

**EMPRESA DE DESARROLLO URBANO (EDU)-  
UNIVERSIDAD EAFIT**

Contrato AP 396 de 2017

Estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo de detalle para los circuitos Los Mangos, El Corazón y Santo Domingo, en el municipio de Medellín.

**INFORME  
POLÍGONO ANA DIAZ**

**CIRCUITO EL CORAZÓN**

**Junio de 2019**

**Versión 10**

**CONTROL DE VERSIÓN**

<b>Versión</b>	<b>Fecha</b>	<b>Capítulo Modificado</b>	<b>Descripción</b>
0	07/12/2017	No Aplica	Revisión de información secundaria
1	15/01/2018	No Aplica	Localización área de estudio, geología y geomorfología regional y análisis de fotointerpretación del polígono Ana Díaz.
2	07/02/2018		Hidrología quebrada Ana Díaz.
3	15/03/2018	Varios	Condiciones geológicas locales.
4	11/04/2018	Varios	Correcciones interventoría
5	11/04/2018	Varios	Correcciones interventoría
6	11/05/2018	Varios	Hidráulica de la quebrada Ana Díaz.
7	26/06/2018	Varios	Correcciones hidráulica, amenaza, vulnerabilidad y riesgo.

# Programa Unidos por el Agua

Contrato interadministrativo CT - 2017 - 000677

8	01/08/2018	Varios	Correcciones amenaza, vulnerabilidad y riesgo.  Recomendaciones geotécnicas.
9	06/09/2018	Varios	Correcciones amenaza, vulnerabilidad y riesgo.
10	17/05/2019	Varios	Correcciones Secretaría de Medio Ambiente.

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	1
2. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO .....	2
3. METODOLOGÍA .....	3
3.1. CARTOGRAFÍA ESCALA DE TRABAJO .....	3
3.1.1. Recopilación de información secundaria y productos base .....	3
3.1.2. Generación de mapas temáticos .....	3
3.2. AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES .....	5
3.2.1. Hidrología .....	5
3.2.2. Hidráulica.....	5
3.2.3. Zonificación de la amenaza por torrencialidad. ....	6
3.3. ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD .....	7
3.3.1. Fichas de levantamiento de la información.....	7
3.3.2. Trabajo de campo.....	8
3.3.3. Análisis de la información .....	8
3.4. VULNERABILIDAD EN LAS CONSTRUCCIONES.....	8
3.4.1. Cálculo de la fragilidad .....	9
3.4.2. Intensidad de las avenidas torrenciales en edificaciones. ....	9
3.5. VULNERABILIDAD EN LAS LÍNEAS VITALES .....	10
3.5.1. Fragilidad en líneas vitales .....	10



3.5.2.	Intensidad en líneas vitales para avenidas torrenciales.....	11
3.6.	VULNERABILIDAD EN LAS PERSONAS.....	12
3.7.	CÁLCULO Y ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD .....	12
3.8.	EVALUACIÓN DEL RIESGO .....	13
3.8.1.	Riesgo por Elementos Expuestos.....	13
3.8.2.	Riesgo por Polígono. ....	14
4.	REVISIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA .....	15
5.	CARACTERÍSTICAS GENERALES .....	21
5.1.	GEOLOGÍA REGIONAL.....	21
5.1.1.	Estratigrafía .....	23
5.2.	GEOMORFOLOGIA REGIONAL .....	25
5.2.1.	Valle de Aburrá Medio (VM) .....	26
5.3.	TECTÓNICA REGIONAL.....	31
5.3.1.	Sistema de Fallas .....	31
6.	CONDICIONES GEOLÓGICAS LOCALES DEL POLÍGONO ANA DÍAZ .....	32
6.1	FOTOINTERPRETACIÓN.....	32
6.2	UNIDADES GEOLÓGICAS PARA INGENIERÍA .....	36
6.2.1	Derivado de roca in situ .....	38
6.2.2	Depósitos de vertiente .....	39
6.2.3	Depósitos aluviales.....	41
6.2.4	Depósitos antrópicos .....	43
6.3	MORFOMETRÍA .....	44

6.4	DINÁMICA FLUVIAL .....	50
6.5	GEOMORFOLOGÍA LOCAL .....	53
6.5.1	Bloque Itagüí – San Cristóbal .....	56
6.6	PROCESOS MORFODINÁMICOS .....	83
6.6.1	Reporte histórico de eventos .....	84
6.6.2	Identificación de procesos morfodinámicos .....	86
6.7	SUELOS DE PROTECCIÓN Y USO GENERAL DEL SUELO.....	91
7.	ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS .....	95
7.1	MODELO HIDROGEOLÓGICO REGIONAL.....	95
7.2	PERMEABILIDAD .....	98
8.	HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA.....	100
8.1	RECONOCIMIENTO DE CAMPO .....	100
8.2	ESTUDIO HIDROLÓGICO .....	100
8.3	ESTUDIO HIDRÁULICO .....	101
8.4	DIAGNÓSTICO DE CRECIENTES .....	102
8.4.1	Hidrología .....	102
8.4.2	Hidráulica.....	123
8.4.3	Estudio de socavación general.....	186
9.	ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS .....	193
9.1	AMENAZAS POR AVENIDAS TORRENCIALES.....	193
10.	VULNERABILIDAD.....	196
10.1	ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD DE LAS CONSTRUCCIONES POR AVENIDAS TORRENCIALES.....	196

10.1.1	Cálculo de la fragilidad de las construcciones .....	196
10.1.2	Cálculo de la intensidad sobre las construcciones. ....	201
10.1.3	Cálculo de la vulnerabilidad de las construcciones.....	203
10.2	ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD DE LAS LÍNEAS VITALES POR AVENIDAS TORRENCIALES.....	205
10.2.1	Cálculo de la fragilidad de la línea vital – energía.....	205
10.2.2	Cálculo de la intensidad de la línea vital – energía.....	207
10.2.3	Cálculo de la vulnerabilidad de la línea vital – energía .....	209
10.2.4	Cálculo de la fragilidad de la línea vital – vías .....	211
10.2.5	Cálculo de la intensidad de la línea vital – vías .....	213
10.2.6	Cálculo de la vulnerabilidad de la línea vital – vías.....	215
10.2.7	Cálculo de la fragilidad del acueducto .....	217
10.2.8	Cálculo de la intensidad del acueducto .....	219
10.2.9	Cálculo de la vulnerabilidad del acueducto.....	221
10.2.10	Cálculo de la fragilidad del alcantarillado.....	223
10.2.11	Cálculo de la intensidad del alcantarillado .....	225
10.2.12	Cálculo de la vulnerabilidad del alcantarillado .....	227
10.3	VULNERABILIDAD DE PERSONAS POR AVENIDAS TORRENCIALES .....	229
10.3.1	Análisis de vulnerabilidad de personas.....	229
10.4	DESCRIPCIÓN DE PROBLEMAS ENCONTRADOS EN LAS CONSTRUCCIONES.....	229
11.	ZONIFICACIÓN DE RIESGO .....	231
11.1	RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES .....	231

11.1.1	Riesgo de elementos expuestos.....	231
11.1.2	Riesgo por polígono.....	241
12.	APTITUD GEOLÓGICA.....	243
13.	RECOMENDACIONES .....	245
13.1	RECOMENDACIONES HIDRÁULICAS .....	245
13.2	RECOMENDACIONES GEOTECNICAS .....	246
13.2.1	Exploración de campo .....	246
13.2.2	Resultados y análisis de laboratorio .....	248
13.2.3	Análisis geotécnico .....	249
13.3	RECOMENDACIONES VULNERABILIDAD. ....	273
13.3.1	Servicios públicos domiciliarios .....	273
13.3.2	Líneas vitales – energía y alumbrado público.....	273
13.3.3	Vías de acceso y obras de drenaje.....	273
13.3.4	Mejoramiento saludable.....	273
13.3.5	Mejoramiento locativo.....	274
13.4	OTRAS RECOMENDACIONES.....	275
14.	CONCLUSIONES.....	277
15.	LIMITACIONES .....	279
16.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	280

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de localización del polígono Ana Díaz .....	2
Figura 2. Mapa geológico regional circuito Corazón (Tomado de AMVA (2007) y AMVA – Alcaldía de Medellín (2017)).....	22
Figura 3. Mapa regional de macrounidades de del circuito Corazón (Tomado de AMVA, 2007) .....	27
Figura 4. Mapa geomorfológico regional circuito Corazón (AMVA, 2007) .....	30
Figura 5. Fotografía aérea de 1943, polígono Ana Díaz.....	33
Figura 6. Fotografía aérea de 1969, polígono Ana Díaz.....	34
Figura 7. Fotografía aérea de 2012. ....	35
Figura 8. Procesos erosivos para los años 1843, 1969 y 2012 .....	36
Figura 9. Geología local del polígono Ana Díaz .....	37
Figura 10. Perfil geológico del polígono Ana Díaz.....	38
Figura 11. Saprolito del Stock de Altavista, margen izquierda de la quebrada a la altura de la calle 34b con carrera 113c.....	39
Figura 12. Flujos de lodos y escombros (a) CR 89 .cll 34C, barrio El Corazón (b) Cr 130 con calle 34b, Vereda El Corazón – El Morro (c) Cr 132 con calle 34b, Vereda El Corazón – El Morro .....	41
Figura 13. Depósitos aluviotorrenciales y llenos sobre márgenes de la quebrada Ana Díaz .....	42
Figura 14. Depósitos de cauce aluvial de la quebrada Ana Díaz .....	42
Figura 15. (a), (b) Llenos relacionados a la construcción de vivienda, (c) Lleno en carrera 118 con calle 34AB .....	44
Figura 16. Mapa de pendientes del polígono Ana Díaz.....	46

Figura 17. Unidad de llanuras con pendientes en el rango entre 0 -10%.....	47
Figura 18. Zonas con pendientes en el rango entre 10% – 25%.....	48
Figura 19. Sectores con pendientes en el rango entre 25% - 40% .....	49
Figura 20. Áreas con pendientes en el rango entre 40% - 60% parte alta del polígono Ana Díaz.....	49
Figura 21. Sectores con pendientes en el rango >60%.....	50
Figura 22. Dinámica fluvial para las tres fechas .....	51
Figura 23. Dinámica fluvial polígono Ana Díaz .....	52
Figura 24. Mapa geomorfológico local del polígono Ana Díaz. ....	55
Figura 25. Ladera recta, muy corta e inclinada, en inmediaciones de la calle 34 AB con carrera 118A.....	56
Figura 26. Ladera recta, muy corta y abrupta, margen izquierda de la quebrada, en inmediaciones de la carrera 128 con calle 34B. ....	57
Figura 27. Ladera convexa, muy corta e inclinada, en inmediaciones de la carrera 119ª entre calles 34 AB y 34B.....	58
Figura 28. Ladera convexa, muy corta y abrupta, cancha de la vereda El Corazón – El Morro.....	59
Figura 29. Ladera en depósito convexa, muy corta e inclinada, a la altura de la calle 34AB con carrera 125.....	60
Figura 30. Ladera en depósito convexa, muy corta y abrupta, margen izquierda de la quebrada, sector de la cancha de la vereda El Corazón – El Morro. ....	61
Figura 31. Ladera en depósito recta, muy corta e inclinada, a la altura de la calle 34B, entre las carreras 129 y 131.....	62
Figura 32. Ladera en depósito recta, muy corta y abrupta, en inmediaciones de la calle 34B entre las carreras 127 y 128, vereda El Corazón – El Morro .....	63
Figura 33. Ladera en depósito recta, muy corta y muy inclinada .....	64

Figura 34. Ladera en lleno recta, muy corta y muy inclinada, margen izquierda de la quebrada a la altura de la carrera 131.....	65
Figura 35. Ladera en lleno recta, muy corta y muy inclinada, sector oriental de la cancha del Corazón - El Morro .....	66
Figura 36. Cauce activo, sector de calle 34 AB con carrera 118A .....	67
Figura 37. Llanura aluviotorrencial, en inmediaciones de la carrera 130 con calle 34b .....	68
Figura 38. Ladera recta, muy corta y abrupta, sector de la Cantera La Esmeralda .....	69
Figura 39. Ladera recta, muy corta y suave, Barrio Betania a la altura de la calle 34 con carrera 107. ....	70
Figura 40. Ladera convexa, muy corta e inclinada, margen derecha de la quebrada, sector cantera La Esmeralda.....	71
Figura 41. Ladera en depósito recta, muy corta e inclinada.....	72
Figura 42. Ladera en depósito recta, muy corta y abrupta, a la altura de la Institución Educativa El Corazón .....	73
Figura 43. Ladera en depósito recta, muy corta y muy inclinada .....	74
Figura 44. Ladera en depósito recta, muy corta y suave, en el sector de la carrera 89 con calle 34AA.....	75
Figura 45. Ladera en depósito recta, corta e inclinada.....	76
Figura 46. Ladera en lleno recta, corta y muy inclinada. ....	77
Figura 47. Ladera en depósito recta, corta y abrupta.....	78
Figura 48. Ladera en lleno recta, muy corta e inclinada, a la altura de la calle 34AA con carrera 118. ....	79
Figura 49. Ladera en lleno recta, muy corta y muy inclinada, barrio Betania, sector de la cantera La Esmeralda.....	80



Figura 50. Ladera en lleno recta, muy corta y abrupta, margen derecha de la quebrada, sector de la Institución Educativa El Corazón .....	81
Figura 51. Cauce activo de la quebrada Ana Díaz .....	82
Figura 52. Llanura aluviotorrencial, margen derecha de la quebrada, sector comprendido aproximadamente entre las carreras 112C y 118 .....	83
Figura 53. Reporte eventos DAGRD al polígono Ana Díaz .....	85
Figura 54. Reporte eventos DAGRD para el polígono Ana Díaz .....	86
Figura 55. Procesos morfodinámicos en el polígono Ana Díaz .....	88
Figura 56. Socavación de llenos, barrió Betania, a la altura de la cantera La Esmeralda .....	89
Figura 57. Socavación en épocas de crecientes súbitas, sector ubicado entre las carreras 93 y 110 <sup>a</sup> . .....	90
Figura 58. Socavación en el sector de Cr 93B con calle 34AA. ....	90
Figura 59. Mapa de clasificación del suelo en el polígono Ana Díaz. Tomado de Acuerdo 48 de 2014. ....	92
Figura 60. Mapa de usos del suelo del polígono Ana Díaz. Tomado de Acuerdo 48 de 2014. ....	94
Figura 61. Unidades hidrogeológicas para el Valle de Aburrá, modificado de AMVA 2013. ....	97
Figura 62. Polígonos de Thiessen.....	104
Figura 63. Coberturas vegetales en la cuenca de la quebrada Ana Díaz (Fuente: Departamento Administrativo de Planeación – POT, 2014). ....	105
Figura 64. Modelo Digital del Terreno en la cuenca de la quebrada Ana Díaz (Fuente: Elaborado por Eafit a partir de cartografía básica).....	107
Figura 65. Variación mensual multianual de la precipitación promedio en la zona de estudio.....	108
Figura 66. Perfil cauce principal de la quebrada Ana Díaz.....	109



Figura 67. Tiempos de Concentración en la cuenca de la quebrada Ana Díaz....	110
Figura 68. Curvas IDF de las estaciones: a) Olaya Herrera (2701507) y b) San Cristóbal (2701046).....	113
Figura 69. Diagrama distribución temporal de la lluvia, según Huff – 1967, Chow et al, 1994.....	119
Figura 70. Caudales máximos calculados por diferentes métodos en la quebrada Ana Díaz.....	122
Figura 71. Esquema de avenida torrencial (Fuente: Suárez, 2001). ....	125
Figura 72. Quebrada Ana Díaz en el tramo de estudio 1. ....	127
Figura 73. Quebrada Ana Díaz en el tramo 1 de estudio: a) parte alta, b) pontón antes de confluencia quebrada Los Sapos, c) puente peatonal a la altura de la Calle 130 con Carrera 34B, d) puente peatonal en madera de la Calle 127 con Carrera 34B, e) Puente vehicular sobre la Carrera 34B y f) pontón a la altura de la confluencia con la quebrada La Guapante....	128
Figura 74. Quebrada Ana Díaz en el tramo de estudio 2. ....	130
Figura 75. Quebrada Ana Díaz en el tramo 2 de estudio: g) puente peatonal a la altura de la Carrera 116F, h) puente peatonal artesanal en la Carrera 113G, i) configuración del cauce Carrera 113D, j) Captación de agua para la cantera, k) acceso a cantera y l) explotación de arenas en el cauce. ....	131
Figura 76. Quebrada Ana Díaz en el tramo de estudio 3. ....	132
Figura 77. Quebrada Ana Díaz en el tramo 3 de estudio: m) cauce a la altura de la Carrera 106, n) puente vehicular en la Carrera 106, o) muro socavado y fallado Carrera 102, p) puente vehicular en la Carrera 94, q) canal en concreto en la Carrera 93B y r) puente vehicular en la Carrera 93. ...	133
Figura 78. Esquema del tramo 1 y secciones transversales, quebrada Ana Díaz.	135
Figura 79. Esquema del tramo 2 y secciones transversales, quebrada Ana Díaz.	136
Figura 80. Esquema del tramo 3 y secciones transversales, quebrada Ana Díaz.	137

Figura 81. Lámina de agua para TR 2,33 en la quebrada Ana Díaz.....	143
Figura 82. Obras de cruce en el tramo de estudio de la quebrada Ana Díaz, condición actual .....	149
Figura 83. Secciones transversales en el tramo de la quebrada Ana Díaz....	150
Figura 84. Perfil del flujo en el tramo 1 de la quebrada Ana Díaz, condición actual .....	151
Figura 85. Perfil del flujo en el tramo 2 de la quebrada Ana Díaz, condición actual .....	151
Figura 86. Perfil del flujo en el tramo 3 de la quebrada Ana Díaz, condición actual .....	152
Figura 87. Perfil del flujo en el tramo 4 de la quebrada Ana Díaz, condición actual .....	152
Figura 88. Obras de cruce en el tramo de estudio de la quebrada Ana Díaz, condición proyectada.....	167
Figura 89. Secciones transversales en muro sobre la margen izquierda de la quebrada Ana Díaz, condición proyectada.....	168
Figura 90. Perfil del flujo en el tramo 1 de la quebrada Ana Díaz, condición proyectada.....	168
Figura 91. Perfil del flujo en el tramo 2 de la quebrada Ana Díaz, condición proyectada.....	169
Figura 92. Perfil del flujo en el tramo 3 de la quebrada Ana Díaz, condición proyectada.....	169
Figura 93. Perfil del flujo en el tramo 4 de la quebrada Ana Díaz, condición proyectada.....	170
Figura 94. Mancha de inundación tramo 1 condición actual, metodología POMCA.....	183
Figura 95. Mancha de inundación tramo 2 condición actual, metodología POMCA.....	184

Figura 96. Mancha de inundación tramo 3 condición actual, metodología POMCA.....	185
Figura 97. Zonificación de amenaza por avenidas torrenciales para el Ana Díaz. .....	195
Figura 98. Distribución espacial de la fragilidad de las construcciones por avenidas torrenciales, identificadas en el polígono Ana Díaz. ....	198
Figura 99. Tipología estructuras ligeras (E). Construcción ubicada en el polígono Ana Díaz.....	199
Figura 100. Tipología construcciones simples (F). Estructura ubicada en el polígono Ana Díaz.....	200
Figura 101. Tipología estructuras con confinamiento deficiente e híbridas (D). Estructura ubicada en el polígono Ana Díaz. ....	200
Figura 102. Distribución espacial de la intensidad de las construcciones por avenidas torrenciales, identificada en el polígono Ana Díaz. ....	202
Figura 103. Distribución espacial de la vulnerabilidad de las construcciones por avenidas torrenciales, identificada en el polígono Ana Díaz. ....	204
Figura 104. Distribución espacial de la fragilidad de la línea vital energía por avenidas torrenciales, identificada en el polígono Ana Díaz. ....	206
Figura 105. Distribución espacial de la intensidad de la línea vital energía por avenidas torrenciales, identificada en el polígono Ana Díaz. ....	208
Figura 106. Distribución espacial de la vulnerabilidad de la línea vital energía por avenidas torrenciales, identificada en el polígono Ana Díaz. ....	210
Figura 107. Distribución espacial de la fragilidad de la línea vital vías por avenidas torrenciales, identificadas en el polígono Ana Díaz. ....	212
Figura 108. Distribución espacial de la intensidad de la línea vital vías por avenidas torrenciales, identificadas en el polígono Ana Díaz. ....	214
Figura 109. Distribución espacial de la vulnerabilidad de la línea vital vías por avenidas torrenciales, identificadas en el polígono Ana Díaz.....	216

Figura 110. Distribución espacial de la fragilidad de la línea vital acueducto por avenidas torrenciales, identificada en el polígono Ana Díaz. ....	218
Figura 111. Distribución espacial de la intensidad de la línea vital acueducto por avenidas torrenciales, identificada en el polígono Ana Díaz. ....	220
Figura 112. Distribución espacial de la vulnerabilidad de la línea vital acueducto por avenidas torrenciales, identificada en el polígono Ana Díaz. ....	222
Figura 113. Distribución espacial de la fragilidad de la línea vital alcantarillado por avenidas torrenciales, identificada en el polígono Ana Díaz. ....	224
Figura 114. Distribución espacial de la intensidad de la línea vital alcantarillado por avenidas torrenciales, identificada en el polígono Ana Díaz. ....	226
Figura 115. Distribución espacial de la vulnerabilidad de la línea vital alcantarillado por avenidas torrenciales, identificada en el polígono Ana Díaz. ....	228
Figura 116. Distribución espacial del riesgo de las construcciones por avenidas torrenciales, identificada en el polígono Ana Díaz. ....	232
Figura 117. Distribución espacial del riesgo de la línea vital energía por avenidas torrenciales, identificada en el polígono Ana Díaz. ....	234
Figura 118. Distribución espacial del riesgo de la línea vital vía por avenidas torrenciales, identificada en el polígono Ana Díaz. ....	236
Figura 119. Distribución espacial del riesgo de la línea vital acueducto por avenidas torrenciales, identificada en el polígono Ana Díaz. ....	238
Figura 120. Distribución espacial del riesgo de la línea vital alcantarillado por avenidas torrenciales, identificada en el polígono Ana Díaz. ....	240
Figura 121. Zonificación de riesgos por polígono por avenidas torrenciales del polígono Ana Díaz. ....	242
Figura 122. Mapa de Aptitud geológica para el polígono Ana Díaz. ....	244
Figura 123. Localización sondeos exploratorios quebrada Ana Díaz. ....	247
Figura 124. Variación cohesión y fricción del lleno antrópico. ....	253

Figura 125. Variación cohesión y ángulo de fricción aluvial .....	254
Figura 126. Modelo geológico- geotécnico. ....	256
Figura 127. Factores de resistencia $K_q$ y $K_c$ – Brinch Hansen, 1961.....	263
Figura 128. Esquema de restricción de los pilotes .....	264
Figura 129. Solución de Broms para la resistencia lateral última de pilotes flexibles. (Braja M. Das, 1983) .....	265
Figura 130. Solución de Broms para determinar la deflexión de la cabeza del pilote (Braja M. Das, 1983) .....	266
Figura 131. Capacidad lateral. ....	270

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Regla de decisión para el riesgo individual Modificado de Phoon (2008) citado por Alcaldía de Medellín (2015). .....	13
Tabla 2. Clasificación geomorfológica regional.....	26
Tabla 3. Fotografías aéreas empleadas para el proceso de fotointerpretación ..	32
Tabla 4. Distribución de la variable pendientes .....	45
Tabla 5. Unidades de relieve y macrounidades del polígono Ana Díaz .....	53
Tabla 6. Unidades hidrogeológicas en la zona de estudio (Modificado de AMVA, 2013) .....	95
Tabla 7. Valores relativos de permeabilidad. (Fuente: Terzaghi K y Peck R, 1980) .....	99
Tabla 8. Parámetros morfométricos de la cuenca de la quebrada Ana Díaz. ....	106
Tabla 9. Parámetros morfométricos de la cuenca de la quebrada Ana Díaz. ....	109
Tabla 10. Parámetros para la ecuación IDF de la estación Olaya Herrera (2701507) y San Cristóbal (2701046). .....	112
Tabla 11. Intensidad de diseño y precipitación total de la lluvia para la cuenca de la quebrada Ana Díaz.....	113
Tabla 12. Número de Curva para los diferentes tipos de cobertura. ....	116
Tabla 13. Usos del suelo en la cuenca de la quebrada Ana Díaz. ....	118
Tabla 14. Distribución de la lluvia en el tiempo según el método asumido. ....	119
Tabla 15. Coeficientes de escorrentía para la cuenca de la quebrada Ana Díaz. ....	121
Tabla 16. Caudales máximos en la cuenca de la quebrada Ana Díaz. ....	121

Tabla 17. Caudales máximos seleccionados ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) en la cuenca de la quebrada Ana Díaz. ....	123
Tabla 18. Ubicación caudales de diseño calculados y sección de ingreso al modelo hidráulico. ....	138
Tabla 19. Caudales usados en la modelación hidráulica. ....	138
Tabla 20. Coeficiente de Manning estimado a partir del conteo de Wolman. ....	140
Tabla 21. Coeficientes de rugosidad. ....	141
Tabla 22. Resumen parámetros de entrada al modelo hidráulico. ....	142
Tabla 23. Velocidad y profundidad para los periodos de retorno 2,33, 100 y para POMCA, quebrada Ana Díaz condición actual. ....	144
Tabla 24. Obras quebrada Ana Díaz condición actual. ....	144
Tabla 25. Resultados del modelo hidráulico para la quebrada Ana Díaz condición actual, Caudal POMCA. ....	153
Tabla 26. Dimensiones obras hidráulicas, quebrada Ana Díaz. ....	165
Tabla 27. Dimensiones muro proyectado sobre la margen izquierda de la quebrada Ana Díaz ....	165
Tabla 28. Velocidad y profundidad para los periodos de retorno 2,33, 100 y para POMCA, quebrada Ana Díaz condición proyectada. ....	166
Tabla 29. Resultados del modelo hidráulico para la quebrada Ana Díaz condición proyectada, caudal POMCA. ....	170
Tabla 30. Resultados de socavación general para un para caudal POMCA, quebrada Ana Díaz. ....	188
Tabla 31. Localización geográfica de los sondeos. ....	246
Tabla 32. Resultados de laboratorio Quebrada Ana Díaz. ....	248
Tabla 33. Correlaciones utilizadas para la definición de parámetros geomecánicos. ....	252



Tabla 34. Parámetros estadísticos del lleno antrópico .....	254
Tabla 35. Parámetros estadísticos del aluvial .....	255
Tabla 36. Factores de resistencia para cimentaciones superficiales.....	257
Tabla 37.. Factores de resistencia para pilas .....	258
Tabla 38. Capacidad por punta y fuste de las pilas .....	269
Tabla 39.Capacidad lateral.....	269
Tabla 40. capacidad a carga lateral de las pilas y deformación. ....	271
Tabla 41. Reacción vertical en la base de la pila y las deformaciones.....	272



## LISTA DE ANEXOS

Anexo 1. Metodología

Anexo 2. Registros de perforación

Anexo 3. Hidráulica

Anexo 4. Fichas de vulnerabilidad

Anexo 5. Memorias de cálculo y diseños estructurales

## 1. INTRODUCCIÓN

El presente estudio hace parte de las acciones del programa de Empresas Públicas de Medellín denominado “Unidos por el Agua”, el cual busca mejorar la calidad de vida de un número importante de familias, ubicadas algunas de ellas, en asentamientos informales, a partir del acceso a los servicios de acueducto y alcantarillado y la mitigación del riesgo geológico e hidrológico.

Este informe, corresponde a los estudios de detalle requeridos para las zonas de condición de riesgo por el Decreto Nacional 1077 de 2015 y por el Decreto Municipal 1626 de 2015, e igualmente recoge el Decreto Metropolitano 09 del 25 de mayo de 2012. Las áreas objeto de este análisis, se localizan en los denominados circuitos Los Mangos, Santo Domingo y El Corazón, ubicados en la zona Centro Oriental, Nororiental y centro Occidental del municipio de Medellín.

Los tipos de amenaza evaluada en las áreas de interés corresponden a movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales. Para el polígono denominado Ana Díaz, la amenaza que define la condición de riesgo en el Acuerdo 48 de 2014 – POT, corresponde a avenidas torrenciales, amenaza que fue evaluada en detalle en el presente estudio.

Además de la amenaza, se evaluó la vulnerabilidad física de acuerdo a las características de los elementos expuestos, (construcciones y líneas vitales), a partir de la definición de la fragilidad y la intensidad de los fenómenos que los podrían afectar.

Igualmente, se evaluó el riesgo, integrando la información de la amenaza y la vulnerabilidad. Este riesgo se determinó a nivel de cada elemento expuesto y a nivel de polígono, determinando de esta manera los polígonos de riesgo alto no mitigable, riesgo alto mitigable, riesgo medio y riesgo bajo.

Finalmente, de acuerdo a las condiciones encontradas en cada polígono, se definieron las acciones estructurales y no estructurales necesarias para la mitigación del riesgo y que una vez ejecutadas y monitoreadas permitirán reducir la amenaza o la vulnerabilidad y cambiar el nivel de riesgo.

## 2. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio se ubica en la vertiente occidental del Valle medio del río Aburrá; hace parte de la Comuna 13 del municipio de Medellín, y está conformado por cinco polígonos, que corresponde a un corredor sobre ambas márgenes de la quebrada Ana Díaz en la sección comprendida entre la calle 34 D con carrera 89, aguas arriba hasta la calle 34 B con carrera 130, a la altura de la sede de la acción comunal Corazón – Los Tanques (1312-2,1311-1,1313-2,7003-2) y un sector de menor área ubicado aproximadamente hacia el sector de la calle 34 B con carrera 133 (7003-3) (Figura 1) e incluye las áreas con condición de riesgos denominadas en el POT con los códigos 1310-3, 1312-2, 1313-2 7003-2 y SN01-2 incluidos dentro del denominado Circuito El Corazón.

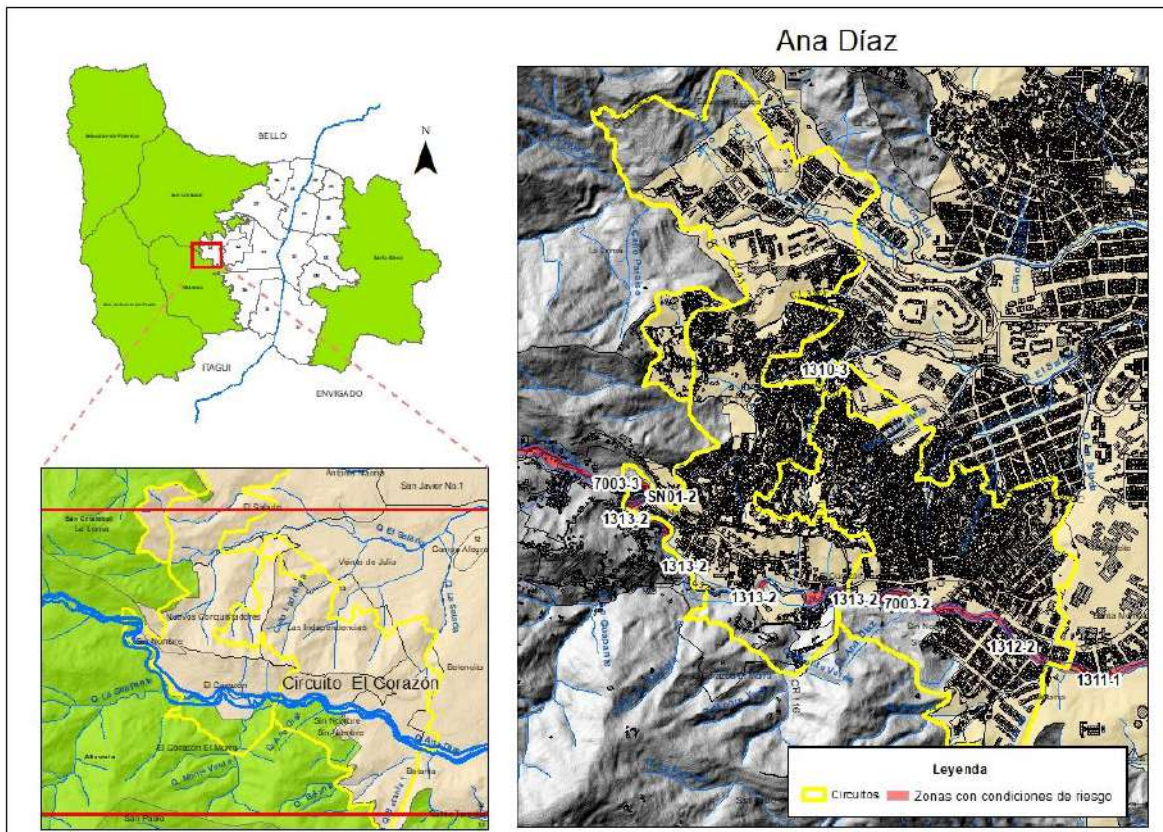


Figura 1. Mapa de localización del polígono Ana Díaz

### 3. METODOLOGÍA

Los procedimientos seguidos para realizar los estudios de riesgo de detalle por avenidas torrenciales, con sus respectivas medidas de intervención, se describen con detalle en el Anexo 1 “Documento metodológico”.

Cada componente tiene su propia metodología, la cual se describe brevemente a continuación.

#### 3.1. CARTOGRAFÍA ESCALA DE TRABAJO

De acuerdo al decreto nacional 1077 de 2015 y al decreto municipal 1626 de 2015, para la amenaza avenidas torrenciales se trabajó a una escala 1:500, para lo cual se realizaron levantamientos topográficos específicos de los tramos afectados por esta problemática; sin embargo la escala de presentación fue 1:2.000.

##### 3.1.1. Recopilación de información secundaria y productos base

En esta fase inicial se acopió y revisó la información disponible para la caracterización geológica y geomorfológica del área de interés. Los estudios de Microzonificación sísmica detallada realizados para Medellín y su área metropolitana, son la base para los análisis geológicos locales, además de otros informes realizados por diferentes entidades como se sintetiza en el capítulo 4.

##### 3.1.2. Generación de mapas temáticos

Durante este proceso se recopiló la información cartográfica disponible sobre cada uno de los mapas temáticos o mapas índices empleados en el desarrollo de esta metodología, los cuales en este caso correspondieron a geología y formaciones superficiales, geomorfología, pendiente y procesos morfodinámicos.

Geología y formaciones superficiales: para el desarrollo de esta variable fue necesaria la realización de un mapa preliminar, para el cual se utilizó como insumo base la cartografía geológica existente a escala 1:10.000 del Área Metropolitana del Valle de Aburrá (AMVA), la cual fue actualizada y redelimitada con base en la información obtenida del análisis de sensores remotos y la interpretación de fotografías aéreas donde es posible identificar unidades principalmente cuaternarias y estructuras geológicas.



Durante el trabajo de campo y con el objetivo de obtener información de detalle del suelo y subsuelo para la zonificación de amenazas en el área de estudio, se realizó la caracterización y mapeo de las unidades geológicas y formaciones superficiales a escala 1: 2.000 a partir del mapa preliminar, de acuerdo a la disponibilidad de afloramientos y los sondeos exploratorios. La clasificación de las unidades de suelo y definición del grado de meteorización de la roca se basó en el perfil de meteorización de Deere & Patton (1971).

Geomorfología: la construcción de los mapas geomorfológicos primero correspondió a la generación de un mapa preliminar donde se delimitaron los elementos geomorfológicos usando la información básica disponible como información secundaria, análisis de sensores remotos y fotografías aéreas, mapas topográficos, mapa de pendientes y un modelo de elevación digital (MED).

La caracterización y jerarquización geomorfológica se basó en la definición presentada en el estudio “Microzonificación sísmica detalladas del Valle de Aburrá, a escala 1:10.000” (AMVA, 2007). Para la caracterización de la morfología de los elementos geomorfológicos, se utilizaron los atributos de inclinación, longitud y forma de la ladera.

Morfometría: para este estudio se utilizó la pendiente como variable morfométrica. La definición del mapa de pendientes se realizó en porcentajes, que representa la tangente del ángulo de inclinación del terreno.

Inventario de movimientos en masa: la cartografía de los procesos morfodinámicos ocurridos en el área de estudio representa uno de los insumos básicos con el fin de identificar las condiciones dinámicas, la continuidad y recurrencia de eventos y su distribución dentro de cada zona.

Para el desarrollo de esta variable fue igualmente necesaria la realización de un mapa preliminar, en donde se incluyeron los procesos morfodinámicos identificados a partir del análisis de fuentes secundarias como bases de datos del DAGRD, SIMMA, Desinventar, Planeación Municipal y demás estudios que se han realizado en la zona. Adicionalmente, se incluyeron los procesos identificados durante la etapa de análisis de sensores remotos.

Este mapa preliminar fue verificado, ajustado y redefinido de acuerdo con las condiciones actuales vistas durante el trabajo de campo. El producto final es la distribución espacial de los movimientos, representados por áreas afectadas o polígonos.

## 3.2. AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES

Los análisis para esta amenaza se realizaron con base en los estudios hidrológicos e hidráulicos, sin embargo para las avenidas torrenciales estos estudios se complementaron con análisis geomorfológicos y sedimentológicos de los depósitos torrenciales asociados.

### 3.2.1. Hidrología

El estudio hidrológico se llevó a cabo mediante la estimación de los parámetros morfométricos para así calcular las tormentas de diseño para la cuenca; a partir de esta información se hallaron las crecientes de diseño mediante los métodos de las hidrógrafas unitarias sintéticas de Williams & Hann, Soil Conservation Service y Snyder, así como la aplicación del método racional probabilístico.

El procesamiento modelo del terreno y morfometría se realizó con base en modelos digitales de elevación y con estos se obtuvieron las cuencas hidrográficas. Se usó el software HidroSIG 4.0 el cual es un paquete que modela algunas variables hidrometeorológicas, genera cuencas y con la unión de algoritmos determina un balance hidrológico a largo plazo.

### 3.2.2. Hidráulica

El estudio hidráulico evaluó los cambios de las variables hidráulicas a través de los canales naturales de ríos y quebradas. Para ello se implementaron los caudales de diseños que fueron calculados en el estudio hidrológico de las cuencas, teniendo como caudal de diseño el estimado para el periodo de retorno de 100 años para el caso de la amenaza por inundación y mayorado en 40% para las avenidas torrenciales. Este aumento de caudal fue usado para considerar el arrastre de grandes volúmenes de sedimentos, recomendaciones presentada en el estudio: Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Aburrá – POMCA, adelantado en el año 2007, por la comisión conjunta (UNALMED et al., 2007).

Teniendo como base los caudales de diseño, y el levantamiento topográfico de los canales y márgenes en las corrientes de interés, se implementó el modelo HEC – RAS V 5.0 (U.S Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center, 2002) para obtener los cambios en la velocidad, profundidad, número de Froude, niveles máximos de inundación y zonas afectadas por dicha situación, entre otras variables, en toda la longitud de las corrientes, información que se presenta de forma gráfica (secciones transversales con la lámina de agua), o como tablas de resultados.

Para la caracterización sedimentológica de la corriente se propuso. el procedimiento “Conteo Aleatorio de piedras” de Wolman (1954) en Chow et. al, (1994) para obtener una distribución granulométrica del material del lecho en una corriente de gravas. De igual forma, se tomaron muestras de material fino, procedente de las barras de la corriente, las cuales permitieron obtener parámetros para la estimación de la profundidad de socavación de la corriente

Condiciones geomorfológicas: durante este proceso se recopiló la información cartográfica disponible sobre cada uno de los mapas temáticos o mapas índices a emplear en el desarrollo de esta metodología, los cuales en este caso corresponden a geomorfología con énfasis en unidades de origen fluvial y fluvio – torrencial y levantamiento de depósitos torrenciales.

Geomorfología de depósitos aluviales y aluvio – torrenciales: para el desarrollo de esta temática se requirió la realización de mapas geomorfológicos a escala 1:2.000 para los tramos evaluados. La construcción de este mapa geomorfológico se dividió en dos etapas. La primera, correspondió a la generación de un mapa preliminar donde se delimitaron unidades geomorfológicas con énfasis en las asociadas a eventos aluviales y aluvio- torrenciales (planicies de inundación, terrazas aluvial y los abanicos aluviales recientes, en los tramos con evidencias de ocurrencia de avenidas torrenciales), usando la información básica disponible como información secundaria, análisis de sensores remotos y fotografías aéreas, mapas topográficos, mapa de pendientes y un modelo de elevación digital (MED).

Levantamiento de depósitos torrenciales: esta fase consistió en la verificación y levantamiento de perfiles estratigráficos en las zonas delimitadas desde el punto de vista geomorfológico como de origen aluvial o aluvio - torrenciales.

### 3.2.3. Zonificación de la amenaza por torrencialidad.

Una vez se tuvieron los análisis hidrológicos e hidráulicos y geomorfológicos, se definió como amenaza alta la mayor envolvente de los dos análisis, es decir, si la mancha definida por la hidráulica fue mayor que la geomorfológica, entonces la primera prevaleció; si sucedió lo contrario, si la mancha geomorfológica fue mayor que la hidráulica (situación más común) entonces prevaleció la geomorfológica.

Es importante resaltar que para determinar las zonas con amenaza por torrencialidad se complementaron los resultados del modelo hidráulico con las evidencias de campo, a partir de los recorridos realizados por el equipo técnico en la delimitación de las terrazas aluviales.

Además de la metodología POMCA (UNALMED et al., 2007), se realizó un análisis en los sitios que existió la posibilidad, de comparar los niveles alcanzados por la creciente para un caudal con periodo de retorno de 100 años y el nivel necesario para alcanzar las terrazas aluviales.

Una vez aplicadas las dos metodologías, se asumió como amenaza por torrencialidad alta, la condición más desfavorable encontrada.

### 3.3. ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD

Para la evaluación de la vulnerabilidad por avenida torrencial se partió de la metodología planteada por el SGC (2015), con la cual se caracterizaron los elementos expuestos y se evaluó la fragilidad de los mismos. Finalmente se estimó la intensidad de acuerdo a las características de cada una de las zonas en estudio. Es de anotar que de acuerdo a la normatividad nacional y municipal, la vulnerabilidad evaluada fue únicamente la de tipo físico.

Para la definición de la vulnerabilidad física en los polígonos que comprendieron el área de estudio se realizó un análisis para las construcciones y para las líneas vitales.

#### 3.3.1. Fichas de levantamiento de la información.

Esta etapa comprendió la revisión de la información secundaria, la generación de mapas que integraron la información de catastro y la red vial, además de la generación y validación de las fichas de levantamiento de la información. Estas últimas se modificaron a partir de la metodología del SGC (2015) y fueron adaptadas según las condiciones encontradas en los polígonos.

Las fichas elaboradas para el levantamiento de información y el diligenciamiento para su instructivo se encuentran en la carpeta de anexos y se enumeran a continuación:

- Ficha de levantamiento de construcciones
- Ficha de levantamiento de líneas vitales: Acueducto
- Ficha de levantamiento de líneas vitales: Energía
- Ficha de levantamiento de líneas vitales: Vías
- Ficha de levantamiento de líneas vitales: Alcantarillado



### 3.3.2. Trabajo de campo

El trabajo de campo incluyó dos etapas, la primera de ellas relacionada con la validación y construcción de las fichas de levantamiento de información y la segunda, que comprendió el mayor porcentaje de las actividades de campo, estuvo asociada al diligenciamiento de las fichas en cada uno de los polígonos que incluyó un registro fotográfico de cada uno de los elementos. La identificación de las construcciones se realizó por medio del código catastral CBML (Comuna – Barrio – Manzana – Lote), cuando se presentaron viviendas nuevas en los polígonos, se les asignó un nuevo código CBML según la ubicación del lote, para permitir su referenciación y levantamiento.

Para el análisis de las líneas vitales, se realizó el levantamiento de la totalidad de ellas en el caso de las redes viales; mientras que para las de acueducto y alcantarillado su levantamiento estuvo supeditado a su visualización. Finalmente, las fichas de las estructuras relacionadas con las redes de energía se diligenciaron para aquellas que presentaron daños o algún tipo de deterioro.

Es de anotar que para el levantamiento de las fichas de campo, se desarrolló un aplicativo digital, el cual garantizó la integridad de la información y la digitalización directamente en campo.

### 3.3.3. Análisis de la información

Una vez concluido el trabajo de campo, se realizó el procesamiento de la información, los distintos parámetros obtenidos permitieron la identificación y localización de los elementos expuestos, la evaluación de la fragilidad y la resistencia de cada una de las construcciones y las líneas vitales levantadas.

## 3.4. VULNERABILIDAD EN LAS CONSTRUCCIONES

Para la evaluación de la vulnerabilidad por construcción como se mencionó anteriormente, se partió de la metodología planteada por el SGC (2015), sin embargo, a esta se le realizaron algunos ajustes en función de incluir algunos factores que para el contexto de la ciudad de Medellín son importantes, como la inclusión del tema de servicios públicos específicamente acueducto y alcantarillado. De igual manera, fueron ajustados los valores de fragilidad de algunos factores, pues la aplicación en otros ejercicios anteriores, mostraban que eran muy restrictivos.

### 3.4.1. Cálculo de la fragilidad

Para el caso de los elementos a evaluar (construcciones y líneas vitales) dependió de las características de estos.

Fragilidad para avenidas torrenciales: siguiendo la metodología propuesta por Li et al. (2010), modificada por Du et al. (2013), se consideraron cuatro parámetros para la evaluación de la fragilidad de las edificaciones, relativos al tipo de estructura ( $S_{tip}$ ), su altura ( $S_{alt}$ ), su conservación ( $S_{con}$ ) y su edad ( $S_{ed}$ ), adicional a los anteriores, se adicionaron la fragilidad de acueducto y de alcantarillado, debido a la influencia de estos factores en la vulnerabilidad de las construcciones ubicadas en las laderas de la ciudad. Para las avenidas torrenciales se consideraron estos parámetros, con la salvedad, de que la fragilidad asociada a la altura de la construcción presenta unos valores diferentes para este tipo de fenómenos, el cual estará expresado como  $S_{alt\_inun}$ . Partiendo de estos parámetros, se calculó la fragilidad de la estructura ( $S_e$ ) con la siguiente ecuación:

$$S_e = 1 - \pi (1 - S_i)$$

$$S_e = 1 - (1 - S_{tip}) (1 - S_{alt\_inun}) (1 - S_{con}) (1 - S_{ed}) (1 - S_{Acueducto}) (1 - S_{Alcantarillado})$$

En el anexo metodológico se encuentran las diferentes tablas y fórmulas requeridas para cada uno de los parámetros.

### 3.4.2. Intensidad de las avenidas torrenciales en edificaciones.

La intensidad de las avenidas torrenciales se definió en función de la profundidad de la lámina de agua y de la presión de impacto según la siguiente ecuación:

$$I_{inun} = 1 - (1 - I_{f-pre}) (1 - I_{f-prof\_inun})$$

$I_{inun}$  es la intensidad para el escenario de avenidas torrenciales

$I_{f-pre}$  es el parámetro de intensidad debido a la presión y se estima a partir de la relación entre la presión de impacto del fluido y la presión límite soportada por la estructura.

$I_{f-prof\_inun}$  es el parámetro de intensidad por la profundidad de la lámina de agua o del fluido. Este parámetro se presenta en función de la relación entre la profundidad de la lámina de agua o del fluido y la altura de la edificación.

En el anexo metodológico se encuentran las diferentes tablas y fórmulas requeridas para cada uno de los parámetros.

### 3.5. VULNERABILIDAD EN LAS LÍNEAS VITALES

De manera análoga, la evaluación de la vulnerabilidad en las construcciones para las líneas vitales se calculó la fragilidad de acuerdo a la característica de cada línea y posteriormente la intensidad.

Para los diferentes fenómenos amenazantes, la fragilidad se consideró igual y la intensidad si presenta variaciones de acuerdo al fenómeno.

#### 3.5.1. Fragilidad en líneas vitales

La fragilidad en las líneas vitales se evaluó para las redes viales, de acueducto y alcantarillado y energía, esta última evaluada a partir de los postes.

Fragilidad en vías: para evaluar la fragilidad en las vías se consideraron los parámetros de material o tipo, existencia de obras de drenaje y daños. Partiendo de estos parámetros, se calculó la fragilidad de las vías con la siguiente ecuación que al desarrollar cada uno de sus factores se expresa de la siguiente manera:

$$S_{vías} = 1 - (1 - S_{mat})(1 - S_{dr})(1 - S_{da})$$

$$S = S_i \cdot \text{Factor incidencia}$$

Dónde  $S_{mat}$  es el factor de fragilidad por material/tipo;  $S_{dr}$  es el factor de fragilidad por existencia de obras de drenaje y  $S_{da}$  es el factor de fragilidad por existencia de daños en el tramo de estudio.

Fragilidad en acueducto: para evaluar la fragilidad en el acueducto se consideraron los parámetros de operador de red, el estado, el diámetro, la deflexión y el material. Partiendo de estos parámetros, se calculó la fragilidad del acueducto con la siguiente ecuación que al desarrollar cada uno de sus factores se expresa de la siguiente manera:

$$S_{acued} = 1 - (1 - S_{operad \text{ de red}})(1 - S_{estado})(1 - S_{diám})(1 - S_{mat})$$

Dónde *Soperad* de red es el factor de fragilidad por operador de red; *Sestado* es el factor de fragilidad por estado, *Sdiam* es el factor de fragilidad por diámetro y *Smat* es el factor de fragilidad por material.

Fragilidad en alcantarillado: para evaluar la fragilidad en el alcantarillado se consideraron los parámetros de operador de red, el estado y el material. Partiendo de estos parámetros, se calculó la fragilidad del alcantarillado con la siguiente ecuación que al desarrollar cada uno de sus factores se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Salcant} = 1 - (1 - \text{Soperador de red})(1 - \text{Sest})(1 - \text{Smater})$$

Donde *Soperador* de red es factor de fragilidad por operador de red, *Sest* es el factor de fragilidad por estado de red y *Smater* es el factor de fragilidad por material

Fragilidad en la energía: para evaluar la fragilidad en la energía se consideraron los parámetros de carga y estado de las redes. Partiendo de estos parámetros, se calculó la fragilidad con la ecuación que se presenta a continuación, que al desarrollar cada uno de sus factores se expresa de la siguiente manera:

$$\text{Senergía} = 1 - (1 - \text{Scarga})(1 - \text{Sestado})$$

Donde *Scarga* es el factor de fragilidad por carga de red y *Sestado* es el factor de fragilidad por estado de la red.

En el anexo metodológico se encuentran las diferentes tablas y fórmulas requeridas para cada uno de los parámetros.

### 3.5.2. Intensidad en líneas vitales para avenidas torrenciales

La intensidad para las avenidas torrenciales, está en función de la velocidad y la altura de la lámina de agua. En la metodología anexa se presentan los parámetros de intensidad para cada una de las líneas vitales.

## 3.6. VULNERABILIDAD EN LAS PERSONAS

La evaluación de la vulnerabilidad en las personas, se desarrolló a partir de la metodología planteada por el SGC (2015). Sin embargo, como el inventario de elementos expuestos se realizó por construcción y no correspondió a un censo de población, se tomó para su cálculo el número de personas promedio por vivienda del barrio.

La vulnerabilidad física de personas se evaluó en conjunto con la vulnerabilidad de edificaciones). Para este trabajo, la fragilidad de personas en estructuras se determinó en función de la fragilidad de tales estructuras, de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$S_{per} = (S_e)^{3.2}$$

Donde  $S_{per}$  es la fragilidad de las personas.

La intensidad en las personas se evaluó de la misma manera que se evaluó para las construcciones.

## 3.7. CÁLCULO Y ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

La vulnerabilidad es función de la fragilidad y de la intensidad del evento amenazante, para su cálculo se evaluaron las metodologías propuestas por Guimarães (2015) y por Du et al. (2013, 2014, en SGC, 2015). Los resultados de las metodologías son muy similares, siendo un poco más conservadora la metodología de Du et al, la cual fue empleada para este estudio y la cual se resume en la siguiente ecuación.

$$V = \begin{cases} \frac{1}{2} \left( \frac{I}{1-S} \right)^2 & I \leq 1 - S \\ 1 - \frac{1}{2} \left( \frac{1-I}{S} \right)^2 & I > 1 - S \end{cases}$$

Dónde:

$V$  es la vulnerabilidad de los elementos expuestos a la amenaza

$I$  es la intensidad del evento

$S$  es la fragilidad del elemento expuesto

Los rangos dados a la vulnerabilidad fueron: para vulnerabilidad baja valores menores de 0,1, para vulnerabilidad media valores entre 0,1 y 0,5, y para vulnerabilidad alta valores superiores a 0,5.

Se definieron las categorías de vulnerabilidad para personas en edificaciones basados en Li et al. (2010), Du et al. (2013) y Coburn (2002, en Du et al., 2013). Para el cálculo y la zonificación de la vulnerabilidad en las personas, se partió de la misma ecuación y se tomó el valor de S como la fragilidad de las personas.

## 3.8. EVALUACIÓN DEL RIESGO

La evaluación del riesgo se realizó para cada uno de los elementos expuestos (construcciones y líneas vitales) en función de definir acciones puntuales de mitigación y para los polígonos de análisis en función de definir restricciones de uso desde la planificación.

### 3.8.1. Riesgo por Elementos Expuestos.

El riesgo es función de la amenaza y la vulnerabilidad, para fines cartográficos se definió la siguiente regla de decisión para determinar el nivel de riesgo para los elementos expuestos, la cual ha sido modificada del decreto 1626 de 2015 (Tabla 1).

**Tabla 1.** Regla de decisión para el riesgo individual Modificado de Phoon (2008) citado por Alcaldía de Medellín (2015).

NIVEL DE AMENAZA	VULN. ALTA	VULN. MEDIA	VULN. BAJA
ALTA	ALTO	ALTO	MEDIO
MEDIA	ALTO	MEDIO	BAJO
BAJA	BAJO	BAJO	BAJO

La regla de decisión utiliza los valores de los rangos de amenaza y vulnerabilidad definida en los componentes anteriores. De igual manera, en función de determinar la probabilidad de que se generen daños y su magnitud a partir de la vulnerabilidad y el fenómeno amenazante, se realizó la estimación de la probabilidad anual para la amenaza. El valor de la amenaza se multiplicó con la vulnerabilidad y de esta manera se obtuvo el indicador de riesgo por elemento expuesto.

Para el riesgo por personas se aplicó esta misma tabla de decisión y la cantidad total de personas en riesgo se evaluó a partir de un valor promedio de habitante por



vivienda en cada barrio. Es de anotar que el número de personas en riesgo es un estimado, ya que no se realizó un censo de población.

### 3.8.2. Riesgo por Polígono.

Para el caso de avenidas torrenciales, todas las áreas de amenaza alta afectadas por este fenómeno fueron catalogadas como de riesgo no mitigable, para las zonas de amenaza media se debe evaluar la relación costo beneficio de los elementos expuestos respecto de las obras de mitigación para definir su nivel de mitigabilidad, lo anterior, de acuerdo a los criterios definidos por el Municipio de Medellín en anteriores trabajos. Es de anotar que si las zonas de amenaza por torrencialidad se localizan en los retiros de quebrada, las viviendas localizadas en estos sectores no podrán ser legalizadas, por lo tanto no se podrán realizar obras en este sentido.

#### 4. REVISIÓN DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

Para la elaboración de este documento, se tuvo en cuenta la información secundaria recopilada en varias instituciones, tales como el Departamento Administrativo de Planeación, Empresa de Desarrollo Urbano – EDU, Departamento Administrativo de Gestión del Riesgo de Desastres, Área Metropolitana del Valle de Aburrá y Corantioquia. La información utilizada se sintetiza a continuación, donde se indica cuáles son los datos más relevantes y de utilidad para el proyecto.

<b>Título</b>	<b>Formulación del plan integral de ordenamiento y manejo (PIOM) de la parte baja de la microcuenca La Iguañá</b>
<b>Autor (es)</b>	CORANTIOQUIA- Instituto MI RIO (en liquidación)
<b>Año</b>	2001
Localización de referencia: Municipio de Medellín, Vertiente noroccidental.	
Resumen: El estudio diseña e implementa una metodología para la formulación de Planes Integrales de Ordenamiento y Manejo de Microcuencas urbanas (PIOM), específicamente para las fases de diagnóstico, formulación e instrumentación para la cuenca baja de la quebrada La Iguañá.	
Observaciones: Realiza dentro de su fase de diagnóstico la caracterización física entre los que contempla la caracterización geológica, geomorfológica e hidráulica que aportan información para el marco regional del presente estudio.	

<b>Título</b>	<b>Estudio hidrometeorológico y geomorfológico de 10 quebradas del Valle de Aburrá</b>
<b>Autor (es)</b>	Juan José Montoya y Jorge Eduardo Patiño, para optar al título de maestría en Ciencias de la Tierra de la Universidad EAFIT
<b>Año</b>	2001
Localización de referencia: Cuencas de las quebradas Ana Díaz	
Resumen: Se realizaron los estudios hidrometeorológicos, geomorfológicos y edafológicos de las cuencas estudiadas para elaborar los mapas de amenaza por inundación y avenidas torrenciales. Adicionalmente, se implementó una base de datos georeferenciada con la información secundaria y primaria en los estudios hidrometeorológicos con el fin de simular el comportamiento de las cuencas con modelos de precipitación – escorrentía.	
Como anexo para cada una de las cuencas y sus principales afluentes se presentan los parámetros morfométricos, el mapa de usos del suelo, formaciones superficiales y los análisis hidrológicos e hidráulicos.	



Observaciones: Levantamiento de depósitos aluvio – torrenciales identificados en los cauces de las quebradas y los mapas de amenaza por inundación para un periodo de retorno de 100 años superpuesta con información de viviendas e infraestructura.

<b>Título</b>	<b>Mapa geomorfológico, de amenazas y áreas degradadas en la jurisdicción de Corantioquia</b>
Autor (es)	Corantioquia
Año	2002
Localización de referencia: Jurisdicción de Corantioquia	
Resumen: Este mapa representa la geomorfología de los municipios que conforman la jurisdicción de Corantioquia, organizada de forma jerárquica a escala 1:100.000, donde se tienen en cuenta el origen de las unidades. Además, se presenta el mapa de amenazas y áreas degradadas, donde se señalan las áreas prioritarias para la intervención de la corporación.	
Observaciones: La jerarquización establecida en el mapa geomorfológico de Corantioquia permite amarrar los a niveles regionales los mapas geomorfológicos de cada polígono.	

<b>Título</b>	<b>Interventoría de construcción de solución hidráulica, estructural y geotécnica en las quebradas La Iguañá calle 59 carrera 69-70, Quebrada La Rosa carrera 43A por calle 102 y Quebrada Ana Díaz carrera 128 por calle 34B del municipio de Medellín, en desarrollo del proyecto de Ordenamiento de Cuencas</b>
Autor (es)	Secretaría de Medio Ambiente
Año	2007
Localización de referencia: Municipio de Medellín, Vertiente noroccidental.	
Resumen: Estudio de consultoría para la solución de una problemática hidráulica con diseño de obras.	
Observaciones: Se retoma este estudio para realizar verificación del estimativo hidrológico y parámetros hidráulicos.	

<b>Título</b>	<b>Microzonificación sísmica detallada de los municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Envigado</b>
Autor (es)	Área Metropolitana del Valle de Aburrá
Año	2007

Localización de referencia: Municipios del Valle de Aburrá
Resumen: Un estudio detallado de la geología, geomorfología, neotectónica, geotécnica y de la amenaza sísmica para los municipios del Valle de Aburrá, permitieron obtener la Microzonificación Sísmica detallada de estos municipios. Se define para el municipio de Medellín que la aceleración máxima en el basamento rocoso con un periodo de retorno promedio de 475 años es de 0,22 g y se pueden presentar desplazamientos máximos del terreno de 22 cm.
Observaciones: Información básica de geología y geomorfología escala 1:10.000, de la cual se parte para detallar a escala 1:2.000 en los polígonos objeto de estudio.

<b>Título</b>	<b>Amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones en el valle de Aburrá. Formulación de propuestas de gestión</b>
Autor (es)	Universidad Nacional de Colombia, sede Medellín
Año	<b>2009</b>
Localización de referencia: Valle de Aburrá	
Resumen: objeto es la realización de una Zonificación de la Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales; en este capítulo se presenta el informe técnico correspondiente al proceso de elaboración de la Zonificación de la Amenaza por movimientos en masa, teniendo en cuenta como detonante principal la lluvia. La metodología empleada está basada en una herramienta computacional conocida como redes neuronales artificiales (RNA), la cual está siendo cada vez más empleada en la solución de problemas que involucran gran cantidad de variables con bases de datos.	
Observaciones: Teniendo en cuenta lo anterior se pretende obtener como resultado un mapa que evalúe de manera probabilística la amenaza por movimiento en masa para el Valle de Aburrá, y refinar el modelo para el municipio de Medellín con el fin de obtener un mapa más detallado. Basta aclarar que, para lograr dicho objetivo en el municipio de Medellín, se refinaron la base de datos, se agregaron las variables permeabilidad y curvatura, y se hizo uso de la metodología descrita anteriormente, con lo cual se obtuvo un mapa probabilístico de amenaza por movimiento en masa con un detalle de 1:5000.	

<b>Título</b>	<b>Proyecto urbano para la legalización y regularización urbanística Barrios El Corazón, Las Independencias, Nuevos Conquistadores y El salado. Comuna 13</b>
---------------	---

Autor (es)	Municipio de Medellín - Departamento Administrativo de Planeación Universidad de Antioquia – Facultad de Derecho y Ciencias Políticas
Año	2009
Localización de referencia: Barrios el corazón, las independencias, nuevos conquistadores y El salado. Comuna 13, municipio de Medellín	
Resumen: En el Plan de Desarrollo para Medellín se incluyen cinco componentes, entre ellos el de Vivienda y Hábitat, como programas de este componente, se encuentra el de Mejoramiento Integral de Barrios, que comprende proyectos de Legalización y Mejoramiento de vivienda, titulación de predios, mejoramiento de entornos barriales y la Regularización Urbanística, como alternativa de solución a los problemas y conflictos detectados en estos sectores mediante acciones que consideren esta dinámica, integren la ciudad urbana y la ciudad rural buscando el mutuo beneficio. En esa dirección, el Proyecto de Regularización y Legalización Urbanística para los barrios Las Independencias, Nuevos Conquistadores, El Corazón, El Salado y Veinte de Julio localizados en la Comuna 13 de Medellín, constituyendo una materialización concreta de las políticas a nivel municipal, nacional e internacional.	
Observaciones: Información básica de geología y formaciones superficiales, variables morfométricas, geomorfología, procesos geomorfológicos, aptitud geológica del suelo y caracterización de las zonas de riesgo de los polígonos objeto de este estudio. Este estudio presenta una caracterización general de las microcuencas entre las que se identifica la quebrada Ana Díaz	

<b>Título</b>	<b>Estudio hidrológico e hidráulico de la quebrada Guapante</b>
Autor (es)	Consorcio Estudios y Diseños 2010
Año	2010
Localización de referencia: Municipio de Medellín, Vertiente noroccidental.	
Resumen: Estudio de consultoría para la solución de una problemática hidráulica con diseño de obras. Sector El Corazón	
Observaciones: Se retoma este estudio para realizar verificación del estimativo hidrológico y parámetros hidráulicos.	

<b>Título</b>	<b>Descripción de zonas homogéneas - Microzonificación sísmica del área urbana de Medellín</b>
Autor (es)	Alcaldía de Medellín
Año	2011
Localización de referencia: Municipio de Medellín	

Resumen: Después de entrar en vigencia la norma NSR-2010 y el estudio de Microzonificación sísmica del 2007, se definieron 14 zonas homogéneas para el municipio de Medellín de acuerdo con el comportamiento particular de los diferentes tipos de suelos frente a los sismos. También se presenta el mapa con la distribución espacial de estas zonas y los coeficientes espectrales para los sismos de control de daños y de diseño para cada una de éstas, valores que corresponden a la aceleración máxima esperada en la superficie del terreno.

Observaciones: De esta información se obtiene el valor de aceleración máxima en el terreno para el sismo para los análisis geotécnicos de estabilidad de las laderas.

<b>Título</b>	<b>Estudio hidrológico e hidráulico de la quebrada Betania</b>
Autor (es)	GMS-DEACIVIL-INGEDELTA
Año	2012
Localización de referencia: Municipio de Medellín, Vertiente noroccidental.	
Resumen: Estudio de consultoría para la solución de una problemática hidráulica con diseño de obras. Obras de estabilización de taludes como muro de contención. Diseño de una cobertura y canal escalonado en CL 34A 116-11	
Observaciones: Se retoma este estudio para realizar verificación del estimativo hidrológico y parámetros hidráulicos.	

<b>Título</b>	<b>Formulación, planificación y estudios técnicos del proyecto cinturón verde metropolitano, en el área perteneciente al municipio de Medellín, Escala Media: Formulación de planes maestros del cinturón verde metropolitano en Medellín / Empresa de Desarrollo Urbano ; Departamento Administrativo de Planeación</b>
Autor (es)	Empresa de Desarrollo Urbano Municipio de Medellín
Año	2013
Localización de referencia. Municipio de Medellín, Vertiente nororiental.	
Resumen: El documento desarrolla el diagnóstico y la formulación de 14 planes maestros para las áreas del CVM. Se identificaron las problemáticas y potencialidades del territorio, se plantearon los objetivos y estrategias específicas para cada tipo de borde, y se establecieron las diferentes tipologías de proyecto. Así mismo se definieron los proyectos a priorizar para una intervención a mediano plazo (tomado de la metodología)	
Observaciones: Se retoma este estudio para realizar verificación del estimativo hidrológico y parámetros hidráulicos.	

<b>Título</b>	<b>Revisión y ajuste del Plan de Ordenamiento Territorial de Medellín. Acuerdo 48 de 2014</b>
Autor (es)	Alcaldía de Medellín
Año	2014
Localización de referencia: Municipio de Medellín, Vertiente noroccidental.	
Resumen: Plan de Ordenamiento Territorial se consigna el conjunto de objetivos, directrices, políticas, estrategias, metas, programas, actuaciones y normas para orientar y administrar el desarrollo físico del territorio y la utilización del suelo urbano y rural del municipio de Medellín.	
Observaciones: El acuerdo 48 de 2014, define las zonas con condiciones de riesgo y las zonas de amenaza alta, que son objeto para la elaboración de los estudios de riesgo o de amenaza de detalle que definan su mitigabilidad o no. Dichos estudios, determinarán la posibilidad de desarrollo del suelo o su permanencia dentro de la categoría de suelo de protección. Una vez sean redelimitadas dichas zonas, les aplicarán las demás normas generales del polígono en el que se ubiquen.	

<b>Título</b>	<b>Mapa de procesos morfodinámicos del área urbana del municipio de Medellín</b>
Autor (es)	Alcaldía de Medellín
Año	2017
Localización de referencia: Medellín	
Resumen: La información relacionada con visitas a diferentes sectores de la ciudad, donde han ocurrido emergencias por diferentes fenómenos (movimientos en masa, inundaciones, incendios, etc) son consignadas en fichas y mapas que permiten tener construir un registro histórico de los eventos en la ciudad.	
Observaciones: Los datos de obtenidos de esta información permite reportar los eventos ocurridos en cada polígono para entender el contexto de la morfodinámica del sector.	

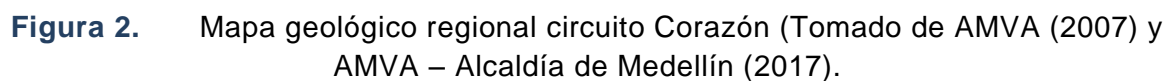
## **5. CARACTERISTICAS GENERALES**

A continuación, serán descritas la geología y geomorfología regional buscando contextualizar estas variables en el área de estudio.

### **5.1. GEOLOGÍA REGIONAL**

En el valle de Aburrá se encuentra una amplia diversidad litológica y estructural asociada a la dinámica de los procesos endógenos y exógenos, que marcan la configuración actual del área de estudio. Varios autores han abordado el tema de la composición de los materiales. En la Figura 2 se describen las unidades litológicas en orden estratigráfico y en el siguiente mapa se presentan su distribución espacial de acuerdo con la propuesta de AMVA (2007) y AMVA – Alcaldía de Medellín (2017), de este último trabajo se conserva también el nombre de las unidades.





## 5.1.1. Estratigrafía

A nivel regional se identificaron cinco unidades geológicas que se describen a continuación.

- **Metabasitas de El Picacho (JKmbP)**

Corresponde al antes denominado Metagabro de El Picacho por Correa *et al.* (2005) y que junto con la Dunita de Medellín hacen parte del Complejo Ofiolítico de Aburrá, sin embargo, Restrepo (2008) renombra la unidad como Metabasitas de El Picacho y está conformada por las rocas del Metagabro de El Picacho, donde se identifica la textura gabróica reliquia y por las Anfibolitas de La Espadera – Chupadero, que son anfibolitas esquistosas; adicionalmente incluye otros cuerpos menores de metagabropegmatitas, y esquistos y granofelses clorítico – actinolíticos.

El Metagabro de El Picacho tiene un protolito ígneo y se caracteriza por un bandeamiento composicional definido por capas centimétricas a decimétricas, unas ricas en minerales ferromagnesianos y otras ricas en minerales félsicos; también se puede presentar un bandeamiento estructural, con alternancia de bandas de grano grueso a muy grueso con bandas de grano fino. Los minerales principales son clinopiroxeno y plagioclasa; los minerales secundarios son anfíboles, plagioclasa y en menor cantidad cuarzo, epidota y ópacos (Correa et al., 2005).

Los afloramientos son escasos y se presentan en ventanas erosivas donde se observa la roca, por lo general está meteorizada y en pocos casos se encuentra en estado fresco. El suelo residual del metagabro y la anfibolita, no conservan la estructura de la roca original y alcanza espesores de 25 m. Estos suelos se caracterizan por el color gris claro, ligeramente moteado de blanco, también se puede presentar amarillo y amarillo rojizo, con predominio de una granulometría limo arcillosa. También se encuentra como cantos y bloques en depósitos de vertiente y algunos depósitos aluviotorrenciales (AMVA, 2007).

- **Stock de Altavista (Kda)**

Este plutón es también conocido como la Diorita de Altavista, y constituye un stock de 83 km<sup>2</sup>, con forma alargada y paralela a la tendencia de las estructuras geológicas del área donde aflora (González y Londoño, 2002).

Se caracteriza por presentar una amplia variedad petrográfica, textural y estructural, por lo que se han definido tres facies: una facies diorítica, una facies félsica y una

facies de dique. De acuerdo con esto, se encuentran diferentes tipos de roca como dioritas, cuarzodioritas, granitos y eventualmente pórfidos con matriz afanítica (González y Londoño, 2002).

Adicionalmente, González y Londoño (2002) indican que las rocas granulares presentan colores muy oscuros, casi negro hasta gris medio a claro, y las rocas porfíricas son de color gris verdoso; la textura varía de fanerítica granular fina a porfírica y a medida que se acerca a las zonas de contacto presenta zonas de brecha.

Las rocas están intensamente meteorizadas y desarrollan suelos con espesores hasta de 45 m, en los cuales la textura y la granulometría dependen de la facies de la roca parental. Los suelos más desarrollados están en los topes de las cuchillas y en las vertientes suaves, donde hay una capa superficial de suelo maduro de textura limo arcillosa y color claro, seguido por un saprolito limoarenoso que conserva rasgos de la roca parental. En las partes bajas se conserva la transición suelo – roca de poco espesor (AMVA, 2007).

- **Depósitos no litificados:**

Un conjunto de depósitos no litificados que están suprayaciendo con las rocas antes descritas se presentan en el área de interés. Se encuentran depósitos de diferentes edades, que de acuerdo con las características que exhiben en cuanto a grado de consolidación, madurez y grado de incisión son considerados de edades anteriores al Cuaternario y por medio de las relaciones entre ellos son agrupados por eventos. En este grupo se encuentran:

**Los flujos de escombros y/o lodos (NQpreI, NQFI, NQFII, QFIII, QFIV, QFa)** representan una serie de eventos relacionados con depósitos de vertiente, donde los depósitos más antiguos se localizan en la parte media y alta de las laderas y los más jóvenes están en la parte baja de éstas. Estos depósitos se caracterizan por la variación en la relación matriz/bloques, la cual confiere el carácter de flujo de lodos o flujo de escombros a los eventos, y aunque esta proporción está muy relacionada con la fuente de donde se originaron los depósitos, también es frecuente encontrar una mezcla de ambos depósitos para un único evento. En términos generales se componen por un conjunto de bloques de roca que presentan diferentes grados de meteorización y están embebidos en una matriz más fina, por lo general arcilla o limo, que también puede estar meteorizada (AMVA, 2007).



**Los depósitos aluviales (Qal)** se presentan conformando las llanuras de inundación y terrazas aluviales de las corrientes. Son superficies suaves, generalmente planas, conformadas por clastos que tienen una selección moderada, alto grado de redondez y ligera imbricación (AMVA, 2007).

**Los depósitos aluviotorrenciales (Qat)** se caracterizan por su composición heterogénea, donde el tamaño de sus componentes varía desde bloques rocosos hasta arenas finas y limos. Estos depósitos están asociados a cuencas de montaña, donde los canales tienen altas pendientes y se desarrollan flujos turbulentos con alta energía, que moviliza materiales de diferente granulometría hasta encontrar zonas de pendientes suaves aledañas al cauce, donde se depositan los materiales (AMVA, 2007).

**Los depósitos de deslizamiento (Qd).** Se caracterizan por bloques de roca en matriz limo arcillosa. Los bloques pueden alcanzar unos tres metros de diámetro y varían desde angulosos a subredondeados (AMVA, 2007).

**Llenos antrópicos (QII):** Constituyen depósitos artificiales, con una composición muy heterogénea, incluyendo aquellos materiales homogéneos conformados con algunas normas técnicas, y materiales mixtos tales como basura, materia orgánica y escombros vertidos sin disposiciones geotécnicas adecuadas. También se consideran llenos antrópicos las acumulaciones artificiales realizadas para la construcción de obras de infraestructura (AMVA, 2007).

## 5.2. GEOMORFOLOGIA REGIONAL

La zona de estudio se ubica en la zona más septentrional de la cordillera Central, asociada directamente al valle del río Medellín - Porce. La caracterización geomorfológica retoma la interpretación desarrollado por el Área Metropolitana en el estudio de Microzonificación sísmica del Valle de Aburrá, donde jerarquiza el valle en unidades de Paisaje, Macrounidades y unidades geomorfológicas.

De acuerdo a esta metodología, la zona de estudio se encuentra enmarcada en la siguiente clasificación geomorfológica.

**Tabla 2.** Clasificación geomorfológica regional

UNIDAD DE RELIEVE	UNIDAD DE PAISAJE	MACROUNIDAD	UNIDAD GEOMORFOLÓGICA
Norte de la cordillera central	Valle de Aburrá -Valle Medio (VM)	Bloque Itagüí San Cristóbal (VM-BISC)	Colinas en suelos residuales
			Superficies suaves en depósitos poco incisados
			Superficies suaves en depósitos moderadamente incisados
			Escarpes semicirculares superiores
			Lomos
		Bloque Fondo de valle (VM_BFV)	Llanura aluvial

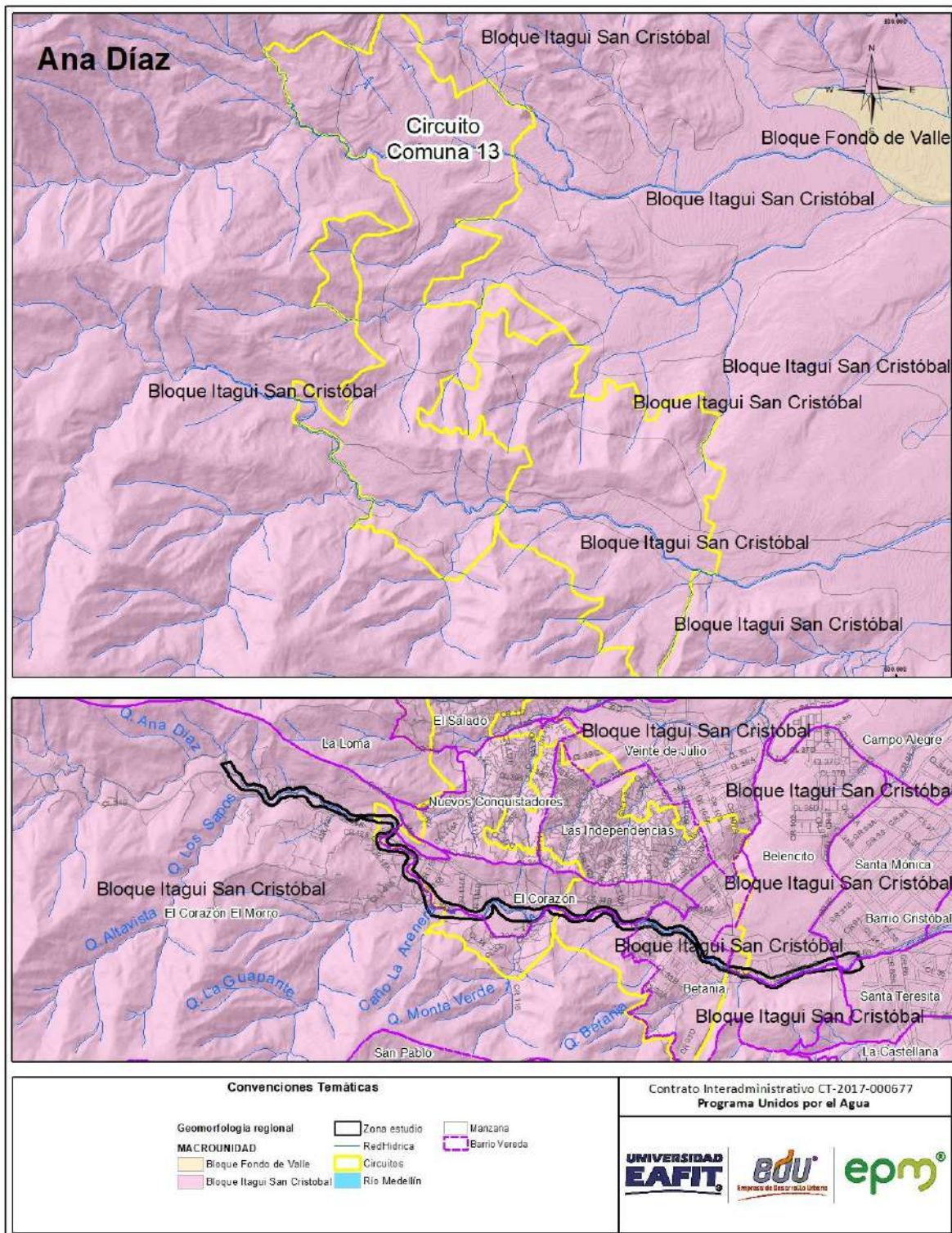
En la Figura 3 y Figura 4 se presentan las macrounidades y unidades geomorfológicas que se definen para los polígonos de interés.

### 5.2.1. Valle de Aburrá Medio (VM)

Este bloque corresponde casi a la totalidad del municipio de Medellín. Se caracteriza por ser ancho, con un fondo amplio y plano, delimitado por superficies suaves en distintos depósitos de vertiente, sistemas de colinas y lomos que terminan en la parte más alta en escarpes lineales que marcan el límite del valle y los altiplanos (AMVA, 2006)

En el Valle Medio se identificaron 12 bloques atendiendo a consideraciones de forma, ancho, orientación y contexto geomorfológico y rasgos tectónicos. La zona de estudio tiene influencia directa sobre dos de estas macrounidades.

Cada uno de los bloques es descrito a partir de sus características geomorfológicas y geológicas desarrolladas en el estudio de Microzonificación Sísmica del Valle de Aburrá (Figura 3).



**Figura 3.** Mapa regional de macrounidades de del circuito Corazón (Tomado de AMVA, 2007)



- **Bloque Itagüí – San Cristóbal (VM-BISC).**

Esta área se ubica sobre la vertiente occidente de la ciudad de Medellín, involucrando el área de la cuenca de las quebradas El Salado y Ana Díaz, en la zona de estudio. Geológicamente está caracterizada sobre las rocas del Stock de Altavista, Metabasitas y los depósitos de vertiente.

La presencia de lomos regionales de tendencia W-E es la característica fundamental de esta macrounidad. Dichos lomos forman valles en “V” de fondo estrecho con vertientes largas, rectas a cóncavas y de inclinación moderada a localmente empinadas. Hacia las cabeceras las laderas rematan en escarpes semicirculares, evidencia del proceso remontante del frente erosivo del río Aburrá. El tope de los lomos es en general estrecho y redondeado, con pendientes longitudinales suaves moderadas. Se presentan en general relieves relativos menores y se conforman sistema de colinas medias a altas con base circular y laderas empinadas (AMVA, 2006).

En el área de influencia del presente estudio, se identifican las siguientes unidades geomorfológicas al interior de esta macrounidad.

**CSR - Colinas en suelo residual:** Esta unidad se localiza generalmente cerca de los lomos o en la terminación de los mismos. Presentan formas redondeadas con topes planos a ligeramente convexos. Las pendientes son moderadas y tienen un moderado grado de incisión (AMVA, 2007). En la zona está asociada a suelos residuales del Stock de Altavista.

**SSDMI - Superficies Suaves en Depósitos Moderadamente Incisados:** Son geoformas continuas de inclinación suave a moderada y modeladas sobre depósitos de vertiente del tipo flujos de lodos y/o escombros. Presentan un grado de incisión moderado (AMVA, 2007). Regionalmente esta unidad se localiza sobre ambas márgenes de las quebradas La Hueso, Ana Díaz y afluentes.

**SSDPI - Superficies Suaves en Depósitos Poco Incisados:** Caracterizada por laderas continuas de inclinación suave a moderada y modeladas sobre depósitos de vertiente del tipo flujos de lodos y/o escombros. Presentan un grado de incisión baja a muy baja (AMVA, 2007). Regionalmente se ubican sobre ambas márgenes de la quebrada Ana Díaz.

**ESCS – Escarpes semicirculares superiores:** Son geoformas ubicadas entre zonas escarpadas en superficies rocosas hacia los límites de los altiplanos,

presentan además fuertes pendientes (AMVA, 2007). Regionalmente se ubica al oriente de la zona de estudio.

**L – Lomos:** Son filos alargados y estrechos con orientación hacia el eje fluvial principal. Son las unidades dominantes y de mayor cobertura dentro del área de estudio (AMVA, 2007). Esta unidad está asociada al Stock de Altavista en la zona de estudio

- **Bloque Fondo del valle**

Corresponde como su nombre lo dice, al fondo del valle del río, caracterizada por ser una zona conformada casi en su totalidad por depósitos aluviales y aluviotorrenciales, con esporádicas ventanas erosivas de rocas metamórficas entre los que se identifican los cerros el Volador y Nutibara. Es una zona de pendientes rectas a levemente cóncavas en su cercanía a las vertientes occidental y oriental del valle. Estas zonas están relacionadas a los eventos de depositación del río Medellín y su red de drenaje asociada.

En esta Macrounidad se identificó una unidad geomorfológica.

**LLA - Llanura Aluvial:** Esta unidad en la zona de estudio, involucra el cauce y las riberas de la quebrada Ana Díaz y algunas de sus quebradas o tributarios principales. Es una forma continua, de pendientes suaves y topografía plana; contiene materiales producto de la sedimentación aportada por estas corrientes (AMVA, 2007).





## 5.3. TECTÓNICA REGIONAL

Debido a la localización en el flanco Oeste de la Cordillera Central, la tectónica del Valle de Aburrá está dominada por las fallas del Sistema Cauca-Romeral; el cual atraviesa el territorio nacional con una dirección aproximada N-S. Este sistema está compuesto por dos grupos de estructuras, hacia el oeste se tiene el sistema Cauca y al Este el sistema Romeral. Este último sistema es el más cercano a la ciudad de Medellín.

La Falla de San Jerónimo representa la traza más oriental del Sistema de Fallas de Romeral y su zona de incidencia transcurre por jurisdicción de algunos municipios del Área Metropolitana de Medellín. Dinámica y estructuralmente se reconocen al menos tres eventos deformacionales asociados a su actividad, en regímenes dúctil, frágil cohesivo, y frágil no cohesivo. El régimen tectónico analizado, revela acortamiento E-W y desplazamientos inversos para gran parte de las deformaciones registradas (Ordoñez, et al, 2005).

La traza principal de la zona de falla tiene un rumbo N-S a N15W, con un buzamiento de alto ángulo al E.

### 5.3.1. Sistema de Fallas

A continuación, se describen las características regionales, de las fallas reportadas a lo largo del corredor evaluado:

- *Falla de Iguaná – Boquerón*

En la zona de interés se identifica el trazo de esta falla con dirección N80°W – N20°W (AMVA, 2007). Sobre la zona de estudio no se observan controles geomorfológicos e hídricos asociados al trazo de esta falla. Adicionalmente, se encuentran lineamientos con tendencia SW-NE y NW – SE (Figura 2).

## 6. CONDICIONES GEOLÓGICAS LOCALES DEL POLÍGONO ANA DÍAZ

A continuación, se describen los resultados del proceso de la fotointerpretación y se presentan las condiciones geológicas y geomorfológicas encontradas a partir de los recorridos de campo.

### 6.1 FOTOINTERPRETACIÓN

El análisis multitemporal de fotografías aéreas y orto fotos permite identificar las condiciones morfológicas y la evolución de los procesos morfodinámicos, además de la dinámica de la actividad antrópica. A continuación, se presenta el listado de las fotografías aéreas empleadas (Tabla 3) al igual que la interpretación realizada, como insumo preliminar de campo.

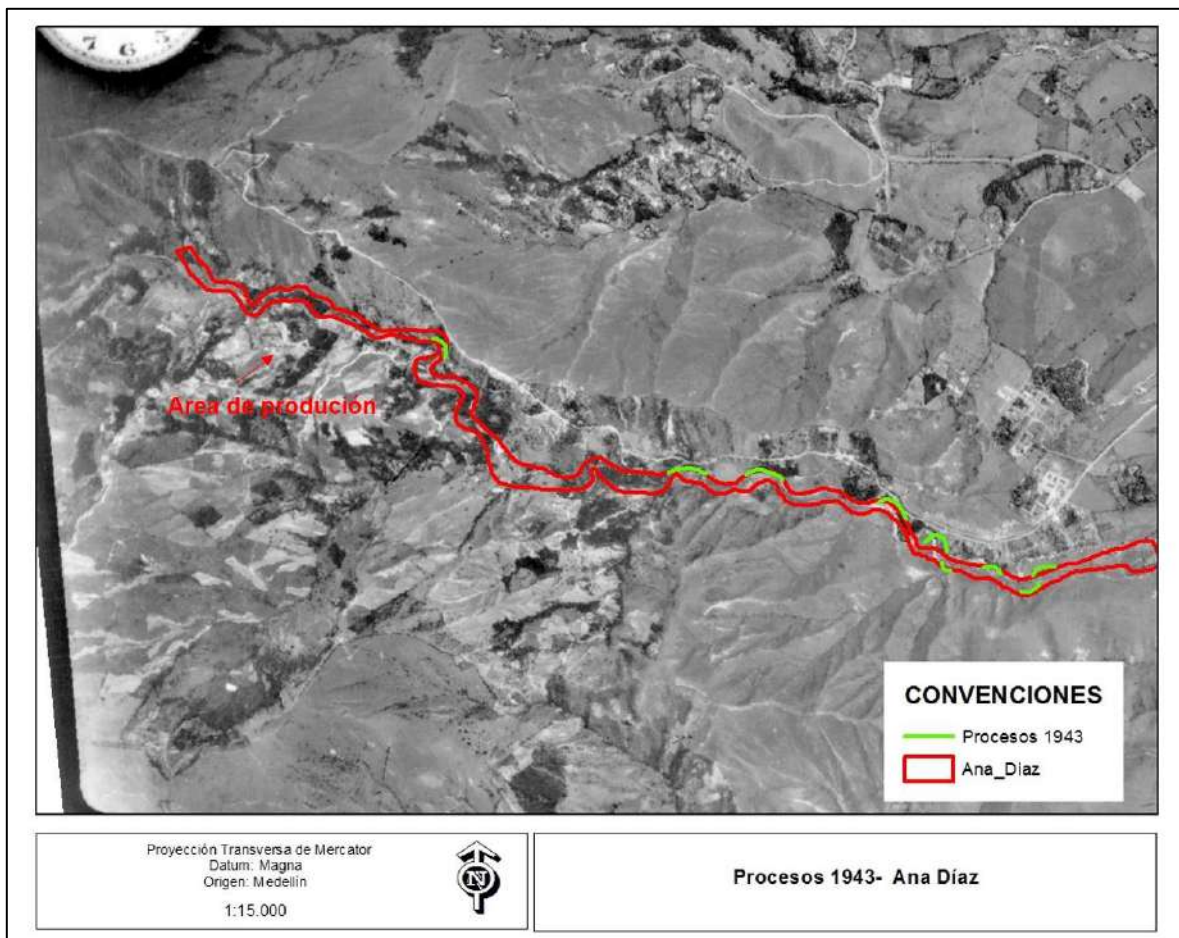
**Tabla 3.** Fotografías aéreas empleadas para el proceso de fotointerpretación

Zona	Vuelo	Faja	Fotos	Año
Quebrada Ana Díaz	C393	22	776 - 777	1943
	C1261		164-165	1969
	Ortofoto cinturón verde			2012

La sección de la quebrada Ana Díaz que hace parte de la zona de estudio se caracteriza por ser de baja gradiente, sinuosa y con un canal amplio.

Se identificaron tres fechas en las que se puede realizar una exploración general de procesos, debido a la calidad y escala de las imágenes se dificulta este ejercicio.

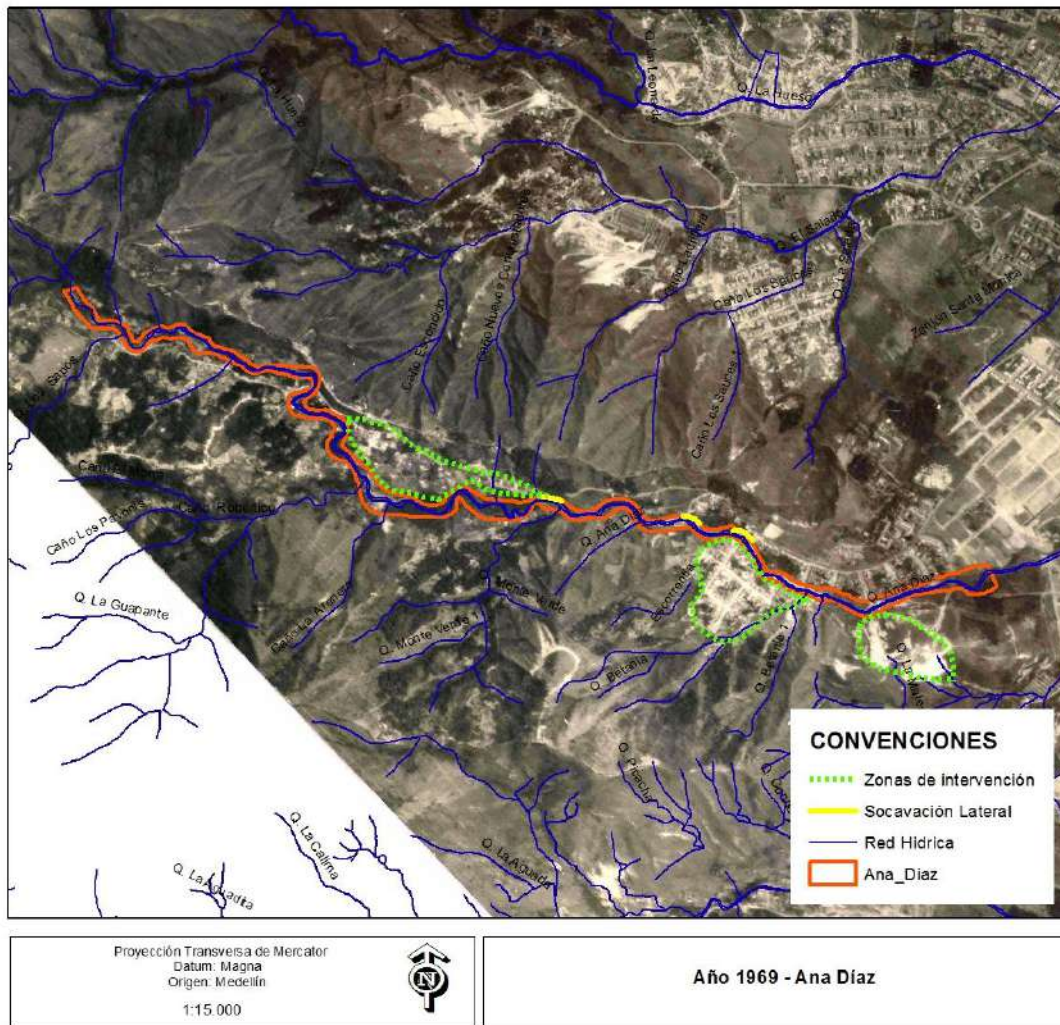
En el año 1943 se observan muy poca infraestructura de viviendas hacia el oriente del polígono Ana Díaz; así como la existencia de la calle 34 B que pasa paralela a esta corriente por la margen izquierda. La quebrada se caracteriza por ser una corriente sinuosa donde se identifican zonas con erosión lateral de cauce, pero a esta escala no se identifican deslizamientos en sus vertientes. A la fecha no se han realizado obras de control y canalización del cauce de la quebrada (Figura 5).



**Figura 5.** Fotografía aérea de 1943, polígono Ana Díaz

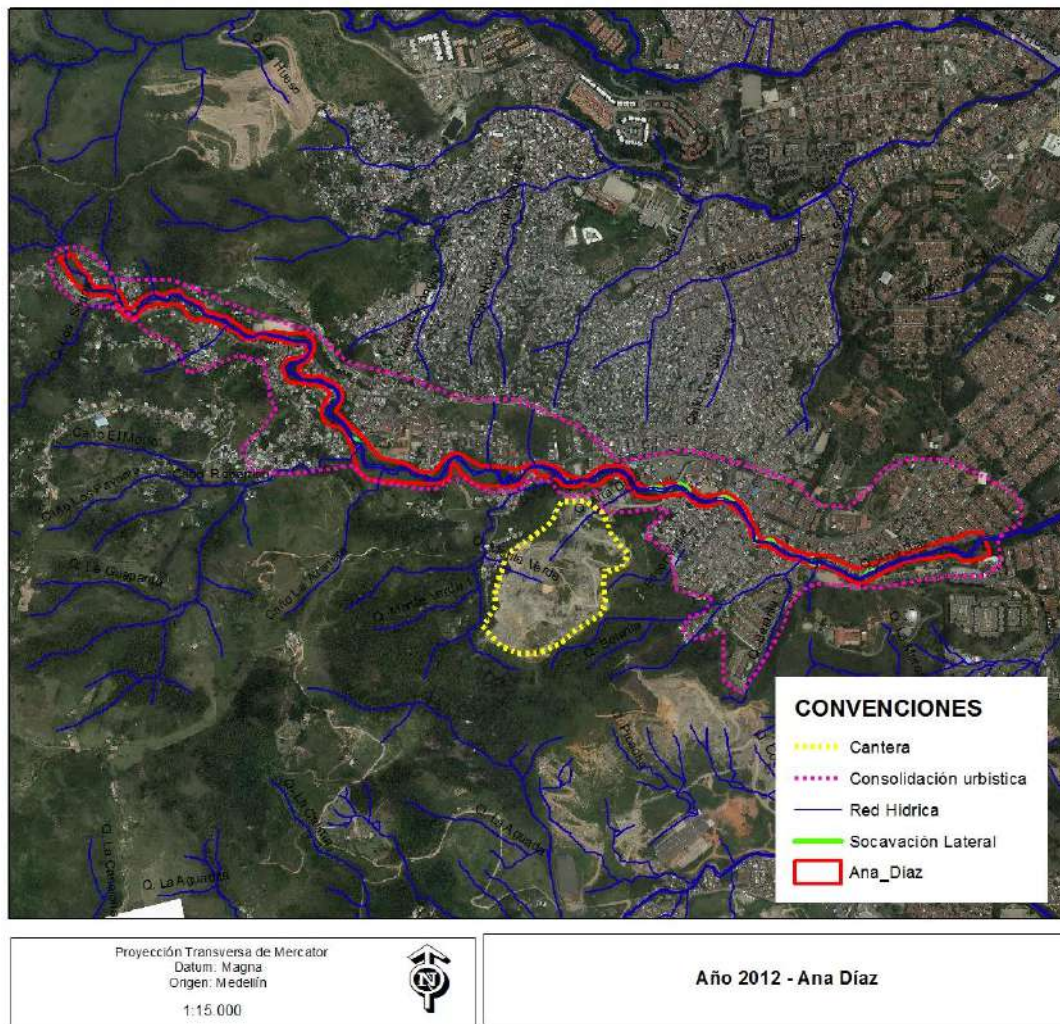
Para el año 1969 la corriente presenta las mismas características de sinuosidad que para la fecha anterior, no se observan cambios significativos. En relación a la dinámica regional de la zona, se presenta una consolidación urbanística en tres sectores aledaños a la quebrada ya hay asentamientos consolidados, en lo que hoy son los barrios Betania y Corazón. Se observan a esta escala escasos procesos de socavación lateral, valor que se asume por la baja resolución de la aerofotografía (Figura 6).





**Figura 6.** Fotografía aérea de 1969, polígono Ana Díaz

Para el año 2012 se observa una consolidación total sobre ambas márgenes de la quebrada Ana Díaz, que trajo consigo un alto crecimiento en la construcción de barrios, aparición de canteras y por consiguiente afectación directa a la dinámica de la quebrada, estos cambios se reflejan en modificaciones del canal principal, los cuales se presentara en el ítem de morfodinámica. A esta fecha se identificaron procesos de socavación lateral de cauce, concentrados hacia la sección media y oriental del polígono de estudio (Figura 7).



**Figura 7.** Fotografía aérea de 2012.

Para las tres fechas evaluadas y a pesar de que desde las aerofotografías no se logró realizar un análisis a detalle de morfología de la zona de estudio, se puede generalizar que la geomorfología presentó modificaciones relacionadas al proceso de poblamiento y consolidación urbanística, que trae consigo impermeabilización de las vertientes aledañas a la quebrada y cambios en la dinámica hídrica, así como la generación de nuevas unidades antrópicas.

En el siguiente mapa donde se presentan los diferentes procesos de socavación lateral identificados en la fotointerpretación; cómo se puede observar, la sección oriental del polígono de estudio, es la que presenta la mayoría de los procesos morfodinámicos y evidencia en las tres fechas analizadas, sector que coincide con



**CONVENCIONES**

- Procesos 1943
- Procesos 1969
- Procesos 2012
- Red Hídrica
- Ana\_Díaz

Proyección Transversa de Mercator  
Datum: Magna  
Origen: Medellín  
1:15.000

**Procesos - Ana Díaz**

## 6.2 UNIDADES GEOLÓGICAS PARA INGENIERÍA

**UNIVERSIDAD EAFIT®**



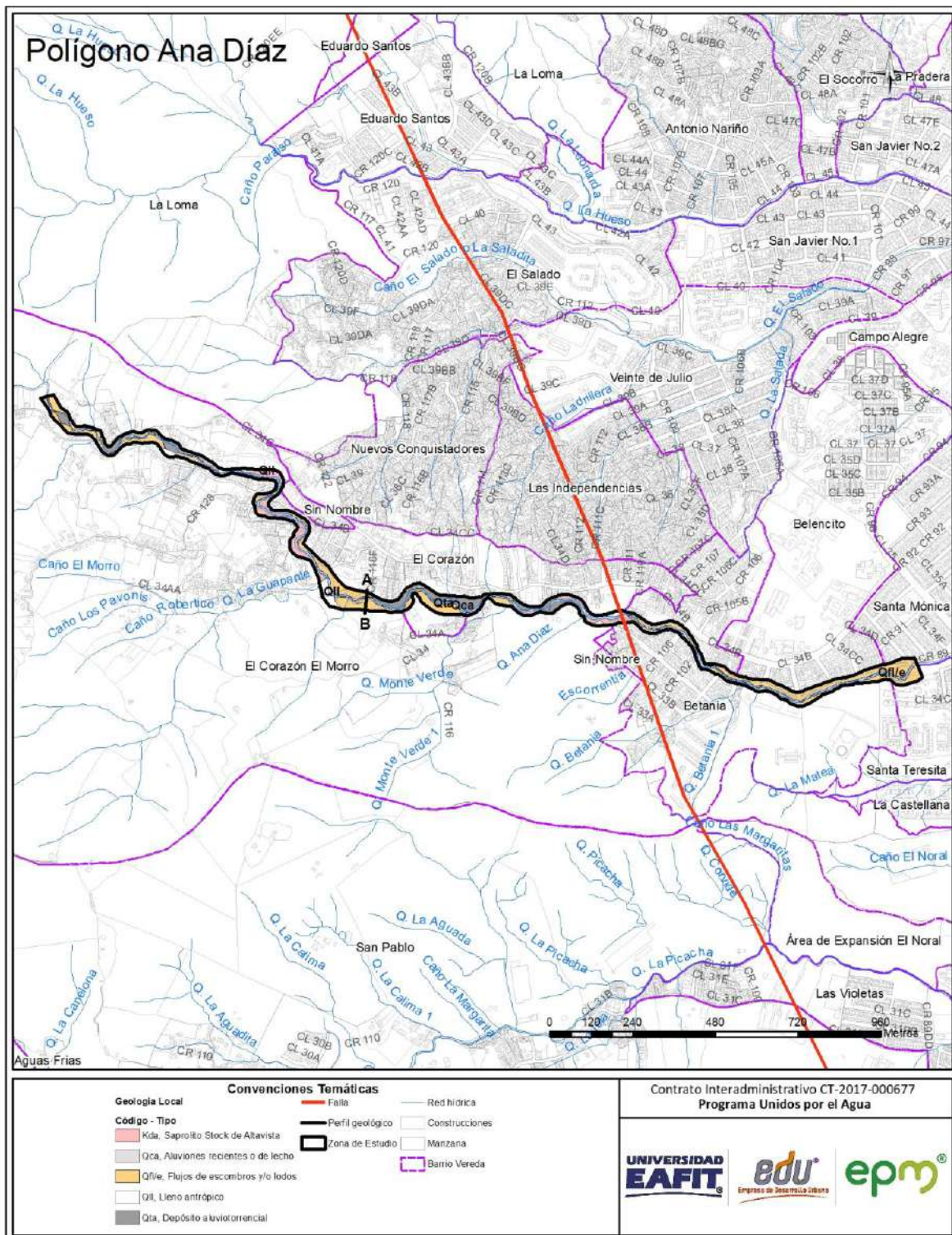
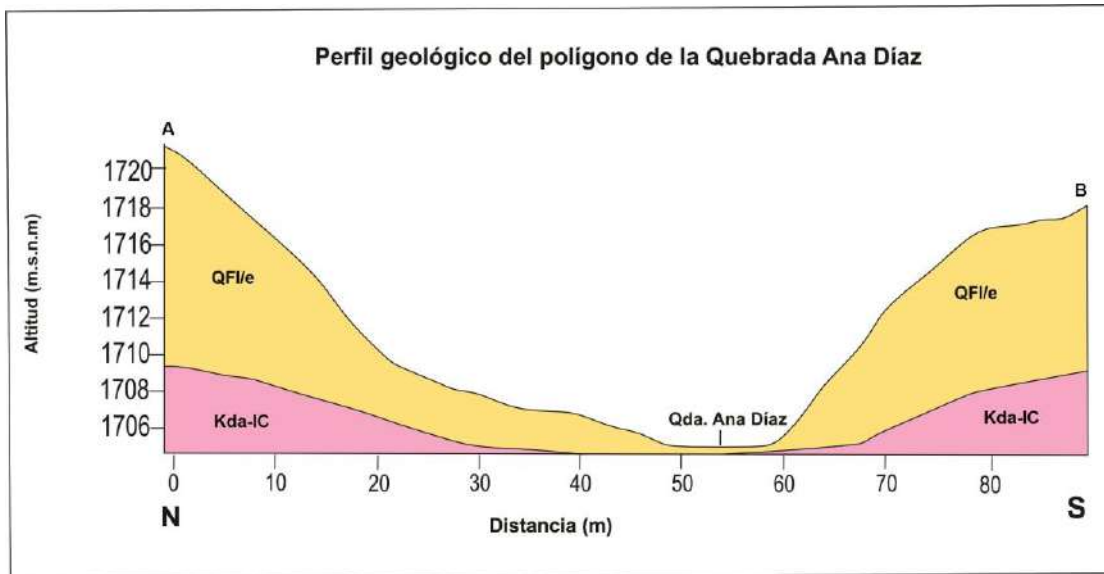


Figura 9. Geología local del polígono Ana Díaz

A continuación, se describen las unidades geológicas para ingeniería identificadas para la zona de estudio, teniendo en cuenta para su caracterización recorridos de campo y las disposiciones estructurales regionales; no se identificaron afloramientos con presencia de estructuras que permitan un análisis de la tendencia estructural del sector. En la Figura 10 se presenta el perfil geológico generalizado del polígono Ana Díaz, donde se muestran las relaciones estratigráficas del sector.



**Figura 10.** Perfil geológico del polígono Ana Díaz

## 6.2.1 Derivado de roca in situ

**Stock de Altavista (Kda):** esta unidad representa el cuerpo rocoso del polígono Ana Díaz, caracterizado por un saprolito que se describe a continuación.

**Saprolito – nivel IC (Kda-IC):** Esta unidad se ubica en pequeños sectores sobre ambas márgenes de la quebrada; a nivel de este afloramiento se define como saprolito, caracterizado por una textura predominante limo-arenosa, con color crema amarillento y crema rojizo y donde es visible aun la textura de la roca, evidenciado en la identificación de minerales máficos y minerales claros meteorizados, como es el caso de la plagioclasa; en general este material es fácilmente deleznable (Figura 11).





**Figura 11.** Saprolito del Stock de Altavista, margen izquierda de la quebrada a la altura de la calle 34b con carrera 113c

## 6.2.2 Depósitos de vertiente

En esta categoría se identifican depósitos de vertiente relacionados a los flujos de lodo y escombros, ubicados sobre ambas márgenes de la quebrada Ana Díaz.

**Flujos de lodos y escombros (Qfl/e):** Esta unidad se identifican en ambas márgenes de la quebrada Ana Díaz y distribuidos indistintamente en todo el polígono de estudio. Se caracteriza a nivel de afloramiento por bloques embebidos en una matriz limo arenosa y limo arcillosa, la que es variable en proporción con respecto a los bloques, por lo que no se puede definir si es clasto soportado o matriz soportado. Los espesores de estos depósitos pueden oscilar entre uno o dos metros en cercanías de la quebrada, a espesores mucho mayores hacia la vertiente.

Estos depósitos se identificaron hacia la zona central y oriental principalmente, correspondiente a flujos con una relación aproximada de matriz/fragmentos de 60/40, con matriz limosa, de color pardo amarillento, húmeda, de consistencia blanda. Los fragmentos corresponden a Dioritas, gabros y brechas, moderadamente



meteorizados, subangulares y con tamaños variables entre 30 cm a bloques de al menos a 1 m (Figura 12).



(a)



(b)



(c)

**Figura 12.** Flujos de lodos y escombros (a) CR 89 .cll 34C, barrio El Corazón (b) Cr 130 con calle 34b, Vereda El Corazón – El Morro (c) Cr 132 con calle 34b, Vereda El Corazón – El Morro

### 6.2.3 Depósitos aluviales

En el polígono de estudio se identificaron dos tipos de depósitos aluviales, los de origen aluviotorrencial y los depósitos de cauce aluvial, que se describen a continuación:

**Depósitos aluviotorrenciales (Qat):** estos depósitos corresponden a la acumulación de materiales transportados por las corrientes, producto de las crecientes súbitas y dispuestos en las márgenes de los cauces. Se localizan sobre ambas márgenes de la quebrada Ana Díaz y se caracteriza por bloques por bloques y fragmentos heterométricos, de tamaños inferiores a 1m, una matriz arenosa a areno limosa; en la parte central del polígono de estudio, estos depósitos de mezclan con los flujos lodos y escombros. Los espesores de estos depósitos pueden oscilar entre 1 y 5 m aproximadamente. Los fragmentos presentan



meteorización leve, correspondiente a rocas ígneas asociados al Stock de Altavista (Figura 13 ).



**Figura 13.** Depósitos aluviotorrenciales y llenos sobre márgenes de la quebrada Ana Díaz

**Depósitos de cauce aluvial (Qca):** corresponde a los depósitos de la quebrada Ana Díaz y están representados por el cauce actual de la quebrada y las zonas de acumulación de materiales que se inunda, tanto en el centro del lecho como en el sector contiguo; compuesto de arena, gravas y bloques de diferentes composiciones y de tamaños que oscilan entre los pocos centímetros a bloques de hasta 1 m, presentan forma angulosa y subredondeada, hacia la sección entre las carreras 93 y 106 se observa una cantidad mayor de bloques en el cauce en relación a los observados aguas arriba y aguas debajo de este sector (Figura 14).



**Figura 14.** Depósitos de cauce aluvial de la quebrada Ana Díaz

## 6.2.4 Depósitos antrópicos

**Llenos antrópicos (QII):** Corresponden a depósitos artificiales que pueden llegar a tener una extensión y espesor importantes. La composición de estos depósitos es en extremo heterogénea, desde materiales homogéneos conformados con algunas normas técnicas hasta basura, materia orgánica y escombros simplemente vertidos, con propiedades geotécnicas pobres para cortes y capacidad portante.

Esta unidad se identificó en 7 lugares, distribuidos por todo el polígono con una mínima representación dentro de la zona de estudio, siendo el de mayor extensión el localizado a la altura de la carrera 118 con calle 34AB, compuesto por escombros, tierra y materiales de deshecho, forma irregular y espesores que oscilan aproximadamente entre 2 y 10 m (Figura 15).



(a)



(b)





(c)

**Figura 15.** (a), (b) Llenos relacionados a la construcción de vivienda, (c) Lleno en carrera 118 con calle 34AB

## 6.3 MORFOMETRÍA

Esta variable representa la distribución del grado de inclinación del terreno, definido entre la superficie del terreno y la horizontal. La pendiente, como componente del relieve, se expresa en porcentaje o grados y para su análisis se utiliza los rangos preestablecidos para la planificación.

Es importante resaltar que cada material superficial tiene un comportamiento geomecánico característico, que está fuertemente relacionado con la pendiente donde se localiza, esto permite evaluar de manera integral la susceptibilidad a movimientos en masa. Adicionalmente, el desarrollo urbanístico y el uso del suelo están restringidos por esta variable.

Para el polígono Ana Díaz, esta variable no presenta una tendencia hacia un rango específico, por el contrario, presenta una distribución importante en cada uno de los rangos.

En la Tabla 4 y Figura 16 se presenta la distribución de los diferentes rangos de pendientes para el polígono Ana Díaz:

**Tabla 4.** Distribución de la variable pendientes

Rango pendiente	Nombre	Total Área (ha)	Porcentaje (%)
1 - 3%	Muy suave	0,39	15,00
3 - 10%	Suave	0,22	8,50
10 - 25%	Inclinada	0,55	21,30
25 - 40%	Muy Inclinada	0.70	27,10
40 - 60%	Abrupta	0,43	16,70
60 - 100%	Muy Abrupta	0,27	10,60
>100%	Escarpado	0,02	0,80
		2,59	100,0%



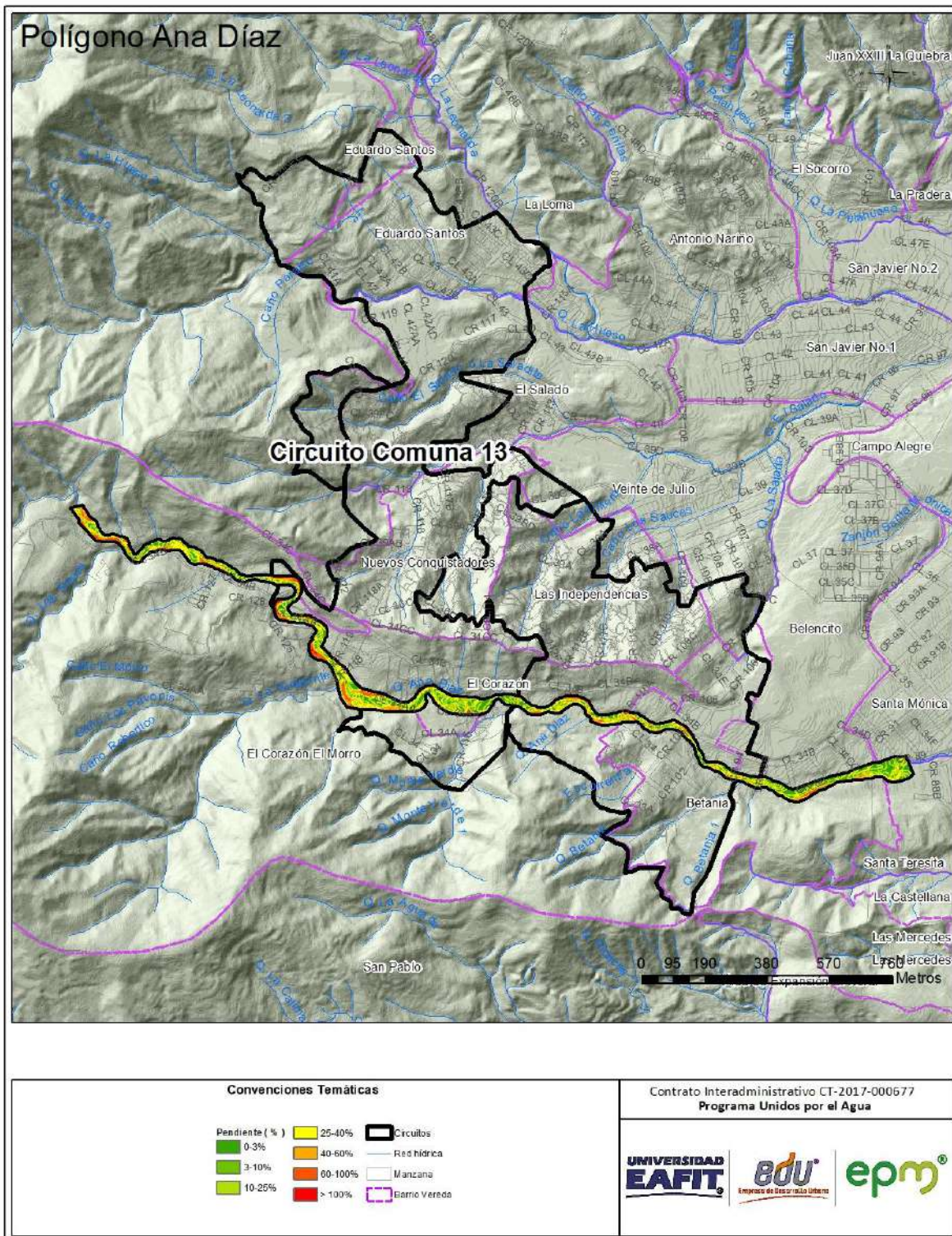


Figura 16. Mapa de pendientes del polígono Ana Díaz



A continuación, se realiza se presentan la distribución de cada uno de los rangos mencionados en la tabla anterior y para cada uno de ellos se presenta una recomendación y/o restricción general, aunque en relación a usos urbanísticos estos están prohibidos en la zona de retiro estipulado por ley, para esta corriente hídrica.

**Rango de pendientes 0 – 10%:** Corresponde a un rango que se encuentra representado en la zona en el 23,50 % del área, correspondiente a las pendientes suaves y muy suaves distribuidas en pequeñas áreas por todo el polígono, las más representativas corresponden a las llanuras en las inmediaciones de: calle 34 B con carrera 132 y en el tramo de la quebrada comprendido entre las carrera 113E y carrera 119 (Figura 17).

En este rango de pendientes, la topografía no condiciona el diseño urbanístico, pero se recomienda el cuidado con respecto a cumplir las normas técnicas en la elaboración de cortes, banquetes y llenos que normalmente son requeridos para un desarrollo urbanístico



**Figura 17.** Unidad de llanuras con pendientes en el rango entre 0 -10%

**Rango de pendientes 10% – 25%:** Está representando el 21,30 % del área de interés. Se encuentra distribuido en áreas muy pequeñas sobre ambas márgenes de la quebrada, los sectores más representativos de este rango se ubican en: carrera 118 con calle 34AA, en sectores sobre ambas márgenes en la calle 34 B entre las carreras 130 y 132 (Figura 18).

En este rango de pendientes, la topografía condiciona moderadamente el diseño urbanístico, se requiere cuidado en el desarrollo de cortes para carreteras, banquetes para el establecimiento de viviendas y llenos.



**Figura 18.** Zonas con pendientes en el rango entre 10% – 25%

**Rango de pendientes 25% - 40%:** Este rango es el de mayor representación en la zona de estudio, se encuentra distribuido por toda el área sin una tendencia específica, aun así, se puede apreciar en el tramo de la quebrada entre las carreras 119A y 128 y entre las carreras 110ª y 112B, áreas en este rango. Esta categoría está representada por el 27,10% del área (Figura 19).

En este rango de pendientes, la topografía condiciona de manera importante el desarrollo urbanístico, por lo que se requiere de un estudio geológico – geotécnico de detalle para su desarrollo y donde igualmente se incluyan las recomendaciones de manejo y las obras de mitigación a llevar a cabo en caso de ser necesaria la realización de cortes o llenos para la apertura de vías de acceso, o la ocupación urbana.





**Figura 19.** Sectores con pendientes en el rango entre 25% - 40%

**Rango de pendientes 40% - 60%:** Representa el 16,70% del área del polígono; se encuentra con mayor recurrencia en la sección occidental y central del polígono de estudio, son pequeños sectores distribuidos a lo largo de ambas márgenes y relacionada directamente a los taludes de la quebrada (Figura 20).

Las pendientes con este porcentaje no son aptas para urbanizaciones continuas, es un rango con características condicionadas para procesos urbanísticos y regularmente requiere obras de mitigación para su adecuación y manejo.



**Figura 20.** Áreas con pendientes en el rango entre 40% - 60% parte alta del polígono Ana Díaz

**Rango de pendientes > 60%:** este rango de pendientes representa el 11,40 % del área de estudio y está directamente relacionado al rango anterior, su distribución está representada en áreas pequeñas sin una tendencia específica.

Las pendientes con este porcentaje no son aptas para urbanizaciones continuas, es un rango con características condicionadas para procesos urbanísticos y regularmente requiere obras de mitigación para su adecuación y manejo (Figura 21).

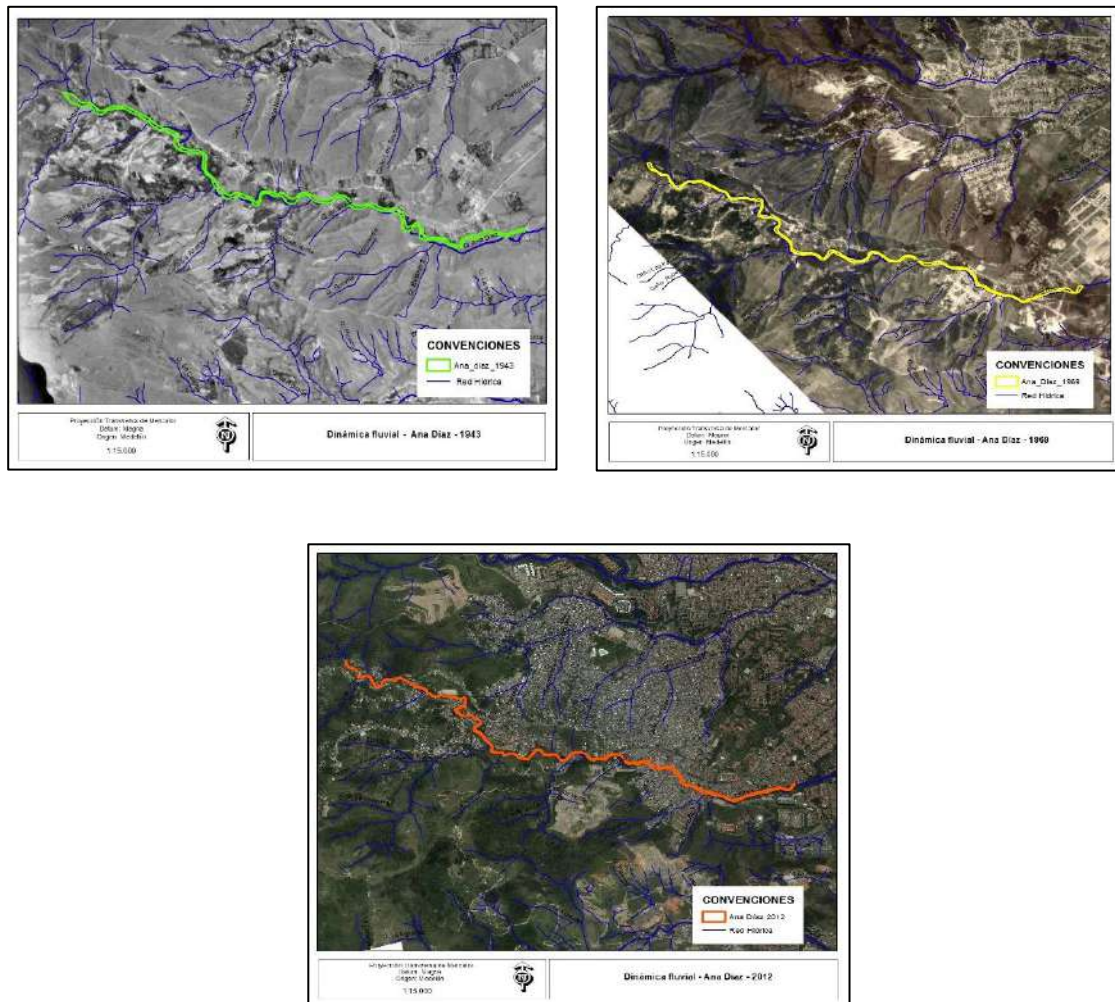


**Figura 21.** Sectores con pendientes en el rango >60%

## 6.4 DINÁMICA FLUVIAL

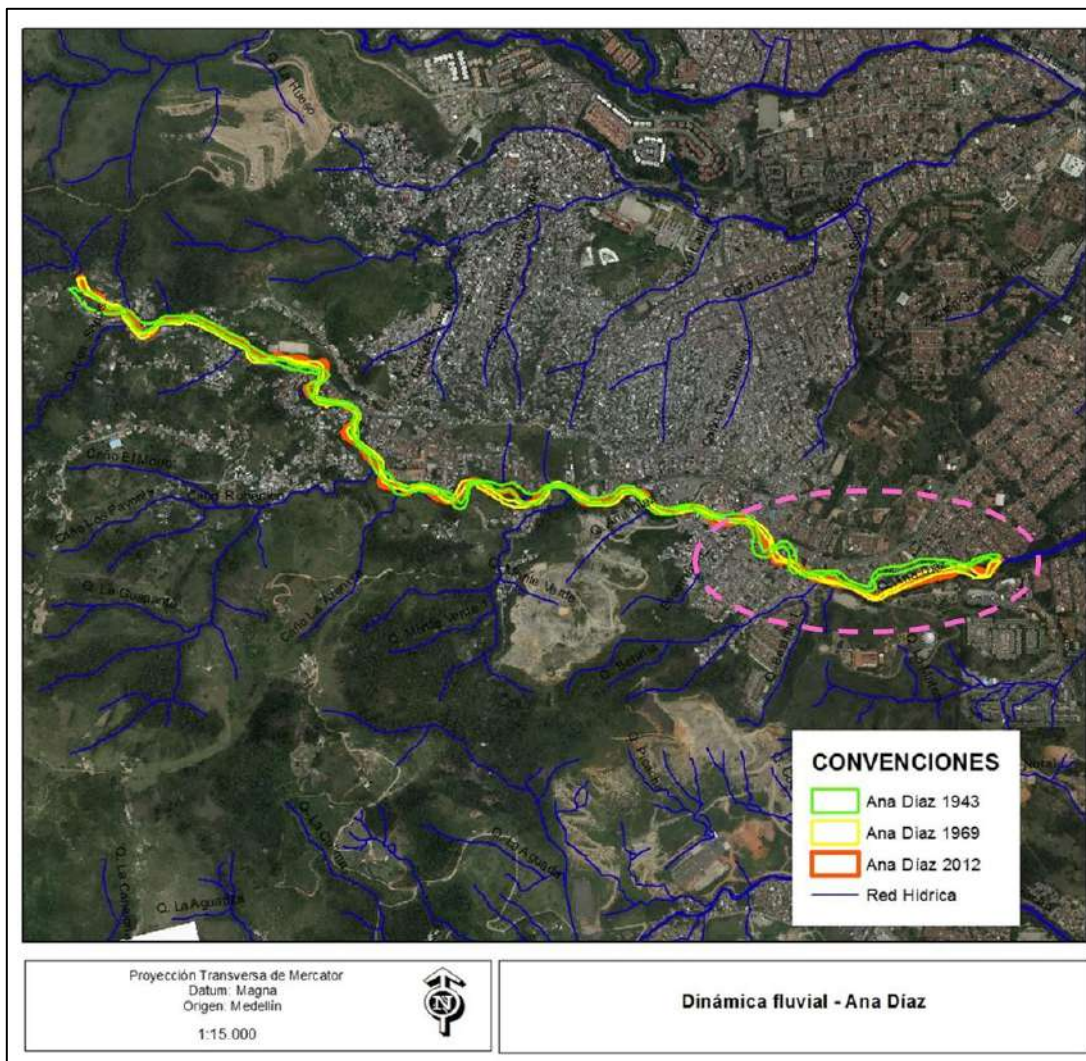
Para la sección del polígono Ana Díaz se realizó una evaluación multitemporal (años 1943, 1969 y 2012) con el fin de definir la dinámica fluvial de la quebrada Ana Díaz en este sector. A continuación, se presenta para las tres fechas las delimitaciones del cauce principal y de los depósitos asociados al canal (Figura 22).





**Figura 22.** Dinámica fluvial para las tres fechas

A partir de la superposición de estas tres capas y precisando los errores que se asumen por las diferencias en las escalas, resolución y georreferenciación, se observa en la Figura 23 la tendencia general de la quebrada para estas tres fechas.



**Figura 23.** Dinámica fluvial polígono Ana Díaz

Para el año 1943 se observa una corriente sinuosa en todo el trayecto estudiado, caracterizada por un canal amplio y sin mucha intervención de orden antrópico; para los años 1969 y 2012, se observan algunas diferencias relacionadas a la rectificación de la corriente en especial entre la zona comprendida entre las calles 89 y 110<sup>a</sup>, donde se en comparación con las dos fechas anteriores el canal ya no presenta curvas y tiene un trazo rectilíneo, esto asociado a la consolidación urbanística y a las intervenciones de canalización de la corriente.

## 6.5 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

El polígono de interés presenta características geomorfológicas contrastantes, donde los procesos exógenos y los materiales han moldeado el relieve. Teniendo en cuenta la escala del trabajo y a partir de las unidades geomorfológicas definidas por AMVA (2007), se han diferenciado las subunidades geomorfológicas de acuerdo con las características particulares que exhiben cada una, entre las que se destacan la forma, longitud de la ladera y la inclinación del terreno (Tabla 5).

**Tabla 5.** Unidades de relieve y macrounidades del polígono Ana Díaz

Unidad de paisaje	Macro unidad	Unidad	Subunidad
Valle Medio (VM)	Bloque Itagüí – San Cristóbal	Lomos (VM-BISC-L)	Ladera recta, muy corta e inclinada
			Ladera recta, muy corta y abrupta
			Ladera convexa, muy corta e inclinada
			Ladera convexa, muy corta y abrupta
			Ladera en depósito convexa, muy corta e inclinada
			Ladera en depósito convexa, muy corta y abrupta
			Ladera en depósito recta, muy corta e inclinada
			Ladera en depósito recta, muy corta y abrupta
			Ladera en depósito recta, muy corta y muy inclinada
			Ladera en lleno recta, muy corta y muy inclinada
			Ladera en lleno recta, muy corta y abrupta
			Cauce aluvial activo
			Llanura aluviotorrencial
			Ladera recta, muy corta y abrupta



Unidad de paisaje	Macro unidad	Unidad	Subunidad
		Colinas en suelos residuales (VM-BISC-CSR)	Ladera recta, muy corta y suave
			Ladera convexa, muy corta e inclinada
			Ladera en depósito recta, muy corta y suave
			Ladera en depósito recta, muy corta e inclinada
			Ladera en depósito recta, muy corta y muy inclinada
			Ladera en depósito recta, muy corta y abrupta
			Ladera en depósito recta, corta y abrupta
			Ladera en lleno recta, muy corta e inclinada
			Ladera en lleno recta, muy corta y muy inclinada
			Ladera en lleno recta, muy corta y abrupta
			Ladera en depósito, recta, corta e inclinada
			Ladera en depósito, recta, corta y muy inclinada
			Llanura aluviotorrencial
			Cauce activo

Partiendo de estos rasgos regionales se delimitan las diferentes subunidades geomorfológicas a escala 1:2.000 para el polígono Ana Díaz. A continuación, se describen cada una de las subunidades geomorfológicas (Figura 24).





## 6.5.1 Bloque Itagüí – San Cristóbal

**Lomos:** Esta unidad geomorfológica está definida sobre toda la cuenca alta de la quebrada Ana Díaz, A continuación, se presentan las subunidades de la unidad Lomos:

**Ladera recta, muy corta e inclinada (VM-BISC-L-lrmci):** Esta unidad se ubica en dos sectores, la primera sobre la margen izquierda de la quebrada al occidente de la cancha de la vereda El Corazón – El Morro; la segunda se ubica sobre la margen derecha de la quebrada, en inmediaciones de la calle 34 AB con carrera 118A en la Vereda El Corazón – El Morro. Esta unidad presenta pendientes con inclinaciones en el rango del 10 y 25 % forma recta y longitudes inferiores a 20 m. Geológicamente están asociados a suelos residuales del Stock de Altavista. La unidad ocupa el 2,40% del área total del polígono (Figura 25).



**Figura 25.** Ladera recta, muy corta e inclinada, en inmediaciones de la calle 34 AB con carrera 118A

**Ladera recta, muy corta y abrupta (VM-BISC-L-lrmca):** Se identifica en dos lugares, el primero se ubica sobre la margen izquierda de la quebrada, a la altura de la calle 34B con carreras 127 y 128, el segundo se identifica sobre la margen

derecha en inmediaciones la calle 34AA con carrera 125, ambos en jurisdicción de la vereda El Corazón – El Morro. Esta unidad presenta pendientes con inclinaciones en el rango del 40 y 60 % forma recta y longitudes inferiores a 20 m. Geológicamente están asociados a suelos residuales del Stock de Altavista. La unidad ocupa el 1,83 % del área total del polígono (Figura 26).



**Figura 26.** Ladera recta, muy corta y abrupta, margen izquierda de la quebrada, en inmediaciones de la carrera 128 con calle 34B.

**Ladera convexa, muy corta e inclinada (VM-BISC-L-lcvmci):** Esta unidad se ubica sobre la margen izquierda de la quebrada Ana Díaz, en inmediaciones de la carrera 119ª entre calles 34 AB y 34B, barrio El Corazón. Esta unidad presenta pendientes con inclinaciones en el rango del 10 y 25 % forma convexa y longitudes inferiores a 20 m. Geológicamente están asociados a suelos residuales del Stock de Altavista. La unidad ocupa el 0,91 % del área total del polígono (Figura 27).





**Figura 27.** Ladera convexa, muy corta e inclinada, en inmediaciones de la carrera 119ª entre calles 34 AB y 34B

**Ladera convexa, muy corta y abrupta (VM-BISC-L-lcvmca):** esta unidad se identifica en dos sectores, ambos sobre la margen izquierda de la quebrada a la altura de la calle 34AB con carrera 119A en el barrio Corazón, la segunda se ubica entre las calles 34 B y 34C y entre carreras 119A y 127, vereda El Corazón – El Morro. Esta unidad presenta pendientes con inclinaciones en el rango del 40 y 60 % forma recta y longitudes inferiores a 20 m. Geológicamente están asociados a suelos residuales del Stock de Altavista. La unidad ocupa el 2,88% del área total del polígono (Figura 28).



**Figura 28.** Ladera convexa, muy corta y abrupta, cancha de la vereda El Corazón – El Morro

**Ladera en depósito convexa, muy corta e inclinada (VM-BISC-L-ldcvmci):** Se ubica en dos sectores; el primero sobre la margen izquierda de la quebrada, aproximadamente a la altura de la calle 34AB con carrera 125 y el segundo sobre la margen derecha de la quebrada en inmediaciones de la calle 34B con carrera 119A. Esta unidad presenta pendientes con inclinaciones en el rango del 40 y 60 %, forma recta y longitudes inferiores a 20 m. Geológicamente están asociados a depósitos recientes. La unidad ocupa el 0,94% del área total del polígono (Figura 29).





**Figura 29.** Ladera en depósito convexa, muy corta e inclinada, a la altura de la calle 34AB con carrera 125

**Ladera en depósito convexa, muy corta y abrupta (VM-BISC-L-ldcvmca):** Esta unidad se ubica en cuatro sectores de la vereda El Corazón El Morro, el primero se identifica a la altura de calle 34B con carrera 1298, sobre la margen izquierda de la quebrada; el segundo se ubica sobre la margen derecha de la quebrada, en inmediaciones de la calle 34B entre carreras 119A y 127; el tercero sobre la margen derecha de la quebrada en el sector comprendido entre la calle 34 AB con carrera 125 y calle 34 B con carrera 119A; el cuarto se ubica sobre la margen derecha de la quebrada en inmediaciones de calle 34B entre carreras 127 y 128. Esta unidad presenta pendientes con inclinaciones en el rango del 40 y 60 %, forma convexa y longitudes inferiores a 20 m. Geológicamente están asociados a depósitos recientes. La unidad ocupa el 3,56% del área total del polígono (Figura 30).



**Figura 30.** Ladera en depósito convexa, muy corta y abrupta, margen izquierda de la quebrada, sector de la cancha de la vereda El Corazón – El Morro

**Ladera en depósito recta, muy corta e inclinada (VM-BISC-L-ldrmci):** Se ubica en tres sectores, dos de estos sobre ambas márgenes de la quebrada Ana Díaz, a la altura de la calle 34B, entre las carreras 129 y 131, y el tercero se identifica sobre la margen izquierda de la quebrada en inmediaciones de la calle 34B con carrera 129, todos en la vereda El Corazón – El Morro. Esta unidad presenta pendientes con inclinaciones en el rango del 10 y 25 % forma recta y longitudes inferiores a 20 m. Geológicamente están asociados a depósitos recientes. La unidad ocupa el 1,98 % del área total del polígono (Figura 31).





**Figura 31.** Ladera en depósito recta, muy corta e inclinada, a la altura de la calle 34B, entre las carreras 129 y 131

**Ladera en depósito recta, muy corta y abrupta (VM-BISC-L-ldrmca):** Esta unidad se ubica en cuatro sectores, los dos primeros se localizan en la margen derecha de la quebrada a la altura de la calle 34B entre las carreras 127 y 128 y carreras 131 y 133, el tercero sobre la margen izquierda en inmediaciones de la calle 34B con carrera 127, la cuarta se ubica en sobre la margen izquierda a la altura de la calle 34AB con carrera 119A, en jurisdicción de la vereda El Corazón – El Morro. Esta unidad presenta pendientes con inclinaciones en el rango del 40 y 60 % forma recta y longitudes inferiores a 20 m. Geológicamente están asociados a depósitos recientes. La unidad ocupa el 4,31% del área total del polígono (Figura 32).





**Figura 32.** Ladera en depósito recta, muy corta y abrupta, en inmediaciones de la calle 34B entre las carreras 127 y 128, vereda El Corazón – El Morro

**Ladera en depósito recta, muy corta y muy inclinada (VM-BISC-L-ldrmcmi):**

Esta unidad se ubica sobre la margen derecha de la quebrada a la altura de la calle 34B con carrera 128, en jurisdicción de la vereda El Corazón – El Morro. Esta unidad presenta pendientes con inclinaciones en el rango del 25 y 40 % forma recta y longitudes inferiores a 20 m. Geológicamente están asociados a depósitos recientes. La unidad ocupa el 1,10% del área total del polígono (Figura 33).



**Figura 33.** Ladera en depósito recta, muy corta y muy inclinada

**Ladera en lleno recta, muy corta y muy inclinada (VM-BISC-L-llrmcmi):** Se ubica en tres sectores, el primero se localiza en inmediaciones de la cancha de la Vereda El Corazón – El Morro, sobre la margen izquierda de la quebrada; el segundo sobre la margen izquierda de la quebrada a la altura de la carrera 131 y el tercero se localiza en la margen derecha de la quebrada en el sector de la calle 34B con carrera 128. Esta unidad presenta pendientes con inclinaciones en el rango del 25 y 40 % forma recta y longitudes inferiores a 20 m. Geológicamente están asociados a llenos antrópicos. La unidad ocupa el 1,25 % del área total del polígono (Figura 34).





**Figura 34.** Ladera en lleno recta, muy corta y muy inclinada, margen izquierda de la quebrada a la altura de la carrera 131

**Ladera en lleno recta, muy corta y abrupta (VM-BISC-L-Illmca):** Se ubica en inmediaciones de la cancha de la Vereda El Corazón – El Morro, sobre la margen izquierda de la quebrada. Esta unidad presenta pendientes con inclinaciones en el rango del 40 y 60 % forma recta y longitudes inferiores a 20 m. Geológicamente están asociados a llenos antrópicos. La unidad ocupa el 0,20 % del área total del polígono (Figura 35).





**Figura 35.** Ladera en lleno recta, muy corta y muy inclinada, sector oriental de la cancha del Corazón - El Morro

**Cauce activo (VM-BISC-L-ca):** Corresponde al canal o cauce activo de la quebrada Ana Díaz en jurisdicción de la vereda El Corazón – El Morro, en el tramo ubicado entre las carreras 119A y 128. Geológicamente están asociados a depósitos recientes. La unidad ocupa el 4,65 % del área total del polígono (Figura 36).



**Figura 36.** Cauce activo, sector de calle 34 AB con carrera 118A

**Llanura aluviotorrencial (VM-BISC-L-lat):** Esta unidad ocupa el 2,50 % del área total del polígono; geológicamente está asociada a depósitos aluviotorrenciales de la quebrada Ana Díaz y se ubican sobre ambas márgenes de la quebrada entre las carreras 119A y 128, jurisdicción de la vereda El Corazón - El Morro (Figura 37).





**Figura 37.** Llanura aluviotorrencial, en inmediaciones de la carrera 130 con calle 34b

**Colinas en suelos residuales:** Esta unidad geomorfológica se ubica de manera transversal hacia la parte baja de la unidad de Lomos. A continuación, se presentan las subunidades identificadas para esta unidad:

**Ladera recta, muy corta y abrupta (VM-BISC-L-Irmca):** Se ubica en tres sectores, el primero se identifica a la altura de la calle 34AB con carrera 119<sup>a</sup>, el segundo en el predio de la cantera La Esmeralda, ambos sobre la margen derecha de la quebrada; el tercero se encuentra sobre la margen izquierda de la quebrada en inmediaciones de la calle 34B con carrera 112, jurisdicción de la Vereda El Corazón – El Morro. Esta unidad presenta pendientes con inclinaciones en el rango del 40 y 60 % forma recta y longitudes inferiores a 20 m. Geológicamente están asociados a suelos residuales del Stock de Altavista. La unidad ocupa el 3,16 % del área total del polígono (Figura 38).





**Figura 38.** Ladera recta, muy corta y abrupta, sector de la Cantera La Esmeralda

**Ladera recta, muy corta y suave (VM-BISC-L-lrmcs):** Se ubica sobre la margen derecha de la quebrada Ana Díaz, en inmediaciones de la calle 34 con carrera 107, barrio Betania. Esta unidad presenta pendientes con inclinaciones en el rango inferiores al 10% forma recta y longitudes inferiores a 20 m. Geológicamente están asociados a suelos residuales del Stock de Altavista. La unidad ocupa el 1,86% del área total del polígono (Figura 39).



**Figura 39.** Ladera recta, muy corta y suave, Barrio Betania a la altura de la calle 34 con carrera 107.

**Ladera convexa, muy corta e inclinada (VM-BISC-L-lcvmci):** Esta unidad ocupa el 0,40% del área total del polígono. Se ubica sobre la margen derecha de la quebrada, predio de la cantera La Esmeralda. Esta unidad presenta pendientes con inclinaciones en el rango entre 10 -25% forma convexa y longitudes inferiores a 20 m. Geológicamente están asociados a suelos residuales del Stock de Altavista (Figura 40).





**Figura 40.** Ladera convexa, muy corta e inclinada, margen derecha de la quebrada, sector cantera La Esmeralda

**Ladera en depósito recta, muy corta e inclinada (VM-BISC-L-ldrmci):** se ubica en cuatro sectores, el primero sobre la margen izquierda de la quebrada, aproximadamente entre las carreras 112E y 112E; el segundo se ubica sobre la margen derecha en inmediaciones de la calle 34AA con carrera 113D; el tercero sobre la margen derecha, aproximadamente entre las carreras 113 y 116 y el cuarto se ubica en la margen izquierda de la quebrada entre las carreras 117 y 119A. Esta unidad presenta pendientes con inclinaciones en el rango entre 10 y 25%, forma recta y longitudes inferiores a 20 m. Geológicamente están asociados a llenos antrópicos. Esta unidad ocupa el 9,85% del área total del polígono (Figura 41).





**Figura 41.** Ladera en depósito recta, muy corta e inclinada

**Ladera en depósito recta, muy corta y abrupta (VM-BISC-L-ldrmca):** Se ubica en cuatro sectores, el primero se ubica a la altura de la Institución Educativa El Corazón, el segundo en un sector al oriente de la carrera 116D con calle 34AA, ambas sobre la margen izquierda de la quebrada; el tercero se ubica en sobre la margen derecha hacia la calle 34AA con carrera 113D y el cuarto y de mayor extensión se ubica sobre la margen derecha entre las carreras 89 y 110A. Esta unidad presenta pendientes con inclinaciones en el rango entre 40-60 %, forma recta y longitudes inferiores a 20 m. Geológicamente están asociados a llenos antrópicos. Esta unidad ocupa el 9,43% del área total del polígono (Figura 42).



**Figura 42.** Ladera en depósito recta, muy corta y abrupta, a la altura de la Institución Educativa El Corazón

**Ladera en depósito recta, muy corta y muy inclinada (VM-BISC-L-ldrmci):** Se ubica en dos sectores, el primero sobre la margen izquierda de la quebrada, en el sector comprendido entre las carreras 94 y 110 y el segundo se localiza sobre la margen izquierda entre las carreras 112D-116F barrios El Corazón y Betania. Esta unidad presenta pendientes con inclinaciones en el rango entre 25 – 40 %, forma recta y longitudes inferiores a 20 m. Geológicamente están asociados a depósitos recientes. Esta unidad ocupa el 8,94 % del área total del polígono (Figura 43).





**Figura 43.** Ladera en depósito recta, muy corta y muy inclinada

**Ladera en depósito recta, muy corta y suave (VM-BISC-L-ldrmcs):** Se ubica en dos sectores, el primero se ubica sobre el sector más oriental del polígono de estudio, sobre la margen izquierda de la quebrada entre las carreras 89 y 94, y el segundo se localiza sobre la margen derecha entre las carreras 89 entre calles 34E y 34C, barrio Belencito, Santa Mónica y Santa Teresita. Esta unidad presenta pendientes con inclinaciones inferiores al 10 %, forma recta y longitudes inferiores a 20 m. Geológicamente están asociados a depósitos recientes. Esta unidad ocupa el 16,63 % del área total del polígono (Figura 44).





**Figura 44.** Ladera en depósito recta, muy corta y suave, en el sector de la carrera 89 con calle 34AA.

**Ladera en depósito recta, corta e inclinada (VM-BISC-L-ldrci):** se ubica sobre la margen derecha de la quebrada, a la altura de la Institución educativa El Corazón. Esta unidad presenta pendientes con inclinaciones en el rango entre 10 y 25%, forma recta y longitudes entre 20 y 25 m. Geológicamente están asociados a depósitos recientes. Esta unidad ocupa el 2,20% del área total del polígono (Figura 45).



**Figura 45.** Ladera en depósito recta, corta e inclinada

**Ladera en depósito recta, corta y muy inclinada (VM-BISC-L-ldrci):** Se ubica sobre la margen derecha de la quebrada, en el sector de la cantera La Esmeralda en el barrio Betania. Esta unidad presenta pendientes con inclinaciones en el rango entre 25 – 40 %, forma recta y longitudes que oscilan entre 20 y 30 m. Geológicamente están asociados a depósitos recientes. Esta unidad ocupa el 1,56 % del área total del polígono (Figura 46).





**Figura 46.** Ladera en lleno recta, corta y muy inclinada.

**Ladera en depósito recta, corta y abrupta (VM-BISC-L-Idrca):** Se ubica en dos sectores, el primero se ubica sobre la margen izquierda de la quebrada a la altura de la calle 34 B entre carreras 112C y 113D; el segundo se localiza en sobre la margen derecha en inmediaciones de la calle 34AA con carrera 116D. Esta unidad presenta pendientes con inclinaciones en el rango entre 40-60 %, forma recta y longitudes inferiores a 20 m. Geológicamente están asociados a depósitos. Esta unidad ocupa el 1,25% del área total del polígono (Figura 47).





**Figura 47.** Ladera en depósito recta, corta y abrupta

**Ladera en lleno recta, muy corta e inclinada (VM-BISC-L-Ilrmcmi):** Se ubica en la margen derecha de la quebrada, a la altura de la calle 34AA con carrera 118, vereda El Corazón- El Morro. Esta unidad presenta pendientes con inclinaciones en el rango entre 10 – 25 %, forma recta y longitudes inferiores a 20 m. Geológicamente están asociados a llenos antrópicos. Esta unidad ocupa el 1,46 % del área total del polígono (Figura 48).



**Figura 48.** Ladera en lleno recta, muy corta e inclinada, a la altura de la calle 34AA con carrera 118.

**Ladera en lleno recta, muy corta y muy inclinada (VM-BISC-L-Ilrmcmi):** unidad se ubica en el barrio Betania, sobre la margen derecha de la quebrada a la altura de la 34AA con carrera 110<sup>a</sup>, sector de ingreso de la cantera La Esmeralda. Esta unidad presenta pendientes con inclinaciones en el rango entre 25-40 %, forma recta y longitudes inferiores a 20 m. Geológicamente están asociados a llenos antrópicos. Esta unidad ocupa el 0.95 % del área total del polígono (Figura 49).





**Figura 49.** Ladera en lleno recta, muy corta y muy inclinada, barrio Betania, sector de la cantera La Esmeralda

**Ladera en lleno recta, muy corta y abrupta (VM-BISC-L-Illmca):** se ubica en dos sectores, el primero sobre la margen derecha de la quebrada a la altura de la cantera La esmeralda, el segundo se ubica al occidente de la calle 34AA con carrera 118, vereda El Corazón- El Morro. Esta unidad presenta pendientes con inclinaciones en el rango entre 40 – 60 %, forma recta y longitudes inferiores a 20 m. Geológicamente están asociados a depósitos recientes. Esta unidad ocupa el 1,85 % del área total del polígono (Figura 50).





**Figura 50.** Ladera en lleno recta, muy corta y abrupta, margen derecha de la quebrada, sector de la Institución Educativa El Corazón

**Cauce activo (VM-BISC-L-ca):** Corresponde al cauce activo de la quebrada Ana Díaz, en el tramo comprendido entre las carreras 88 y 119A, en jurisdicción de los barrios El Corazón, Betania, Belencito y Santa Mónica. Geológicamente están asociados a depósitos recientes. La unidad ocupa el 10,85 % del área total del polígono (Figura 51).



**Figura 51.** Cauce activo de la quebrada Ana Díaz

**Llanura aluviotorrencial (VM-BISC-L-lat):** esta unidad se ubica sobre ambas márgenes de la quebrada Ana Díaz, su mejor expresión se observa sobre la margen derecha, en el tramo comprendido entre las carreras 112C y 118, jurisdicción de la vereda El Corazón – El Morro, barrio El Corazón. Esta unidad ocupa el 3,43 % del área total del polígono; geológicamente está asociada a depósitos aluviotorrenciales de la quebrada Ana Díaz (Figura 52).





**Figura 52.** Llanura aluviotorrencial, margen derecha de la quebrada, sector comprendido aproximadamente entre las carreras 112C y 118.

## 6.6 PROCESOS MORFODINÁMICOS

En el área de estudio se identifican procesos morfodinámicos desde la fotointerpretación, información secundaria y la fase de campo, correspondiente principalmente a procesos de socavación lateral, generados por factores naturales de la dinámica fluvial y por intervenciones antrópicas asociados la construcción de llenos y obras de infraestructura que han implicado transformación del cauce natural de la quebrada.

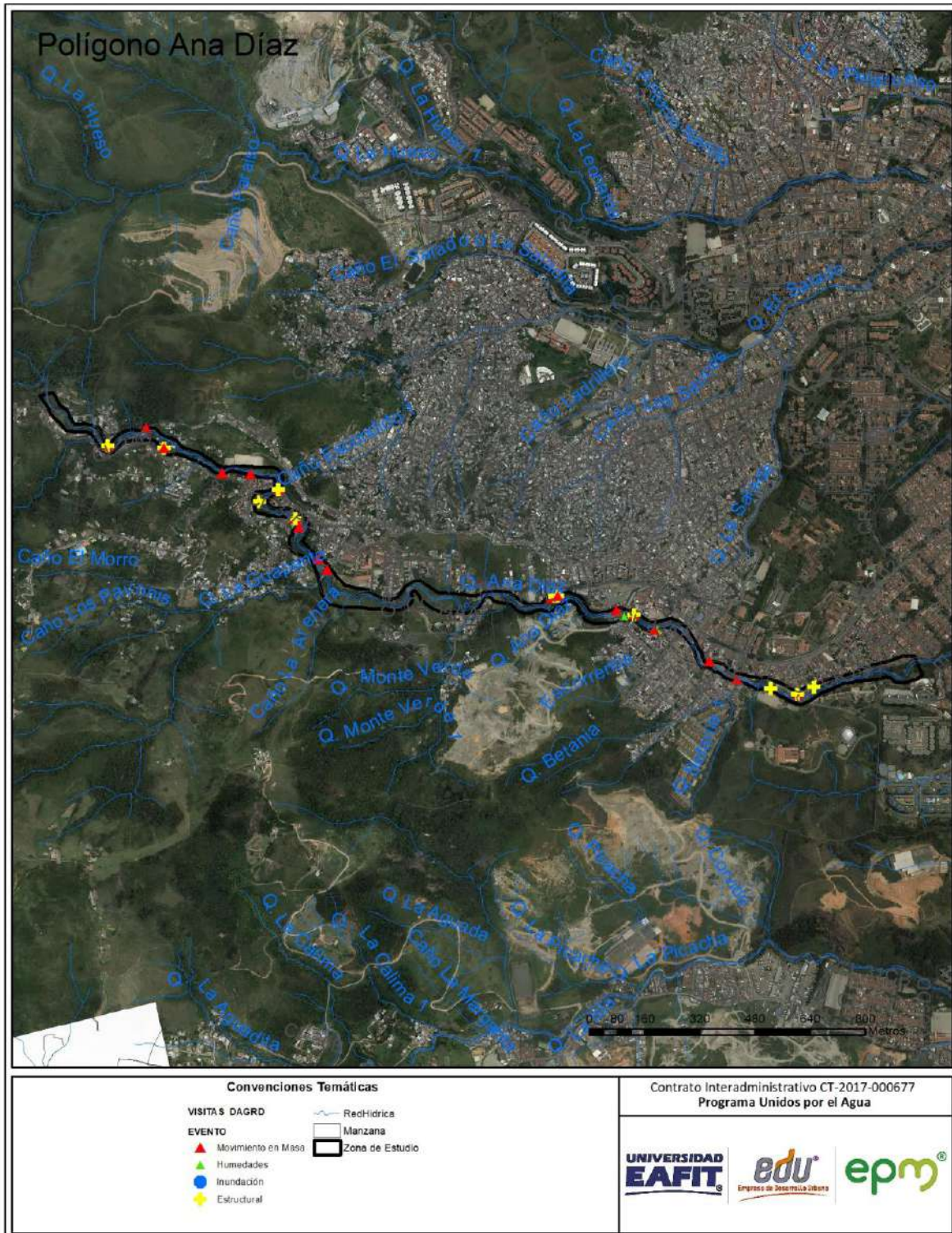
A continuación, se presenta la información sobre procesos morfodinámicos de acuerdo con la disponibilidad del reporte de eventos y los procesos identificados en la elaboración de este trabajo.



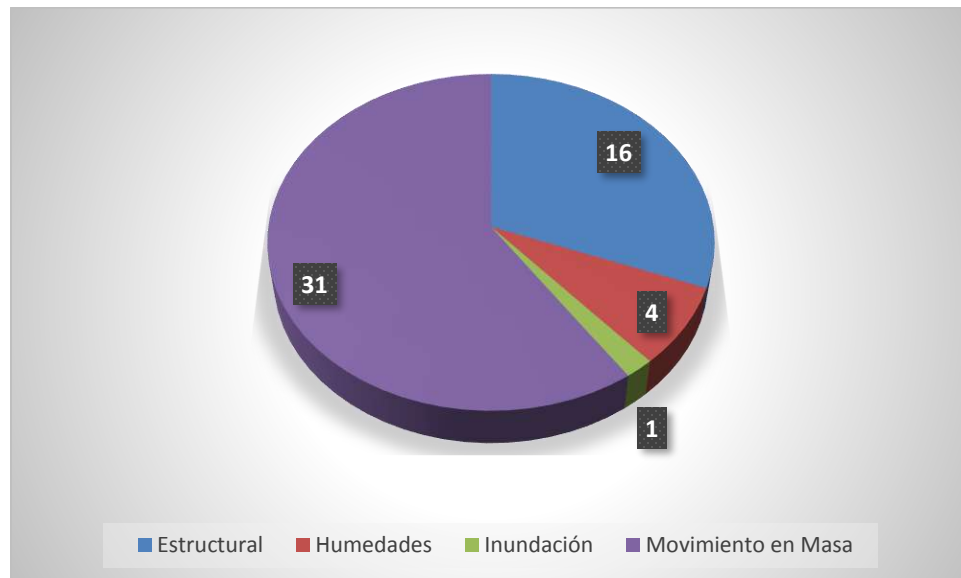
## 6.6.1 Reporte histórico de eventos

Para el análisis del registro histórico de eventos del polígono de estudio se recopila la información que contienen los reportes de las bases de datos del DAGRD y del Departamento Administrativo de Planeación, al igual que los estudios llevados a cabo en la zona, esto con el fin de verificar la ocurrencia de movimientos en masa en la zona y que debido a las condiciones de intervención antrópica no sean posibles de determinar. Este registro de eventos igualmente sirve como insumo para determinar la continuidad o recurrencia de los movimientos en masa identificados para el polígono en estudio.

Para el polígono en estudio, la base de datos de visitas de DAGRD reporta la ocurrencia de 52 visitas a la zona de influencia directa del polígono Ana Díaz, de las cuales 31 corresponden a eventos de movimiento en masa, 16 a problemas estructurales, 4 a humedades y 1 a inundaciones (Figura 53 y Figura 54). Flórez M. (2006), reporta para el año 1988 una creciente en la quebrada que produjo la destrucción total y parcial de 14 viviendas y 77 familias damnificadas.



**Figura 53.** Reporte eventos DAGRD al polígono Ana Díaz



**Figura 54.** Reporte eventos DAGRD para el polígono Ana Díaz

## 6.6.2 Identificación de procesos morfodinámicos

Dentro del polígono en estudio, los procesos morfodinámicos identificados corresponden principalmente a la socavación lateral, común en una corriente de comportamiento meándrico como es la quebrada Ana Díaz, en especial en el tramo occidental y central del polígono estudiado, hacia el tramo más oriental ya esta se encuentra muy intervenida y canalizada modificando la dinámica natural de esta.

Estos procesos originan por diferentes factores, tanto naturales como antrópicos. Entre las causas naturales se encuentran, la dinámica normal de la corriente en zona de bajas pendientes y a causa de las crecientes súbita; y por causa antrópicas está asociado a la formación de llenos en inmediaciones de la corriente y extracción de material de cauce que hacen que la corriente modifique su dinámica natural y por consiguiente socava en busca de un equilibrio hidráulico.

Durante la fotointerpretación, en los recorridos de campo y caracterización del polígono Ana Díaz se identificaron nueve sectores con evidencia de socavación, aunque por la dinámica de esta corriente y el nivel de intervención se puede estimar que todo el canal tiene la probabilidad de tener este tipo de proceso hídrico. Entre los casos que podemos mencionar con respecto al origen de este proceso diferente



al de la dinámica natural, tenemos: el primero corresponde a la socavación de llenos creados para la construcción de vivienda y ocuparon parte del canal o de la llanura inundable, lo que a consecuencia la quebrada los socava en función de recuperar canal natural (Figura 55 y Figura 56).

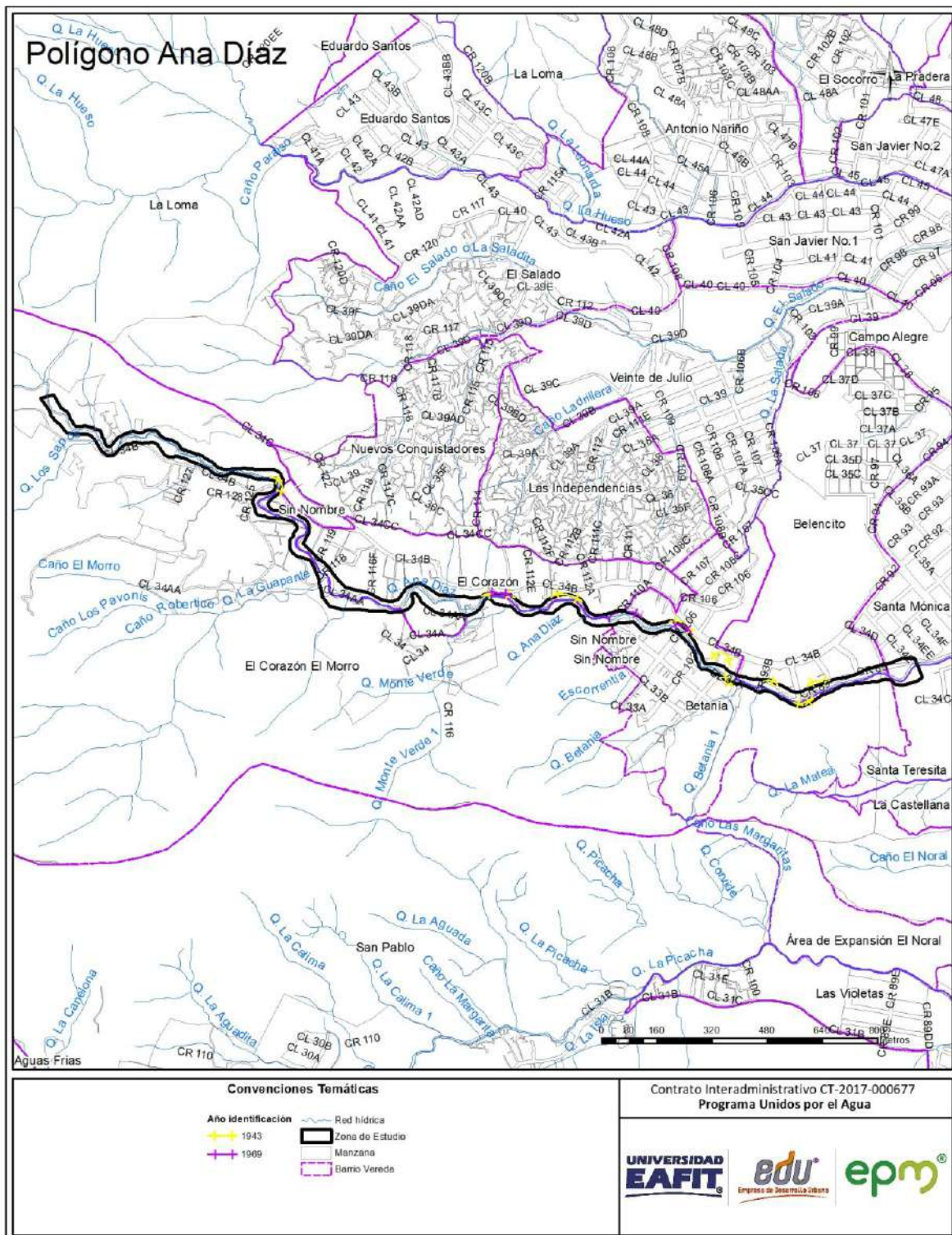


Figura 55. Procesos morfodinámicos en el polígono Ana Díaz





**Figura 56.** Socavación de llenos, barrió Betania, a la altura de la cantera La Esmeralda

Las crecientes súbitas de las corrientes, traen consigo un proceso de socavación lateral natural en el proceso de evacuación de altos volúmenes de agua y material sólido, estas se hacen más visibles donde el canal es más estrecho o donde ha sido estrangulado o modificado entrópicamente. Este efecto se puede dar en todo el canal de la quebrada, de acuerdo a la magnitud de las crecientes, pero dentro del área de estudio se reporta con mayor intensidad en el sector ubicado entre las carreras 93 y 110<sup>a</sup> (Figura 57).





**Figura 57.** Socavación en épocas de crecientes súbitas, sector ubicado entre las carreras 93 y 110ª.

La corriente tiene sectores que han sido intervenidos por obras de canalización, solo en una las márgenes, lo que ha ocasionado que en las crecientes de la quebrada, se produzca un aumento en la erosión hacia la margen no intervenida (Figura 58).



**Figura 58.** Socavación en el sector de Cr 93B con calle 34AA.

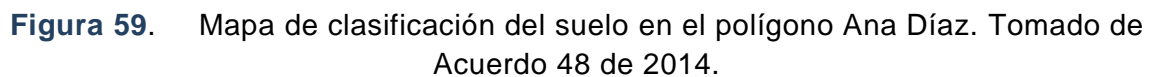
## 6.7 SUELOS DE PROTECCIÓN Y USO GENERAL DEL SUELO

Basado en el Acuerdo 48 de 2014, el polígono en estudio se localiza en suelo urbano y rural sobre él que se identifican categorías del suelo de protección correspondientes a áreas de la estructura ecológica principal y áreas de amenaza en la zona de estudio.

Las áreas de la Estructura Ecológica Principal incluyen las áreas protegidas públicas, así como las áreas de interés estratégico que contienen el sistema hidrográfico (ríos y quebradas con sus retiros), el sistema orográfico (cerros tutelares), los elementos estructurantes de la red de conectividad ecológica y las áreas de interés recreativo y paisajístico (Acuerdo 48 de 2014). Para el polígono en estudio, estas áreas de interés estratégico corresponden a un retiro asociado a la quebrada Ana Díaz, para la cual se establece un retiro de 30m (Figura 59).

Las áreas de amenaza y riesgo, que incluye las áreas de amenaza alta (por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales) y las áreas de alto riesgo no mitigable, así como las áreas con condiciones de riesgo (Acuerdo 48 de 2014). Para este caso corresponde a la zona de amenaza por avenidas torrenciales que corresponde al área de análisis de este estudio (Figura 59).



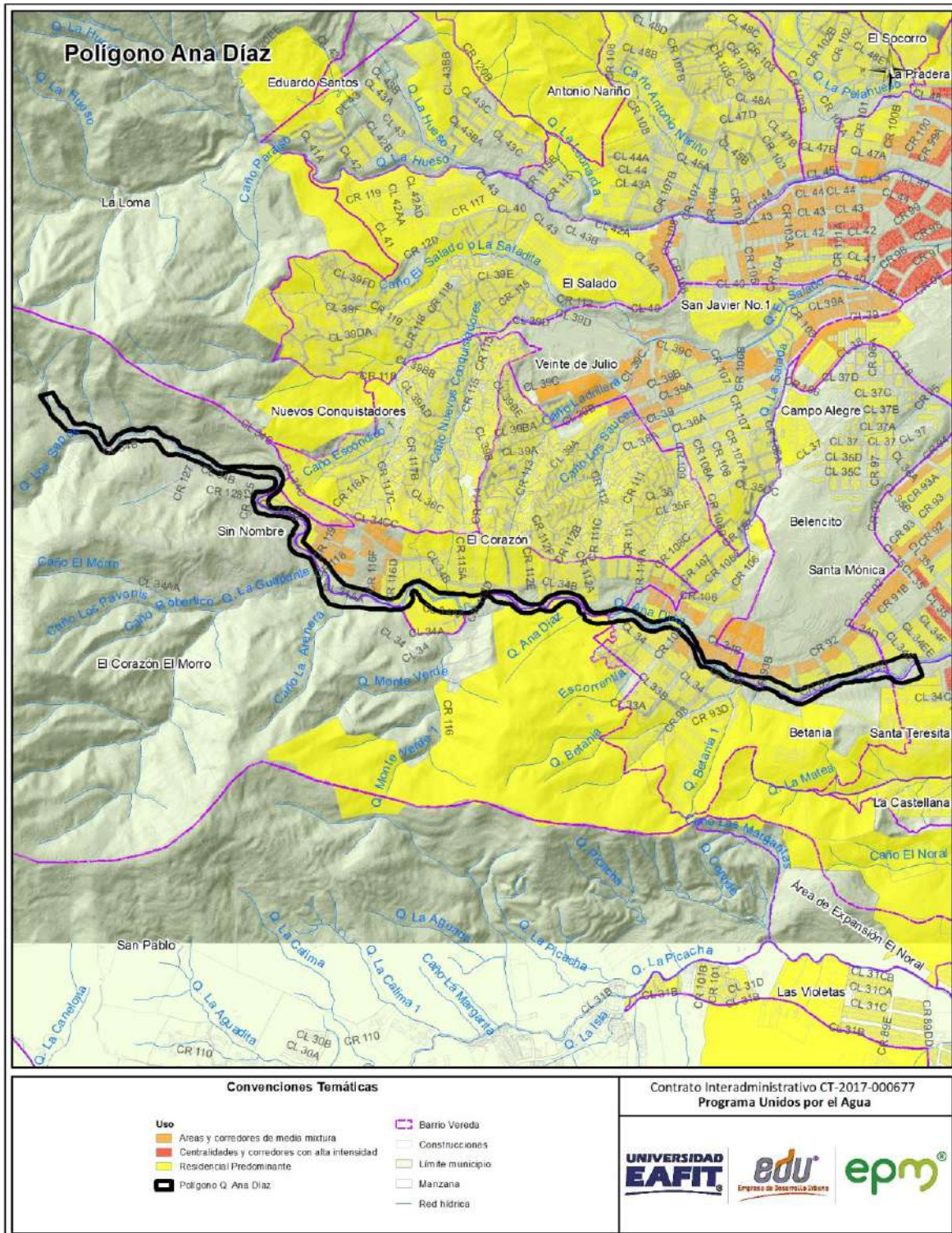




Igualmente, en el Acuerdo 48 de 2014 se define que los usos del suelo corresponden a la distribución espacial de las actividades desarrolladas por agentes públicos y privados, que permiten establecer las características de animación de la ciudad y la utilización y ocupación del suelo. Estas normas generales buscan optimizar las infraestructuras de urbanización y fomentar relaciones socio-económicas más eficientes a partir de la interrelación entre las actividades, mitigando los impactos generados y atendiendo a las características del territorio. Teniendo en cuenta éstas premisas y dicho acuerdo, para el polígono Ana Díaz se define como uso predominante el de tipo residencial (Figura 60).

Se destaca que el uso residencial se asocia a todo terreno que de acuerdo con el concepto general de urbanización se adecúe específicamente para el uso principal de la vivienda, constituye un desarrollo urbanístico residencial, éstos se podrán desarrollar en cualquier parte del área urbana, con excepción de las zonas de alto riesgo no mitigable y las zonas con condiciones de riesgo hasta tanto los estudios de detalle no sean realizados (Acuerdo 48 de 2014).

En cuanto a las regulaciones sobre la altura permitida para las construcciones según el Acuerdo 48 de 2014 para el polígono Ana Díaz se tienen varias regulaciones para los códigos Z4\_CN3\_10 y Z4\_CN3\_11, barrios Betania y El Corazón se establece un tope máximo de aprovechamiento de 2 pisos; para el código ZA\_CN5\_29 establece un tope de 3 pisos en el Barrio Santa Teresita y para el código ZA\_CN2\_36 un tope máximo de 4, en el barrio Santa Mónica (Figura 60). Esta reglamentación aplica en áreas por fuera del retiro obligatorio de 30 m que tiene la quebrada Ana Díaz.



**Figura 60.** Mapa de usos del suelo del polígono Ana Díaz. Tomado de Acuerdo 48 de 2014.



## 7. ASPECTOS HIDROGEOLÓGICOS

### 7.1 MODELO HIDROGEOLÓGICO REGIONAL

Considerando las características geológicas de una región, el primer elemento a analizar, en la búsqueda de potenciales unidades almacenadoras de agua subterránea, son las condiciones texturales y estructurales de las unidades litológicas de la zona de estudio. Se plantean aquí unas premisas en términos de la expectativa que, a nivel descriptivo, generarían las condiciones de porosidad y permeabilidad primaria (textura) o secundaria (estructuras y meteorización) (AMVA, 2013)

De lo expuesto en el capítulo correspondiente a Geología se retoma aquí las condiciones que, además de la composición y origen, determinan características texturales de los materiales de la corteza terrestre, dentro del dominio espacial del Valle de Aburrá; aquí radica el sentido de incluir dentro de la descripción geológica un minucioso nivel de detalle en términos de mineralogía, afectación estructural y meteorización de saprolitos. De acuerdo con esto, en la Tabla 6 se sintetiza una interpretación que da lugar a una primera aproximación acerca de las potenciales bondades hidrogeológicas en la zona de estudio; dentro de las rocas ígneas se considera que las características adquiridas a través de procesos de fracturamiento y meteorización en el Stocks de Altavista, esta unidad debe ser objeto de un análisis más detallado para evaluar la probabilidad de constituir posibles acuíferos o zonas de recarga. Dentro de las rocas metamórficas se encontraron condiciones de posible interés desde el punto de vista de la recarga a las Metabasitas del Picacho y respecto a los depósitos del Cuaternario, todos son considerados en principio como posibles reservorios de agua subterránea (modificado de AMVA, 2013).

**Tabla 6.** Unidades hidrogeológicas en la zona de estudio (Modificado de AMVA, 2013)

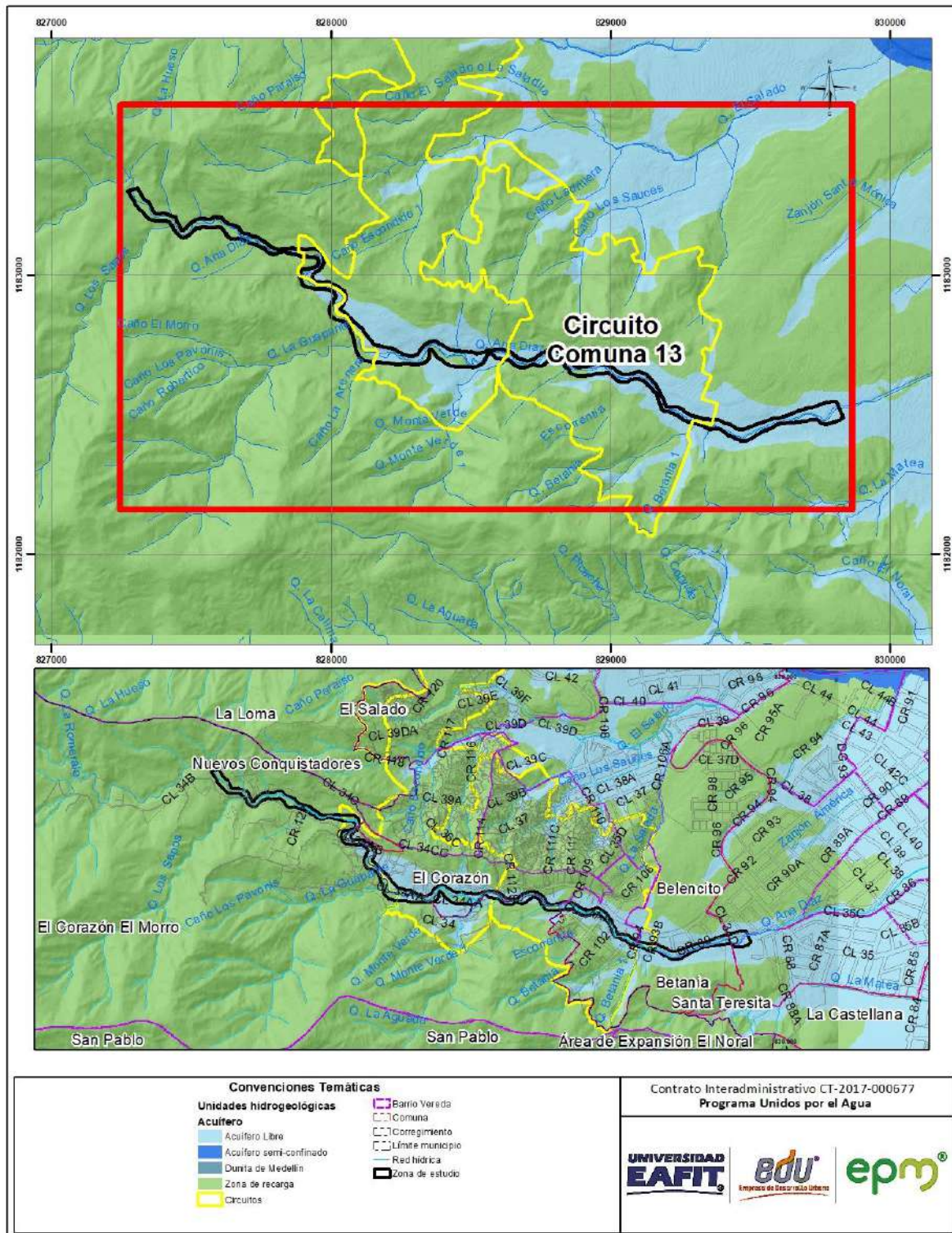
Tipo de roca	Unidad geológica	Asignatura	Características texturales	Características estructurales	Diagnostico hidrogeológico
<b>Ígneas</b>	Stock de Altavista	(KdA)	Roca compacta, Saprolito varia de limo arcilloso a limo arenoso	Se encuentra diaclasado	Probable potencial hidrogeológico
<b>Metamórficas</b>	Metabasitas del Picacho	(JKmbP)	Saprolito limoso	Se encuentran diaclasadas	Probable potencial hidrogeológico
<b>Depósitos</b>	Depósitos Aluviales	(Qal)	Matriz areno limosa	Sin Reportar	Buen potencial hidrogeológico



Tipo de roca	Unidad geológica	Asignatura	Características texturales	Características estructurales	Diagnostico hidrogeológico
	Depósitos Aluviotorrenciales	(Qat)	Matriz areno gravosa	No reportadas	Buen potencial hidrogeológico
	Depósitos de flujos de escombros y/o lodos	(QFa)	Bloques en matriz que varía de arena fina a arcillosa	Sin Reportar	Buen potencial hidrogeológico
		(QFIII)			
		(QFIV)			
		(NQFII)			
		(NFI)			
		(NFprel)			

Según el Área Metropolitana del Valle de Aburrá, 2013, en el Valle de Aburrá existen tres unidades hidrogeológicas de interés acuífero (Figura 61), y se designan como:

- i) **Acuífero Libre del Valle de Aburrá:** Conformado por los depósitos aluviales del río Aburrá - Medellín y sus afluentes, y los depósitos de vertiente, categorizados como flujos de lodo y escombros con edades del Neógeno o el Cuaternario. Texturalmente estos depósitos están constituidos por gravas, arenas y cantos en matriz areno-arcillosa gradando a arcillosa hacia la base, con presencia de lentes de grava y arcilla. Esta unidad se ubica en el área de estudio, hacia las inmediaciones de la quebrada Ana Díaz, con influencia en el polígono 1213-1.
- ii) **Acuífero semiconfinado del Valle de Aburrá:** Conformado por depósitos de origen aluvial, separados del acuífero libre por una capa sellante de carácter arcilloso. El acuífero semiconfinado estaría localizado regionalmente al noreste del polígono de estudio, sobre la cuenca baja de la quebrada El Salado y La Hueso, está conformado por gravas, arenas y cantos en matriz arcillo-arenosa con pequeños lentes de arena o arcilla; aún no se tiene suficiente información para modelar con certeza la geometría de esta unidad.



**Figura 61.** Unidades hidrogeológicas para el Valle de Aburrá, modificado de AMVA 2013.

Los factores que condicionan la recarga de un sistema acuífero son la distribución espacial de las unidades hidrogeológicas, las características geomorfológicas que posee el paisaje, los rasgos estructurales de las rocas que rodean a los acuíferos, el tipo de cobertura, la hidrografía, las características hidráulicas de los suelos y las condiciones hidrometeorológicas (AMVA, 2013).

De acuerdo con la conceptualización general al respecto, algunos factores antrópicos pueden constituir también fuentes de recarga, estos son: los retornos por riego, las fugas en redes de acueducto y alcantarillado, y la recarga artificial (AMVA, 2013).

Para la determinación de las potenciales áreas de recarga en el valle de Aburrá se tiene como hipótesis la existencia de tres posibles fuentes de recarga: I) una recarga distribuida en las superficies libres donde afloran las unidades acuíferas, II) la interacción hidráulica que existe con los principales cuerpos de agua superficial, como lo son el río Aburrá-Medellín y sus principales afluentes, y III) la recarga proveniente de los aportes de flujos regionales, a partir de las rocas encajantes que presentan permeabilidad secundaria (AMVA, 2013).

La dirección del flujo subterráneo proviene desde las zonas de recarga hacia el río, siguiendo en términos generales el sentido de la pendiente; es evidente el papel del río Aburrá-Medellín como frontera hidráulica que capta el flujo base. Llama la atención el sector ubicado en inmediaciones de La Aguacatala hasta el Cerro Nutibara, el cual coincide con un tramo en el que el río cambia su curso y describe una curva cóncava hacia el oeste, allí las líneas de flujo subterráneo que tienen su origen en la vertiente oriental del valle, trascienden el cauce superficial para luego confluir con las líneas de flujo que provienen del occidente, en un sector alineado subparalelamente al río. Esta situación podría ser un indicio de la existencia de paleocauces o de intervenciones antrópicas (AMVA 2013).

## 7.2 PERMEABILIDAD

Entendiendo la permeabilidad como la capacidad de un suelo para permitir el paso de un fluido (en términos particulares, el agua) sin que dicho tránsito altere la estructura interna del suelo, se valoró de manera general la permeabilidad de los suelos superficiales que conforman el polígono Ana Díaz. Para lo anterior, se tuvo en cuenta las clasificaciones granulométricas de los materiales que afloran en la zona y se compararon con valores de la literatura establecidos por diferentes autores, en este caso específico se utilizó como referencia la información que se



muestra en la Tabla 7 extractada de Mecánica de suelos en la ingeniería práctica de Terzaghi y Peck (1980).

**Tabla 7.** Valores relativos de permeabilidad. (Fuente: Terzaghi K y Peck R, 1980)

Permeabilidad relativa	Valores de K ( cm/seg )	Suelo típico
Muy permeable	$> 1 * 10^{-1}$	Grava gruesa
Moderadamente permeable	$1 * 10^{-1}$ a $1 * 10^{-3}$	Arena, arena fina
Poco permeable	$1 * 10^{-3}$ a $1 * 10^{-5}$	Arena limosa, arena sucia
Muy poco permeable	$1 * 10^{-5}$ a $1 * 10^{-7}$	Limo y arenisca fina
Impermeable	$< 1 * 10^{-7}$	Arcilla

Revisado el mapa de formaciones superficiales, se observa que existe un predominio de materiales de depósitos aluviales y aluviotorrenciales, con predominio de materiales que corresponde a limos, arenas y gravas con valores de permeabilidad (K) variables entre  $1 \times 10^{-3}$  y  $> 1 \times 10^{-1}$ , que los clasifican entre poco permeables a muy permeable; los materiales residuales derivados de rocas ígneas plutónicas del Stock de Altavista (horizonte IB y saprolito IC) caracterizados por presentar arenas arcillosas, arenas limosas y arcillas de baja plasticidad con predominio de arenas. Según la tabla anterior tendrían valores de permeabilidad (K) entre  $1 \times 10^{-3}$  y  $1 \times 10^{-5}$  clasificándolos como suelos poco permeables, por lo que es de esperarse que exista un predominio de la infiltración.

La otra unidad superficial que aflora y que se encuentra en gran parte del sector corresponde a materiales de lleno, los cuales poseen granulometrías heterogéneas con materiales clasificados desde CL-CH y SC (arcillas de baja y alta plasticidad, arenas arcillosas), donde se pueden esperar valores de permeabilidad que oscilen entre  $1 \times 10^{-3}$  hasta  $1 \times 10^{-7}$ , es decir materiales poco permeables a impermeables.

## **8. HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA**

En el presente capítulo se desarrollará el análisis del componente hidrológico e hidráulica desarrollado en cuatro etapas a saber: reconocimiento de campo, estudio hidrológico, estudio hidráulico y evaluación de la amenaza por inundación y avenidas torrenciales.

### **8.1 RECONOCIMIENTO DE CAMPO**

En forma general, en la componente de hidrología e hidráulica se realizó una visita de reconocimiento a la zona del polígono de la quebrada Ana Díaz, con el objeto de evidenciar las posibles problemáticas existentes asociadas a la corriente hídrica, específicamente relacionadas con las avenidas torrenciales e inundaciones. De igual manera, se visitó el polígono de estudio con la comisión de topografía con el objeto de definir el tramo a levantar.

### **8.2 ESTUDIO HIDROLÓGICO**

El análisis hidrológico de la cuenca de interés, fue específico para la corriente que se encuentran en la zona, y se realizó mediante metodologías para cuencas con información escasa (Modelos lluvia escurrentía como Hidrógrafas Unitarias Sintéticas de Williams y Hann, SCS y Snyder, Método Racional, etc.).

La aplicación de los métodos fue determinada de acuerdo al área de las cuencas de drenaje y a la disponibilidad de información, con el fin de estimar los caudales de creciente que representen coherentemente las características climatológicas y geomorfológicas de las cuencas.

Adicionalmente, se estimó el caudal por metodología POMCA incrementando un 40% el caudal con periodo de retorno de 100 años, con el objetivo de tener en cuenta creciente con arrastre de lodo y empalizadas, según la recomendación del Plan de Ordenamiento Y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá (UNALMED, 2006).

El estudio Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Aburrá – POMCA (UNALMED, 2006), adelantado por la comisión conjunta (Área Metropolitana del Valle de Aburrá- AMVA, La Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia – CORANTIOQUIA y La Corporación Autónoma Regional Rionegro – Nare,

CORNARE), recomienda que para corrientes que no cuenten con registros de caudales sólidos, se puede incrementar el caudal para el periodo de retorno de 100 años un 40%, valor que se asemeja al aumento del volumen líquido presente en una creciente con características torrenciales.

Otros estudios como el Acuerdo Metropolitano 009 de 2012 – Código de Laderas (AMVA, 2012) elaborado por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá en conjunto con la Universidad Nacional de Colombia (Sede Medellín), la Universidad EAFIT y La Universidad de Medellín, cuyo documento base es el texto Directrices y lineamientos para la elaboración de estudios geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, hidráulicos, hidrogeológicos y geotécnicos para intervenciones en zonas de ladera, han retomado las recomendaciones presentadas en el POMCA, 2006, ya que se considera una buena metodología para contemplar los incrementos en los niveles del flujo por avenidas torrenciales.

### 8.3 ESTUDIO HIDRÁULICO

Teniendo como base los caudales de diseño, y el levantamiento topográfico del canal y márgenes en la corriente de interés, se implementó el modelo HEC – RAS V 5.0 (U.S Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center, 2016) para realizar la simulación hidráulica. Se tiene como parámetros de entrada al modelo el caudal de diseño que corresponde al caudal con periodo de retorno de 100 años mayorado en 40%, la topografía (secciones transversales y modelos de terreno), condiciones de frontera y coeficientes de rugosidad de Manning. Es de anotar, que el diseño de las obras se realiza para el periodo de retorno de 100 años.

Utilizando el software antes mencionado, se obtienen los cambios en la profundidad, velocidad, número de Froude, entre otras variables, en toda la longitud de las corrientes, información que se presenta de forma gráfica (secciones transversales con la lámina de agua), o como tablas de resultados.

Finalmente, se construyó la mancha de inundación para el caudal de diseño, mediante la cual se definieron las zonas donde el flujo de creciente presentará desbordamiento.

La descripción detallada de las metodologías implementadas en los análisis hidrológicos e hidráulicos de las cuencas estudiadas y los tramos analizados, se presentan en el Anexo 1.



## 8.4 DIAGNÓSTICO DE CRECIENTES

### 8.4.1 Hidrología

En el capítulo 3 y complementado en el Anexo 1, se presentaron las metodologías utilizadas para determinar las crecientes de diseño en la cuenca de la quebrada Ana Díaz, donde se indicó que para el caso particular se aplicaron métodos de hidrógrafas unitarias sintéticas (Williams & Hann, Soil Conservation Service y Snyder) y método racional, debido a que la cuenca no se encuentran instrumentada y dado el tamaño de la misma, estos son métodos adecuados para un análisis hidrológico (Smith y Vélez, 1997).

#### Información Disponible

- **Información Cartográfica**

Con el fin de representar la conformación y caracterización de la superficie terrestre, se implementó un modelo digital del terreno (MDT), el cual consiste en una representación de las alturas del suelo, las cuales indican las zonas de drenaje en un área determinada. Esta información fue recopilada y analizada por el equipo de Sistemas de Información Geográfica – SIG de proyecto, por lo que para obtener una descripción más detallada, se podrá revisar dicho aparte dentro del presente documento.

El MDT implementado para el análisis hidrológico consiste en un archivo ráster (formato ASCII) con resolución de pixel cuadrado de 2 m, el cual se generó a partir de las curvas de nivel del POT de Medellín (POT, 2014).

- **Información Climatológica**

Para el caso específico de la quebrada Ana Díaz, objeto del análisis hidrológico, no se dispone de ningún tipo de información o registros de caudales a través de su cauce principal o afluentes, por lo cual se implementó la información de precipitación disponible en la zona.

Dado que la cuenca se encuentra dentro de la red de estaciones hidrometeorológicas operada por Empresas Públicas de Medellín E.S.P., se consultó la Revista Hidrometeorológica de dicha Entidad (EPM, 2005) y la página del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM, 2017), y se generaron polígonos de Thiessen con el fin de evaluar las estaciones que presentan influencia dentro del área de estudio.

Revisada esta información, se identificó que la cuenca de interés se encuentra influenciada por las estaciones Olaya Herrera (2701507) propiedad del IDEAM y San Cristóbal (2701046). En esta cartilla (EPM, 2005) se presentan los parámetros para la construcción de las curvas Intensidad – Duración – Frecuencia de la estación, que considerando la cercanía de esta con la quebrada en estudio, se puede utilizar para representar adecuadamente la variabilidad temporal de la precipitación en las cuencas de análisis.

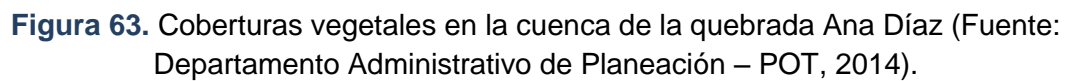
En la Figura 62 se presenta la ubicación de las estaciones pluviométricas de la zona, y la influencia de cada una de ellas en la cuenca de análisis, lo cual fue determinado mediante la aplicación de una evaluación de proximidad por polígonos de Thiessen.

- ***Información de Coberturas Vegetales***

Se recopiló la información relacionada con coberturas vegetales y tipos de suelos que se encuentran dentro de la zona de estudio, la cual fue desarrollada y evaluada por parte del equipo SIG del proyecto. Para un mejor detalle del procesamiento de esta información, se solicita revisar el capítulo del componente SIG que hace parte del presente documento. El mapa de coberturas vegetales de las cuencas de análisis se realizó a partir de las capas temáticas del “Plan de Ordenamiento Territorial – POT (DAP, 2014), y se presenta en la Figura 63.







## Procesamiento del modelo de terreno y morfometría

A partir del MDE y utilizando el software Tau DEM - Terrain Analysis Using Digital Elevation Models en la plataforma de MapWindow GIS 4.7 (<http://www.mapwindow.org/>) de libre distribución, se construyeron en formato ráster los mapas de: pendientes máximas, direcciones de drenaje, áreas acumuladas y red de drenaje, los cuales son insumos necesarios para la estimación de caudales y el análisis morfométrico.

En la Figura 64 se presenta el MDT de la cuenca de la quebrada Ana Díaz, con la información cartográfica se identificaron y delimitaron cuencas aferentes a los puentes vehiculares 1, 2, 3 y 4, además de la cuenca correspondiente a todo el tramo de interés. La información se procesó y posteriormente se estimaron los parámetros morfométricos necesarios para la evaluación hidrológica.

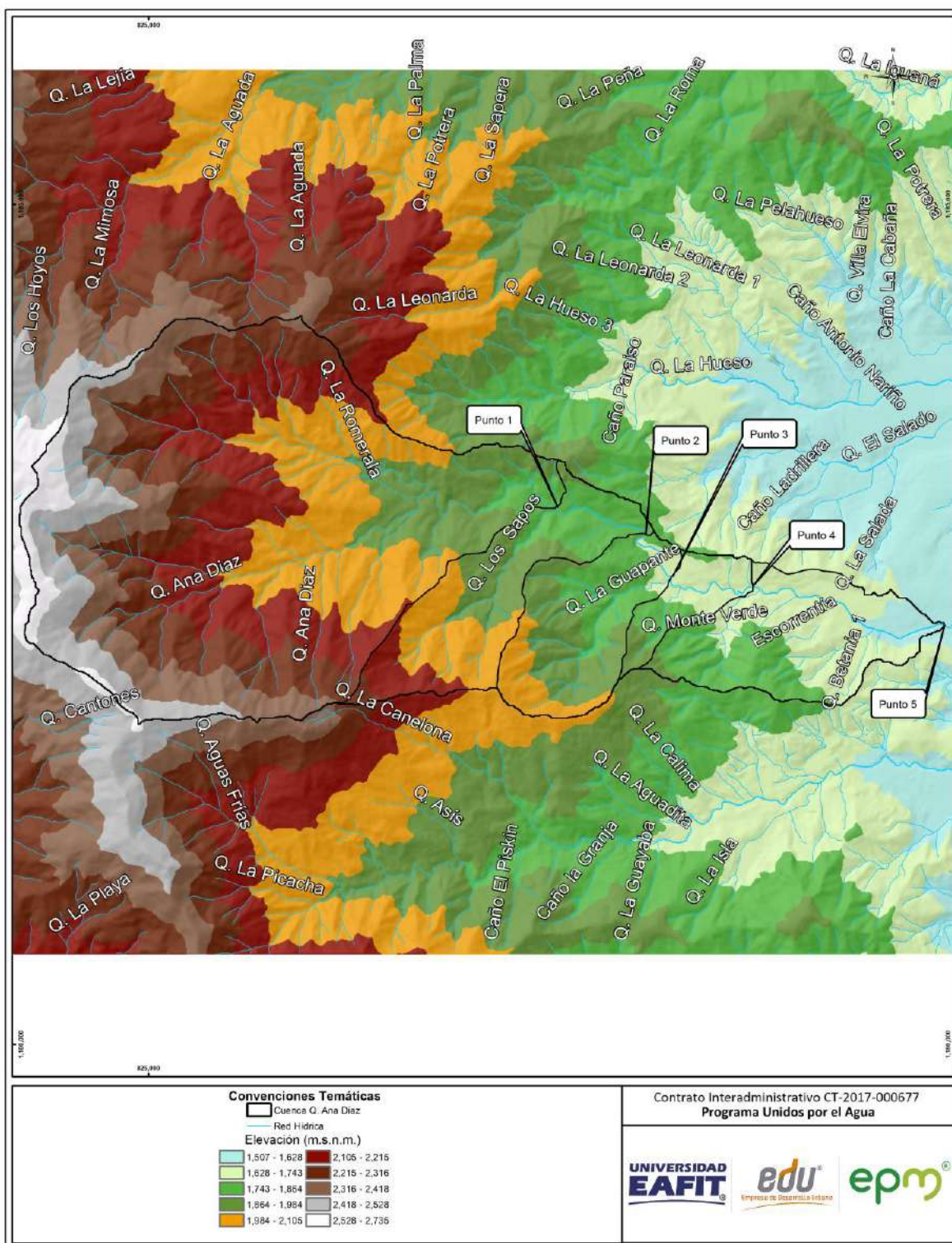
En la Tabla 8 se presentan los parámetros morfométricos para la cuenca total del tramo de interés de la quebrada Ana Díaz, los parámetros usados para la evaluación hidrológica para las subcuentas aferentes a los puentes vehiculares se presenta en el Anexo T.

**Tabla 8.** Parámetros morfométricos de la cuenca de la quebrada Ana Díaz.

Parámetro	Unidad	Valor
Área de drenaje	km <sup>2</sup>	7,680
Perímetro cuenca	km	18,03
Longitud Cauce principal	km	6,94
Longitud del río a divisoria	km	0,150
Pendiente cauce principal	%	11,62
Pendiente cuenca	%	19,37
Cota mayor cuenca	m.s.n.m.	2657,36
Cota menor cuenca	m.s.n.m.	1616,97
Cota mayor río	m.s.n.m.	2423,17
Cota menor río	m.s.n.m.	1616,97
Longitud al punto más alejado	km	5,37
Coordenada Este *	m	829.733,60
Coordenada Norte *	m	1.182.498,85

\*Coordenadas en sistema de referencia Magna Sirgas



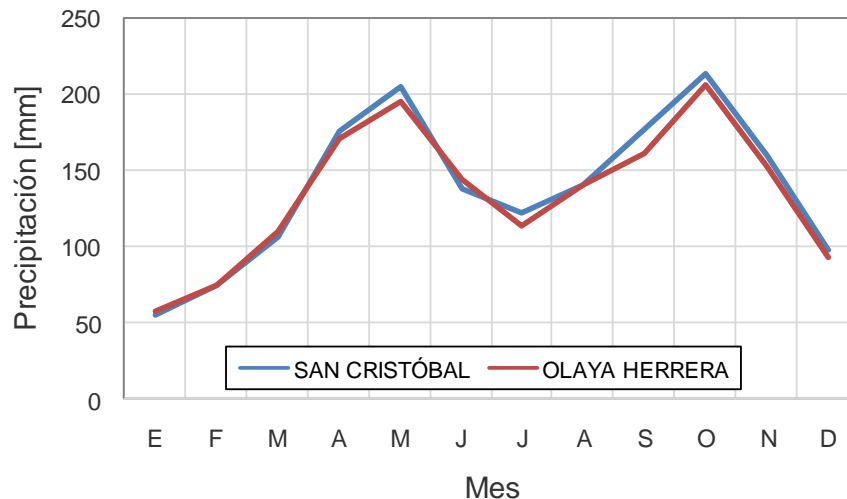


**Figura 64.** Modelo Digital del Terreno en la cuenca de la quebrada Ana Díaz (Fuente: Elaborado por Eafit a partir de cartografía básica).



## Ciclo de la precipitación

Como se indicó, la zona de análisis está influenciada por las estaciones Olaya Herrera (2701507) propiedad del IDEAM y San Cristóbal (2701046) operada por Empresas Públicas de Medellín (EPM). La caracterización hidroclimatológica se realizó a partir del registro medio mensual histórico. Según los registros de las estaciones (Figura 65) se presenta un comportamiento bimodal en la zona de interés, donde se identificaron dos periodos húmedos con aumentos en la precipitación en los periodos marzo – mayo (MAM) y septiembre – noviembre (SON), siendo octubre el mes que presenta mayores valores de precipitación; a sí mismo se identificaron dos periodos secos con disminución evidente en la precipitación, que comprende los periodos entre diciembre – enero (DEF) y junio – agosto (JJA). La precipitación media multianual en la estación Olaya Herrera (2701507) es de 1.639,1 mm/año y la estación San Cristóbal (2701046) es de 1.663,1 mm/año.

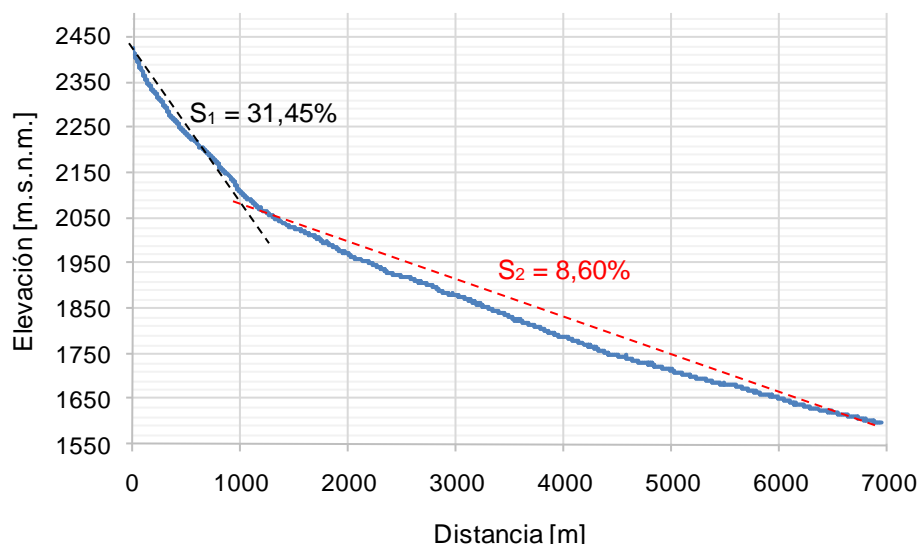


**Figura 65.** Variación mensual multianual de la precipitación promedio en la zona de estudio.

## Perfil del cauce principal

Una vez se contó con el modelo digital del terreno (MDT) y con el alineamiento de la red de drenaje principal de la quebrada Ana Díaz, se extrajo las cotas en cada uno de los puntos de la corriente, y así se reprodujo el perfil del canal principal. En la Figura 66 se presenta el perfil del cauce principal de la quebrada.

En el perfil se evidencia un cauce alta pendiente en su parte inicial (Figura 66 –  $S_1 = 31,45\%$ ) y un segundo tramo con un cambio abrupto en la pendiente de la quebrada Ana Díaz, presentando una pendiente media del canal de  $8,60\%$ .



**Figura 66.** Perfil cauce principal de la quebrada Ana Díaz.

## Cálculo de caudales máximos

Para realizar el cálculo de caudales máximos a través de metodologías de hidrógrafas unitarias sintéticas, se determinó el tiempo de concentración para la cuenca de la quebrada Ana Díaz, así como el valor para la intensidad de diseño y la precipitación efectiva.

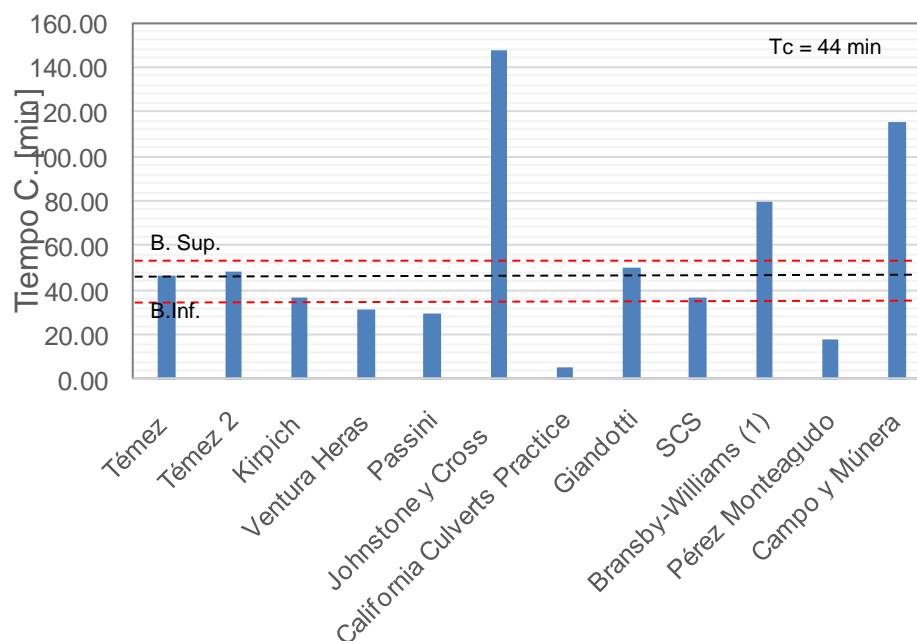
- **Tiempos de concentración**

En la Tabla 9 se presentan los resultados dados para cada uno de los métodos utilizados.

**Tabla 9.** Parámetros morfométricos de la cuenca de la quebrada Ana Díaz.

Método	Horas	Minutos
Témez	0,77	46,33
Témez 2	0,81	48,59
Kirpich	0,61	36,83
Ventura Heras	0,53	31,72

Método	Horas	Minutos
Passini	0,50	29,82
Johnstone y Cross	2,46	147,89
California Culverts Practice	0,09	5,54
Giandotti	0,84	50,15
SCS	0,62	36,98
Bransby-Williams (1)	1,33	79,51
Pérez Monteagudo	0,30	18,06
Campo y Múnera	1,92	115,13



**Figura 67.** Tiempos de Concentración en la cuenca de la quebrada Ana Díaz.

Según los resultados indicados en la Figura 67, para la quebrada Ana Díaz, inicialmente se determina un intervalo con significancia estadística, cuyo límite inferior corresponde al promedio menos la desviación estándar (Figura 67 - B Inf.) y el límite superior al promedio más la desviación estándar (Figura 67- B. Sup.). Para dicha quebrada, se consideraron los resultados dados por los métodos: Temez, Temez 2, Kirpich, Giandiotti, y SCS, los cuales se encontraron dentro de las bandas de confianza. Las demás metodologías se estimaron como valores atípicos, que sobreestiman la variable del tiempo de concentración. De esta forma se asume un tiempo de concentración de **44,0 min** para la cuenca de la quebrada Ana Díaz.



- **Intensidad de lluvia**

Para determinar la intensidad de lluvia asociada a diferentes períodos de retorno se utilizan las curvas IDF (Intensidad-Duración-Frecuencia), que relacionan la duración de la lluvia con la intensidad de ésta. Para la cuenca de la quebrada Ana Díaz se implementó la información de las estaciones Olaya Herrera (2701507) propiedad del IDEAM y San Cristóbal (2701046) operada por EPM. Los parámetros estimados para la estación se encuentran consignados en la Revista Hidrometeorológica de Empresas Públicas de Medellín (EPM, 2005), y se presentan en la Tabla 10.

Para este caso particular, se utilizó la información de precipitación máxima en 24 horas registrada en la estación Olaya Herrera (2701507), propiedad del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM. Para la elaboración de su respectiva curva IDF se aplicó la metodología de múltiple escalamiento propuesta por Wilches (2001), la cual requiere este tipo de información hidroclimatológica.

En los análisis realizados por Wilches (2001), se encontró para estaciones de registro pluviográficas ubicadas en Antioquia, que las relaciones de escala no son válidas en todo el rango de duraciones, y que es necesario subdividirlo en dos o más rangos. Pudo observarse que el escalamiento para las duraciones pequeñas (menores de 2 horas) presenta gran variabilidad y el de duraciones mayores es más estable lo que presupone análisis de escalamiento múltiple y simple, respectivamente.

Inicialmente se realizó una evaluación visual de los datos registrados para la precipitación máxima en 24 horas en la estación Olaya Herrera (2701507), encontrándose acorde con los rangos de variación evidenciados en los registros. De esta forma, se continuó con la extracción de los valores máximos anuales para estos eventos, información requerida en la caracterización de las tormentas, con el objetivo de aplicar la metodología propuesta por Wilches (2001).

La intensidad se estima mediante la siguiente expresión:

$$I = C (D + H)^m \quad \text{Ecuación 1}$$

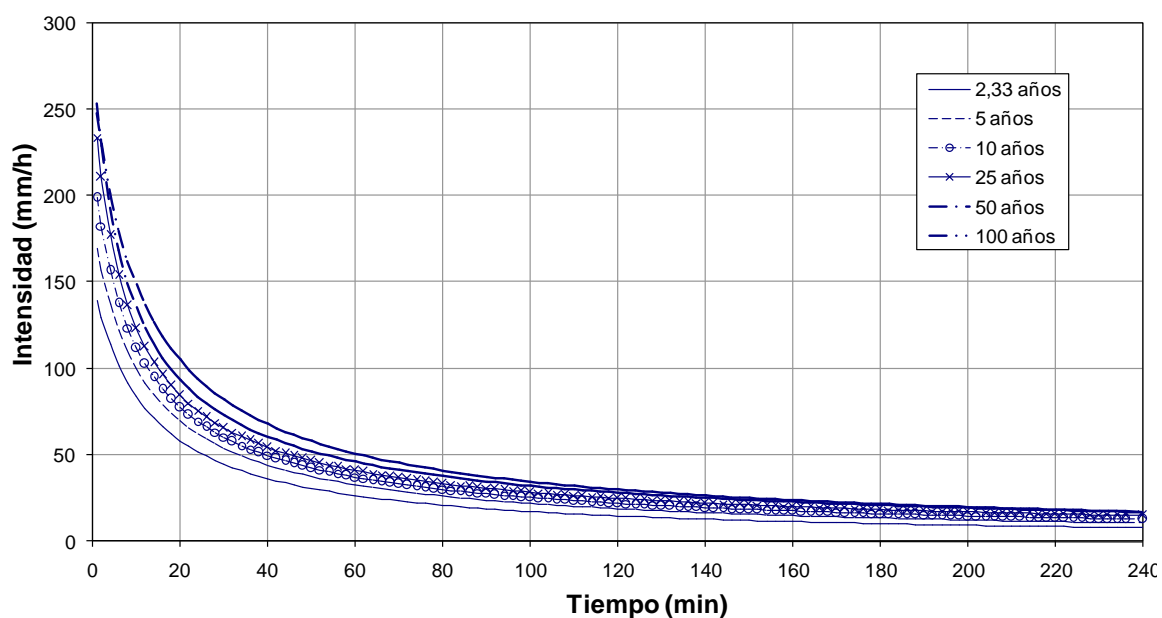
Donde, I: Intensidad en [mm/h], D: La duración de la Lluvia [min], C, h, m, son parámetros de la curva IDF para cada estación pluviométrica.

**Tabla 10.** Parámetros para la ecuación IDF de la estación Olaya Herrera (2701507) y San Cristóbal (2701046).

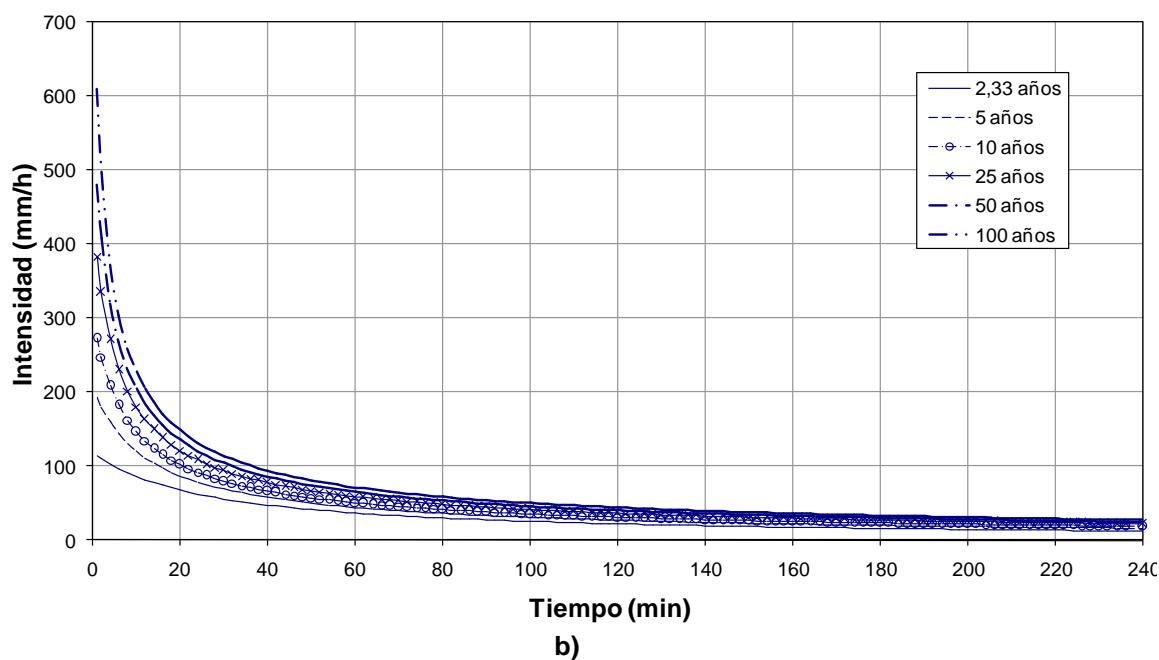
TR [años]	Parámetro					
	Aeropuerto Olaya Herrera (2701507)			San Cristóbal (2701046)		
	C	h	m	C	h	m
2.33	1678,8	12	-0,9703	2593,6	25	-0,9583
5	1434,6	10	-0,8896	1307,8	10	-0,7975
10	1231,6	8	-0,8293	1180,0	6	-0,7520
25	1057,2	6	-0,7751	1249,0	4	-0,7340
50	1113,7	6	-0,7602	1308,1	3	-0,7237
100	1929,0	10	-0,8557	1326,9	2	-0,7085

En la Figura 68 y se presenta las curvas IDF para las estaciones Olaya Herrera (2701507) y San Cristóbal (2701046).

De esta forma, se considera que los modelos lluvia-escorrentía utilizan parámetros tanto morfológicos como climáticos, por lo que resulta necesario determinar la lluvia de diseño con el cálculo apropiado de la duración de la lluvia, que en general, se supone igual al tiempo de concentración de la cuenca.



a)



**Figura 68.**Curvas IDF de las estaciones: a) Olaya Herrera (2701507) y b) San Cristóbal (2701046).

En la Tabla 11 se presenta para el tiempo de concentración estimado, las intensidades [mm/h] correspondientes a cada periodo de retorno, teniendo en cuenta que la estaciones Olaya Herrera (2701507) y San Cristóbal (2701046) presentan una influencia sobre la cuenca de la quebrada Ana Díaz de 12% y 88%, respectivamente.

**Tabla 11.**Intensidad de diseño y precipitación total de la lluvia para la cuenca de la quebrada Ana Díaz.

TR [años]	(Tc = 44 min)		Intensidad [mm/h]	Precipitación [mm]
	Olaya Herrera	San Cristóbal		
2,33	33,79	44,85	43,49	31,90
5	41,27	54,32	52,72	38,66
10	46,49	62,27	60,34	44,25
25	50,97	72,87	70,19	51,47
50	56,91	80,64	77,73	57,01
100	63,53	88,06	85,06	62,38



- **Método de Hidrógrafas Unitarias Sintéticas**

En el Anexo 1, se describen los aspectos metodológicos relacionados con la aplicación de las hidrógrafas unitarias sintéticas de Snyder, SCS y Williams y Hann, las cuales son adecuadas para las características de la cuenca estudiada.

- **Precipitación Efectiva**

## Número de Curva

La información relacionada con coberturas vegetales y tipos de suelos que se encuentran en la cuenca de la quebrada Ana Díaz, fue desarrollada y evaluada por parte del equipo SIG del proyecto. Desde los aspectos metodológicos para evaluar las pérdidas hidrológicas de una cuenca, se consideró la aplicación del método del Número de Curva, así:

La humedad antecedente del suelo está definida en tres grupos:

AMC-I: Para suelos secos.

AMC-II: Para suelo intermedios.

AMC-III: Para suelos húmedos.

Inicialmente se pensó en utilizar los números de curva (CN por su sigla en inglés) propuestos por la SCS para suelos tipo II, es decir para condiciones antecedentes de humedad intermedia. Sin embargo, se decidió utilizar en su lugar el número de curva para suelos tipo III (condiciones antecedentes de humedad alta) con el objetivo de ser un poco más conservadores al momento de definir los caudales de diseño. La transformación de una humedad antecedente AMC II a AMCIII se realiza mediante la siguiente expresión:

$$CN(III) = \frac{23 \cdot CN(II)}{10 + 0,13 (CNII)} \quad \text{Ecuación 2}$$

Además del número de curva, también se requiere ubicar la zona dentro de un grupo hidrológico del suelo, el cual está definido como el potencial de infiltración después de una lluvia prolongada. Los números de curva han sido tabulados por el Soil

Conservation Service (SCS) con base en el tipo y uso del suelo. Se definen cuatro grupos de suelos:

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 denudados 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 0/90 y en donde la pendiente media excede 15%. El tipo de vegetación en 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 cuenca. En este grupo se encuentran las áreas urbanizadas con poca vegetación (10%).

En la Tabla 12 se presentan los diferentes tipos de coberturas vegetales con sus respectivos CN, discretizados por la clasificación hidrológica de cada tipo de suelo.

**Tabla 12.** Número de Curva para los diferentes tipos de cobertura.

Tipo de vegetación	Tratamiento	Condición hidrológica	Tipo de suelo			
			A	B	C	D
Barbecho	Desnudo	-	77	86	91	94
	CR	Pobre	76	85	90	93
	CR	Buena	74	83	88	90
Cultivos Alineados	R	Pobre	72	81	88	91
	R	Buena	67	78	85	89
	R+CR	Pobre	71	80	87	90
	R+CR	Buena	64	75	82	85
	CR	Pobre	70	79	84	88
	CR	Buena	65	75	82	86
Cultivos Alineados	C+CR	Pobre	69	78	83	87
	C+CR	Buena	64	74	81	85
	C+T	Pobre	66	74	80	82
	C+T	Buena	62	71	78	81
	C+T+CR	Pobre	65	73	79	81
	C+T+CR	Buena	61	70	77	80
Cultivos no alineados, o con surcos pequeños o mal definidos	R	Pobre	65	76	84	88
	R	Buena	63	75	83	87
	R+CR	Pobre	64	75	83	86
	R+CR	Buena	60	72	80	84
	CR	Pobre	63	74	82	85
	CR	Buena	61	73	81	84
	C+CR	Pobre	62	73	81	84
	C+CR	Buena	60	72	80	83
	C+T	Pobre	61	72	79	82
	C+T	Buena	59	70	78	81
	C+T+CR	Pobre	60	71	78	81
	C+T+CR	Buena	58	69	77	80
Cultivos densos de leguminosas o prados en alterancia	R	Pobre	66	77	85	89
	R	Buena	58	72	81	85
	C	Pobre	64	75	83	85
	C	Buena	55	69	78	83
	C+T	Pobre	63	73	80	83
	C+T	Buena	51	67	76	80
Pastizales o Pastos naturales	-	Pobres	68	79	86	89
	-	Regulares	49	69	79	84
	-	Buenas	39	61	74	80



Tipo de vegetación	Tratamiento	Condición hidrológica	Tipo de suelo			
			A	B	C	D
Pastizales	C	Pobres	47	67	81	88
	C	Regulares	25	59	75	83
	C	Buenas	6	35	70	79
Prados Permanentes	-	-	30	58	71	78
Matorral-herbazal	-	Pobres	48	67	77	83
Matorral-herbazal	-	Regulares	35	56	70	77
	-	Buenas	< 30	48	65	73
Combinación de arbolado y herbazal, cultivos agrícolas leñosos	-	Pobres	57	73	82	86
	-	Regulares	43	65	76	82
	-	Buenas	32	58	72	79
Montes con pastos	-	Pobres	45	66	77	83
	-	Regulares	36	60	73	79
	-	Buenas	25	55	70	77
Bosques	-	I Muy Pobre	56	75	86	91
	-	II Pobre	46	68	78	84
	-	III Regular	36	60	70	76
	-	IV Buena	26	52	63	69
	-	V Muy Buena	15	44	54	61
Caseríos	-	-	59	74	82	86
Camino en tierra	-	-	72	82	87	89
Caminos con firme	-	-	74	84	90	92

CR: Con cubierta de residuos vegetales que ocupe al menos el 5% de la superficie del suelo durante todo el año.

R: Si las labores de la tierra (labrar, gradear, sembrar, etc.) se realizan en línea recta, sin considerar la pendiente del terreno.

C: Si el cultivo se realiza siguiendo las curvas de nivel.

T: Si se trata de terrenos aterrazados (terrazas abiertas con desagüe para la conservación de suelos).

El mapa de coberturas vegetales se presenta en la Figura 63. A partir de esta información y los tipos de suelo se definió el número de curva adecuado para cada una de las coberturas de la cuenca de estudio. En la Tabla 13, se presentan los porcentajes del área total de las cuencas con relación a cada cobertura.

Dado que en la Tabla 12 no se presenta un rango de valores para coberturas de tipo construcciones en bloque y áreas urbanas, se escoge un número de curva para esta clasificación de 90, teniendo en cuenta sus condiciones de impermeabilidad y pendiente.

Geomorfológicamente el relieve de la cuenca es inclinado a fuertemente escarpado. Referente a la geología, el suelo está formado principalmente por el stock de AltaVista. Teniendo en cuenta lo anterior, se asume que el suelo presenta una **condición de infiltración media**.

**Tabla 13.** Usos del suelo en la cuenca de la quebrada Ana Díaz.

Tipo de cobertura	CN	Área (%)
Zonas urbanizadas	90	5,08
Zonas de extracción minera y escombreras	82	1,39
Áreas abiertas sin o con poca vegetación	67	4,12
Cultivos permanentes y/o transitorios	73	2,28
Áreas agrícolas heterogéneas	60	4,87
Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	48	5,04
Bosques	52	62,85
Pastos arbolados	61	14,37

El número de curva determinado para la cuenca de la quebrada Ana Díaz es de **56,79** para una condición de humedad antecedente AMC II y el grupo de suelo hidrológico tipo B. A pesar de que la pendiente en la cuenca supera el 10% se elige este grupo de suelo debido a su permeabilidad, dado que esta característica es la que controla principalmente el flujo de agua en el suelo.

Debido a la diversidad de usos del suelo, para poder determinar el número de curva se hizo una ponderación del CN de cada una de las coberturas con el porcentaje del área que representan, obteniendo un único valor el número de curva para toda la cuenca.

Realizando la transformación del número de curva de una condición AMC II a una situación más desfavorable (AMC III – Máxima Saturación del Suelo), se obtiene un valor de **75,14** para la cuenca de la quebrada Ana Díaz.

## Distribución Temporal de la lluvia

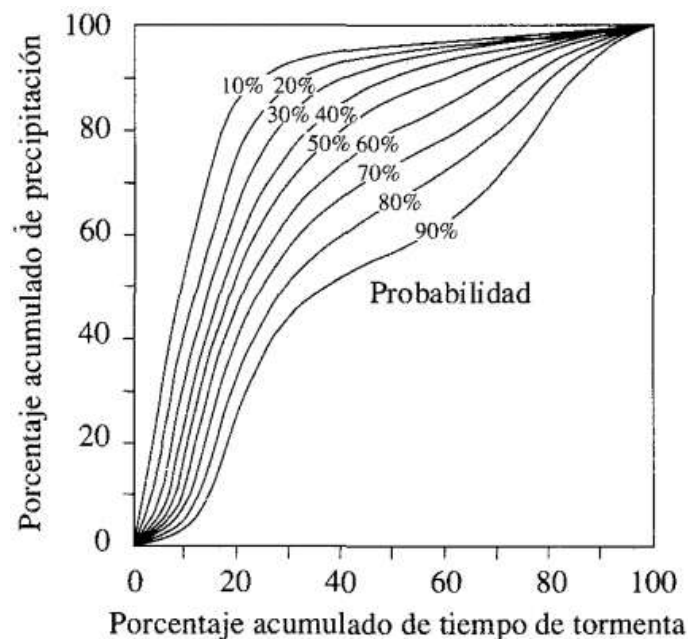
Para la distribución temporal de la lluvia se utilizó el diagrama elaborado por Huff, 1967 (mencionado en Smith y Vélez, 1997 y Posada, 1994) que se presenta en la Figura 69, para lluvia con una probabilidad de excedencia del 50%.

## Hietograma efectivo o distribución de la lluvia en el tiempo

En los modelos lluvia-escorrentía, para determinar la tormenta de diseño, es necesario hallar la distribución de la lluvia en el tiempo. Para este propósito existen diferentes metodologías (Diagrama de Huff, Histograma triangular, Bloque alterno). Para el presente estudio los valores de distribución de la lluvia en el tiempo fueron tomados del Diagrama de Huff (Figura 69) para el primer cuartil (más severos) con una probabilidad de ocurrencia del 50% (Chow, et al., 1994). Así que para incrementos correspondientes al 10% del tiempo de duración de la tormenta, se lee este valor en el diagrama de Huff y se determina el valor de la lluvia para ese tiempo. En la Tabla 14 se presenta el porcentaje de la lluvia total se presenta para cada intervalo de tiempo.

**Tabla 14.** Distribución de la lluvia en el tiempo según el método asumido.

T acm (%)	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Lluvia acm (%)	16	52	69	80	85	87	91	94	98	100



**Figura 69.** Diagrama distribución temporal de la lluvia, según Huff – 1967, Chow et al, 1994.



- **Método Racional Probabilístico**

Con este método puede hallarse el caudal con la siguiente expresión:

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

Donde C: Coeficiente de escorrentía, I: Intensidad de la lluvia (mm/h) y A: Área de la cuenca (km<sup>2</sup>).

Las tablas habituales para estimar el coeficiente de escorrentía hacen depender su valor únicamente del tipo de terreno y de su cobertura. En algunos casos también dependen de la pendiente y del periodo de retorno, pero casi todas se olvidan de la humedad antecedente del suelo.

Una forma de tener en cuenta este factor es estableciendo una relación entre el número de curva y el coeficiente de escorrentía. Por definición el coeficiente de escorrentía es:

$$C = \frac{Es}{P} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde

Es: Escorrentía y P : Precipitación

La escorrentía superficial ( $E_s$ ) que genera cualquier evento de precipitación ( $P$ ) se puede cuantificar mediante el método del número de curva. Admitiendo la relación habitual  $I_a = 0,2 \cdot S$  (Infiltración inicial). Se tiene que:

$$Es = \frac{(P - I_a)^2}{P + 4 \cdot I_a} \rightarrow C = \frac{Es}{P} = \frac{(P - I_a)^2}{P^2 + 4 \cdot P \cdot I_a} \quad \text{Ecuación 5}$$

Así determinando un valor adecuado para el número de curva, podemos obtener valores del coeficiente de escorrentía para cada periodo de retorno, y para la

precipitación correspondiente al tiempo de concentración. En la Tabla 15 se presentan los coeficientes de escorrentía para la cuenca analizada.

**Tabla 15.** Coeficientes de escorrentía para la cuenca de la quebrada Ana Díaz.

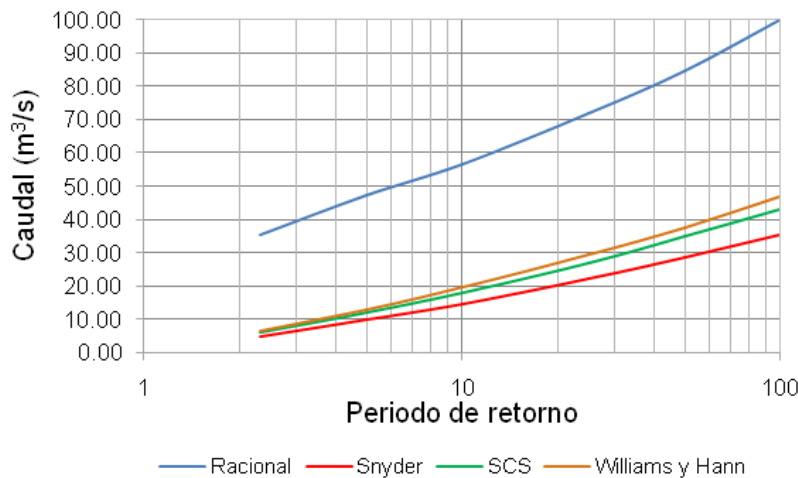
TR [años]	C
2,33	0,38
5	0,42
10	0,44
25	0,48
50	0,51
100	0,55

## Resultados

En la Tabla 16 y Figura 70, se presenta los resultados obtenidos para los caudales máximos en la cuenca de la quebrada Ana Díaz hasta el sitio de interés.

**Tabla 16.** Caudales máximos en la cuenca de la quebrada Ana Díaz.

TR [años]	Williams y Hann	Snyder	SCS	Método Racional	Seleccionado
2,33	6,51	4,92	6,12	35,26	5,85
5	12,93	9,79	12,03	47,24	11,58
10	19,49	14,64	18,02	56,63	17,38
25	29,26	22,16	26,92	71,87	26,11
50	37,58	28,68	34,76	84,58	33,67
100	46,69	35,51	43,06	99,80	41,75



**Figura 70.** Caudales máximos calculados por diferentes métodos en la quebrada Ana Díaz.

Se evidencia una diferencia amplia entre los resultados obtenidos por el método de las hidrógrafas unitarias sintéticas y el método racional, dado que los modelos de lluvia – escorrentía de las hidrógrafas unitarias sintéticas, utilizan el parámetro de precipitación efectiva. De igual forma, la cuenca de la quebrada Ana Díaz tiene un área superior a la recomendada para aplicación del método racional (menores a 5 km²).

Es por ello que se recomienda utilizar como caudal de diseño el promedio de los estimativos del método de las hidrógrafas unitarias sintéticas, toda vez que dichos estimativos fueron concebidos en cuencas con áreas grandes y representan de mejor forma las condiciones de la cuenca de estudio.

Con el objetivo de tener en cuenta crecientes con arrastre de lodo y empalizadas, el caudal de diseño estimado para un periodo de retorno de 100 años es incrementado un 40% de acuerdo a la metodología recomendada en el POMCA, lo cual será usado para la definición de la amenaza, pero para el diseño de las obras se trabajará con el periodo de retorno de 100 años. Los caudales seleccionados para los diferentes periodos de retorno y el estimado a partir de la metodología POMCA se presentan en la Tabla 17.



**Tabla 17.** Caudales máximos seleccionados ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) en la cuenca de la quebrada Ana Díaz.

TR [años]	Caudal				
	Puente Vehicular 1	Puente Vehicular 2	Puente Vehicular 3	Puente Vehicular 4	Cuenca completa 5
2,33	3,03	4,33	5,16	5,46	5,85
5	6,53	8,52	10,16	10,81	11,58
10	10,19	12,98	15,34	16,25	17,38
25	15,96	19,94	23,48	24,96	26,11
50	20,94	25,66	30,26	32,22	33,67
100	26,11	31,52	37,26	39,71	41,75
POMCA	36,55	44,13	52,16	55,59	58,45

Finalmente, es importante tener en cuenta que la magnitud de los caudales escogidos serán verificados mediante el concepto de banca llena, el cual representa el caudal de creciente que transita por el canal principal de una fuente natural y que ocupa la sección principal sin generar el desbordamiento de las aguas, y que oscila entre un periodo de recurrencia de 1,5 a 2,33 años (POSADA, 1994). Este procedimiento será utilizado para validar los caudales estimados y usados en la modelación hidráulica.

#### 8.4.2 Hidráulica

Para la quebrada Ana Díaz se analiza el comportamiento del flujo al momento de fuertes crecientes, determinando así la mancha de inundación para el caudal con periodo de retorno de 100 años incrementado en un 40%. Este es el caudal usado para incluir dentro del volumen de agua transportada, el arrastre de sedimentos tipo arenas y gravas, característicos de la corriente a estudiar. Este caudal permitirá definir junto con las características geomorfológicas de la cuenca, la amenaza por torrencialidad, pero para el diseño de las obras se utilizará el periodo de retorno de 100 años.

Como justificación para implementar el caudal con periodo de retorno de 100 años incrementado en 40%, se tienen los conceptos del estudio Plan de Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Aburrá – POMCA, adelantado en el año 2006, por la comisión conjunta (Área Metropolitana del Valle de Aburrá- AMVA, La Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia – CORANTIOQUIA y La Corporación Autónoma

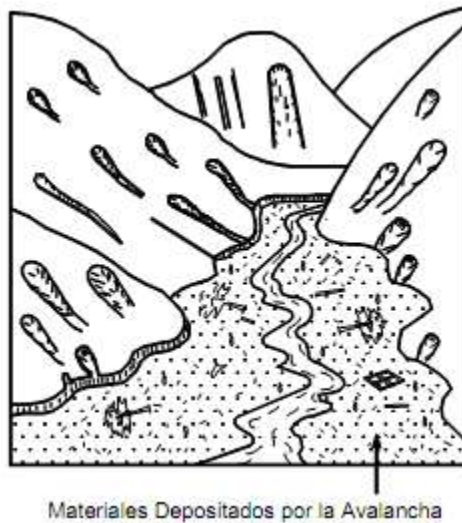
Regional Rionegro – Nare, CORNARE), donde se recomienda que para corrientes que no cuenten con registros de caudales sólidos, se puede incrementar el caudal para el periodo de retorno de 100 años en 40%, valor que se asemeja al aumento del volumen líquido presente en una creciente con características torrenciales, dado que no se cuenta con una caracterización adecuada de los sedimentos presentes al momento de una avenida torrencial, ni registro de aforos sólidos en las corrientes.

Así mismo, el Acuerdo Metropolitano 009 de 2012 (AMVA, 2012) elaborado por el Área Metropolitana del Valle de Aburrá en conjunto con la Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, la Universidad EAFIT y la Universidad de Medellín, cuyo documento base es el texto Directrices y lineamientos para la elaboración de estudios geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, hidráulicos, hidrogeológicos y geotécnicos para intervenciones en zonas de ladera, retoman las recomendaciones presentadas en el POMCA (2006), toda vez que se considera una buena metodología para contemplar incrementos en los niveles del flujo por avenidas torrenciales. A partir de estos resultados, se identifican las zonas afectadas por avenidas torrenciales en la quebrada Ana Díaz del municipio de Medellín, y se presentan las recomendaciones para mitigar estas afectaciones.

Es importante resaltar que para determinar las zonas con amenaza por torrencialidad se complementan los resultados del modelo hidráulico con las evidencias de campo, a partir de los recorridos realizados por el equipo técnico en la delimitación de las terrazas aluviales. Dichas terrazas son las que dan cuenta de las avenidas torrenciales en las corrientes, presentando bloques heterométricos embebidos en matrices de sedimentos aluvio-torrenciales.

El fenómeno de las avenidas torrenciales es descrito como una falla progresiva y rápida, donde el flujo desciende formando una especie de “ríos de roca y suelo” (Figura 71). Estos flujos comúnmente se relacionan con lluvias ocasionales de índices pluviométricos excepcionales muy altos, deshielo de nevados o movimientos sísmicos en zonas de alta montaña, y la ausencia de vegetación, aunque es un factor influyente, no es un pre-requisito para que ocurran (Suárez, 2001).

Generalmente los flujos de torrenciales corren a lo largo de cañones estrechos y cuando encuentran un área más amplia tratan de detenerse, formando abanicos de depositación, los cuales pueden sepultar áreas relativamente extensas (Suárez, 2001).



**Figura 71.** Esquema de avenida torrencial (Fuente: Suárez, 2001).

El flujo hiperconcentrado está formado por una mezcla de partículas gruesas y agua. En el flujo hiperconcentrado predominan las partículas granulares (arenas, gravas, cantos y bloques) por lo tanto la mezcla no tiene cohesión. Se considera un flujo como hiperconcentrado si la concentración en volumen de sólidos en el flujo es mayor de 0,2 (20%) pero no supera 0,6 (60%), valor este que corresponde a un peso específico de 2,0 ton/ m<sup>3</sup> aproximadamente (Suárez, 2001).

Teniendo en cuenta lo anterior, caracterizar los sedimentos presentes en el canal actual no aportará información acerca de los flujos torrenciales (hiperconcentrados), dado que dichos sedimentos reflejan la capacidad de arrastre de la corriente en sus crecientes ordinarias.

Un ejemplo de flujos hiperconcentrados fueron las avalanchas ocurridas en el estado de Vargas en Venezuela en diciembre de 1999. En estas avalanchas se desprendieron cantidades importantes de sedimentos, debido a lluvias extraordinariamente intensas, formando ríos de agua y sedimentos gruesos, los cuales depositaron cantidades muy grandes de sedimentos sobre las zonas urbanas localizadas en los conos de deyección junto al mar (Suárez, 2001).

## Reconocimiento de campo

En el tramo de interés la quebrada Ana Díaz presenta una sección hidráulica de tipo cajón, con anchos variables dependiendo la zona cuyas longitudes están entre 3,0 m en su parte alta y 10,0 m hacia el final del polígono de interés. De forma



general se caracteriza como un cauce de montaña con alta pendiente y formación de saltos y pozos para disipación de energía (ver Figura 73- a).

En su parte alta la quebrada Ana Díaz presente estructuras de paso de tipo pontones (ver Figura 73- b y f), puentes peatonales (ver Figura 73- c y d) y puentes vehiculares (ver Figura 73- e). Es importante resaltar que a la altura de la confluencia de la quebrada Ana Díaz con la quebrada Guapante, es necesario realizar el diseño de la estructura de paso vehicular, dado que ante eventos de creciente, el flujo pasa por encima del pontón.

El cauce se encuentra fuertemente intervenido debido al proceso de urbanización desordenado de la zona, con cambios abruptos en el alineamiento horizontal, y el asentamiento de viviendas sobre las zonas de retiro.

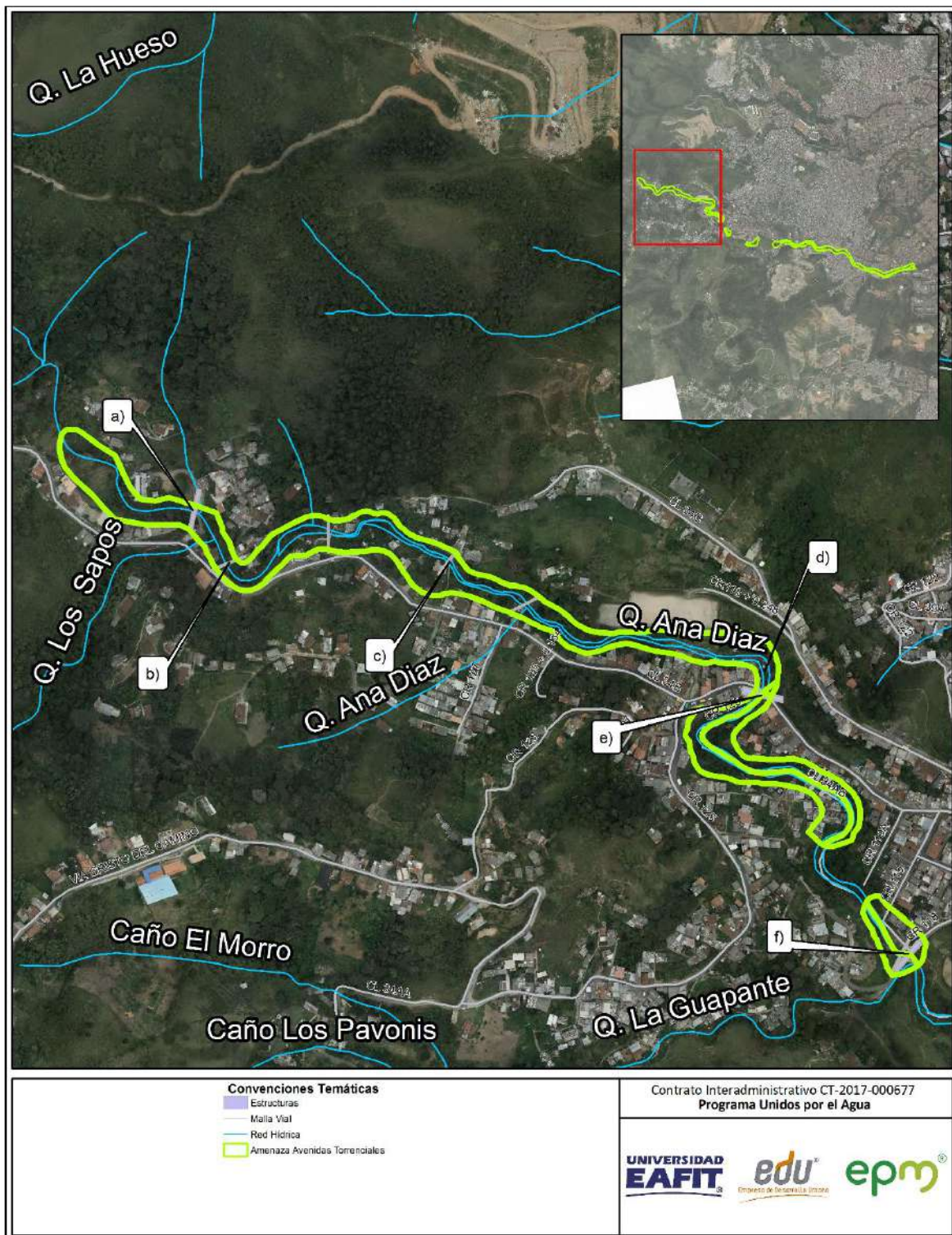
A lo largo del recorrido del tramo 2 (ver Figura 82) de la quebrada Ana Díaz se evidencian una gran cantidad de estructuras de paso peatonal construidos por la administración (ver Figura 75 – g) y en algunos casos por la comunidad, las cuales no cuentan con las mínimas condiciones de seguridad (ver Figura 75 – h).

Hacia la zona media del tramo 2 (ver Figura 75 – i), el cauce de la quebrada Ana Díaz presenta una sección amplia con llanura de inundación, las cuales sirven de alivio ante eventos de creciente.

De igual forma en el recorrido se encontró la captación de agua para el proceso productivo de la cantera del sector (ver Figura 75 – j), y aguas abajo a la altura de la Carrera 110 el acceso a dicha cantera (ver Figura 75 – k).y la implementación de trinchos para la explotación del material de arrastre de la quebrada, el cual es principalmente arenas finas (ver Figura 75 – l).

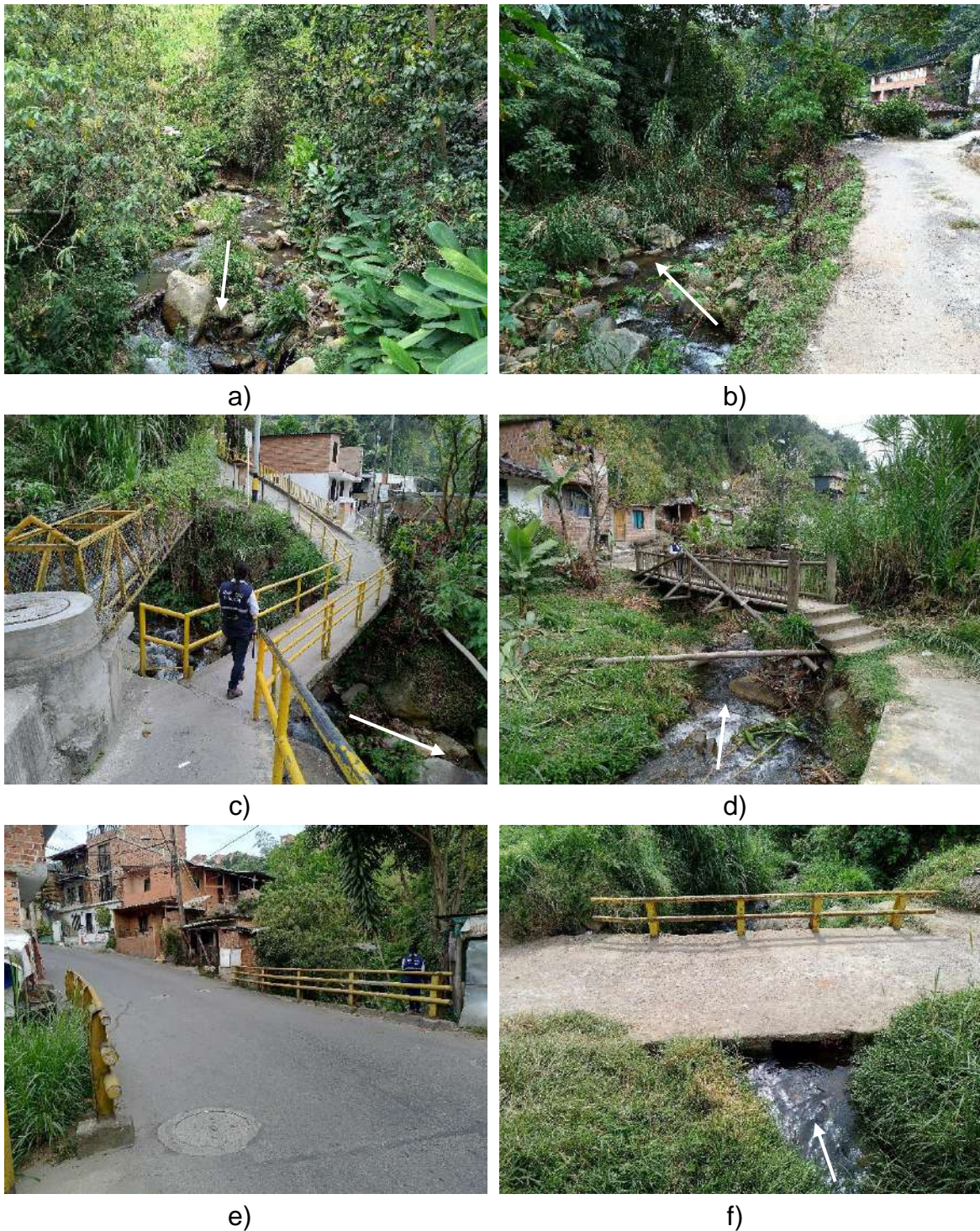
Es importante resaltar que en el tramo 2 de la quebrada Ana Díaz (ver Figura 82), aún se conservan gran parte de las condiciones naturales, respetando sus zonas de retiro y con algunas zonas en las que la comunidad dentro de su proceso de urbanización ha invadido dichas áreas.

Continuando con el recorrido, encontramos el tramo 3 o parte baja del cauce de la quebrada Ana Díaz (ver Figura 76), zona en la que la quebrada se encuentra presenta una alta presión por parte de la comunidad, con retiros urbanizados. De esta forma es evidente como las construcciones y viviendas sirven como muro lateral a la corriente (ver Figura 77 – m y n).



**Figura 72.** Quebrada Ana Díaz en el tramo de estudio 1.





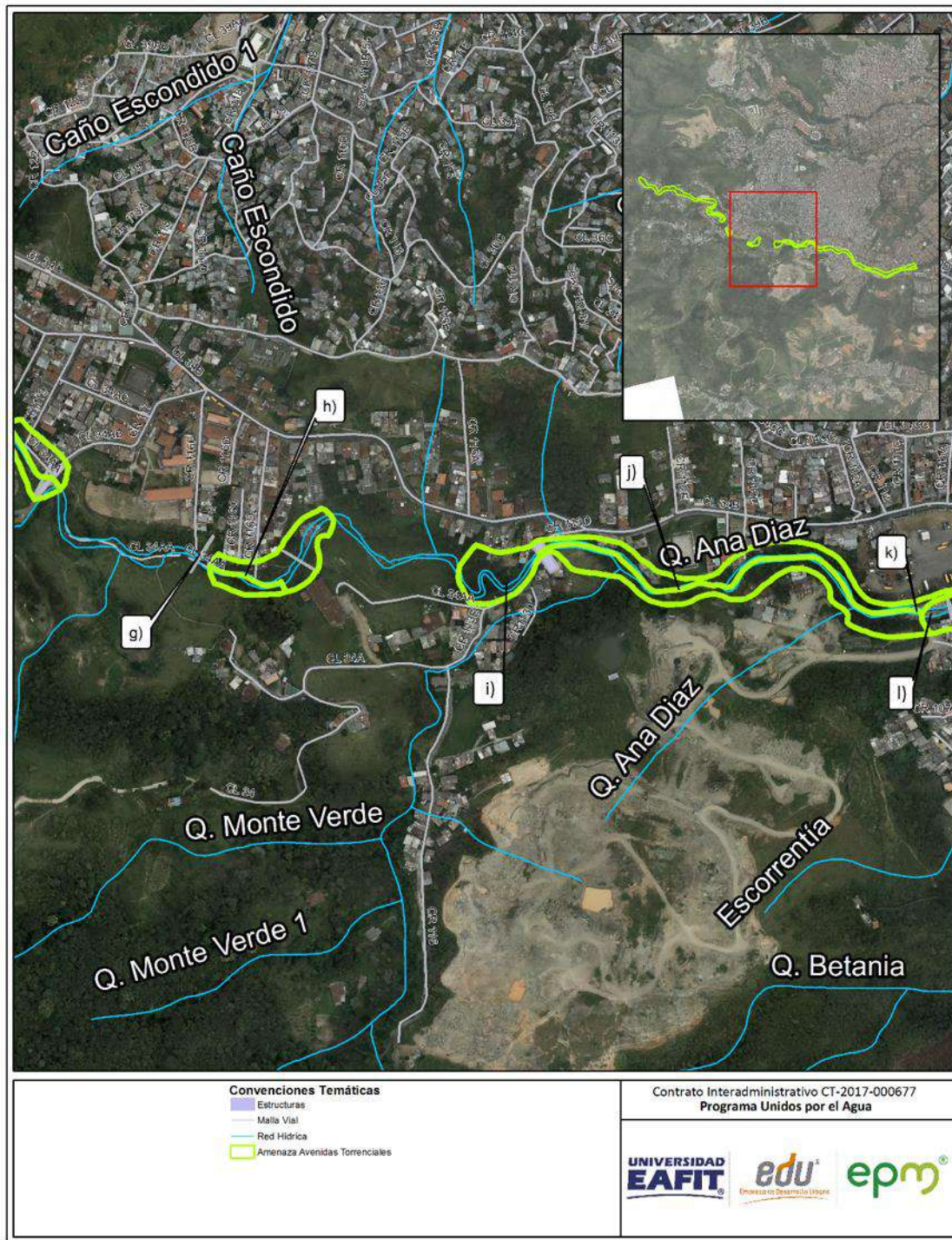
**Figura 73.** Quebrada Ana Díaz en el tramo 1 de estudio: a) parte alta, b) pontón antes de confluencia quebrada Los Sapos, c) puente peatonal a la altura de la Calle 130 con Carrera 34B, d) puente peatonal en madera de la Calle 127 con



Carrera 34B, e) Puente vehicular sobre la Carrera 34B y f) pontón a la altura de la confluencia con la quebrada La Guapante

A la altura del cruce de la quebrada Ana Díaz con la Carrera 102 se evidencia el mal estado de los muros laterales que protegen las construcciones aledañas (ver Figura 77 – o), presentando muros fallados y socavados. Dicha situación será objeto del diseño en el presente estudio.

Hacia el final del tramo se encuentran diversas estructuras de paso vehicular y peatonal, al igual que un canal en concreto, obra reciente que se evidencia en buen estado ((ver Figura 77 – p - r).



**Figura 74.** Quebrada Ana Díaz en el tramo de estudio 2.





**Figura 75.** Quebrada Ana Díaz en el tramo 2 de estudio: g) puente peatonal a la altura de la Carrera 116F, h) puente peatonal artesanal en la Carrera 113G, i) configuración del cauce Carrera 113D, j) Captación de agua para la cantera, k) acceso a cantera y l) explotación de arenas en el cauce.





**Figura 76.** Quebrada Ana Díaz en el tramo de estudio 3.





m)



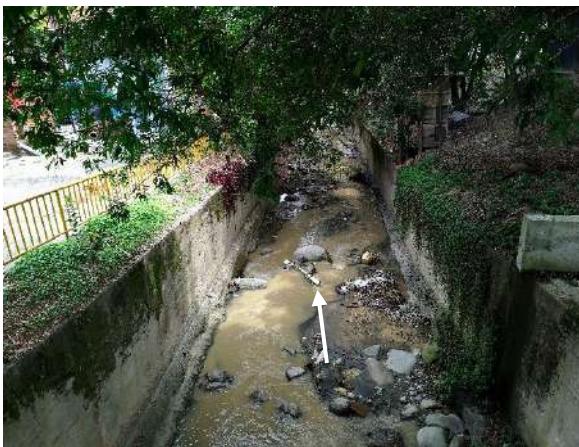
n)



o)



p)



q)



r)

**Figura 77.** Quebrada Ana Díaz en el tramo 3 de estudio: m) cauce a la altura de la Carrera 106, n) puente vehicular en la Carrera 106, o) muro socavado y fallado

Carrera 102, p) puente vehicular en la Carrera 94, q) canal en concreto en la Carrera 93B y r) puente vehicular en la Carrera 93.

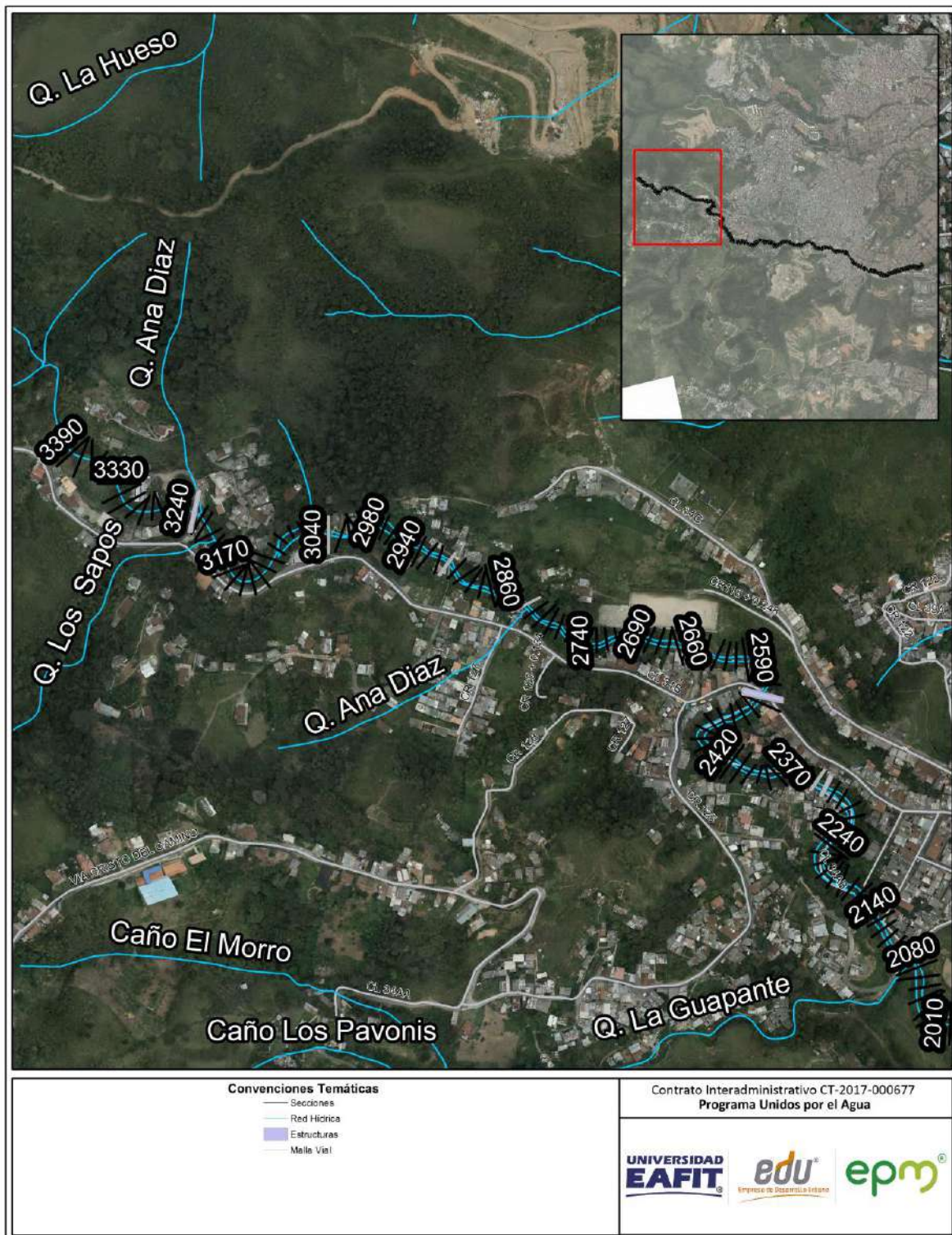
## Información básica

- **Topografía**

Se realizó un levantamiento topográfico de márgenes y lecho de la quebrada Ana Díaz, el cual contó con información en una longitud de 3,40 km. Las secciones transversales se implementaron cada 10,00 m aproximadamente con el fin de detallar adecuadamente los cambios en el fondo del canal, al igual que las obras de cruce existentes.

En la Figura 78 a Figura 80 se presenta un esquema del sitio de análisis con la ubicación de cada una de las secciones transversales en la quebrada de estudio.





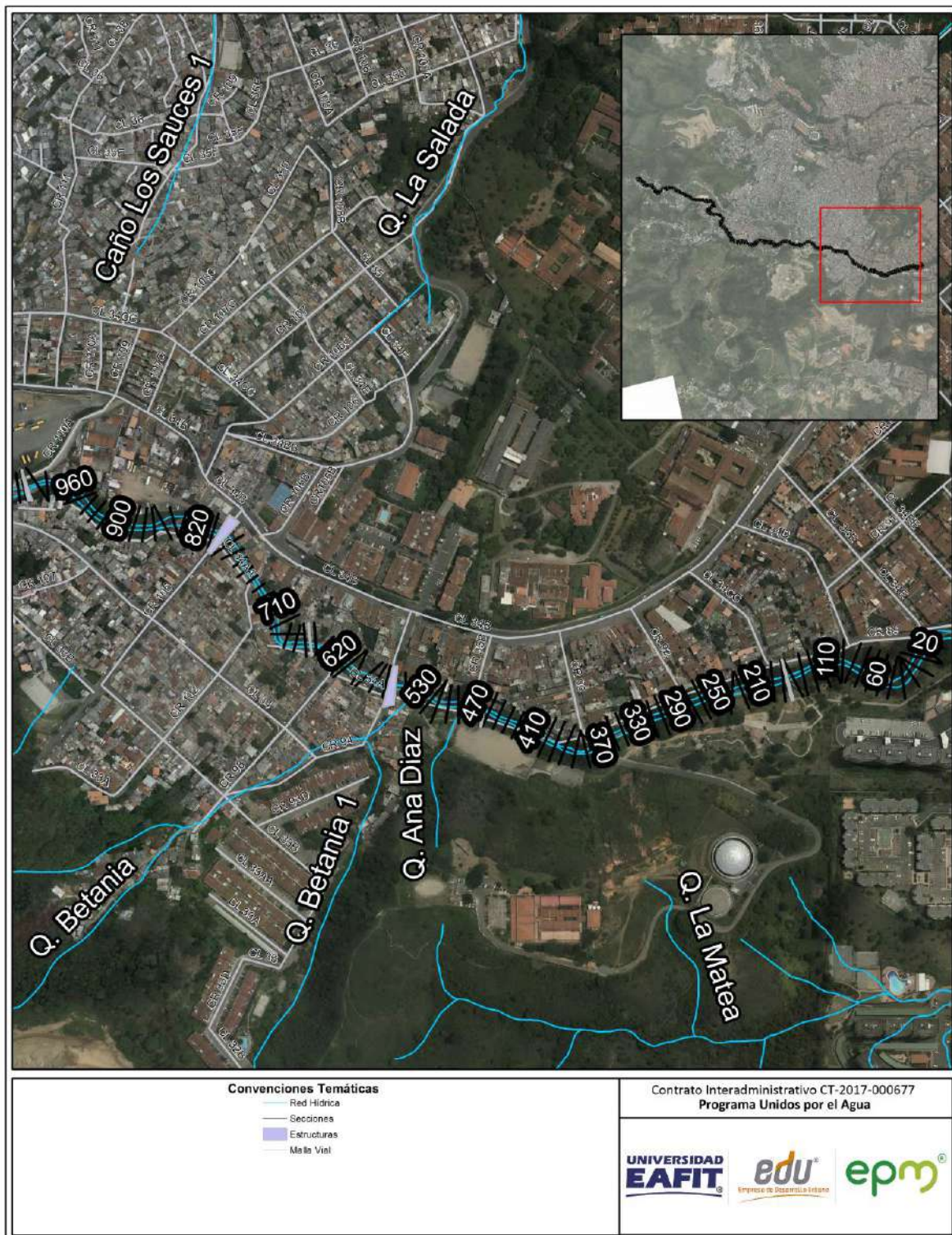
**Figura 78.** Esquema del tramo 1 y secciones transversales, quebrada Ana Díaz.





**Figura 79.** Esquema del tramo 2 y secciones transversales, quebrada Ana Díaz.





**Figura 80.** Esquema del tramo 3 y secciones transversales, quebrada Ana Díaz.



El abscisado se realizó de forma descendente, considerándose como el 0+000, la sección ubicada aguas abajo del tramo analizado, y la longitud total de evaluación como la nomenclatura utilizada para la primera sección del tramo.

- **Caudal de diseño**

También se contó con los caudales de diseño para la quebrada Ana Díaz en cinco puntos diferentes, ver Tabla 18, estos caudales se presentan en la Tabla 19. Debido a que la corriente de interés no cuenta con registros de caudales, se aplicaron modelos de lluvia escurrentía como hidrógrafas unitarias de Snyder, SCS y Williams y Hann, así como el método Racional, escogiendo finalmente como caudales de diseño el promedio de los estimativos del método de las hidrógrafas unitarias sintéticas. Los caudales fueron calculados para los periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años. Adicionalmente se tuvo en cuenta el porcentaje de caudal sustraído debido a las cuencas sanitarias. En la Tabla 19 se presentan los caudales de diseño para la corriente.

**Tabla 18.** Ubicación caudales de diseño calculados y sección de ingreso al modelo hidráulico.

Cuenca asociada	Coordenadas		Sección - Ingreso modelo hidráulico
	Este	Norte	
Puente Vehicular 1	827.426,58	1.183.205,08	3410
Puente Vehicular 2	827.958,16	1.183.037,07	3230
Puente Vehicular 3	828.104,69	1.182.774,34	2530
Puente Vehicular 4	828.595,26	1.182.722,88	2080
Tramo completo 5	829.733,60	1.182.498,85	1460

**Tabla 19.** Caudales usados en la modelación hidráulica.

TR [años]	Caudal				
	Puente Vehicular 1	Puente Vehicular 2	Puente Vehicular 3	Puente Vehicular 4	Cuenca completa 5
2,33	3,03	4,33	5,16	5,46	5,85
5	6,53	8,52	10,16	10,81	11,58
10	10,19	12,98	15,34	16,25	17,38
25	15,96	19,94	23,48	24,96	26,11
50	20,94	25,66	30,26	32,22	33,67
100	26,11	31,52	37,26	39,71	41,75
POMCA	36,55	44,13	52,16	55,59	58,45

\* QTr100 mayorado 40%

Estos caudales fueron ingresados en las secciones del modelo hidráulico presentadas en la Tabla 18, y transitados a través de las secciones transversales en la corriente estudiada. Para definir la amenaza, se incluyó como caudal de diseño, el denominado POMCA, que consiste en el caudal con periodo de retorno de 100 años incrementado 40% (UNALMED, 2006). Sin embargo, para el diseño de las obras se utilizó el periodo de retorno de 100 años.

## Diagnóstico de crecientes

Para evaluar el comportamiento hidráulico de la quebrada Ana Díaz en el tramo de interés, se usó el software HEC – RAS versión 5.0.3 (UNALMED, 2006), desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center. El software requiere como datos de entrada el régimen de flujo, las condiciones de borde, y el valor de rugosidad de Manning, solucionando la ecuación para flujo gradualmente variado en canales naturales y artificiales en régimen permanente. Las profundidades de flujo se calculan a partir del método estándar por pasos y como resultado del modelo se obtiene la superficie libre del agua asociada a una condición de caudal impuesta que puede variar a lo largo del cauce.

Una descripción detallada del modelo hidráulico utilizado, las ecuaciones y procedimientos de cálculo hidráulico se presenta en el Anexo 1 del estudio, junto con las metodologías implementadas para el análisis de amenazas por inundación.

- **Coeficiente de rugosidad**

Para estimar el coeficiente de rugosidad de la quebrada Ana Díaz, se evaluaron las condiciones del material de arrastre de la corriente y se aplicó el método de Cowan (CHOW, 1994), adicionalmente se realizó conteo de Wolman a una muestra de suelo tomada de la corriente. A continuación se presentan los resultados obtenidos para cada caso

## Método de Cowan

### Rugosidad del Material de Arrastre ( $n_0$ )

Para calcular el coeficiente de rugosidad  $n_0$  de la quebrada, correspondiente a las características del material de transporte, se realizaron comparaciones visuales entre el material de arrastre de la corriente y los valores presentados en la literatura (CHOW, 1994). En el tramo de estudio, la quebrada Ana Díaz presenta arrastre de gravas finas y arena, razón por la cual se escogió un valor para este parámetro de

**0,025**, cifra acorde con los rangos presentados en el Anexo 1 y a lo indicado en el Manual de Referencial del modelo HEC-RAS (UNALMED, 2006).

## Factores $n_1$ , $n_2$ , $n_3$ , $n_4$ y $m$

El parámetro  $n_1$  hace referencia a las geoformas dentro del canal, que en el método de Cowan se denominan como grado de irregularidad. Para el caso de la quebrada de interés, se asignó un valor de **0,003** a este parámetro, debido a que en algunos tramos de la corriente se presenta geomorfología de saltos y pozos. El tramo de estudio presenta cambios leves en la geometría de la sección, por ello se determinó un valor de **0,003** para  $n_2$ . En la zona analizada no se evidenciaron obstrucciones en la corriente, por lo cual se asumió un valor de **0,000** para el parámetro  $n_3$ . En algunos tramos de la quebrada se aprecia zonas con vegetación baja, por ello se asume un valor de **0,002** para  $n_4$ . Finalmente, el tramo estudiado corresponde a un alineamiento recto, por lo que se adoptó el valor de **1,0** para el parámetro  $m$ .

Aplicando la metodología presentada por Cowan, se determina así un valor para el coeficiente de rugosidad de Manning de **0,033** para el canal de la quebrada Ana Díaz.

## Conteo de Wolman

A partir de la muestra de suelo tomada de la corriente, se estableció una serie con los tamaños y número de partículas para estimar su distribución granulométrica, con lo cual se calculó el diámetro característico  $D_{90}$  utilizado en las ecuaciones de MEYER-PETER & MULLER (1948) y STRICKLER (1923) para calcular el coeficiente de rugosidad de Manning, los resultados obtenidos se presentan en la Tabla 20. Las expresiones para el cálculo de rugosidad se presentan en el Anexo 1.

**Tabla 20.** Coeficiente de Manning estimado a partir del conteo de Wolman.

Metodología	Ecuación
MEYER-PETER & MULLER (1948)	0,0333
STRICKLER (1923)	0,0337

Luego de llevar a cabo el conteo de Wolman, se determina un valor para el coeficiente de rugosidad de Manning de **0,033** para el canal de la quebrada Ana Díaz.



De acuerdo a los resultados obtenidos a partir del método de Cowan y el contenido de Wolman, se sume un coeficiente de rugosidad de Manning para el canal la quebrada Ana Díaz en todo el tramo de interés de **0,033**.

Las márgenes del canal de la corriente están conformadas por terrenos que cuentan con pastos bajos y medios, por ello se escogió un valor para la rugosidad promedio en las orillas de **0,030**. Para las estructuras hidráulicas se adoptó un coeficiente de rugosidad de **0,018**.

En la Tabla 21 se presenta el resumen de los coeficientes de rugosidad asignados a la corriente de interés.

El parámetro de rugosidad fue generalizado para cada uno de los tramos naturales de la corriente de estudio, a partir de los recorridos de campo, en los cuales se evidenció condiciones muy similares y que no ameritaban un cambio sustancial del mismo.

**Tabla 21.** Coeficientes de rugosidad.

Parámetro	Valor
n canal	0,033
n márgenes	0,030
n estructuras	0,018

- **Condiciones de Frontera**

La corriente en estudio discurre a través de un canal predominantemente recto y de alta pendiente en el fondo del lecho, representando así un comportamiento súper crítico del flujo (altas velocidades y bajas láminas de agua), razón por la cual se realiza la simulación hidráulica bajo este tipo de régimen. Para este análisis, se escogió como condición de borde la profundidad normal del flujo, correspondiente a la pendiente de la línea de energía, la cual se consideró equivalente a la pendiente del fondo del canal. Para el tramo inicial de la quebrada Ana Díaz se tiene una pendiente de 8% valor utilizado como condición de frontera durante la simulación. Para la modelación se conservaron los coeficientes de contracción y expansión de 0,1 y 0,3 que se encuentran por defecto dentro del modelo HEC-RAS.

En la Tabla 22 se presenta el resumen de los parámetros de entrada utilizados en el modelo hidráulico de la quebrada Ana Díaz.

**Tabla 22.** Resumen parámetros de entrada al modelo hidráulico.

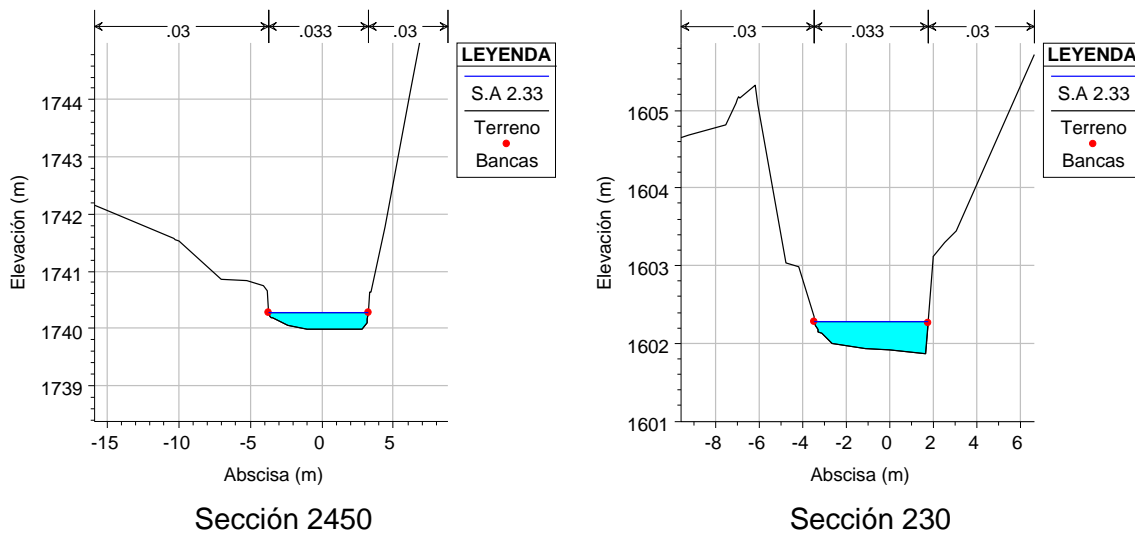
Parámetro	Valor
$n$ canal	0,033
$n$ márgenes	0,030
$n$ estructuras	0,018
Caudal de diseño (POMCA) [m <sup>3</sup> /s]	58,45
Tipo de Simulación	Supercrítico
Condición de Frontera aguas arriba [m/m]	0,08
Coefficiente de Contracción	0,10
Coefficiente de Expansión	0,30

- **Calibración del Modelo Hidráulico**

Parte fundamental de la aplicación de un modelo hidráulico en una corriente natural, consiste en la calibración del mismo, dado que a partir de este procedimiento se evaluará si los resultados obtenidos representan las condiciones reales del tránsito hidráulico en el canal de la quebrada.

Como se mencionó en la metodología, el proceso de calibración se realizó aplicando el concepto de Banca Llena (POSADA, 1994). Se evaluó entonces la altura de la lámina de agua alcanzada para el caudal con periodo de retorno de 2,33 años a través del canal de la quebrada analizada.

En la Figura 81 se presenta la lámina de agua en algunas de las secciones de la quebrada Ana Díaz para los caudales con periodo de retorno de 2,33 años, como proceso de calibración del modelo hidráulico.



**Figura 81.** Lámina de agua para TR 2,33 en la quebrada Ana Díaz.

Una vez obtenidos los primeros resultados del modelo hidráulico, se considera que los niveles alcanzados por la lámina de agua para el sitio de interés son coherentes con las características geomorfológicas del cauce y márgenes de la quebrada.

- **Resultados – Cálculo de Velocidades y Alturas de Lámina de Agua – Condición actual**

Luego de tener los datos e información relacionada para la simulación hidráulica en el HEC-RAS (rugosidad, caudal de diseño, condiciones de frontera y geometría), se analizó el comportamiento hidráulico de la quebrada Ana Díaz en condición actual, para determinar los principales cambios entre las variables hidráulicas en los periodos de retorno de 2,33, 5, 10, 25, 50 y 100 años. Los resultados presentados en este documento corresponden a los valores para los caudales con periodos de retorno de 2,33, 100 años y POMCA, los resultados completos se presentan en el Anexo 3.

En la Tabla 23 se presenta un resumen del comportamiento extremo y medio de la velocidad y la profundidad. Las velocidades son altas incluso para el Tr de 2,33 años. Las velocidades estimadas para Tr de 100 años y mediante la metodología POMCA son velocidades extremas.



**Tabla 23.** Velocidad y profundidad para los periodos de retorno 2,33, 100 y para POMCA, quebrada Ana Díaz condición actual.

Variable		Unidad	Q (Tr años)		
			2,33	100	POMCA
Velocidad	mín	[m/s]	1,91	2,85	3,15
	med		3,42	6,86	7,60
	máx		5,70	9,78	10,92
Profundidad	mín	[m]	0,19	0,57	0,66
	med		0,51	1,26	1,48
	máx		1,08	2,63	3,02

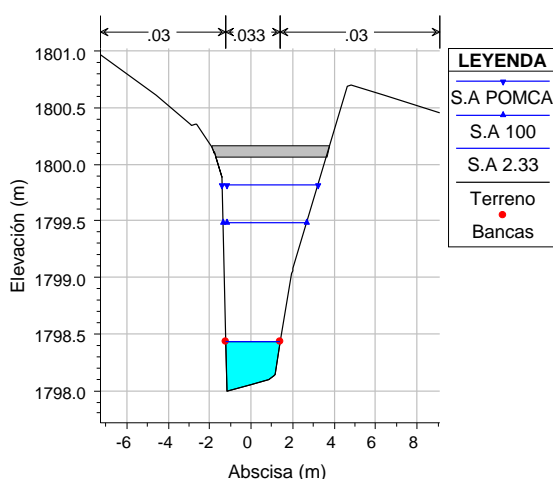
Dentro de la geometría de la quebrada Ana Díaz se encuentran veinte obras hidráulicas, correspondientes a trece puentes peatonales y siete puentes vehiculares. Al analizar los resultados del modelo hidráulico, se evidencia que dos de estas obras presentan insuficiencia hidráulica para el caudal de 100 años, y cuatro para el caudal POMCA, como se detalla en la Tabla 24.

**Tabla 24.** Obras quebrada Ana Díaz condición actual.

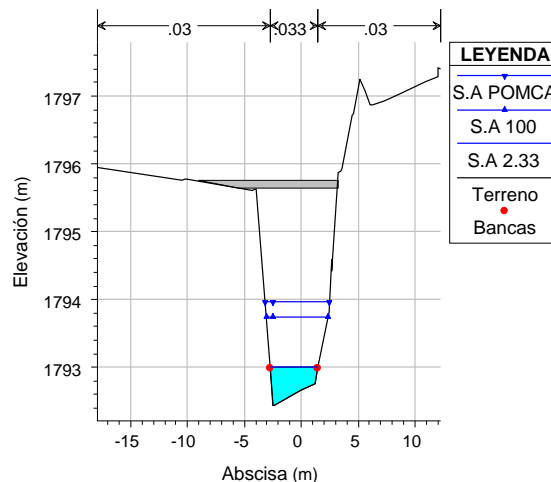
Estructura	Sección	Suficiencia 100	Suficiencia POMCA
Puente vehicular 1	3237	Si	Si
Puente peatonal 1	3176	Si	Si
Puente peatonal 2	3041	Si	Si
Puente peatonal 3	2910	Si	Si
Puente peatonal 4	2819	Si	No
Puente vehicular 2	2537	Si	Si
Puente peatonal 5	2329,5	No	No
Puente peatonal 6	2319	Si	Si
Puente peatonal 7	2099,8	Si	No
Puente vehicular 3	2092	No	No
Puente peatonal 8	1891	Si	Si
Puente peatonal 9	1772	Si	Si
Puente vehicular 4	1471	Si	Si
Puente peatonal 10	1023	Si	Si
Puente vehicular 5	812	Si	Si
Puente peatonal 11	665	Si	Si
Puente vehicular 6	575	Si	Si
Puente peatonal 12	476	Si	Si

Puente vehicular 7	359	Si	Si
Puente peatonal 13	165	Si	Si

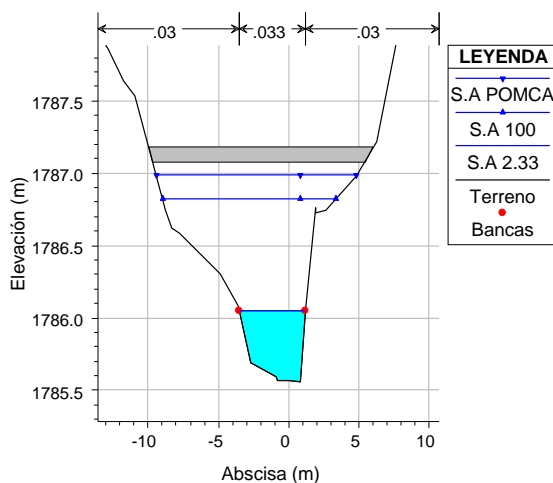
En la Figura 82 se presenta las obras hidráulicas en el tramo de estudio de la quebrada Ana Díaz, con la altura de la lámina de agua para los caudales con periodo de retorno de 2,33, 100 años y POMCA.



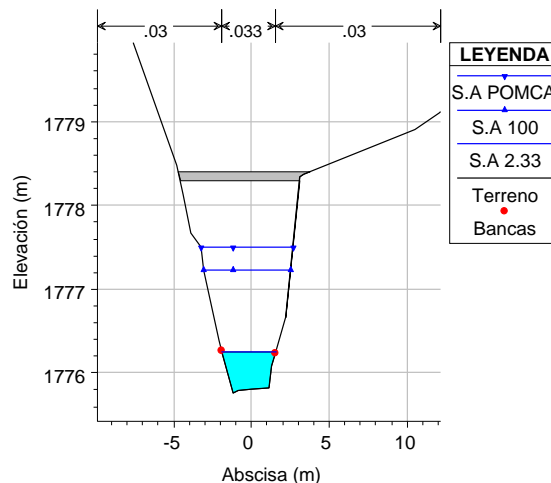
Puente vehicular 1 – Sección 3237



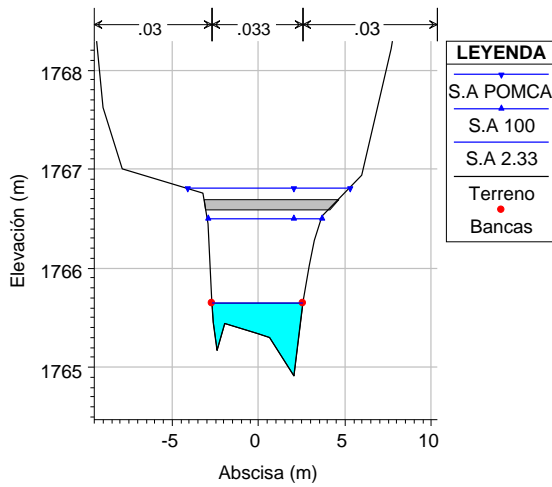
Puente peatonal 1 – Sección 3176



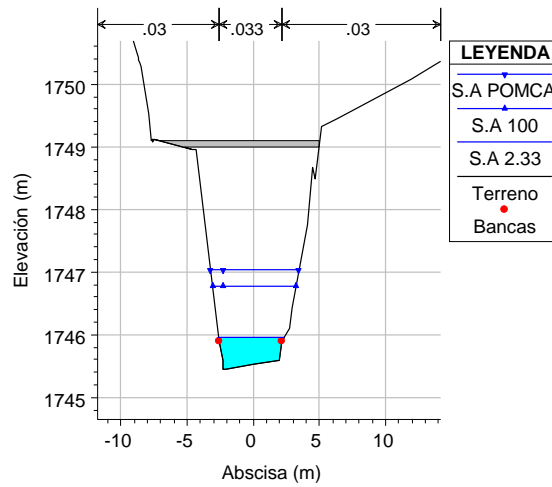
Puente peatonal 2 – Sección 3041



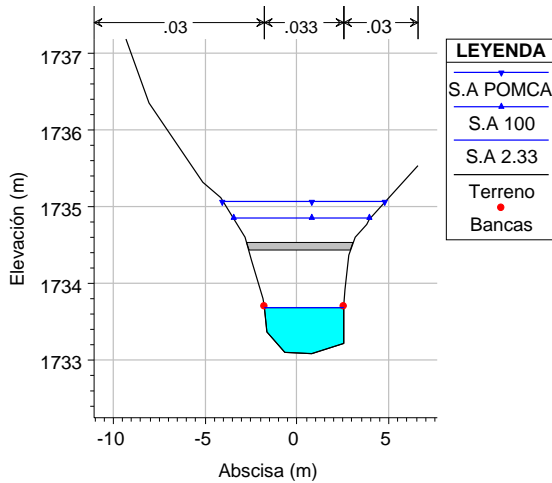
Puente peatonal 3 – Sección 2910



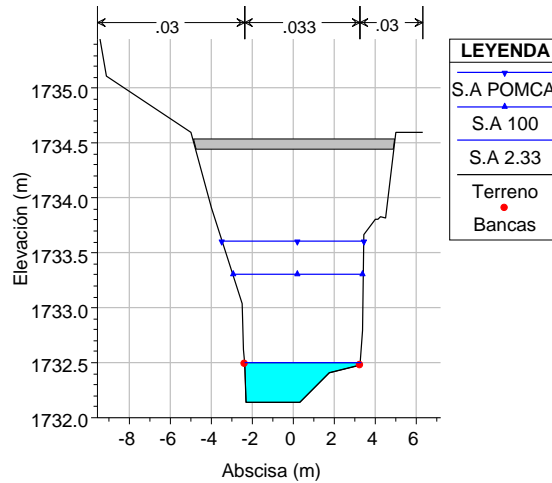
Puente peatonal 4 – Sección 2819



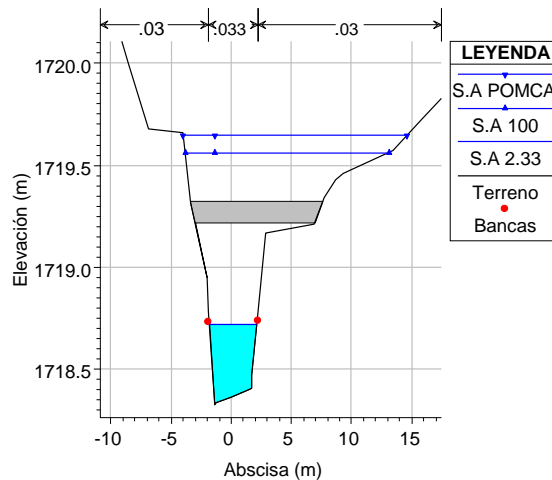
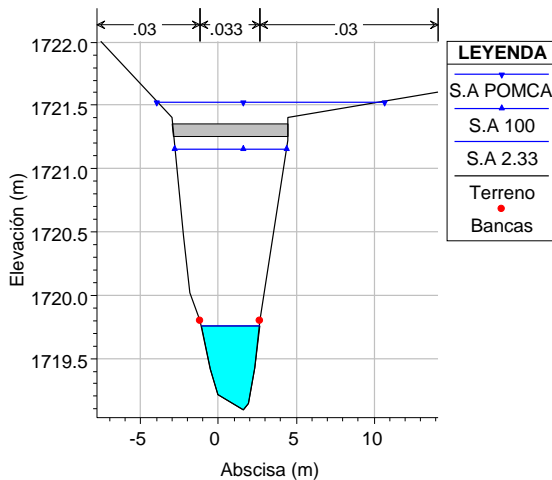
Puente vehicular 2 – Sección 2537



Puente peatonal 5 – Sección 2329,5

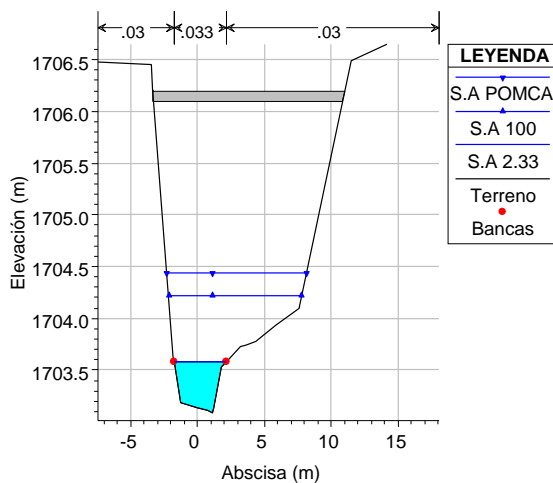


Puente peatonal 6 – Sección 2319

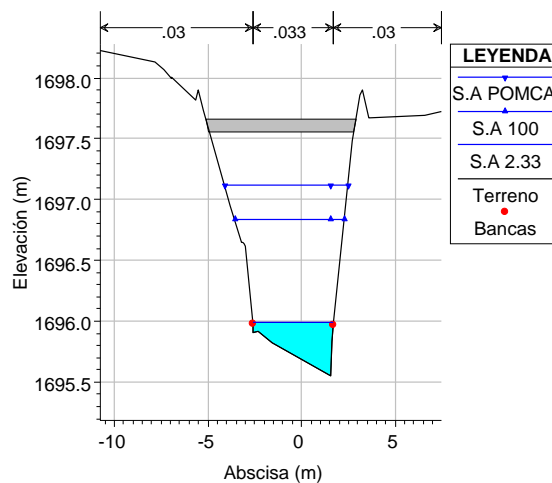




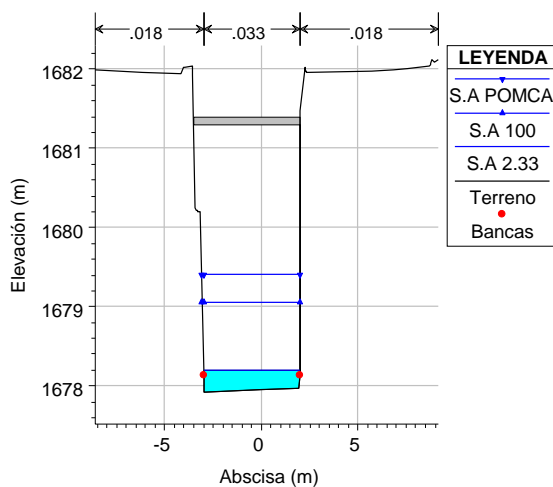
Puente peatonal 7 – Sección 2099,8



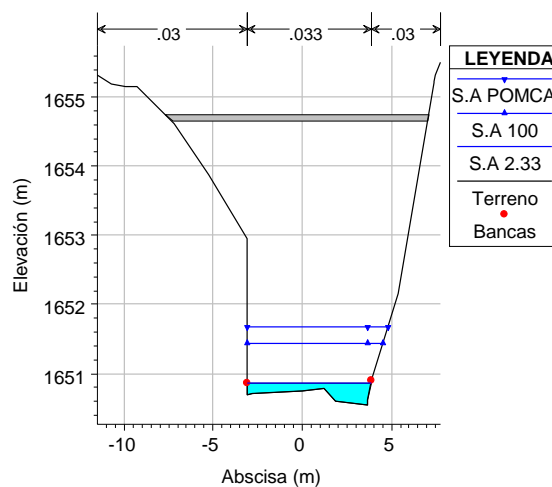
Puente vehicular 3 – Sección 2092



Puente peatonal 8 – Sección 1891

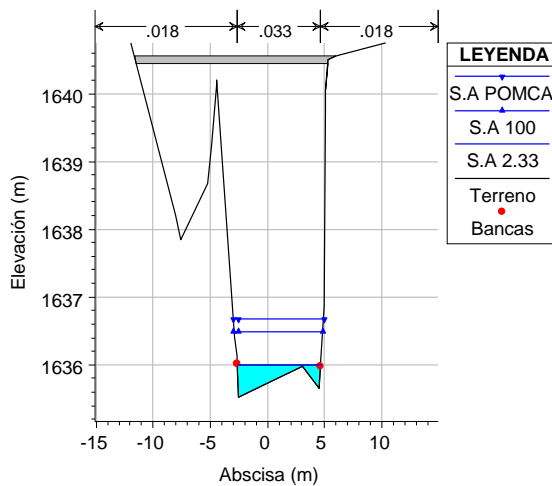


Puente peatonal 9 – Sección 1772

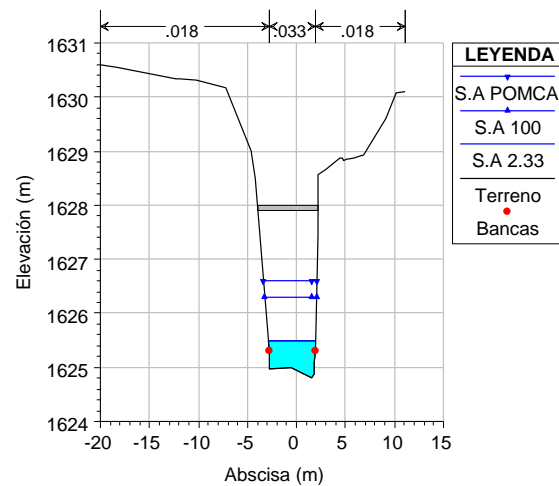


Puente vehicular 4 – Sección 1471

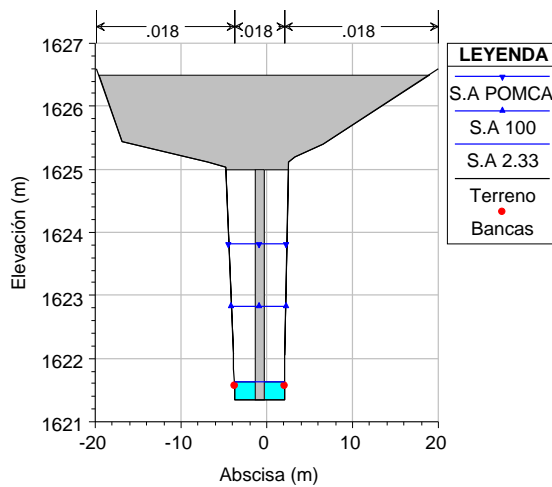
Puente peatonal 10 – Sección 1023



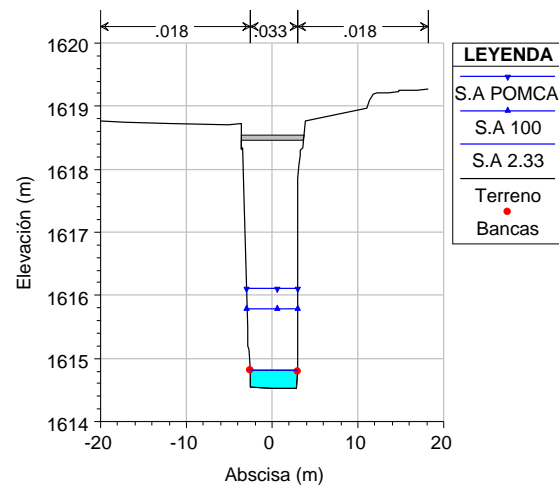
Puente vehicular 5 – Sección 812



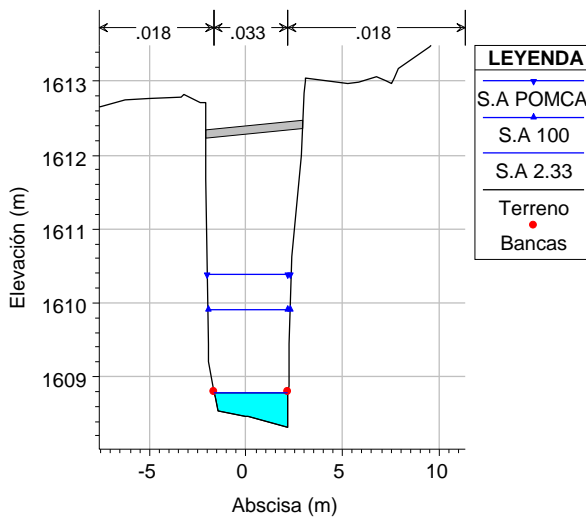
Puente peatonal 11 – Sección 665



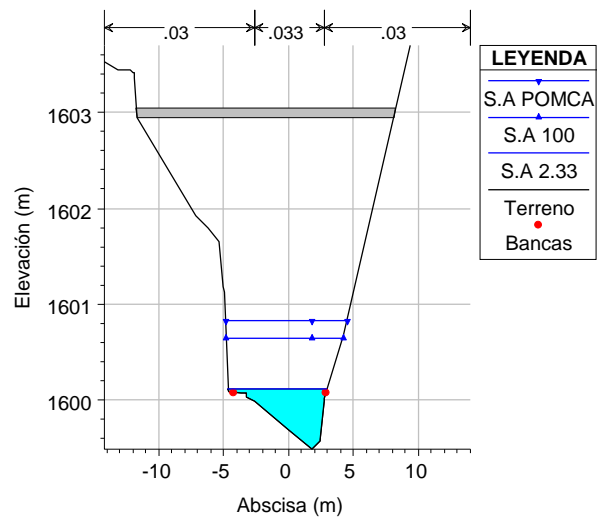
Puente vehicular 6 – Sección 575



Puente peatonal 12 – Sección 476



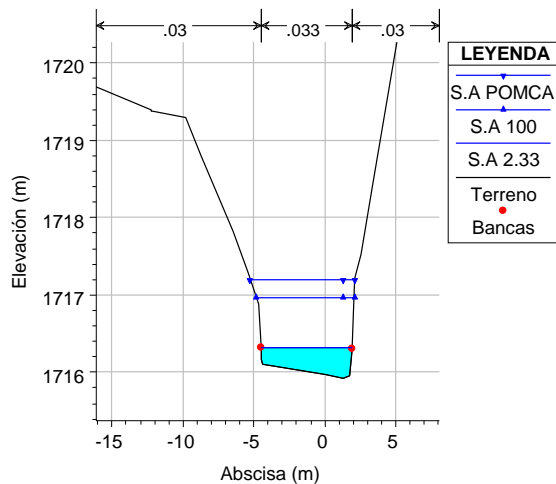
Puente vehicular 7 – Sección 359



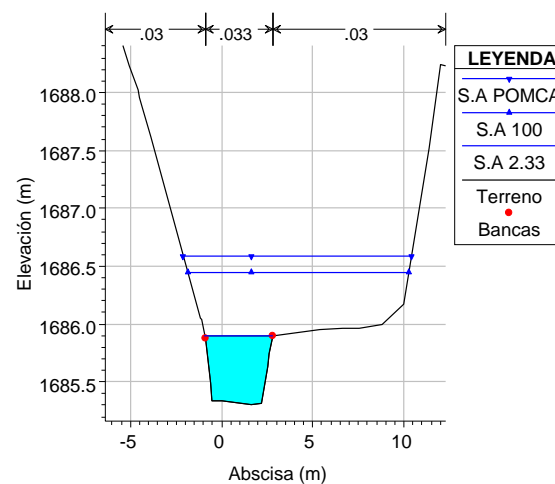
Puente peatonal 13 – Sección 165

**Figura 82.** Obras de cruce en el tramo de estudio de la quebrada Ana Díaz, condición actual

En la Figura 83 se presentan las secciones transversales representativas de la quebrada Ana Díaz con la altura de la lámina de agua para los caudales con periodo de retorno de 2,33, 100 años y POMCA.

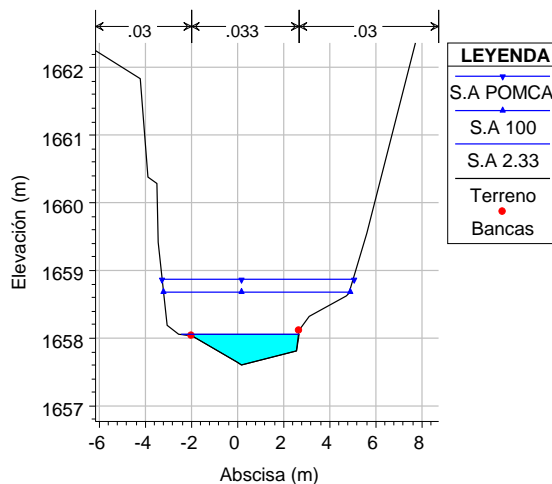


Sección 2070

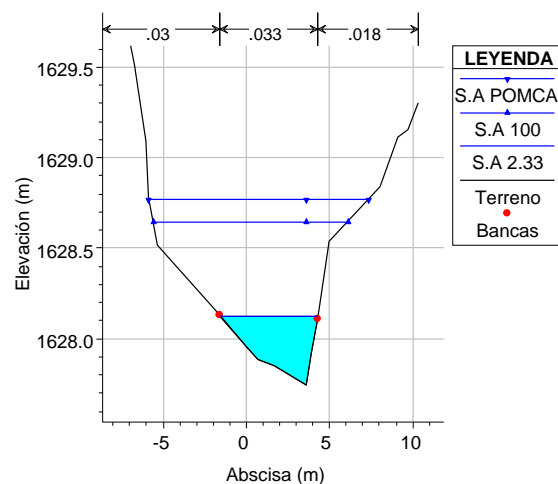


Sección 1610





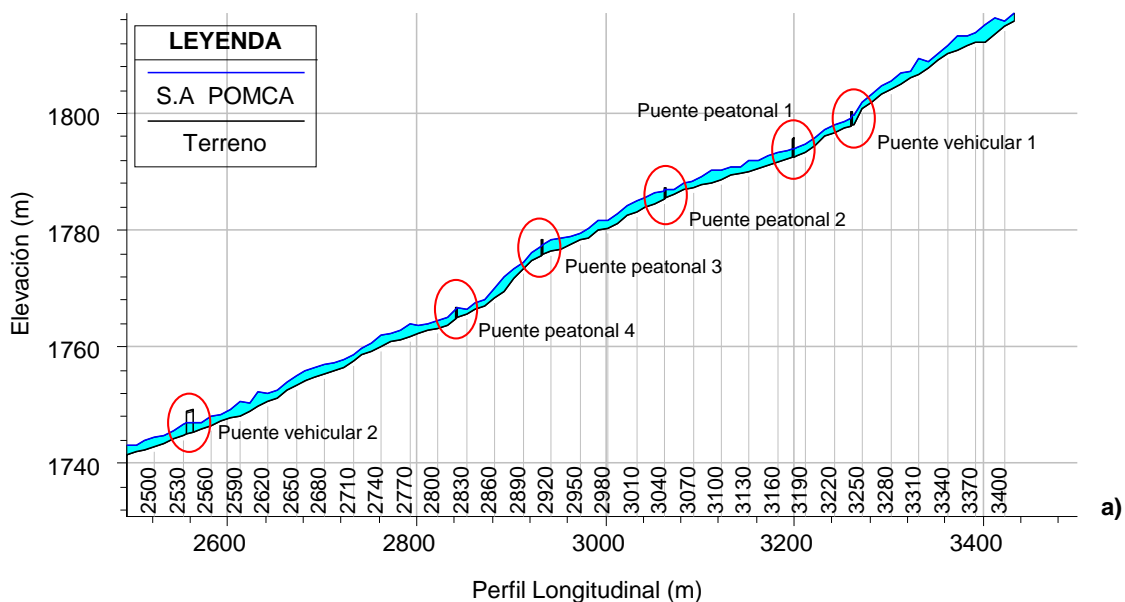
Sección 1150



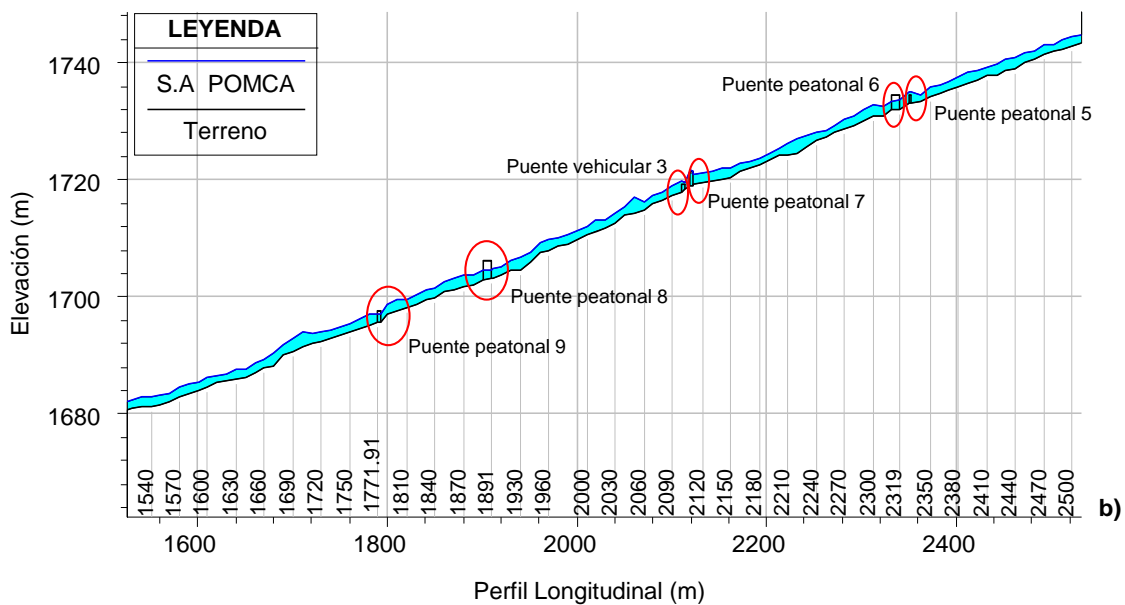
Sección 710

**Figura 83.** Secciones transversales en el tramo de la quebrada Ana Díaz.

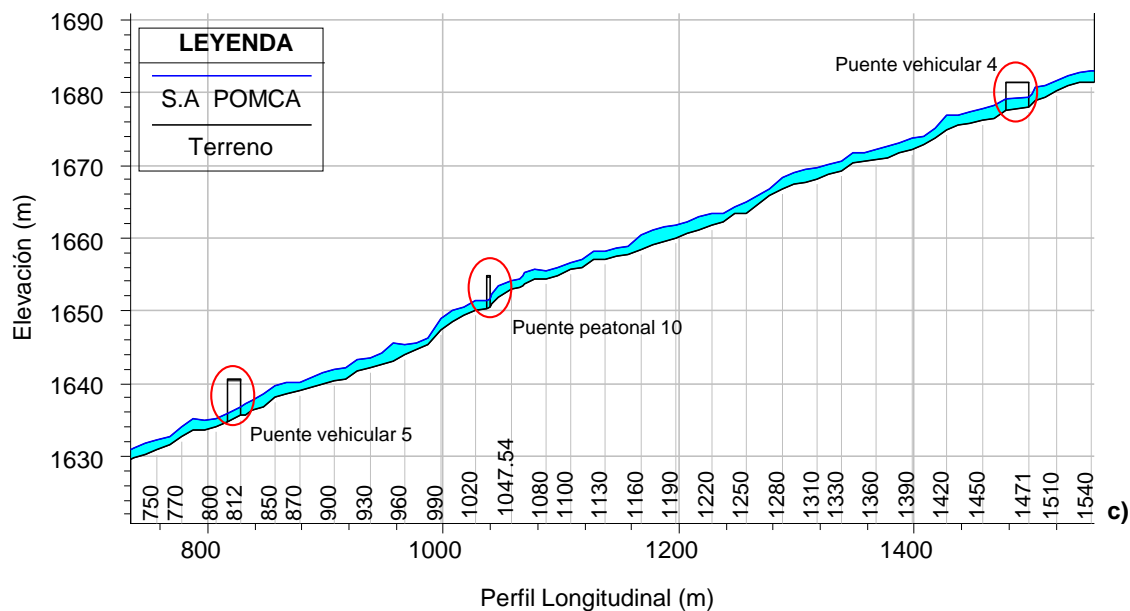
En la Figura 84 a Figura 87 se presenta el perfil del flujo de la corriente para el caudal POMCA, evidenciando que las obras hidráulicas ubicadas en las secciones 3237 (puente vehicular 1), 2819 (puente peatonal 4), 2329.5 (puente peatonal 5), 2099.8 (puente peatonal 7) y 2092 (puente vehicular 3) no cuentan con suficiencia hidráulica para este caudal; adicionalmente se considera que la lámina de agua conserva un comportamiento estable de acuerdo a la pendiente del canal a pesar de las variaciones en el lecho.



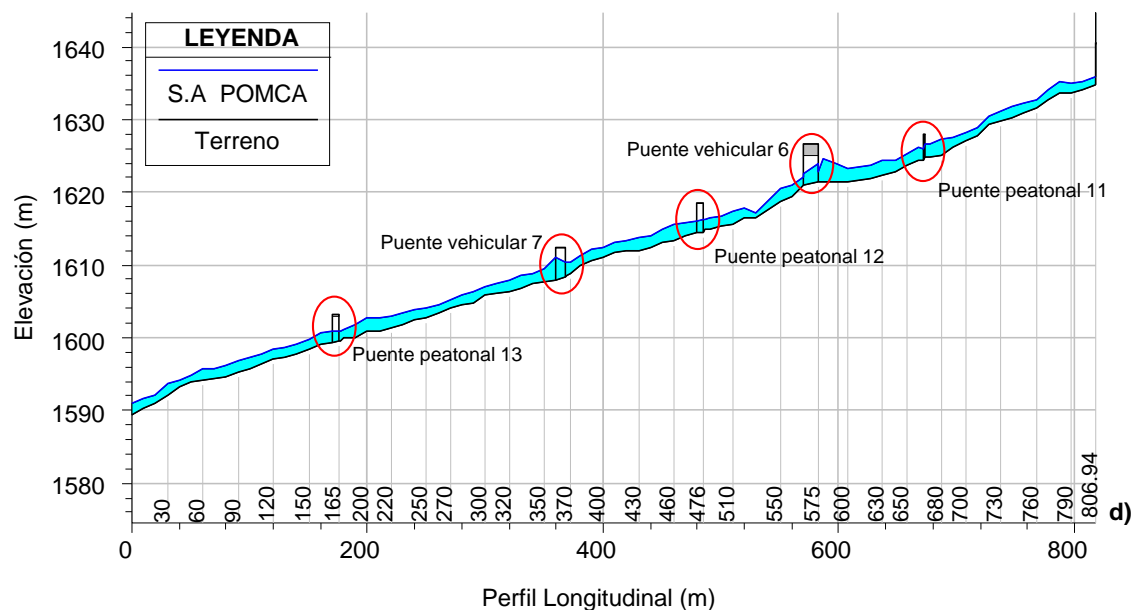
**Figura 84.** Perfil del flujo en el tramo 1 de la quebrada Ana Díaz, condición actual



**Figura 85.** Perfil del flujo en el tramo 2 de la quebrada Ana Díaz, condición actual



**Figura 86.** Perfil del flujo en el tramo 3 de la quebrada Ana Díaz, condición actual



**Figura 87.** Perfil del flujo en el tramo 4 de la quebrada Ana Díaz, condición actual

En la Tabla 25, se presentan los resultados para el caudal POMCA en el tramo de estudio de la quebrada Ana Díaz, en cada una de las secciones transversales.



**Tabla 25.** Resultados del modelo hidráulico para la quebrada Ana Díaz condición actual, Caudal POMCA.

Sección modelo	Cota [m]		Pendiente (S <sub>r</sub> )	Velocidad (V)	Área (A)	Ancho (T)	Froude	Profundidad (H)
	Fondo	Agua	[m/m]	[m/s]	[m²]	[m]		[m]
3410	1815,7	1816,85	0,08	8,26	4,57	5,05	2,58	1,15
3400	1815,13	1815,79	0,19	8,01	4,60	9,84	3,69	0,66
3390	1813,58	1816,09	0,03	6,42	6,37	4,99	1,48	2,51
3380	1812,35	1814,79	0,05	7,82	5,32	4,24	1,82	2,44
3370	1812,09	1813,46	0,07	8,38	4,68	5,21	2,55	1,37
3360	1811,74	1813,04	0,06	7,89	4,97	5,29	2,31	1,30
3350	1810,89	1812,86	0,04	7,24	5,50	4,66	1,82	1,97
3340	1810,24	1811,35	0,08	8,22	4,60	4,83	2,61	1,11
3330	1809,17	1810,07	0,11	8,60	4,37	5,88	3,03	0,90
3320	1807,66	1808,65	0,11	8,98	4,28	5,42	3,08	0,99
3310	1806,73	1808,86	0,04	7,50	5,30	4,06	1,86	2,13
3300	1806,01	1807,09	0,11	8,74	4,43	6,19	3,02	1,08
3290	1805,04	1806,58	0,06	8,44	5,04	7,08	2,31	1,54
3280	1804,23	1805,43	0,10	8,82	4,83	10,19	2,82	1,20
3270	1803,35	1804,54	0,09	8,58	4,61	7,19	2,72	1,19
3260	1802,09	1803,05	0,15	8,86	4,22	6,81	3,41	0,96
3250	1800,86	1801,83	0,11	9,13	4,64	9,44	3,05	0,97
3240	1798,00	1799,39	0,10	10,27	3,84	3,76	2,88	1,39
3239,78	1798,00	1799,37	0,11	10,27	3,84	3,82	2,89	1,37
3237	Puente vehicular 1							
3236,77	1797,76	1798,80	0,14	10,27	3,67	4,10	3,33	1,04
3230	1797,50	1798,65	0,10	9,50	4,98	6,20	3,00	1,15
3220	1796,81	1797,86	0,10	9,26	5,32	7,89	2,95	1,05
3210	1796,02	1797,15	0,10	8,74	5,55	8,17	2,87	1,13
3200	1794,58	1795,72	0,09	9,13	5,18	6,01	2,85	1,14
3190	1793,28	1794,46	0,09	9,32	4,94	4,92	2,85	1,18
3180	1792,90	1794,05	0,08	8,68	5,39	5,96	2,64	1,15
3176,97	1792,44	1793,79	0,08	8,69	5,37	5,47	2,57	1,35
3176	Puente Peatonal 1							
3175,81	1792,39	1793,70	0,08	8,69	5,36	5,48	2,60	1,31
3170	1792,14	1793,53	0,07	8,23	5,63	5,25	2,37	1,39

Sección modelo	Cota [m]		Pendiente (S <sub>f</sub> )	Velocidad (V)	Área (A)	Ancho (T)	Froude	Profundidad (H)
	Fondo	Agua	[m/m]	[m/s]	[m²]	[m]		[m]
3160	1791,65	1793,19	0,05	7,88	6,06	5,37	2,06	1,54
3150	1791,14	1792,62	0,07	8,00	5,96	6,60	2,34	1,48
3140	1790,55	1791,85	0,06	8,02	5,92	6,37	2,32	1,30
3130	1789,91	1791,67	0,04	7,61	6,61	6,66	1,94	1,76
3120	1789,63	1790,74	0,07	7,88	5,97	6,98	2,45	1,11
3110	1789,39	1790,59	0,05	6,98	6,69	7,83	2,15	1,20
3100	1788,63	1790,13	0,04	7,16	6,90	7,54	2,00	1,50
3090	1787,97	1790,10	0,03	6,58	7,69	5,74	1,55	2,13
3080	1787,81	1789,10	0,05	7,23	6,63	7,31	2,15	1,29
3070	1787,13	1788,30	0,08	7,92	7,17	17,30	2,56	1,17
3060	1786,87	1788,03	0,06	7,06	7,84	16,05	2,28	1,16
3050	1786,07	1786,89	0,10	7,41	6,81	14,08	2,84	0,82
3041,55	1785,56	1786,85	0,04	6,28	8,33	12,69	1,85	1,29
3041	Puente Peatonal 2							
3040,46	1785,33	1786,67	0,04	6,45	7,93	10,16	1,87	1,34
3040	1785,21	1786,60	0,04	6,49	7,83	9,88	1,87	1,39
3030	1784,46	1786,24	0,03	6,49	7,96	8,55	1,61	1,78
3020	1783,96	1785,42	0,04	7,08	7,12	9,61	1,93	1,46
3010	1783,13	1784,74	0,04	7,43	6,55	5,90	1,92	1,61
3000	1782,55	1784,00	0,05	7,69	6,21	6,48	2,12	1,45
2990	1781,05	1782,51	0,07	8,74	5,43	5,44	2,54	1,46
2980	1780,34	1781,53	0,08	8,87	5,21	5,57	2,73	1,19
2970	1780,12	1781,49	0,07	7,76	6,20	7,92	2,33	1,37
2960	1778,76	1780,10	0,07	8,50	5,54	5,40	2,46	1,34
2950	1778,29	1779,39	0,08	8,37	5,51	6,47	2,69	1,10
2940	1777,56	1778,86	0,06	8,23	5,92	7,07	2,43	1,30
2930	1776,77	1778,32	0,05	8,15	5,99	5,44	2,15	1,55
2920	1776,50	1778,25	0,04	7,29	6,57	6,19	1,93	1,75
2910,57	1775,76	1777,27	0,05	8,10	6,04	5,61	2,20	1,51
2910	Puente Peatonal 3							
2909,21	1775,59	1777,08	0,05	8,18	5,95	5,52	2,23	1,49
2900	1774,69	1775,95	0,09	8,74	5,47	7,07	2,78	1,26
2890	1773,40	1774,32	0,12	9,37	5,14	8,13	3,23	0,92
2880	1771,63	1773,12	0,08	9,81	5,20	5,76	2,62	1,49

Sección modelo	Cota [m]		Pendiente (S <sub>f</sub> )	Velocidad (V)	Área (A)	Ancho (T)	Froude	Profundidad (H)
	Fondo	Agua	[m/m]	[m/s]	[m²]	[m]		[m]
2870	1769,50	1771,75	0,09	10,37	4,85	4,11	2,50	2,25
2860	1768,35	1769,84	0,17	10,92	4,69	8,41	3,52	1,49
2850	1767,03	1767,97	0,18	10,57	4,36	6,53	3,88	0,94
2840	1766,44	1767,29	0,15	9,00	4,98	7,46	3,47	0,85
2830	1765,54	1766,36	0,12	8,35	5,43	8,06	3,11	0,82
2820	1764,93	1766,54	0,05	6,72	7,46	12,87	2,02	1,61
2819,61	1764,92	1766,52	0,04	6,56	7,03	6,67	1,88	1,60
2819	Puente Peatonal 4							
2818,77	1764,76	1766,16	0,05	6,95	6,55	5,91	2,05	1,40
2810	1763,69	1764,82	0,08	8,07	5,85	7,55	2,57	1,13
2800	1763,19	1764,45	0,06	7,57	6,36	7,78	2,24	1,26
2790	1762,92	1763,89	0,07	7,29	6,35	8,58	2,46	0,97
2780	1762,19	1763,55	0,04	7,05	6,92	7,33	1,97	1,36
2770	1761,74	1763,80	0,02	5,73	8,42	6,11	1,33	2,06
2760	1761,21	1762,73	0,04	7,10	7,03	7,38	1,86	1,52
2750	1760,83	1762,12	0,06	6,90	6,61	7,55	2,22	1,29
2740	1760,18	1761,65	0,04	6,87	6,72	5,96	1,93	1,47
2730	1759,31	1760,49	0,08	7,71	6,00	7,53	2,61	1,18
2720	1758,60	1759,69	0,08	7,52	5,94	7,10	2,58	1,09
2710	1757,64	1758,57	0,09	7,86	5,72	7,04	2,73	0,93
2700	1756,55	1757,65	0,08	8,00	5,69	6,41	2,58	1,10
2690	1755,78	1757,20	0,05	7,64	6,05	6,19	2,15	1,42
2680	1755,46	1756,72	0,06	7,54	6,10	6,05	2,20	1,26
2670	1754,86	1756,22	0,06	7,77	6,65	9,54	2,18	1,36
2660	1754,29	1755,78	0,07	7,63	6,98	12,09	2,27	1,49
2650	1753,45	1754,91	0,05	7,72	6,46	6,91	2,09	1,46
2640	1752,49	1753,63	0,09	8,15	5,54	6,82	2,76	1,14
2630	1751,06	1752,26	0,08	8,70	5,26	5,47	2,67	1,20
2620	1750,69	1751,83	0,08	8,20	5,76	7,23	2,59	1,14
2610	1749,86	1751,99	0,04	6,95	7,05	7,02	1,76	2,13
2600	1749,01	1750,17	0,08	8,37	5,91	9,54	2,62	1,16
2590	1748,22	1750,26	0,04	7,18	6,85	6,44	1,75	2,04
2580	1747,91	1748,96	0,07	7,93	5,66	5,75	2,48	1,05
2570	1747,17	1748,17	0,10	8,25	6,00	9,98	2,78	1,00



Sección modelo	Cota [m]		Pendiente (S <sub>r</sub> )	Velocidad (V)	Área (A)	Ancho (T)	Froude	Profundidad (H)
	Fondo	Agua	[m/m]	[m/s]	[m <sup>2</sup> ]	[m]		[m]
2560	1746,56	1747,94	0,05	7,24	6,60	7,16	2,10	1,38
2550	1745,99	1746,92	0,08	7,53	6,01	7,62	2,61	0,93
2540	1745,45	1746,81	0,04	6,77	6,95	6,41	1,92	1,36
2537	Puente vehicular 2							
2534,61	1745,03	1746,82	0,03	6,43	7,62	6,22	1,57	1,79
2530	1744,91	1746,76	0,02	6,27	9,00	6,60	1,51	1,85
2520	1744,23	1745,69	0,04	7,19	7,63	6,47	1,97	1,46
2510	1743,43	1744,72	0,06	7,74	7,05	7,35	2,31	1,29
2500	1742,78	1744,35	0,06	7,56	7,70	10,15	2,29	1,57
2490	1742,36	1743,77	0,05	7,74	7,84	8,90	2,11	1,41
2480	1741,96	1743,08	0,01	3,15	18,94	23,41	0,97	1,12
2470	1741,53	1742,97	0,01	3,46	18,72	21,91	0,95	1,44
2460	1740,74	1742,03	0,01	3,19	19,76	23,76	0,91	1,29
2450	1739,98	1741,57	0,01	4,03	14,98	14,62	1,04	1,59
2440	1739,01	1740,87	0,02	5,41	11,66	11,03	1,30	1,86
2430	1738,69	1740,38	0,02	5,68	10,23	8,83	1,43	1,69
2420	1737,99	1739,62	0,03	6,47	8,85	7,71	1,68	1,63
2410	1737,72	1739,29	0,04	6,54	8,82	9,35	1,81	1,57
2400	1737,13	1738,65	0,04	7,09	8,48	9,35	1,92	1,52
2390	1736,58	1738,38	0,03	6,97	9,18	10,50	1,70	1,80
2380	1736,02	1737,53	0,05	7,48	8,33	10,92	2,03	1,51
2370	1735,38	1736,65	0,07	7,95	7,59	11,24	2,49	1,27
2360	1734,92	1736,13	0,06	7,62	8,09	12,45	2,25	1,21
2350	1734,20	1735,84	0,04	7,34	8,26	8,79	1,87	1,64
2340	1733,29	1734,53	0,06	7,87	7,08	7,87	2,41	1,24
2330	1733,08	1734,94	0,02	6,25	9,25	8,01	1,50	1,86
2329,5	Puente Peatonal 5							
2329,28	1733,08	1734,98	0,02	5,79	10,18	9,70	1,36	1,90
2320	1732,14	1733,50	0,05	7,28	7,42	6,72	2,09	1,36
2319	Puente Peatonal 6							
2317,48	1731,95	1733,21	0,05	7,17	7,49	6,73	2,06	1,26
2310	1730,93	1732,36	0,05	7,80	7,22	6,88	2,19	1,43
2300	1730,80	1732,76	0,02	6,34	9,12	6,99	1,51	1,96
2290	1730,03	1732,06	0,03	7,03	8,40	6,93	1,70	2,03

Sección modelo	Cota [m]		Pendiente (S <sub>f</sub> )	Velocidad (V)	Área (A)	Ancho (T)	Froude	Profundidad (H)
	Fondo	Agua	[m/m]	[m/s]	[m²]	[m]		[m]
2280	1729,14	1730,80	0,05	7,91	7,01	5,46	2,07	1,66
2270	1728,71	1730,13	0,06	8,07	6,78	6,16	2,30	1,42
2260	1728,08	1729,24	0,08	8,51	6,73	8,65	2,67	1,16
2250	1727,19	1728,42	0,08	8,77	7,02	11,20	2,66	1,23
2240	1726,66	1727,97	0,06	8,13	7,15	8,23	2,35	1,31
2230	1725,65	1727,47	0,05	7,97	7,36	6,93	2,02	1,82
2220	1724,51	1727,05	0,04	8,34	7,61	6,79	1,73	2,54
2210	1724,24	1726,15	0,05	8,29	6,69	4,74	2,09	1,91
2200	1724,17	1725,34	0,07	8,40	6,53	7,14	2,56	1,17
2190	1723,47	1724,46	0,09	8,52	6,48	7,85	2,78	0,99
2180	1722,71	1723,65	0,10	8,08	6,50	8,59	2,94	0,94
2170	1722,03	1723,03	0,08	7,65	7,14	9,91	2,66	1,00
2160	1721,56	1722,87	0,05	6,84	8,30	10,05	2,08	1,31
2150	1720,48	1722,01	0,04	7,40	7,79	7,52	2,00	1,53
2140	1720,19	1722,07	0,03	6,66	8,88	8,25	1,65	1,88
2130	1719,70	1721,41	0,03	7,16	8,40	7,71	1,78	1,71
2120	1719,62	1721,22	0,04	6,56	8,68	10,95	1,82	1,60
2110	1719,16	1720,75	0,04	6,91	8,35	7,43	1,90	1,59
2100	1719,09	1721,77	0,01	4,17	17,75	23,00	0,85	2,68
2099,8	Puente Peatonal 7							
2099,64	1719,04	1721,37	0,01	5,21	11,65	7,41	1,13	2,33
2093	1718,33	1719,59	0,07	8,21	8,43	17,60	2,42	1,26
2092	Puente vehicular 3							
2091,66	1717,88	1719,67	0,02	6,01	10,86	19,45	1,46	1,79
2090	1717,30	1718,91	0,04	6,50	8,25	6,98	1,82	1,61
2080	1716,47	1717,72	0,05	7,44	7,69	7,42	2,25	1,25
2070	1715,93	1717,18	0,05	7,42	7,69	7,33	2,20	1,25
2060	1714,77	1716,24	0,06	7,87	7,21	5,97	2,24	1,47
2050	1714,36	1716,88	0,01	3,69	19,88	17,01	0,76	2,52
2040	1713,97	1715,24	0,06	7,22	10,05	21,01	2,19	1,27
2030	1712,65	1714,25	0,01	3,45	20,22	22,23	0,89	1,60
2020	1711,75	1713,14	0,03	5,91	12,44	20,24	1,67	1,39
2010	1711,18	1713,10	0,02	5,10	13,11	13,67	1,26	1,92
2000	1710,71	1712,11	0,03	6,54	10,72	16,91	1,79	1,40

Sección modelo	Cota [m]		Pendiente (S <sub>f</sub> )	Velocidad (V)	Área (A)	Ancho (T)	Froude	Profundidad (H)
	Fondo	Agua	[m/m]	[m/s]	[m²]	[m]		[m]
1980	1709,04	1710,56	0,06	8,01	9,39	16,48	2,17	1,52
1970	1708,59	1709,99	0,05	7,79	9,70	18,81	2,18	1,40
1960	1707,86	1709,36	0,04	7,55	8,96	13,60	2,03	1,50
1950	1707,69	1708,99	0,06	7,51	9,76	22,72	2,21	1,30
1940	1706,00	1707,47	0,07	8,50	8,08	15,41	2,46	1,47
1930	1704,64	1706,53	0,05	8,91	8,03	13,07	2,18	1,89
1920	1704,49	1706,03	0,09	9,08	7,39	10,41	2,44	1,54
1910	1703,66	1705,12	0,09	9,56	8,47	19,96	2,76	1,46
1900	1703,25	1704,76	0,07	8,49	7,97	10,76	2,34	1,51
1891,62	1703,09	1704,37	0,08	8,64	7,56	10,32	2,60	1,28
1891	Puente Peatonal 8							
1890	1703,02	1704,36	0,06	6,82	8,70	10,83	2,20	1,34
1880	1702,10	1703,77	0,05	7,45	9,07	11,62	1,96	1,67
1870	1701,77	1703,61	0,04	6,62	9,99	13,21	1,81	1,84
1860	1701,13	1703,01	0,03	7,03	9,80	11,85	1,69	1,88
1850	1700,89	1702,62	0,03	6,89	9,18	9,59	1,70	1,73
1840	1699,79	1701,42	0,04	7,91	7,66	6,39	2,01	1,63
1830	1699,45	1701,08	0,04	7,83	7,80	6,97	2,02	1,63
1820	1698,73	1700,24	0,06	8,65	7,51	8,31	2,31	1,51
1810	1698,11	1699,58	0,06	8,15	7,29	7,31	2,30	1,47
1800	1697,73	1699,40	0,05	7,80	8,28	9,28	2,01	1,67
1790	1696,96	1698,79	0,054182	7,95	7,95	8,91	2,18	1,83
1780	1695,75	1697,15	0,078494	9,34	7,02	9,91	2,67	1,4
1772,52	1695,55	1697,07	0,067725	9,02	6,71	6,46	2,5	1,52
1772	Puente Peatonal 9							
1771,91	1695,58	1696,97	0,066003	8,91	6,7	6,08	2,44	1,39
1770	1695,22	1696,89	0,049551	8	7,33	5,73	2,05	1,67
1760	1694,47	1696,3	0,071156	8,8	7,51	8,92	2,2	1,83
1750	1693,9	1695,46	0,070122	8,9	7,64	10,85	2,37	1,56
1740	1693,37	1694,78	0,071725	8,88	7,57	10,12	2,43	1,41
1730	1692,84	1694,31	0,072698	8,6	7,96	11,57	2,37	1,47
1720	1692,35	1694,11	0,058581	7,16	8,6	10,61	2,14	1,76
1710	1692,03	1693,81	0,045198	6,56	9,13	9,51	1,86	1,78
1700	1691,53	1693,85	0,0248	5,8	10,89	9,58	1,37	2,32



Sección modelo	Cota [m]		Pendiente (S <sub>r</sub> )	Velocidad (V)	Área (A)	Ancho (T)	Froude	Profundidad (H)
	Fondo	Agua	[m/m]	[m/s]	[m²]	[m]		[m]
1690	1690,62	1692,77	0,045983	7,28	9,39	12,13	1,87	2,15
1680	1690,06	1691,65	0,045981	7,87	8,29	8,77	2,04	1,59
1670	1688,28	1690,28	0,076799	9,25	7,46	10,1	2,36	2
1660	1687,92	1689,37	0,084231	9,34	7,23	9,86	2,53	1,45
1650	1687,13	1688,65	0,065931	8,88	7,22	8,11	2,4	1,52
1640	1686,35	1687,64	0,090151	9,37	6,93	9,47	2,78	1,29
1630	1686,03	1687,49	0,065233	7,87	7,83	9,68	2,35	1,46
1620	1685,6	1686,8	0,089747	8,42	8,2	14,84	2,65	1,2
1610	1685,31	1686,57	0,05489	7,19	9,08	12,48	2,13	1,26
1600	1684,62	1686,27	0,042816	6,94	9,97	13,13	1,82	1,65
1590	1683,95	1685,38	0,048345	7,29	8,88	10,54	2,06	1,43
1580	1683,57	1685,03	0,034508	6,79	8,97	7,98	1,82	1,46
1570	1682,97	1684,51	0,036668	6,87	8,55	7,21	1,82	1,54
1560	1682,2	1683,48	0,049094	7,51	7,67	7,69	2,16	1,28
1550	1681,47	1683,13	0,046008	7,81	8,57	10,84	2,02	1,66
1540	1681,32	1683	0,04326	7,15	9,05	10,55	1,91	1,68
1530	1681,31	1682,8	0,048027	6,38	10,2	17,83	1,95	1,49
1520	1680,95	1682,32	0,039606	6,36	9,33	9,65	1,89	1,37
1510	1680,18	1681,59	0,047546	6,98	8,85	10,47	1,97	1,41
1500	1679,33	1680,94	0,050864	7,48	8,53	9,23	1,95	1,61
1490	1678,9	1680,56	0,034353	6,99	8,47	6,56	1,81	1,66
1482,82	1678,52	1679,81	0,060298	7,86	7,49	7,34	2,32	1,29
1480,36	1677,92	1679,35	0,04774	7,95	7,06	5,1	2,14	1,43
1471	Puente vehicular 4							
1470	1677,54	1679,06	0,042441	6,94	8,26	9,05	1,9	1,52
1460	1676,4	1678,18	0,041788	7,75	8,27	9,9	1,99	1,78
1450	1676,28	1677,85	0,039315	7,49	8,78	9,19	1,93	1,57
1440	1675,76	1677,28	0,046504	7,74	8,25	7,68	2,08	1,52
1430	1675,42	1676,92	0,047772	7,4	8,41	7,19	2,06	1,5
1420	1674,8	1677	0,026412	6,81	10,02	8,05	1,52	2,2
1410	1673,77	1675,01	0,069652	8,3	7,27	7,3	2,52	1,24
1400	1672,73	1673,96	0,074442	8,96	7,27	8,77	2,59	1,23
1390	1672,19	1673,75	0,059423	8,05	7,85	8,51	2,3	1,56
1380	1671,76	1673,1	0,058376	8,25	8,02	9,42	2,33	1,34

Sección modelo	Cota [m]		Pendiente (S <sub>r</sub> )	Velocidad (V)	Área (A)	Ancho (T)	Froude	Profundidad (H)
	Fondo	Agua	[m/m]	[m/s]	[m²]	[m]		[m]
1370	1670,97	1672,65	0,043805	8,09	8,24	8,81	2,07	1,68
1360	1670,77	1672,05	0,069534	8,26	8,09	11,32	2,42	1,28
1350	1670,57	1671,79	0,052869	7,41	8,6	11	2,21	1,22
1340	1670,26	1671,6	0,045038	6,73	9,1	9,55	2,01	1,34
1330	1669,24	1670,62	0,061917	7,43	8,3	9,01	2,34	1,38
1320	1668,71	1670,21	0,044354	7,53	9,02	10,11	2,04	1,5
1310	1668,02	1669,75	0,039468	7,65	9,08	9,6	1,95	1,73
1300	1667,74	1669,38	0,045004	7,58	9,17	10,55	1,99	1,64
1290	1667,39	1668,89	0,051207	7,68	8,98	10,91	2,1	1,5
1280	1666,66	1668,26	0,062539	7,94	9,1	13,89	2,28	1,6
1270	1665,85	1666,77	0,106007	8,55	7,68	12,25	2,92	0,92
1250	1663,43	1664,89	0,065527	8,9	7,76	9,07	2,4	1,46
1240	1663,31	1664,34	0,083064	8,34	7,93	11,23	2,66	1,03
1230	1662,15	1663,3	0,078346	8,26	7,69	11,15	2,63	1,15
1220	1661,68	1663,27	0,044882	7,68	8,99	9,8	1,99	1,59
1210	1661,16	1662,98	0,033456	7,24	9,04	7,14	1,77	1,82
1200	1660,7	1662,33	0,038947	7,58	8,56	7,25	1,94	1,63
1190	1659,98	1661,88	0,034092	7,62	8,52	6,56	1,86	1,9
1180	1659,58	1661,48	0,040941	7,77	8,41	6,45	1,93	1,9
1170	1659,01	1661,04	0,04255	7,69	8,38	6,42	1,86	2,03
1160	1658,38	1660,33	0,042548	8,16	8,1	6,77	2	1,95
1150	1657,61	1658,88	0,085673	9,18	7,09	8,33	2,78	1,27
1140	1657,49	1658,63	0,075474	7,85	7,87	10,06	2,58	1,14
1130	1657,11	1658,25	0,066833	7,32	8,54	11,04	2,43	1,14
1120	1656,98	1658,15	0,043086	6,2	9,63	9,91	1,95	1,17
1110	1656,02	1657,09	0,059311	7,08	8,68	10,49	2,32	1,07
1100	1655,63	1656,61	0,077908	6,53	9,06	13,91	2,53	0,98
1090	1654,71	1655,87	0,051925	6,94	9,24	11,93	2,17	1,16
1080	1654,4	1655,47	0,05358	6,48	9,37	11,91	2,18	1,07
1070	1654,26	1655,69	0,022858	5,22	12,13	12,55	1,49	1,43
1060	1653,63	1655,17	0,037312	6,03	11,21	15,16	1,83	1,54
1051,47	1653,35	1654,82	0,03534	6,45	10,43	12,13	1,84	1,47
1050	1653,19	1654,44	0,047442	6,75	9,94	15,3	2,09	1,25
1047,54	1653,03	1654	0,070736	6,82	9,93	20	2,44	0,97

Sección modelo	Cota [m]		Pendiente (S <sub>r</sub> )	Velocidad (V)	Área (A)	Ancho (T)	Froude	Profundidad (H)
	Fondo	Agua	[m/m]	[m/s]	[m²]	[m]		[m]
1040	1651,81	1653,49	0,030351	6,88	9,66	8,63	1,75	1,68
1030	1650,92	1652,21	0,069157	7,99	7,79	8,64	2,47	1,29
1023,83	1650,55	1651,67	0,083059	8,32	7,2	7,93	2,69	1,12
1023	Puente Peatonal 10							
1022,62	1650,36	1651,49	0,075912	8,26	7,27	7,67	2,6	1,13
1020	1649,98	1651,34	0,053395	7,41	8,21	8,01	2,2	1,36
1010	1649,35	1650,56	0,062508	7,93	8,15	9,95	2,4	1,21
1000	1648,42	1650,09	0,056817	7,98	8,58	10,36	2,17	1,67
990	1647,32	1648,85	0,057724	8,36	7,74	8,39	2,34	1,53
980	1645,32	1646,24	0,126895	9,97	6,07	7,33	3,33	0,92
970	1644,73	1645,6	0,13126	8,96	6,71	9,93	3,28	0,87
960	1644,02	1645,36	0,062845	8,04	7,67	9,07	2,35	1,34
950	1643,14	1645,44	0,030826	7,18	8,88	7,11	1,6	2,3
940	1642,62	1644,17	0,045754	8,1	7,64	6,04	2,09	1,55
930	1642,16	1643,55	0,055692	8,12	7,4	6,26	2,28	1,39
920	1641,6	1643,17	0,05044	8,1	7,76	7,29	2,18	1,57
910	1640,66	1642,15	0,059409	8,62	7,36	8,8	2,36	1,49
900	1640,3	1642,01	0,048699	7,92	7,81	8,19	1,98	1,71
890	1639,94	1641,5	0,045558	7,82	7,87	7,91	2,05	1,56
880	1639,46	1640,88	0,066167	8,53	8,01	10,18	2,4	1,42
870	1638,95	1640,22	0,059702	8,1	7,88	9,75	2,38	1,27
860	1638,54	1640,22	0,040924	7,01	8,7	8,41	1,93	1,68
850	1638,04	1639,73	0,034219	7,3	8,73	8,65	1,84	1,69
840	1636,85	1638,63	0,044341	8,32	8,08	9,21	2,06	1,78
830	1636,35	1637,75	0,067311	8,83	7,56	9,18	2,45	1,4
820	1635,7	1637,29	0,068823	8,39	7,1	6,77	2,42	1,59
814,64	1635,52	1636,67	0,104237	8,64	6,85	7,94	2,9	1,15
812	Puente vehicular 5							
806,94	1634,68	1635,77	0,115952	8,71	7,31	11,54	3,06	1,09
800	1633,93	1635,12	0,079254	8,21	7,89	10,93	2,65	1,19
790	1633,56	1634,98	0,041181	7,24	8,76	8,57	1,98	1,42
780	1633,58	1635,13	0,028779	5,99	10,25	9,16	1,66	1,55
770	1632,69	1633,96	0,043114	7,06	8,37	7,58	2,02	1,27
760	1631,53	1632,8	0,05632	7,91	7,52	7,25	2,29	1,27



Sección modelo	Cota [m]		Pendiente (S <sub>f</sub> )	Velocidad (V)	Área (A)	Ancho (T)	Froude	Profundidad (H)
	Fondo	Agua	[m/m]	[m/s]	[m²]	[m]		[m]
750	1630,95	1632,19	0,065825	7,89	7,53	8,3	2,43	1,24
740	1630,19	1631,76	0,050508	7,9	7,99	8,62	2,07	1,57
730	1629,66	1631	0,067248	8,17	7,74	8,71	2,47	1,34
720	1629,32	1630,35	0,086423	7,74	7,93	11,71	2,72	1,03
710	1627,75	1628,77	0,107146	8,85	7,37	13,21	3,05	1,02
700	1627,13	1628,17	0,080981	7,77	7,68	10,3	2,63	1,04
690	1626,13	1627,42	0,061361	7,69	7,61	7,54	2,34	1,29
680	1625,09	1627,36	0,031489	7,36	8,43	6,51	1,64	2,27
670	1624,81	1626,5	0,042352	7,71	7,78	5,39	1,97	1,69
665	Puente Peatonal 11							
660	1624,38	1626,1	0,035956	7,36	8,17	5,39	1,85	1,72
650	1623,59	1625,29	0,047144	8,08	7,62	7,81	2	1,7
640	1622,78	1624,43	0,052635	8,35	7,37	7,27	2,21	1,65
630	1622,3	1624,33	0,040109	7,61	7,99	7,41	1,86	2,03
620	1621,89	1623,69	0,047128	8,49	8,15	7,63	2,09	1,8
610	1621,53	1623,41	0,040375	8	8,58	8,11	1,94	1,88
600	1621,46	1623,17	0,03923	7,42	8,8	8,9	1,89	1,71
590	1621,46	1623,93	0,012448	5,31	12,96	9,1	1,12	2,47
580	1621,5	1624,52	0,008355	4,6	14,67	7,91	0,9	3,02
577,62	1621,34	1622,77	0,01072	6,99	8,59	6,29	1,86	1,43
575	Puente vehicular 6							
570	1621	1622,19	0,013796	7,02	8,4	7,23	2,06	1,19
560	1619,48	1620,87	0,060049	8,52	7,37	7,96	2,39	1,39
550	1618,72	1620,51	0,059246	8,48	7,81	7,66	2,21	1,79
530	1616,51	1617,2	0,198514	9,35	6,44	12,11	3,91	0,69
520	1616,55	1617,86	0,048545	6,53	9,11	9,26	2,04	1,31
510	1615,59	1617,24	0,040964	7,03	8,97	7,68	1,93	1,65
500	1615,24	1616,64	0,057944	6,93	8,6	9,07	2,21	1,4
490	1614,87	1616,45	0,040144	6,45	9,48	8,81	1,87	1,58
480	1614,82	1616,32	0,028884	6,37	9,36	6,67	1,68	1,5
476,97	1614,53	1616,12	0,028391	6,57	9,08	6	1,67	1,59
476	Puente Peatonal 12							
475,44	1614,34	1615,93	0,029715	6,61	9,04	5,98	1,68	1,59
470	1614,01	1615,69	0,030775	6,5	9,24	6,26	1,65	1,68

Sección modelo	Cota [m]		Pendiente (S <sub>r</sub> )	Velocidad (V)	Área (A)	Ancho (T)	Froude	Profundidad (H)
	Fondo	Agua	[m/m]	[m/s]	[m <sup>2</sup> ]	[m]		[m]
460	1613,4	1615,51	0,026346	6,28	9,47	6,15	1,54	2,11
450	1613,04	1614,89	0,032777	6,74	8,83	6,2	1,74	1,85
440	1612,36	1613,97	0,042456	7,38	8,02	5,81	1,99	1,61
430	1611,84	1613,8	0,031774	7,04	8,41	6,23	1,68	1,96
420	1611,86	1613,2	0,045645	7,33	8,08	6,86	2,07	1,34
410	1611,63	1613,16	0,036679	6,52	8,99	6,61	1,78	1,53
400	1611,01	1612,32	0,046349	7,14	8,28	7,6	2,07	1,31
390	1610,48	1612,11	0,034916	6,7	8,77	6,34	1,8	1,63
380	1609,95	1611,35	0,047723	6,92	8,27	8,1	2,08	1,4
370	1608,7	1610,28	0,047278	8,13	7,4	6,78	2,13	1,58
361,45	1608,58	1610,37	0,038482	7,77	7,75	4,93	1,93	1,79
360	1608,33	1610,38	0,031472	7,61	7,98	4,33	1,75	2,05
359	Puente vehicular 7							
357,8	1607,97	1610,93	0,014947	6,15	10,07	4,08	1,17	2,96
350	1607,71	1609,46	0,043094	7,98	8,27	7,89	2,02	1,75
340	1607,47	1608,87	0,049111	7,89	7,74	6,44	2,16	1,4
330	1606,67	1608,45	0,04632	7,99	8,02	7	2,08	1,78
320	1606,39	1607,92	0,046485	8,01	7,9	6,83	2,14	1,53
310	1606,07	1607,54	0,046928	7,8	8,03	7,02	2,1	1,47
300	1605,8	1606,95	0,06135	7,79	7,83	8,11	2,37	1,15
290	1604,72	1606,28	0,049789	8,01	7,83	6,97	2,2	1,56
280	1604,41	1605,85	0,053365	7,84	7,95	7,65	2,22	1,44
270	1603,96	1605,23	0,05798	7,94	7,87	7,92	2,3	1,27
260	1603,3	1604,58	0,056179	8,03	7,79	7,63	2,31	1,28
250	1602,75	1604,1	0,055395	7,99	8,02	8,01	2,25	1,35
240	1602,41	1603,92	0,04287	7,44	8,66	8,17	1,99	1,51
230	1601,87	1603,38	0,041332	7,43	8,46	7,8	1,99	1,51
220	1601,36	1602,91	0,047658	7,78	8,48	8,45	2,1	1,55
210	1600,88	1602,73	0,036153	7,34	9,19	8,47	1,81	1,85
200	1600,88	1602,72	0,028385	6,42	9,93	8,05	1,61	1,84
190	1599,96	1601,84	0,03695	7,31	8,92	7,43	1,84	1,88
180	1599,88	1601,1	0,054379	7,41	8,28	8,8	2,23	1,22
170	1599,64	1600,91	0,057181	7,54	8,23	8,49	2,3	1,27
166,64	1599,49	1600,82	0,059543	7,71	8,35	9,34	2,34	1,33

Sección modelo	Cota [m]		Pendiente (S <sub>f</sub> )	Velocidad (V)	Área (A)	Ancho (T)	Froude	Profundidad (H)
	Fondo	Agua	[m/m]	[m/s]	[m²]	[m]		[m]
165	Puente Peatonal 13							
164,96	1599,37	1600,85	0,043125	6,94	9	8,41	2,01	1,48
160	1599,07	1600,57	0,038583	6,73	9,57	10,33	1,92	1,5
150	1598,37	1599,81	0,043668	7,2	8,96	9,69	2,06	1,44
140	1597,76	1599,07	0,050418	7,5	8,36	8,27	2,19	1,31
130	1597,31	1598,63	0,052574	7,18	8,45	8,51	2,18	1,32
120	1596,97	1598,38	0,039965	6,74	8,97	7,97	1,92	1,41
110	1596,29	1597,82	0,040224	7,36	9,1	9,64	1,97	1,53
100	1595,66	1597,35	0,041856	7,47	9,1	10,02	1,97	1,69
90	1595,21	1596,74	0,04693	7,73	8,64	8,87	2,06	1,53
80	1594,55	1596,19	0,045487	7,79	8,69	9,4	2,06	1,64
70	1594,4	1595,8	0,047908	7,47	8,66	9,45	2,11	1,4
60	1594,04	1595,71	0,031174	6,69	9,42	8,65	1,76	1,67
50	1593,84	1594,86	0,060786	7,31	8,68	11,94	2,33	1,02
40	1593,2	1594,22	0,07062	7,11	8,36	10,01	2,43	1,02
30	1592,12	1593,63	0,04303	7,41	8,61	8,09	2,02	1,51
20	1590,88	1592,09	0,087755	8,43	7,35	9,29	2,75	1,21
10	1590,33	1591,69	0,053456	7,99	7,87	7,62	2,25	1,36
0	1589,48	1590,86	0,065825	8,37	7,59	8,16	2,48	1,38

- Resultados – Cálculo de Velocidades y Alturas de Lámina de Agua – Condición proyectada**

Al analizar el comportamiento hidráulico de la quebrada Ana Díaz en condición actual se evidenciaron dos estructuras con insuficiencia hidráulica para caudal de diseño de 100 años y cuatro para el caudal POMCA, presentadas en la Tabla 24. Para la condición proyectada se realizó un predimensionamiento de estas obras considerando un borde libre de 50 cm, en la Tabla 26 se presentan las dimensiones recomendadas en cada caso. Adicionalmente se diseñó el muro ubicado sobre la margen izquierda de la quebrada que va desde la sección 750 hasta la sección 670, y que actualmente este se encuentra socavado, en la Tabla 27 se presentan las dimensiones recomendadas para el muro en cada sección transversal.



**Tabla 26.** Dimensiones obras hidráulicas, quebrada Ana Díaz.

Obra	Sección	Cota mínima [m.s.n.m]
Puente peatonal 4	2819	1767,02
Puente peatonal 5	2329,5	1735,49
Puente peatonal 7	2099,8	1722,14
Puente vehicular 3	2092	1720,12

**Tabla 27.** Dimensiones muro proyectado sobre la margen izquierda de la quebrada Ana Díaz

Sección	Cota mínima [m.s.n.m]
750	1633,19
740	1632,95
730	1632,27
720	1631,37
710	1629,89
700	1629,11
690	1628,37
680	1627,97
670	1627,40

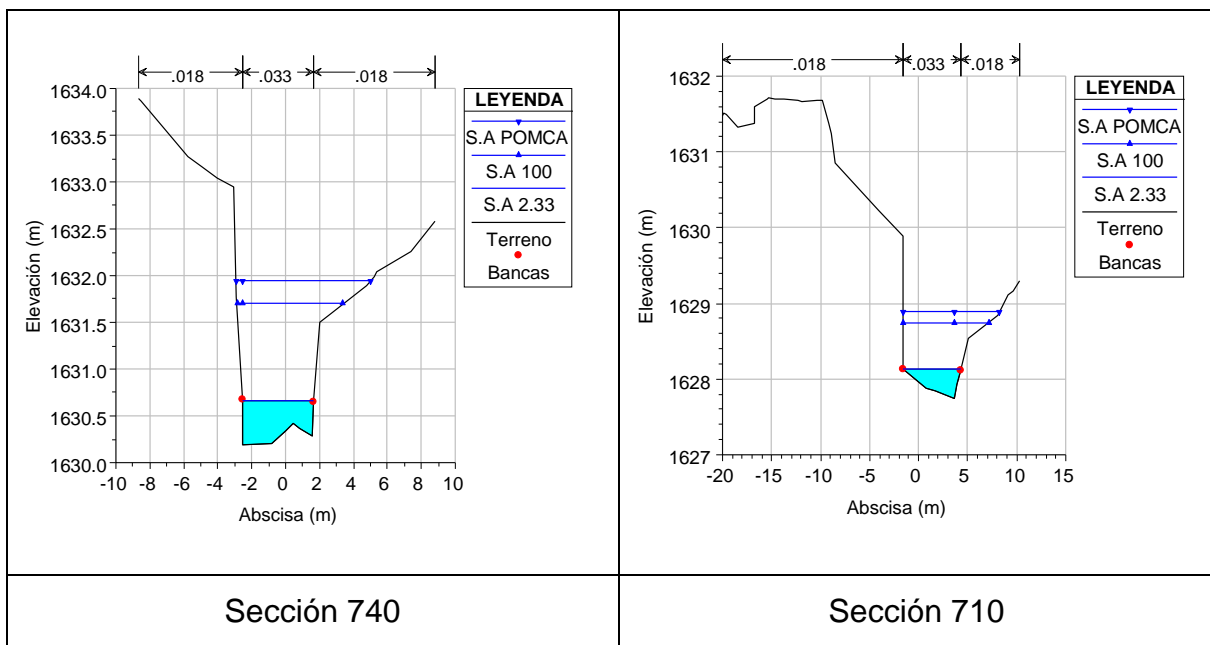
Los datos e información relacionada para la simulación hidráulica en HEC-RAS (rugosidad, caudal de diseño, condiciones de frontera y geometría) son los presentados en la Tabla 22, adicionalmente para el muro proyectado se seleccionó una rugosidad de 0,018. Se analizó el comportamiento hidráulico de la quebrada Ana Díaz en condición proyectada, para determinar los principales cambios entre las variables hidráulicas en los periodos de retorno de 2,33, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

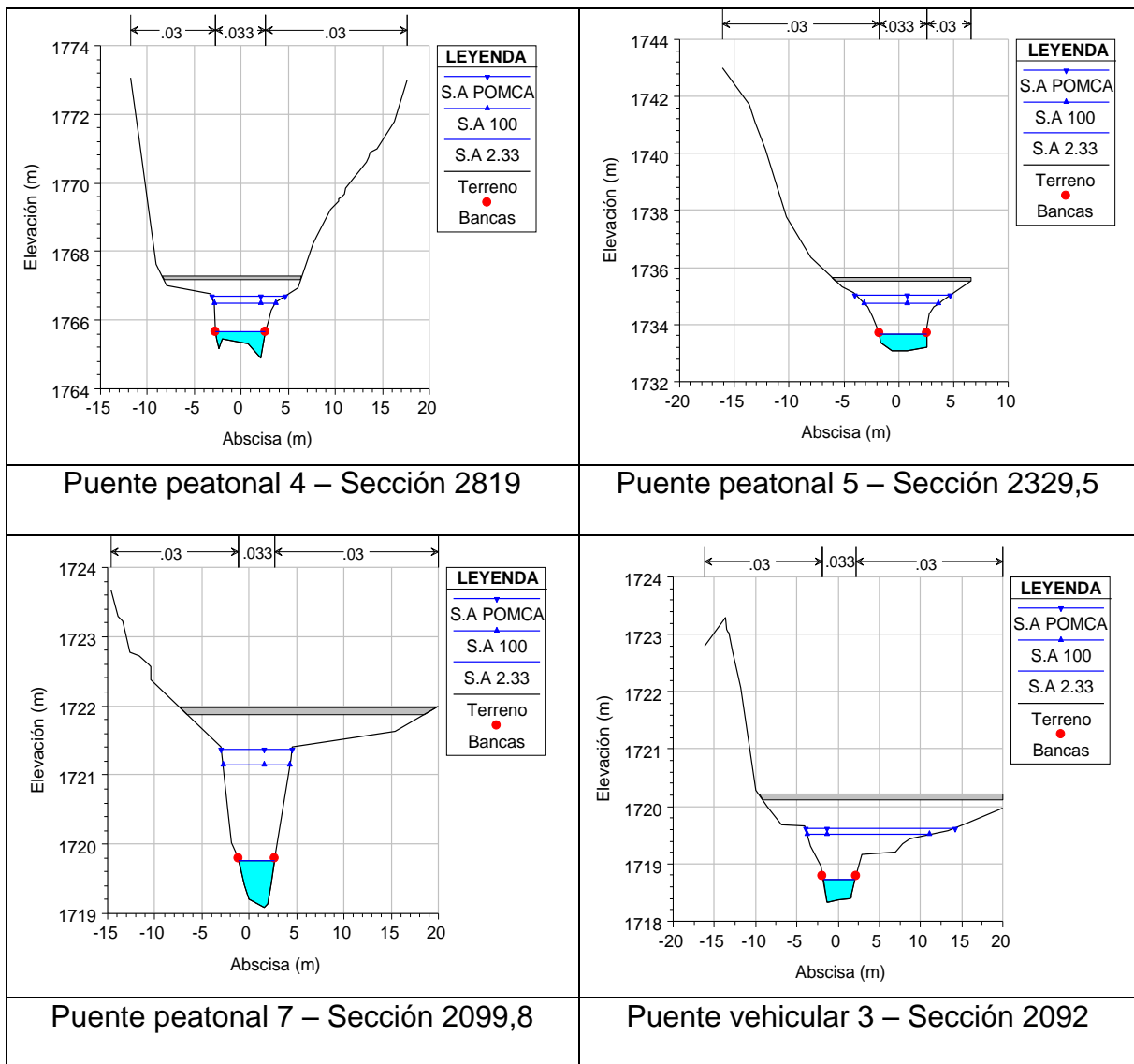
En la Tabla 28 se presenta un resumen del comportamiento extremo y medio de la velocidad y la profundidad en condición proyectada, en esta no se evidencian variaciones significativas con respecto a los resultados obtenidos en la modelación en condición actual Tabla 23.

**Tabla 28.** Velocidad y profundidad para los periodos de retorno 2,33, 100 y para POMCA, quebrada Ana Díaz condición proyectada.

Variable		Unidad	Q (Tr años)		
			2,33	100	POMCA
Velocidad	mín	[m/s]	1,91	2,85	3,15
	med		3,42	6,87	7,64
	máx		5,70	9,78	10,92
Profundidad	mín	[m]	0,19	0,56	0,66
	med		0,51	1,26	1,47
	máx		1,08	2,63	3,02

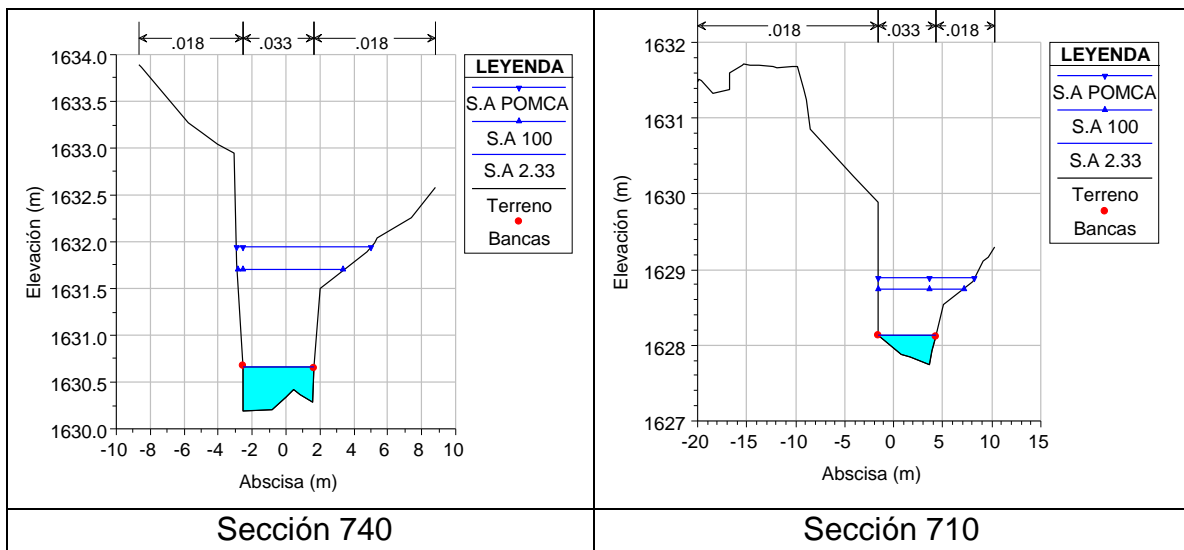
En la Figura 88 se presentan las obras hidráulicas en condición proyectada y en la Figura 89 algunas secciones transversales del muro sobre la margen izquierda de la quebrada Ana Díaz, con la altura de la lámina de agua para los caudales con periodo de retorno de 2,33, 100 años y POMCA.





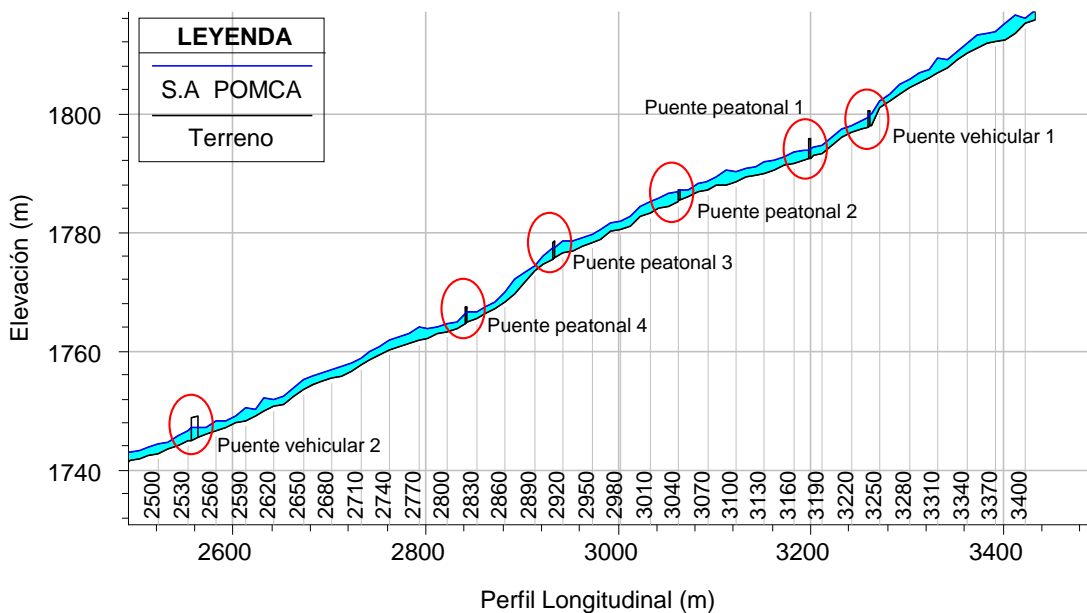
**Figura 88.** Obras de cruce en el tramo de estudio de la quebrada Ana Díaz, condición proyectada



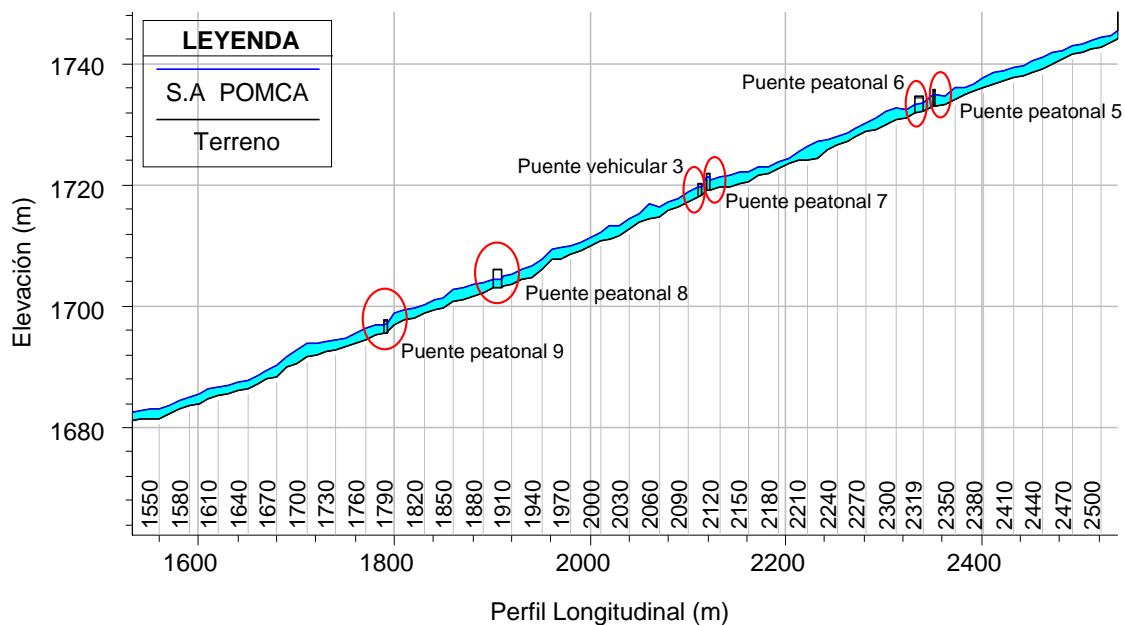


**Figura 89.** Secciones transversales en muro sobre la margen izquierda de la quebrada Ana Díaz, condición proyectada.

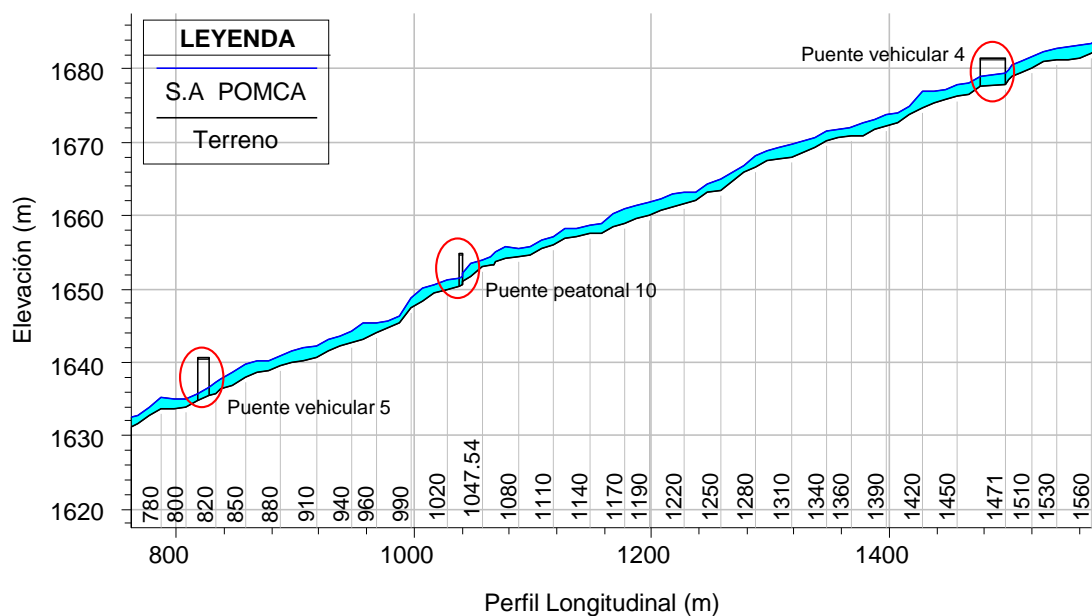
En la Figura 90 a Figura 93 se presenta el perfil del flujo de la corriente para caudal POMCA, evidenciando que todas las obras cuentan con suficiencia hidráulica para este caudal.



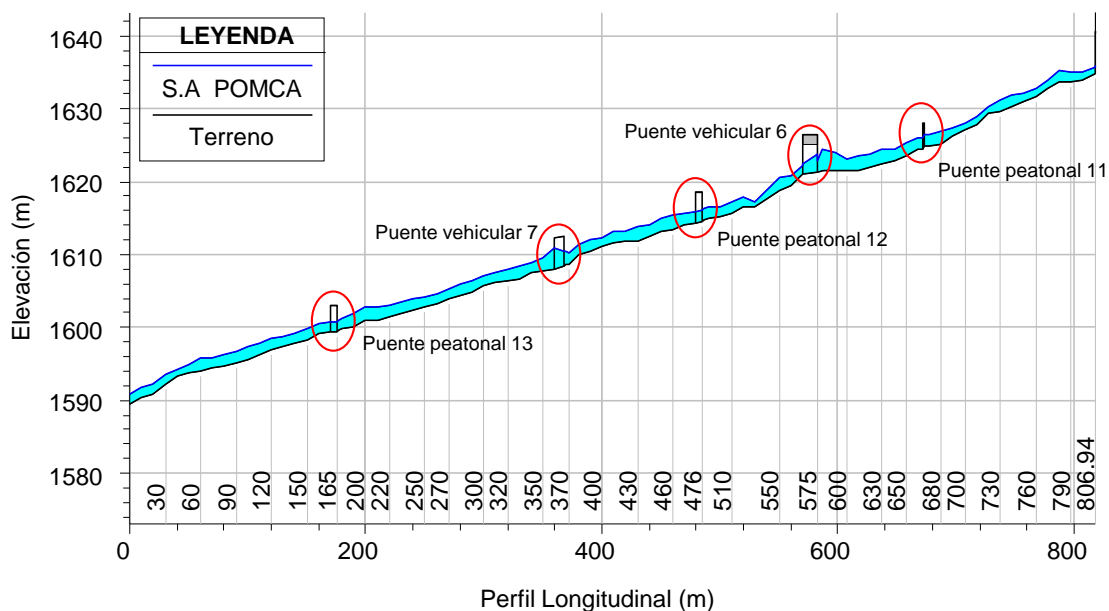
**Figura 90.** Perfil del flujo en el tramo 1 de la quebrada Ana Díaz, condición proyectada.



**Figura 91.** Perfil del flujo en el tramo 2 de la quebrada Ana Díaz, condición proyectada.



**Figura 92.** Perfil del flujo en el tramo 3 de la quebrada Ana Díaz, condición proyectada.



**Figura 93.** Perfil del flujo en el tramo 4 de la quebrada Ana Díaz, condición proyectada.

En la Tabla 29 se presentan los resultados para el caudal de diseño en el tramo de estudio de la quebrada Ana Díaz en condición proyectada, en cada una de las secciones transversales.

**Tabla 29.** Resultados del modelo hidráulico para la quebrada Ana Díaz condición proyectada.

Sección modelo	Cota [m]		Pendiente (S <sub>f</sub> ) [m/m]	Velocidad (V) [m/s]	Área (A) [m <sup>2</sup> ]	Ancho (T) [m]	Froude	Profundidad (H)
	Fondo	Agua						[m]
3410	1815,7	1816,85	0,08	8,26	4,57	5,05	2,58	1,15
3400	1815,13	1815,79	0,19	8,01	4,60	9,84	3,69	0,66
3390	1813,58	1816,09	0,03	6,42	6,37	4,99	1,48	2,51
3380	1812,35	1814,79	0,05	7,82	5,32	4,24	1,82	2,44
3370	1812,09	1813,46	0,07	8,38	4,68	5,21	2,55	1,37
3360	1811,74	1813,04	0,06	7,89	4,97	5,29	2,31	1,30
3350	1810,89	1812,86	0,04	7,24	5,50	4,66	1,82	1,97
3340	1810,24	1811,35	0,08	8,22	4,60	4,83	2,61	1,11
3330	1809,17	1810,07	0,11	8,60	4,37	5,88	3,03	0,90
3320	1807,66	1808,65	0,11	8,98	4,28	5,42	3,08	0,99
3310	1806,73	1808,86	0,04	7,50	5,30	4,06	1,86	2,13



# Programa Unidos por el Agua

Contrato interadministrativo CT - 2017 - 000677

Sección modelo	Cota [m]		Pendiente (S <sub>f</sub> )	Velocidad (V)	Área (A)	Ancho (T)	Froude	Profundidad (H)
	Fondo	Agua	[m/m]	[m/s]	[m²]	[m]		[m]
3300	1806,01	1807,09	0,11	8,74	4,43	6,19	3,02	1,08
3290	1805,04	1806,58	0,06	8,44	5,04	7,08	2,31	1,54
3280	1804,23	1805,43	0,10	8,82	4,83	10,19	2,82	1,20
3270	1803,35	1804,54	0,09	8,58	4,61	7,19	2,72	1,19
3260	1802,09	1803,05	0,15	8,86	4,22	6,81	3,41	0,96
3250	1800,86	1801,83	0,11	9,13	4,64	9,44	3,05	0,97
3240	1798,00	1799,39	0,10	10,27	3,84	3,76	2,88	1,39
3239,78	1798,00	1799,37	0,11	10,27	3,84	3,82	2,89	1,37
3237	Puente vehicular 1							
3236,77	1797,76	1798,80	0,14	10,27	3,67	4,10	3,33	1,04
3230	1797,50	1798,65	0,10	9,50	4,98	6,20	3,00	1,15
3220	1796,81	1797,86	0,10	9,26	5,32	7,89	2,95	1,05
3210	1796,02	1797,15	0,10	8,74	5,55	8,17	2,87	1,13
3200	1794,58	1795,72	0,09	9,13	5,18	6,01	2,85	1,14
3190	1793,28	1794,46	0,09	9,32	4,94	4,92	2,85	1,18
3180	1792,90	1794,05	0,08	8,68	5,39	5,96	2,64	1,15
3176,97	1792,44	1793,79	0,08	8,69	5,37	5,47	2,57	1,35
3176	Puente Peatonal 1							
3175,81	1792,39	1793,70	0,08	8,69	5,36	5,48	2,60	1,31
3170	1792,14	1793,53	0,07	8,23	5,63	5,25	2,37	1,39
3160	1791,65	1793,19	0,05	7,88	6,06	5,37	2,06	1,54
3150	1791,14	1792,62	0,07	8,00	5,96	6,60	2,34	1,48
3140	1790,55	1791,85	0,06	8,02	5,92	6,37	2,32	1,30
3130	1789,91	1791,67	0,04	7,61	6,61	6,66	1,94	1,76
3120	1789,63	1790,74	0,07	7,88	5,97	6,98	2,45	1,11
3110	1789,39	1790,59	0,05	6,98	6,69	7,83	2,15	1,20
3100	1788,63	1790,13	0,04	7,16	6,90	7,54	2,00	1,50
3090	1787,97	1790,10	0,03	6,58	7,69	5,74	1,55	2,13
3080	1787,81	1789,10	0,05	7,23	6,63	7,31	2,15	1,29
3070	1787,13	1788,30	0,08	7,92	7,17	17,30	2,56	1,17
3060	1786,87	1788,03	0,06	7,06	7,84	16,05	2,28	1,16
3050	1786,07	1786,89	0,10	7,41	6,81	14,08	2,84	0,82
3041,55	1785,56	1786,85	0,04	6,28	8,33	12,69	1,85	1,29
3041	Puente Peatonal 2							

Sección modelo	Cota [m]		Pendiente (S <sub>f</sub> )	Velocidad (V)	Área (A)	Ancho (T)	Froude	Profundidad (H)
	Fondo	Agua	[m/m]	[m/s]	[m²]	[m]		[m]
3040,46	1785,33	1786,67	0,04	6,45	7,93	10,16	1,87	1,34
3040	1785,21	1786,60	0,04	6,49	7,83	9,88	1,87	1,39
3030	1784,46	1786,24	0,03	6,49	7,96	8,55	1,61	1,78
3020	1783,96	1785,42	0,04	7,08	7,12	9,61	1,93	1,46
3010	1783,13	1784,74	0,04	7,43	6,55	5,90	1,92	1,61
3000	1782,55	1784,00	0,05	7,69	6,21	6,48	2,12	1,45
2990	1781,05	1782,51	0,07	8,74	5,43	5,44	2,54	1,46
2980	1780,34	1781,53	0,08	8,87	5,21	5,57	2,73	1,19
2970	1780,12	1781,49	0,07	7,76	6,20	7,92	2,33	1,37
2960	1778,76	1780,10	0,07	8,50	5,54	5,40	2,46	1,34
2950	1778,29	1779,39	0,08	8,37	5,51	6,47	2,69	1,10
2940	1777,56	1778,86	0,06	8,23	5,92	7,07	2,43	1,30
2930	1776,77	1778,32	0,05	8,15	5,99	5,44	2,15	1,55
2920	1776,50	1778,25	0,04	7,29	6,57	6,19	1,93	1,75
2910,57	1775,76	1777,27	0,05	8,10	6,04	5,61	2,20	1,51
2910	Puente Peatonal 3							
2909,21	1775,59	1777,08	0,05	8,18	5,95	5,52	2,23	1,49
2900	1774,69	1775,95	0,09	8,74	5,47	7,07	2,78	1,26
2890	1773,40	1774,32	0,12	9,37	5,14	8,13	3,23	0,92
2880	1771,63	1773,12	0,08	9,81	5,20	5,76	2,62	1,49
2870	1769,50	1771,75	0,09	10,37	4,85	4,11	2,50	2,25
2860	1768,35	1769,84	0,17	10,92	4,69	8,41	3,52	1,49
2850	1767,03	1767,97	0,18	10,57	4,36	6,53	3,88	0,94
2840	1766,44	1767,29	0,15	9,00	4,98	7,46	3,47	0,85
2830	1765,54	1766,36	0,12	8,35	5,43	8,06	3,11	0,82
2820	1764,93	1766,54	0,05	6,72	7,46	12,87	2,02	1,61
2819,61	1764,92	1766,52	0,04	6,56	7,03	6,67	1,88	1,60
2819	Puente Peatonal 4							
2818,77	1764,76	1766,16	0,05	6,95	6,55	5,91	2,04	1,40
2810	1763,69	1764,82	0,08	8,07	5,85	7,55	2,57	1,13
2800	1763,19	1764,45	0,06	7,57	6,36	7,78	2,24	1,26
2790	1762,92	1763,89	0,07	7,28	6,35	8,58	2,45	0,97
2780	1762,19	1763,55	0,04	7,05	6,93	7,33	1,97	1,36
2770	1761,74	1763,80	0,02	5,72	8,42	6,12	1,33	2,06

Sección modelo	Cota [m]		Pendiente (S <sub>f</sub> )	Velocidad (V)	Área (A)	Ancho (T)	Froude	Profundidad (H)
	Fondo	Agua	[m/m]	[m/s]	[m²]	[m]		[m]
2760	1761,21	1762,73	0,04	7,10	7,03	7,38	1,86	1,52
2750	1760,83	1762,12	0,06	6,90	6,61	7,55	2,22	1,29
2740	1760,18	1761,65	0,04	6,87	6,72	5,96	1,93	1,47
2730	1759,31	1760,49	0,08	7,71	6,00	7,53	2,61	1,18
2720	1758,60	1759,69	0,08	7,52	5,94	7,10	2,58	1,09
2710	1757,64	1758,57	0,09	7,86	5,72	7,04	2,73	0,93
2700	1756,55	1757,65	0,08	8,00	5,69	6,41	2,58	1,10
2690	1755,78	1757,20	0,05	7,64	6,05	6,19	2,15	1,42
2680	1755,46	1756,72	0,06	7,54	6,10	6,05	2,20	1,26
2670	1754,86	1756,22	0,06	7,77	6,65	9,54	2,18	1,36
2660	1754,29	1755,78	0,07	7,63	6,98	12,09	2,27	1,49
2650	1753,45	1754,91	0,05	7,72	6,46	6,91	2,09	1,46
2640	1752,49	1753,63	0,09	8,15	5,54	6,82	2,76	1,14
2630	1751,06	1752,26	0,08	8,70	5,26	5,47	2,67	1,20
2620	1750,69	1751,83	0,08	8,20	5,76	7,23	2,59	1,14
2610	1749,86	1751,99	0,04	6,95	7,05	7,02	1,76	2,13
2600	1749,01	1750,17	0,08	8,37	5,91	9,54	2,62	1,16
2590	1748,22	1750,26	0,04	7,18	6,85	6,44	1,75	2,04
2580	1747,91	1748,96	0,07	7,93	5,66	5,75	2,48	1,05
2570	1747,17	1748,17	0,10	8,25	6,00	9,98	2,78	1,00
2560	1746,56	1747,94	0,05	7,24	6,60	7,16	2,10	1,38
2550	1745,99	1746,92	0,08	7,53	6,01	7,62	2,61	0,93
2540	1745,45	1746,81	0,04	6,77	6,95	6,41	1,92	1,36
2537	Puente vehicular 2							
2534,61	1745,03	1746,82	0,03	6,43	7,62	6,22	1,57	1,79
2530	1744,91	1746,76	0,02	6,27	9,00	6,60	1,51	1,85
2520	1744,23	1745,69	0,04	7,19	7,63	6,47	1,97	1,46
2510	1743,43	1744,72	0,06	7,74	7,05	7,35	2,31	1,29
2500	1742,78	1744,35	0,06	7,56	7,70	10,15	2,29	1,57
2490	1742,36	1743,77	0,05	7,74	7,84	8,90	2,11	1,41
2480	1741,96	1743,08	0,01	3,15	18,94	23,41	0,97	1,12
2470	1741,53	1742,97	0,01	3,46	18,72	21,91	0,95	1,44
2460	1740,74	1742,03	0,01	3,19	19,76	23,76	0,91	1,29
2450	1739,98	1741,57	0,01	4,03	14,98	14,62	1,04	1,59



Sección modelo	Cota [m]		Pendiente (S <sub>f</sub> )	Velocidad (V)	Área (A)	Ancho (T)	Froude	Profundidad (H)
	Fondo	Agua	[m/m]	[m/s]	[m²]	[m]		[m]
2440	1739,01	1740,87	0,02	5,41	11,66	11,03	1,30	1,86
2430	1738,69	1740,38	0,02	5,68	10,23	8,83	1,43	1,69
2420	1737,99	1739,62	0,03	6,47	8,85	7,71	1,68	1,63
2410	1737,72	1739,29	0,04	6,54	8,82	9,35	1,81	1,57
2400	1737,13	1738,65	0,04	7,09	8,48	9,35	1,92	1,52
2390	1736,58	1738,38	0,03	6,97	9,18	10,50	1,70	1,80
2380	1736,02	1737,53	0,05	7,48	8,33	10,92	2,03	1,51
2370	1735,38	1736,65	0,07	7,95	7,59	11,24	2,49	1,27
2360	1734,92	1736,13	0,06	7,62	8,09	12,45	2,25	1,21
2350	1734,20	1735,84	0,04	7,34	8,26	8,79	1,87	1,64
2340	1733,29	1734,53	0,06	7,87	7,08	7,87	2,41	1,24
2330	1733,08	1734,94	0,02	6,25	9,25	8,01	1,50	1,86
2329,5	Puente Peatonal 5							
2329,28	1733,08	1734,89	0,02	6,21	9,31	9,10	1,50	1,81
2320	1732,14	1733,46	0,05	7,50	7,18	6,66	2,18	1,32
2319	Puente Peatonal 6							
2317,48	1731,95	1733,19	0,05	7,32	7,33	6,68	2,12	1,24
2310	1730,93	1732,35	0,05	7,89	7,12	6,85	2,23	1,42
2300	1730,80	1732,73	0,03	6,44	8,96	6,93	1,54	1,93
2290	1730,03	1732,05	0,03	7,09	8,32	6,90	1,72	2,02
2280	1729,14	1730,79	0,05	7,95	6,97	5,45	2,09	1,65
2270	1728,71	1730,12	0,06	8,09	6,76	6,15	2,31	1,41
2260	1728,08	1729,24	0,08	8,53	6,71	8,64	2,68	1,16
2250	1727,19	1728,42	0,08	8,78	7,01	11,20	2,67	1,23
2240	1726,66	1727,97	0,06	8,13	7,15	8,23	2,36	1,31
2230	1725,65	1727,47	0,05	7,97	7,36	6,93	2,02	1,82
2220	1724,51	1727,05	0,04	8,35	7,61	6,79	1,73	2,54
2210	1724,24	1726,15	0,05	8,29	6,69	4,74	2,09	1,91
2200	1724,17	1725,34	0,07	8,40	6,53	7,14	2,56	1,17
2190	1723,47	1724,46	0,09	8,52	6,48	7,85	2,78	0,99
2180	1722,71	1723,65	0,10	8,08	6,50	8,59	2,94	0,94
2170	1722,03	1723,03	0,08	7,65	7,13	9,91	2,66	1,00
2160	1721,56	1722,87	0,05	6,84	8,30	10,05	2,08	1,31
2150	1720,48	1722,01	0,04	7,40	7,79	7,52	2,00	1,53

# Programa Unidos por el Agua

Contrato interadministrativo CT - 2017 - 000677

Sección modelo	Cota [m]		Pendiente (S <sub>f</sub> )	Velocidad (V)	Área (A)	Ancho (T)	Froude	Profundidad (H)
	Fondo	Agua	[m/m]	[m/s]	[m²]	[m]		[m]
2140	1720,19	1722,07	0,03	6,66	8,88	8,25	1,65	1,88
2130	1719,70	1721,41	0,03	7,16	8,40	7,71	1,78	1,71
2120	1719,62	1721,22	0,04	6,56	8,68	10,95	1,82	1,60
2110	1719,16	1720,75	0,04	6,91	8,35	7,43	1,90	1,59
2100	1719,09	1721,77	0,01	4,17	17,75	23,00	0,85	2,68
2099,8	Puente Peatonal 7							
2099,64	1719,04	1721,37	0,01	5,21	11,65	7,41	1,13	2,33
2093	1718,33	1719,59	0,07	8,21	8,43	17,60	2,42	1,26
2092	Puente vehicular 3							
2091,66	1717,88	1719,48	0,04	7,25	7,81	9,61	1,87	1,60
2090	1717,30	1718,74	0,07	7,52	7,09	6,70	2,26	1,44
2080	1716,47	1717,64	0,07	8,02	7,11	7,30	2,52	1,17
2070	1715,93	1717,13	0,06	7,74	7,35	7,23	2,34	1,20
2060	1714,77	1716,21	0,06	8,09	7,01	5,95	2,34	1,44
2050	1714,36	1716,24	0,03	7,41	8,31	6,95	1,79	1,88
2040	1713,97	1715,13	0,12	9,19	7,91	16,91	2,94	1,16
2030	1712,65	1714,25	0,01	3,45	20,22	22,23	0,89	1,60
2020	1711,75	1713,14	0,03	5,91	12,44	20,24	1,67	1,39
2010	1711,18	1713,10	0,02	5,10	13,11	13,67	1,26	1,92
2000	1710,71	1712,11	0,03	6,54	10,72	16,91	1,79	1,40
1980	1709,04	1710,56	0,06	8,01	9,39	16,48	2,17	1,52
1970	1708,59	1709,99	0,05	7,79	9,70	18,81	2,18	1,40
1960	1707,86	1709,36	0,04	7,55	8,96	13,60	2,03	1,50
1950	1707,69	1708,99	0,06	7,51	9,76	22,72	2,21	1,30
1940	1706,00	1707,47	0,07	8,50	8,08	15,41	2,46	1,47
1930	1704,64	1706,53	0,05	8,91	8,03	13,07	2,18	1,89
1920	1704,49	1706,03	0,09	9,08	7,39	10,41	2,44	1,54
1910	1703,66	1705,12	0,09	9,56	8,47	19,96	2,76	1,46
1900	1703,25	1704,76	0,07	8,49	7,97	10,76	2,34	1,51
1891,62	1703,09	1704,37	0,08	8,64	7,56	10,32	2,60	1,28
1891	Puente Peatonal 8							
1890	1703,02	1704,36	0,06	6,82	8,70	10,83	2,20	1,34
1880	1702,10	1703,77	0,05	7,45	9,07	11,62	1,96	1,67
1870	1701,77	1703,61	0,04	6,62	9,99	13,21	1,81	1,84

Sección modelo	Cota [m]		Pendiente (S <sub>r</sub> )	Velocidad (V)	Área (A)	Ancho (T)	Froude	Profundidad (H)
	Fondo	Agua	[m/m]	[m/s]	[m²]	[m]		[m]
1860	1701,13	1703,01	0,03	7,03	9,80	11,85	1,69	1,88
1850	1700,89	1702,62	0,03	6,89	9,18	9,59	1,70	1,73
1840	1699,79	1701,42	0,04	7,91	7,66	6,39	2,01	1,63
1830	1699,45	1701,08	0,04	7,83	7,80	6,97	2,02	1,63
1820	1698,73	1700,24	0,06	8,65	7,51	8,31	2,31	1,51
1810	1698,11	1699,58	0,06	8,15	7,29	7,31	2,30	1,47
1800	1697,73	1699,40	0,05	7,80	8,28	9,28	2,01	1,67
1790	1696,96	1698,79	0,054182	7,95	7,95	8,91	2,18	1,83
1780	1695,75	1697,15	0,078494	9,34	7,02	9,91	2,67	1,4
1772,52	1695,55	1697,07	0,067725	9,02	6,71	6,46	2,5	1,52
1772	Puente Peatonal 9							
1771,91	1695,58	1696,97	0,066003	8,91	6,7	6,08	2,44	1,39
1770	1695,22	1696,89	0,049551	8	7,33	5,73	2,05	1,67
1760	1694,47	1696,3	0,071156	8,8	7,51	8,92	2,2	1,83
1750	1693,9	1695,46	0,070122	8,9	7,64	10,85	2,37	1,56
1740	1693,37	1694,78	0,071725	8,88	7,57	10,12	2,43	1,41
1730	1692,84	1694,31	0,072698	8,6	7,96	11,57	2,37	1,47
1720	1692,35	1694,11	0,058581	7,16	8,6	10,61	2,14	1,76
1710	1692,03	1693,81	0,045198	6,56	9,13	9,51	1,86	1,78
1700	1691,53	1693,85	0,0248	5,8	10,89	9,58	1,37	2,32
1690	1690,62	1692,77	0,045983	7,28	9,39	12,13	1,87	2,15
1680	1690,06	1691,65	0,045981	7,87	8,29	8,77	2,04	1,59
1670	1688,28	1690,28	0,076799	9,25	7,46	10,1	2,36	2
1660	1687,92	1689,37	0,084231	9,34	7,23	9,86	2,53	1,45
1650	1687,13	1688,65	0,065931	8,88	7,22	8,11	2,4	1,52
1640	1686,35	1687,64	0,090151	9,37	6,93	9,47	2,78	1,29
1630	1686,03	1687,49	0,065233	7,87	7,83	9,68	2,35	1,46
1620	1685,6	1686,8	0,089747	8,42	8,2	14,84	2,65	1,2
1610	1685,31	1686,57	0,05489	7,19	9,08	12,48	2,13	1,26
1600	1684,62	1686,27	0,042816	6,94	9,97	13,13	1,82	1,65
1590	1683,95	1685,38	0,048345	7,29	8,88	10,54	2,06	1,43
1580	1683,57	1685,03	0,034508	6,79	8,97	7,98	1,82	1,46
1570	1682,97	1684,51	0,036668	6,87	8,55	7,21	1,82	1,54
1560	1682,2	1683,48	0,049094	7,51	7,67	7,69	2,16	1,28



Sección modelo	Cota [m]		Pendiente (S <sub>r</sub> )	Velocidad (V)	Área (A)	Ancho (T)	Froude	Profundidad (H)
	Fondo	Agua	[m/m]	[m/s]	[m²]	[m]		[m]
1550	1681,47	1683,13	0,046008	7,81	8,57	10,84	2,02	1,66
1540	1681,32	1683	0,04326	7,15	9,05	10,55	1,91	1,68
1530	1681,31	1682,8	0,048027	6,38	10,2	17,83	1,95	1,49
1520	1680,95	1682,32	0,039606	6,36	9,33	9,65	1,89	1,37
1510	1680,18	1681,59	0,047546	6,98	8,85	10,47	1,97	1,41
1500	1679,33	1680,94	0,050864	7,48	8,53	9,23	1,95	1,61
1490	1678,9	1680,56	0,034353	6,99	8,47	6,56	1,81	1,66
1482,82	1678,52	1679,81	0,060298	7,86	7,49	7,34	2,32	1,29
1480,36	1677,92	1679,35	0,04774	7,95	7,06	5,1	2,14	1,43
1471	Puente vehicular 4							
1470	1677,54	1679,06	0,042441	6,94	8,26	9,05	1,9	1,52
1460	1676,4	1678,18	0,041788	7,75	8,27	9,9	1,99	1,78
1450	1676,28	1677,85	0,039315	7,49	8,78	9,19	1,93	1,57
1440	1675,76	1677,28	0,046504	7,74	8,25	7,68	2,08	1,52
1430	1675,42	1676,92	0,047772	7,4	8,41	7,19	2,06	1,5
1420	1674,8	1677	0,026412	6,81	10,02	8,05	1,52	2,2
1410	1673,77	1675,01	0,069652	8,3	7,27	7,3	2,52	1,24
1400	1672,73	1673,96	0,074442	8,96	7,27	8,77	2,59	1,23
1390	1672,19	1673,75	0,059423	8,05	7,85	8,51	2,3	1,56
1380	1671,76	1673,1	0,058376	8,25	8,02	9,42	2,33	1,34
1370	1670,97	1672,65	0,043805	8,09	8,24	8,81	2,07	1,68
1360	1670,77	1672,05	0,069534	8,26	8,09	11,32	2,42	1,28
1350	1670,57	1671,79	0,052869	7,41	8,6	11	2,21	1,22
1340	1670,26	1671,6	0,045038	6,73	9,1	9,55	2,01	1,34
1330	1669,24	1670,62	0,061917	7,43	8,3	9,01	2,34	1,38
1320	1668,71	1670,21	0,044354	7,53	9,02	10,11	2,04	1,5
1310	1668,02	1669,75	0,039468	7,65	9,08	9,6	1,95	1,73
1300	1667,74	1669,38	0,045004	7,58	9,17	10,55	1,99	1,64
1290	1667,39	1668,89	0,051207	7,68	8,98	10,91	2,1	1,5
1280	1666,66	1668,26	0,062539	7,94	9,1	13,89	2,28	1,6
1270	1665,85	1666,77	0,106007	8,55	7,68	12,25	2,92	0,92
1250	1663,43	1664,89	0,065527	8,9	7,76	9,07	2,4	1,46
1240	1663,31	1664,34	0,083064	8,34	7,93	11,23	2,66	1,03
1230	1662,15	1663,3	0,078346	8,26	7,69	11,15	2,63	1,15

Sección modelo	Cota [m]		Pendiente (S <sub>f</sub> )	Velocidad (V)	Área (A)	Ancho (T)	Froude	Profundidad (H)
	Fondo	Agua	[m/m]	[m/s]	[m²]	[m]		[m]
1220	1661,68	1663,27	0,044882	7,68	8,99	9,8	1,99	1,59
1210	1661,16	1662,98	0,033456	7,24	9,04	7,14	1,77	1,82
1200	1660,7	1662,33	0,038947	7,58	8,56	7,25	1,94	1,63
1190	1659,98	1661,88	0,034092	7,62	8,52	6,56	1,86	1,9
1180	1659,58	1661,48	0,040941	7,77	8,41	6,45	1,93	1,9
1170	1659,01	1661,04	0,04255	7,69	8,38	6,42	1,86	2,03
1160	1658,38	1660,33	0,042548	8,16	8,1	6,77	2	1,95
1150	1657,61	1658,88	0,085673	9,18	7,09	8,33	2,78	1,27
1140	1657,49	1658,63	0,075474	7,85	7,87	10,06	2,58	1,14
1130	1657,11	1658,25	0,066833	7,32	8,54	11,04	2,43	1,14
1120	1656,98	1658,15	0,043086	6,2	9,63	9,91	1,95	1,17
1110	1656,02	1657,09	0,059311	7,08	8,68	10,49	2,32	1,07
1100	1655,63	1656,61	0,077908	6,53	9,06	13,91	2,53	0,98
1090	1654,71	1655,87	0,051925	6,94	9,24	11,93	2,17	1,16
1080	1654,4	1655,47	0,05358	6,48	9,37	11,91	2,18	1,07
1070	1654,26	1655,69	0,022858	5,22	12,13	12,55	1,49	1,43
1060	1653,63	1655,17	0,037312	6,03	11,21	15,16	1,83	1,54
1051,47	1653,35	1654,82	0,03534	6,45	10,43	12,13	1,84	1,47
1050	1653,19	1654,44	0,047442	6,75	9,94	15,3	2,09	1,25
1047,54	1653,03	1654	0,070736	6,82	9,93	20	2,44	0,97
1040	1651,81	1653,49	0,030351	6,88	9,66	8,63	1,75	1,68
1030	1650,92	1652,21	0,069157	7,99	7,79	8,64	2,47	1,29
1023,83	1650,55	1651,67	0,083059	8,32	7,2	7,93	2,69	1,12
1023	Puente Peatonal 10							
1022,62	1650,36	1651,49	0,075912	8,26	7,27	7,67	2,6	1,13
1020	1649,98	1651,34	0,053395	7,41	8,21	8,01	2,2	1,36
1010	1649,35	1650,56	0,062508	7,93	8,15	9,95	2,4	1,21
1000	1648,42	1650,09	0,056817	7,98	8,58	10,36	2,17	1,67
990	1647,32	1648,85	0,057724	8,36	7,74	8,39	2,34	1,53
980	1645,32	1646,24	0,126895	9,97	6,07	7,33	3,33	0,92
970	1644,73	1645,6	0,13126	8,96	6,71	9,93	3,28	0,87
960	1644,02	1645,36	0,062845	8,04	7,67	9,07	2,35	1,34
950	1643,14	1645,44	0,030826	7,18	8,88	7,11	1,6	2,3
940	1642,62	1644,17	0,045754	8,1	7,64	6,04	2,09	1,55

Sección modelo	Cota [m]		Pendiente (S <sub>r</sub> )	Velocidad (V)	Área (A)	Ancho (T)	Froude	Profundidad (H)
	Fondo	Agua	[m/m]	[m/s]	[m²]	[m]		[m]
930	1642,16	1643,55	0,055692	8,12	7,4	6,26	2,28	1,39
920	1641,6	1643,17	0,05044	8,1	7,76	7,29	2,18	1,57
910	1640,66	1642,15	0,059409	8,62	7,36	8,8	2,36	1,49
900	1640,3	1642,01	0,048699	7,92	7,81	8,19	1,98	1,71
890	1639,94	1641,5	0,045558	7,82	7,87	7,91	2,05	1,56
880	1639,46	1640,88	0,066167	8,53	8,01	10,18	2,4	1,42
870	1638,95	1640,22	0,059702	8,1	7,88	9,75	2,38	1,27
860	1638,54	1640,22	0,040924	7,01	8,7	8,41	1,93	1,68
850	1638,04	1639,73	0,034219	7,3	8,73	8,65	1,84	1,69
840	1636,85	1638,63	0,044341	8,32	8,08	9,21	2,06	1,78
830	1636,35	1637,75	0,067311	8,83	7,56	9,18	2,45	1,4
820	1635,7	1637,29	0,068823	8,39	7,1	6,77	2,42	1,59
814,64	1635,52	1636,67	0,104237	8,64	6,85	7,94	2,9	1,15
812	Puente vehicular 5							
806,94	1634,68	1635,77	0,115952	8,71	7,31	11,54	3,06	1,09
800	1633,93	1635,12	0,079254	8,21	7,89	10,93	2,65	1,19
790	1633,56	1634,98	0,041181	7,24	8,76	8,57	1,98	1,42
780	1633,58	1635,13	0,028779	5,99	10,25	9,16	1,66	1,55
770	1632,69	1633,96	0,043114	7,06	8,37	7,58	2,02	1,27
760	1631,53	1632,8	0,05632	7,91	7,52	7,24	2,29	1,27
750	1630,95	1632,19	0,065825	7,89	7,53	8,3	2,43	1,24
740	1630,19	1631,95	0,039429	7,56	8,27	7,93	1,87	1,76
730	1629,66	1631,27	0,044954	7,71	7,7	6,04	2,09	1,61
720	1629,32	1630,37	0,089811	8,01	7,37	9,38	2,78	1,05
710	1627,75	1628,89	0,08847	8,82	6,88	9,9	2,84	1,14
700	1627,13	1628,11	0,103329	8,39	7,09	9,91	2,94	0,98
690	1626,13	1627,37	0,071566	8,07	7,26	7,52	2,51	1,24
680	1625,09	1626,97	0,037718	8,13	7,53	4,75	1,95	1,88
670	1624,81	1626,4	0,053233	8,16	7,33	5,57	2,16	1,59
665	Puente Peatonal 11							
660	1624,38	1626,04	0,041232	7,61	7,87	5,41	1,95	1,66
650	1623,59	1625,27	0,049994	8,25	7,46	7,72	2,06	1,68
640	1622,78	1624,42	0,055039	8,48	7,25	7,23	2,25	1,64
630	1622,3	1624,32	0,041668	7,71	7,88	7,36	1,89	2,02



# Programa Unidos por el Agua

Contrato interadministrativo CT - 2017 - 000677

Sección modelo	Cota [m]		Pendiente (S <sub>f</sub> )	Velocidad (V)	Área (A)	Ancho (T)	Froude	Profundidad (H)
	Fondo	Agua	[m/m]	[m/s]	[m²]	[m]		[m]
620	1621,89	1623,68	0,048412	8,57	8,07	7,6	2,11	1,79
610	1621,53	1623,41	0,041182	8,06	8,51	8,08	1,95	1,88
600	1621,46	1623,16	0,039827	7,45	8,75	8,88	1,91	1,7
590	1621,46	1623,9	0,013101	5,41	12,71	9,03	1,15	2,44
580	1621,5	1624,52	0,008355	4,6	14,67	7,91	0,9	3,02
577,62	1621,34	1622,77	0,01072	6,99	8,59	6,29	1,86	1,43
575	Puente vehicular 6							
570	1621	1622,19	0,013417	7,02	8,45	7,23	2,05	1,19
560	1619,48	1620,87	0,060219	8,52	7,37	7,96	2,39	1,39
550	1618,72	1620,51	0,059366	8,48	7,81	7,65	2,21	1,79
530	1616,51	1617,2	0,198689	9,35	6,44	12,11	3,91	0,69
520	1616,55	1617,86	0,048592	6,53	9,1	9,26	2,04	1,31
510	1615,59	1617,24	0,04098	7,03	8,97	7,68	1,93	1,65
500	1615,24	1616,64	0,057973	6,93	8,6	9,07	2,21	1,4
490	1614,87	1616,45	0,040144	6,45	9,48	8,81	1,87	1,58
480	1614,82	1616,32	0,028884	6,37	9,36	6,67	1,68	1,5
476,97	1614,53	1616,12	0,028391	6,57	9,08	6	1,67	1,59
476	Puente Peatonal 12							
475,44	1614,34	1615,93	0,029715	6,61	9,04	5,98	1,68	1,59
470	1614,01	1615,69	0,030775	6,5	9,24	6,26	1,65	1,68
460	1613,4	1615,51	0,026346	6,28	9,47	6,15	1,54	2,11
450	1613,04	1614,89	0,032777	6,74	8,83	6,2	1,74	1,85
440	1612,36	1613,97	0,042456	7,38	8,02	5,81	1,99	1,61
430	1611,84	1613,8	0,031774	7,04	8,41	6,23	1,68	1,96
420	1611,86	1613,2	0,045645	7,33	8,08	6,86	2,07	1,34
410	1611,63	1613,16	0,036679	6,52	8,99	6,61	1,78	1,53
400	1611,01	1612,32	0,046349	7,14	8,28	7,6	2,07	1,31
390	1610,48	1612,11	0,034916	6,7	8,77	6,34	1,8	1,63
380	1609,95	1611,35	0,047723	6,92	8,27	8,1	2,08	1,4
370	1608,7	1610,28	0,047278	8,13	7,4	6,78	2,13	1,58
361,45	1608,58	1610,37	0,038482	7,77	7,75	4,93	1,93	1,79
360	1608,33	1610,38	0,031472	7,61	7,98	4,33	1,75	2,05
359	Puente vehicular 7							
357,8	1607,97	1610,93	0,014947	6,15	10,07	4,08	1,17	2,96

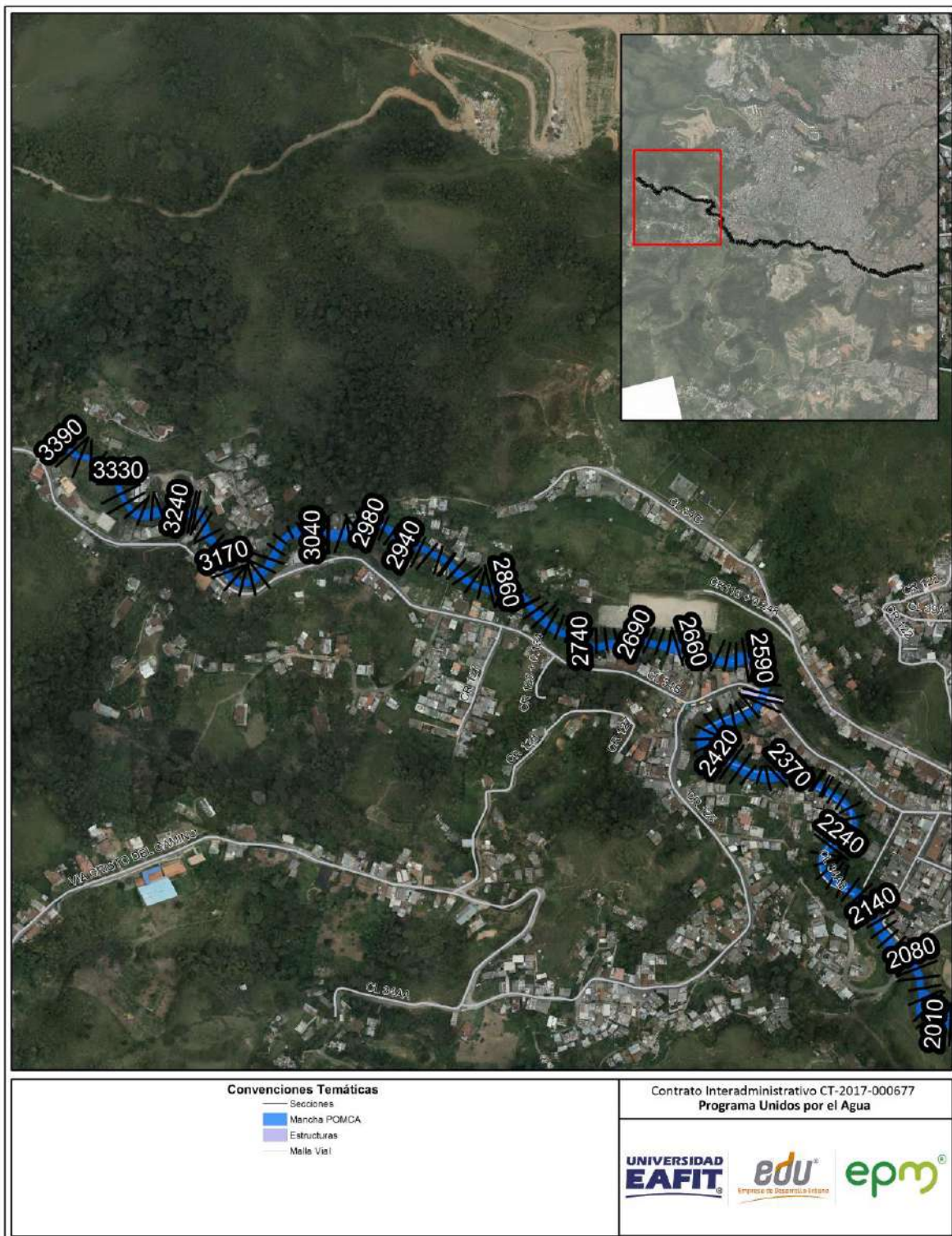
Sección modelo	Cota [m]		Pendiente (S <sub>f</sub> )	Velocidad (V)	Área (A)	Ancho (T)	Froude	Profundidad (H)
	Fondo	Agua	[m/m]	[m/s]	[m²]	[m]		[m]
350	1607,71	1609,46	0,043094	7,98	8,27	7,89	2,02	1,75
340	1607,47	1608,87	0,049111	7,89	7,74	6,44	2,16	1,4
330	1606,67	1608,45	0,04632	7,99	8,02	7	2,08	1,78
320	1606,39	1607,92	0,046485	8,01	7,9	6,83	2,14	1,53
310	1606,07	1607,54	0,046928	7,8	8,03	7,02	2,1	1,47
300	1605,8	1606,95	0,06135	7,79	7,83	8,11	2,37	1,15
290	1604,72	1606,28	0,049789	8,01	7,83	6,97	2,2	1,56
280	1604,41	1605,85	0,053365	7,84	7,95	7,65	2,22	1,44
270	1603,96	1605,23	0,05798	7,94	7,87	7,92	2,3	1,27
260	1603,3	1604,58	0,056179	8,03	7,79	7,63	2,31	1,28
250	1602,75	1604,1	0,055395	7,99	8,02	8,01	2,25	1,35
240	1602,41	1603,92	0,04287	7,44	8,66	8,17	1,99	1,51
230	1601,87	1603,38	0,041332	7,43	8,46	7,8	1,99	1,51
220	1601,36	1602,91	0,047658	7,78	8,48	8,45	2,1	1,55
210	1600,88	1602,73	0,036153	7,34	9,19	8,47	1,81	1,85
200	1600,88	1602,72	0,028385	6,42	9,93	8,05	1,61	1,84
190	1599,96	1601,84	0,03695	7,31	8,92	7,43	1,84	1,88
180	1599,88	1601,1	0,054379	7,41	8,28	8,8	2,23	1,22
170	1599,64	1600,91	0,057181	7,54	8,23	8,49	2,3	1,27
166,64	1599,49	1600,82	0,059543	7,71	8,35	9,34	2,34	1,33
165	Puente Peatonal 13							
164,96	1599,37	1600,85	0,043125	6,94	9	8,41	2,01	1,48
160	1599,07	1600,57	0,038583	6,73	9,57	10,33	1,92	1,5
150	1598,37	1599,81	0,043668	7,2	8,96	9,69	2,06	1,44
140	1597,76	1599,07	0,050418	7,5	8,36	8,27	2,19	1,31
130	1597,31	1598,63	0,052574	7,18	8,45	8,51	2,18	1,32
120	1596,97	1598,38	0,039965	6,74	8,97	7,97	1,92	1,41
110	1596,29	1597,82	0,040224	7,36	9,1	9,64	1,97	1,53
100	1595,66	1597,35	0,041856	7,47	9,1	10,02	1,97	1,69
90	1595,21	1596,74	0,04693	7,73	8,64	8,87	2,06	1,53
80	1594,55	1596,19	0,045487	7,79	8,69	9,4	2,06	1,64
70	1594,4	1595,8	0,047908	7,47	8,66	9,45	2,11	1,4
60	1594,04	1595,71	0,031174	6,69	9,42	8,65	1,76	1,67
50	1593,84	1594,86	0,060786	7,31	8,68	11,94	2,33	1,02

Sección modelo	Cota [m]		Pendiente (S <sub>f</sub> )	Velocidad (V)	Área (A)	Ancho (T)	Froude	Profundidad (H)
	Fondo	Agua	[m/m]	[m/s]	[m <sup>2</sup> ]	[m]		[m]
40	1593,2	1594,22	0,07062	7,11	8,36	10,01	2,43	1,02
30	1592,12	1593,63	0,04303	7,41	8,61	8,09	2,02	1,51
20	1590,88	1592,09	0,087755	8,43	7,35	9,29	2,75	1,21
10	1590,33	1591,69	0,053456	7,99	7,87	7,62	2,25	1,36
0	1589,48	1590,86	0,065825	8,37	7,59	8,16	2,48	1,38

- **Manchas de inundación**

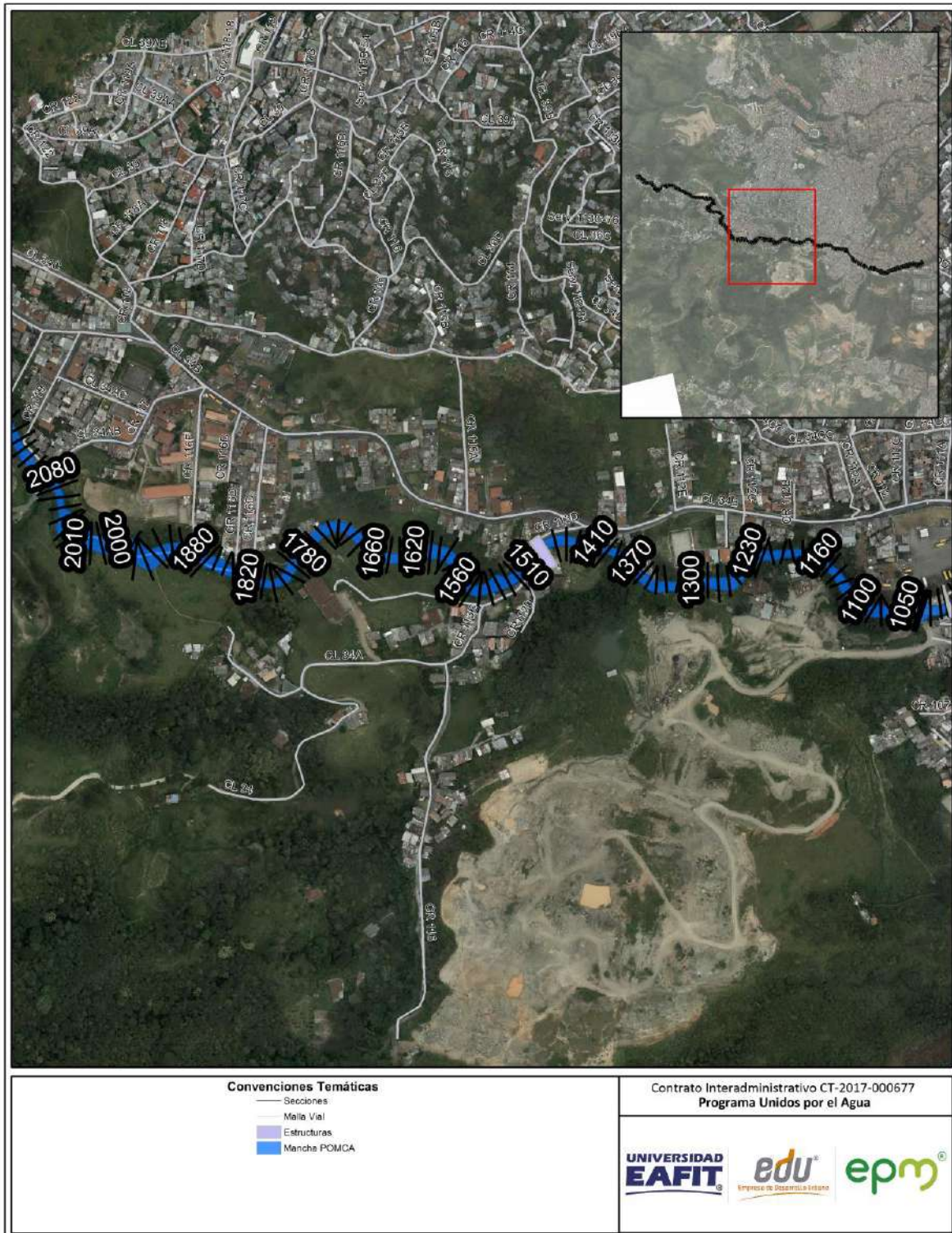
En la Figura 94 a Figura 96 se presentan la mancha de inundación asociada al caudal POMCA en la quebrada Ana Díaz para la condición proyectada.





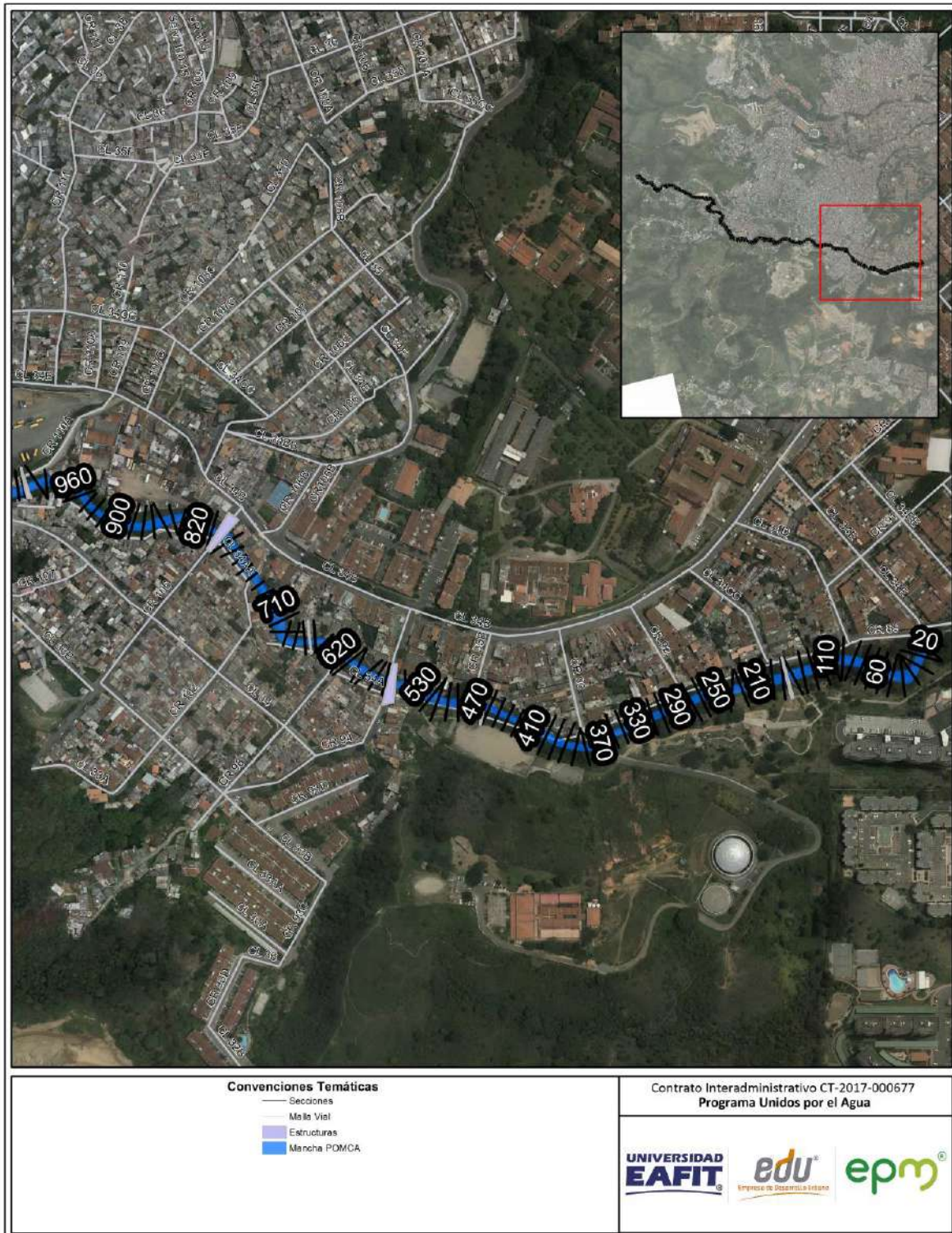
**Figura 94.** Mancha de inundación tramo 1 condición actual, metodología POMCA.





**Figura 95.** Mancha de inundación tramo 2 condición actual, metodología POMCA.





**Figura 96.** Mancha de inundación tramo 3 condición actual, metodología POMCA.



Para una mayor claridad de las manchas de inundación obtenidas en el estudio hidráulico de la quebrada Ana Díaz, se podrán consular los Planos incluidos dentro del Anexo 5.

### 8.4.3 Estudio de socavación general

La socavación es un fenómeno natural, asociado principalmente a corrientes aluviales. El término socavación del lecho significa la disminución en el nivel del lecho, por debajo del nivel natural o de un nivel de referencia asumido. La profundidad de socavación se refiere a la profundidad del lecho donde se ha removido material por debajo del nivel establecido (Posada, 1994).

Para complementar el estudio hidráulico realizado sobre la quebrada Ana Díaz, se estimó la socavación general para las secciones en el tramo de interés en condición proyectada, mediante la implementación del método de cálculo propuesto por Del Campo (1995), este método se basa en regresiones estadísticas, resultado del ajuste entre parámetros relacionables con la socavación a partir de datos de más de 3000 aforos líquidos y sólidos.

- **Método de Del Campo (1995)**

La socavación general se puede producir por varias causas:

- a. Aumento del caudal durante las avenidas
- b. Incremento de la pendiente del cauce por alteración del canal, o corte de meandros.
- c. Remoción de sedimentos del flujo por la construcción de una presa o por extracción de materiales del fondo del cauce.
- d. Transferencia de agua de una cuenca a otra, la cual altera la capacidad de transporte de sedimentos de ambas corrientes.
- e. Disminución de la rugosidad del cauce por obras de regulación del canal.

Para conocer los factores que inducen la profundización de la sección transversal al influjo de un caudal dado, los investigadores Germán Del Campo, Jaime A. Vargas y María del Rosario Gutiérrez, bajo la dirección de J.I. Ordóñez, investigaron más de 3.000 aforos líquidos y sólidos en estaciones de primer orden de cuencas hidrográficas en Colombia.

Un aforo líquido en una estación hidrométrica de primer orden consiste de un grupo de 15 a 20 valores de profundidad ( $p_i$ ) y caudal ( $q_i$ ), y el registro completo de aforos en cada estación genera un conjunto más amplio de parejas  $p_i$ ,  $q_i$ , que se puede interpretar independientemente de los valores absolutos de  $Q$  y  $P$ .

El caudal por unidad de ancho en un sector cualquiera de una sección se expresa por:

$$q_i = \frac{Q_i}{B_i} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde,  $q_i$  es el caudal y  $B_i$  es el ancho del sector.

Después de analizar estadísticamente los aforos, los investigadores encuentran una relación relativamente buena entre  $F_{max}$  y el valor promedio del número de Froude para toda la sección  $F_{prom}$  así:

$$F_{max} = 0,85 F_{prom} + 0,01, \text{ para } (0,10 < F < 0,4) \quad \text{Ecuación 7}$$

$$F_{max} = 0,71 F_{prom} + 0,01, \text{ para } (F > 0,4) \quad \text{Ecuación 8}$$

Igualmente obtuvieron una relación aceptable para  $q_{max}$  en función de  $q_{prom} = Q/T$  así:

$$q_{max} = 1,551 \left(\frac{Q}{T}\right)^{0,984}, \text{ para } (F < 0,4) \quad \text{Ecuación 9}$$

$$q_{max} = 1,271 \left(\frac{Q}{T}\right)^{1,271}, \text{ para } (F > 0,4) \quad \text{Ecuación 10}$$

Mientras que la mejor correlación obtenida para  $P_{max}$  es:

$$P_{max} = 0,4671 q_{max}^{0,667} F_{max}^{-0,667}, \text{ para } (F > 0,4) \quad \text{Ecuación 11}$$

## • Resultados

Partiendo de los resultados hidráulicos obtenidos para la quebrada Ana Díaz en condición proyectada, se realizó un análisis para todas las secciones transversales utilizadas en el modelo hidráulico. A continuación se presentan los resultados obtenidos para socavación por el método de Campo – Ordoñez.

**Tabla 30.** Resultados de socavación general para caudal POMCA, quebrada Ana Díaz.

Sección n modelo	Socavación [m]	Sección n modelo	Socavación [m]	Sección n modelo	Socavación [m]
3410	1,19	2310	1,23	1110	0,79
3400	0,60	2300	1,44	1100	0,56
3390	1,76	2290	1,42	1090	0,74
3380	2,05	2280	1,60	1080	0,73
3370	1,28	2270	1,34	1070	0,87
3360	1,39	2260	0,87	1060	0,64
3350	1,72	2250	0,71	1051,47	0,80
3340	1,57	2240	0,90	1050	0,61
3330	1,14	2230	1,30	1047,54	0,41
3320	1,22	2220	1,52	1040	1,16
3310	2,09	2210	1,86	1030	0,93
3300	1,03	2200	1,09	1023,83	0,96
3290	0,85	2190	0,94	1023	Puente Peatonal 10
3280	0,68	2180	0,83	1022,62	1,02
3270	0,94	2170	0,76	1020	1,08
3260	0,72	2160	0,87	1010	0,84
3250	0,62	2150	1,19	1000	0,88
3240	1,69	2140	1,23	990	1,03
3239,78	1,66	2130	1,24	980	0,92
3237	Puente vehicular 1	2120	0,87	970	0,69
3236,77	1,54	2110	1,24	960	0,97
3230	1,03	2100	1,56	950	1,59
3220	0,82	2099,8	Puente Peatonal 7	940	1,50
3210	0,83	2099,64	1,58	930	1,36
3200	1,15	2093	0,47	920	1,23
3190	1,44	2092	Puente vehicular 3	910	1,02
3180	1,23	2091,66	0,75	900	1,25
3176,97	1,36	2090	1,26	890	1,23
3176	Puente Peatonal 1	2080	1,06	880	0,84



Sección n modelo	Socavación [m]	Sección n modelo	Socavación [m]	Sección n modelo	Socavación [m]
3175,81	1,35	2070	1,14	870	0,89
3170	1,47	2060	1,38	860	1,16
3160	1,51	2050	0,88	850	1,20
3150	1,17	2040	0,43	840	1,07
3140	1,24	2030	0,58	830	0,93
3130	0,98	2020	0,50	820	1,24
3120	1,04	2010	0,88	814,64	0,92
3110	1,00	2000	0,59	812	Puente vehicular 5
3100	1,14	1980	0,55	806,94	0,62
3090	1,71	1970	0,48	800	0,72
3080	1,15	1960	0,57	790	1,10
3070	0,42	1950	0,33	780	1,12
3060	0,49	1940	0,61	770	1,22
3050	0,50	1930	0,77	760	1,20
3041,55	0,69	1920	0,86	750	1,01
3041	Puente Peatonal 2	1910	0,41	740	1,31
3040,46	0,81	1900	0,84	730	1,49
3040	0,90	1891,62	0,80	720	0,80
3030	0,92	1891	Puente Peatonal 8	710	0,80
3020	0,82	1890	0,82	700	0,75
3010	1,42	1880	0,83	690	1,08
3000	1,31	1870	0,77	680	1,95
2990	1,29	1860	0,89	670	1,58
2980	1,32	1850	1,10	665	Puente Peatonal 11
2970	0,98	1840	1,41	660	1,71
2960	1,44	1830	1,32	650	1,30
2950	1,12	1820	1,03	640	1,26
2940	1,07	1810	1,17	630	1,42
2930	1,48	1800	1,01	620	1,20
2920	1,37	1790	0,99	610	1,20
2910,57	1,45	1780	0,79	600	1,12
2910	Puente Peatonal 3	1772,52	1,24	590	1,42

Sección n modelo	Socavación [m]	Sección n modelo	Socavación [m]	Sección n modelo	Socavación [m]
2909,21	1,44	1772	Puente Peatonal 9	580	1,80
2900	0,94	1771,91	1,34	577,62	1,50
2890	0,77	1770	1,57	575	Puente vehicular 6
2880	1,26	1760	1,03	570	1,23
2870	1,89	1750	0,81	560	1,08
2860	0,73	1740	0,84	550	1,16
2850	0,93	1730	0,75	530	0,50
2840	0,85	1720	0,84	520	0,97
2830	0,81	1710	1,02	510	1,20
2820	0,70	1700	1,24	500	0,94
2819,61	1,20	1690	0,82	490	1,07
2819	Puente Peatonal 4	1680	1,05	480	1,50
2818,77	1,41	1670	0,88	476,97	1,68
2810	0,97	1660	0,85	476	Puente Peatonal 12
2800	0,90	1650	1,03	475,44	1,68
2790	0,91	1640	0,81	470	1,63
2780	1,19	1630	0,87	460	1,75
2770	1,63	1620	0,53	450	1,60
2760	1,19	1610	0,72	440	1,56
2750	1,09	1600	0,76	430	1,73
2740	1,44	1590	0,86	420	1,32
2730	1,00	1580	1,20	410	1,47
2720	1,08	1570	1,34	400	1,20
2710	1,06	1560	1,14	390	1,53
2700	1,18	1550	0,88	380	1,14
2690	1,33	1540	0,92	370	1,38
2680	1,38	1530	0,55	361,45	1,88
2670	0,83	1520	0,97	360	2,25
2660	0,62	1510	0,92	359	Puente vehicular 7
2650	1,14	1500	1,04	357,8	3,02
2640	1,04	1490	1,47	350	1,20
2630	1,32	1482,82	1,14	340	1,36
2620	1,02	1480,36	1,72	330	1,30

Sección n modelo	Socavación [m]	Sección n modelo	Socavación [m]	Sección n modelo	Socavación [m]
2610	1,29	1471	Puente vehicular 4	320	1,30
2600	0,60	1470	1,12	310	1,28
2590	1,07	1460	1,03	300	1,02
2580	1,17	1450	1,07	290	1,25
2570	0,73	1440	1,18	280	1,14
2560	1,19	1430	1,22	270	1,07
2550	0,99	1420	1,39	260	1,11
2540	1,37	1410	1,09	250	1,08
2537	Puente vehicular 2	1400	0,93	240	1,14
2534,61	1,52	1390	1,02	230	1,21
2530	1,53	1380	0,92	220	1,07
2520	1,35	1370	1,08	210	1,18
2510	1,11	1360	0,76	200	1,31
2500	0,82	1350	0,82	190	1,31
2490	0,96	1340	0,97	180	0,99
2480	0,52	1330	0,91	170	0,98
2470	0,57	1320	0,92	166,64	0,88
2460	0,52	1310	1,00	165	Puente Peatonal 13
2450	0,83	1300	0,91	164,96	1,07
2440	1,03	1290	0,85	160	0,92
2430	1,23	1280	0,64	150	0,94
2420	1,23	1270	0,60	140	1,04
2410	1,02	1250	0,94	130	1,02
2400	0,99	1240	0,70	120	1,18
2390	0,98	1230	0,73	110	0,98
2380	0,83	1220	0,97	100	0,96
2370	0,71	1210	1,39	90	1,04
2360	0,71	1200	1,30	80	0,99
2350	1,09	1190	1,47	70	0,96
2340	1,03	1180	1,44	60	1,18
2330	1,31	1170	1,52	50	0,72
2329,5	Puente Peatonal 5	1160	1,38	40	0,80
2329,28	1,20	1150	0,91	30	1,14



Sección n modelo	Socavación [m]	Sección n modelo	Socavación [m]	Sección n modelo	Socavación [m]
2320	1,30	1140	0,79	20	0,82
2319	Puente Peatonal 6	1130	0,73	10	1,13
2317,48	1,30	1120	0,92	0	0,99

Se evidencia en los resultados de la Tabla 30, que la socavación máxima presente en el tramo de estudio de la quebrada Ana Díaz es de 3,02 m en la sección 357,8, justo después del puente vehicular 7.

En cuanto a la socavación en el tramo donde se proyecta el muro sobre la margen izquierda de la quebrada, se presentan valores mínimos de 0,75 m en la sección 700 y máximos de 1,95 m en la sección 680.

A pesar de presentarse el estimativo para profundidad de socavación, dichos valores deben ser contrastados con la geotecnia de detalle para cada uno de los sitios, y deberá asumirse la mayor longitud de las recomendaciones entre el concepto hidráulico y el geotécnico.

## 9. ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS

Para el polígono Ana Díaz, la zonificación de amenazas incluye la relacionada con avenidas torrenciales, debido a que según el Acuerdo 048 de 2014 la zona analizada se clasifica como de condición de riesgo por este evento.

### 9.1 AMENAZAS POR AVENIDAS TORRENCIALES

Es 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, trasvases, 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. (Plan de Ordenamiento Territorial - Acuerdo 048 de 2014, 2014)

Finalizados los análisis hidrológicos e hidráulicos, se definirá como amenaza alta por inundación el área cubierta por la mancha de inundación correspondiente al periodo de retorno de 100 años.

Teniendo en cuenta lo anterior, para el polígono Ana Díaz, se identifican zonas de amenaza alta y baja por avenidas torrenciales (Figura 97):

**Zonas de amenaza alta.** Corresponden a franjas de terreno con pendientes variables, susceptibles a ser afectadas por inundaciones lentas y/o desbordamientos originados por lluvias intensas, en las cuales han existido antecedentes o se carece de estructuras hidráulicas de protección. En este tipo de zonas el flujo puede sobrepasar sus límites naturales o cualquier obra hidráulica o de protección realizada, afectando las edificaciones localizadas sobre éstas o en sus márgenes (Plan de Ordenamiento Territorial - Acuerdo 048 de 2014, 2014).

La zona con categoría de amenaza alta, corresponde al área ubicada sobre ambas márgenes de la quebrada, definida por la caracterización hidráulica, que posteriormente fue modificada a partir de la caracterización geomorfológica y geológica, permitiendo la aplicación de la misma, estos sectores que fueron modificados se ubican en la sección media y alta de la zona de estudio, sobre ambas márgenes, en los sectores comprendidos entre las carreras 113D y 119 y entre la 125 y 130; la sección baja comprendida entre las carreras 89 y 106, la quebrada presenta intervenciones importantes relacionados a muros de contención y canalizaciones.

Es importante resaltar que en las intersecciones de la quebrada con la infraestructura vial (puentes), esta mancha presenta una ampliación, específicamente en los sectores de las carreras 110A, 113D y 118

En general esta categoría está caracterizada por pendientes muy bajas y suaves, geomorfológicamente y geológicamente está asociada a las unidades de llanura y depósitos aluviotorrenciales y está representado el 32.08% del área de estudio.

**Zonas de amenaza baja.** Comprenden aquellas áreas que se encuentran más retiradas, y presentan mayor altura con respecto al nivel base y a la zona de amenaza alta de la quebrada y que no se verían afectadas ante un evento torrencial de la quebrada Ana Díaz.





## 10. VULNERABILIDAD

A continuación, se presenta el análisis de la vulnerabilidad por avenidas torrenciales para el polígono Ana Díaz. Inicialmente se analizará esta variable para las construcciones y posteriormente para las líneas vitales. Al final del capítulo se presentará la estimación para personas, la cual se basa en datos de información secundaria y en aproximaciones a partir de la vulnerabilidad de las construcciones.

En el polígono Ana Díaz se analizaron 556 construcciones, 208 postes de energía y 85 vías, esta información proviene de la evaluación realizada en campo, de su estructuración y almacenamiento en una base de datos y su procesamiento posterior (anexo 6).

### 10.1 ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD DE LAS CONSTRUCCIONES POR AVENIDAS TORRENCIALES

La vulnerabilidad de las construcciones consta de dos factores: la fragilidad y la intensidad. El primero de ellos corresponde a la respuesta del elemento expuesto ante determinada amenaza y depende de las características propias, mientras que la intensidad depende de las características del fenómeno amenazante (velocidad y profundidad).

#### 10.1.1 Cálculo de la fragilidad de las construcciones

Para la identificación de la fragilidad de las construcciones, se tuvo en cuenta la evaluación o análisis de los parámetros predominantes de las estructuras expuestas, los cuales son: tipología estructural, edad de la construcción, cantidad de niveles de la edificación y estado de conservación de la misma, todo esto de acuerdo a los parámetros y calificaciones definidos en el documento metodológico con la siguiente expresión (anexo 1).

$$S_e = 1 - \pi(1 - S_i)$$

$$S_e = 1 - (1 - S_{tip})(1 - S_{alt\_inun})(1 - S_{con})(1 - S_{ed})(1 - S_{Acueducto})(1 - S_{Alcantarillado})$$

Donde se consideran seis parámetros para la evaluación de la fragilidad de las edificaciones:

$S_{tip}$ : tipo de la edificación.

$S_{alt\_inun}$ : altura de la edificación.

$S_{con}$ : conservación de la edificación.

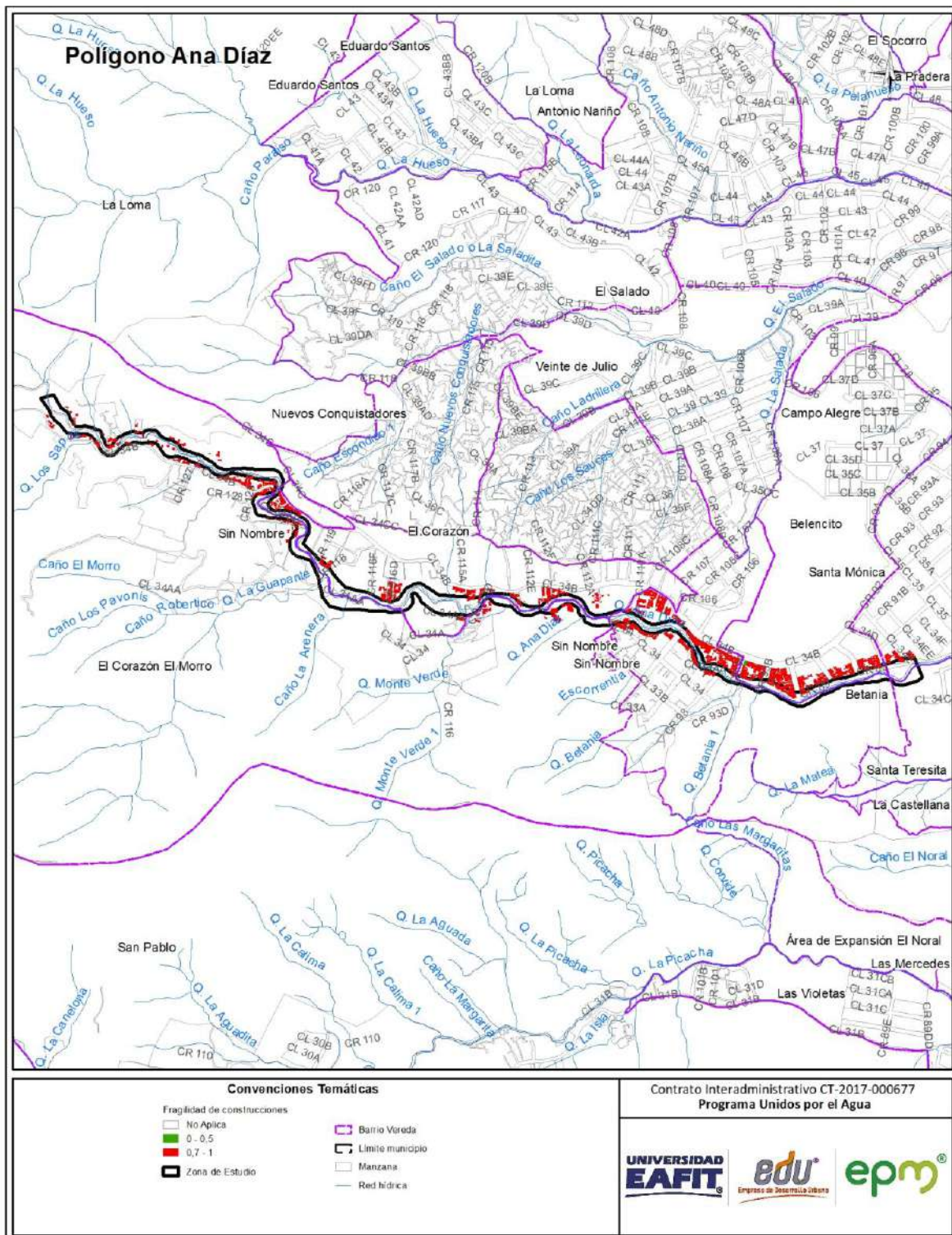
$S_{ed}$ : edad de la edificación.

$S_{Acueducto}$ : caracterización del sistema de acueducto de la edificación.

$S_{Alcantarillado}$ : caracterización del sistema del alcantarillado de la edificación.

De acuerdo con la Figura 98 se puede concluir que la mayoría de las construcciones analizadas en el polígono denominado Ana Díaz, presentan fragilidades altas, referenciadas en un rango entre 0.7 y 1, con un valor representativo de 552 edificaciones, las cuales se encuentran ubicadas espacialmente a lo largo del polígono (Figura 99, Figura 100 y Figura 101).





**Figura 98.** Distribución espacial de la fragilidad de las construcciones por avenidas torrenciales, identificadas en el polígono Ana Díaz.

La Figura 99 corresponde a una construcción que se puede clasificar como mampostería no reforzada dentro de la tipología E, la cual se caracteriza por poseer un sistema estructural de muros cargueros. Esta tipología representa el 85% de las construcciones del polígono.



**Figura 99.** Tipología estructuras ligeras (E). Construcción ubicada en el polígono Ana Díaz.

En la Figura 100, se puede visualizar una estructura que se clasifica como construcción improvisada dentro de la tipología F, la cual se caracteriza por no poseer una estructura definida y suele ser construida con materiales precarios o de recuperación, paneles de madera desgastados, metal, entre otros, estas estructuras no tienen un sistema de cimentación definido y usualmente se encuentran ubicadas en los puntos más altos o donde se visualizan grandes cambios de pendiente. Esta tipología representa el 3% de las construcciones del polígono.



**Figura 100.** Tipología construcciones simples (F). Estructura ubicada en el polígono Ana Díaz.

En la Figura 101 se puede visualizar una estructura que tiene un valor de fragilidad intermedio asociado; la misma se puede clasificar como tipología D o estructuras con confinamiento deficiente e híbridas, ya que, si bien no cuentan con un confinamiento adecuado, tienen elementos estructurales que hacen que la edificación sea menos vulnerable, como columnas de sección menor y cimentaciones de zapatas. Está tipología se encuentra representada en el 10% de las construcciones del polígono.



**Figura 101.** Tipología estructuras con confinamiento deficiente e híbridas (D). Estructura ubicada en el polígono Ana Díaz.

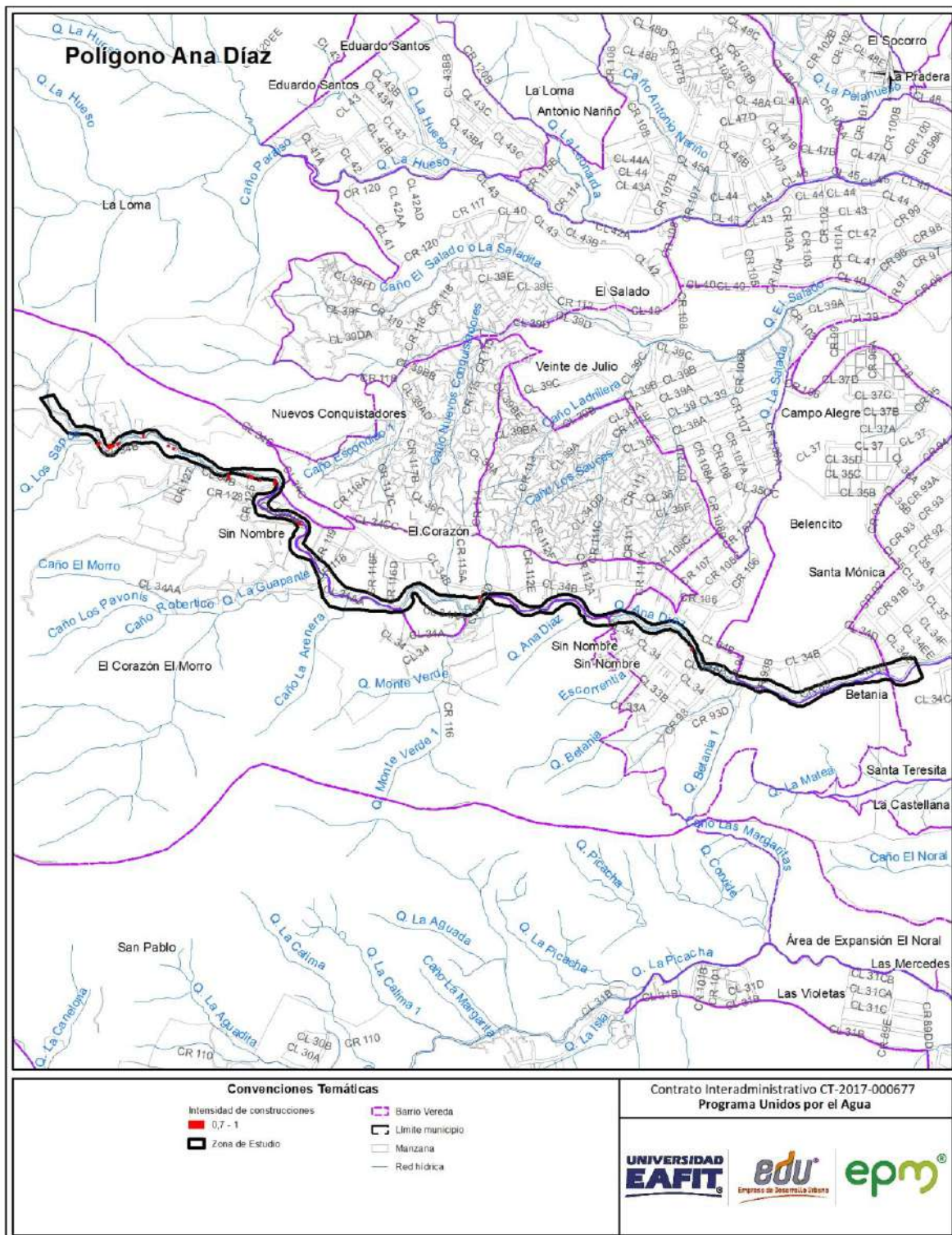


## 10.1.2 Cálculo de la intensidad sobre las construcciones.

En el polígono de estudio se presenta el evento amenazante de avenidas torrenciales, definidos en un escenario de desplazamiento de la lámina de agua, donde se calcula la intensidad, en función de la relación entre la presión de impacto del fluido y la presión límite soportada por la edificación, además se debe tener en cuenta la relación existente entre la profundidad de la lámina de agua y la altura de la edificación, descritos en el capítulo de Análisis Geotécnico.

En el polígono Ana Díaz se identifica una intensidad alta para todas las construcciones evaluadas; como se mencionó anteriormente dicha intensidad está en función de la profundidad de la lámina de agua y la presión de impacto (Figura 102).

Para estructuras de tipología ligeras (E), las cuales son el 85% del total de las construcciones evaluadas, la presión límite de la estructura es 5 Kpa, del mismo modo para una presión límite se presenta una velocidad límite.



**Figura 102.** Distribución espacial de la intensidad de las construcciones por avenidas torrenciales, identificada en el polígono Ana Díaz.

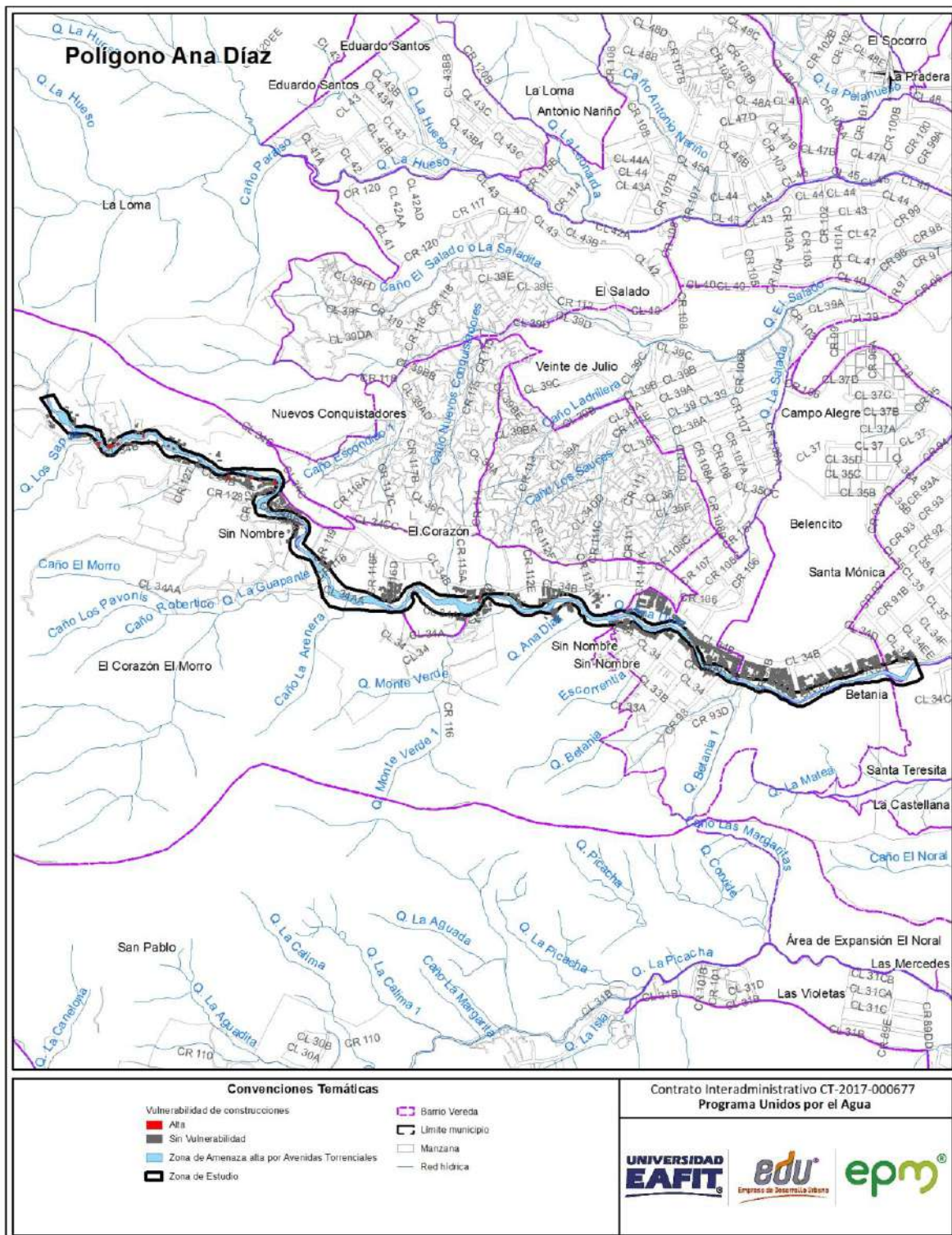
## 10.1.3 Cálculo de la vulnerabilidad de las construcciones

El grado de vulnerabilidad de una edificación se define como el factor de exposición de la misma a percibir daños a causa de amenazas naturales, conforme a esta premisa la vulnerabilidad se calcula teniendo presente los resultados obtenidos de la fragilidad y de la intensidad a partir de los parámetros representados en los ítems analizados anteriormente.

Los valores de la vulnerabilidad se determinan en los siguientes rangos: vulnerabilidad baja, cuando se obtienen resultados menores o iguales a 0,1, vulnerabilidad media cuando se obtienen resultados entre 0,1 y 0,5, y vulnerabilidad alta, cuando los resultados sobrepasan de 0,5 todo esto de acuerdo a los parámetros y calificaciones definidos en el documento metodológico, más específicamente en el numeral 3.4. (Anexo 1.)

La vulnerabilidad alta corresponde al 100% de las edificaciones, las cuales se caracterizan por presentar valores altos de fragilidad y medios a altos de intensidad, las construcciones con esta vulnerabilidad se localizan a lo largo del polígono (Figura 103).





**Figura 103.** Distribución espacial de la vulnerabilidad de las construcciones por avenidas torrenciales, identificada en el polígono Ana Díaz.

## 10.2 ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD DE LAS LÍNEAS VITALES POR AVENIDAS TORRENCIALES

Similar al procedimiento, los parámetros y características que se utilizan para determinar la vulnerabilidad en construcciones, se deberá calcular la fragilidad conforme la información obtenida de campo y los criterios de medición en cada una de las denominadas líneas vitales (vías, energía, acueducto y alcantarillado, estos últimos dos cuando se identifican daños visibles en puntos específicos de la red) y luego se procede a realizar la evaluación de la intensidad.

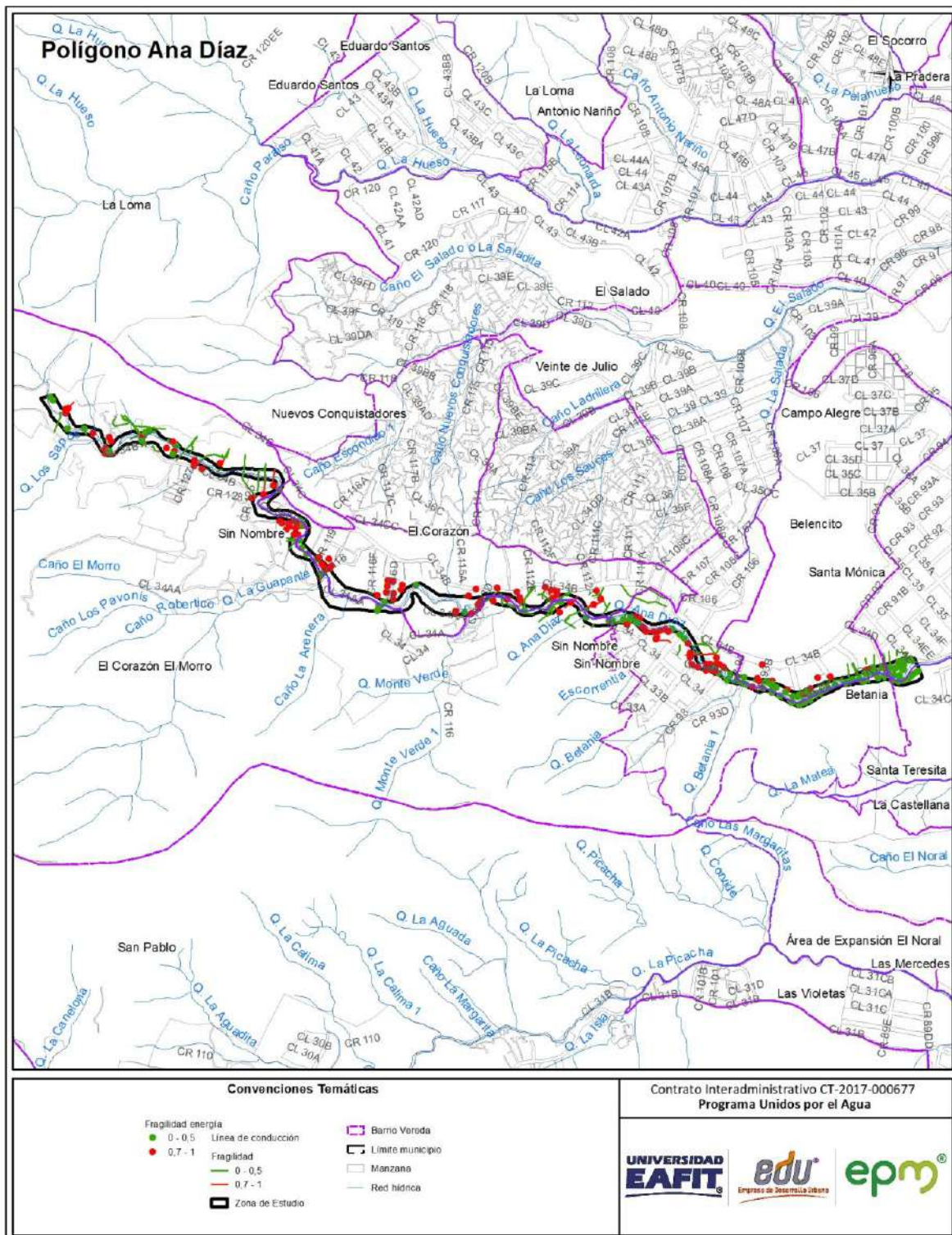
Como se mencionó anteriormente en el polígono Ana Díaz se analizaron 208 postes de energía y 85 vías, que corresponden al componente de líneas vitales (anexo 6).

### 10.2.1 Cálculo de la fragilidad de la línea vital – energía

La fragilidad de la línea vital energía se mide teniendo en cuenta los parámetros de carga y estado de las redes localizadas en la zona de estudio del polígono denominado Ana Díaz.

En el polígono Ana Díaz se encontraron 208 postes, de los cuales 111 de ellos están en mal estado, es decir, agrietados y/o fisurados, los cuales en su gran mayoría son de madera y por ende su carga mínima de rotura es 0 (KgF), lo que hace que tengan una fragilidad de 1; estos postes se encuentran localizados de manera homogénea en el polígono (Figura 104) .





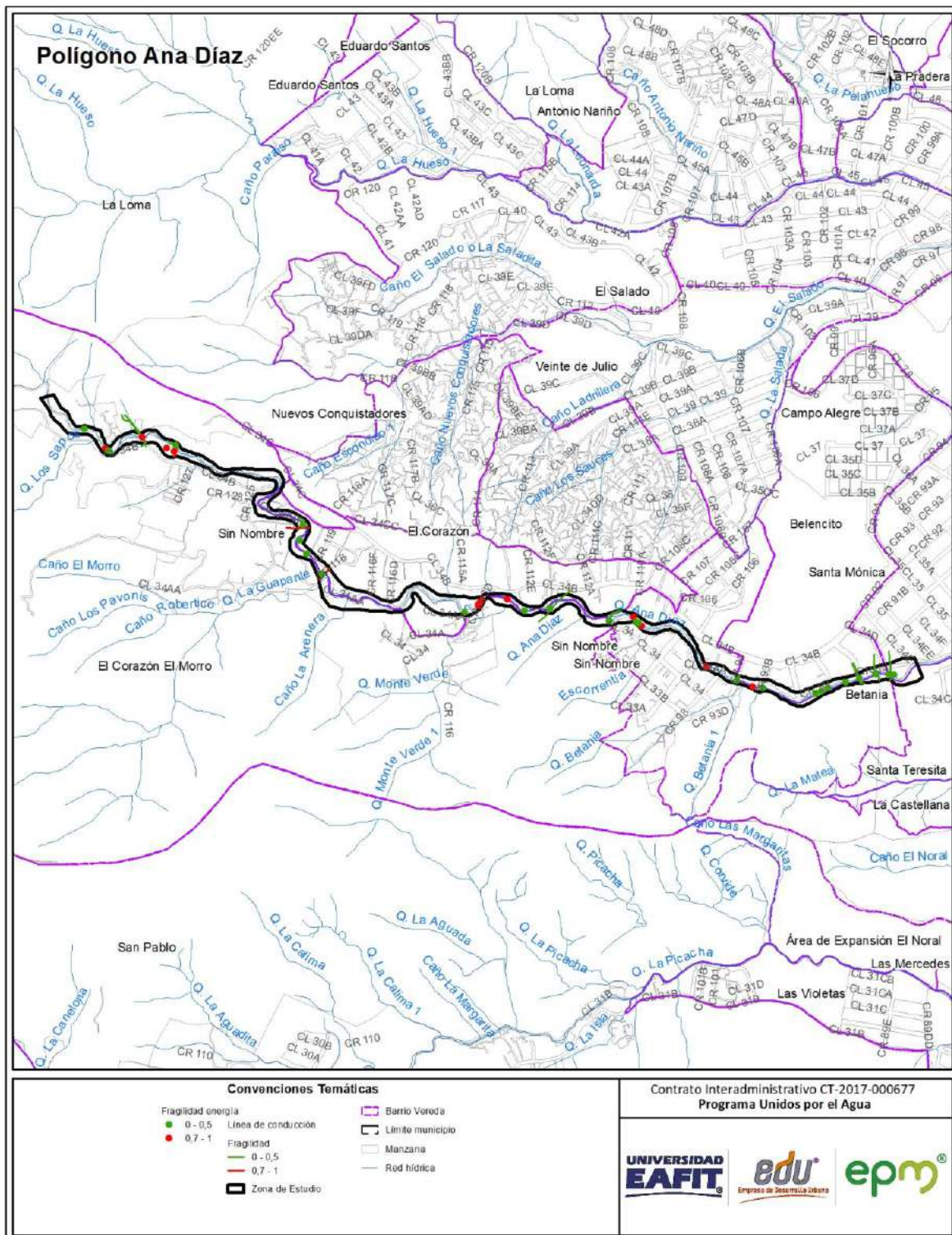
**Figura 104.** Distribución espacial de la fragilidad de la línea vital energía por avenidas torrenciales, identificada en el polígono Ana Díaz.



## 10.2.2 Cálculo de la intensidad de la línea vital – energía

Para la determinación de la intensidad en el caso del polígono estudiado, el parámetro de intensidad se expresa como la relación entre la altura de la lámina de agua, velocidad y la altura nominal del poste (Anexo 1).

La intensidad alta de las líneas vitales energía en el polígono Ana Díaz está representada con el 100% y corresponde a 35 postes localizados a lo largo del polígono. Dicho resultado se debe a la relación que hay entre la altura de la lámina de agua y la altura nominal de los postes, lo que indica que para los elementos que se encuentran dentro de la zona de viaje del evento amenazante, el mecanismo de impacto puede ser enterramiento e impacto (Figura 105).



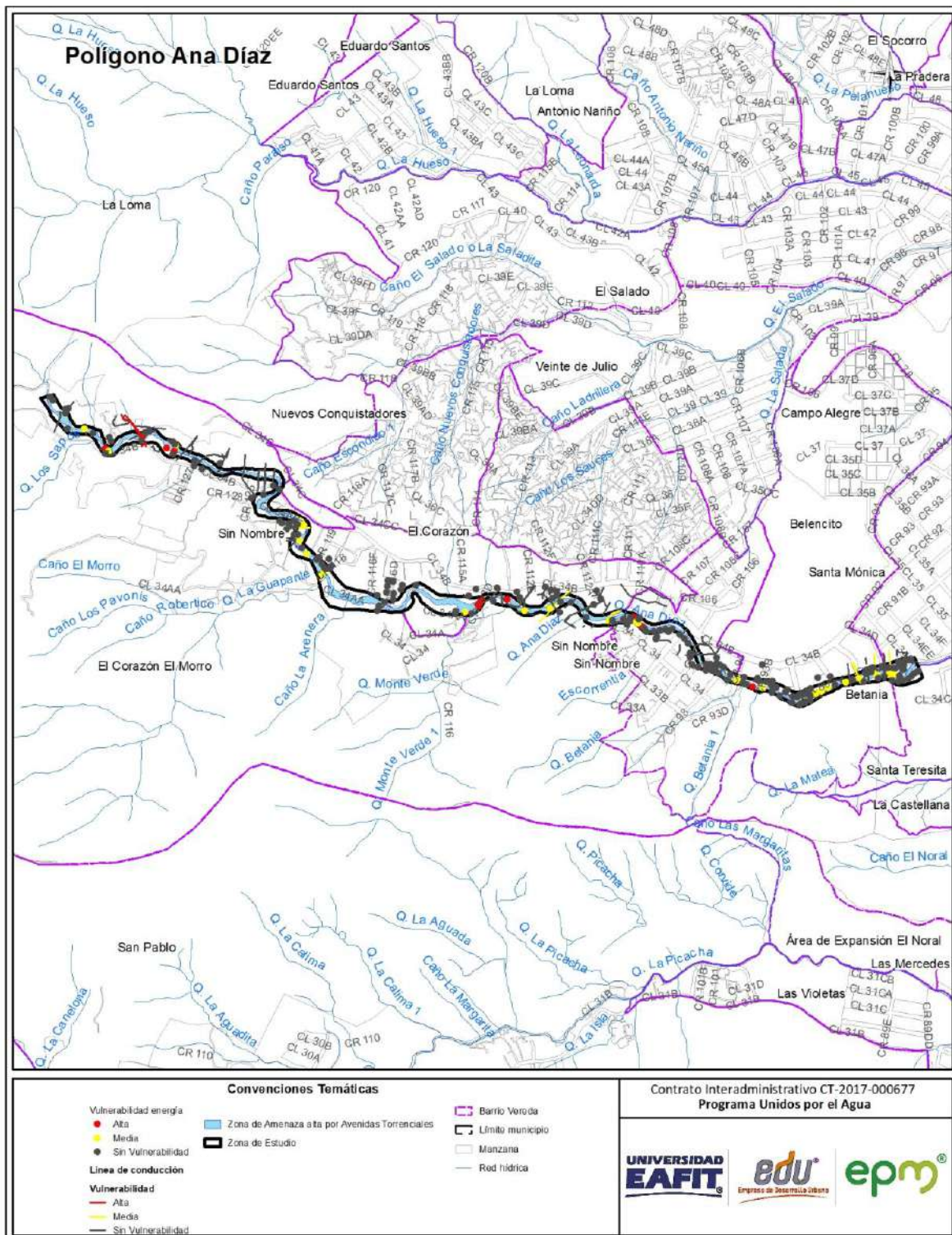
**Figura 105.** Distribución espacial de la intensidad de la línea vital energía por avenidas torrenciales, identificada en el polígono Ana Díaz.

## 10.2.3 Cálculo de la vulnerabilidad de la línea vital – energía

La vulnerabilidad alta corresponde al 34% de los postes de energía evaluados, los cuales se caracterizan por presentar valores altos de fragilidad y medios a altos de intensidad, los postes con esta vulnerabilidad se localizan en el nororiente y en el centro del polígono (Figura 106).

La vulnerabilidad media corresponde al 66% de los postes de energía evaluados, los cuales se caracterizan por presentar valores medios a bajos de fragilidad y medios a altos de intensidad, los postes con esta vulnerabilidad se localizan a lo largo del polígono.





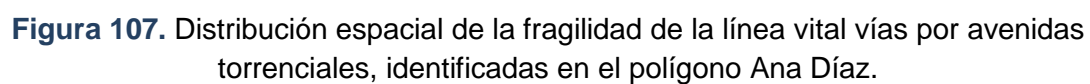
**Figura 106.** Distribución espacial de la vulnerabilidad de la línea vital energía por avenidas torrenciales, identificada en el polígono Ana Díaz.

## 10.2.4 Cálculo de la fragilidad de la línea vital – vías

Para la valoración de la fragilidad de las vías, se consideran los parámetros de material o tipo, existencia de obras de drenaje y presencia de daños. La tipología de estas vías puede ser: vehicular, puente vehicular o peatonal, sendero peatonal a nivel y a desnivel (con escaleras).

Las vías de acceso del polígono que están representadas con color verde son vías con fragilidad baja, que no presentan daños de rotura ni asentamientos, tienen valores de fragilidad inferiores a 0,5 y están representadas por el 31% ubicadas a lo largo de la zona de estudio, sin embargo, en el centro y nororiente del polígono se evidencian tres vías con fragilidad entre 0,5 y 0,7 debido a la presencia de daños como baches, fisuras entre otras que comprometen el ancho útil de la misma correspondientes al 4%. Adicionalmente la falta de obras de drenaje hace que aumente la fragilidad de los accesos viales ya que la gran mayoría de las vías internas del polígono corresponden a vías locales como andenes de circulación, conformados por pavimento rígido a nivel y desnivel; en el polígono de estudio se identificaron tramos de vías con valoración entre 0,7 – 1 que representa una fragilidad alta, con un valor porcentual del 66% y se encuentran ubicadas a lo largo del polígono (Figura 107).



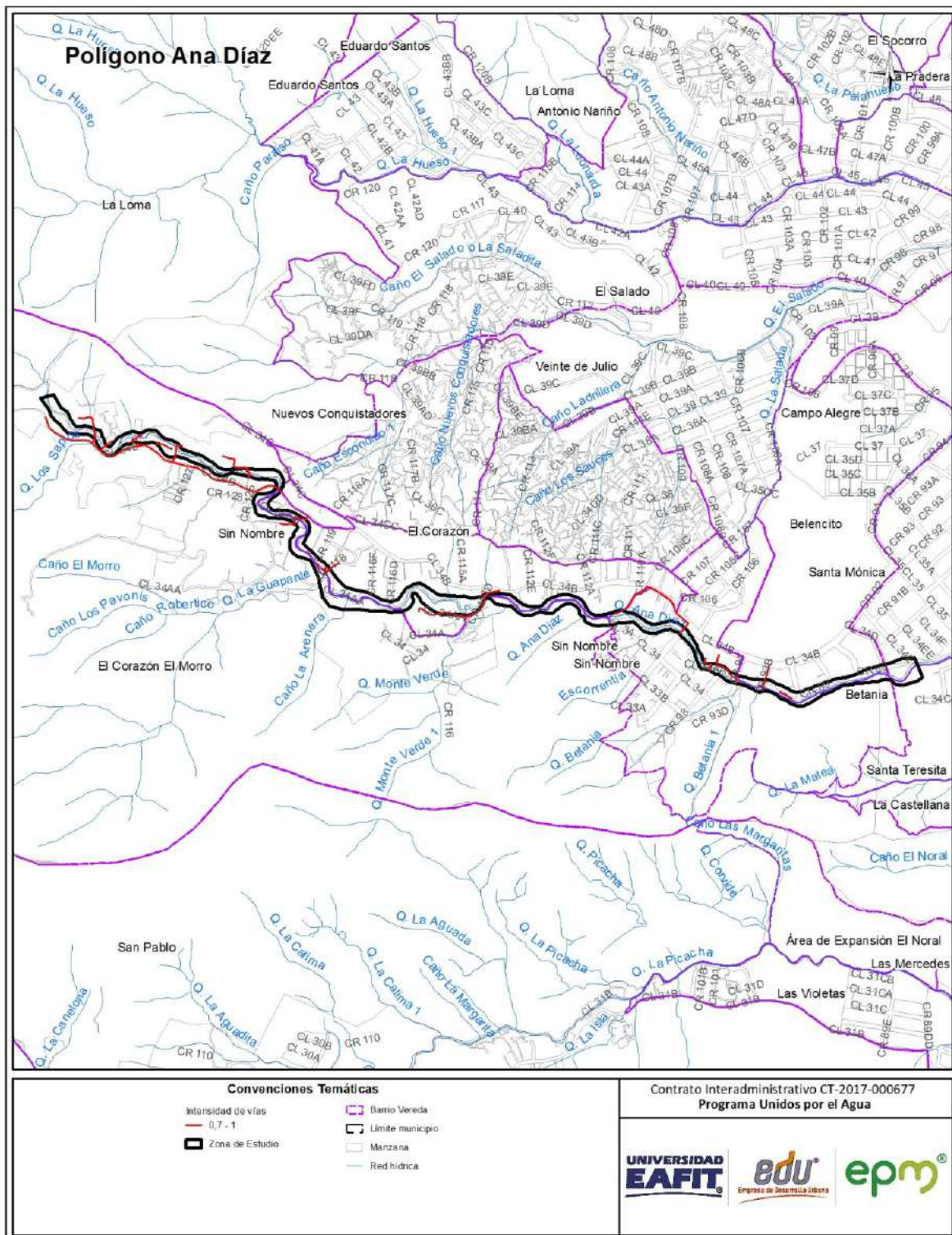




## 10.2.5 Cálculo de la intensidad de la línea vital – vías

La determinación del parámetro de intensidad para redes viales se define a partir de la ocupación por la mancha de inundación que afecta el ancho de vía invadido (determinado a partir de la distancia de viaje calculada de acuerdo con los métodos presentados en el capítulo de amenaza de la Metodología General).

La intensidad alta corresponde al 100% de las vías evaluadas, las cuales se define a partir del ancho invadido u ocupado por la mancha de inundación, en el caso de registrarse este evento, las vías con esta intensidad se localizan a lo largo del polígono (Figura 108).

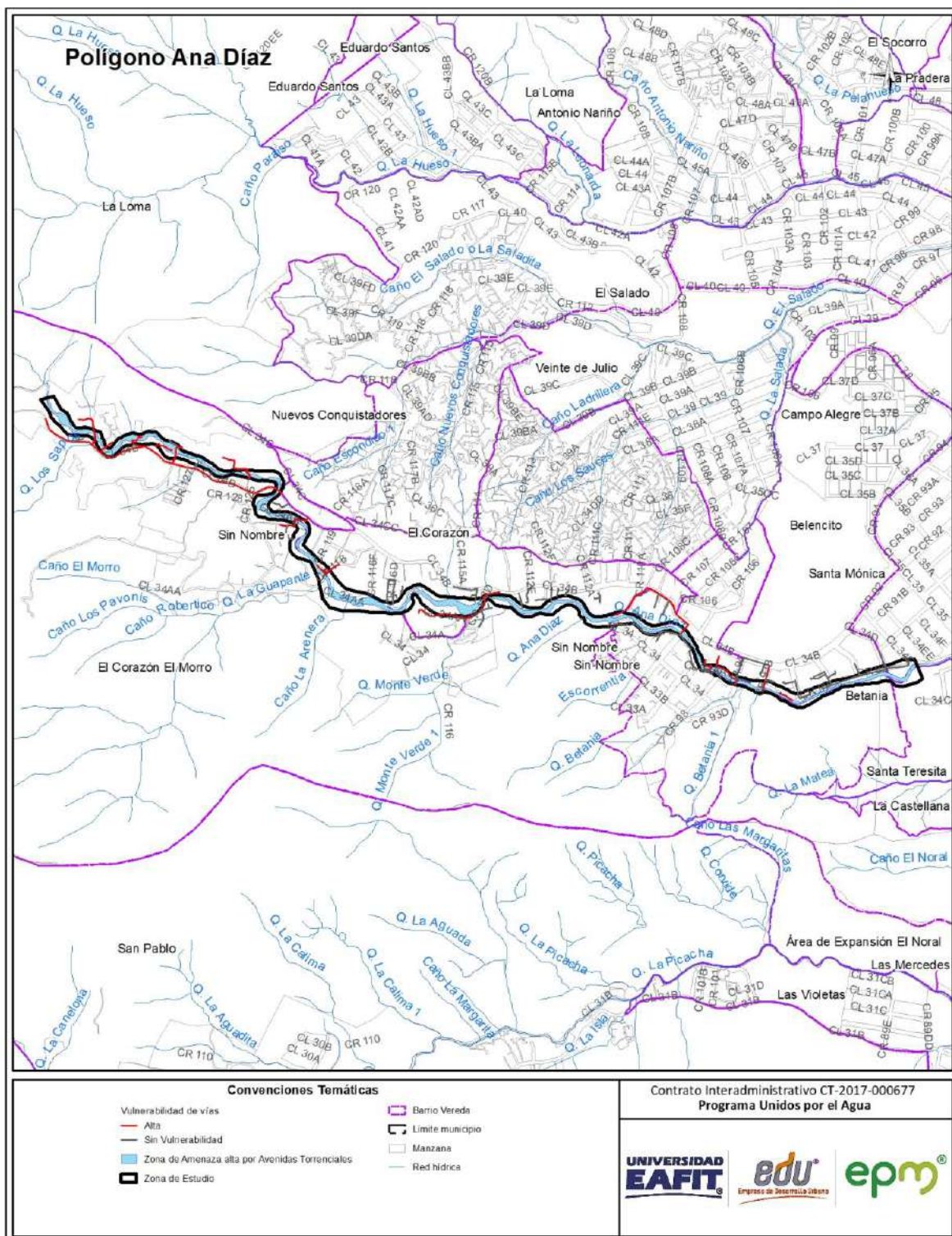


**Figura 108.** Distribución espacial de la intensidad de la línea vital vías por avenidas torrenciales, identificadas en el polígono Ana Díaz.

## 10.2.6 Cálculo de la vulnerabilidad de la línea vital – vías

La vulnerabilidad alta corresponde al 100% de las vías evaluadas, las cuales se caracterizan por presentar valores altos de fragilidad y medios a altos de intensidad, las vías con esta vulnerabilidad se localizan a lo largo del polígono (Figura 109).





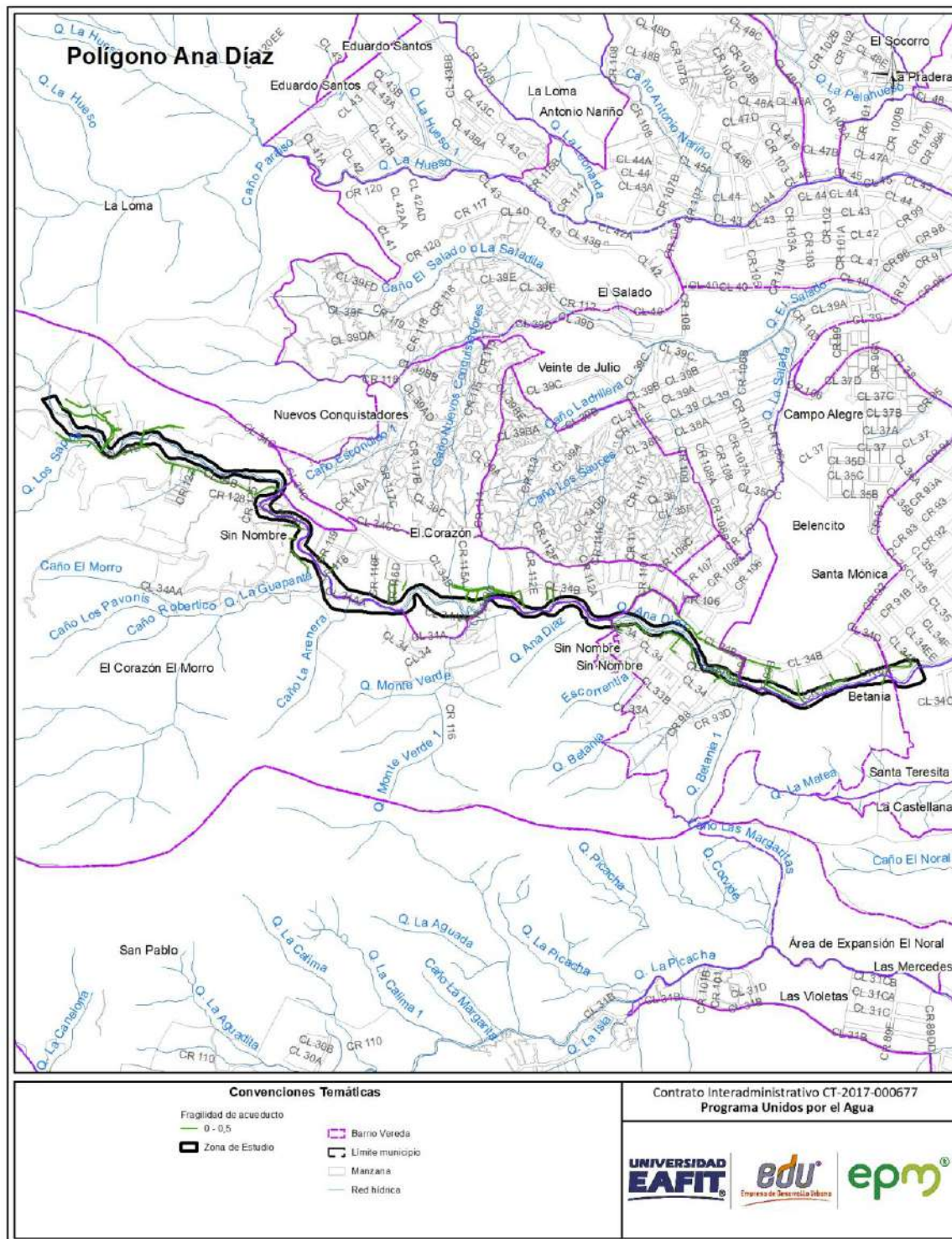
**Figura 109.** Distribución espacial de la vulnerabilidad de la línea vital vías por avenidas torrenciales, identificadas en el polígono Ana Díaz.

## 10.2.7 Cálculo de la fragilidad del acueducto

La fragilidad representa la respuesta de los elementos expuestos frente a las cargas generadas por la interacción de las avenidas torrenciales con dichos elementos, para determinar el cálculo de la fragilidad en el caso puntual de la línea vital de acueducto, es necesario contemplar los siguientes parámetros: operador de red, estado de la red, diámetro, si la tubería presenta deflexión y el tipo de material de la tubería, como, PVC, hierro dúctil, polietileno, etc.

La fragilidad en la red del acueducto en el polígono Ana Díaz, arrojo en su totalidad valores bajos debido a las características propias de la red y a que no se hallaron daños en esta línea vital, donde se transporta agua potable, abastecida por EPM (Figura 110)





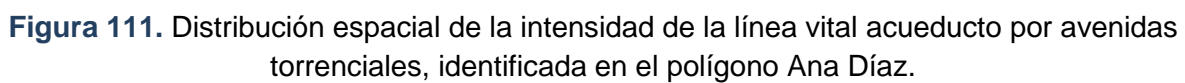
**Figura 110.** Distribución espacial de la fragilidad de la línea vital acueducto por avenidas torrenciales, identificada en el polígono Ana Díaz.



## 10.2.8 Cálculo de la intensidad del acueducto

Teniendo en cuenta que el fenómeno de avenida torrencial impone una carga uniforme a lo largo de la red del acueducto, la determinación de los umbrales tolerables está dada en función del diámetro de la tubería.

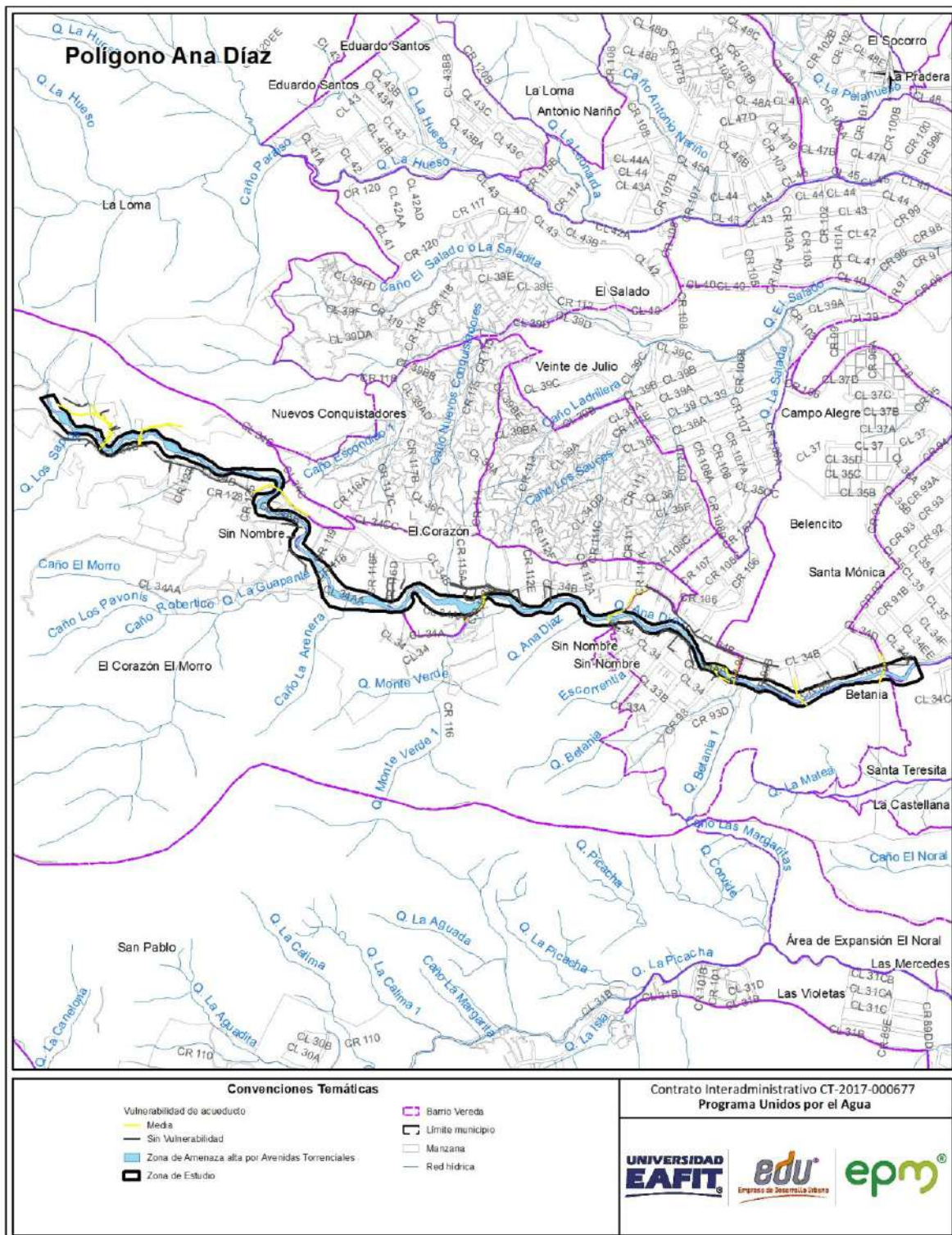
La intensidad de la red de acueducto del polígono Ana Díaz es baja, en toda el área de estudio. Dicho cálculo depende netamente de las deflexiones medidas en campo, con respecto a las deflexiones permitidas de acuerdo al diámetro de la tubería (Figura 111).



## 10.2.9 Cálculo de la vulnerabilidad del acueducto

Para el polígono Ana Díaz, predomina la vulnerabilidad baja correspondiente al 100% de los tramos del acueducto evaluados, los cuales se caracterizan por presentar valores bajos de fragilidad y medios a bajos de intensidad, los tramos del acueducto con esta vulnerabilidad se localizan a lo largo del polígono (Figura 112).





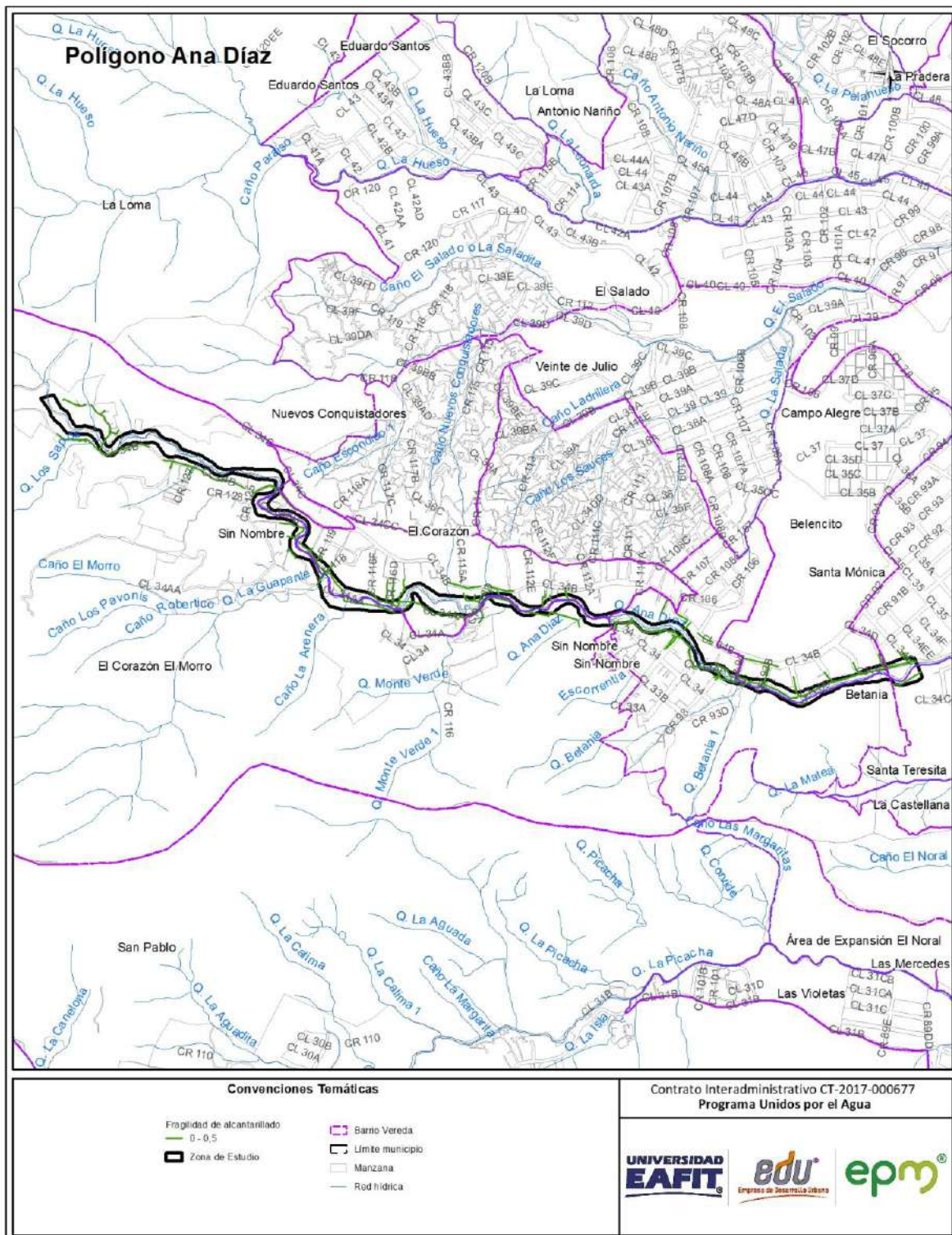
**Figura 112.** Distribución espacial de la vulnerabilidad de la línea vital acueducto por avenidas torrenciales, identificada en el polígono Ana Díaz.

## 10.2.10 Cálculo de la fragilidad del alcantarillado

El sistema de alcantarillado también tiene elementos expuesto, el parámetro de fragilidad depende de las características del bien que sufre afectación, es decir, que la fragilidad estará en función, en este caso, del operador de red, el estado de conservación y del material de fabricación de la tubería, como concreto PVC, polietileno, etc.

La fragilidad en la red del alcantarillado en el polígono Ana Díaz, arrojo valores bajos debido a las características propias de la red y a que no se hallaron daños en esta línea vital, donde se transportan aguas residuales, recolectadas por EPM (Figura 113).





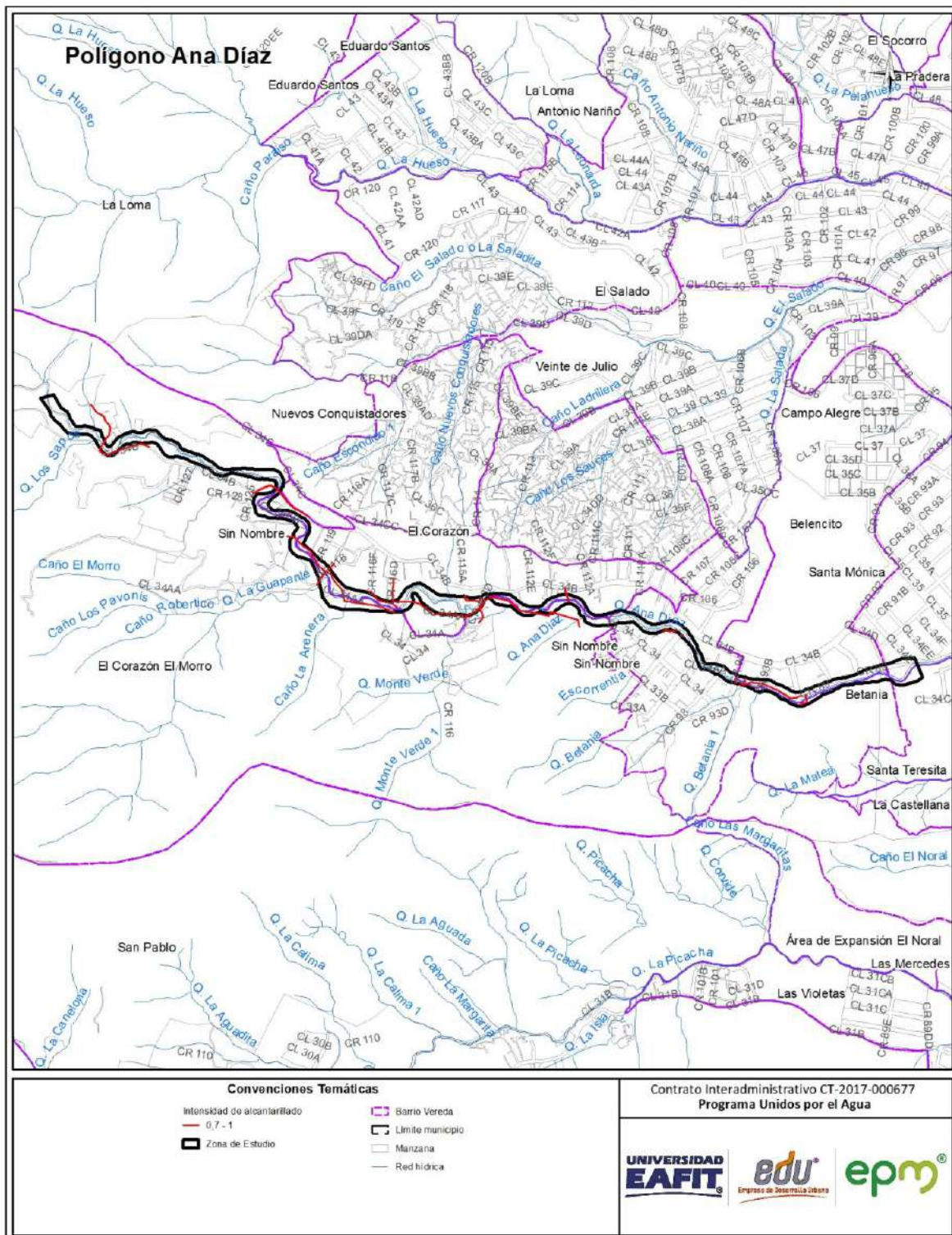
**Figura 113.** Distribución espacial de la fragilidad de la línea vital alcantarillado por avenidas torrenciales, identificada en el polígono Ana Díaz.



## 10.2.11 Cálculo de la intensidad del alcantarillado

El cálculo de la intensidad de la red de alcantarillado se evalúa en función de la tolerancia que tiene el material del mismo. Conforme a las características de los elementos que hacen parte de la red, acorde al SGC se define un umbral tolerable para la misma de 5 cm.

La intensidad del alcantarillado del polígono Ana Díaz es alta, en toda el área de estudio. Dicho cálculo depende netamente de las deflexiones medidas en campo, con respecto a las deflexiones permitidas de la tubería (Figura 114).

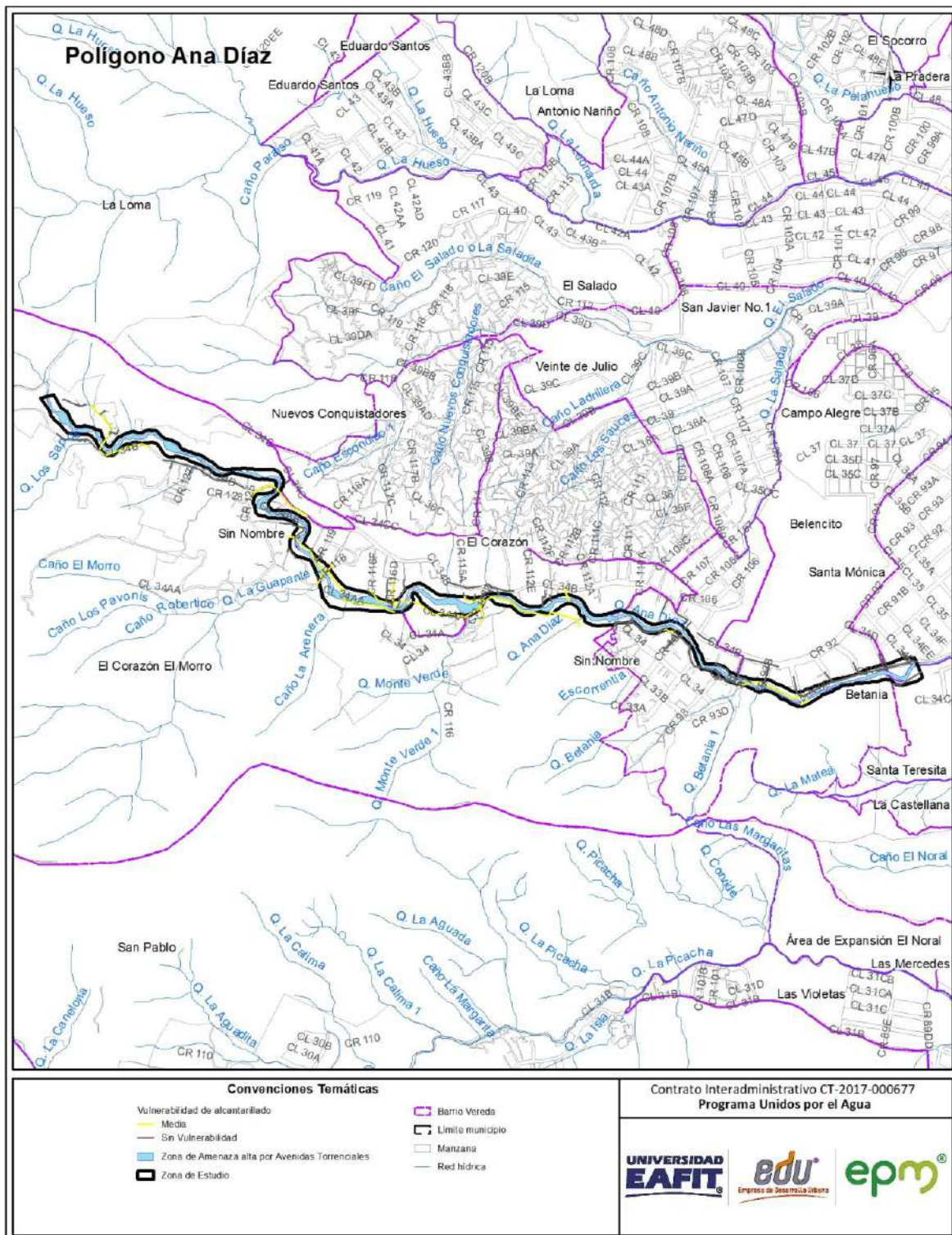


**Figura 114.** Distribución espacial de la intensidad de la línea vital alcantarillado por avenidas torrenciales, identificada en el polígono Ana Díaz.

## 10.2.12 Cálculo de la vulnerabilidad del alcantarillado

Para el polígono Ana Díaz, predomina la vulnerabilidad media correspondiente al 100% de los tramos de la red de alcantarillado evaluados, los cuales se caracterizan por presentar valores bajos de fragilidad y medios a bajos de intensidad, los tramos del acueducto con esta vulnerabilidad se localizan a lo largo del polígono (Figura 115).





**Figura 115.** Distribución espacial de la vulnerabilidad de la línea vital alcantarillado por avenidas torrenciales, identificada en el polígono Ana Díaz.

## 10.3 VULNERABILIDAD DE PERSONAS POR AVENIDAS TORRENCIALES

### 10.3.1 Análisis de vulnerabilidad de personas.

Para hallar el número de personas en vulnerabilidad, se parte de la vulnerabilidad calculado para las construcciones, (en el cual se cambia básicamente la fragilidad de la construcción por la fragilidad de las personas, del número de niveles de la edificación y el número de habitantes promedio por vivienda, el cual fue calculado en 3,46 de acuerdo con el análisis demográfico realizado por la EDU y suministrado a la universidad EAFIT). Para la clasificación de los valores se toma como una vulnerabilidad alta el rango entre 0,5-1, media el rango de 0,2-0,5 y por último baja entre 0-0,2.

El anterior análisis arroja que para el polígono Ana Díaz hay un número estimado de 132 personas en vulnerabilidad alta por avenidas torrenciales

## 10.4 DESCRIPCIÓN DE PROBLEMAS ENCONTRADOS EN LAS CONSTRUCCIONES.

- Las tipologías de las construcciones encontradas en un alto porcentaje, son estructuras ligeras con una fragilidad alta. Por lo tanto, son edificaciones que no cumplen con la Norma Sismo Resistente de 2010 NSR-10.
- Las cimentaciones de las estructuras, en su gran mayoría son poco profundas y en algunos casos, no existen (anexo 5).
- En las construcciones evaluadas se presentan fallas en los morteros de pega, se podría decir que en su mayoría corresponden a morteros con permeabilidad entre media y alta, lo que genera como consecuencia humedades interiores, sobre todo en zonas donde el viento golpea en momentos de lluvia.
- Las fachadas en ladrillo no se encuentran protegidas (hidrofugadas) o con algún recubrimiento, brindando la posibilidad de generar eflorescencias, manchas y ensuciamiento.
- En general la mampostería de las viviendas presenta procesos degradatorios incipientes y se identifica, presencia de cripto eflorescencias aisladas.
- Se observan grietas sin tratamiento, muchas de ellas asociadas a uniones entre distintos materiales de cerramiento (ladrillo, ventanas, puertas).

- Los tipos de cubiertas en losa de concreto, presentan permeabilidad, lo cual generan humedades al interior de las construcciones, lo anterior aplica para edificaciones de un solo nivel con dicho tipo de cubierta.
- Se observaron humedades en general en sobre cimientos, ocasionado por aguas de escorrentía.
- Se evidencio deterioro y desgaste propio del material en cubiertas en fibrocemento, zinc y barro, por malos procesos constructivos y falta de mantenimiento de los sistemas de cubiertas de las estructuras.
- En algunas edificaciones se realiza la recolección de las aguas lluvias de techos mediante bajantes, pero estos son descargados al terreno natural por falta de una red de alcantarillado en la cercanía o desconocimiento del habitante, humedeciendo el suelo y por ende afectando las fundaciones y favoreciendo la amenaza.



## 11. ZONIFICACIÓN DE RIESGO

De acuerdo a lo planteado en la metodología, se realiza el cálculo del riesgo de dos maneras. La primera, para las construcciones y líneas vitales de manera individual, a partir de la información recolectada en campo por cada uno de los elementos y que se encuentra en una base de datos con los debidos registros fotográficos. Este cálculo se enfoca hacia las acciones particulares en los elementos expuestos.

Por otro lado, se tiene el cálculo del riesgo por polígono a partir de la información de la magnitud de la avenida torrencial (velocidad y profundidad). Este último cálculo se enfoca hacia la planificación integral del sector y para la definición de acciones en congruencia con lo definido en el POT del municipio.

### 11.1 RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES

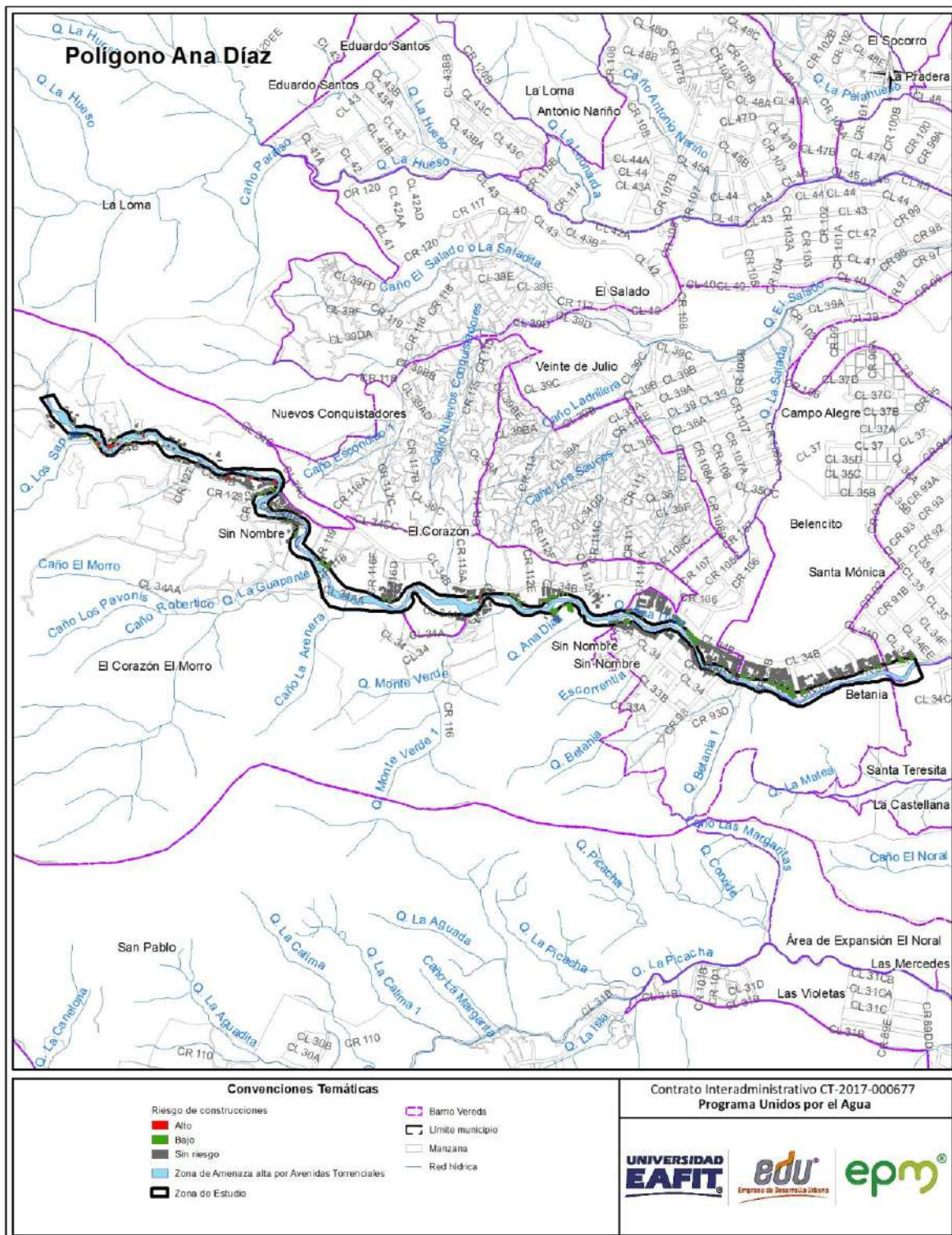
En el análisis del riesgo por avenidas torrenciales se presenta tanto en análisis individual de los elementos expuestos como el análisis de riesgos por polígono.

#### 11.1.1 Riesgo de elementos expuestos.

Una vez realizados los análisis de campo y laboratorio para todas las variables involucradas en los modelos de riesgo, se obtiene la zonificación de riesgo por avenidas torrenciales, para las construcciones y líneas vitales del polígono Quebrada Ana Díaz, como que se presenta a continuación.

##### 11.1.1.1 Análisis de riesgo de las construcciones

En el polígono Ana Díaz, se evidencia un nivel de riesgo bajo representado por el 24% de las construcciones, las cuales se encuentran en general a lo largo del polígono de intervención y se presenta un nivel de riesgo alto que corresponde al 4% de las edificaciones, las cuales se caracterizan por presentar valores altos de vulnerabilidad y medios a altos para la amenaza, las construcciones con este riesgo se localizan al oeste del polígono. Para el resto de las construcciones evaluadas (72%), no se calcula el riesgo ya que no se encuentran afectadas por la mancha de avenida torrencial (Figura 116).

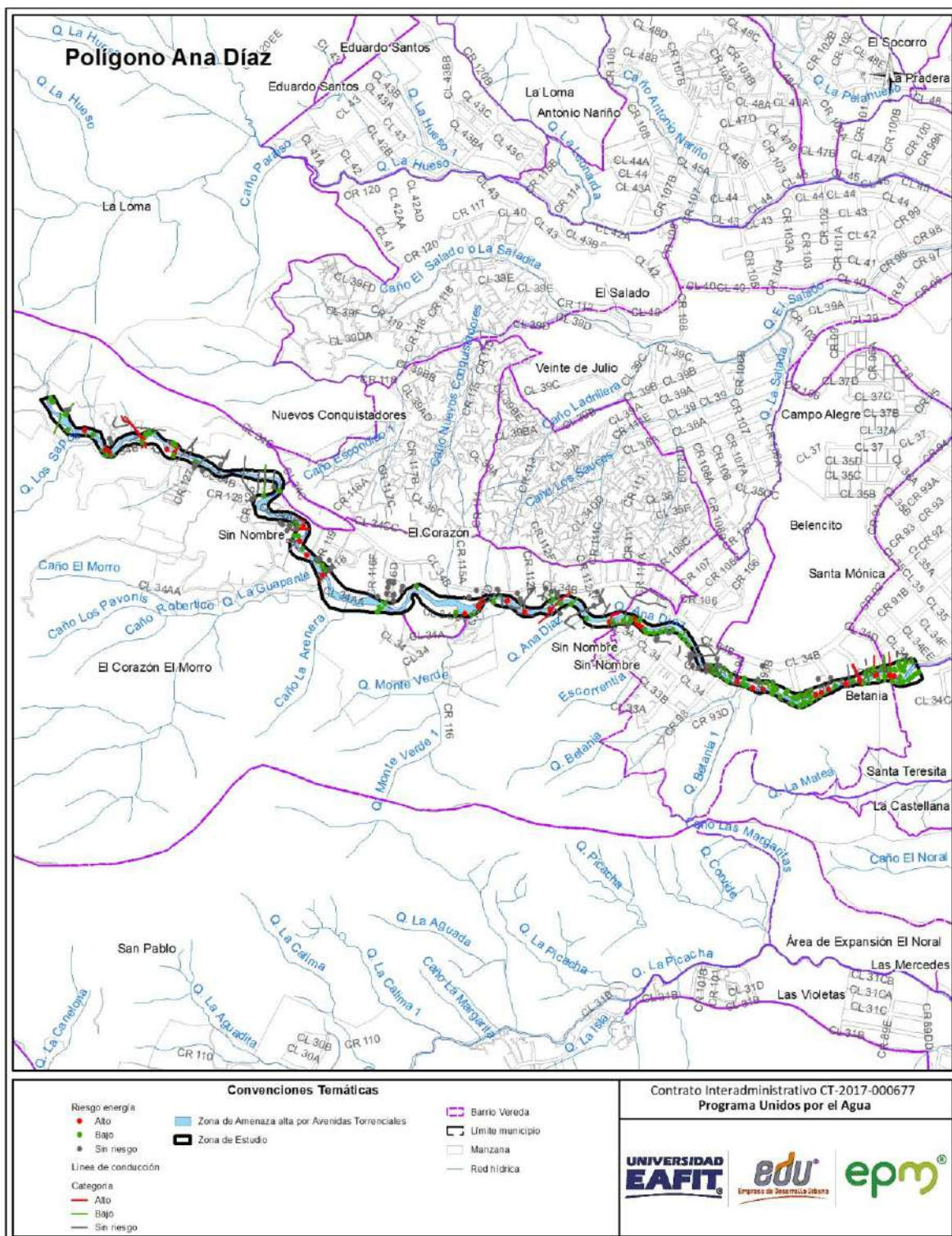


**Figura 116.** Distribución espacial del riesgo de las construcciones por avenidas torrenciales, identificada en el polígono Ana Díaz.

## 11.1.1.2 Análisis de riesgo de línea vital - energía

En el polígono Ana Díaz, se evidencia un nivel de riesgo bajo representado por el 54% de los postes evaluados, los cuales se localizan principalmente al este del polígono y un nivel de riesgo alto que corresponde al 17% de los postes, los cuales se caracterizan por presentar valores altos de vulnerabilidad y medios a altos para la amenaza, los postes con este riesgo se encuentran de manera general a lo largo del área de estudio. Para el resto de los postes evaluados (29%), no se calcula el riesgo ya que no se encuentran afectados por la mancha de avenida torrencial (Figura 117).



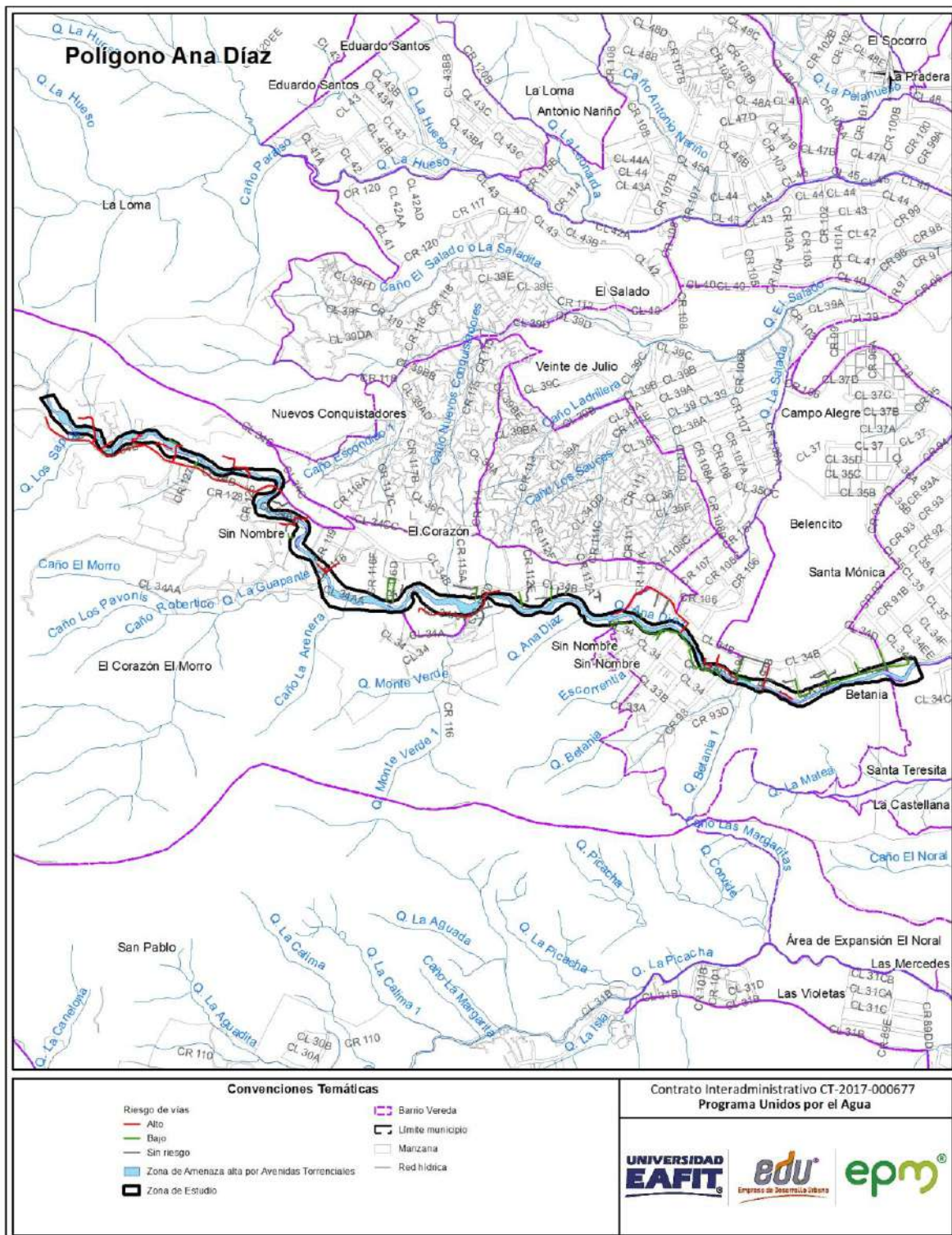


**Figura 117.** Distribución espacial del riesgo de la línea vital energía por avenidas torrenciales, identificada en el polígono Ana Díaz.

## 11.1.1.3 Análisis de riesgo de línea vital - vías

En el polígono Ana Díaz, se evidencia un nivel de riesgo bajo representado por el 33% de las vías estudiadas, las cuales se localizan de manera general a lo largo del polígono de estudio y un nivel de riesgo alto que corresponde al 38% de las vías, las cuales se caracterizan por presentar valores altos de vulnerabilidad y altos para la amenaza, las vías con este riesgo se encuentran principalmente al oeste del polígono. Para el resto de las vías evaluadas (29%), no se calcula el riesgo ya que no se encuentran afectadas por la mancha de avenida torrencial (Figura 118).



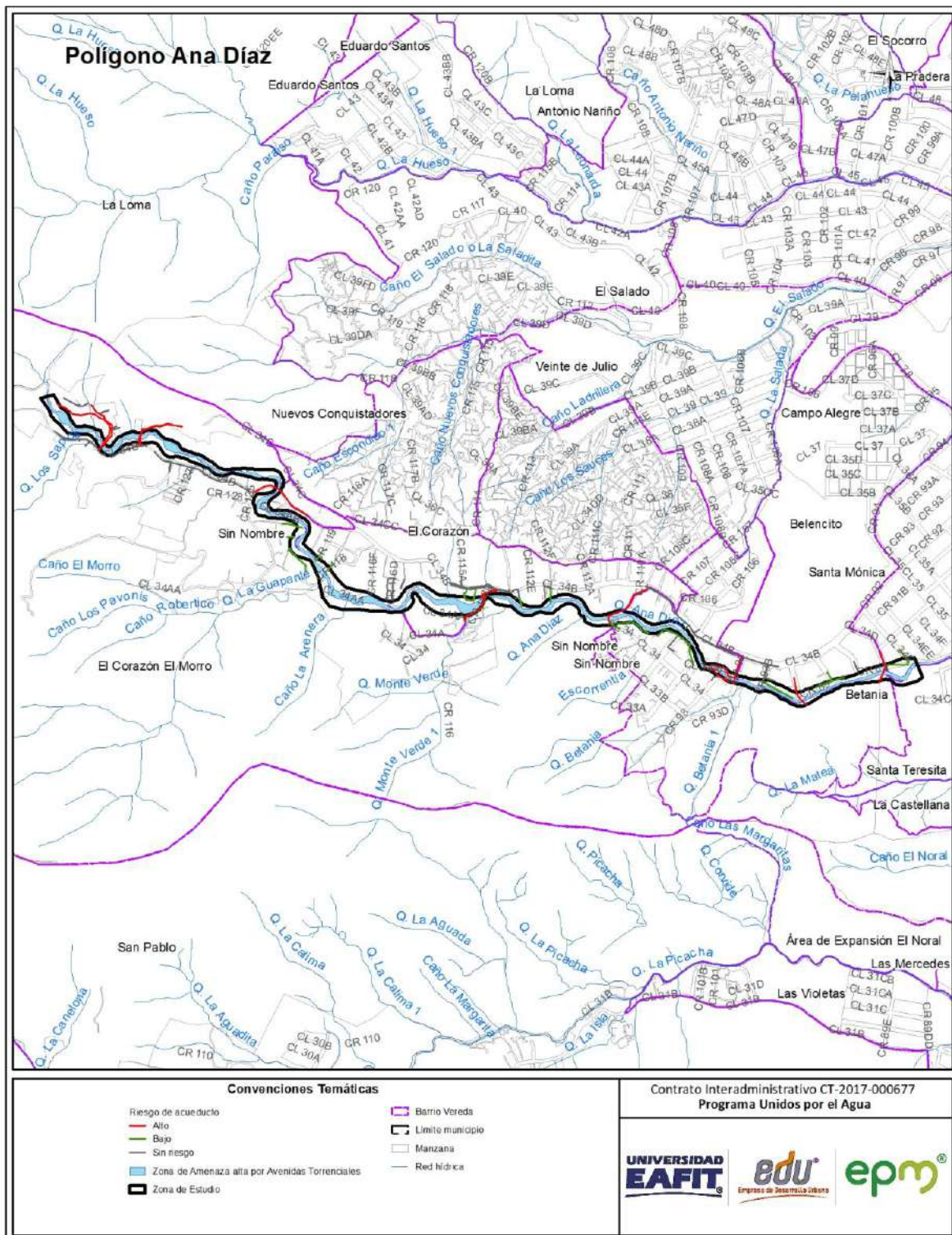


**Figura 118.** Distribución espacial del riesgo de la línea vital vía por avenidas torrenciales, identificada en el polígono Ana Díaz.



## 11.1.1.4 Análisis de riesgo de línea vital - acueducto

En el polígono Ana Díaz, se evidencia un nivel de riesgo bajo para las redes de acueducto representadas por el 26% de las redes evaluadas, las cuales se encuentran esencialmente en el centro y este del polígono y un nivel de riesgo alto que corresponde al 18% de las redes, las cuales se caracterizan por presentar valores altos de vulnerabilidad y altos para la amenaza, las cuales se localizan de manera general a lo largo del área de estudio. Para el resto de las redes de acueducto evaluadas (56%), no se calcula el riesgo ya que no se encuentran afectadas por la mancha de avenida torrencial (Figura 119).

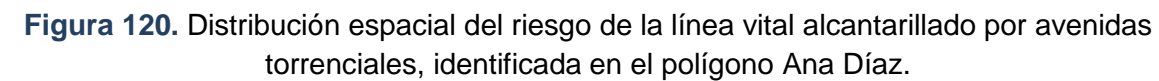


**Figura 119.** Distribución espacial del riesgo de la línea vital acueducto por avenidas torrenciales, identificada en el polígono Ana Díaz.

## 11.1.1.5 Análisis de riesgo de línea vital - alcantarillado

En el polígono Ana Díaz, se evidencia un nivel de riesgo bajo para la línea vital alcantarillado representado por el 43% de las redes evaluadas, las cuales se encuentran distribuidas de manera general a lo largo del área de estudio y un nivel de riesgo alto que corresponde al 37% de las redes, las cuales se caracterizan por presentar valores altos de vulnerabilidad y altos para la amenaza, las cuales se localizan principalmente en el centro y oeste del polígono. Para el resto de las redes de alcantarillado evaluadas (20%), no se calcula el riesgo ya que no se encuentran afectadas por la mancha de avenida torrencial (Figura 120).





## 11.1.1.6 Análisis de riesgo de personas.

Para hallar el número de personas en riesgo, se parte del nivel de riesgo calculado para las construcciones, (en el cual se cambia básicamente la fragilidad de la construcción por la fragilidad de las personas, todo esto de acuerdo a los parámetros y calificaciones definidos en el documento metodológico, más específicamente en el numeral 3.3.1. (Anexo 1.), del número de niveles de la edificación y el número de habitantes promedio por vivienda, el cual fue calculado en 3,46 de acuerdo al análisis demográfico realizado por la EDU y suministrado a la universidad EAFIT.

El anterior análisis arroja que para el polígono Ana Díaz hay un número estimado de 132 personas en riesgo.

## 11.1.2 Riesgo por polígono

Para los eventos de inundación y avenidas torrenciales, el riesgo por polígono se definirá en función de la velocidad del flujo y la altura de la lámina de agua, se establece que para el polígono Ana Díaz se obtiene zona de riesgo alto no mitigable, como se describen a continuación.

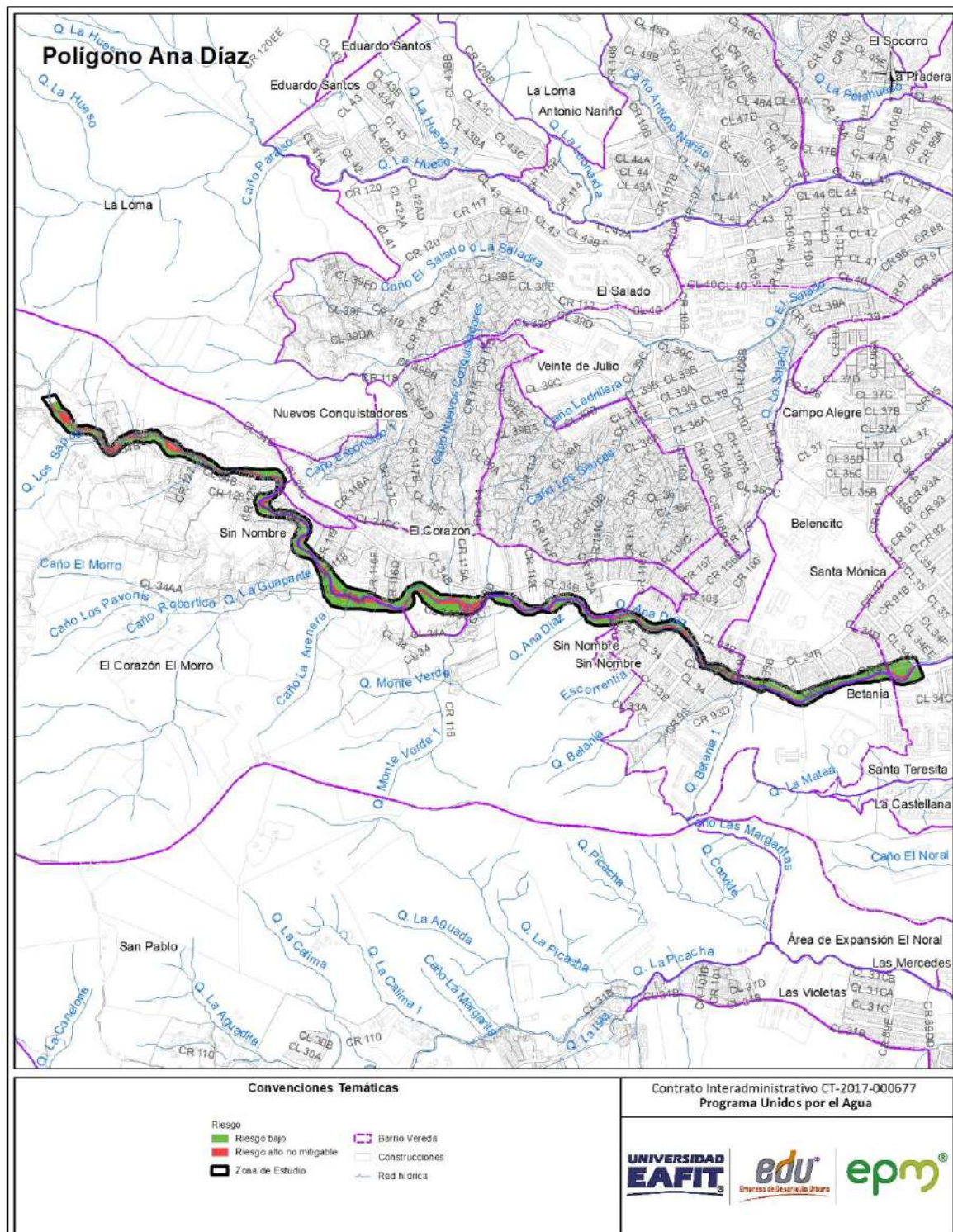
**Riesgo alto no mitigable:** según el Decreto 1626 de 2015 corresponde a aquellas áreas de alto riesgo donde la implementación de medidas de mitigación estructural resulta de mayor complejidad y costo técnico- económico que llevar a cabo el reasentamiento de la población y equipamiento urbano respectivo.

Esta categoría corresponde a una franja alargada, irregular y paralela al cauce principal, que se localizan sobre ambas márgenes de la Quebrada Ana Díaz. Presentan valores de velocidad máxima de 10,92 m/s y profundidad máxima de la lámina de agua 3.02 metros para caudal POMCA (Figura 121).

**Riesgo bajo:** Según el Decreto 1626 de 2015 corresponde a aquellas áreas donde sólo se requieren medidas mínimas de prevención y/o de control de amenaza y vulnerabilidad (Decreto 1626 de 2015).

Son aquellas áreas más alejadas y de mayor altura que las zonas definidas con afectación por avenidas torrenciales. Esta categoría se localiza sobre ambas márgenes y aledaña a las áreas de riesgo alto no mitigable de la Quebrada Ana Díaz.





**Figura 121.** Zonificación de riesgos por polígono por avenidas torrenciales del polígono Ana Díaz.



## **12. APTITUD GEOLÓGICA**

Esta zonificación se realiza partiendo de los aspectos topográficos, geológicos, geomorfológicos y de procesos morfodinámico identificados durante el trabajo de campo y los cuales condicionan en forma directa el grado de estabilidad de las laderas.

A estos aspectos se agregó la evaluación de la estabilidad de las laderas y las condiciones hidráulicas considerando las obras necesarias para alcanzar factores de seguridad ajustados a los requerimientos existentes en este aspecto. La zonificación referente a la aptitud geológica para el uso y ocupación del suelo se presenta de acuerdo con la clasificación utilizada por las “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”.

Se considera un solo tipo de zona de acuerdo a las características geológicas y geomorfológicas y a la complejidad de los procesos morfodinámicos identificados, el cual se describe a continuación (Figura 122):

**Zonas No Aptas:** Son aquellas con evidente inestabilidad por la ocurrencia de procesos morfodinámicos activos tales como socavación de márgenes y movimientos en masa dentro del lote de interés y la UMI asociada; el estudio considera que las obras de estabilización proyectadas son técnicamente complejas y de alto costo con respecto a las inversiones proyectadas en la zona o predio de interés. Las zonas con restricciones normativas se considerarán como No Aptas (Acuerdo 09 de 2012).

Esta categoría corresponde a las áreas definidas como suelo de protección en el acuerdo 48 de 2015, y en el polígono de estudio confluyen varias áreas de protección y conservación ambiental entre las que se identifican: red de conectividad ecológica, el retiro de 30 m a la quebrada Ana Díaz, zonas en condición de riesgo, zonas de amenaza alta por inundaciones y avenidas torrenciales y zonas de humedales y lagunas, que tienen expresión en la totalidad del área de estudio.

Se caracterizan geológicamente por el saprolito del Stock de Altavista, flujos de lodos y escombros, depósitos aluviotorrenciales y llenos antrópicos, pendientes en los rangos de suave a muy abrupta.



### 13. RECOMENDACIONES

Las recomendaciones que se presentan a continuación tienen como objetivo disminuir los niveles de riesgo identificados en el polígono en estudio, las cuales corresponden a medidas principalmente de tipo estructural, que incluyen tanto obras de ingeniería que buscan la estabilización puntual de sitios críticos, como obras complementarias que se deben adelantar en todo el polígono de interés. Estas últimas obras tienen como finalidad el mejoramiento de las condiciones generales del sector, y se pueden ejecutar en cualquier momento de intervención del polígono y no restringen su ocupación.

#### 13.1 RECOMENDACIONES HIDRÁULICAS

No permitir la densificación de las áreas clasificadas como de amenaza alta por avenidas torrenciales, evitando la ocupación del territorio y construcción de nuevas viviendas en el sector.

Se recomienda realizar el diseño de las obras de cruce sobre la quebrada Ana Díaz, priorizando el puente peatonal 5 (Calle 34AB con Carrera 119) y el puente vehicular 3 (Calle 34AB con Carrera 118), que no son suficientes para el caudal de 100 años. Las obras de cruce que corresponden al puente peatonal 4 (Carrera 127 con Calle 34B) y puente peatonal 7 no cumplen para el caudal POMCA.

El puente vehicular 3 que cruza la quebrada Ana Díaz sobre la Calle 34AB, no tiene suficiencia hidráulica a partir de un caudal con periodo de retorno de 10 años. Esta situación pone en riesgo la estructura existente y la población. Se recomienda diseñar nuevamente la obra para que la cota más baja de la viga de apoyo alcance los 1720,12 m.s.n.m. y permita el paso de la creciente para caudal de 100 años.

Se requiere un muro para control de inundación sobre la margen izquierda de la quebrada Ana Díaz. Este muro debe tener una longitud aproximada de 100 m iniciando 50 m aguas abajo del puente vehicular 5 (Calle 34AA con Carrera 106), con una altura aproximada de 2,5 m y manteniendo una pendiente de 0,070 m/m, hasta llegar al puente peatonal 11 (Carrera 34AA con Carrera 98). Dicha estructura deberá ser ubicada en el límite de la llanura de inundación, con el objetivo de minimizar el impacto en la dinámica fluvial de la quebrada.



En general se recomienda el reasentamiento de la población que habita las viviendas que se encuentran dentro de la mancha de inundación estimada para caudal por metodología POMCA.

## 13.2 RECOMENDACIONES GEOTECNICAS

A continuación, se presentan los principales aspectos geotécnicos del sitio en el cual se proyecta construir la obra de protección marginal en la quebrada Ana Díaz, los cuales son el resultado de las visitas de inspección y reconocimiento, de las exploraciones de campo, de los resultados de laboratorio.

### 13.2.1 Exploración de campo

Basado en las características topográficas y las formaciones geológicas de la zona a estudiar, se planteó un programa de exploración, que permitiera definir el modelo geológico y geotécnico del sitio donde se proyecta reemplazar el muro de contención marginal a la quebrada, sus características estratigráficas y físico-mecánicas, insumo fundamental para el diseño de la cimentación.

El trabajo de exploración se realizó a través de la ejecución de tres (3) perforaciones exploratorias. El programa de exploración directa se realizó con taladros mecánicos, por el sistema de rotopercusión.

La localización geográfica de los sondeos se detalla en la siguiente tabla:

**Tabla 31.** Localización geográfica de los sondeos.

Sondeo	Norte	Este	Profundidad
P6	829038,39	1182630,91	7.45
P7	828094,784	1182805,85	6.5
P8	828079,1	1182779,13	6.5

En la Figura 123 se representa la ubicación de cada uno de los sondeos.

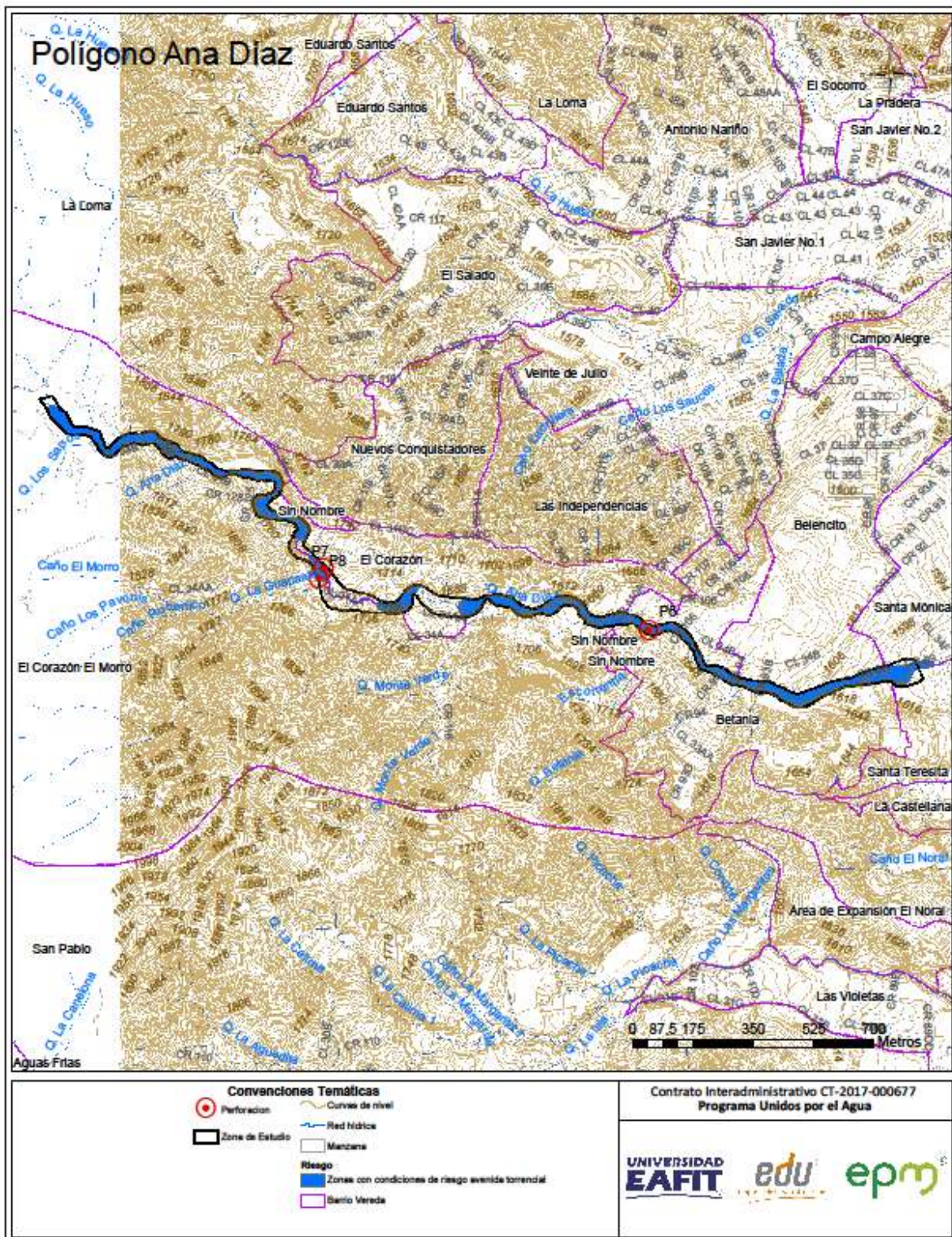


Figura 123. Localización sondeos exploratorios quebrada Ana Díaz.



De cada sondeo ejecutado se levantó una columna estratigráfica que contiene la descripción de los materiales y sus propiedades, las cuales son presentadas en este documento en el Anexo No 2.

Durante la campaña exploración e investigación del subsuelo para cada uno de los sondeos ejecutados se llevó a cabo el ensayo de penetración estándar (SPT) a intervalos de 1.0 m, el cual permite conocer el número de golpes requerido al introducir un muestreador 45 cm, obteniendo un valor de N que corresponde a la suma de los golpes necesarios para penetrar los últimos 30 cm; este valor resulta útil en la determinación de la consistencia del material y la obtención de parámetros geomecánicos que caracterizan del subsuelo que conforma los diferentes estratos a partir del uso de correlaciones disponibles en la literatura.

Metro a metro para cada uno de los sondeos proyectados se toman muestras del material, el cual es visualmente caracterizado y almacenado en bolsas plásticas con el fin de preservar sus características propias de estado límite, estas son llevadas al laboratorio donde se les practican ensayos de clasificación para conocer el tipo de suelos, propiedades como humedad y límites de Atterberg. Adicionalmente se tomaron muestras inalteradas, extraídas con tubo Shelby, las cuales por la forma en que fueron recuperadas permiten obtener a través de ensayos específicos, como corte directo y compresión confinada, parámetros de resistencia que posteriormente son comparados con los obtenidos a través de las correlaciones disponibles en la literatura especializada y que se apoyan en los resultados obtenidos del ensayo en campo SPT.

## 13.2.2 Resultados y análisis de laboratorio

En la Tabla 32 se presenta un resumen de los resultados de los ensayos realizados a las muestras recuperadas.

**Tabla 32.** Resultados de laboratorio Quebrada Ana Díaz.

Ensayos Sondeo- Muestra	Profundidad (m)	Humedad Natural (%)	Límite líquido (%)	Índice plástico (%)	Pasa malla 200 (%)	Clasificación USCS
P6-M3	3.00-3.45	20.2	37.5	17.2	39.2	SC
P6-M4	4.00-4.45	17.0	26.80	7.3	20.4	SC
P6-M5	5.00-5.45	14.2	26.2	8.5	17.3	SC



Ensayos Sondeo- Muestra	Profundidad (m)	Humedad Natural (%)	Límite líquido (%)	Índice plástico (%)	Pasa malla 200 (%)	Clasificación USCS
P6-M6	6.00-6.45	13.4	28.8	10.1	22.6	SC
P6-M7	7.00-7.45	14.5	30.3	11.7	27.1	SC
P7-M1	1.00-1.45	18.4	-	NP	6.3	SP-SM
P7-M2	2.00-2.45	18.5	-	NP	7.5	SP-SM
P7-M3	3.00-3.45	30.4	36.7	16.2	36.1	SC
P7-M5	5.00-5.45	12.8	-	NP	4.5	GW
P7-M6	6.00-6.45	20.1	27.1	9.0	14.5	SC
P8-M2	2.00-2.45	26.7	55.4	24.9	63.5	MH
P8-M3	3.00-3.45	21.9	-	NP	7.2	SW-SM
P8-M5	5.00-5.45	16.1	38.6	18.2	20.3	GC
P8-M6	6.00-6.45	7.9	-	NP	8.9	SW-SM

## 13.2.3 Análisis geotécnico

Con base en la caracterización geológica y los resultados del programa de exploración, así como los resultados de los diferentes ensayos practicados a las muestras seleccionadas, se realizó el análisis geotécnico que, basado en la definición y caracterización del modelo geológico y geotécnico, permitió realizar el diseño de la cimentación del muro de protección marginal.

### 13.2.3.1 Estratigrafía y definición de parámetros geomecánicos

Concluidas la etapa de exploración del subsuelo, la revisión y agrupación de muestras y los ensayos de laboratorio, se ajustan y complementan perfiles representativos de la estructura del terreno por medio de la definición de columnas estratigráficas en cada sondeo y su posterior correlación de acuerdo con las observaciones en campo y el criterio de los profesionales involucrados.

## Estratigrafía

Para el sitio donde se proyecta construir el muro de protección marginal se detectaron materiales antrópicos con espesores entre 1 metro y 4.5 metros, subyaciendo el lleno material aluvial compuesto por arenas y gravas.

- **Lleno antrópico:** Está compuesto por materiales limosos - arcillosos mezclados con fragmentos de roca, zonas con materia orgánica en descomposición y en otros sectores se incluyen restos de escombros de construcción.

**Clasificación USC: SP-SM, SW-SM.**

**Humedad natural: Varía entre 18.4 y 26.7%**

**Límite líquido: Varía entre 37.5% y 55.4%**

**Índice plástico: Varía entre % 17.2 y 24.9%**

**Pasa malla 200: Varía entre 6.3% y 63.5%**

- **Aluvial:** Se encontró en las 3 perforaciones realizadas con espesores entre 1 metro y 4.5 metros

Las siguientes son las propiedades físicas principales:

**Clasificación USC: SC, SP-SM, GC, SW-SM**

**Humedad natural: Varía entre 7.9% y 30.4%**

**Límite líquido: Varía entre 26.2% y 38.6%**

**Índice plástico: Varía entre 7.3% y 18.2%**

**Pasa malla 200: Varía entre 4.5% y 36.1%**

## 13.2.3.2 Definición de parámetros geomecánicos

Los parámetros geomecánicos se obtuvieron a partir de la información recolectada de los sondeos exploratorios y de los análisis de los resultados de los diferentes ensayos practicados a las muestras extraídas en cada uno de ellos, teniendo en cuenta también el comportamiento del suelo a partir del ensayo SPT realizado en campo y los valores de referencias bibliográficas de reconocidos autores. Al analizar esta información en conjunto es posible conocer las propiedades del suelo de manera aproximada.

En la literatura especializada existen diversas correlaciones entre el valor de  $N$ , obtenido del ensayo SPT, y los parámetros de cohesión y ángulo de fricción, en éste a partir de ecuaciones se estiman estos valores, los cuales son usados para el cálculo de la capacidad portante del terreno. Los valores obtenidos a través de las correlaciones son analizados por el personal técnico de acuerdo a su experiencia y conocimientos sobre la zona de objeto de estudio.

De las correlaciones disponibles para la obtención de parámetros como cohesión y ángulo de fricción que se encuentran en la literatura, se tiene la ecuación propuesta por Bowles la cual permite obtener un valor de  $N$  corregido que posteriormente permite una mejor aproximación a los valores de resistencia. Dicha ecuación tiene en cuenta correcciones por confinamiento, energía del martillo, longitud de las barras de perforación, por el toma muestras y finalmente por el diámetro de la perforación.

La ecuación propuesta por Bowles (1988) para el valor de  $N$  corregido se la define de la siguiente manera:

$$N_s = N * C_n * \eta_1 * \eta_2 * \eta_3 * \eta_4$$

Donde:

$N$ :  $N$  de Campo

$C_n$ : Corrección por confinamiento.

$\eta_1$ : Corrección por energía del martillo.

$\eta_2$ : Corrección por longitud de barras de perforación

$\eta_3$ : Corrección por tomamuestras.



## η4: Corrección por diámetro de la perforación

Con el valor de N corregido a partir de lo anterior y los resultados de laboratorio obtenidos para cada estrato se ajusta el parámetro de cohesión y fricción que se definirá para cada material siendo congruente con las observaciones realizadas en campo.

Para cada estrato se hizo un análisis de los parámetros obtenidos por cada una de las correlaciones disponibles en la literatura, despreciando aquellos valores que no resultaban representativos con base en la experiencia del equipo técnico que adelanta el presente estudio. Las correlaciones usadas se presentan en la Tabla 33:

**Tabla 33.** Correlaciones utilizadas para la definición de parámetros geomecánicos.

CORRELACIONES USADAS PARA DETERMINAR PARÁMETROS DE RESISTENCIA A PARTIR DEL ENSAYO DE PENETRACIÓN ESTÁNDAR (SPT)	
Kulhawy y Mayne (1990)	$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{N_{60}}{12.2 + 20.3 \left( \frac{\sigma'_0}{Pa} \right)^{0.34}} \right)$
Wolff (1989)	$\phi = 27.1 + 0.3 \cdot N_{corr} - 0.00054 N_{corr}^2$
Hatanaka y Uchida (1996)	$\phi = \sqrt{20 \cdot N_{corr}} + 20$ $\phi = \sqrt{20 \cdot N_{corr}} + 17$
Parra y Ramos (2006)	$\phi = 5.35 \ln(N) + 14.44$ $Cu = 0.22 \cdot \ln(N) - 0.4$
Müller (1970)	$\phi = 24 + 5.77 \ln(0.1667 N_{SPT})$
Peck	$\phi = 28.5 + 0.25 N_{145}$
Peck, Hanson y Thornburn	$\phi = 26.25 * \left( 2 - e^{\left( -\frac{N_{145}}{62} \right)} \right)$
Kishida	$\phi = 15 + \sqrt{(20 * N_{145})}$
Schmertmann	$\phi = \tan^{-1} \left( \frac{N_{60}}{43.3} \right)^{0.34}$
Japan National Railway	$\phi = 27 + 0.1875 * N_{145}$
Japan Road Bureau	$\phi = 15 + (9.375 * N_{145})^{0.5}$
Stroud (1974)	$C_u = K \cdot N [kN/m^2]$ $K \begin{cases} 3.5 \text{ kN/m}^2 \\ 6.5 \text{ kN/m}^2 \end{cases}$
Hara y otros (1971)	$C_u = 29 \cdot N^{0.72} [kN/m^2]$
Mesri (1989)	$Cu = 0.22 * \sigma'_0$

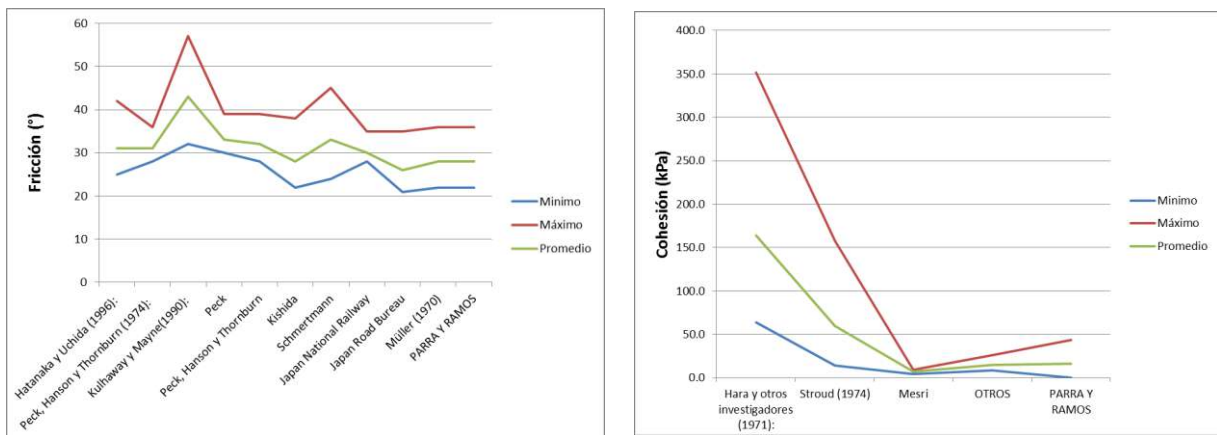
Para cada uno de los sondeos ejecutados se corrigió el valor de N de campo a partir de la ecuación propuesta por Bowles y hallando los parámetros de cohesión y fricción según los golpes, delimitando dentro de cada sondeo los estratos litológicos que se identificaron en el mismo. Posteriormente se hizo un análisis para cada estrato, agrupando los parámetros de cohesión y fricción obtenidos de cada sondeo para el estrato correspondiente, los resultados se presentan en el anexo 3.

Con la información anterior se procedió a la definición de los parámetros para cada estrato, ajustándose además con los resultados de la modelación de la problemática que se presenta en campo y que se evidenció durante los recorridos del equipo técnico. En cada uno de los casos se obtuvo un valor promedio, mínimo y máximo de cohesión y fricción para cada correlación utilizada, obteniendo a partir de su análisis los parámetros geomecánicos característicos para cada material.

A continuación, se detallan los parámetros de resistencia de los diferentes estratos que conforman el perfil geológico-geotécnico:

## LLENO ANTRÓPICO

Los valores encontrados con las correlaciones varían para el ángulo de fricción entre  $26^\circ$  y  $31^\circ$  descartando Kullaway y Maine y entre 7 Kpa y 16 Kpa para la cohesión descartando Hara y Stroud. En la Figura 124 y Tabla 34 se ilustran las variaciones de los parámetros de cohesión y fricción obtenidos estadísticamente a partir del número de golpes y los ensayos de laboratorio con cada una de las correlaciones disponibles en la literatura para los materiales pertenecientes al lleno antrópico.



**Figura 124.** Variación cohesión y fricción del lleno antrópico.

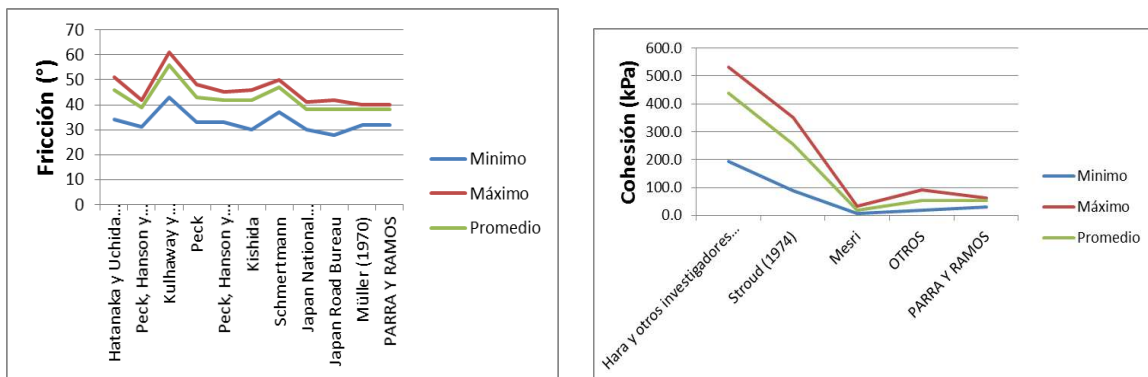
**Tabla 34.** Parámetros estadísticos del lleno antrópico

	Fricción (°)	Cohesión (Kpa)
<b>Media</b>	<b>29</b>	<b>11.5</b>
<b>Desviación</b>	<b>2</b>	<b>4.5</b>
<b>Mínimo</b>	<b>26</b>	<b>7.0</b>
<b>Máximo</b>	<b>32</b>	<b>16</b>

## ALUVIAL

Los valores encontrados con las correlaciones varían para el ángulo de fricción entre 38° y 46° descartando Kulhaway. Para la cohesión varían entre 17 Kpa y 54 Kpa descartando Hara y Stroud.

En la Figura 125 se ilustra las variación de los parámetros de cohesión y fricción obtenidos por cada una de las correlaciones disponibles en la literatura para los materiales pertenecientes al aluvial.



**Figura 125.** Variación cohesión y ángulo de fricción aluvial

A continuación, se anexan los parámetros estadísticos obtenidos:



**Tabla 35.** Parámetros estadísticos del aluvial

	Fricción (°)	Cohesión (Kpa)
Media	40	35.5
Desviación	3	18.5
Mínimo	38	17
Máximo	46	54

Para los análisis estadísticos de los parámetros y propiedades, se asumió una función de distribución de probabilidad normal para cada uno de los parámetros involucrados (cohesión, ángulo de fricción interna y peso unitario del suelo). Se considera que una función normal, es una de las que mejor se ajusta a la distribución de variables o propiedades en la naturaleza. Las variables determinadas por una compleja combinación de múltiples factores tienden a comportarse, ‘normalmente’, es decir, tienden a estar bien representadas por una ‘distribución normal’ o ‘curva de campana’.

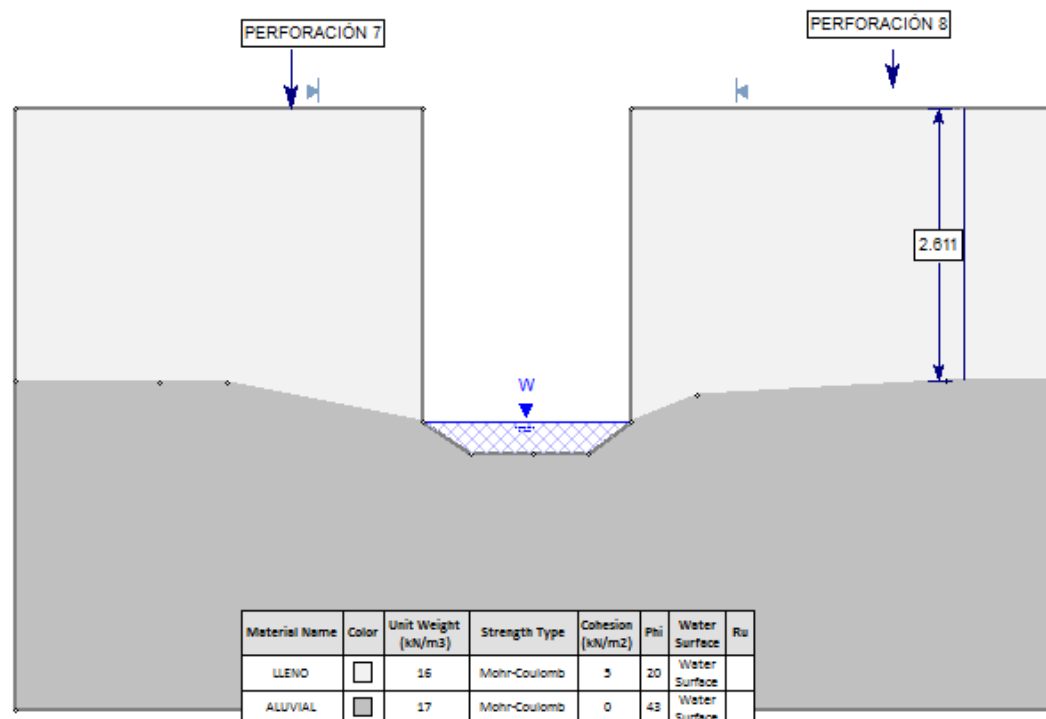
Para el diseño de la cimentación del muro de protección marginal se utilizará un ángulo de fricción  $F_i=40^\circ$  de acuerdo a los parámetros estadísticos y una cohesión de 0 Kpa por tratarse de arenas y gravas.

#### 13.2.3.3 Definición del modelo geológico-geotécnico

Una vez terminado el programa de exploración y obtenidos los resultados de laboratorio, se plasmó en los perfiles topográficos, la información geológica y geotécnica, construyendo de esta manera el modelo de análisis, que involucra la estratigrafía, las características físicas y mecánicas de los estratos, la presencia de nivel freático entre otros.

#### **Modelo geológico geotécnico.**

Estratigráficamente formado desde superficie por un lleno antrópico con un espesor promedio de 3 metros, debajo del lleno aluvial compuesto por gravas y arenas. A continuación se anexa el modelo geológico geotécnico.



**Figura 126.** Modelo geológico- geotécnico.

#### 13.2.3.4 Diseño geotécnico de la cimentación del muro de protección marginal.

El estudio hidrológico e hidráulico recomendó la construcción de un muro de protección marginal con el fin de prevenir posibles inundaciones, muro a construir entre la calle 34 AA con carrera 106 hasta carrera 34 AA con carrera 98 con una longitud de 90 metros y 2.5 metros de altura.

De acuerdo con las investigaciones realizadas se recomienda cimentar el muro en pilas de 4 metros de longitud, 1 metro de diámetro y separadas 3 metros, a continuación se justifica el diseño teniendo en cuenta el código colombiano de puentes 2014.

De acuerdo a las nuevas disposiciones descritas en el CCP2014, las cimentaciones debes ser dimensionadas de tal forma que satisfagan los estados límite definidos

en la norma mencionada, presentando factores de resistencia para cada estado límite, a continuación se describe brevemente cada estado límite y sus correspondientes factores:

**Estado límite de Servicio:** El diseño de la cimentación en el estado límite de servicio debe incluir:

- Asentamientos
- Movimientos horizontales
- Estabilidad Global, y
- Socavación para la inundación de diseño

Los factores de resistencia para los estados límite de servicio deben tomarse como 1.0.

**Estado límite de resistencia:** El diseño de cimentaciones en los estados límites de resistencia incluye la consideración de las resistencias geotécnicas nominales, este diseño debe considerar:

Resistencia estructural, y pérdida de apoyo lateral y vertical debido a la socavación en el evento de la inundación de diseño (Tabla 36)

**Tabla 36.** Factores de resistencia para cimentaciones superficiales

Método/Suelo/Condición			Factor de resistencia
Capacidad de Carga	$\phi_b$	Método teórico (Munfakn et al, 2001) en arcilla	0.5
		Método teórico (Munfakn et al, 2001) en arena, usando CPT	0.5
		Método teórico (Munfakn et al, 2001) en arena, usando SPT	0.45
		Métodos semiempíricos (Meyerhof 1957), todos los suelos	0.45
		Zapatas sobre roca	0.45
		Pruebas de Carga con Placa	0.55



**Tabla 37.** Factores de resistencia para pilas

Método/Suelo/Condición			Factor de Resistencia
La resistencia nominal a la compresión axial de pilotes perforados individuales, $\phi_{star}$	Resistencia por fuste en arcilla	Método $\alpha$ (O'Neill and Reese, 1999)	0.45
	Resistencia por punta en arcilla	Esfuerzo total (O'Neill and Reese, 1999)	0.40
	Resistencia por fuste en arena	Método $\beta$ (O'Neill and Reese, 1999)	0.55
	Resistencia por punta en arena	O'Neill and Reese, 1999	0.50
	Resistencia por fuste en IGMs	O'Neill and Reese, 1999	0.60
	Resistencia por punta en IGMs	O'Neill and Reese, 1999	0.55
	Resistencia por fuste en Roca	Horvath and Kenney (1979) O'Neill and Reese, 1999	0.55
	Resistencia por fuste en Roca	Carter and Kulhawy (1988)	0.50
	Resistencia por punta en Roca	Sociedad Canadiense (1985) Método de medición de la presión (Sociedad Geotécnica Canadiense, 1985) O'Neill and Reese, 1999	0.50
Falla en bloque, $\phi_{bl}$	Arcilla		0.55
Resistencia al levantamiento de	Arcilla	Método $\alpha$ (O'Neill and Reese, 1999)	0.35

Método/Suelo/Condición			Factor de Resistencia
pilotes perforados individuales, $\phi_{up}$	Arena	Método $\beta$ (O'Neill and Reese, 1999)	0.45
	Roca	Horvath and Kenney (1979) Carter and Kulhawy (1988)	0.40
Resistencia al levantamiento de grupo de pilotes, $\phi_{ug}$	Arena y arcilla		0.45
Resistencia geotécnica horizontal del pilote individual o grupo de pilotes	Todos los materiales		1.0

**Estado límite de Evento Extremo:** Las cimentaciones deben ser diseñadas para situaciones extremas según corresponda y debe ser consistente con la expectativa de prevenir el colapso de la estructura y proteger la vida.

Los factores de resistencia para el estado límite de evento extremo deben tomarse como 1.0.

- **Capacidad de carga**

La capacidad de carga para las cimentaciones de los muros y puentes se estimó de la siguiente manera:

### Pozos Perforados (Caissons)

De acuerdo al CCP2014 la resistencia nominal de compresión en ejes perforados, RR, se toma como:

$$RR = \phi R_n = \phi q p R_p + \phi q s R_s;$$

En la cual:

$$R_p = q_p A_p$$

$$R_s = q_s A_s$$

Dónde:

$R_p$  = Resistencia de punta nominal del eje

$R_s$  = Resistencia lateral nominal del eje

$\Phi_{qp}$  = Factor de resistencia

$\Phi_{qs}$  = factor de resistencia para la resistencia lateral del eje

$q_p$  = unidad de resistencia de punta

$q_s$  = Unidad de resistencia lateral

$A_p$  = área de la punta del eje

$A_s$  = área de superficie lateral del eje

## Suelos no cohesivos

La cimentación del muro se realizará en material aluvial, específicamente arenas y gravas.

### a. Resistencia de punta

La resistencia nominal de punta  $q_p$ , en Mpa, para ejes perforados por el método de O'Neill y Reese (1999) debe tomarse como:

$$\text{Para } 0.057N_{60} \leq q_p = 1.2N_{60}$$

Donde

$N_{60}$  = promedio conteo de golpes SPT (corregido sólo por la eficiencia del martillo)



en la zona de diseño bajo consideración (blows/300mm)

El valor de  $q_p$  se debe limitar a 3.0 Mpa, a menos que los valores mayores se puedan justificar por los datos de pruebas de carga.

## **b. Resistencia lateral (por fricción a lo largo del fuste)**

La resistencia lateral nominal de ejes perforados se estima por medio del método  $\beta$ , y corresponde a:

$$q_s = \beta \sigma'_v \text{ para } 0.25 \leq \beta \leq 1.2,$$

Si  $N_{60} \leq 15$

$$\beta = 1.5 - (7.7 \times 10^{-3} \sqrt{z})$$

Si  $N_{60} > 15$

$$\beta = \frac{N_{60}}{15} (1.5 - 7.7 \times 10^{-3} \sqrt{z})$$

Donde:

$\sigma'_v$  = tensión vertical efectiva en la capa de suelo a profundidad media (MPa)

$\beta$  = Coeficiente de transferencia de carga (adim)

$z$  = profundidad bajo tierra.

$N_{60}$  = Número de golpes corregido sólo para la eficiencia del mar

## c. Asentamientos

Para el cálculo de asentamiento de las pilas se utilizó el método elástico, dadas las consideraciones iniciales, para lo cual se usa la siguiente ecuación:

$$S = S_1 + S_2 + S_3$$

Dónde:

$S$  : Asentamiento

$S_1 = (Q_p + Q_f)L / A_p E_p$  : Asentamiento elástico de la pila.

$S_2 = \frac{Q_p * D}{E_s} (1 - \nu^2) I_{wp}$  : Asentamiento de la pila por carga en la punta.

$S_3 = \frac{Q_f * D}{\omega L * E_s} (1 - \nu^2) I_{ws}$  : Asentamiento de la pila por carga a lo largo del fuste.

Para lo cual:

$E_p$  : Modulo de elasticidad del concreto.

$E_s$  : Modulo de elasticidad del suelo

$\nu$  : Relación de Poisson

$I_{wp}, I_{ws}$  : Factores de influencia por punta y por fuste respectivamente.

## d. Capacidad de carga lateral de los pilotes.

Para la estimación de la resistencia lateral de los suelos donde se apoyarán las diferentes estructuras que se proponen en el estudio, se ha considerado el caso general para suelos con fricción y cohesión, mediante una alternativa derivada de la resistencia lateral última del suelo, basada esencialmente en la teoría de presión de tierras desarrollada por Brinch Hansen (1961), la cual considera la variación de la resistencia con la profundidad a lo largo de la pila. La resistencia última a cualquier profundidad,  $z$ , desde la superficie se expresa como:

$$P_u = qK_q + cK_c$$

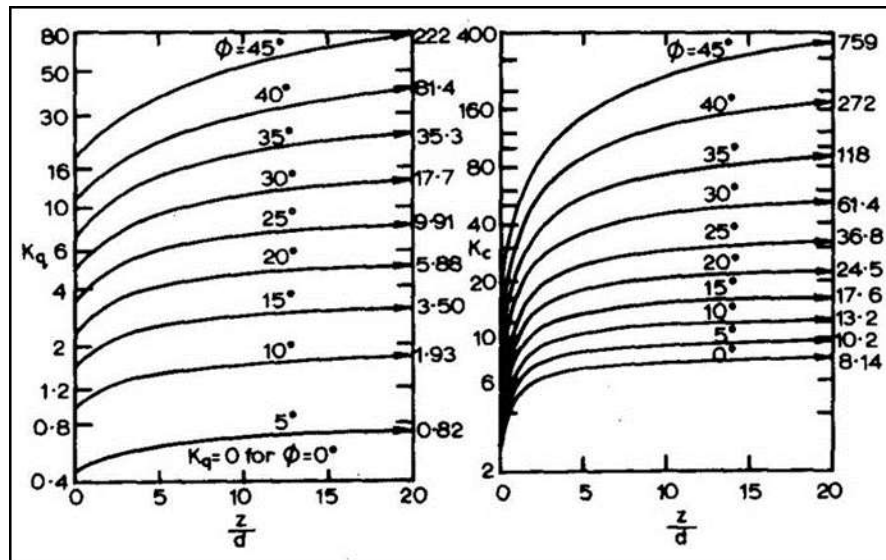
Donde:

$q$  : sobrecarga de presión vertical

$c$  : cohesión

$K_c, K_q$  : Factores en función del ángulo de fricción y  $z/d$ .

$K_c$  y  $K_q$  se obtienen de la Figura 127



**Figura 127.** Factores de resistencia  $K_q$  y  $K_c$  – Brinch Hansen, 1961.

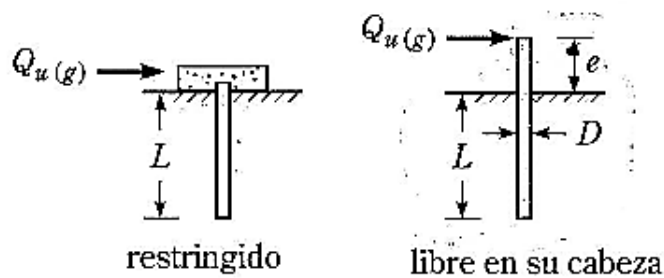


## Deformación Horizontal

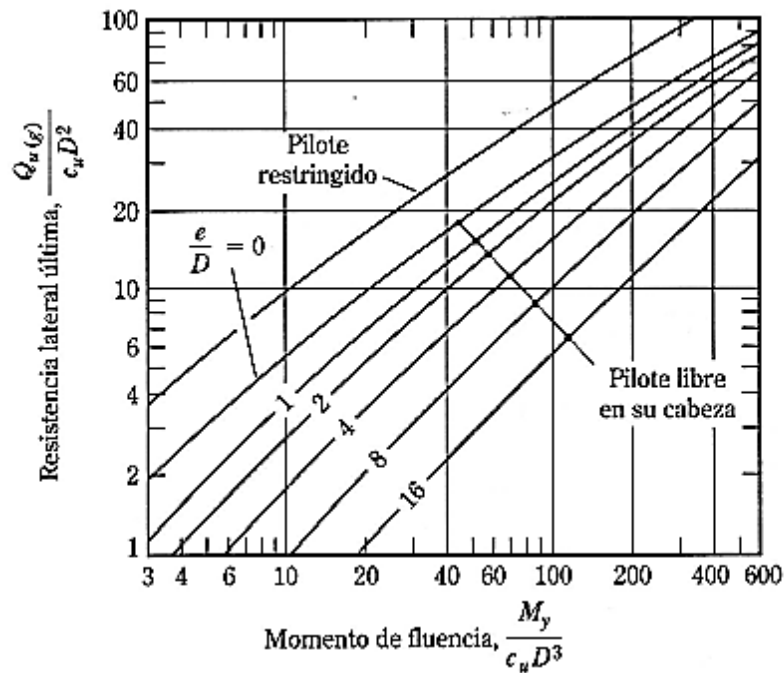
Broms (1965) desarrolló una solución simplificada para calcular la resistencia lateral a carga admisible  $Q_u(g)$  y la deflexión en la cabeza del pilote  $X_z(z=0)$ . El procedimiento de cálculo para pilotes considerados como flexibles, se muestra a continuación:

Primero se determina el valor de  $Q_u(g)$ , siendo los valores de entrada:

- La relación  $M_y/C_u D^3$ , donde  $M_y$  es el momento de fluencia del pilote,  $C_u$  es la cohesión y  $D$ , el lado.
- La relación  $e/D$ , siendo  $e$  la longitud libre del pilote; si  $e=0$  entonces los pilotes son restringidos, si  $e>0$  entonces son pilotes con cabeza libre.



**Figura 128.** Esquema de restricción de los pilotes



**Figura 129.** Solución de Broms para la resistencia lateral última de pilotes flexibles.  
(Braja M. Das, 1983)

Con estos valores y utilizando la gráfica anterior, se obtiene la siguiente relación, de la cual despejamos el valor de la resistencia lateral última  $Q_u(g)$ :

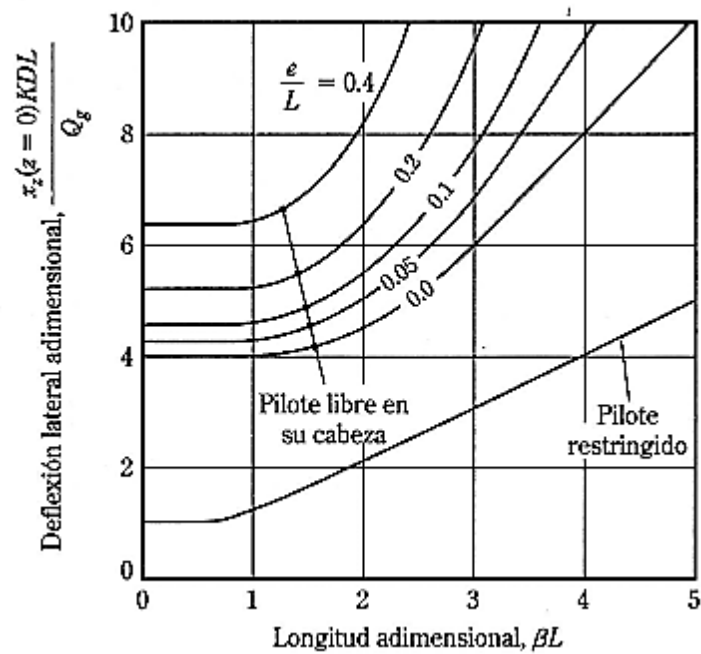
$$\frac{Q_{u(g)}}{c_u D^2}$$

Dónde:

$c_u$ : Cohesión del suelo.

$D$ : Lado del pilote.

Se procede ahora a la determinación de la deflexión de la cabeza del pilote  $X_z(z=0)$ , la cual se obtiene de la Figura 130:



**Figura 130.** Solución de Broms para determinar la deflexión de la cabeza del pilote (Braja M. Das, 1983)

Las variables de entrada son:

- a.  $\beta L$ ; siendo  $L$  la longitud del pilote y  $\beta$  igual a:

$$\beta = \sqrt[4]{\frac{KD}{4EpIp}}$$

Dónde:

$K$ : Módulo horizontal del suelo.

$D$ : Lado del pilote.

$E_p$ : Módulo de elasticidad del material del pilote.

$I_p$ : Momento de inercia del pilote.



b. Relación e/L.

Con estos valores y utilizando la gráfica anterior, se obtiene la siguiente relación, de la cual despejamos el valor de la deflexión de la cabeza del pilote  $X_z(z=0)$ :

$$\frac{X_z(z=0)KDL}{Qg}$$

Dónde:

K: Módulo horizontal del suelo.

D: Lado del pilote.

L: Longitud del pilote. .

Qg: Carga de trabajo.

## Módulo de reacción lateral y vertical

### Módulo de reacción lateral

Para el diseño de las pilas a carga lateral debe tenerse en cuenta una variación del coeficiente de reacción lateral ( $k_s$ ), el cual es estimado según la siguiente ecuación (Bowles 1996):

$$K_s = 0.65^{1/2} \frac{E_s B^4}{E_f I_f} \frac{E_s}{1-\mu^2}$$

Dónde:

$E_s$  y  $E_f$ : Módulos de elasticidad del suelo y la pila

$B$  e  $I_f$ : Ancho de la cimentación y momento de inercia de la sección

### Módulo de reacción vertical

Para esta condición los asentamientos son proporcionales a la presión de contacto, es decir:

$$q = k_s \cdot w$$

Donde  $q$  es la presión transmitida,  $k_s$  es el coeficiente de reacción vertical y  $w$  son los asentamientos producidos en el suelo. Es importante anotar que en la ecuación presentada se está suponiendo una cimentación rígida que transmite al suelo una presión  $q$ , y que el suelo se deforma una cantidad  $w$ , tal como lo haría en un líquido.

A continuación se presentan los resultados correspondientes a cimentación en pilas con una longitud de 4 metros y 1 metro de diámetro y separación 3 metros entre ejes.

La Tabla 38 muestra los resultados correspondientes a la capacidad por fuste y punta de las pilas.

**Tabla 38.** Capacidad por punta y fuste de las pilas

Lon pilote	4		
<b>NO COHESIVO:</b>	<b>fuste</b>	<b>punta</b>	
$N_{60}$	40	40	
D	2 m		
D	6.56 ft		
$\gamma$	1.6 ton/m <sup>3</sup>		
NF	0 m		
FS	1		
$\sigma'_v$	1.2 ton/m <sup>2</sup>		
$\sigma'_v$	0.25 ksf		
$\beta$	1.15		
$q_s$	0.29 ksf		
$q_s$	1.39 ton/m <sup>2</sup>		
$q_{sa}$	1.39 ton/m <sup>2</sup>		
D	21.00 m		
D	68.90 ft		
NF	8.00 m		
$\sigma'_v$	20.60 ton/m <sup>2</sup>		
$\sigma'_v$	4.29 ksf		
$q_p$	48.00 ksf		
$q_p$	230.66 ton/m <sup>2</sup>		
FS	1.00		
$q_{pa}$	230.66 ton/m <sup>2</sup>		

En la Tabla 39 y Figura 131 se muestran los resultados correspondientes a la resistencia lateral de los suelos:

**Tabla 39.** Capacidad lateral.

Profundidad (m)	Pu (ton/m <sup>2</sup> )
0	0
1	22.72
2	19.8
3	33.3
4	48.24



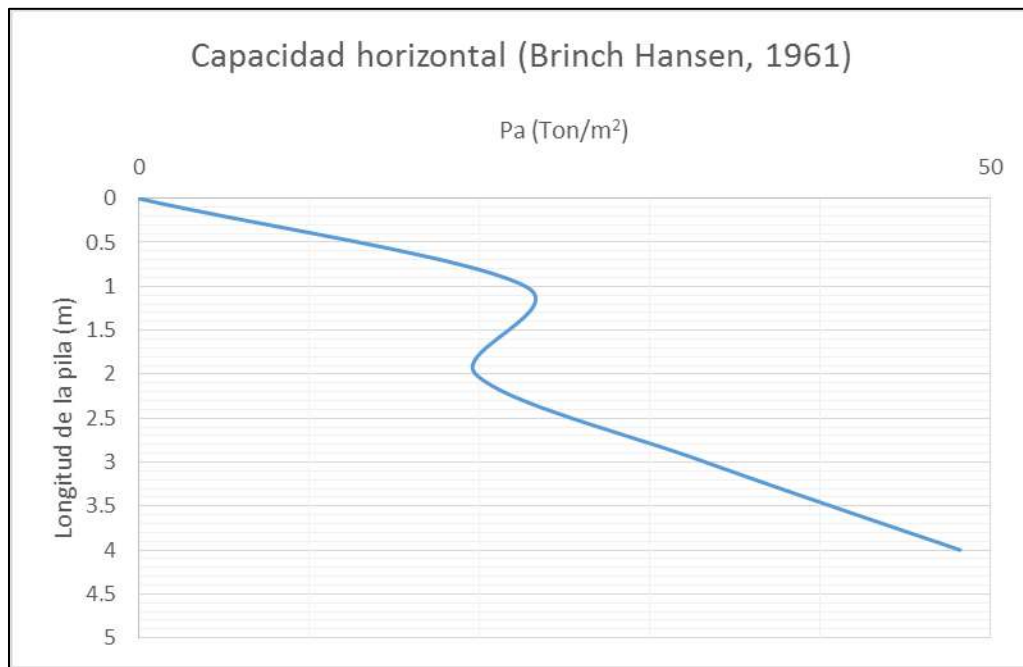
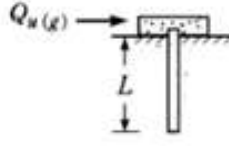


Figura 131. Capacidad lateral.

**Tabla 40.** capacidad a carga lateral de las pilas y deformación.

CAPACIDAD DE CARGA LATERAL PILOTES INDIVIDUALES			
Método de Broms			
$\gamma$ (KN/m <sup>3</sup> )	16.00		Restringido
Cu (KN/m <sup>2</sup> )	0.00		
$\phi$ (°)	40.00		
Kp	4.60		
Lado D (m)	1.00		
L (m)	4.00		
e (m)	0.00		
Ep (KN/m <sup>2</sup> )	17872045.21		
Ip (m <sup>4</sup> )	0.08333		
Fy (KN/m <sup>2</sup> )	21000.00		
Es (KN/m <sup>2</sup> )	16350.00	0.01	Rigido
L4 (m <sup>4</sup> )	256.00		
Kr	0.35582		
e/D	0.00		
e/L	0.00		
L/D	4.00		
$Q_u(g)/K_p \cdot \gamma \cdot D^2$	30.00		
$Q_u(g)/K_p C_u \cdot D^2$			
$Q_u(g)$ (KN)	2207.48		
<b>Qg (KN)</b>	<b>1103.74</b>		
S (m <sup>3</sup> )	0.16667	< My	OK
My (KN-m)	3500.00		
<b>Mmax (KN-m)</b>	<b>2154.39</b>		
$\beta$	0.22888		
K	16350.00		
$\beta \cdot L$	0.92		
$(X_z(z=0))KDL/Q_g$	1.00		
$X_z(z=0)$ (mm)	31.65		

La siguiente tabla muestra el módulo de reacción vertical en la base de la pila y las deformaciones:

**Tabla 41.** Reacción vertical en la base de la pila y las deformaciones

MURO QUEBRADA ANA DÍAZ						
Verificación del suelo Según CCP-14						
Estado límite de Servicio						
Limite	Factores	Metodología				
Asentamientos	1					
Movimientos horizontales	1					
Estabilidad global	1					
Socavación	1					
Estado límite de Resistencia						
Carga axial de compresión individual Fuste	0.55	Metodo B				
Carga axial de compresión individual Punta	0.5	Metodo O'Neill and Reese				
Carga axial de compresión Grupo						
Carga de levantamiento Individual	0.45	Metodo B				
Carga de levantamiento Grupo	0.45	Arena y Arcilla				
Resistencia lateral del pilote o grupo	1					
Evento Extremo						
Licuefacción	No Aplica					
Compresion y carga lateral	1					
Levantamiento	0.8					
Socavación	1					
Datos Generales del pilote						
Longitud del pilote	4	m				
Separación entre pilotes (D)	2.5 D					
Resistencia nominal de Punta	230.66	ton/m <sup>2</sup>				
Resistencia nominal lateral	1.39	ton/m <sup>2</sup>				
Resistencia Horizontal	Ver Gráfica Brinch&Hansen, 1961					
Módulo de reacción Vertical en la base (ton)	Diametro	1	1.1	1.2		
	Kv	12,140	12,140	12,140		
	Diametro	1.3	1.4	1.5		
	Kv	12,814	12,814	12,814		
	Diametro	1.6				
	Kv	10,532				
Socavación Estimada	1.78	m				
Diseño de estados límites						
Estado límite de Servicio (Valores en toneladas)						
Diametro	Peso pilote	Fuste	Punta	Total	Deformación Hztal (mm)	Asentamientos (mm)
1	7.5	6.5	181.2	187.7	50.3	19.0
1.1	9.1	6.7	219.2	225.9	18.0	19.0
1.2	10.9	6.8	260.9	267.7	19.1	19.0
1.3	12.7	6.8	306.2	312.9	19.4	18.0
1.4	14.8	6.7	355.1	361.8	20.8	18.0
1.5	17.0	6.5	407.6	414.1	22.2	18.0
1.6	19.3	6.3	463.8	470.0	23.5	21.9
18						
Diametro	Fuste	Punta	Total	Levantamiento	Capacidad lateral	
1	3.6	90.6	94.2	10.5	Ver Gráfica Brinch&Hansen, 1961	
1.1	3.7	109.6	113.3	12.1		
1.2	3.7	130.4	134.2	13.9		
1.3	3.7	153.1	156.8	15.8		
1.4	3.7	177.5	181.2	17.8		
1.5	3.6	203.8	207.4	19.9		
1.6	3.4	231.9	235.3	22.1		
Evento extremo incluyendo socavación (Valores en toneladas)						
Diametro	Fuste	Punta	Carga axial	Levantamiento	Capacidad lateral	
1	5.3	181.2	186.5	11.8	Ver Gráfica Brinch&Hansen, 1961	
1.1	5.4	219.2	224.6	13.4		
1.2	5.3	260.9	266.2	15.1		
1.3	5.2	306.2	311.4	16.9		
1.4	5.0	355.1	360.1	18.8		
1.5	4.7	407.6	412.3	20.7		
1.6	4.3	463.8	468.1	22.8		



## 13.3 RECOMENDACIONES VULNERABILIDAD.

### 13.3.1 Servicios públicos domiciliarios

Consolidar la construcción de redes locales de acueducto, redes locales de alcantarillado de aguas servidas y lluvias en todo el polígono.

En el polígono estudiado se localizan 58 construcciones que presentan operador de acueducto no formalizado (comunal o conexiones erradas), para las cuales, se recomienda tramitar la conexión y legalización de este sistema ante la entidad prestadora del servicio, EPM. Igualmente 124 edificaciones presentan como tipo de descarga en talud y sistema no convencional, por lo tanto, se recomienda la conexión de dichos predios a la red de alcantarillado existente.

Finalmente, se localizan 318 construcciones que no cuentan con sistema de recolección de aguas lluvia, arrojando libremente dichas aguas al terreno, lo que puede ocasionar la erosión, infiltración y humedades de las estructuras y taludes colindantes, por ende, se sugiere la adecuación de cubiertas y bajantes para la captación y conducción a la red de EPM.

### 13.3.2 Líneas vitales – energía y alumbrado público

En el polígono Ana Díaz de los 208 postes de energía con lo que cuenta esta zona, se encontraron 111 postes que presentaron algún tipo de deficiencia, sea inclinación o fisuras, por lo tanto, se recomienda el reemplazo de estos, en especial a los que se les identifica madera como material de composición.

### 13.3.3 Vías de acceso y obras de drenaje

Se deben construir cunetas, sumideros y obras transversales en vías vehiculares, andenes o senderos peatonales.

### 13.3.4 Mejoramiento saludable

Este tipo de mejoramiento consiste en implementar obras menores, que tienen como finalidad mantener el inmueble en las debidas condiciones de higiene y ornato sin afectar su estructura portante, su distribución interior, sus características funcionales, formales y/o volumétrica, para las cuales no se requerirán licencias de construcción en los términos del artículo 10 del decreto Nacional 1469 de 2010 o a las normas que lo adicionen, modifiquen o sustituyan. Se otorga para corregir:

habilitación o instalación de baños, lavadero, cocinas, redes hidráulicas y sanitarias, cubiertas parciales, pisos, enchapes, instalaciones eléctricas etc.

En el polígono Ana Díaz se identificaron 64 construcciones que representan las estructuras con tipologías (D), (C) y (B) que aplican a este tipo de mejoramiento.

### 13.3.5 Mejoramiento locativo

Mejoramiento estructural que se aplica, cuando supera una o varias deficiencias básicas perteneciente a un desarrollo legal o en proceso de legalización, para los cuales es necesario la consecución de permisos o licencias previas ante las autoridades competentes, dichas mejoras pueden consistir en: defectos de la cimentación, vigas, columnas, losas, muros, reforzamiento estructural para actualizarse a la Norma Sismo Resistente NSR-10.

La solución a las deficiencias constructivas que este tipo de mejoramiento pueden aportar serian:

- Tratamiento de grietas.
- Consolidación de ladrillos con proceso degradatorio incipiente.
- Cambio de chapas en los ladrillos con procesos degradatorios avanzados, en los cuales se haya presentado pérdida de volumen.
- Recuperación de morteros de pega.
- Mantenimiento y reposición de cubiertas, impermeabilización con productos epóxidos.
- Construcción de filtros perimetrales para recolección de aguas subterráneas
- Construcción de Sistemas de fundación y sistemas estructurales que brinden un confinamiento y otorgue estabilidad a las edificaciones, haciendo una rehabilitación sísmica o actualización a la Norma vigente, mediante un reforzamiento estructural.

Dicho tipo de mejoramiento es aplicable a 475 construcciones encontradas con tipología E, es decir, estructuras ligeras que son todas aquellas edificaciones construidas con materiales tradicionales o de baja calidad, con un sistema estructural de muros cargueros.

Adicionalmente en el polígono Ana Díaz se encontró 15 construcciones con tipología estructural “Construcciones Simple (F)”, es decir, aquellas edificaciones que no poseen una estructura definida y que generalmente son de carácter improvisado y

construidas con materiales precarios o de recuperación, a las cuales se les recomienda realizar una intervención integral, dentro de las cuales se considera la reposición.

## 13.4 OTRAS RECOMENDACIONES

- La dinámica natural de la quebrada Ana Díaz está continuamente socavando las orillas de las mismas, lo que genera movimientos en masa que en corto tiempo pueden afectar la estabilidad de las laderas y de la infraestructura que este ubicada en cercanía a ellas, por lo que es muy importantes se mantengan los retiros estipulados para cada una de las corrientes en el Acuerdo 48 de 2014.
- Algunos sectores del polígono, están incluido dentro de la categoría “Espacio público proyectado” del Acuerdo 48 de 2014, como Ecoparque quebrada Ana Díaz, se recomienda tener en cuenta los resultados de este informe al momento de desarrollar los proyectos del POT.
- En los lugares en donde se ha definido un riesgo no mitigable y se hace necesario la demolición de las viviendas existentes, se deben retirar todos los escombros resultantes de este proceso y evitar la generación en zonas bajas que son sitios propicios para la generación de agua.
- Para la construcción de viviendas nuevas, legalización de las existentes y desarrollo de obras de infraestructura, se deben realizar los estudios geotécnicos o de suelos puntuales, de conformidad con la NSR-10, y el Acuerdo Metropolitano 09 de 2012. Dichos estudios deberán ser aprobados en las curadurías urbanas.

Se recomienda realizar mantenimiento a las diferentes obras proyectadas, el cual incluye:

**Mantenimiento rutinario:** es aquel que puede realizarlo un grupo de personas no calificadas y que comprende labores básicas como limpieza de cunetas y rondas, también el retiro de escombros. Debe realizarse antes y después de una temporada invernal y cuando ocurra un evento que así lo requiera.

**Mantenimiento periódico:** es aquel que un grupo de personas calificadas para labores de reparación puede llevar a cabo. Comprende labores de reparaciones menores de estructuras de contención, sistemas de contención y de obras de



drenaje. Este mantenimiento se debe realizar con la siguiente periodicidad: dos veces al año y cuando ocurra un evento que así lo requiera.

## 14. CONCLUSIONES

- Las unidades geológicas que afloran en la zona del proyecto corresponden principalmente al saprolito del Stock de Altavista, flujos de lodos y escombros, depósitos aluviotorrenciales y a llenos antrópicos locales, la primera representa el basamento de la zona estudiada-
- La zona de estudio se caracteriza por tener una topografía dominada por rangos de pendientes muy variables, entre suave y abrupta, la mayor parte de éstas asociado a laderas de forma cóncavas y planas, longitudes cortas, que se extienden a lo largo de toda la zona.
- Para el cálculo de los caudales máximos en la quebrada Ana Díaz se aplicaron métodos de hidrógrafas unitarias sintéticas como Williams & Hann, SCS y Snyder, además del método racional. El caudal de diseño elegido fue el promedio de los obtenidos a partir de las hidrógrafas unitarias sintéticas.
- A partir del estudio hidráulico se verificó el comportamiento del flujo a través del tramo de interés de la quebrada Ana Díaz, evidenciando velocidades extremas de hasta 11,92 m/s y profundidades máximas de 3,02 m para caudal POMCA.
- En la condición actual para la quebrada Ana Díaz se evidenciaron dos estructuras con insuficiencia para el caudal de 100 años y cuatro para el caudal POMCA, correspondientes a un puente peatonal y uno vehicular para el primer caso y tres puentes peatonales y un vehicular para el segundo caso. Para la condición proyectada se realizó el predimensionamiento de estas obras teniendo en cuenta un borde libre de 50 cm.
- A pesar de presentarse el estimativo para profundidad de socavación, dichos valores deben ser contrastados con la geotecnia de detalle para cada uno de los sitios, y deberá asumirse la mayor longitud de las recomendaciones entre el concepto hidráulico y el geotécnico.
- Las viviendas localizadas dentro de la mancha de inundación y avenidas torrenciales estimada para caudal por metodología POMCA deben ser reubicadas.

- Las conclusiones y recomendaciones establecidas en el presente informe se basan en los resultados de un trabajo multidisciplinario que incluye actividades de campo y laboratorio enfocadas en evaluar las condiciones de amenaza, vulnerabilidad y riesgo particulares del polígono en estudio en condiciones actuales por lo que su vigencia es de un plazo máximo de 5 años, siempre y cuando, no se presenten cambios en las condiciones topográficas, hidráulicas o de intervención antrópica.



## 15. LIMITACIONES

- Las conclusiones y recomendaciones consignadas en este documento se basan en los resultados de las investigaciones de campo y laboratorio que se describen en los capítulos respectivos y en la experiencia de los profesionales que participaron en el estudio.
- Debe tenerse en cuenta que existen condiciones especiales en los diferentes polígonos que impidieron definir con precisión algunos aspectos fundamentales necesarios para los análisis, evaluaciones y recomendaciones requeridos en el proyecto, tales como la ocupación del territorio debido a la alta densidad de construcción, escasez de afloramientos y condiciones topográficas especiales que limitaron la accesibilidad a las zonas de afloramientos.
- Para subsanar las limitaciones mencionadas, se contó con la participación de un grupo de profesionales expertos en dichos temas quienes realizaron un amplio y detallado trabajo de campo ajustándolo de la mejor manera, con la información puntual obtenida por cada uno de ellos.
- Teniendo en cuenta lo anterior, se recomienda que previo a la ejecución de las obras se deberán realizar el levantamiento topográfico complementario y los sondeos o exploraciones necesarias para ajustar y calibrar los modelos presentados en este documento, dando cumplimiento a los requisitos mínimos establecidos en el Código Colombiano de Puentes (CCP-14) en cuanto a número y profundidad de sondeos. Lo anterior, permitirá validar las hipótesis presentadas, ajustar las mismas o realizar los cambios requeridos a nivel geotécnico y estructural.

## **16. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ALCALDIA DE MEDELLÍN. 2014. Revisión y ajuste del Plan de Ordenamiento Territorial de Medellín, Acuerdo 48 de 2014.

ALCALDÍA DE MEDELLÍN. 7 de octubre de 2015. Decreto Municipal 1626 de 2015. Gaceta oficial No. 4347

ACUERDO METROPOLITANO 09/2012. Directrices y lineamientos para la elaboración de estudios geológicos, geomorfológicos, hidrológicos, hidráulicos, hidrogeológicos y geotécnicos para intervenciones en zonas de ladera. Universidad Nacional de Colombia, Universidad EAFIT y Universidad de Medellín, Medellín.

ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ – AMVA. 2007. Microzonificación Sísmica Detallada de los Municipios de Barbosa, Girardota, Copacabana, Sabaneta, La Estrella, Caldas y Envigado.

BIENIAWSKI, Z. T. (1989). Engineering rock mass classifications: a complete manual for engineers and geologists in mining, civil, and petroleum engineering. Wiley-Interscience. pp. 40-47.

BOWLES, J.E. (1988)- Foundation Analysis and Design.- 4rd. Ed. - 1004 pp.- McGraw-Hill Book Co

BRAJA M. DAS, 1983.“Fundamentos de ingeniería de cimentaciones”, Thomson Learning.

BRINCH-HANSEN, J., (1961), “The Ultimate Resistance of Rigid Piles Against Transversal Forces,” Bulletin No. 12, Geoteknisk Institut (The Danish Geotechnical Institute), Copenhagen, pp. 5-9

Broms, B. B. (1965), Design of Laterally Loaded Piles, Journal of SMFED, ASCE, No. SM3, pp. 79-99

CARDINALI, M., REICHENBACH, P., GUZZETTI, F., ARDIZZONE, F., ANTONINI, G., GALLI, M., CACCIANO, M. 2002. A geomorphological approach to the estimation of landslide hazards and risks in Umbria, Central Italy. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2(1/2), 57–72.

- CHOW, V. T.; MAIDMENT, D. R., MAYS, L. W. 1994. Hidrología aplicada. Bogotá, McGraw-Hill, 583 p.
- CORREA, A.; MARTENS, U.; RESTREPO, J.J.; ORDÓÑEZ – CARMONA, O.; PIMENTEL, M. 2005. Subdivisión de las metamorfitas básicas de los alrededores de Medellín – cordillera Central de Colombia. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 29 (112), pp. 325-344.
- DEERE, D.U., PATTON F.D. 1971. Slope stability in residual soils. En Proc., Fourth Pan American Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Puerto Rico. Vol. 1, Pág. 87-170.
- DU, J., YIN, K., LACASSE, S. Y NADIM, F. 2013. Quantitative vulnerability estimation of structures for individual landslide: application on the metropolitan area of San Salvador. Electronic Journal of Geotechnical Engineering, 19, 1251-1264.
- EPM. 2005. Revista Hidrometeorológica. Medellín.
- EMPRESA DE DESARROLLO URBANO - EDU. 2014. Estudios y diseños hidrológicos, hidráulicos y estructurales de los cauces influenciados por los proyectos del piloto Cinturón Verde Metropolitano – desde Llanaditas hasta Carpinelo, en la ciudad de Medellín.
- FELL, R.; HARTFORD, D. 1997. Landslide risk management, in Landslide Risk Assessment, Cruden and Fell (eds.) Balkema, Rotterdam: 51- 109.
- FLÓREZ A. M. 2016. Gestión del riesgo y desastres en el municipio de Medellín, lecciones aprendidas. 327 p.
- GONZÁLEZ, H.; LONDOÑO, A. 2002. Catálogo de las unidades litoestratigráficas de Colombia. Diorita de Altavista (Stock de Altavista) (K1da) Cordillera Central Departamento de Antioquia. Comisión Estratigráfica de Ingeominas. 22 p.
- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS (Invías) (octubre de 2006a). Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 058703. Manual para la inspección visual de pavimentos flexibles. Bogotá: Invías-UNAL.



- INSTITUTO NACIONAL DE VÍAS (Invías) (octubre de 2006b). Estudio e investigación del estado actual de las obras de la red nacional de carreteras. Convenio interadministrativo 058703. Manual para la inspección visual de pavimentos rígidos. Invías-UNAL.
- LI, Z., NADIM, F., HUANG, H., UZIELLI, M. Y LACASSE, S. 2010. Quantitative vulnerability estimation for scenario-based landslide hazards. Landslides, 7(2), 125-134.
- MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL - MAVDT. 2010. NSR-10, Norma Sismo Resistente, R. C. D. C. S. 2010. Bogotá.
- MINISTERIO DE VIVIENDA, CIUDAD Y TERRITORIO. 26 de Mayo de 2015. Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio. Decreto Número 1077 de 2015
- O'NEILL, M.W., & REESE, L.C. (1999). "Drilled Shafts: Construction Procedures and Design Methods.
- ORDOÑEZ, ET AL. 2005. Generalidades del sistema de fallas de Romeral en las cercanías a Medellín
- POSADA, L. 1994. Transporte de Sedimentos. Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- SECRETARÍA DEL MEDIO AMBIENTE Y ÁREA METROPOLITANA DEL VALLE DE ABURRÁ. 2006. Plan de ordenación y manejo (PIOM) de las microcuencas de las quebradas La Rosa y La Bermejala. Municipio de Medellín.
- SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO –SGC. 2015. Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Bogotá, D.C. 179 p.
- SMITH, R. & VÉLEZ, M.V. 1997. Hidrología de Antioquia. Medellín. Secretaria de Obras Públicas del Municipio de Medellín y Universidad Nacional de Colombia.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, CORANTIOQUIA, INSTITUTO MÍ RÍO  
2003. Metodología para la formulación de Planes Integrales de Ordenamiento  
y Manejo de Cuencas (PIOM)

UNALMED. 2006. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá.  
Medellín.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA - UNALMED, AMVA, CORANTIOQUIA  
y CORNARE. 2007. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca (POMCA)  
del Río Aburrá.

U.S Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center. 2016. HEC-RAS  
River Analysis System, Hydraulic Reference Manual.