tipo con un 4.26% y una minoría en Losa con un 3.28%.
- ✓ En el caso particular de las estructuras al interior del Polígono Pinares de Oriente, 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.

Haciendo una comparación entre la Figura 151 y el Mapa 47 se puede observar que las estructuras con el menor factor de resistencia se localizan en la Zona 1, límite entre las zonas bajas y altas de la UMI Pinares de Oriente. Adicionalmente, estas viviendas son las que se presentan como las más recientes y donde la consolidación es más baja.



Mapa 47. Parámetro resistencia de las estructuras para la metodología de vulnerabilidad física por movimientos en masa (30_PDOMapadeResistencia_Medellin_C y 30_PDOMapadeResistencia_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 Pinares de Oriente observado en el Mapa 47, 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 Pinares de Oriente.

Para determinar el factor intensidad (z) se partió del mapa de amenaza por movimientos en masa a 50 años (Mapa 37). En este mapa se determinaron las zonas de máxima probabilidad de falla y se evaluó su proximidad al Polígono Pinares de Oriente. El factor intensidad (z) de los movimientos en masa más probables, se determinó mediante la relación entre la diferencia de altura (h) y la distancia real del terreno (d), ambas medidas entre el foco del deslizamiento y el centroide de las estructuras. Finalmente, se obtuvo un factor de intensidad mostrado en el Mapa 48, por efecto del movimiento en masa y su localización respecto a su foco más probable, que en conjunto con la resistencia (R), permitía obtener la vulnerabilidad estructural de cada elemento:

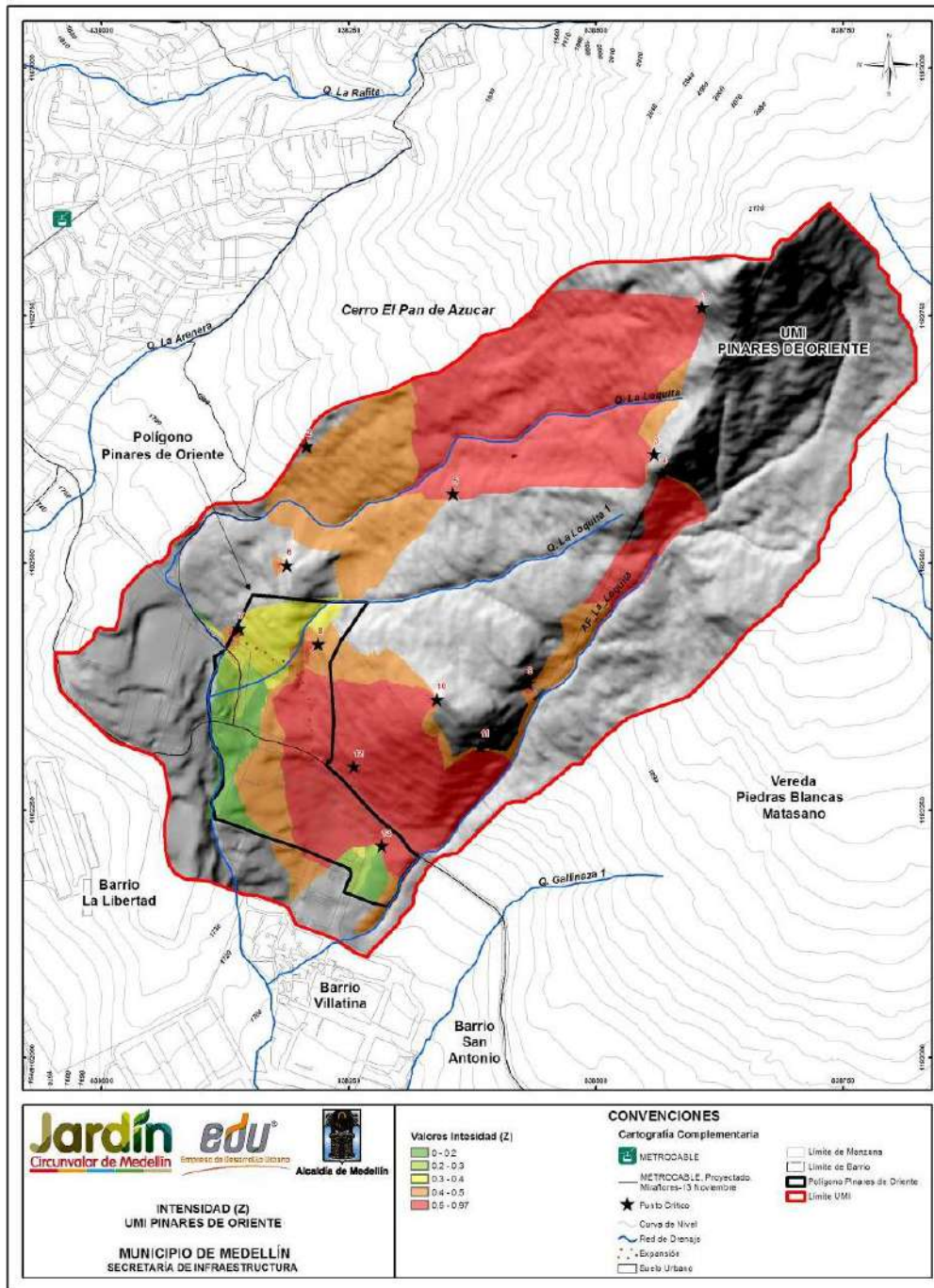
$$V_e = f(Z, R) = \left[1 + \left(\frac{Z}{R} \right)^{-1/0.04} \right]^{-0.05}$$

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 70 presenta la clasificación de la vulnerabilidad física estructural establecida para este proyecto.

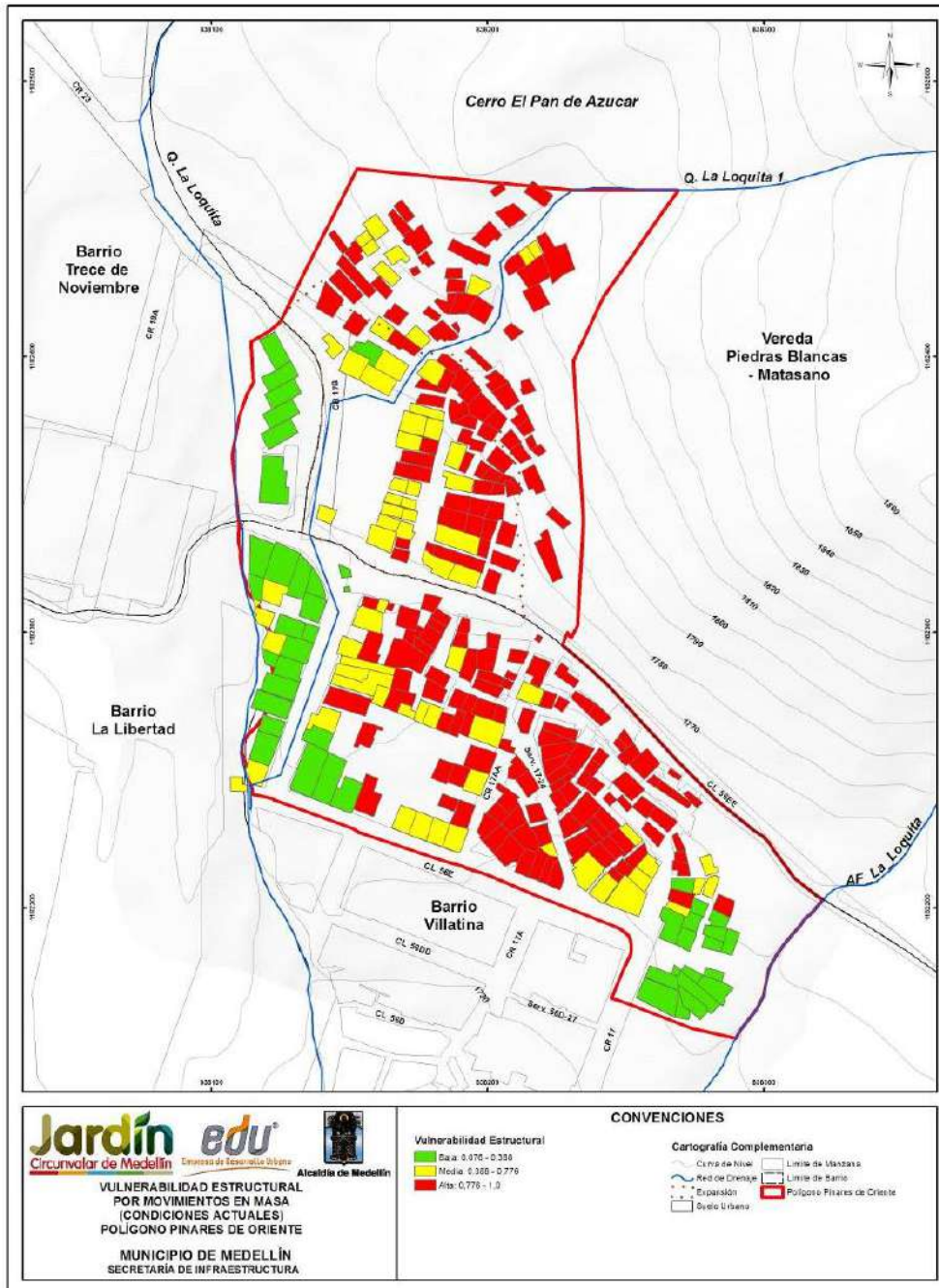
Tabla 70. Categorización de la vulnerabilidad estructural física ante fenómenos de movimientos en masa

Categoría de la Vulnerabilidad	Rango de la Vulnerabilidad	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

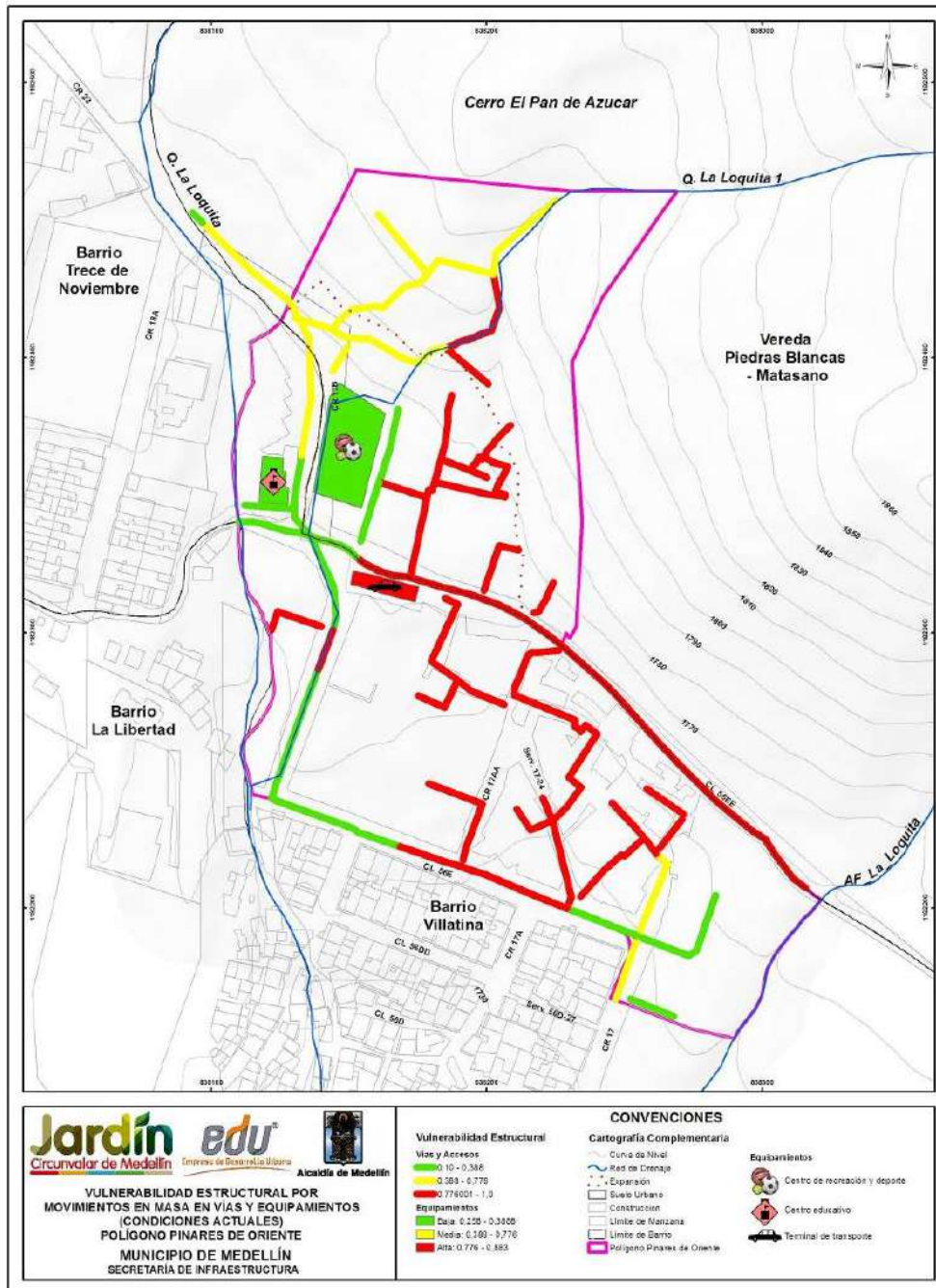
El Mapa 49 y el Mapa 50 presentan el análisis de la vulnerabilidad estructural de las viviendas y de las vías de acceso y equipamientos del Polígono Pinares de Oriente con su respectiva clasificación entre baja, media y alta según el criterio de la Tabla 70.



Mapa 48. Factor de intensidades de deslizamientos que afectan el Polígono Pinares de Oriente
 (PDOSuperficieIntesidadesZUMI_Medellin_C)



Mapa 49. Análisis de la vulnerabilidad estructural por movimientos en masa en el Polígono Pinares de Oriente (36_PDOVulnerabilidadEstructuralMovimientosenMasa_Medellin_C y 36_PDOVulnerabilidadEstructuralMovimientosenMasa_Medellin_T)



Mapa 50. Análisis de la vulnerabilidad estructural por movimientos en masa de las vías de acceso y equipamientos en el Polígono Pinares de Oriente
(45_PDOVulnerabilidadEstructuralMovimientosenMasa_ViasEquipamientos_Medellin_Cy
45_PDOVulnerabilidadEstructuralMovimientosenMasa_ViasEquipamientos_Medellin_T)

La Figura 152 muestra que cerca de un 23% de las estructuras presentes al interior del Polígono Pinares de Oriente presentan una vulnerabilidad media, el 15% presentan una vulnerabilidad baja y el 62% aproximadamente presentan una vulnerabilidad alta. La comparación entre la Figura 151, el Mapa 49 y el Mapa 50 permitieron observar que las zonas donde se concentra esta vulnerabilidad estructural alta, son parte de las Zonas 1, 2, 3, 4, 6, 7, 8 y 9. En estas zonas, según el análisis de resistencia, se tienen estructuras en estado malo y con una mayor concentración de estructuras en madera.

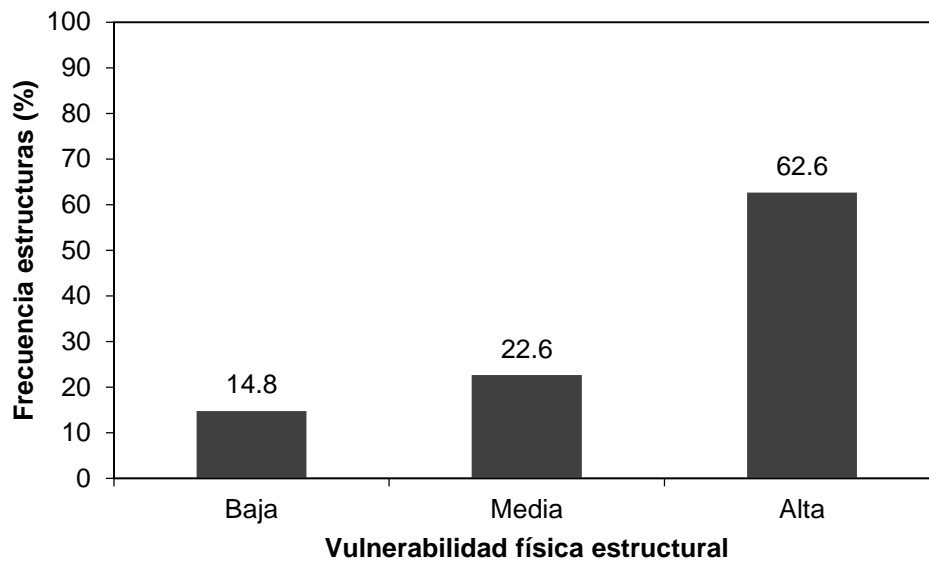


Figura 152. Distribución de frecuencia de la vulnerabilidad física de las estructuras

Además de la vulnerabilidad física estructural, la metodología propuesta por Uzielli (2006) permite estimar la vulnerabilidad de las personas que se encuentran al interior de las estructuras, en función de la vulnerabilidad estructural 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 71.

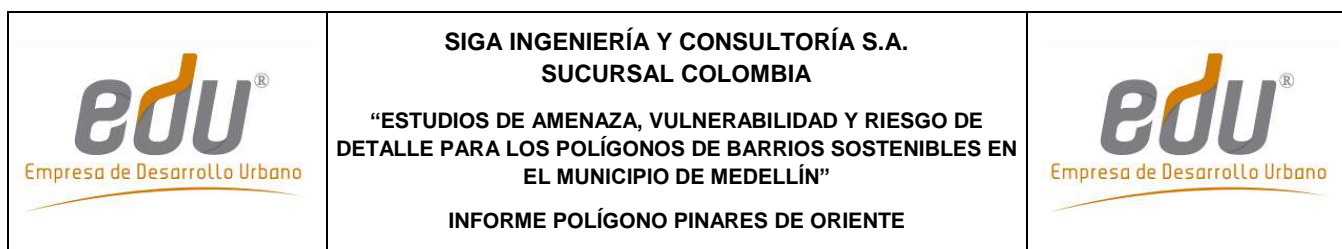
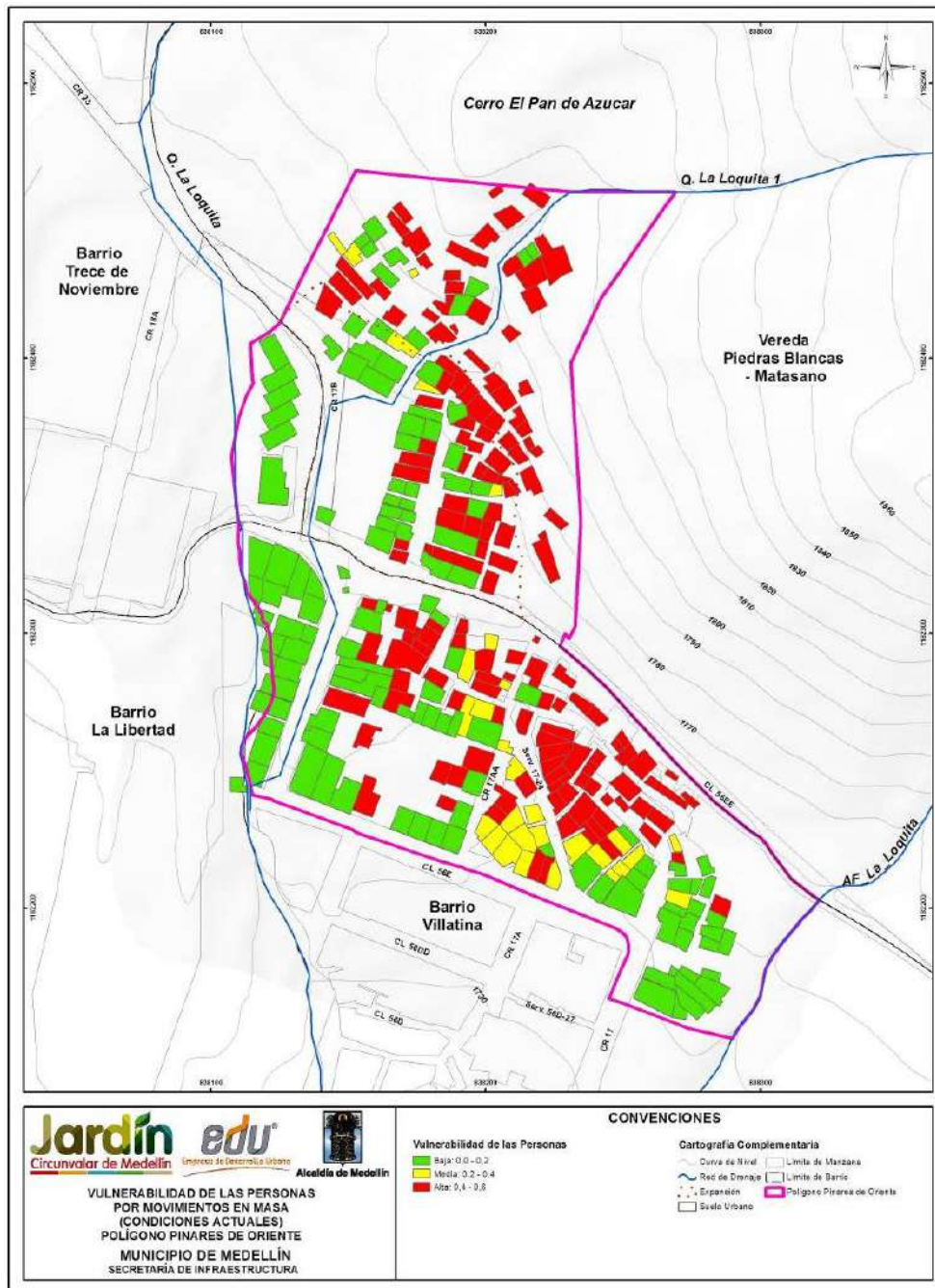


Tabla 71. Categorización de la vulnerabilidad de las personas ante fenómenos de movimientos en masa

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.

El Mapa 51 presenta el mapa de análisis de vulnerabilidad de las personas del Polígono Pinares de Oriente por movimientos en masa con su respectiva clasificación entre baja, media y alta. Se observa que de las 305 estructuras, 126 presentan vulnerabilidad de personas baja (41%), 30 presentan vulnerabilidad media (10%) y 149 presentan alta vulnerabilidad de personas (49%). 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 53% de las estructuras que presentan alta vulnerabilidad de personas se caracterizan por estar construidas en madera.



Mapa 51. Análisis de la vulnerabilidad de las personas por movimientos en masa en el Polígono Pinares de Oriente
(37_PDOVulnerabilidadPersonasMovimientosenMasa_Medellin_C
37_PDOVulnerabilidadPersonasMovimientosenMasa_Medellin_T)

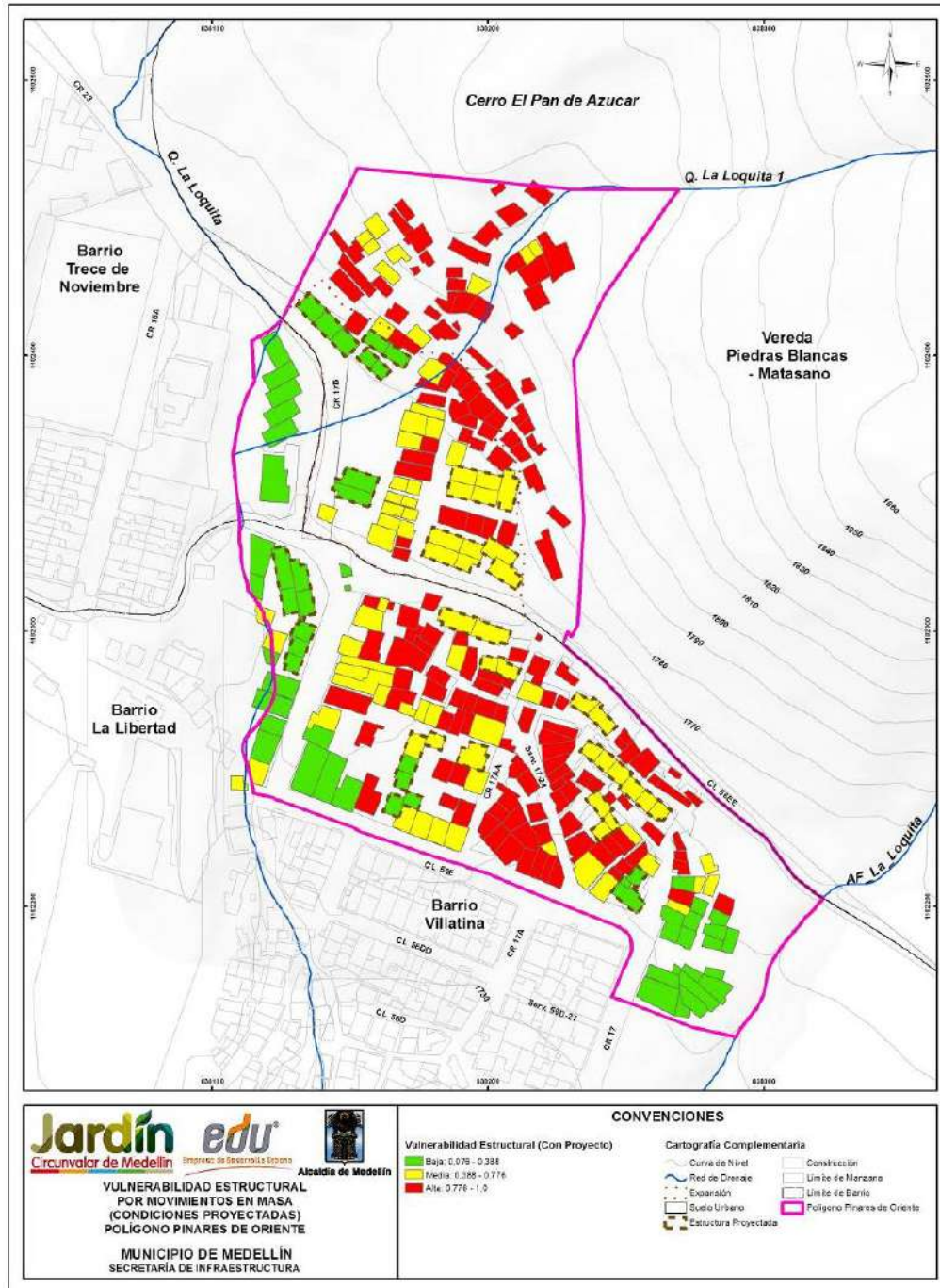
Ahora, considerando las estructuras que harán parte del Proyecto Barrios Sostenibles, se hizo una evaluación adicional de la vulnerabilidad. Para esta modelación se consideró que las nuevas estructuras de dicho proyecto tendrán unas características mejores que las estructuras existentes, al considerar 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 72).

Tabla 72. Factores de vulnerabilidad considerados para el Proyecto Barrios Sostenibles del Polígono Villa Turbay

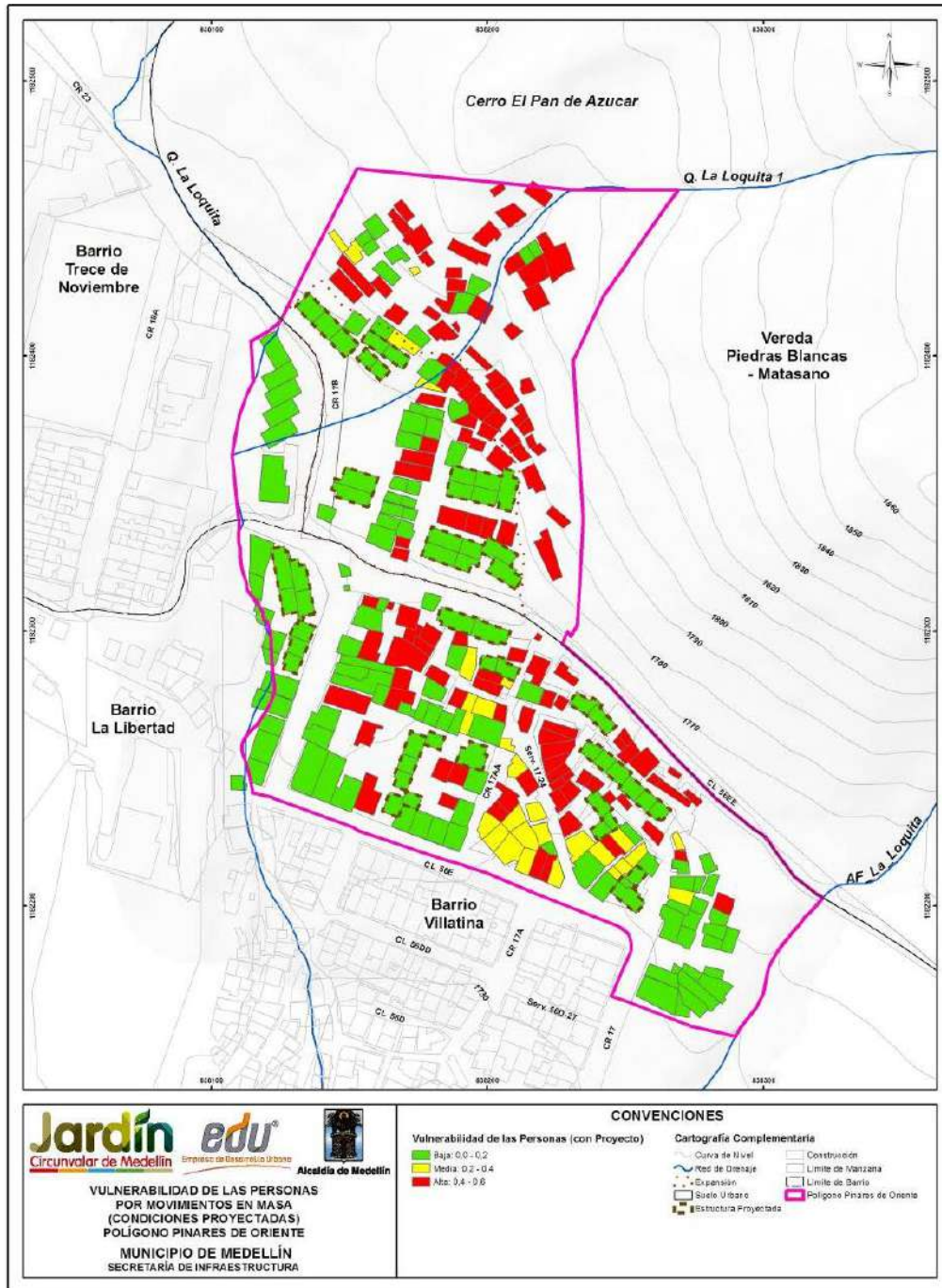
Factores de vulnerabilidad estructural	Calificación
Estado de la estructura (ξ_{man})	1.50
Altura de la estructura (ξ_{alt})	0.90
Nivel de fundación de la estructura (ξ_{sfd})	1.05
Tipo de estructura (ξ_{est})	1.50

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 52 y el Mapa 53 presentan el resultado de la vulnerabilidad estructural y de las personas respectivamente, considerando los mismos factores de intensidad del Mapa 48. Se observa que las nuevas estructuras se construirán a lo largo y ancho del polígono.

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, tal como se puede ver en el Mapa 48, los cuales afectan a las estructuras.



Mapa 52. Análisis de la vulnerabilidad estructural del Polígono Pinarés de Oriente por movimientos en masa con el nuevo Proyecto Barrios Sostenibles (PDVulnerabilidadEstructuralMovimientosMasaProyecto_Medellin_C)



Mapa 53. Análisis de la vulnerabilidad de las personas del Polígono Pinares de Oriente por movimientos en masa con el nuevo Proyecto Barrios Sostenibles (PDVulnerabilidadPersonasMovimientosMasaProyecto_Medellin_C)

16.3 VULNERABILIDAD PARA INUNDACIONES

Para el caso de inundaciones, la vulnerabilidad física se estima 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 cuatro o más niveles, su Factor de Vulnerabilidad por Tamaño de Edificación (FVT) será de 1; para uno de tres niveles será de 2, para uno de dos niveles será de 3 y finalmente para uno de un 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 considera 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 73.

Tabla 73. 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 Edificación (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 74.

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 74. 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 153 presenta un diagrama de flujo en el cual se observan los aspectos principales que componen la vulnerabilidad física por inundaciones.

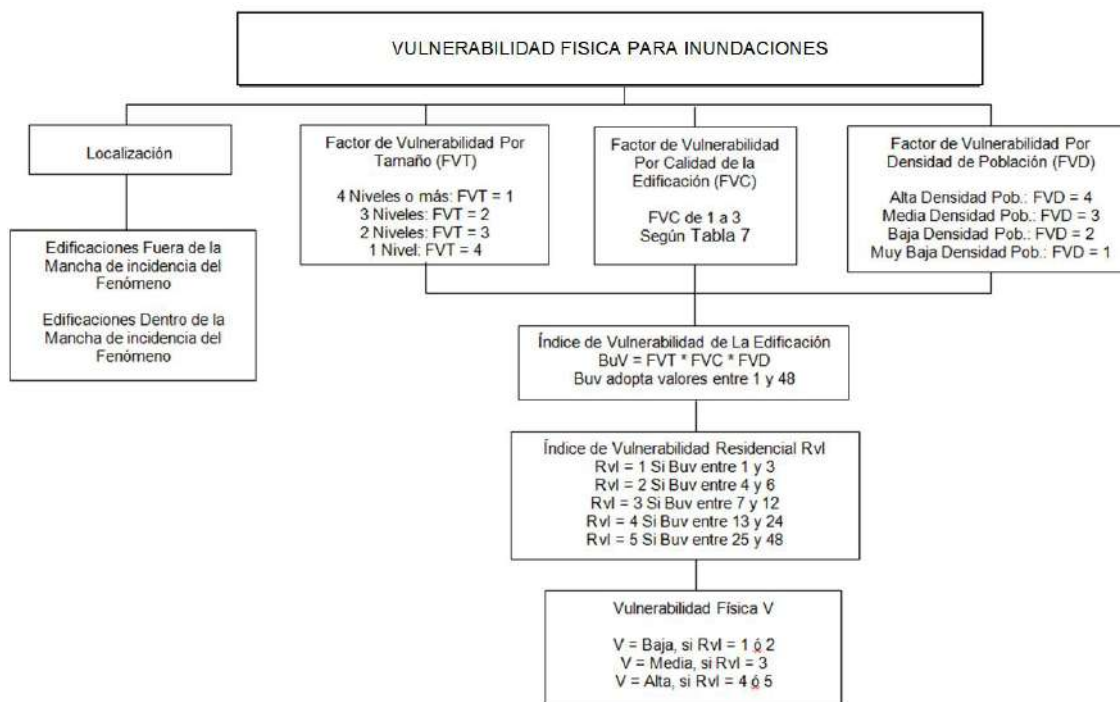


Figura 153. Diagrama de secuencia para la evaluación de la vulnerabilidad física para inundaciones

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 UPB para la EDU.

Del Mapa 54 al Mapa 57 se presentan los mapas de atributos para cada estructura, los cuales corresponden a Tipo de Estructura, Estado de la Estructura, Altura de la Construcción, Densidad de Población. Finalmente el Grado de Vulnerabilidad por Inundación se presenta en el Mapa 58.

Del análisis e interpretación de la información existente en la base de datos, se pueden hacer entonces las siguientes anotaciones:

- ✓ Gran porcentaje de las construcciones del Polígono Pinares de Oriente son en Mampostería y corresponden al 71.48%. Le siguen las construcciones Ligeras con el 26.89% y en menor porcentaje se encuentran las construcciones en Concreto con el 1.64% (Tabla 75).
- ✓ Un poco menos de la mitad de las estructuras inspeccionadas en el Polígono Pinares de Oriente presenta un estado Medio, con un 48.52%. Sin embargo también se encontraron estructuras en Mal estado, principalmente en la zona 1 con un 29.84% y estructuras Buenas en el resto de zonas con un 21.64% (Tabla 76).

- ✓ Un poco más de la mitad de las construcciones del Polígono Pinares de Oriente tienen un solo piso, correspondiente a un 57.05%. Le siguen los predios de dos pisos con un 29.51% y de tres pisos con un 13.44% (Tabla 77).
- ✓ Un poco más de la mitad de las construcciones tiene una densidad Muy baja con un 50.82%. Le siguen las construcciones con densidades Bajas y Medias con un 26.56% y 18.69% respectivamente. En menor porcentaje se encuentran las estructuras con densidad Alta con el 3.93% (Tabla 78).

Tabla 75. Tipo de estructura – Inundaciones

Tipo de estructura	Total Viviendas	%
Ligera	82	26.89
Mampostería	218	71.48
Concreto	5	1.64
Total	305	100

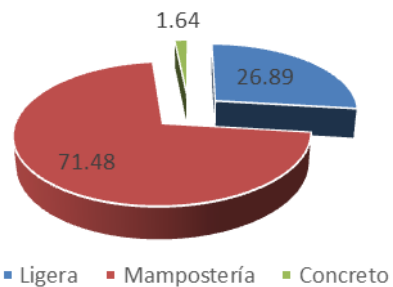


Tabla 76. Estado de la estructura – Inundaciones

Estado Estructura	Total Viviendas	%
Mala	91	29.84
Media	148	48.52
Buena	66	21.64
Total	305	100

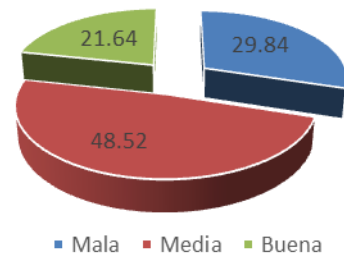


Tabla 77. Altura de la estructura – Inundaciones

Altura de la estructura	Total Viviendas	%
Un solo piso	174	57.05
De 2 pisos	90	29.51
De 3 pisos	41	13.44
Total	305	100

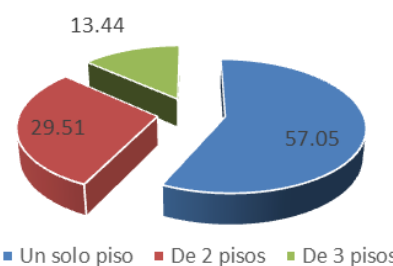
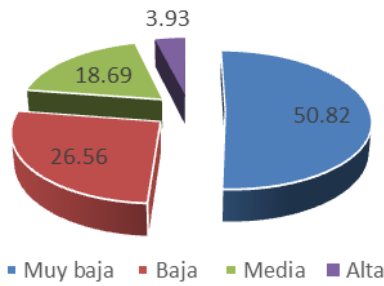


Tabla 78. Densidad de población – Inundaciones

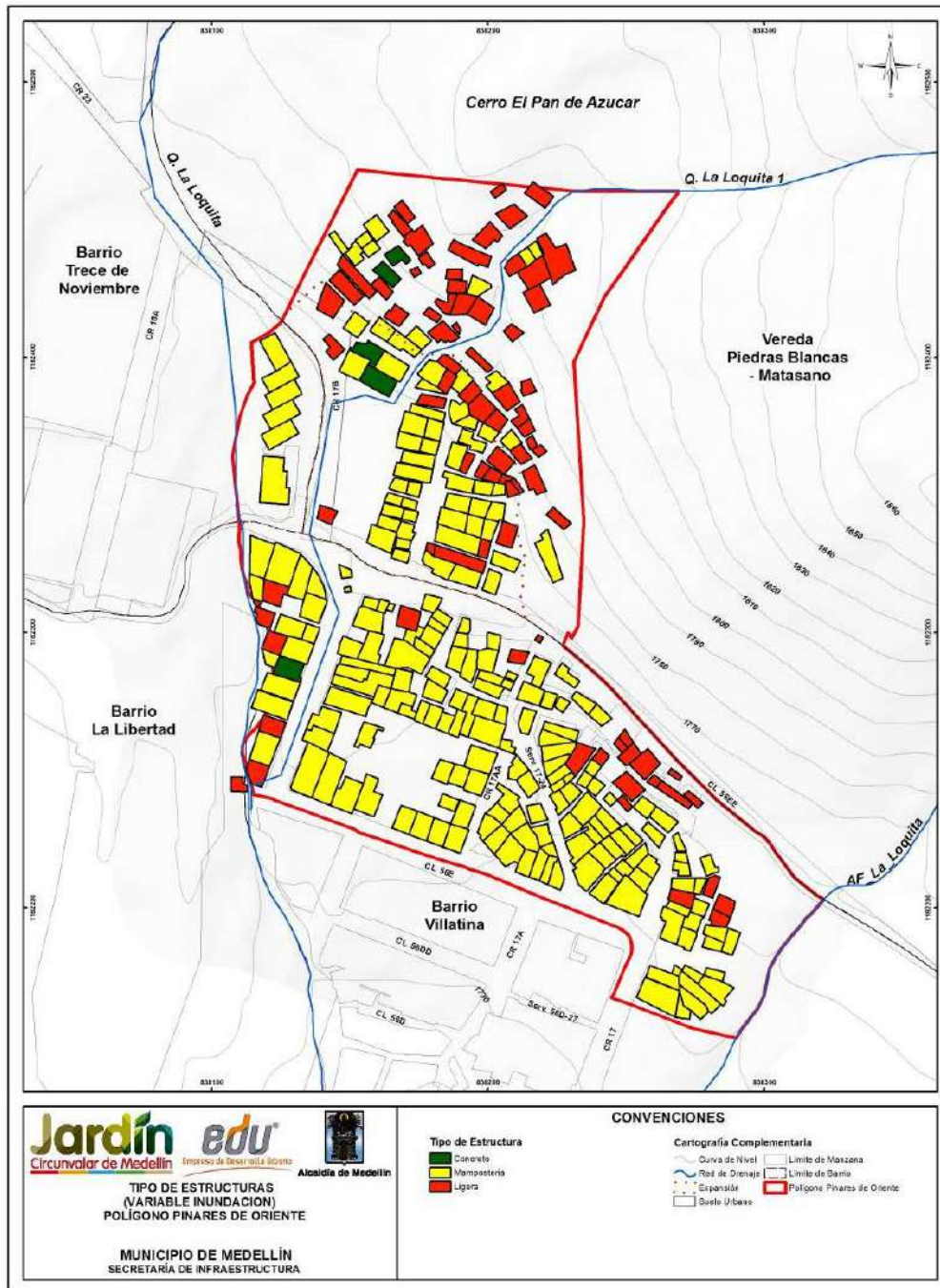
Densidad de población	Total Viviendas	%
Muy baja	155	50.82
Baja	81	26.56
Media	57	18.69
Alta	12	3.93
Total	305	100



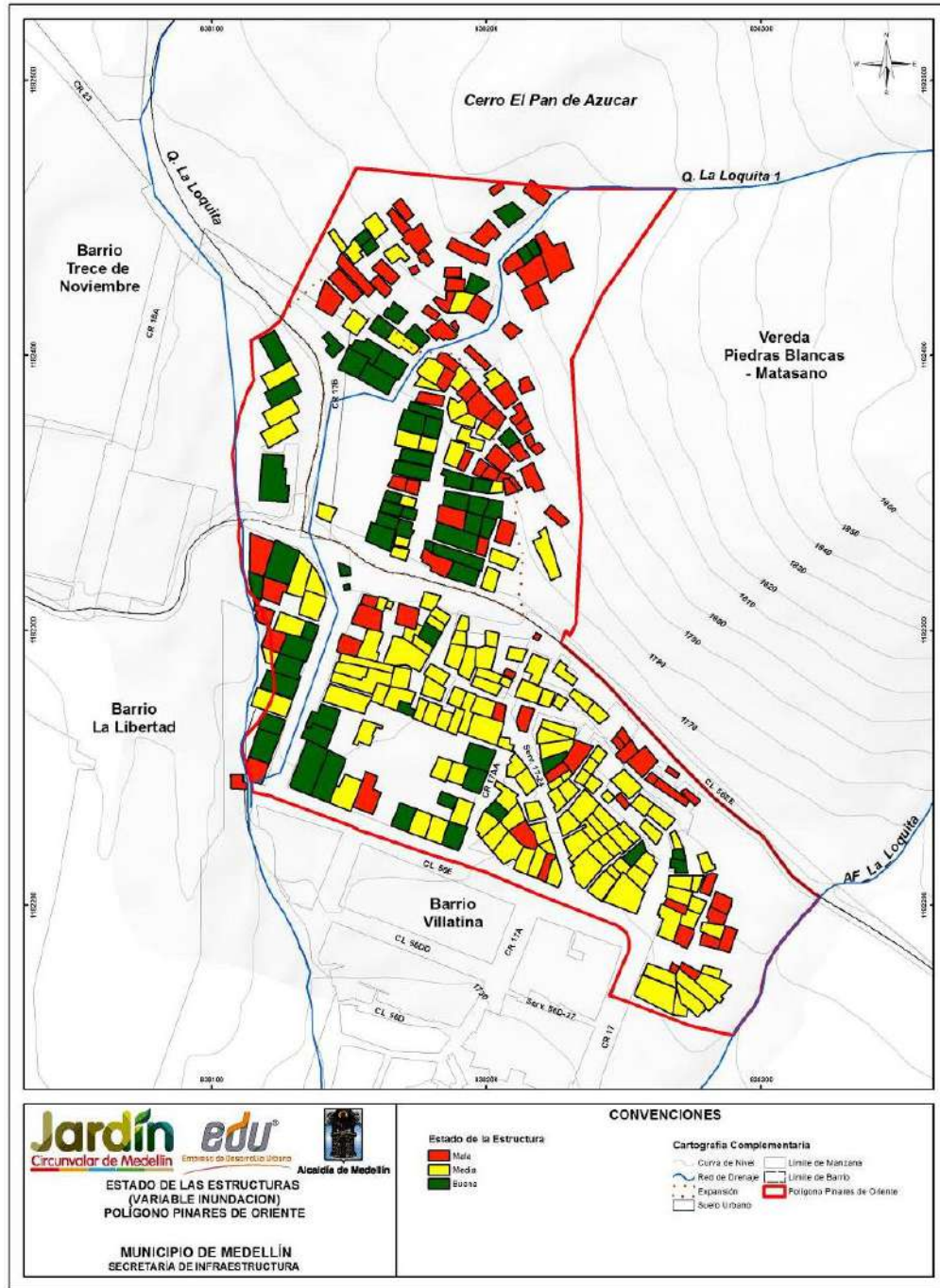
A 3D pie chart illustrating the distribution of population density levels. The largest slice is blue, representing 'Muy baja' at 50.82%. The next largest is red, representing 'Baja' at 26.56%. The green slice represents 'Media' at 18.69%, and the smallest purple slice represents 'Alta' at 3.93%. A legend below the chart identifies the colors: blue for 'Muy baja', red for 'Baja', green for 'Media', and purple for 'Alta'.

Luego, con la información de los Mapa 54 al Mapa 57 se generó el mapa de vulnerabilidad física para el Polígono Pinares de Oriente el cual se presenta en la Mapa 58. En la Mapa 59 se presenta igualmente la vulnerabilidad de las estructuras ante inundaciones, considerando las estructuras del Proyecto Barrios Sostenibles.

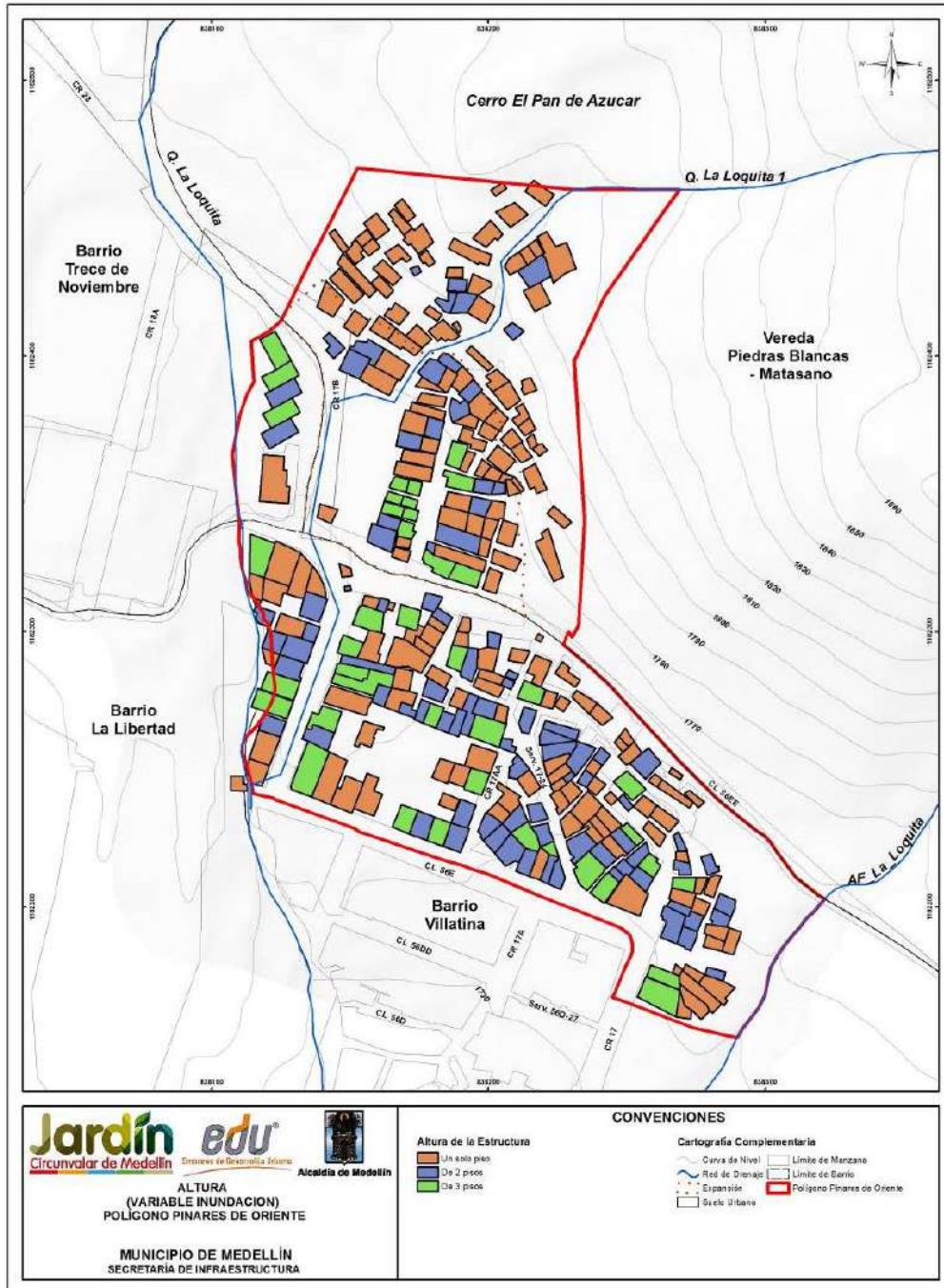
De igual forma, se evaluó la vulnerabilidad para las vías de acceso y equipamientos dentro del Polígono San Antonio. Para el caso de las vías, se tiene que el Factor de Vulnerabilidad por Densidad (FVD) y el Factor de Vulnerabilidad por Tamaño (FVT) son constantes con los valores 4 y 4 respectivamente, 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 60 se presenta el mapa resultado del análisis de vulnerabilidad física ante inundaciones para el Polígono Pinares de Oriente.



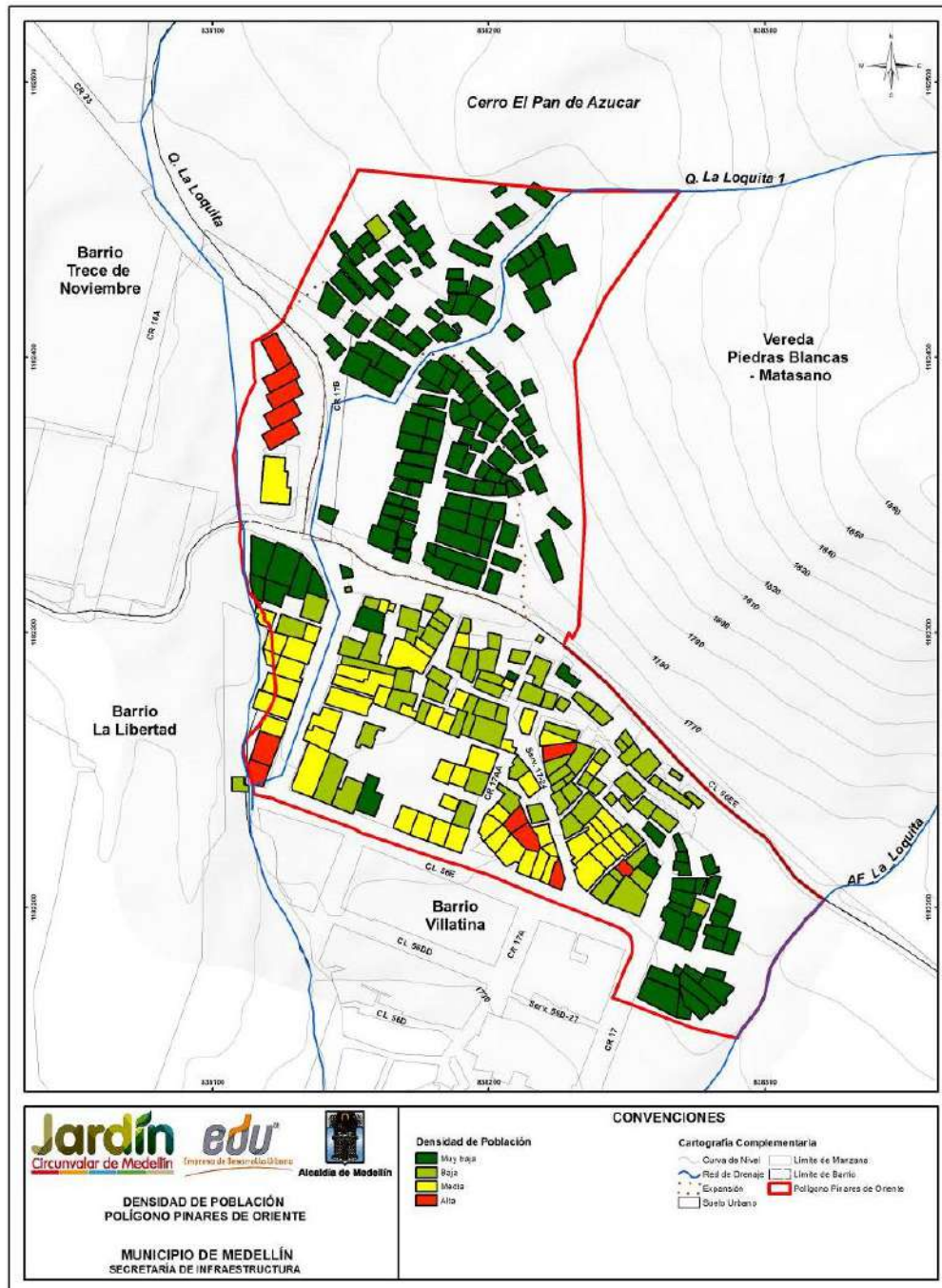
Mapa 54. Localización espacial del tipo de estructura para inundaciones en el Polígono Pinar de Oriente (31_PDOTipodeEstructura_Medellin_C y 31_PDOTipodeEstructura_Medellin_T)



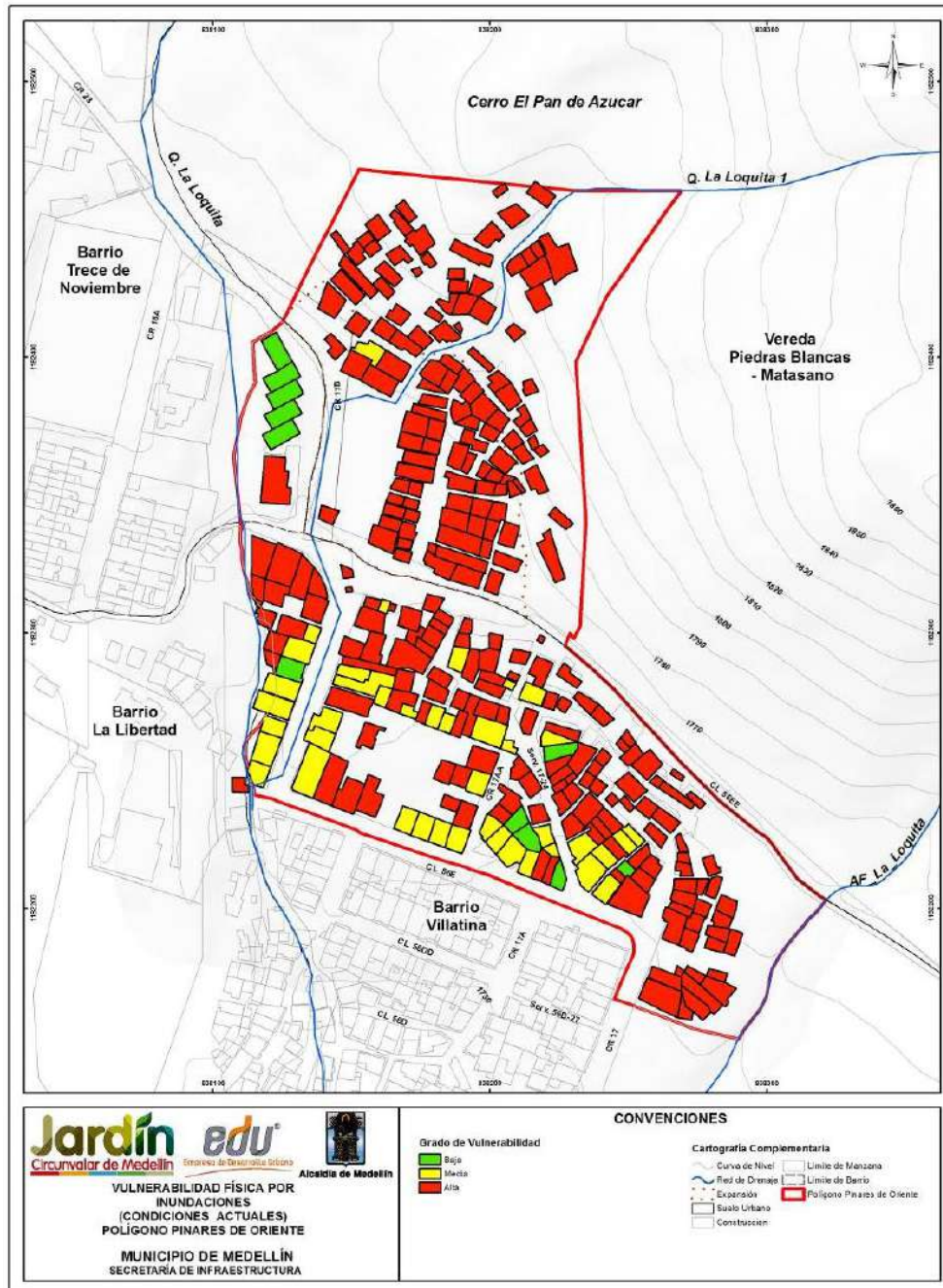
Mapa 55. Localización espacial del estado de la estructura para inundaciones en el Polígono Pinares de Oriente
(32_PDOEstadodelaEstructura_Medellin_C y 32_PDOEstadodelaEstructura_Medellin_T)



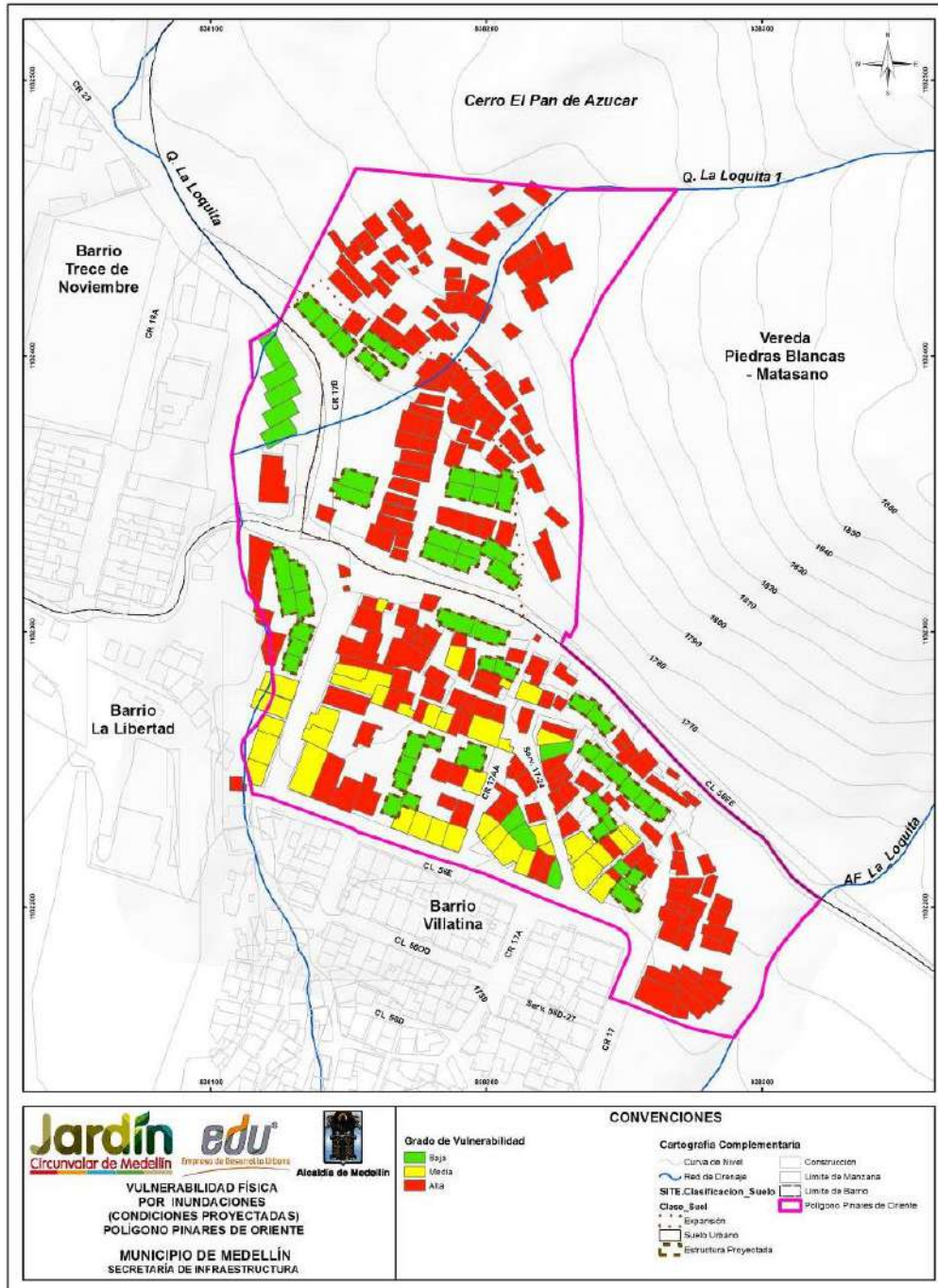
Mapa 56. Localización espacial de la altura de las estructura para inundaciones en el Polígono Pinares de Oriente (33_PDOAlturadelaConstruccion_Medellin_C y 33_PDOAlturadelaConstruccion_Medellin_T)



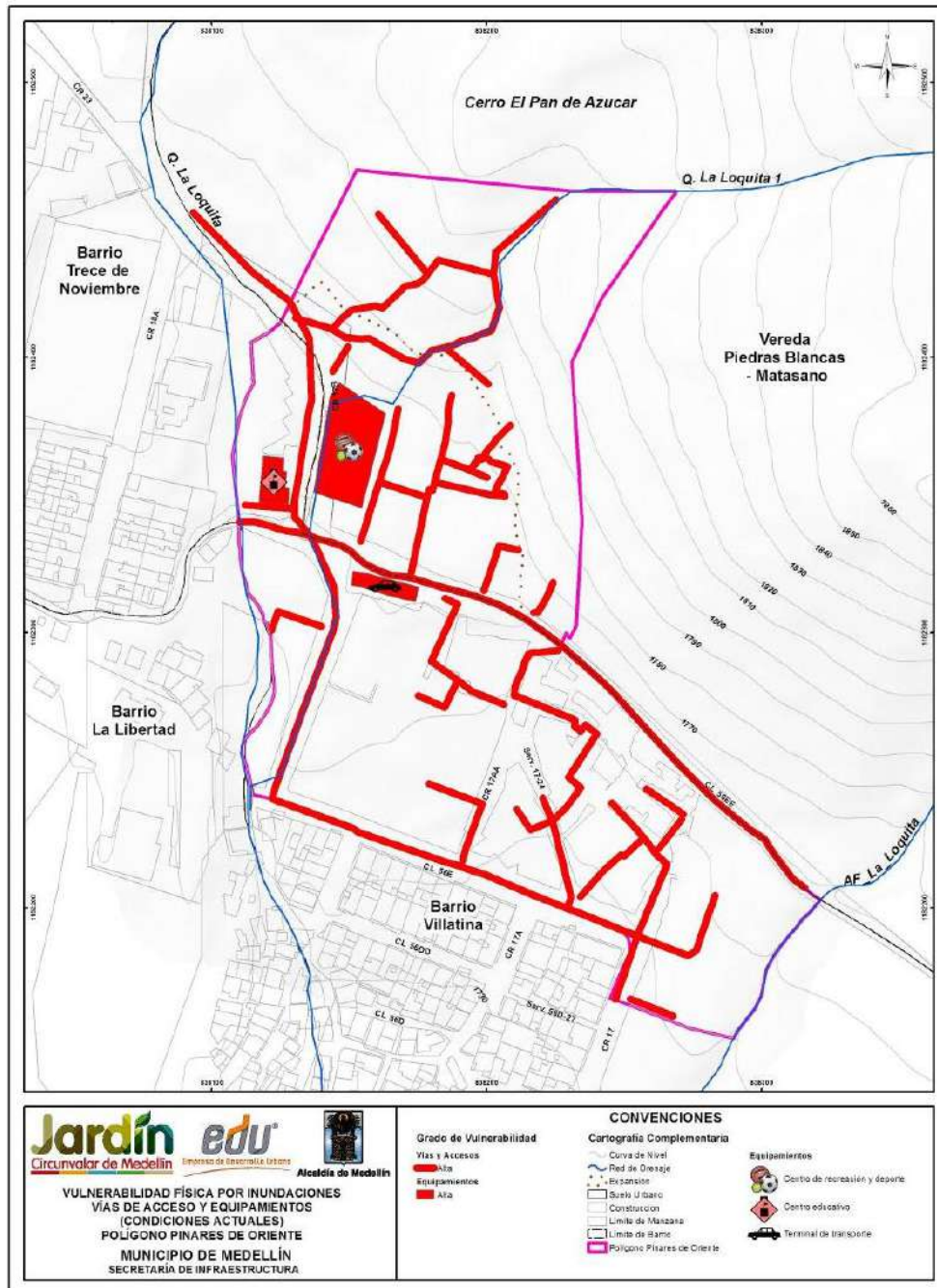
Mapa 57. Localización espacial de la densidad de población para inundaciones en el Polígono Pinares de Oriente (34_PDODensidaddePoblacion_Medellin_C y 34_PDODensidaddePoblacion_Medellin_T)



Mapa 58. Análisis vulnerabilidad física ante inundaciones en condiciones en el Polígono Pinares de Oriente
(38_PDOVulnerabilidadFisicaporInundaciones_Medellin_C y 38_PDOVulnerabilidadFisicaporInundaciones_Medellin_T)



Mapa 59. Análisis de vulnerabilidad física ante inundaciones en el Polígono Pinares de Oriente con el nuevo Proyecto Barrios Sostenibles (PDVulnerabilidadFisicaporInundacionesProyecto_Medellin_C)



Mapa 60. Análisis de vulnerabilidad física ante inundaciones en el Polígono San Antonio para las Vías de Acceso y Equipamientos
(46_PDOVulnerabilidadInundacionAccesosEquipamientos_Medellin_C y 46_PDOVulnerabilidadInundacionAccesosEquipamientos_Medellin_T)

16.4 SOPORTE FOTOGRÁFICO PANORAMA GENERAL DE LAS ESTRUCTURAS

En la Tabla 79 se presenta el registro fotográfico para las zonas en las que se dividió el Polígono Pinares de Oriente.

Tabla 79. Registro fotográfico en el Polígono Pinares de Oriente



Zona 1



Zona 2



Zona 3

Tabla 79. Registro fotográfico en el Polígono Pinares de Oriente



Zona 4



Zona 5



Zona 6

Tabla 79. Registro fotográfico en el Polígono Pinares de Oriente



Zona 7



Zona 8





Zona 9

Tabla 79. Registro fotográfico en el Polígono Pinares de Oriente



Zona 10



	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</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 fijan, 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. Por lo tanto, se hace necesario su estimación cuantitativa que permita 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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</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.

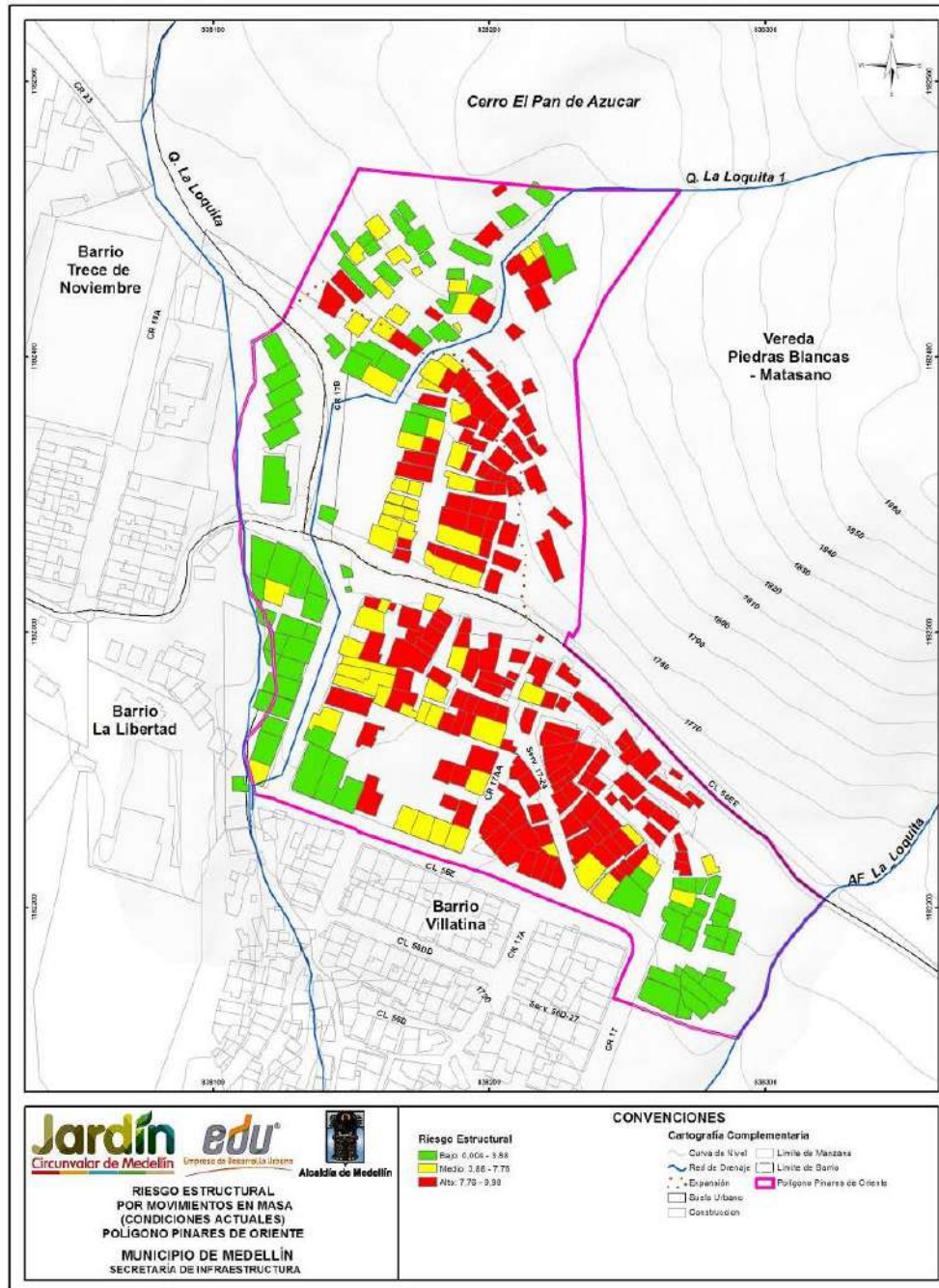
Teniendo en cuenta lo anterior, los términos a los que se quiere llegar con los análisis de riesgo, son análisis materializados bien sea representados en porcentajes de pérdidas, costos económicos o en pérdidas de vida. De esta forma se tendrá un valor tangible del riesgo que permitirá la toma de decisiones en cuanto al proyecto.

17.3 RESULTADOS

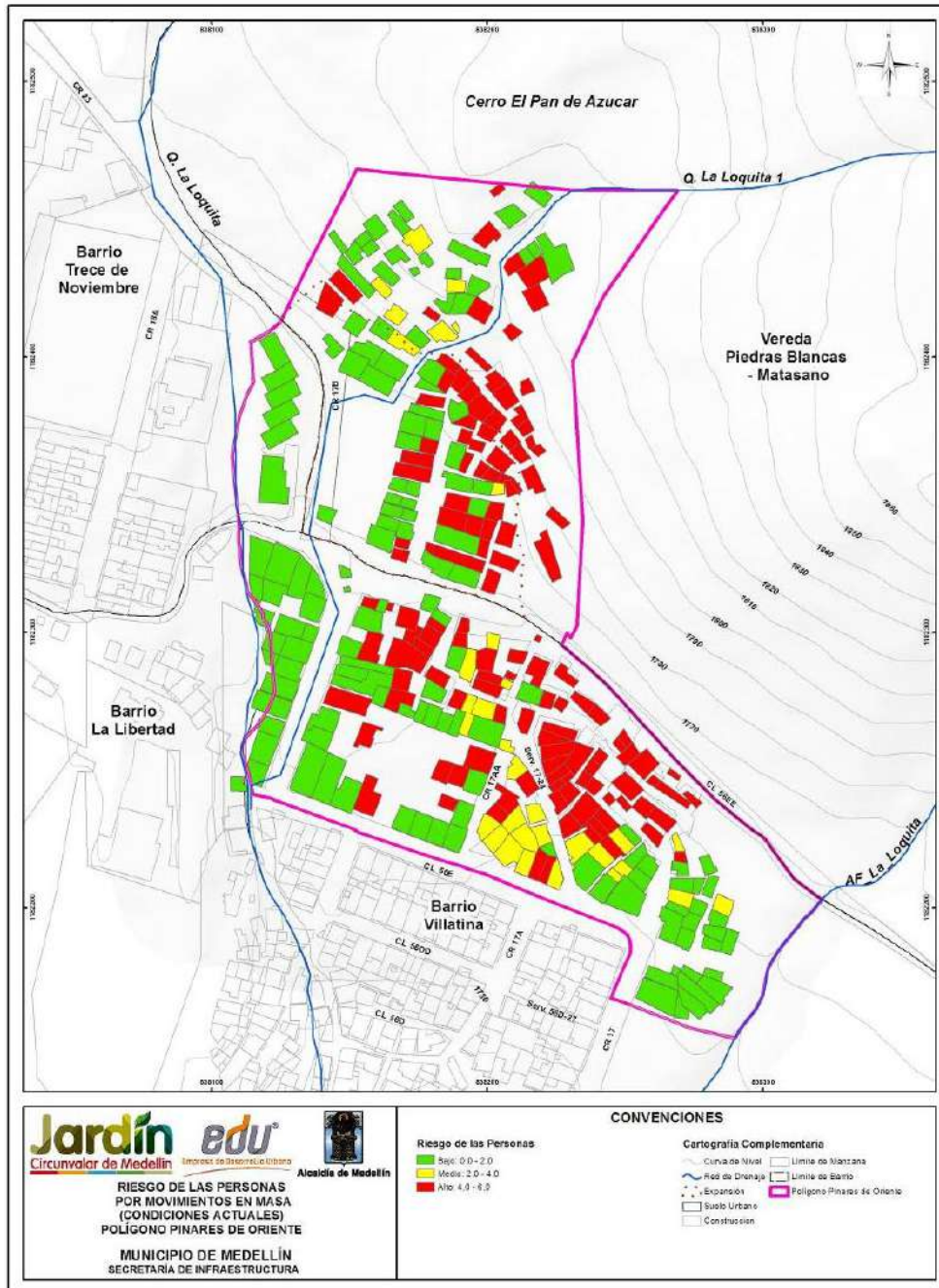
El análisis de riesgo por movimientos en masa se hizo considerando el mapa de amenaza por movimientos en masa proyectados para 50 años (Mapa 37), donde se consigna la probabilidad de falla total considerando la variabilidad de los parámetros y la actuación del sismo en 50 años, y los mapas de vulnerabilidad estructural y de personas analizados en el Numeral 16.2.4.

El análisis se hizo haciendo el producto de la probabilidad de falla del movimiento en masa y la vulnerabilidad de las estructuras y de las personas. En este caso se obtuvo un valor porcentual de afectaciones de las estructuras y de pérdidas de vidas

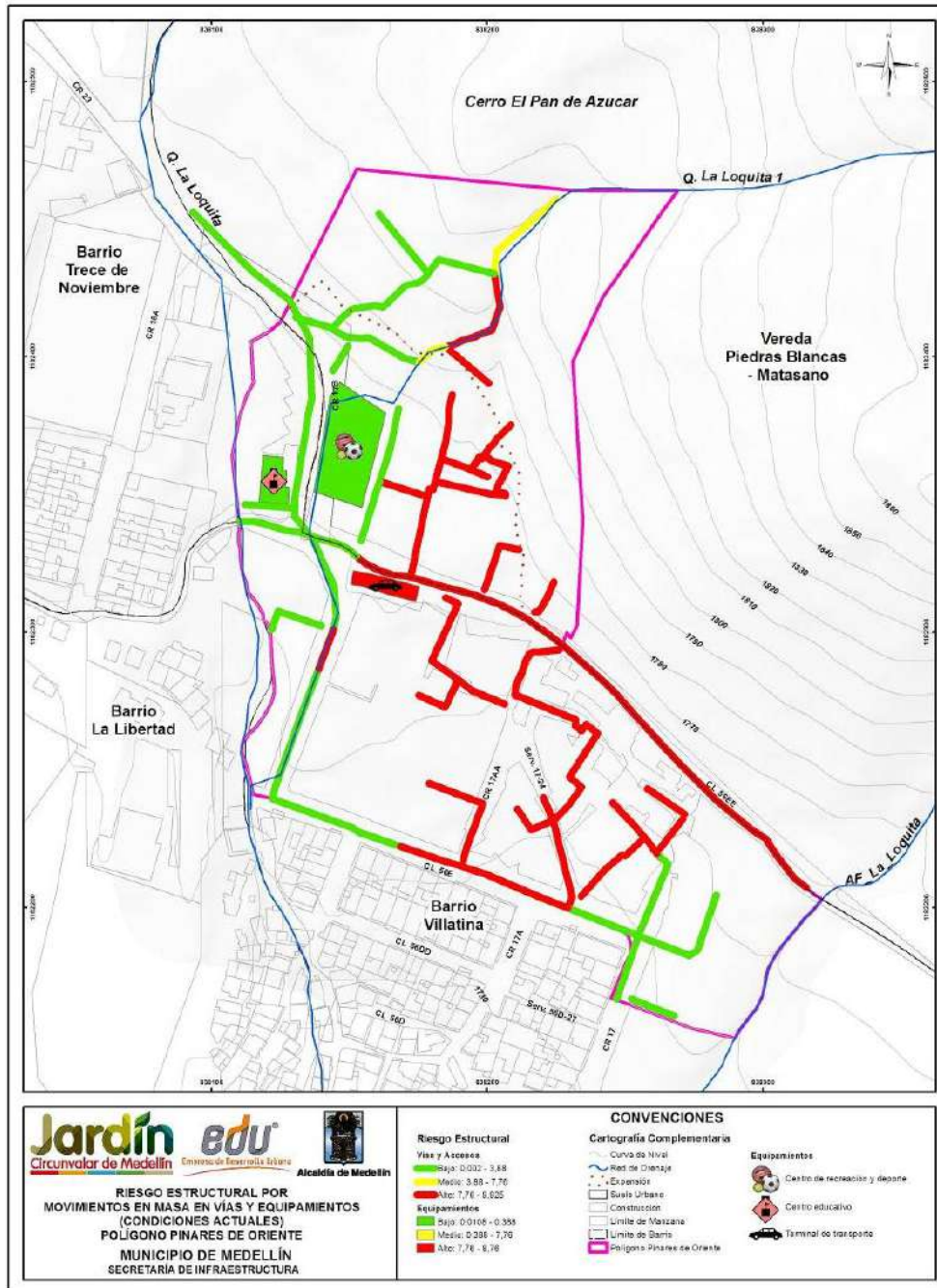
En el Mapa 61 y en el Mapa 62 se presentan los resultados de los análisis de riesgo considerando las condiciones actuales de las viviendas, en términos de porcentaje de pérdidas económicas y en términos de porcentaje de pérdidas de vidas, respectivamente. El Mapa 63 presenta la categorización del riesgo por movimiento en masa de las vías de acceso y equipamientos 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 y da lugar a un número importante de viviendas y vías de acceso en el sector nororiental y suroriental del polígono con riesgo alto. El riesgo alto se debe a la amenaza por movimientos en masa que se presenta por fuera del polígono, en la ladera localizada al este del polígono, y la afectación a las estructuras será entonces por impacto.



Mapa 61. Análisis de riesgo estructural de viviendas y construcciones por movimientos en masa en el Polígono Pinarés de Oriente
(39_PDORiesgoEstructuralMovimientosenMasa_Medellin_C y 39_PDORiesgoEstructuralMovimientosenMasa_Medellin_T)



Mapa 62. Análisis de riesgo de las personas por movimientos en masa en el Polígono Pinares de Oriente
(40_PDORiesgoPersonasMovimientosenMasa_Medellin_C y 40_PDORiesgoPersonasMovimientosenMasa_Medellin_T)



Mapa 63. Análisis de riesgo estructural de vías de acceso y equipamientos por movimientos en masa en el Polígono Pinares de Oriente
(47_PDORiesgoEstructuralMovimientosMasa_ViasEquipamientos_Medellin_C y 47_PDORiesgoEstructuralMovimientosMasa_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 basado 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 80. 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 81.

Tabla 81. Categorización del riesgo total

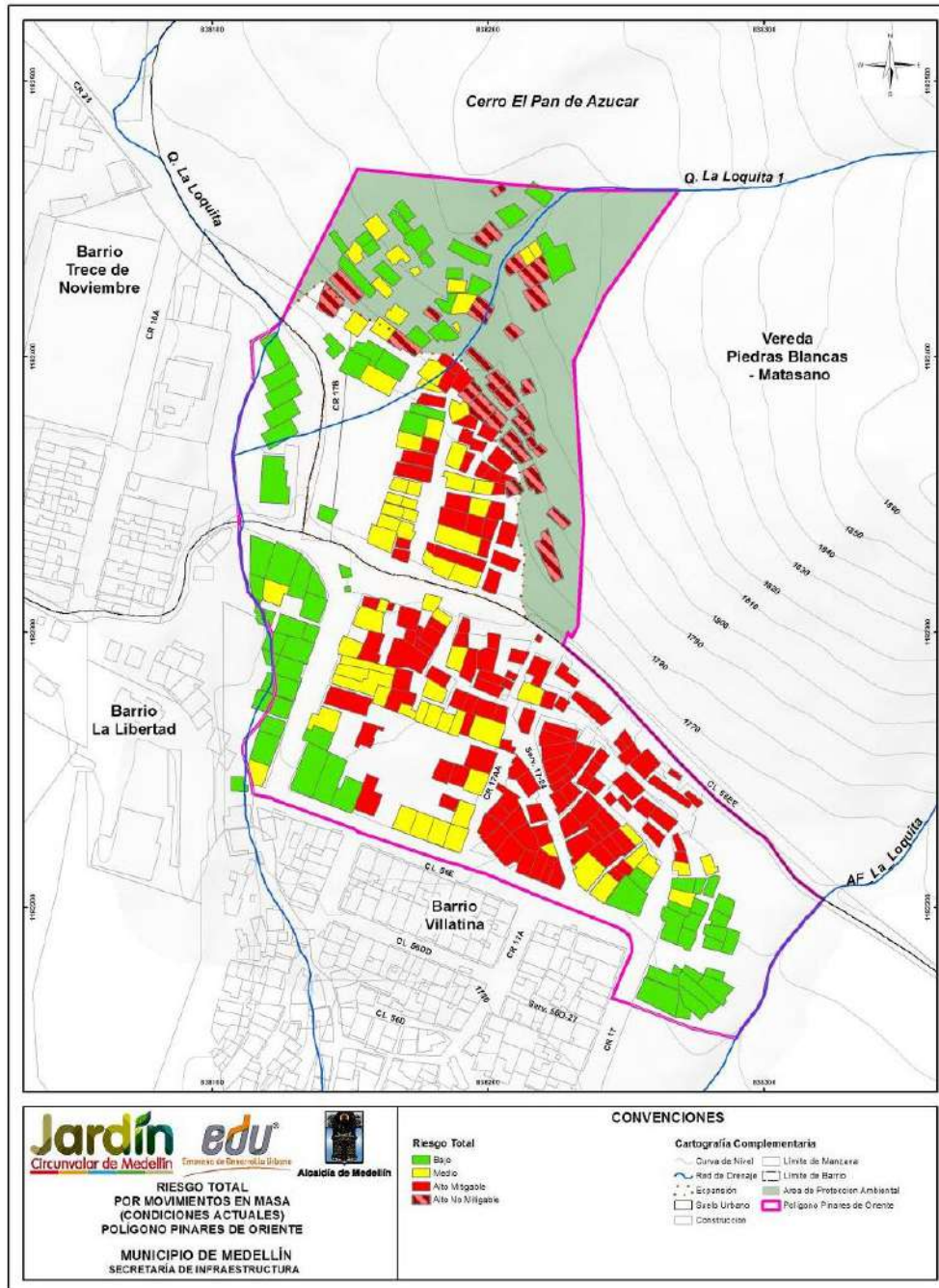
ALTO (A)	Alta probabilidad de víctimas fatales y lesiones serias en la población. La implementación de medidas de intervención es prácticamente inviable desde el punto de vista técnico. Se debe hacer una evaluación económica detallada para establecer la posibilidad de mitigación y disminución del nivel 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 los que corresponde a riesgo alto mitigable y riesgo alto no mitigable. Cuando los costos de reubicación de asentamientos e infraestructura excedan 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 64 se presenta finalmente la clasificación del riesgo considerando incluso la subcategorización de riesgo alto mitigable y no mitigable. Se muestra que de las 305 estructuras, 78 de ellas presentan un riesgo bajo ante movimientos en masa (26%), 71

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	--	---

presentan riesgo medio ante movimientos en masa (23%) y 156 presentan riesgo alto ante movimientos en masa (51%), de las cuales 29 estructuras presentan alto riesgo no mitigable, las 127 restantes fueron clasificadas en riesgo alto mitigable. Se puede observar que las estructuras que presentan riesgo alto se localizan a lo largo y ancho del polígono. Al analizar las variables que finalmente permiten llegar a este resultado, se puede determinar que es la presencia de focos de inestabilidad por fuera del polígono la responsable principal de los resultados obtenidos.



Mapa 64. Análisis de riesgo total de viviendas y construcciones por movimientos en masa para las condiciones actuales en el Polígono Pinares de Oriente (41_PDORiesgoTotalMovimientosenMasa_Medellin_C y 41_PDORiesgoTotalMovimientosenMasa_Medellin_T)

En la Tabla 82 se presenta la descripción de cada una de las viviendas que presentan riesgo alto no mitigable ante movimientos en masa.

Tabla 82. Inventario de las estructuras en alto riesgo no mitigable por movimientos en masa en el Polígono Pinares de Oriente

Estructura	COBAMA	Dirección	Ocupación	Tipo	Fundación	Estado	Altura	Clasificación Riesgo Total
107	9008000	Cr 17B N.56EE-38 Int.136	Residencial	Mampostería	<2 m	Muy mala	Un piso	Alto No Mitigable
115	9008000	Cr 17AA N.56EE-32 Int.112_Cr 17AA N.56EE-90	Residencial	Mampostería	<2 m	Muy mala	Un piso	Alto No Mitigable
149	9008000	Cr 17AA N.56EE-40 Int.150	Residencial	Ligera	<2 m	Mala	Un piso	Alto No Mitigable
150	9008000	Cr 17AA N.56EE-40 Int.140_Cr 17AA N.56EE-40 Int.141	Residencial	Ligera	<2 m	Buena	Un piso	Alto No Mitigable
202	9008000	Cr 17B N.56EE-38 Int.1161_Cr 17B N.56EE-38 Int.161	Residencial	Ligera	<2 m	Muy mala	Un piso	Alto No Mitigable
207	9008000	Cr 17B N.56EE-38 Int.152	Residencial	Ligera	<2 m	Muy mala	Dos pisos	Alto No Mitigable
215	9008000	Cr 17AA N.56EE-34 Int.113	Residencial	Ligera	<2 m	Media	Un piso	Alto No Mitigable
221	9008000	Cr 17AA N.56EE-36 Int.117	Residencial	Ligera	<2 m	Muy mala	Un piso	Alto No Mitigable
233	9008000	Cr 17AA N.56EE-40 Int.116	Residencial	Mampostería	<2 m	Mala	Un piso	Alto No Mitigable
234	9008000	Cr 17B N.56EE-38 Int.143	Residencial	Ligera	<2 m	Muy mala	Un piso	Alto No Mitigable
236	9008000	Cr 17AA N.56EE-56 Int.113_Cr 17AA N.56EE-56 Int.117_Cr 17B N.56EE-38 Int.140	Residencial	Ligera	<2 m	Mala	Un piso	Alto No Mitigable
241	9008000	Cr 17B N.56EE-38 Int.155	Residencial	Mampostería	<2 m	Mala	Un piso	Alto No Mitigable
244	9008000	Cr 17B N.56EE-38 Int.156	Residencial	Ligera	<2 m	Mala	Dos pisos	Alto No Mitigable
252	9008000	Cr 17B N.56EE-50 Int.168	Residencial	Ligera	<2 m	Mala	Un piso	Alto No Mitigable
253	9008000	Cr 17B N.56EE-64 Int.164	Residencial	Ligera	<2 m	Mala	Dos pisos	Alto No Mitigable

Tabla 82. Inventario de las estructuras en alto riesgo no mitigable por movimientos en masa en el Polígono Pinares de Oriente

Estructura	COBAMA	Dirección	Ocupación	Tipo	Fundación	Estado	Altura	Clasificación Riesgo Total
256	9008000	Cr 17B N.56EE-38 Int.157_Cr 17B N.56EE-38 Int.149	Residencial	Ligera	<2 m	Mala	Un piso	Alto No Mitigable
259	9008000	Cr 17B N.56EE-50 Int.165	Residencial	Ligera	<2 m	Mala	Un piso	Alto No Mitigable
260	9008000	Cr 17B N.56EE-50 Int.151	Residencial	Ligera	<2 m	Mala	Un piso	Alto No Mitigable
263	9008000	Cr 17B N.56EE-50 Int.153	Residencial	Ligera	<2 m	Mala	Un piso	Alto No Mitigable
273	-	Cr 17B N.56EE-38 Int.146_Cr 17B N.56EE-38 Int.147	Residencial	Ligera	<2 m	Muy mala	Un piso	Alto No Mitigable
274	-	Cr 17B N.56EE-38 Int.1160	Residencial	Ligera	<2 m	Muy mala	Un piso	Alto No Mitigable
280	9008000	Cr 17B N.56EE-50 Int.127	Residencial	Ligera	<2 m	Muy mala	Un piso	Alto No Mitigable
283	-	Cr 17AA N.56EE-40 Int.123	Residencial	Ligera	<2 m	Mala	Un piso	Alto No Mitigable
284	-	Sin dirección	Residencial	Ligera	<2 m	Muy mala	Un piso	Alto No Mitigable
286	-	Cr 17AA N.56EE-40 Int.133	Residencial	Ligera	<2 m	Muy mala	Un piso	Alto No Mitigable
287	-	Cr 17AA N.56EE-40 Int.132_Cr 17AA N.56EE-40 Int.131	Residencial	Ligera	<2 m	Muy mala	Un piso	Alto No Mitigable
288	-	Cr 17AA N.56EE-40 Int.132	Residencial	Ligera	<2 m	Mala	Un piso	Alto No Mitigable
289	-	Sin dirección	Residencial	Ligera	<2 m	Buena	Un piso	Alto No Mitigable
291	-	Cr 17AA N.56EE-40 Int.145	Residencial	Ligera	<2 m	Muy mala	Un piso	Alto No Mitigable

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 Pinares de Oriente 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 154.

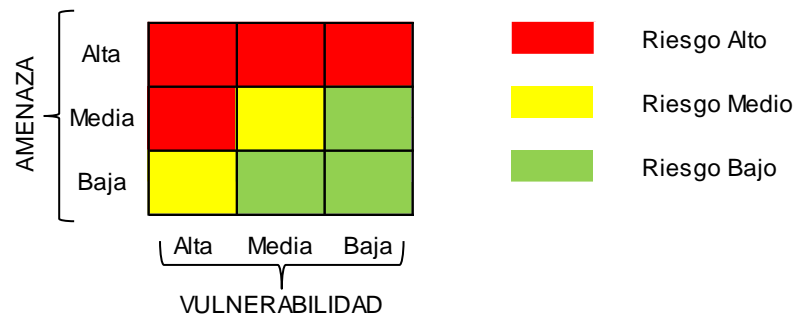




Figura 154. Clasificación del riesgo para inundaciones y avenidas torrenciales según el grado de amenaza y de vulnerabilidad

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 Mapa 65, donde se clasifica cada zona del polígono en categorías de riesgo alto, medio y bajo para las condiciones actuales.

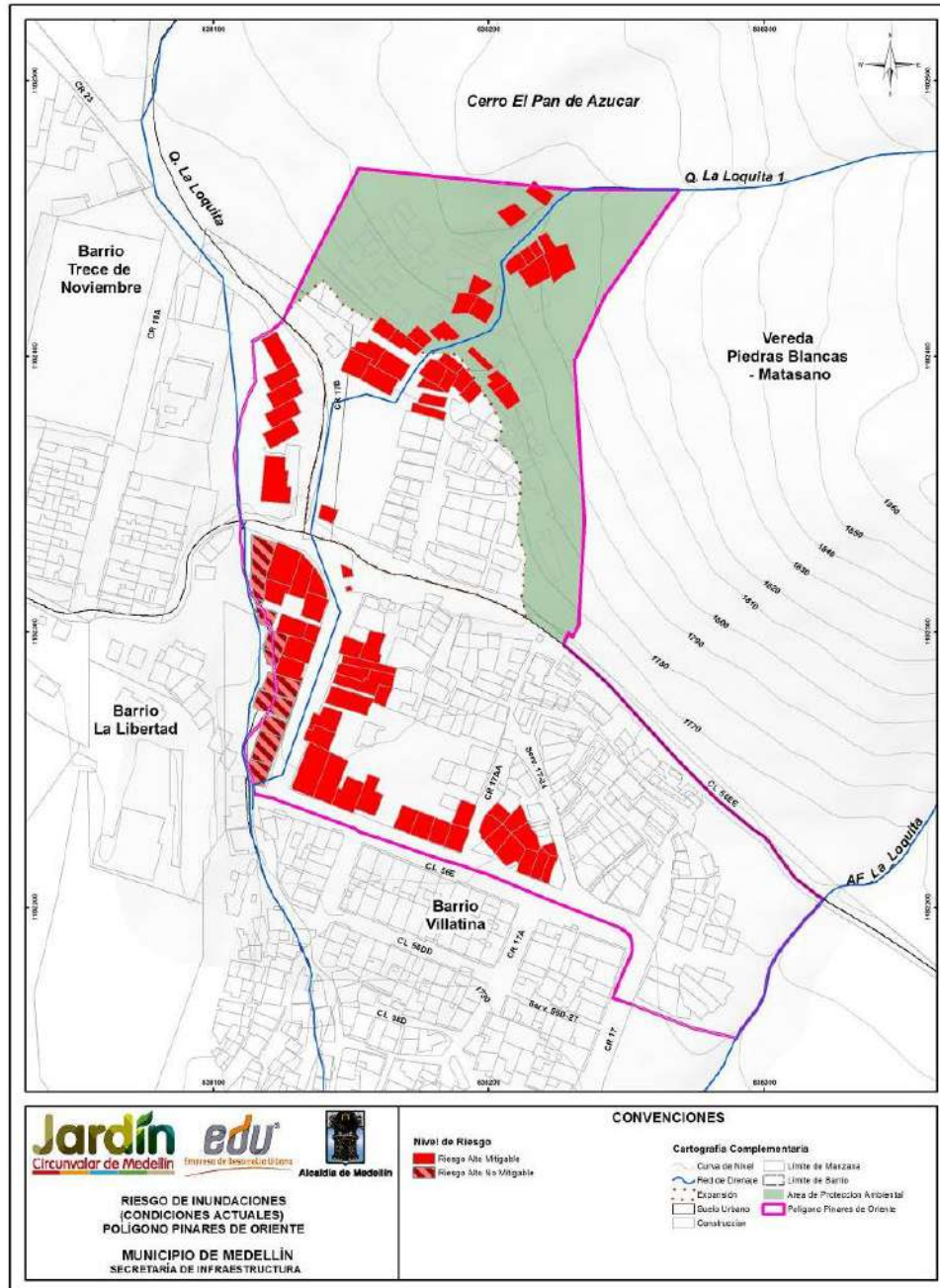
Se considera como riesgo alto no mitigable aquel bajo el cual se encuentran las estructuras que por su cercanía al cauce su carácter de riesgo alto no puede ser reducido sin modificar sustancialmente las condiciones del cauce, de la corriente y de la estructura misma, y porque además se encuentran ubicadas 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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	--	---

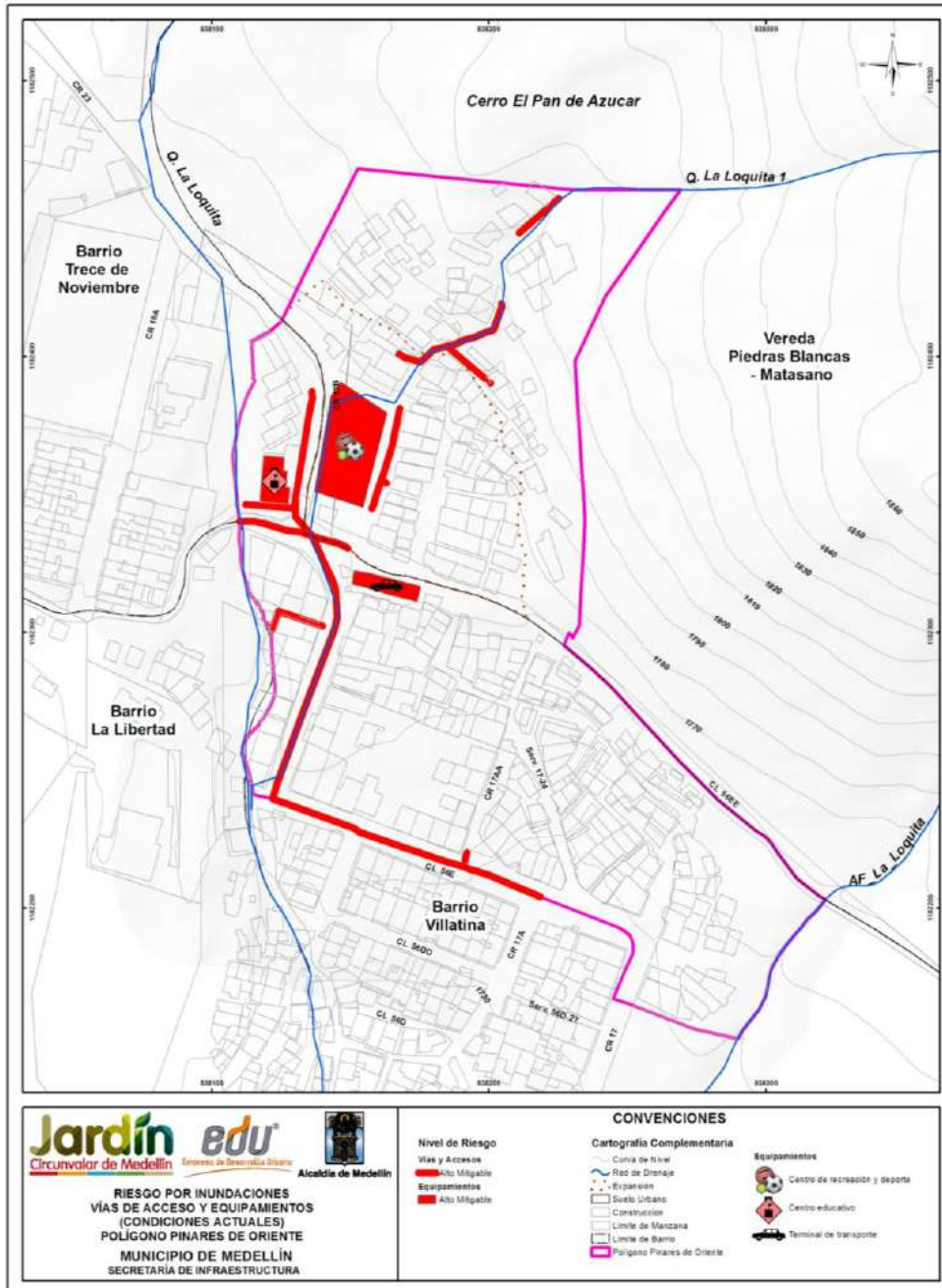
En Particular para el polígono de Pinares de Oriente los resultados de la evaluación del riesgo indican que hay viviendas en condición de riesgo Alto Mitigable debido a derrames de las quebradas las La Loquita y La Loquita 1 los cuales viajan a través de la carrera 17b y la calle 56e , afectando viviendas aledañas a estas vías. Sobre la Quebrada La Loquita hay varias viviendas bajo riesgo Alto No Mitigable situación debida a la cercanía de estas con el cauce (Mapa 65).

De igual manera, en el Mapa 66 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 Loquita y La Loquita 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 Pinares de Oriente corresponden todas a corredores peatonales y a vías vehiculares. Además, se puede observar que algunas estructuras especiales se encuentran en riesgo alto. Lo anterior está dado por la insuficiencia hidráulica de las obras existentes las cuales generan vertimientos hacia la zona urbana o la cercanía, ya sea de las vías o la infraestructura especial, a las corrientes hídricas.



De acuerdo con lo expuesto en el Numeral 15.4, en el polígono de estudio no se presenta riesgo por avenidas torrenciales.



Mapa 65. Riesgo por inundaciones en condiciones actuales en el Polígono Pinares de Oriente para las viviendas y construcciones (43_PDORiesgolInundaciones_Medellin_C y 43_PDORiesgolInundaciones_Medellin_T)



Mapa 66. Riesgo por inundaciones en condiciones actuales en el Polígono Pinares de Oriente para las vías de acceso y equipamientos (48_PDORiesgoInundaciones_ViasEquipamientos_Medellin_C y 48_PDORiesgoInundaciones_ViasEquipamientos_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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</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 Pinares de Oriente. 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 Pinares de Oriente se presenta cobertura de redes de acueducto y de alcantarillado de Empresas Públicas de Medellín (EPM), tal como puede observarse en el Mapa 67 o en el Mapa 68. En relación con la red de alcantarillado, ésta se extiende principalmente por el costado occidental del polígono, desde la parte superior en el norte hasta la parte inferior en el sur del polígono, y por el costado sur sobre la Calle 56E. El costado sur presenta cobertura parcial de alcantarillado desde la cota 1750 msnm con dirección hacia la misma Calle 56E. El costado norte del polígono no cuenta con cobertura de redes de EPM entre las cotas 1810 msnm hasta la 1770 msnm, y el alcantarillado existente se concentra únicamente en el costado occidental. Casi la totalidad de las líneas de alcantarillado corresponden al tipo combinado, en concreto, con diámetros entre 200 mm y 300 mm, siendo más común los diámetros de 200 mm.

En relación con la red de acueducto, se observa que hay cobertura parcial, estando ésta concentrada en el costado occidental del polígono, siguiendo en gran parte un trazado paralelo a la Quebrada La Loquita 1, en la parte media del polígono siguiendo de cerca la cota 1760 msnm, y en la parte sur del polígono cerca del límite sobre la Calle 56E, con una ramificación en la parte central del sur del polígono. Los materiales que constituyen las tuberías son variables, hierro dúctil (HD), acero y policloruro de vinilo (PVC) con diámetros que oscilan entre 100 mm y 150 mm. También se observa una red de acueducto primaria ubicada en la zona central del polígono, atravesando en sentido noroccidente a suroriente sobre la cota 1760 msnm; el material de esta tubería se compone de hierro dúctil, con un diámetro de 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 la información de las redes de EPM. Este ejercicio permitió concluir que no todas las redes presentadas en la información de topografía de La EDU corresponden a las reportadas por EPM, por lo que se adicionaron como “Redes Otras” en el Mapa 67 y en el Mapa 68, de las cuales podría afirmarse con algún grado de incertidumbre que corresponden a alcantarillado de tipo combinado según los observado en el sitio. Tampoco se descarta la existencia de líneas de tuberías o mangueras instaladas por la comunidad para el suministro de agua

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

hacia la parte alta del polígono, las cuales quedan por fuera del alcance general del presente estudio.

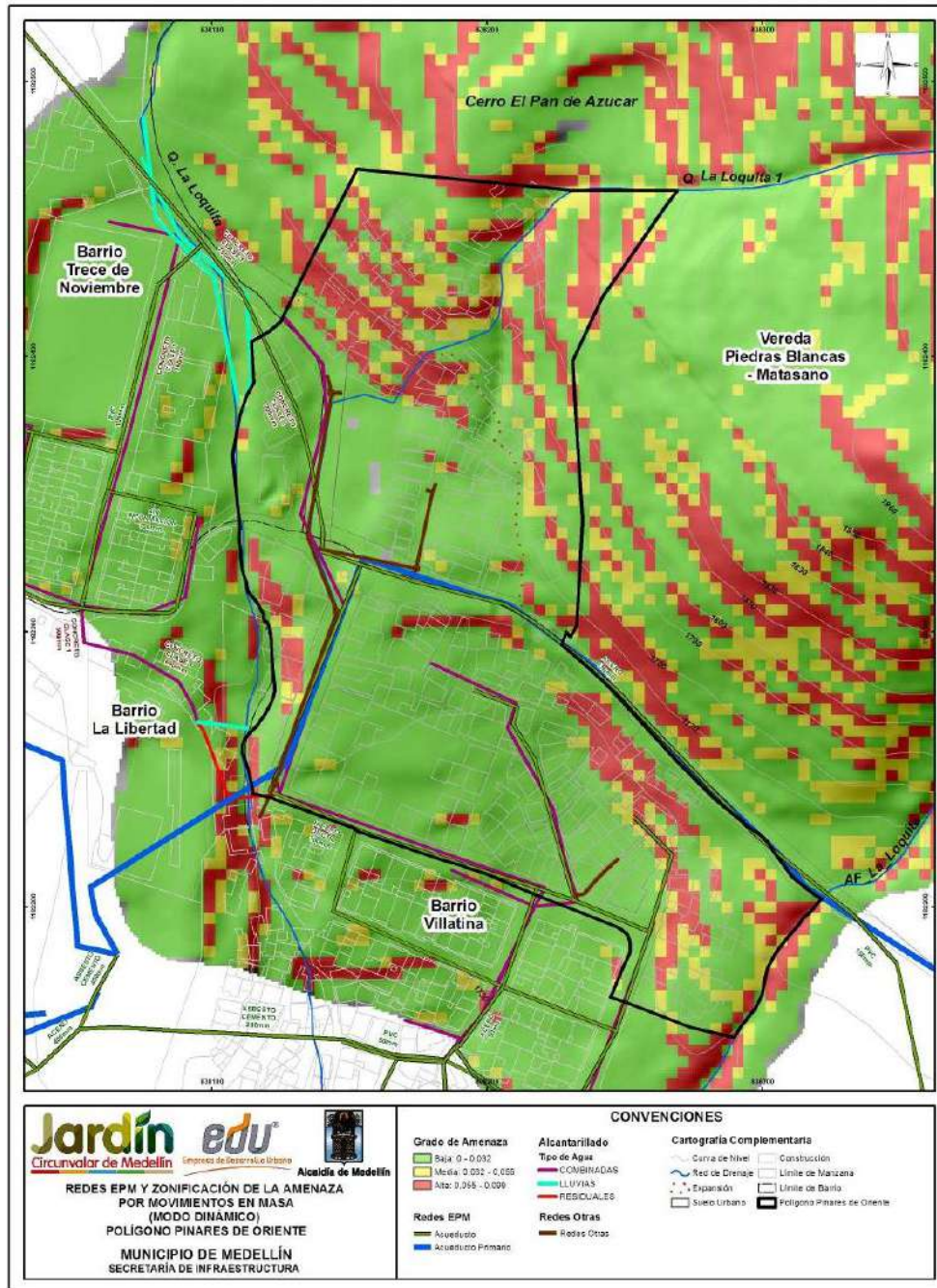
19.2 SUPERPOSICIÓN EN MAPAS DE AMENAZA

En el Mapa 37 se presenta el mapa de zonificación de la amenaza por movimiento en masa considerando la variabilidad de los parámetros de resistencia al corte y el efecto del sismo para un periodo de exposición de 50 años. En la Mapa 67 se presenta este mismo pero sobre él se han superpuesto las redes de servicios públicos diferenciándose por tipos de redes, con las debidas convenciones.

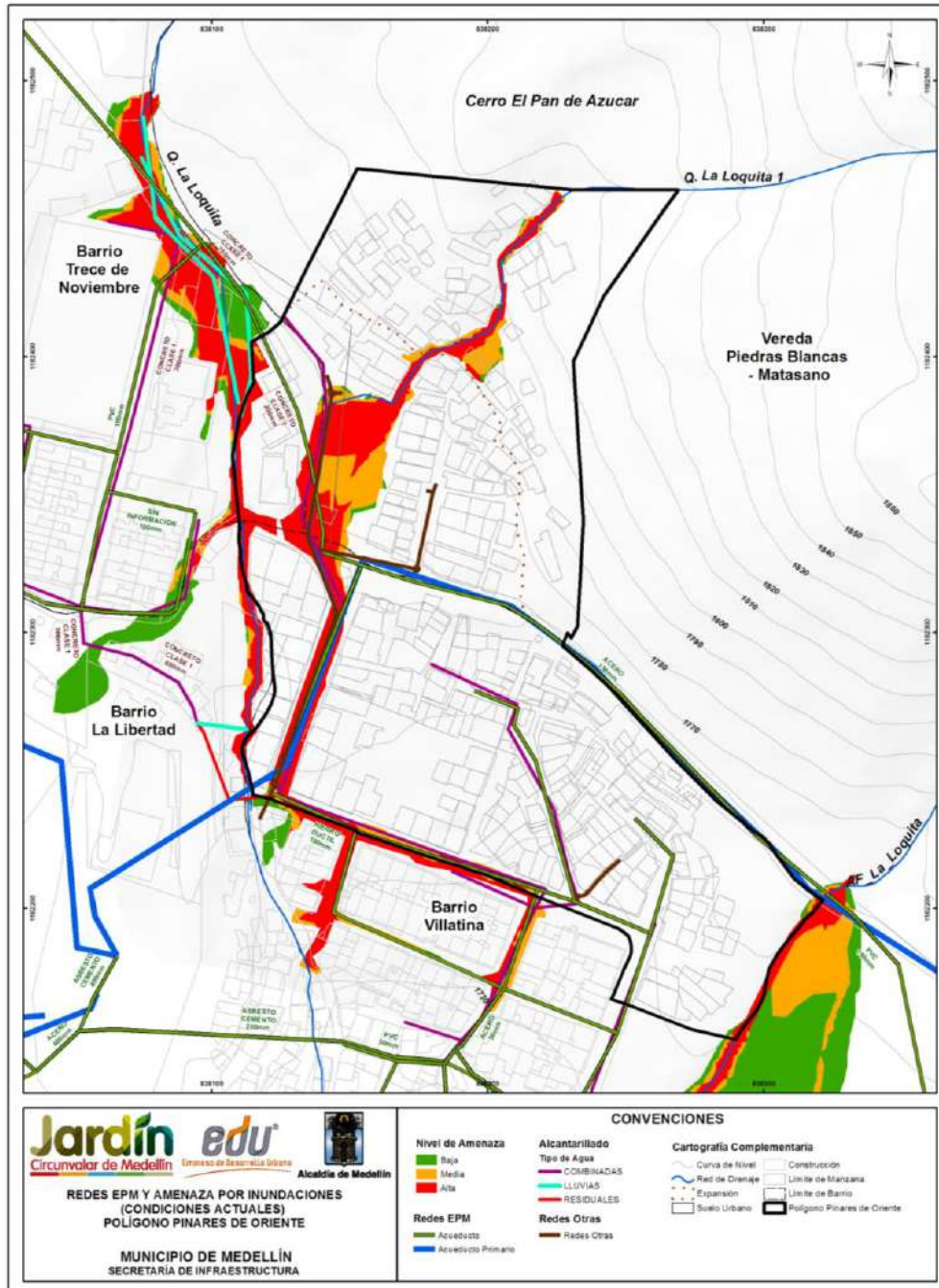
La superposición efectuada sobre el mapa de amenaza por movimiento en masa, mostrada en la Mapa 67, permite ver diferenciadas las redes de acueducto, alcantarillado y gas de EPM y de otras redes hechas por la comunidad, sobre el mapa de amenaza por movimiento en masa proyectado para 50 años. Se resalta el hecho que ninguna de las redes actualmente instaladas dentro del Polígono Pinares de Oriente, se localizan en zonas de amenaza alta por movimientos en masa. Cabe mencionar que un pequeño tramo de red instalado por la comunidad se localiza en una zona de amenaza alta, sin embargo, se encuentra por fuera del polígono de estudio, en el costado suroccidental de éste.

En el Mapa 38 se presenta la amenaza por inundaciones en el Polígono Pinares de Oriente bajo condiciones existentes. En el Mapa 67 se presenta este mismo pero sobre él se han superpuesto las redes de servicios públicos diferenciándose con las debidas convenciones los diferentes tipos de redes. En el Capítulo 15 se demostró que el Polígono Pinares de Oriente 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.

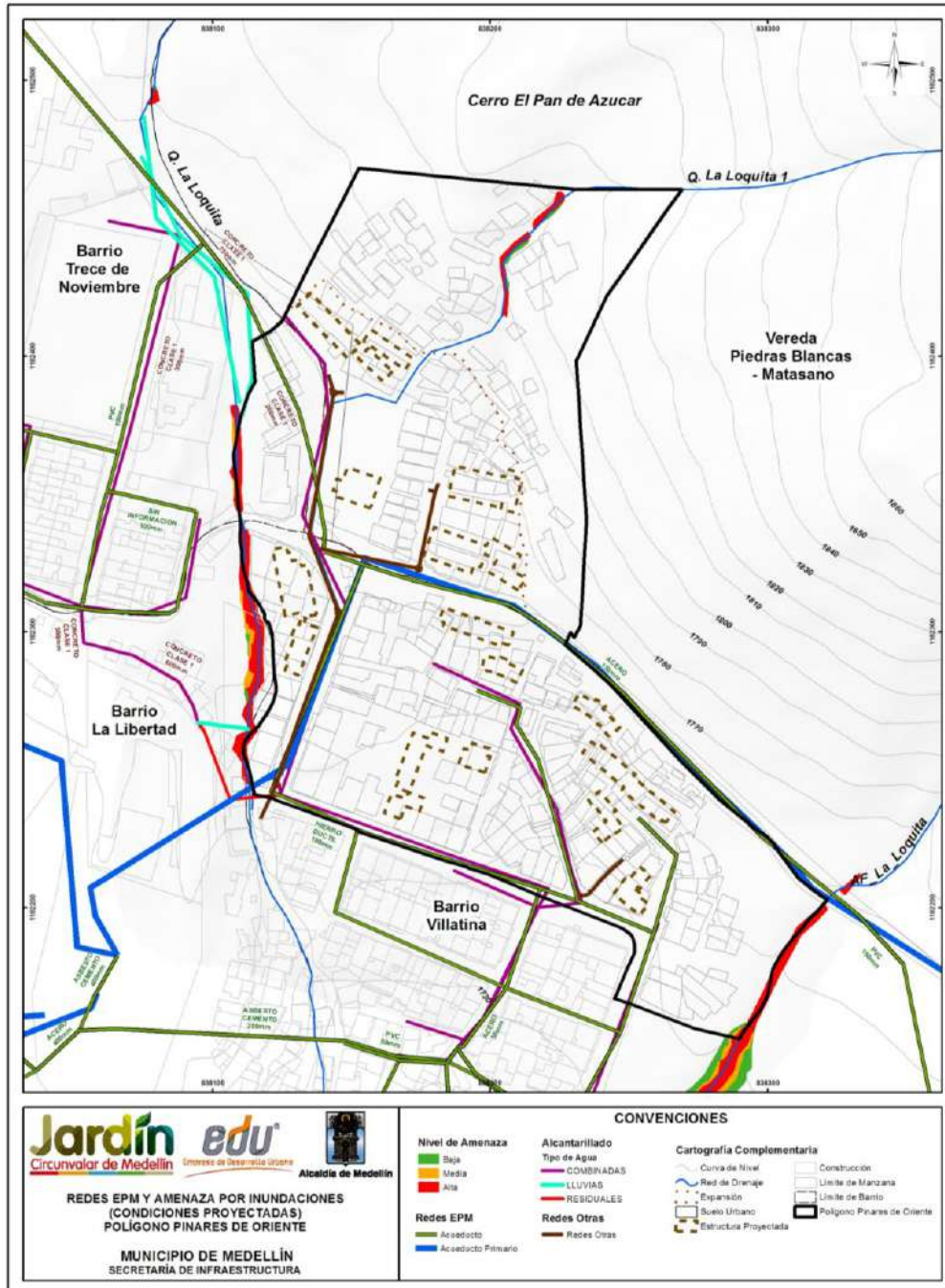
La superposición efectuada sobre el mapa de amenaza por inundaciones, mostrada en el Mapa 68, permite determinar que más del 70% de las redes de servicios públicos existentes al interior del Polígono Pinares de Oriente se encuentran dentro de las zonas de amenaza alta por inundaciones. Sin embargo, en condiciones proyectadas, las obras de mitigación para inundaciones permitirán eliminar la amenaza alta que existe actualmente en las zonas por donde corren las redes existentes (Mapa 69 y Apartado 21.2). Además, parte de estas redes de servicios públicos serán reemplazadas con otras de mayor capacidad para ser empleadas como estructuras de captación y evacuación de aguas lluvias.



Mapa 67. 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 (EDPRedesEPMYAmenazaMovimientosenMasa_Medellin_C)



Mapa 68. Superposición de redes de servicio público sobre la amenaza por inundaciones. Condiciones actuales. (PDORedesEPM_Medellin_C)



Mapa 69. Superposición de redes de servicio público sobre la amenaza por inundaciones. Condiciones proyectadas (PDORedesEPMCondicionesProyectadas_Medellin_C)

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</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 ha encontrado tubería en concreto no reforzado, y para el acueducto en policloruro de vinilo (PVC), en HD y en acero. Algunas características de estas tuberías son mostradas a continuación:

19.3.1 Tubería en concreto no reforzado (Clase 1)

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 son uniones de espigo-campana con empaque de caucho que presentan un comportamiento frágil.

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 acero y en hierro dúctil (HD)

Son tuberías antiguas que se instalaron hasta finales de la década de 1970 fabricada con acero sin recubrimiento. El ángulo máximo de deflexión de las campanas es de 5°.

19.3.3 Tubería en Policloruro de Vinilo (PVC)



Los tramos de PVC en las tuberías de acueducto, generalmente presentan un comportamiento bueno, normalmente cuando se presentan daños por fugas, éstas ocurren en las conexiones. Por ésta razón, la parte más vulnerable ante los efectos en masa son las conexiones.

19.3.4 Vulnerabilidad de los diferentes tipos de redes

Según la descripción anterior, las conexiones de las tuberías de concreto sin refuerzo, las de acero, las HD y las 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 las quebradas.



19.4 EVALUACIÓN DEL RIESGO DE LAS REDES

De acuerdo con lo expuesto en el Numeral 19.2, con respecto a la amenaza de las redes por movimientos en masa, se concluye que en el polígono de estudio tampoco se presenta riesgo por éste tipo de fenómenos.

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	--	---

En relación con el riesgo de las redes de servicios públicos por inundaciones, en los apartados anteriores se concluyó que alrededor del 70% de las redes de servicios se encuentran dentro de la zona de amenaza alta, por lo que es posible afirmar que en la misma proporción estas redes se encuentran actualmente en riesgo alto por inundaciones. Este riesgo alto por inundaciones en el caso de este polígono significa que los tramos de redes de alcantarillados afectados podrían trabajar en condiciones sumergidas durante el tiempo de ocurrencia de la creciente. No obstante, dado que casi la totalidad de las redes en estas condiciones se encuentran cubiertas por pavimento (porque la zona inundada corresponde a vías a donde confluyen las aguas desbordadas desde cauces o estructuras), el riesgo de sufrir afectaciones de tipo estructural se ve notablemente reducido o eliminado. En relación con las redes de acueducto, éstas no presentarían riesgo dadas sus condiciones particulares de hermeticidad.

Sin embargo, el riesgo alto existente será eliminado al instalar las obras de mitigación planteadas para inundaciones, las cuales son descritas en el Apartado 21.2.

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</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 La Sopera (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 Loquita del Polígono Pinares de Oriente.

20.2 METODOLOGÍA GENERAL

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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

Colombia para Cornare, Corantioquia y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá en el año 2005 (Universidad Nacional de Colombia, 2005), 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 tiene 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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</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.

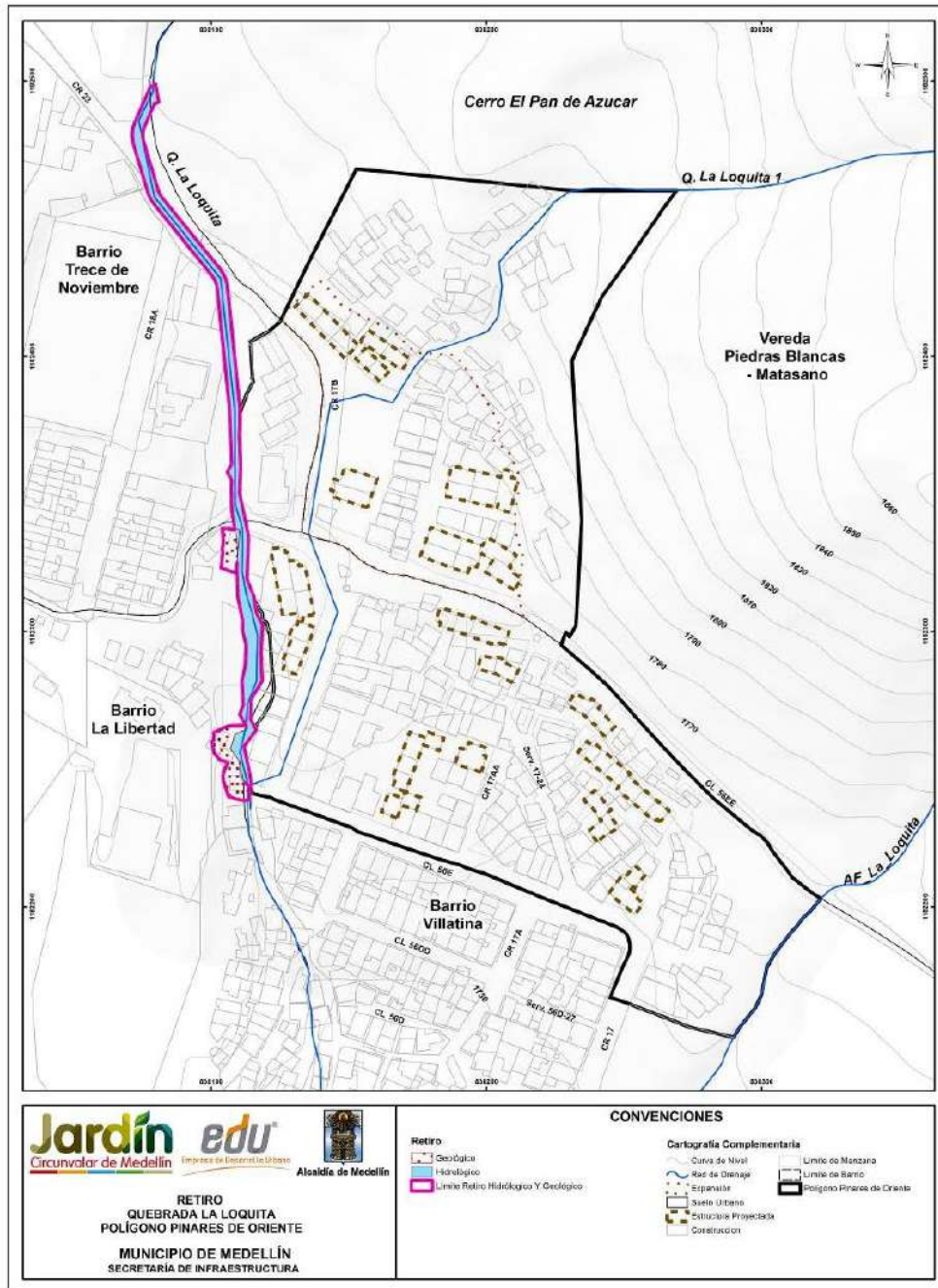
20.3 RESULTADOS

En el caso de la Quebrada La Loquita en el Polígono Pinares de Oriente, se trata de cauce 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 Pinares de Oriente 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 ha 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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	--	---

Posteriormente, se tomó el mapa de zonificación de la amenaza por movimientos en masa (Mapa 37). 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° si la amenaza era media o de 45° si 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.

En el caso particular del Polígono Pinares de Oriente, las pendientes del terreno aledaño al cauce de la Quebrada La Loquita son tan críticas como la metodología expone en dos pequeños sectores, ambos ubicados en la zona central del cauce. Esto implica entonces que el retiro a respetar para la Quebrada La Loquita dentro del Polígono Pinares de Oriente es el retiro hidrológico más el geológico. El mapa con los retiros de la Quebrada La Loquita queda entonces definido en el Mapa 70.



Mapa 70. Zona de retiro hidrológico y geológico planteado en la Quebrada La Loquita del Polígono Pinares de Oriente (49_PDORetiroHidrologicoyGeologico_Medellin_C y 49_PDORetiroHidrologicoyGeologico_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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</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 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 e inundaciones se presentan en el Anexo 07



21.1 OBRAS PARA RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA

Para la evaluación del riesgo por movimientos en masa se dividió el Polígono Pinares de Oriente en dos zonas, la alta (Zona 1) y la baja (Zona 2).

En la Zona 1 se localizan actualmente 62 estructuras que presentan alto riesgo frente a un evento de movimiento en masa, aproximadamente 30 de ellas en alto riesgo no mitigable al localizarse en una zona de protección ambiental perteneciente al área del cerro Pan de Azúcar. Dentro de esta zona se tienen estructuras contempladas dentro del proyecto de Barrios Sostenibles, las cuales presentarían riesgo estructural medio y bajo.

Las estructuras se encuentran amenazadas por el impacto de movimientos en masa localizados en la parte alta de la ladera. Estos movimientos en masa pueden corresponder a desprendimientos de tierra o fragmentos de roca movilizados como consecuencia de la erosión.

En términos generales, el 100% de las estructuras en alto riesgo presentan profundidad de fundación menor que 2 m, el 70% son estructuras construidas en madera y el 30%

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

restante son estructuras en mampostería, el 95% son de un sólo piso, el 86% se registran en estado medio, malo y muy malo, el 14% en estado bueno a muy bueno. La categorización del 77% de las estructuras según el factor resistencia es media, mientras que el 23% presentan resistencia baja.

Para esta zona se proponen tres alternativas de solución, dos de las cuales buscan mitigar directamente los focos, la primera consiste en la reconfiguración del terreno, la segunda en la estabilización de la parte alta de la ladera con un sistema de anclajes pasivos localizados. La tercera alternativa corresponde a la instalación de una pantalla de protección contra deslizamiento que se interponga entre la amenaza y la vulnerabilidad, constituyéndose en una barrera de amortiguamiento o protección contra el impacto.



Las evaluaciones detalladas efectuadas, permiten concluir que la mejor alternativa de solución para la Zona 1 es una pantalla de protección. Lo anterior porque es una alternativa de fácil implementación, poco impacto social y ambiental, funciona como medida de mitigación y alerta para pequeños y grandes desprendimientos de materiales desde el foco de inestabilidad. Ofrece facilidad constructiva, menor costo a largo plazo y menor afectación en la zona.

En la Zona 2 se localizan actualmente 98 estructuras que presentan alto riesgo frente a un movimiento en masa. Dentro de esta zona se tienen estructuras contempladas dentro del Proyecto Barrios Sostenibles, las cuales presentan riesgo estructural medio y bajo. Cabe resaltar que esta zona se ha dividido en dos subzonas, dado que en la denominada Zona 2-02 se tendrían dos amenazas por mitigar, una corresponde al foco en la parte alta de la ladera que afecta a la Zona 2 completa, mientras la otra amenaza corresponde al probable movimiento en masa alrededor de una sección perpendicular a la vía de la Calle 56EE, la cual requiere un manejo localizado.

Las estructuras se encuentran amenazadas por el impacto de movimientos en masa desde la parte alta de la ladera. Estos movimientos en masa pueden corresponder a desprendimientos de tierra o fragmentos de roca movilizados como consecuencia de la erosión. En la Zona 2-02 la amenaza se localiza en los taludes alrededor de la vía de la Calle 56EE, donde se puede producir un movimiento que afecte las casas aledañas. Este último movimiento es más localizado que el que se produce en la parte alta de la ladera.

En términos generales, el 100% de las estructuras en alto riesgo presentan profundidad de fundación menor que 2 m, el 78% son estructuras construidas en mampostería y 22% son estructuras construidas en madera o lata-cartón o mixtas. Por otra parte, el 67% son de un sólo piso, mientras que el 33% poseen entre de 2 a 5 pisos, el 70% se registran en estado medio, el 22% en estado malo a muy malo y el 8% restante presenta un estado bueno. Finalmente, la categorización del 98% de las estructuras según el factor resistencia es media.

Para la Zona 2-01 se proponen las mismas alternativas que para la Zona 1, considerando que la amenaza corresponde a desprendimientos de suelo o roca provenientes de la parte alta de la ladera. Por su parte, para la Zona 2-02 se proponen dos alternativas, ambas orientadas al control del foco localizado en el talud inferior de la vía. Una de 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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	--	---

alternativas corresponde a la contención mediante la construcción de una pantalla de pilas, que de acuerdo con su estabilidad interna puede o no requerir de anclajes activos, mientras la otra opción sería con pernos pasivos que permitan realizar un mejoramiento de la resistencia al corte sobre la superficie de falla.

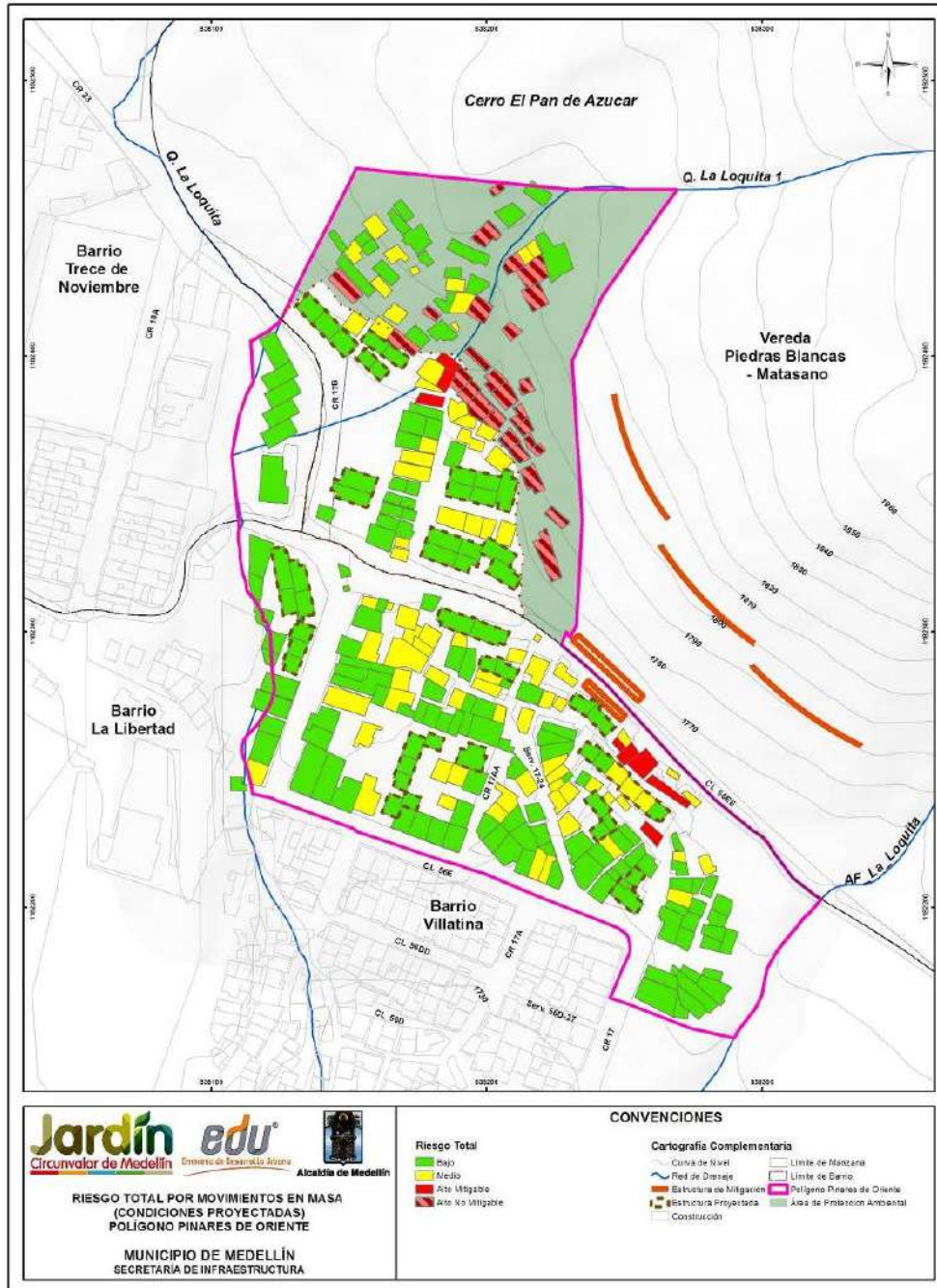
En ambas zonas se descarta la posibilidad de la reubicación de los habitantes considerando que el problema social generado sería de difícil manejo y teniendo en cuenta que la búsqueda de zonas de reasentamiento en el mismo sector puede tener un alto grado de dificultad.

Se debe tener en cuenta que en la parte más alta del polígono (sobre la Zona 1), el suelo se categoriza como Suelo de Protección de acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) para el Municipio de Medellín, por lo cual tiene restringida la posibilidad de urbanizarse. El número aproximado de casas ubicadas en esta zona de suelo no utilizable es de 57.

Por otra parte, en la zona superior izquierda del polígono donde se tienen planteados algunas estructuras del Proyecto Barrios Sostenibles, aunque las mismas presentan un riesgo bajo, se presenta una amenaza alta en el sitio, por lo cual se proponen medidas de estabilización en la ladera adyacente que contemplen cortes y un adecuado manejo de aguas. Se debe considerar que en esta zona del polígono no se tendrían casas una vez se construyan los proyectos.

Teniendo en cuenta lo anterior, se realizó un análisis general del riesgo con las condiciones proyectadas considerando las estructuras de Barrios Sostenibles y las respectivas obras de mitigación. Los resultados de este análisis se presentan en el Mapa 71. Las viviendas que se presentan en categoría de riesgo mitigable, son aquellas que no se muestran atendidas de forma directa por las obras de mitigación, no obstante se consideran mitigables ya que se trata de estructuras que requieren mínimamente mejores estructurales. Por otro lado las viviendas que se presentan como no mitigables son viviendas en que presentan generalmente mal estado y que se localizan en zonas de protección ambiental. Para ilustración al lector, se incluyen en este mapa las estructuras propuestas.

En el Anexo 08 se presentan las memorias de diseño de las obras de mitigación planteadas. En los Planos P-2445-PO-OM-01 y P-2445-PO-OM-02 se presenta la localización y los detalles de las obras planteadas para la mitigación del riesgo por movimientos en masa en este polígono de estudio.



Mapa 71. Análisis de riesgo total de viviendas y construcciones por movimientos en masa para las condiciones proyectadas en el Polígono Pinares de Oriente (42_PDORiesgoTotalMovimientosenMasaCondProyecto_Medellin_C y 42_PDORiesgoTotalMovimientosenMasaCondProyecto_Medellin_T)

Finalmente, luego de efectuado el análisis de riesgo por movimientos en masa y con el fin de monitorear los desplazamientos en la zona a largo plazo y poder establecer mecanismos de alarma en la Zona 1 y en la Zona 2, se propone un sistema de instrumentación compuesto por cinco inclinómetros de 20 m de profundidad cada uno, tres de ellos ubicados en la parte norte y dos en el costado suroriental del polígono, como se muestra en la Figura 157 y en la Figura 158 respectivamente. Se recomienda una frecuencia de monitoreo mínimo de una lectura mensual durante el primer año después de construidas las obras de mitigación 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 155). 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 155. 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 156, 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.

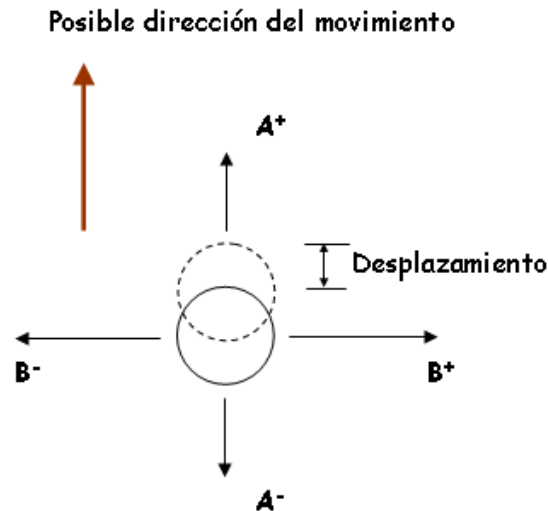


Figura 156. Disposición de los Sentidos A y B en los inclinómetros

Esta información se ha presentado con el objetivo de orientar en los procesos de contratación de esta instrumentación. Específicamente la tubería mostrada en la Figura 155 es especialmente recomendada por el material del cual es hecha (Plástico ABS) y porque sus empalmes son internos de manera que reduce costos en la perforación por el diámetro dentro del cual se puede instalar.

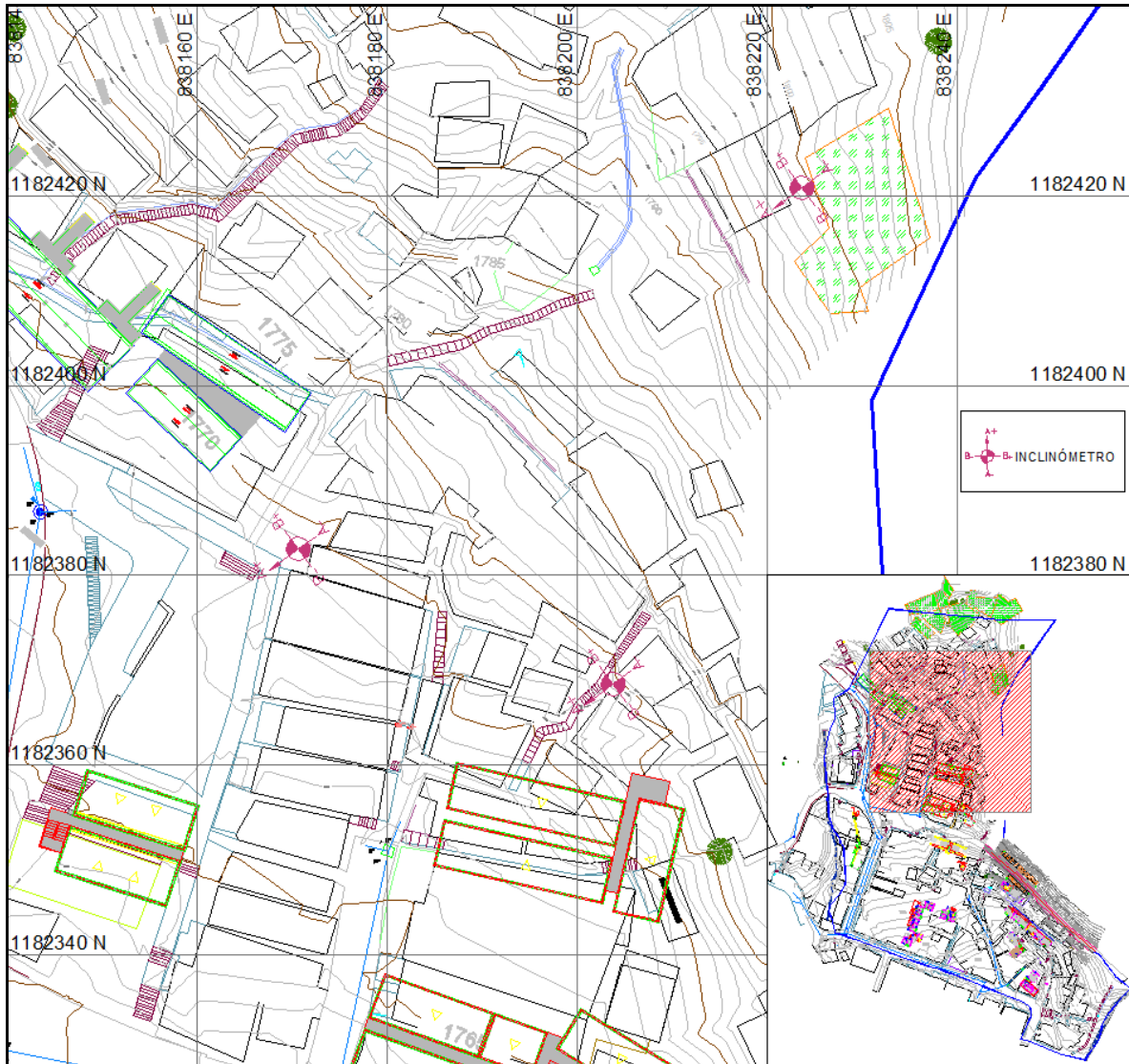


Figura 157. Localización de inclinómetros propuestos para monitoreo de zona norte del Polígono Pinares de Oriente

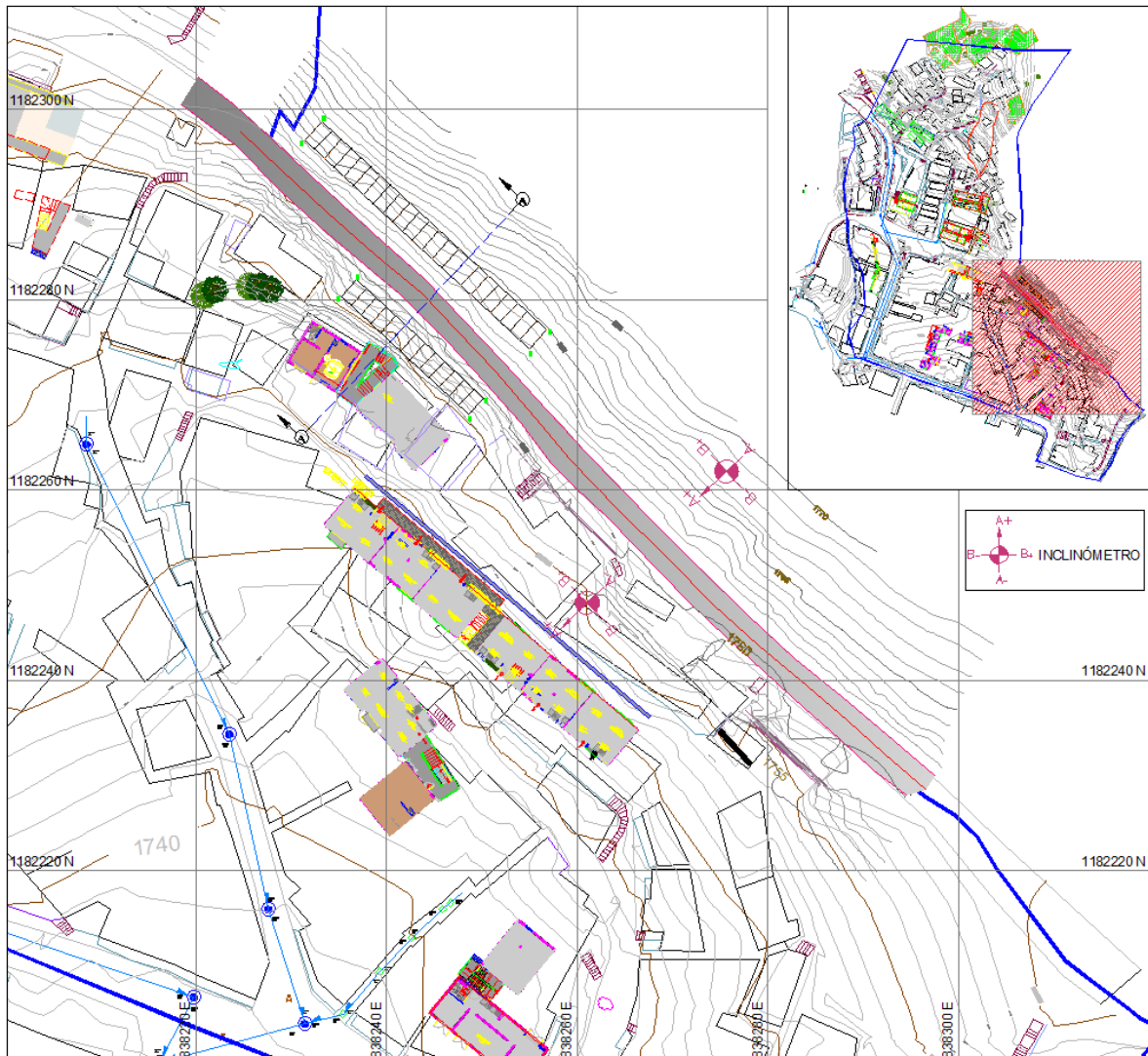




Figura 158. Localización de inclinómetros propuestos para monitoreo de zona suroriental del Polígono Pinares de Oriente

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

21.2 OBRAS PARA RIESGO POR 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 los cauces de las Quebradas La Loquita y La Loquita 1, se plantean diversas obras que buscan incrementar la capacidad del sistema de drenaje al interior del polígono.

En el caso de la Quebrada La Loquita, la deficiencia hidráulica se debe a que las secciones de las estructuras son insuficientes para los caudales máximos evaluados. Por tanto, se plantea el reemplazo de la cobertura existente bajo la Carrera 23 por una cobertura de mayores dimensiones, tipo box culvert de 1.8 m de lado. Adicionalmente, se requiere un box culvert en el cruce sobre la Calle 56 EE.

En el caso de la Quebrada La Loquita 1, la deficiencia hidráulica se debe a la ausencia de estructuras definidas para el manejo de los caudales máximos esperados. Por tanto, se plantea la instalación de un canal en la parte alta de esta corriente cuyo trazado es paralelo a las escaleras de acceso a las viviendas existentes. Este canal es de dimensiones cuadradas de 1.0 m de lado y conecta con la cobertura tipo box culvert existente en la parte media, el cual será a su vez reemplazado para incrementar sus dimensiones y capacidad hidráulica. Esta cobertura será extendida cerca de 200 m aguas abajo para reemplazar la red de alcantarillado a la cual es incorpora la quebrada actualmente y la cual no posee capacidad hidráulica suficiente.



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-PO-OM-03, P-2445-PO-OM-04 y P-2445-PO-OM-05 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.

21.2.2 Análisis de resultados en condiciones proyectadas

Los análisis en condiciones existentes se encuentran descritos en la evaluación hidráulica, 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 72, el Mapa 73 y el Mapa 74. En el Mapa 75 se muestra el retiro a la quebrada planteado 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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	--	---

el POT (2014) y el retiro hidrológico en condición proyectada obtenido del presente estudio.

Los resultados obtenidos para estas condiciones proyectadas indican que las obras propuestas cumplen con las condiciones geométricas que permiten la solución a la problemática asociada a las inundaciones mostradas en las condiciones existentes. A continuación se muestran los resultados asociados a 2.33 años y 100 años periodo de retorno, para las Quebradas La Loquita, La Loquita 1 y Afluente La Loquita.

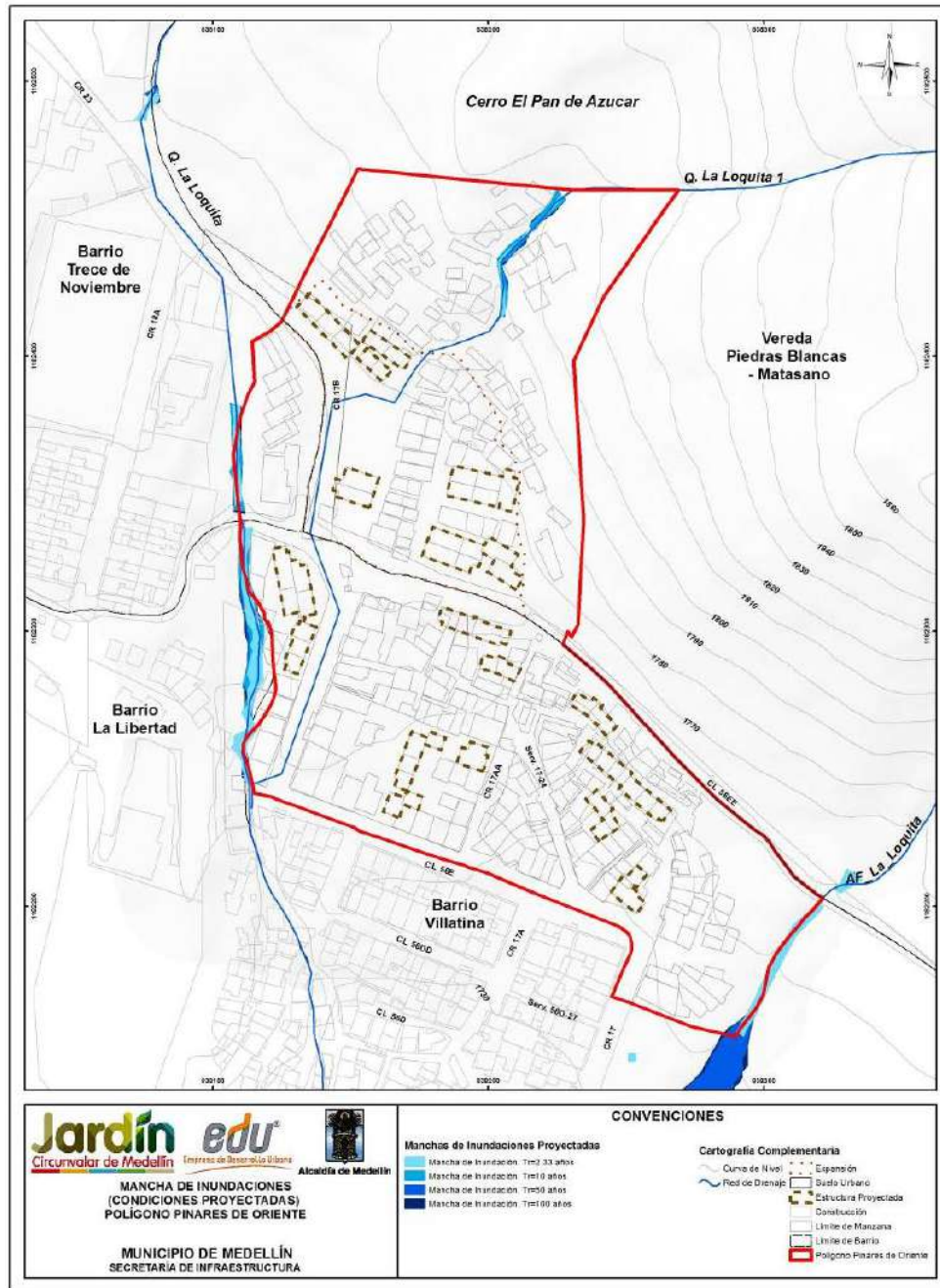
Para la Quebrada La Loquita la profundidad máxima asociada a un periodo de retorno de 2.33 años es 1.47 m, mientras que para 100 años periodo de retorno la profundidad es de 2.21 m. En el caso de las velocidades máximas, se encuentran del orden de 6.85 m/s para un periodo de retorno de 2.33 años, mientras que para 100 años la velocidad es de 8.21 m/s.

Para la Quebrada La Loquita 1 la profundidad máxima asociada a un periodo de retorno de 2.33 años es 0.96 m, mientras que para 100 años periodo de retorno la profundidad es de 2.21 m. En el caso de las velocidades máximas, se encuentran del orden de 7.73 m/s para un periodo de retorno de 2.33 años, mientras que para 100 años la velocidad es de 7.50 m/s.

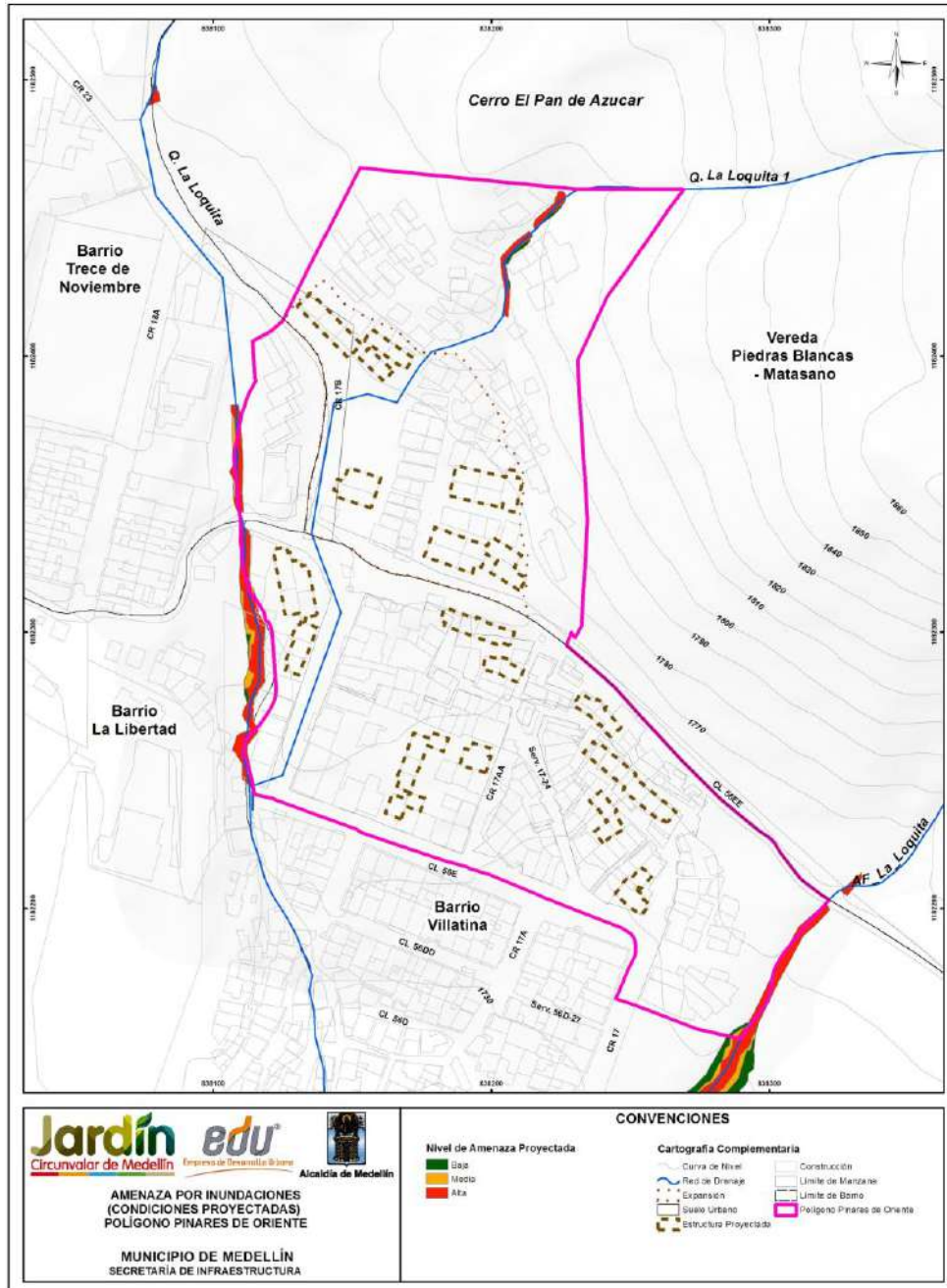
Para la Quebrada Afluente La Loquita la profundidad máxima asociada a un periodo de retorno de 2.33 años es 0.96 m, mientras que para 100 años periodo de retorno la profundidad es de 2.21 m. En el caso de las velocidades máximas, se encuentran del orden de 7.73 m/s para un periodo de retorno de 2.33 años, mientras que para 100 años la velocidad es de 7.50 m/s.

En el Mapa 75 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.

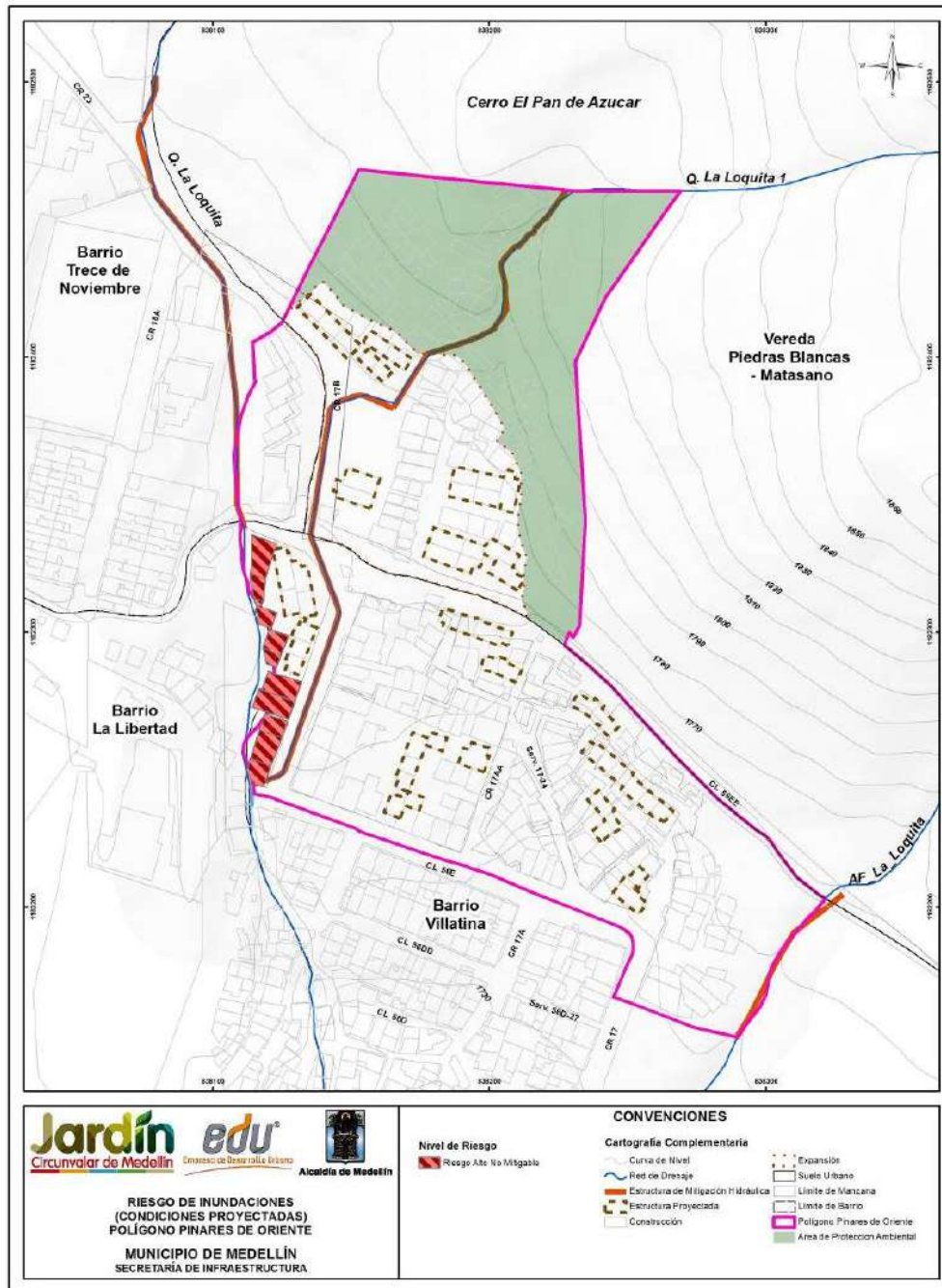
Al comparar los resultados obtenidos en condiciones actuales con las proyectadas, se observa que no existe un cambio en la dinámica de las quebradas que pueda afectar las condiciones aguas abajo de la misma. Por tanto se elimina la mancha de inundación y se mejoran las condiciones de amenaza por inundación.



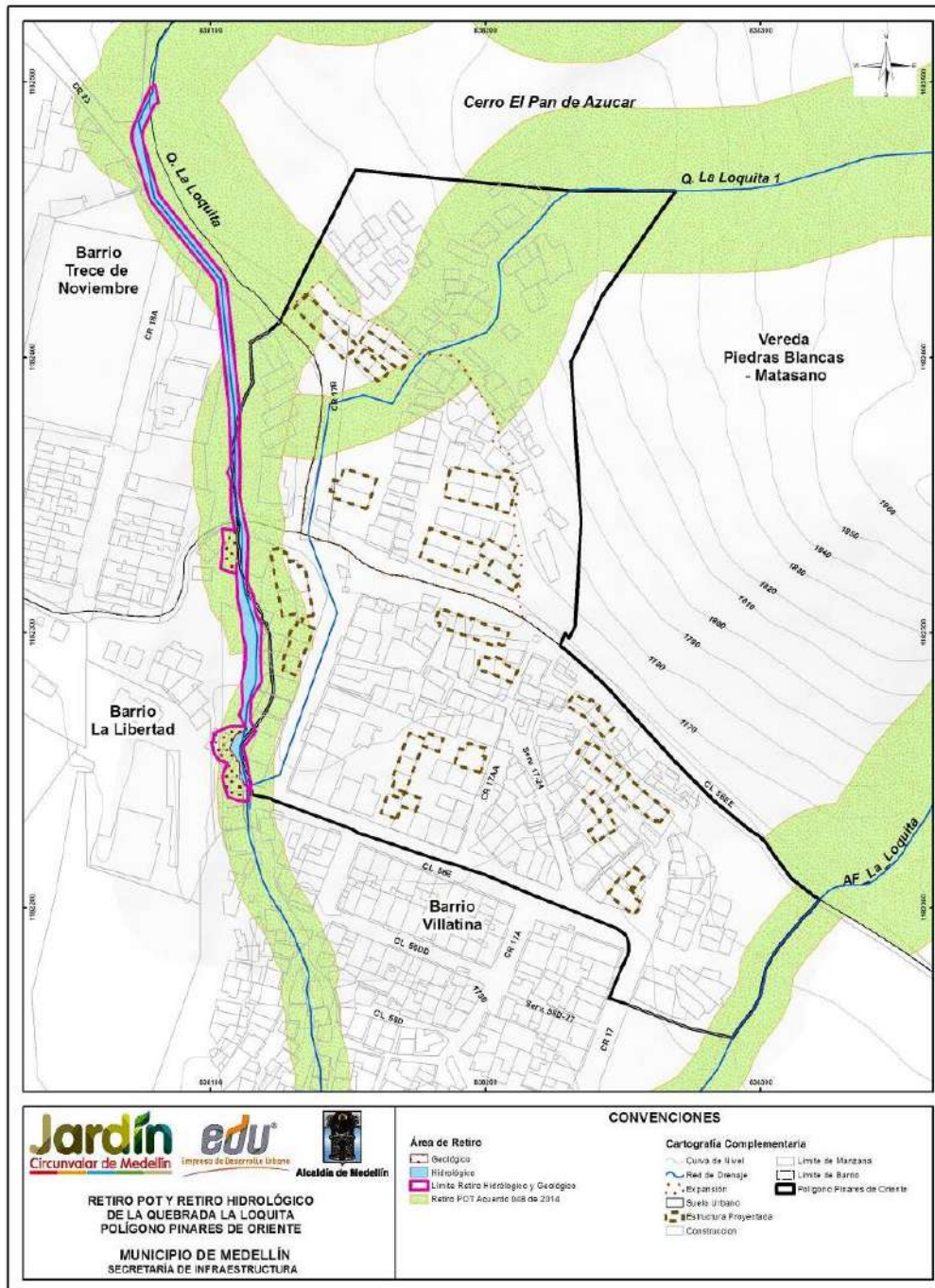
Mapa 72. Manchas de Inundación para los diferentes periodos de retorno. Polígono Pinarés de Oriente. Condiciones Proyectadas
(22_PDOManchaInundacionesCondProyecto_Medellin_C y 22_PDOManchaInundacionesCondProyecto_Medellin_T)





Mapa 73. Análisis de amenaza por inundaciones para condiciones proyectadas en las Quebradas La Loquita, La Loquita 1 y Afluente La Loquita Polígono Pinar de Oriente (24_PDOAmenazasInundacionesCondProyecto_Medellin_C y 24_PDOAmenazasInundacionesCondProyecto_Medellin_T)



Mapa 74. Análisis de riesgo por inundaciones para las viviendas y construcciones en el Polígono Trece de Noviembre en condiciones proyectadas (44_PDORiesgolnundacionesCondProyecto_Medellin_C y 44_PDORiesgolnundacionesCondProyecto_Medellin_C)



Mapa 75. Retiro POT y retiro hidrológico para las quebradas La Loquita, La Loquita 1 y Afluente La Loquita (PDORetiroPOT-RetiroHidrológicoyGeológico_Medellin_C)

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</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 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.



El Polígono Pinares de Oriente, objeto del estudio presentado en este informe, se encuentra localizado en la parte alta de la zona centro oriental de Medellín, específicamente en la Comuna 8 (Villa Hermosa) y en la base del Cerro Pan de Azúcar. Sus límites son con el cerro Pan de Azúcar al norte, con el Barrio Villatina al sur, con el Ecoparque Campo Santo (también en el barrio Villatina) por el oriente y con los Barrios Trece de Noviembre y la Libertad por el occidente.

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 Pinares de Oriente, pudiéndose entonces resaltar lo siguiente:

En cuanto a la **Unidad Morfodinámica Independiente (UMI)** dentro de la cual se enmarca el estudio:

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.

La UMI asociada al polígono de estudio del Barrio Pinares de Oriente, tiene un área aproximada de 31 hectáreas y se localiza en el centro de la Comuna 8, entre las UMI definidas para los Barrios Trece de Noviembre al Norte y San Antonio al Sur. En resumen, la UMI Pinares de Oriente está siendo limitada en la parte alta con el costado sur del Cerro Pan de azúcar y en la parte baja se encuentra limitada con la Calle 56E y finaliza con la Calle 56A. La selección de la UMI Pinares de Oriente partió del análisis de las condiciones morfométricas, morfodinámicas, hidráulicas e hidrológicas de la zona. Desde el punto de vista hidrológico, la UMI Pinares de Oriente abarca las divisorias de los afluentes de la quebrada La Loquita. No obstante, la escogencia de los límites de está

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

UMI están más enfocados en la actividad y afectación de procesos morfodinámicos, que por su direccionamiento podrían afectar el Polígono Pinares de Oriente.

En lo relacionado con los **Aspectos Geológicos y Geomorfológicos** tanto de la UMI como del polígono:



La unidad geológica predominante corresponde a los horizontes de meteorización de las Dunitas de Medellín (JKuM), las cuales son suprayacidas por depósitos de flujo de lodos y/o escombros (Qfl/e) y depósito de deslizamiento (Qd), además se presentan llenos antrópicos (Qll) asociados a las construcciones generadas por la expansión urbana.

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 mensuales 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. 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 los retiros y las zonas inundables de las quebradas

Específicamente en la UMI Pinares de Oriente, los procesos morfodinámicos identificados son predominantemente inactivos y consisten en deslizamientos, caída de rocas, surcos, cárcavas, bloques en superficie por erosión, dolinas y reptación. El Barrio Pinares de Oriente no tiene registro alguno de avenidas torrenciales. Por medio del análisis multitemporal efectuado gracias a la fotointerpretación de las 103 fotografías aéreas recopiladas, correspondientes a 15 líneas de vuelo para el período comprendido entre 1959 y 2004 y con escalas variables entre 1:3.200 y 1:21.700, se pudo concluir que no se tienen procesos morfodinámicos asociados a la dinámica fluvial de los drenajes de la UMI Pinares de Oriente. No se identificó la presencia de procesos de socavación por medio de la fotointerpretación efectuada.

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

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

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 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 la **Evaluación de la Amenaza y del Riesgo por Movimientos en Masa** específicamente para el polígono:

Para evaluar la amenaza por movimientos en masa, primero se generaron los mapas de factor de seguridad en condiciones estáticas y seudoestáticas y los 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. Se pudo determinar una afectación de casi la totalidad de la zona con probabilidades de falla cercanas al 100%. Es importante aclarar que este escenario es considerando que el sismo de periodo de retorno de 475 años podría actuar de forma inmediata.

Para efectos de encontrar la probabilidad de falla a 50 años de proyección, se procedió a analizar el efecto del sismo dividiendo los resultados anteriores por el respectivo periodo de retorno de 475 años. Esto permitió obtener la probabilidad de falla anualizada considerando la afectación del sismo de la zona. Posteriormente, para hacer la proyección de la probabilidad de falla a 50 años, que se considera es el periodo 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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

exposición, se utilizó una función de probabilidad exponencial. Finalmente, se obtuvo el mapa de zonificación de la amenaza total considerando la variabilidad de los parámetros de resistencia al corte y el efecto del sismo para un periodo de exposición de 50 años. Considerándose éste el principal producto de la evaluación de la amenaza por movimientos en masa, se pueden establecer que se obtienen zonas en los tres grados de amenaza, considerados baja (probabilidad de falla menor 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 baja predominan y se extienden a lo largo y ancho de la UMI Pinares de Oriente. Las áreas con probabilidad de falla media se encuentran bordeando a las de probabilidad de falla alta y se encuentran localizadas en ciertas zonas de la UMI Pinares de Oriente. Estas zonas, en general, se encuentran ubicadas donde se tiene como unidad geológica en superficie a los depósitos de vertiente.

Se llevó a cabo la evaluación del riesgo por movimientos en masa, para lo cual se dividió el Polígono Pinares de Oriente en dos zonas, la alta (Zona 1) y la baja (Zona 2).



- ✓ En la Zona 1 se localizan actualmente 62 estructuras que presentan alto riesgo frente a un evento de movimiento en masa, aproximadamente 39 de ellas en alto riesgo no mitigable al localizarse en zonas de protección ambiental pertenecientes a áreas del Cerro Pan de Azúcar. Dentro de esta zona se tienen estructuras contempladas dentro del Proyecto Barrios Sostenibles, las cuales presentan riesgo estructural medio y bajo.

Las estructuras se encuentran amenazadas por el impacto de movimientos en masa localizados en la parte alta de la ladera. Estos movimientos en masa pueden corresponder a desprendimientos de tierra o fragmentos de roca movilizados como consecuencia de la erosión.

En términos generales, el 100% de las estructuras en alto riesgo presentan profundidad de fundación menor que 2 m, el 70% son estructuras construidas en madera y el 30% restante son estructuras en mampostería, el 95% son de un sólo piso, el 86% se registran en estado medio, malo y muy malo, el 14% en estado bueno a muy bueno. La categorización del 77% de las estructuras según el factor resistencia es media, mientras que el 23% presentan resistencia baja.

Para esta zona se proponen tres alternativas de solución, dos de las cuales buscan mitigar directamente los focos que consisten en la reconfiguración del terreno o la estabilización en la parte alta con sistema de anclajes pasivos localizados. La otra alternativa corresponde a la instalación de una pantalla de protección contra deslizamiento que se interponga entre la amenaza y la vulnerabilidad, constituyéndose en una barrera de amortiguamiento o protección contra el impacto.

- ✓ En la Zona 2 se localizan actualmente 99 estructuras que presentan alto riesgo frente a un movimiento en masa. Dentro de esta zona se tienen estructuras contempladas dentro del proyecto de Barrios Sostenibles, las cuales presentan riesgo estructural medio y bajo. Cabe resaltar que esta zona se ha dividido en dos subzonas, dado que en la denominada Zona 2-02 se tienen dos amenazas 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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	--	---

manejar, una corresponde al foco en la parte alta de la ladera que afecta a la Zona 2 completa, mientras la otra amenaza corresponde al posible movimiento del talud que se encuentra por debajo de la calle 56EE. Éste último requiere un manejo localizado.

Las estructuras se encuentran amenazadas por el impacto de movimientos en masa localizados en la parte baja de la ladera. Estos movimientos en masa pueden corresponder a desprendimientos de tierra o fragmentos de roca movilizados como consecuencia de la erosión. En la Zona 2-02 la amenaza se localiza en el talud bajo la calle 56EE, donde se puede producir un movimiento que afecte las casas aledañas. Este último movimiento es más localizado que el que se produce en la parte baja de la ladera.



En términos generales, el 100% de las estructuras en alto riesgo presentan profundidad de fundación menor que 2 m, el 78% son estructuras construidas en mampostería y 22% son estructuras construidas en madera o lata-cartón o mixtas. Por otra parte, el 67% son de un sólo piso, mientras que el 33% poseen entre de 2 a 5 pisos, el 70% se registran en estado medio, el 22% en estado malo a muy malo y el 8% restante presenta un estado bueno. La categorización del 98% de las estructuras según el factor resistencia es media.

Las evaluaciones detalladas efectuadas, permiten concluir que la mejor alternativa de solución para la Zona 1 es una pantalla de protección. Lo anterior porque es una alternativa de fácil implementación y poco impacto social y ambiental que funciona como medida de mitigación y alerta tanto para pequeños como grandes desprendimientos de materiales desde el foco de inestabilidad. Ofrece facilidad constructiva, menor costo a largo plazo y menor afectación en la zona.

Para la Zona 2-01 se proponen las mismas alternativas que para la Zona 1, considerando que la amenaza corresponde a desprendimientos de suelo o roca provenientes de la parte baja de la ladera. Por su parte, para la Zona 2-02 se proponen dos alternativas, ambas orientadas al control del foco localizado en el talud inferior de la vía. Una de las alternativas corresponde a la contención mediante la construcción de una pantalla de pilas, que de acuerdo con su estabilidad interna puede o no requerir de anclajes activos, mientras la otra opción sería con pernos pasivos que permitan realizar un mejoramiento de la resistencia al corte sobre la superficie de falla.

En ambas zonas se descarta la posibilidad de la reubicación de los habitantes considerando que el problema social generado sería de difícil manejo y teniendo en cuenta que la búsqueda de zonas de reasentamiento en el mismo sector puede tener un alto grado de dificultad.

Se debe tener en cuenta que en la parte más alta del polígono (sobre la Zona 1), el suelo se categoriza como Suelo de Protección de acuerdo con el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) para el Municipio de Medellín, por lo cual tiene

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---



restringida la posibilidad de urbanizarse. El número aproximado de casas ubicadas en esta Zona de suelo no utilizable es de 57.

Por otra parte, en la zona superior izquierda del polígono donde se tienen planteados algunas estructuras del Proyecto Barrios Sostenibles, aunque las mismas presentan un riesgo bajo, se tiene una amenaza alta por lo cual se proponen medidas de estabilización en la ladera adyacente que contemplen cortes y un adecuado manejo de aguas. Se debe considerar que en esta zona del polígono no se tendrían casas una vez se construyan los proyectos.

Teniendo en cuenta lo anterior, se realizó un análisis general del riesgo con las condiciones proyectadas considerando las estructuras del Proyecto Barrios Sostenibles y las respectivas obras de mitigación. Los resultados de este análisis muestran que las viviendas que se presentan en categoría de riesgo mitigable, son aquellas que no se muestran atendidas de forma directa por las obras de mitigación, no obstante se consideran mitigables ya que se trata de estructuras que requieren mínimamente mejores estructurales. Por otro lado las viviendas que se presentan como no mitigables son viviendas en que presentan generalmente mal estado y que se localizan en zonas de protección ambiental.

En lo relacionado con la **Evaluación de la Amenaza y del Riesgo por Inundación y Avenidas Torrenciales** específicamente para el polígono:

La evaluación de la amenaza por inundaciones generadas por las Quebradas La Loquita, La Loquita 1 y el Afluente La Loquita, principales drenajes del Polígono Pinares de Oriente, 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. En el costado centro-occidental del polígono se encuentra concentrada la amenaza alta, debido a que esta zona se encuentra directamente influenciada por las Quebradas La Loquita y La Loquita 1, las cuales presentan déficit de capacidad hidráulica en su cauce y en sus estructuras hidráulicas. El flujo que no alcanza a ingresar a las diferentes obras fluye sobre las escaleras anegando el parque infantil y llegando hasta la vía principal que actúa como un canal, en el cual se presentan algunas profundidades de flujo que superan los bordillos de la vía generando amenaza por inundación rápida para las viviendas. A nivel general, sobre el costado occidental, la Quebrada La Loquita presenta desbordamientos por incapacidad hidráulica de las diferentes estructuras por las cuales cruza, como lo son la red de alcantarillado ubicado en la Carrera 23 y la alcantarilla que cruza la Calle 56EE, esta situación sumada a los desbordamientos de la Quebrada La Loquita 1 conllevan igualmente a una amenaza alta. En la zona sur y centro del Polígono Pinares de Oriente, la amenaza comienza a ser media dadas las características topográficas del terreno y a la lejanía de los cauces principales. Sobre el costado oriental del polígono está el Afluente La Loquita, el cual se encuentra en los límites de éste, contiguo al Parque Campo Santo Villatina. Al interior del Polígono Pinares de Oriente,

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	--	---

este cauce genera amenaza alta únicamente en su cauce, debido a que no hay presencia de viviendas cercanas que puedan ser afectadas por los desbordamientos que se puedan generar en eventos extremos.

Se concluyó que el Polígono Pinares de Oriente no presenta amenaza ante fenómenos de avenidas torrenciales.



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 los cauces de las Quebradas La Loquita y La Loquita 1. Se plantean diversas obras que buscan incrementar la capacidad del sistema de drenaje al interior del polígono. 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.

- ✓ En el caso de la Quebrada La Loquita, la deficiencia hidráulica se debe a que las secciones de las estructuras son insuficientes para los caudales máximos evaluados. Por tanto, se plantea el reemplazo de la cobertura existente bajo la Carrera 23 por una cobertura de mayores dimensiones, tipo box culvert de 1.8 m de lado. Adicionalmente, se requiere un box culvert en el cruce sobre la Calle 56 EE.
- ✓ En el caso de la Quebrada La Loquita 1, la deficiencia hidráulica se debe a la ausencia de estructuras definidas para el manejo de los caudales máximos esperados. Por tanto, se plantea la instalación de un canal en la parte alta de esta corriente cuyo trazado es paralelo a las escaleras de acceso a las viviendas existentes. Este canal es de dimensiones cuadradas de 1.0 m de lado y conecta con la cobertura tipo box culvert existente en la parte media, el cual será a su vez reemplazado para incrementar sus dimensiones y capacidad hidráulica. Esta cobertura será extendida cerca de 200 m aguas abajo para reemplazar la red de alcantarillado a la cual es incorpora la quebrada actualmente y la cual no posee capacidad hidráulica suficiente.

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.

Las intervenciones propuestas en este estudio fueron enfocadas a mantener el estado natural de las corrientes o cauces, o a rehabilitar los mismos cuando intervenciones existentes producían situaciones de amenaza sobre viviendas o infraestructuras, esto en línea con lo expuesto en el Acuerdo Metropolitano 009 de 2012. Lo anterior se realizó, cuando fue necesario, y por la naturaleza del contrato que rige el presente estudio, en los cauces con injerencia directa sobre los polígonos establecidos en el Proyecto Barrios Sostenibles, sin afectar de forma negativa la hidráulica de los cauces o corrientes intervenidas.

Entendiendo que un cauce es un continuo hacia aguas abajo, se tiene la posibilidad, donde técnicamente sea factible, de implementar medidas adicionales que mejoren 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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---



respuesta hidrológica de un área de drenaje ante un evento de lluvia intensa, este tipo de medidas tienen actualmente un desarrollo importante y de gran acogida en el área de la bioingeniería, con propuestas que favorecen la reducción de los picos de creciente mediante la implementación de diversas estructuras, que permiten capturar momentáneamente parte de la escorrentía producida en los eventos de lluvia, para liberarla de forma controlada nuevamente a los cauces.

Dado que las intervenciones propuestas en este trabajo sobre los cauces en estudio responden totalmente al objeto del contrato, el cual se enfoca en los polígonos del Proyecto Barrios Sostenibles, no se consideraron medidas como las antes expuestas. Sin embargo, y pensando más en el control de los efectos de la escorrentía hacia aguas abajo, si bien sería posible considerar el empleo de obras de bioingeniería en el Polígono Pinares de Oriente que persiguieran el control de picos de caudal hacia aguas abajo, la factibilidad de este tipo de obras deberá ser validada mediante estudios específicos adicionales, que demuestren que son eficientes para las características específicas del terreno, y a su vez no van en contra vía de la estabilidad del mismo.

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 Pinares de Oriente. 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, que en este caso son del tipo estructural. En los Planos P-2445-PO-OM-01 a P-2445-PO-OM-09 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

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE </p>	
---	---	---

en una carpeta (directorio) llamada `Proy_Riesgos_EDU`, y al interior de ésta, catorce 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 159).

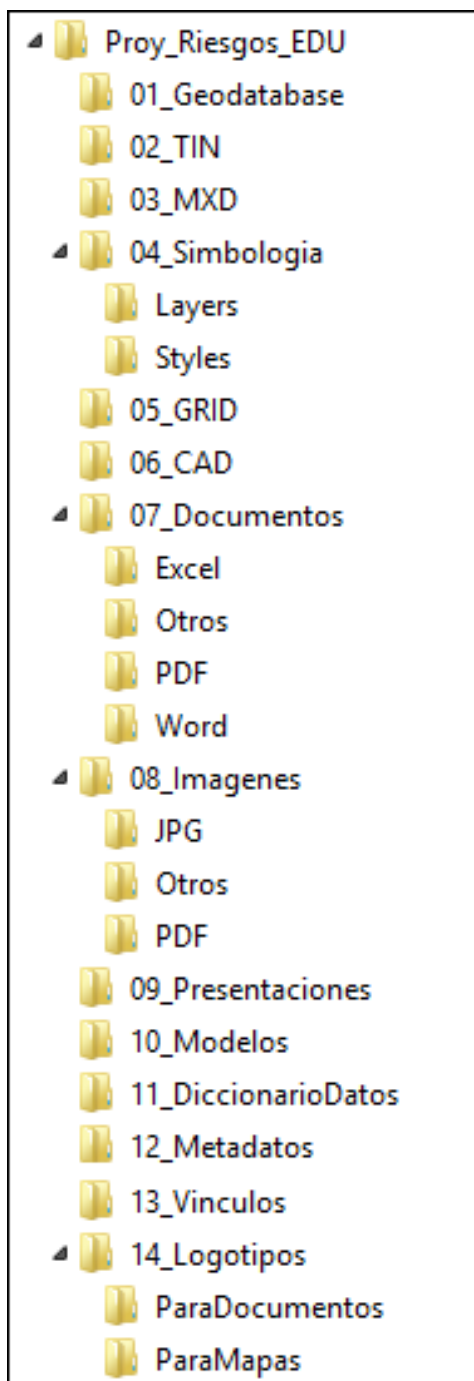




Figura 159. Estructura general de la información entregada

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

23. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

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, (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, (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.

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.

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

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.

Consulcivil, (2013). Estudios de zonificación y caracterización geológico – geotécnica del proyecto piloto cinturón verde metropolitano – Tramo 1- Sector C – Cerro Pan de Azucar en la ciudad de Medellín. GD-055 V.1.

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”.

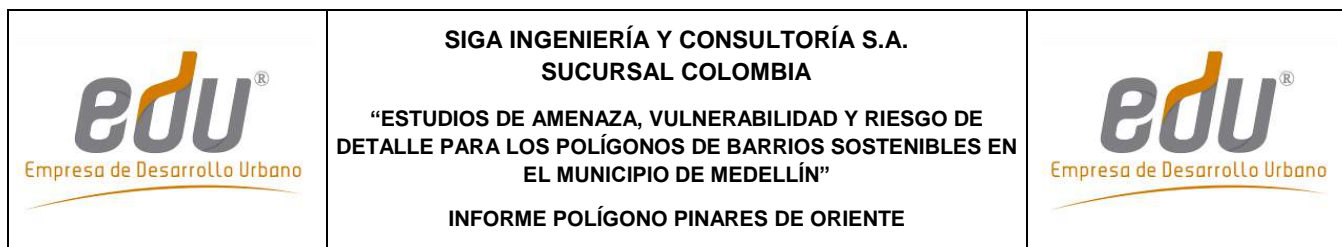
Deere, D. U. & Patton, F. D., (1971). Slope stability in residual soils. En Proc. Fourth Panamerican Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Puerto Rico. Vol. 1. Pág. 87-170. 1971.

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) Localen 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.; Rodriguez, 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). BoletínGeológico 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 Sacaojal. 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.

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	--	---

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 - 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.

INCIGAM (2015). “Estudio Geotécnico preliminar para la construcción de la primera etapa del proyecto 13 de Noviembre en el Proyecto Barrios Sostenibles, en desarrollo del objeto de la Contratación Directa No. 67 de 2013, celebrado entre la Universidad y la Empresa de Desarrollo Urbano –EDU”.

INGEOCILCÓN LTDA (2014). “Estudios y diseños hidrológicos, hidráulicos y estructurales de los cauces influenciados por los proyectos del piloto Cinturón Verde metropolitano”.

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

INGEOCILCÓN LTDA (2009). “Estudio de Suelos para el Parque de la Memoria de Villa Tina en Desarrollo de los convenios suscritos entre la Secretaría del Medio Ambiente de Medellín y la Empresa de Desarrollo Urbano-EDU”.

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.

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.

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	--	---

Rosgen, Dave (1994). Applied River Morphology. Second Edition.

SGC, (2015). Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa. Servicio Geológico Colombiano, Bogotá, Colombia.

SIGA (2018). 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. Contrato No: 0286 de 2014. Polígono San Antonio. Abril de 2018.

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.

TECNISUELOS LTDA (2013). Estudio para la construcción del parque ecoturístico y recreativo Trece de Noviembre, ubicado en el cerro Pan de Azúcar. Informe 87/2013

TECNISUELOS-ICC LTDA (2010). “Estudio de suelos para línea de metro cable Miraflores”. Informe 61/2010. Medellín.

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, 4375-4387.



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.

Universidad Nacional de Colombia, 2002. “Diseño de la metodología para la formulación de planes integrales de ordenamiento y manejo de microcuencas (PIOM)”. Convenio 053 de 2001. Universidad Nacional de Colombia - Instituto Mi Rio. Medellín.

Universidad Nacional de Colombia, 2005. “Plan de ordenación y manejo de la cuenca del río Aburrá (POMCA)”. Convenio de Cooperación 0652 de 2005. Universidad Nacional de Colombia – Cornare – Corantioquia, Área Metropolitana del Valle de Aburrá. 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 Pinares de Oriente – Villatina La Piedra. Barrios

	<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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</p>	
---	---	---

Sostenibles. Documento Técnico de Soporte Fase de Diagnóstico. Convenio 67 de 2014. Universidad Pontificia Bolivariana, Abril 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 SuqCace 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.

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 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 POLÍGONO PINARES DE ORIENTE</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 anterior implica entonces que el estudio efectuado tiene como limitante la aplicabilidad para el número de viviendas al momento de las evaluaciones efectuadas. Si el número de estructuras en la zona de estudio cambia, se requerirían evaluaciones puntuales de las modificaciones efectuadas.

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.