

ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZA DEL MUNICIPIO DE CIUDAD BOLÍVAR ANTIOQUIA



MARCO FIDEL GAMBOA RAMÍREZ

INGENIERO GEÓLOGO

DICIEMBRE DE 2015

**ESTUDIOS BÁSICOS DE AMENAZA DEL MUNICIPIO DE CIUDAD BOLÍVAR,
ANTIOQUIA**

INFORME FINAL

Equipo de Trabajo:

INGENIERO GEÓLOGO

MARCO FIDEL GAMBOA RAMÍREZ

GEÓLOGAS

LUISA FERNANDA LÓPEZ RIVERA

ANA MARIA PEREZ

INGENIERO CIVIL

JUAN DAVID FRANCO VELÁSQUEZ

DICIEMBRE DE 2015

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1 INTRODUCCION	28
2 LOCALIZACION DE AREA DE ESTUDIO.....	29
3 CARACTERISTICAS GENERALES DEL MUNICIPIO	30
3.1 GEOLOGÍA REGIONAL.....	30
3.2 Geología estructural.....	33
3.3 GEOMORFOLOGIA REGIONAL	34
4 SUELO RURAL.....	37
4.1 GEOLOGÍA LOCAL Y FORMACIONES SUPERFICIALES	37
4.2 GEOMORFOLOGÍA.....	53
4.2.1 Cañón del Río Cauca – San Juan (C1).....	55
4.2.1.1 Vertientes altas de la margen oeste (VAO)	55
4.2.1.2 Vertientes medias de la margen oeste (VMO).....	65
4.2.1.3 Vertientes bajas de la margen oeste (VMO).....	74
4.2.1.4 Fondo (F)	80
4.3 VARIABLES MORFOMÉTRICAS	81
4.3.1 Pendientes	81
4.3.2 Rugosidad	83
4.3.3 Relieve relativo.....	85
4.4 PROCESOS MORFODINÁMICOS	86

4.5	COBERTURAS	92
4.5.1	Profundidad efectiva	93
4.6	ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR MOVIMIENTOS EN MASA	97
4.6.1	Susceptibilidad	97
4.6.2	Detonante lluvia	99
4.6.2.1	Información Disponible	100
4.6.2.2	Análisis de Frecuencia	103
4.6.2.3	Procedimiento de Cálculo	107
4.6.2.4	Estimación de Mapas de Precipitación Máxima de 24 Horas ...	109
4.6.3	Detonante sísmico	115
4.6.3.1	Cobertura del Detonante Sismo	116
4.6.3.2	Mapa del Detonante Sismo para el Municipio de Ciudad Bolívar 117	
4.6.4	Zonificación de amenaza por movimientos en masa	118
4.6.4.1	Amenaza alta	120
4.6.4.2	Amenaza media	121
4.6.4.3	Amenaza baja	122
4.7	ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES ...	122
5	SUELO URBANO CIUDAD BOLÍVAR	126
5.1	GEOLOGÍA Y FORMACIONES SUPERFICIALES	126
5.2	GEOMORFOLOGÍA	135
5.2.1	Planicies aluviales (C1-F-Fpa)	136

5.2.1.1	Plano aluvio - torrencial (C1-F-Fpa-fpat)	136
5.2.2	Espolón festonado (C1-VAO-Sefes)	139
5.2.2.1	Bajo de laderas cortas irregulares y topes subredondeados (C1-VOE-Sefes-bcis).....	139
5.2.2.2	Bajo de laderas cortas convexas y topes agudos (C1-VAO-Sefes-bccxa)	140
5.2.2.3	Moderado de laderas moderadas irregulares y topes subredondeados (C1-VAO-Sefes-mmis)	141
5.2.3	Espolón facetado (C1-VAO-Sefc)	142
5.2.3.1	Bajo de laderas cortas rectas y topes agudos (C1-VAO-Sefes-bcra)	142
5.2.3.2	Bajo de laderas cortas irregulares y topes agudos (C1-VAO-Sefes-bcia)	143
5.2.4	Siera y lomo de presión (C1-VOE-Sslp).....	144
5.2.4.1	Moderado de laderas cortas rectas y tope subredondeado (C1-VAO-Sslp-mcrs)	144
5.2.4.2	Moderado de laderas moderadas irregulares y tope agudo (C1-VOE-Sslp-mmia)	145
5.3	PENDIENTES.....	146
5.4	PROCESOS MORFODINÁMICOS	148
5.5	ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR MOVIMIENTOS EN MASA	152
5.5.1	Amenaza Alta	154
5.5.2	Amenaza Media.....	154
5.5.3	Amenaza Baja	155
5.6	AMENAZA POR INUNDACIONES.....	156

5.6.1	Hidrología	156
5.6.1.1	Cálculo de Caudales Máximos	159
5.6.1.2	Procesamiento del modelo del terreno y morfometría	159
5.6.1.3	Información Básica.....	166
5.6.1.4	Intensidad de diseño y magnitud de la precipitación para los diferentes periodos de retorno.....	172
5.6.1.5	Distribución temporal de la precipitación	175
5.6.1.6	Pérdidas hidrológicas.....	176
5.6.1.7	Hidrogramas Sintéticos	185
5.6.1.8	Resutados de los caudales máximos estimados	187
5.6.2	Hidráulica	195
5.6.2.1	Ciudad Bolívar	196
5.6.3	Condiciones geomorfológicas.....	225
5.6.4	Zonificación de amenaza por inundaciones	225
5.7	ZONAS CON CONDICIÓN DE RIESGO.....	227
5.8	ZONAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA	230
6	CENTRO POBLADO ALFONSO LÓPEZ	232
6.1	GEOLOGÍA Y FORMACIONES SUPERFICIALES	232
6.2	GEOMORFOLOGÍA.....	233
6.2.1	Espolón festonado (C1-VBE-Sefes).....	234
6.2.1.1	Bajo de laderas cortas cóncavas y topes subredondeados (C1-VBE-Sefes-bccvs)	234
6.2.2	Espolón (C1-VBE-Ses)	236

6.2.2.1	Moderado de laderas moderadas rectas y topes subredondeados (C1-VBE-Sefes-bccvs)	236
6.3	PROCESOS MORFODINÁMICOS	237
6.4	ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR MOVIMIENTOS EN MASA	238
6.4.1	Amenaza Media.....	239
6.4.2	Amenaza Baja	239
6.5	ZONAS CON CONDICIÓN DE RIESGO.....	239
7	CENTRO POBLADO SAN BERNARDO DE LOS FARALLONES	242
7.1	GEOLOGÍA Y FORMACIONES SUPERFICIALES	242
7.2	GEOMORFOLOGÍA.....	244
7.2.1	Planicies aluviales (C1-F-Fpa).....	245
7.2.1.1	Plano aluvio - torrencial (C1-F-Fpa-fpat)	245
7.3	PROCESOS MORFODINÁMICOS	246
7.4	AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES	247
7.4.1	Reconocimiento de Campo.....	247
7.4.2	Información Básica	248
7.4.3	Diagnóstico de crecientes.....	249
7.5	ZONAS CON CONDICIÓN DE RIESGO.....	258
8	CONCLUSIONES	260
9	MEDIDAS E INTERVENCIONES.....	263
9.1	EN EL SUELO URBANO DE LA CABECERA MUNICIPAL	263
9.2	EN EL CENTRO POBLADO ALFONSO LÓPEZ.....	267

9.3	EN EL CENTRO POBLADO SAN BERNARDO DE LOS FARALLONES	
	268	
9.4	EN EL SUELO RURAL	269
10	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	272

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tabla de unidades de relieve y macrounidades para el Municipio de Ciudad Bolívar.	54
Tabla 2. Subunidad de la unidad escarpe de línea de falla	55
Tabla 3. Subunidad de la unidad escarpe de línea de falla	56
Tabla 4. Subunidades de la unidad espolón	56
Tabla 5. Subunidades de la unidad de espolón facetado	58
Tabla 6. Subunidades de la unidad de espolón festoneado	60
Tabla 7. Subunidad de la unidad de ladera estructural	61
Tabla 8. Subunidades de la unidad de lomo de falla.....	62
Tabla 9. Subunidad de la unidad de planicies aluviales	63
Tabla 10. Subunidades de la unidad de sierras y lomos de presión.....	64
Tabla 11. Subunidad de la unidad de cono o lóbulo	65
Tabla 12. Subunidad de la unidad escarpe de línea de falla	66
Tabla 13. Subunidad de la unidad escarpe de línea de falla	66
Tabla 14. Subunidades de la unidad espolón	67
Tabla 15. Subunidad de la unidad de espolón facetado.....	68
Tabla 16. Subunidades de la unidad de espolón festoneado	69
Tabla 17. Subunidades de la unidad de gancho de flexión	70
Tabla 18. Subunidad de la unidad de ladera estructural	71
Tabla 19. Subunidades de la unidad abanico fluvio - torrencial	72

Tabla 20. Subunidades de la unidad de sierras y lomos de presión.....	73
Tabla 21. Subunidad de la unidad escarpe de línea de falla	74
Tabla 22. Subunidades de la unidad espolón	74
Tabla 23. Subunidades de la unidad de espolón facetado	76
Tabla 24. Subunidades de la unidad de espolón festoneado	77
Tabla 25. Subunidad de la unidad de gancho de flexión	78
Tabla 26. Subunidad de la unidad de ladera estructural	79
Tabla 27. Subunidad de la unidad de lomo de falla	79
Tabla 28. Subunidad de la unidad de sierras y lomos de presión	80
Tabla 29. Subunidades de la unidad de planicies aluviales	80
Tabla 30. Distribución de la variable pendientes para el Municipio de Ciudad Bolívar.....	82
Tabla 31. Distribución de la variable rugosidad para el Municipio de Ciudad Bolívar	84
Tabla 32. Distribución de la variable relieve relativo para el Municipio de Ciudad Bolívar.....	85
Tabla 33. Categorización de la variable profundidad efectiva.	93
Tabla 34. Datos de profundidad efectiva para diferentes coberturas de la tierra. .	94
Tabla 35. Profundidad efectiva de las coberturas presentes en el municipio de Ciudad Bolívar	96
Tabla 36. Distribución de la susceptibilidad por movimientos en masa para el Municipio de Ciudad Bolívar.....	99
Tabla 37. Estaciones disponibles en la zona de estudio.	100
Tabla 38. Estaciones IDEAM y valor de precipitación máxima en 24 horas para cada periodo de retorno.	109

Tabla 39. Parámetros para la construcción de semivariogramas.....	112
Tabla 40. Calificación de los valores de PGA de menor a mayor grado de contribución de la amenaza sísmica a su contribución a los movimientos en masa (Tomado de SGC, 2013).....	116
Tabla 41. Amenaza por movimientos en masa en el municipio de Ciudad Bolívar	120
Tabla 42. Formas asociadas a la subunidad de plano aluvio - torrencial	136
Tabla 43. Formas asociadas a la subunidad de espolón festoneado bajo de laderas cortas irregulares y topes subredondeados	139
Tabla 44. Formas asociadas a la subunidad de espolón festoneado bajo de laderas cortas convexas y topes agudos.....	140
Tabla 45. Formas asociadas a la subunidad de espolón festoneado moderado de laderas moderadas irregulares y topes subredondeados	141
Tabla 46. Formas asociadas a la subunidad de espolón facetado bajo de laderas cortas rectas y topes agudos	142
Tabla 47. Formas asociadas a la subunidad de espolón facetado bajo de laderas cortas irregulares y topes agudos	143
Tabla 48. Formas asociadas a la subunidad de sierra y lomo de presión moderadas de laderas cortas, rectas y tope subredondeado	144
Tabla 49. Formas asociadas a la subunidad de sierra y lomo de presión moderadas de laderas moderadas, irregulares y tope agudo.....	145
Tabla 50. Distribución de la variable pendientes para la cabecera urbana del Municipio de Ciudad Bolívar.....	147
Tabla 51. Amenaza por movimientos en masa en la cabecera municipal de Ciudad Bolívar.....	153
Tabla 52. Características principales de la estación pluviográfica Las Mercedes.	159
Tabla 53. Parámetros morfométricos para las diferentes cuencas de estudio. ..	165

Tabla 54. Tiempos de concentración estimados para la cuenca Las cuencas de análisis.....	167
Tabla 55. Intensidad y precipitación de diseño para diferentes periodos de retorno.....	174
Tabla 56. Distribución temporal de la lluvia de diseño en la cuenca de estudio.	175
Tabla 57. Cálculo del número de curva CN de la quebrada Los Monos.....	177
Tabla 58. Cálculo del número de curva cn del río Bolívar Arriba.....	178
Tabla 59. Cálculo del número de curva CN de la quebrada Manzanillo.....	179
Tabla 60. Cálculo del número de curva CN de la quebrada Carmina.....	180
Tabla 61. Cálculo del número de curva CN de la quebrada La Linda.	181
Tabla 62. Cálculo del número de curva CN de la quebrada La Cascada.	182
Tabla 63. Cálculo del número de curva CN de la quebrada San Pedro.	183
Tabla 64. Cálculo del número de curva CN para el punto de control de la cuenca Farallones.	184
Tabla 65. Coeficientes de escorrentía estimados para las cuencas de estudio.	187
Tabla 66. Caudales máximos (m^3/s) estimados en la quebrada Los Monos.	187
Tabla 67. Caudales máximos (m^3/s) estimados en el río Bolívar Arriba.	188
Tabla 68. Caudales máximos (m^3/s) estimados en la quebrada Manzanillo.....	189
Tabla 69. Caudales máximos (m^3/s) estimados en la quebrada Carmina.	190
Tabla 70. Caudales máximos (m^3/s) estimados en el punto de control quebrada La Linda.	191
Tabla 71. Caudales máximos (m^3/s) estimados en el punto de control quebrada La Cascada.....	192
Tabla 72. Caudales máximos (m^3/s) estimados en el punto de control quebrada San Pedro.....	193

Tabla 73. Caudales máximos (m^3/s) estimados en el punto de control de la cuenca Farallones.	194
Tabla 74. Caudales usados en la modelación hidráulica (POMCA).	205
Tabla 75. Cálculo de la rugosidad método de Cowan (Chow, 1994), en cada una de las corrientes.	207
Tabla 76. Resumen parámetros de entrada al modelo hidráulico.	208
Tabla 77. Puntos de afectación por inundación.	224
Tabla 78. Formas asociadas a la subunidad de espolón festoneado bajo de laderas cortas cóncavas y topes subredondeados.	235
Tabla 79. Formas asociadas a la subunidad de espolón moderado de laderas moderadas rectas y topes subredondeados.	236
Tabla 80. Amenaza por movimientos en masa en el centro poblado de Alfonso López.	238
Tabla 81. Formas asociadas a la subunidad de plano aluvio – torrencial en el corregimiento de San Bernardo de Farallones.	245
Tabla 82. Caudales usados en la modelación hidráulica.	249
Tabla 83. Cálculo de la rugosidad método de Cowan (Chow, 1994), en cada una de las corrientes.	250
Tabla 84. Resumen parámetros de entrada al modelo hidráulico.	251

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Localización del municipio de Ciudad Bolívar.....	29
Figura 2. Mapa geológico regional del municipio de Ciudad Bolívar.....	31
Figura 3. Mapa geomorfológico regional de la zona de estudio. (Corantioquia et al., 2002).....	34
Figura 4. Perfil Oeste-Este al norte del municipio, en dónde se observan las unidades geomorfológicas de filos de topes agudos en dirección norte – sur (C1-VAOfans), diferenciados por las macrounidades de vertientes altas y bajas del margen oeste.....	35
Figura 5. Perfil Oeste- Este al sur del municipio, se observan los contrastes entre las macrounidades de vertientes altas, medias y bajas del margen oeste, además de la superficie de depositación de baja inclinación del río Bolívar en cercanías con el río Farallones.....	36
Figura 6. Mapa geológico local y de formaciones superficiales en el suelo rural. 37	
Figura 7. Mapa de unidades geomorfológicas del municipio de Ciudad Bolívar. . 54	
Figura 8. Mapa de variable pendientes para el suelo rural del Municipio de Ciudad Bolívar.....	83
Figura 9. Mapa de variable rugosidad para el suelo rural del Municipio de Ciudad Bolívar.....	84
Figura 10. Mapa de variable relieve relativo para el suelo rural del Municipio de Ciudad Bolívar	86
Figura 11. Mapa de procesos morfodinámicos para el suelo rural del Municipio de Ciudad Bolívar	87
Figura 12. Mapa de coberturas vegetales para el suelo rural del Municipio de Ciudad Bolívar	92
Figura 13. Mapa de profundidad efectiva para el Municipio de Ciudad Bolívar....	96

Figura 14. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa para el Municipio de Ciudad Bolívar	99
Figura 15. Localización general de las estaciones hidroclimatológicas disponibles en la zona de interés.	104
Figura 16. Estaciones para determinar el detonante de lluvia.	108
Figura 17. Semivariogramas teóricos utilizados en la generación de campos de precipitación máxima en 24 horas, norte de Antioquia.	113
Figura 18. Mapas de precipitación máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno	115
Figura 19. Mapa del detonante sismo el municipio de Ciudad Bolívar	117
Figura 20. Metodología para obtener la amenaza por movimientos en masa	119
Figura 21. Relación del porcentaje de movimientos en masa con respecto al área acumulada.	119
Figura 22. Mapa de amenaza por movimientos en masa del municipio de Ciudad Bolívar.....	120
Figura 23. Mapa de amenazas por avenidas torrenciales en el suelo rural de Ciudad Bolívar.	124
Figura 24. Mapa geológico local y de formaciones superficiales de la cabecera municipal.....	126
Figura 25. Mapa geomorfológico, cabecera urbana Ciudad Bolívar.	136
Figura 26. Mapa de variable pendientes para el suelo urbano del Municipio de Ciudad Bolívar.	146
Figura 27. Mapa de amenaza por movimientos en masa de la cabecera municipal de Ciudad Bolívar.	154
Figura 28. Corrientes que discurren a través del municipio Ciudad Bolívar.	157
Figura 29. Corrientes que discurren a través de San Bernardo de los Farallones.	158

Figura 30. Modelo digital del terreno de la quebrada Los Monos.....	160
Figura 31. Modelo digital del terreno de la quebrada Bolívar Arriba	161
Figura 32. Modelo digital del terreno de la quebrada Manzanillo.	161
Figura 33. Modelo digital del terreno de la quebrada Carmina.	162
Figura 34. Modelo digital del terreno de la quebrada La Linda en el punto de control.	162
Figura 35. Modelo digital del terreno de la quebrada La Cascada.	163
Figura 36. Modelo digital del terreno de la quebrada San Pedro.	163
Figura 37. Modelo digital del terreno de la Cuenca Farallones.	164
Figura 38. Tiempos de concentración: a) Quebrada Los Monos y b) Río Bolívar Arriba	168
Figura 39. Tiempos de concentración: a) Quebrada Manzanillo y b) Quebrada Carmina	169
Figura 40. Tiempos de concentración en la Quebrada La Linda.....	170
Figura 41. Tiempos de concentración: a) Quebrada La Cascada y b) Quebrada San Pedro.....	171
Figura 42. Tiempos de concentración en la Cuenca Farallones	172
Figura 43. Curvas IDF para la estación Las Mercedes.	173
Figura 44. Distribución temporal para precipitaciones puntuales en el primer cuartil.	175
Figura 45. Usos del suelo para la cuenca de la quebrada Los Monos.	177
Figura 46. Usos del suelo para la cuenca del río Bolívar arriba.	178
Figura 47. Usos del suelo para la cuenca de la quebrada manzanillo.	179
Figura 48. Usos del suelo para la cuenca de la quebrada Carmina.	180

Figura 49. Usos del suelo para el punto de control de la cuenca Quebrada La Linda.....	181
Figura 50. Usos del suelo para la cuenca de la quebrada La Cascada.	182
Figura 51. Usos del suelo para la cuenca de la quebrada San Pedro.	183
Figura 52. Usos del suelo para el punto de control de la cuenca Farallones.	184
Figura 53. Caudales máximos estimados en la quebrada Los Monos.	188
Figura 54. Caudales máximos estimados para el río Bolívar Arriba.....	189
Figura 55. Caudales máximos estimados en la quebrada Manzanillo.	190
Figura 56. Caudales máximos estimados en la quebrada Carmina.	191
Figura 57. Caudales máximos estimados en la quebrada La Linda.....	192
Figura 58. Caudales máximos estimados en la quebrada La Cascada.	193
Figura 59. Caudales máximos estimados en la quebrada San Pedro.....	194
Figura 60. Caudales máximos estimados en el punto de control de la cuenca Farallones.	195
Figura 61. Corrientes que discurren a través del municipio Ciudad Bolívar.	196
Figura 62. Esquema del tramo y secciones transversales, Quebradas La Carmina, Manzanillo y quebrada La Linda (aguas abajo).	203
Figura 63. Esquema del tramo y secciones transversales, Quebradas La Linda (zona media) y los Monos.	204
Figura 64. Esquema del tramo y las secciones transversales, Quebradas La Linda y Río Bolívar Arriba.....	204
Figura 65. Lámina de agua para TR 2.33 en las corrientes estudiadas.	210
Figura 66. Secciones transversales en puentes existentes, quebrada Los Monos	212
Figura 67. Perfil del flujo en el tramo de la quebrada Los Monos.	212

Figura 68. Secciones transversales en puentes, quebrada Manzanillo	214
Figura 69. Secciones transversales cobertura, quebrada El Manzanillo.	215
Figura 70. Perfil del flujo en el tramo de la quebrada El Manzanillo.....	215
Figura 71. Secciones transversales en puente, quebrada Carmina.....	216
Figura 72. Secciones transversales en cobertura, quebrada Carmina.....	217
Figura 73. Perfil del flujo en el tramo de la quebrada Carmina.	217
Figura 74. Secciones transversales en puentes existentes, quebrada La Linda.	220
Figura 75. Perfil del flujo en el tramo de la quebrada La Linda.	220
Figura 76. Secciones transversales en puente, río Bolívar Arriba.....	221
Figura 77. Perfil del flujo en el tramo del río Bolívar Arriba.	222
Figura 78. Mancha de inundación para TR POMCA, Quebradas La Carmina, Manzanillo y La Linda (aguas abajo).....	223
Figura 79. Mancha de inundación para TR POMCA, Quebradas La Linda (zona media) y Los Monos.....	223
Figura 80. Mancha de inundación para TR POMCA, Quebradas La Linda y Río Bolívar Arriba.	224
Figura 81. Mapa de amenaza por avenidas torrenciales en la cabecera municipal de Ciudad Bolívar	226
Figura 82. Mapa de zonas con condición de riesgo en la cabecera municipal de Ciudad Bolívar.	230
Figura 83. Mapa de zonas con condición de amenaza en la cabecera municipal de Ciudad Bolívar.	231
Figura 84. Mapa geológico local del centro poblado Alfonso López.	232
Figura 85. Mapa geomorfológico centro poblado de Alfonso López	234

Figura 86. Mapa de amenaza por movimientos en masa en el centro poblado de Alfonso López	238
Figura 87. Mapa de amenaza de zonas con condición de riesgo en el centro poblado de Alfonso López.....	241
Figura 88. Mapa geológico local del centro poblado San Bernardo de Los Farallones.....	242
Figura 89. Mapa geomorfológico centro poblado de San Bernardo de Farallones	245
Figura 90. Esquema del tramo y secciones transversales, Quebradas (Aguas arriba y Farallones) La Cascada y San Pedro.....	248
Figura 91. Lámina de agua para TR 2.33 en las corrientes estudiadas.....	252
Figura 92. Perfil del flujo en el tramo de la quebrada La Cascada.....	253
Figura 93. Secciones transversales en puente, quebrada La Cascada (Aguas Abajo).....	254
Figura 94. Perfil del flujo en el tramo de la quebrada La Cascada (Aguas Abajo).....	255
Figura 95. Perfil del flujo en el tramo de la quebrada San Pedro.....	256
Figura 96. Mancha de inundación para TR POMCA, Quebradas La Cascada (Aguas arriba y Farallones) y San Pedro.....	256
Figura 97. Mapa de amenaza por avenidas torrenciales en el centro poblado de San Bernardo de Farallones.....	258
Figura 98. Mapa de zonas con condición de riesgo en el centro poblado de San Bernardo de Farallones.....	259

LISTADO DE FOTOS

Foto 1. Afloramientos de la Formación Penderisco – Miembro Urrao, en la vía que conduce al centro poblado Alfonso López.	38
Foto 2. Afloramientos de la Formación Penderisco – Miembro Urrao, en la vía que conduce a la cabecera municipal por la vereda La Carmina.	39
Foto 3. Afloramientos de la Formación Penderisco – Miembro Urrao, en la vía hacia el municipio de Betania.	40
Foto 4. Afloramientos de la Formación Penderisco – Miembro Urrao, en la vía principal de ingreso al municipio.	40
Foto 5. Afloramientos de la Formación Penderisco – Miembro Urrao, en la vía hacia el alto de los Jaramillo.	41
Foto 6. Afloramientos de la Formación Penderisco – Miembro Urrao, en la vía hacia el alto de los Jaramillo.	42
Foto 7. Afloramientos de la Formación Barroso, en la vía hacia el Carmen de Atrato, zona limítrofe del municipio.	43
Foto 8. Afloramientos de los materiales superficiales de la Formación Barroso, en la vía hacia el Carmen de Atrato.	44
Foto 9. Características del Batolito de Farallones, en cercanías al centro poblado San Bernardo de los Farallones.	45
Foto 10. Bloques del Batolito de los Farallones en la quebrada La Arboleda (Izq.) y en las afueras del centro poblado San Bernardo de Los Farallones (Der.).....	46
Foto 11. Depósitos de vertiente en las partidas hacia el centro poblado Villa Alegría.	46
Foto 12. Depósitos de vertiente en la vía hacia el alto de los Jaramillo.	47
Foto 13. Depósitos de vertiente en la vía hacia La Angostura, en la margen izquierda de la quebrada con el mismo nombre.	48
Foto 14. Depósitos de vertiente en la vía hacia Bolívar Arriba.	48

Foto 15. Depósitos fluviotorrenciales antiguos del río Farallones (Izq.) en la vía que conduce a los centros poblados Villa Alegría y San Bernardo de Los Farallones, que contrastan con los depósitos más recientes de la quebrada La Arboleda en la vía hacia el centro poblado Villa Alegría (Der.)	49
Foto 16. Depósitos fluviotorrenciales en los alrededores del centro poblado San Bernardo de Los Farallones, correspondientes a una superficie de depositación más antigua y erosionada.	50
Foto 17. Depósitos fluviotorrenciales de la quebrada El Silencio, en las afueras del centro poblado San Bernardo de Los Farallones.	50
Foto 18. Depósitos fluviotorrenciales del río Farallones en las afueras del centro poblado San Bernardo de Los Farallones.	51
Foto 19. Depósitos fluviotorrenciales de la quebrada La Angostura, se observan los materiales aluviales en el canal aluvial.	51
Foto 20. Depósitos fluviotorrenciales de la quebrada La Angostura, dónde se observa un nivel de terraza a la altura de la vía de acceso a la vereda.	52
Foto 21. Depósitos fluviotorrenciales de la quebrada Cantarrana en cercanías a la cabecera municipal.	53
Foto 22. Depósitos fluviotorrenciales de la quebrada Los Monos en cercanías a la cabecera municipal.	53
Foto 23. Escarpe de línea de falla vereda La Carmina.	55
Foto 24. Escarpe faceteado en la vereda Farallones.	56
Foto 25. Espolones en los alrededores de San Bernardo de Los Farallones.	58
Foto 26. Espolón faceteado en los alrededores del centro poblado Alfonso López y en la vía a San Miguel.	59
Foto 27. Espolón festoneado en la vía al centro poblado Alfonso López en la vereda San Miguel.	61
Foto 28. Lomo de falla en la vereda Farallones.	63
Foto 29. Abanico fluvio – torrenciales en la parte alta de la quebrada Los Monos	63

Foto 30. Sierra y lomo de presión en la vereda San Miguel.	64
Foto 31. Cono o lóbulo en la vereda San Miguel.	65
Foto 32. Escarpe faceteado en la vereda Farallones, sector Ardedero.	66
Foto 33. Espolones en la vereda La Arboleda.	67
Foto 34. Espolón faceteado en la vía al centro poblado Villa Alegría, en la vereda La Arboleda.	69
Foto 35. Espolón festoneado en la vereda La Sucia.	70
Foto 36. Gancho de flexión llegando a las partidas a Villa Alegría.	71
Foto 37. Ladera estructural en la vereda Buenavista.	71
Foto 38. Planicie aluvial al norte del cauce de la quebrada La Girardot, vereda Farallones.	72
Foto 39. Sierra y lomo de presión en la vereda Farallones.	74
Foto 40. Espolón en la vereda La Hondura.	75
Foto 41. Espolón faceteado, vereda Remolino.	76
Foto 42. Espolón festoneado en la vereda San Miguel, vía a Alfonso López.	78
Foto 43. Gancho de flexión vereda San Miguel.	78
Foto 44. Lomo de falla en la vereda Remolino.	80
Foto 45. Planicie aluvial en la vereda Farallones.	81
Foto 46. Deslizamiento traslacional cerca al centro poblado de Alfonso López ...	88
Foto 47. Deslizamiento rotacional sobre vertiente occidental de Alfonso López ..	89
Foto 48. Deslizamiento traslacional en la vereda san Miguel.	89
Foto 49. Deslizamiento traslacional sobre la vía que comunica las veredas Remolino y San Miguel	90

Foto 50. Deslizamientos asociados a cortes de las vías y antiguas canteras	90
Foto 51. Deslizamientos asociados a cortes de las vías que conduce al Carmen de Atrato	91
Foto 52. Deslizamientos sector Alto de los Jaramillo	91
Foto 53. Procesos de socavación asociados al cauce de la quebrada La Angostura	92
Foto 54. Depósitos fluviotorrenciales de la quebrada La Arboleda en la zona baja del centro poblado Villa Alegría.....	125
Foto 55. Características de los suelos residuales de la Formación Penderisco – Miembro Urrao en cortes realizados en la margen derecha de la entrada principal (Der.) y en la vía hacia el cementerio (Izq.).....	127
Foto 56. Características de los suelos residuales de la Formación Penderisco – Miembro Urrao en el sector El Verdún.	128
Foto 57. Procesos morfodinámicos (Izq.) y procesos erosivos (Der.) de menor magnitud que permiten observar los suelos característicos la Formación Penderisco – Miembro Urrao en los alrededores del cementerio.	128
Foto 58. Características de los suelos residuales de la Formación Penderisco – Miembro Urrao en el sector del cristo.....	128
Foto 59. Características de los suelos residuales de la Formación Penderisco – Miembro Urrao en el barrio Chapinero.	129
Foto 60. Características de los suelos residuales de la Formación Penderisco – Miembro Urrao en la zona central del municipio, con respecto a los cambios de nivel y los contrastes con las terrazas y depósitos de la quebrada La Linda.	129
Foto 61. Depósitos de vertiente al occidente del municipio, sobre la vía principal sector El Olimpo.....	130
Foto 62. Características de los depósitos de vertiente al occidente, sectores El Alférez y El Olimpo.....	130
Foto 63. Características de los depósitos fluviotorrenciales en la zona central del municipio, en contraste con las unidades de laderas de los alrededores.	131

Foto 64. Características de los depósitos fluviotorrenciales en la zona central del municipio. Se observan distintos niveles de terrazas en cercanías a la unidad deportiva.	131
Foto 65. Características de los depósitos fluviotorrenciales antiguos al oeste del parque central.	132
Foto 66. Características de los depósitos fluviotorrenciales antiguos en la entrada principal desde Medellín.	132
Foto 67. Depósitos fluviotorrenciales incisados por el cauce de la quebrada La Linda. Oeste del municipio.	133
Foto 68. Depósitos recientes de la quebrada La Linda, occidente del municipio.	133
Foto 69. Depósitos recientes de la quebrada Manzanillo.....	134
Foto 70. Depósitos recientes de la quebrada Cantarrana o Bolívar Arriba.	134
Foto 71. Lleno antrópico en la estación de servicio sector El Olimpo.	135
Foto 72. Diferentes niveles de terrazas asociadas a la quebrada La Linda	138
Foto 73. Panorámica unidad de ladera larga recta e inclinada	138
Foto 74. Panorámica unidad de superficies en depósito.....	138
Foto 75. Panorámica de formas de la subunidad de espolones al norte de la cabecera urbana.	139
Foto 76. Panorámica de forma de laderas cortas convexas y abruptas en el barrio La Cabaña.	140
Foto 77. Panorámica de forma de ladera moderada cóncava e inclinada.	141
Foto 78. Panorámica de formas asociadas a la subunidad de espolón festoneado moderado de laderas moderadas irregulares y topes subredondeados	142
Foto 79. Panorámica de forma de ladera moderada, irregular e inclinada.	143
Foto 80. Panorámica de formas asociadas a la subunidad de espolón facetado bajo de laderas cortas irregulares y topes agudos	144

Foto 81. Panorámica formas de ladera larga irregular y muy inclinada en el sector del cementerio.	145
Foto 82. Panorámica de forma de ladera larga irregular e inclinada al nororiente del barrio La Floresta.	145
Foto 83. Características morfométricas asociadas a la zona urbana	147
Foto 84. Zona con rangos de pendientes entre 25-40% y superiores al 40%. ...	148
Foto 85. Movimientos en masa identificados en los barrios San Vicente y Verdum.	149
Foto 86. Proceso de socavación en el barrio Chapinero.....	150
Foto 87. Proceso de socavación frente a institución educativa San José de Citará	150
Foto 88. Proceso de erosión superficial en las laderas que bordean la cabecera.	151
Foto 89. Ocupación del cauce de la quebrada La Linda con viviendas.....	151
Foto 90. Puntos de vertimientos en la quebrada La Linda.	152
Foto 91. Caracterización de la quebrada La Linda: (a) Tipo de sedimento transportado, (b) Estructuras vehiculares a lo largo del tramo, (c) Obras laterales falladas a causa de la corriente y (d) coberturas vegetales a lo largo del tramo de interés.	198
Foto 92. Caracterización de la quebrada Carmina: (a) Tipo de sedimento transportado, (b) Estructuras vehiculares a lo largo del tramo, (c) Obras del cruce y (d) coberturas vegetales a lo largo del tramo de interés.	199
Foto 93. Caracterización de la quebrada Manzanillo: (a) Tipo de sedimento transportado, (b) Construcciones sobre la zona de retiro de la quebrada.....	200
Foto 94. Caracterización de la quebrada La Sucia: (a) Aguas arriba, (b) Aguas abajo.	200
Foto 95. Caracterización de la quebrada Los Monos: (a) Tipo de sedimento transportado, (b) Alineamiento de la corriente, (c) Obra cruce y (d) Obra de protección lateral.....	202

Foto 96. Caracterización de la quebrada Cantarrana: (a) Aguas arriba, (b) Aguas abajo.	202
Foto 97. Características de las construcciones localizadas contiguas a la quebrada en el barrio Olimpo.....	228
Foto 97. Características de las construcciones localizadas contiguas a la quebrada La Linda en el barrio La Cabaña	229
Foto 99. Suelos de la Formación Penderisco – Miembro Urrao en un corte realizado en el sector de Siete Brincos.	233
Foto 100. Suelos de la Formación Penderisco – Miembro Urrao en el límite sur de la vía principal del centro poblado.	233
Foto 101. Panorámica forma de ladera larga irregular y muy inclinada en el centro poblado de Alfonso López.....	235
Foto 102. Panorámica forma de tope amplio e inclinado centro poblado de Alfonso López.....	236
Foto 103. Panorámica forma de ladera moderada cóncava y muy inclinada, centro poblado de Alfonso López.....	237
Foto 104. Deslizamiento rotacional sobre vertiente occidental de Alfonso López.	237
Foto 105. Deterioros estructurales asociadas al sector de Siete Brincos.....	240
Foto 106. Características de los depósitos fluviotorrenciales en el límite oriental del centro poblado.....	243
Foto 107. Características de los depósitos fluviotorrenciales al norte del centro poblado, en cercanías a la quebrada Sucre.	244
Foto 108. Características morfológicas (T3) en el parque principal y sus alrededores.	246
Foto 109. Características morfológicas (T1) hacia la zona suroriental del centro poblado	246
Foto 110. Caracterización de las quebradas: (a) La Cascada, (b) San Pedro. ..	247



1 INTRODUCCION

En el ordenamiento territorial es fundamental el conocimiento de las restricciones que ofrece el territorio para orientar adecuadamente los usos del suelo. En este sentido las amenazas por movimientos en masa y torrencialidad se constituyen en las principales restricciones para el ordenamiento en el municipio de Ciudad Bolívar.

El presente estudio, contiene la evaluación de amenazas por movimientos en masa en el suelo rural, la cabecera municipal y el corregimiento de Alfonso López. En lo referente a la torrencialidad, esta se evaluó para el suelo rural, la cabecera municipal y del corregimiento de San Bernardo de los Farallones.

Para el caso de la torrencialidad, esta se evaluó por métodos hidrológicos e hidráulicos y se ajustó con métodos geomorfológicos, siendo más conservadores en la definición de las áreas afectadas por estos fenómenos.

Finalmente, se definen zonas con condición de amenaza y condición de riesgo de acuerdo a lo establecido en el decreto 1807 de 2014 y se formulan las intervenciones para las diferentes áreas afectadas en el territorio municipal.

2 LOCALIZACION DE AREA DE ESTUDIO

El Municipio de Ciudad Bolívar hace parte de la subregión suroeste del departamento Antioquia, ocupando una extensión de 282 km². Limita por el norte con el municipio de Salgar, por el este con los municipios de Salgar, Pueblorrico e Hispania, por el sur con el municipio de Betania, y por el oeste con el departamento de Chocó. Está ubicado a 109 Km al suroriente de Medellín, a una altura de 1400 msnm, presenta una temperatura promedio de 24°C, una precipitación promedio anual de 2.000 mm, cuyo relieve pertenece se encuentra localizado en la vertiente oriental de la Cordillera Occidental, conformada por el cañón del Río San Juan.

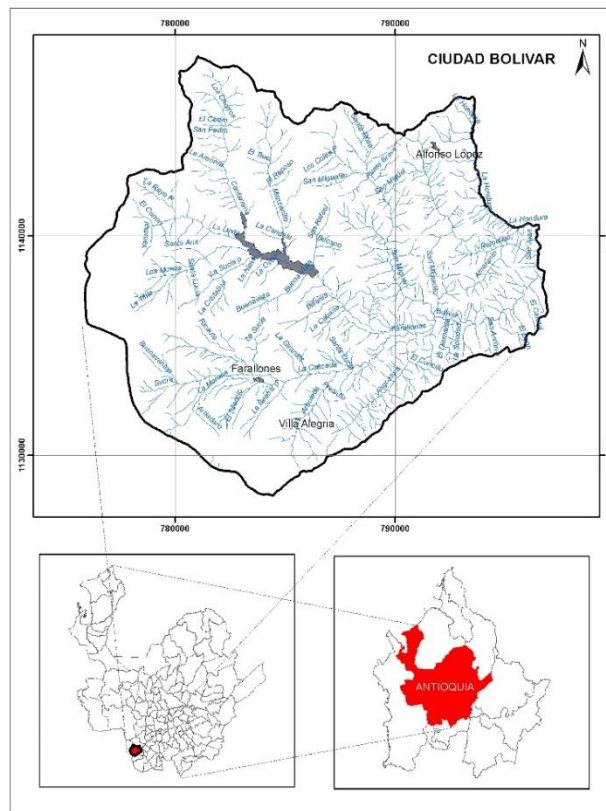


Figura 1. Localización del municipio de Ciudad Bolívar

La troncal del café es el eje estructurante y articula los municipios de Andes, Betanía, Tarso, Jardín, Hispania, Jericó y Pueblorrico con el Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Su cabecera municipal se destaca ya que es un paso obligado hacia el Departamento del Chocó. Ciudad Bolívar posee una red carretable en buenas condiciones y está rodeada por carreteras de segundo orden.

3 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL MUNICIPIO

3.1 GEOLOGÍA REGIONAL

El municipio de Ciudad Bolívar se encuentra ubicado en el flanco oriental de la cordillera occidental del país, en el cual afloran rocas desde el cretácico superior hasta el cuaternario, cuyo mayor predominio está asociado a la Formación Penderisco – Miembro Urrao (Ksaau), la cual corresponde a unidades sedimentarias, compuesta según Ingeominas (1984) por interestratificaciones de lutitas, limolitas, lodolitas, areniscas, cherts y conglomerados polimícticos; además de intercalaciones de tobas a nivel puntual. Esta unidad se encuentra distribuida a lo largo de todo el municipio, exceptuando en el límite occidental, donde afloran las rocas asociadas al Batolito de Farallones (Tmcf) del Mioceno, el cual según Calle et al., (1980) constituye un cuerpo con textura hipidiomórfica inequigranular, de grano medio a grueso con facies tonalítica, granodiorítica, monzodiorítica y localmente piroxenítica y gábrica; cuyos límites están asociados a la expresión geomorfológica de los Farallones del Citará en el municipio; además de una porción de menor extensión al occidente, en los límites con el municipio del Carmen de Atrato, en el cual se encuentran rocas de la Formación Barroso (Kvb), constituida por un conjunto de rocas volcánicas de edad cretácica.

Finalmente, el área de estudio se caracteriza por la presencia de importantes depósitos cuaternarios talud (Qtl), aluviones y terrazas (Qal) y depósitos coluviales (Qc), encontrándose con mayor extensión en la cabecera municipal y en el corregimiento de San Bernardo de Los Farallones, en los cuáles se evidencia la importante influencia de los depósitos aluviotorrenciales asociados a las cuencas de los ríos Bolívar y Farallones, respectivamente.

A continuación se observa el mapa geológico regional del municipio y se describen las características generales de las unidades presentes en el área de estudio:

Formación Penderisco – Miembro Urrao (Ksaau): Constituye una secuencia sedimentaria conformada por la interestratificación fina de limolitas, lutitas, litoarenitas y chert, intensamente plegadas y falladas (Álvarez y González, 1978). Al este, esta formación reposa sobre las rocas volcánicas de la Formación Barroso y al oeste es suprayacida por el Miembro Nutibara de la misma formación. A nivel litológico, predominan al este arcillolitas, limolitas, con bancos intercalados de grauvacas. Hacia la zona central de la unidad, abundan los bancos de conglomerados; mientras que hacia el oeste afloran bancos de grauvaca con intercalaciones delgadas de limolitas y arcillolitas negras.

A nivel estructural, la secuencia conforma una pseudo estructura regional, que corresponde de manera preliminar a un anticlinal, cuyo origen está relacionado con la intrusión del Batolito de Farallones. A nivel puntual, estas rocas se caracterizan por presentar un intenso plegamiento, el cual es altamente variable y permite la generación de complejas estructuras a nivel local; según Ingeominas (1984), los estratos han experimentado al menos dos fases de plegamiento

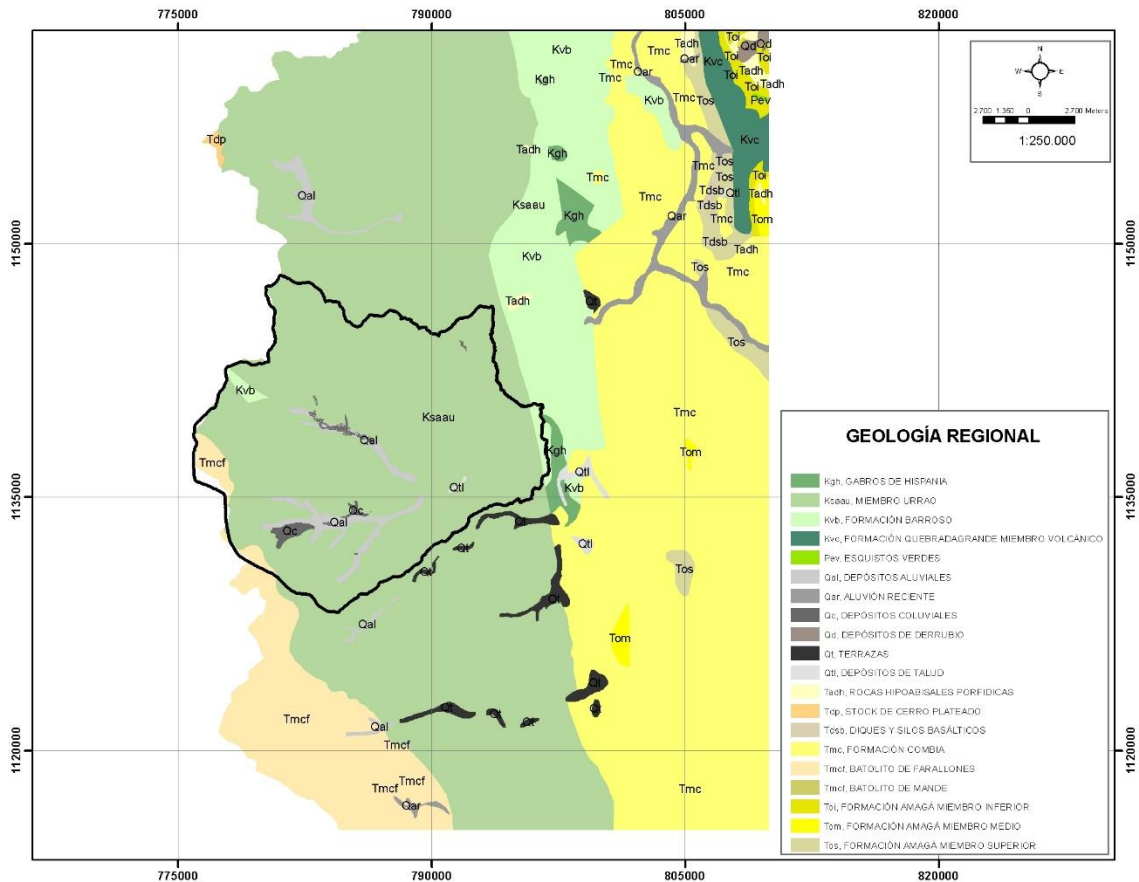


Figura 2. Mapa geológico regional del municipio de Ciudad Bolívar. Modificado de Geología de la plancha 165 – Carmen de Atrato (Ingeominas, 1984) y Geología de la plancha 166 – Jericó (Ingeominas, 1980).

Formación Barroso (Kvb): Conjunto de rocas volcánicas pertenecientes al denominado Grupo Cañasgordas, definido por Álvarez y González (1978), que aflora en la parte septentrional de la Cordillera Occidental al oeste del río Cauca,

en el flanco oriental de la cordillera. Presenta un contacto tectónico con la formación Penderisco.

Esta unidad se caracteriza por presentar rocas principalmente volcánicas, con intercalaciones de liditas hacia el tope. Sin embargo, también se caracteriza por la variabilidad de las rocas y las texturas que presenta, encontrándose desde rocas afaníticas hasta porfidíticas y derrames macizos clasificados como lavas andesíticas y basaltos, caracterizados por presentar un color verde producido por uralitización, epidotación y cloritización de los minerales máficos originales. Hacia el tope de esta formación se encuentran prominentes rocas piroclásticas que se asocian a lentes de sedimentitas silíceas de color negro.

Los basaltos y diabasas de esta formación están afectados por un metamorfismo de bajo grado, pre-orogénico, asociado a un piso oceánico según Miyashiro (1994) y Aguirre (1989). Su edad basada en evidencias de tipo estratigráfico, fue situada en el cretácico superior (Álvarez y González, 1978; Restrepo y Toussaint, 1976; González, 1993).

Batolito de Farallones (Tmcf): Cuerpo intrusivo de composición monzonítica que aflora en el eje de la cordillera occidental. Posee una forma alargada, que se extiende de norte a sur con una longitud de 50 km, además de un área de 150 km² (Ingeominas, 1984). Se caracteriza por la presenta de varias facies y diferentes composiciones, lo cual puede sugerir una inyección múltiple; sin embargo, entre el 60% y el 90% del Batolito está constituido por Monzodiorita, maciza, granular, de grano medio a grueso y color moteado a negro, con presencia de minerales máficos.

El emplazamiento de este cuerpo tuvo gran influencia en la modificación de estructuras regionales, especialmente en las secuencias sedimentarias del cretácico de la Formación Penderisco; generando una aureola de contacto mayor a 500 m con presencia de cornubianitas micáceas. Su edad se sitúa en 11 ± 2 m.a. por el método K/Ar (Hornblenda) por Calle et al., (1980).

Depósitos aluviales (Qal) y Depósitos coluviales (Qc): Son comunes a lo largo de los cauces que descienden de los Farallones del Citará. Están conformados por materiales variables, compuestos por sedimentos arcillosos, limo-arcillosos y gravas de coloraciones grisáceas, que conforman franjas de mayor extensión a lo largo de los cauces de los ríos Bolívar y Farallones, principalmente.

3.2 Geología estructural

El noroccidente colombiano está ubicado en una compleja zona tectónica, enmarcado por la convergencia de las placas de Nazca, Suramérica y Caribe. En los cuáles los principales sistemas de fallas del departamento de Antioquia se asocian al sistema Cauca-Romeral al este con dirección NE-SW y al sistema Palestina y Mulatos al este, con dirección NNE-SSW, coincidiendo con las direcciones generales de los sistemas tectónicos de la cadena Andina.

El área de trabajo dónde se ubica el municipio, se encuentra a nivel regional en el terreno Cauca-Romeral-Patía, al oeste del río Cauca, conformando una unidad geotectónica alóctona, dentro de la gran provincia occidental de Colombia, caracterizada por el predominio de unidades litoestratigráficas de afinidad oceánica. (Ingeominas, 1987).

La evolución orogénica de la Cordillera Occidental, dentro de un contexto de acreciones desde el Cretácico, presenta un metamorfismo de bajo grado, cuyas unidades sedimentarias (Principalmente la Formación Penderisco) muestran un desarrollo de pliegues de tipo recumbente en su mayoría (Ingeominas, 1980).

Los sistemas de fallas que se encuentran en la zona de estudio presentan direcciones SE-NW, SW-NE y N-S, cuya actividad se ve reflejada en la evidencia de zonas de brecha, milonitización, cambios litológicos y rasgos geomorfológicos; la mayoría de ellos indican una edad post-Eocena, mostrando lineamientos y un control en los drenajes actuales y en los depósitos recientes (Ingeominas, 1984).

Las principales fallas presentes en el municipio de Ciudad Bolívar son:

- **Falla La Mansa:** Su mayor expresión se da a lo largo de la carretera hacia el Carmen de Atrato, con una dirección N-NW, buzando preferencialmente al Este, se considera una falla normal (Ingeominas, 1984). Al suroeste del municipio de Ciudad Bolívar, presenta rasgos morfotectónicos como quiebres y zonas cizalladas a nivel puntual; se considera una de las fallas detonantes de los continuos deslizamientos presentados en esa franja del municipio (Ingeominas, 1980).
- **Falla Remolino:** Se encuentra en el límite oriental del municipio. Marca el contacto entre las formaciones Barroso y Penderisco con dirección N10°W. Teniendo en cuenta su posición geográfica algunos autores consideran que podría tratarse de una traza de la falla Mistrató. Se caracteriza por la generación de pliegues de despegue y sistemas de plegamiento desarmónicos (Ingeominas, 1980).

- **Falla del San Juan:** Se encuentra en el sector de La Angostura al sur del municipio. Presenta una dirección predominante NE y controla el cauce de la quebrada La Angostura (Ingeominas, 1980).

3.3 GEOMORFOLOGIA REGIONAL

El municipio de Ciudad Bolívar se encuentra a escala regional y a nivel geomorfológico dentro de la unidad de relieve Cañón del Río Cauca – San Juan, según el mapa geomorfológico, de amenazas y áreas degradadas de la jurisdicción de Corantioquia (Corantioquia et al., 2002). Los cañones son valles con encajamientos significativos que se forman por cambios en el nivel base de la erosión, reflejando un aumento de la incisión vertical y que se encuentran segmentando los altiplanos. Este cañón conforma una franja alargada en sentido N-S, limitado al sur con el departamento de Caldas, hasta la desembocadura de la quebrada Santa María, y al norte entre los municipios de Toledo y Sabanalarga, además marca el límite occidental de las superficies de erosión de Belmira – San Miguel – Sonsón y Santa Rosa – Santa Elena – La Unión, encontrándose en una zona estructural compleja asociada a la sutura de una antigua zona de subducción, en la cual convergen rocas continentales en la Cordillera Central, con rocas de afinidad oceánica en la Cordillera Occidental. En la siguiente figura, se observa la geomorfología regional del municipio de Ciudad Bolívar:

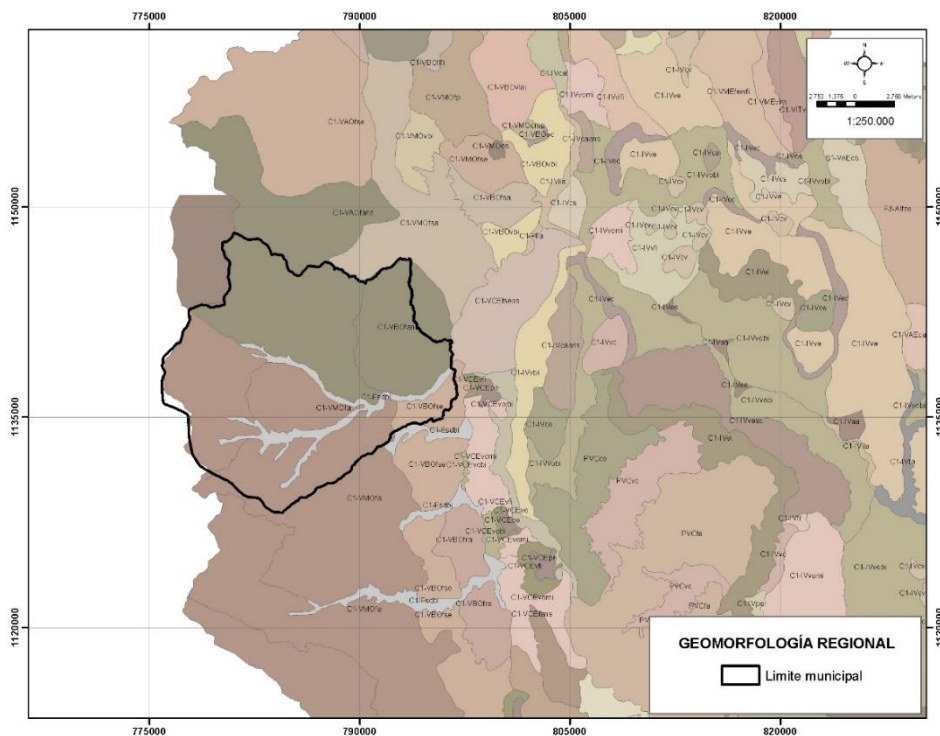


Figura 3. Mapa geomorfológico regional de la zona de estudio. (Corantioquia et al., 2002)

En el municipio, se encuentran macrounidades predominantemente erosivas, las cuáles varían su posición dentro del cañón, encontrando vertientes altas, medias, bajas y continuas, las cuáles a su vez se ubican según la margen del río en la que se encuentran. (Corantioquia et al., 2002).

Al oeste de municipio, predominan las macrounidades de **Vertientes altas del margen oeste**, con unidades de filos de topes agudos (C1-VMOfa) y filos de topes agudos en dirección norte – sur (C1-VAOfans), en el límite norte del municipio. En la zona media, se encuentran macrounidades de **Vertientes medias del margen oeste**, con unidades geomorfológicas asociadas a filos de topes agudos (C1-VMOfa). Hacia el este del municipio, se encuentra la macrounidad de **Vertientes bajas del margen oeste**, dónde se encuentran al norte unidades de filos de topes agudos en dirección norte – sur (C1-VAOfans) y filos de topes subredondeados y estrechos (C1-VBOfse) al sur. Finalmente, atravesando el municipio en dirección O-E, se encuentran macrounidades de **Fondo**, asociadas a superficies de deposición de baja inclinación (C1-Fsdbi), asociada a las cuencas de ríos Bolívar y Farallones.

En los siguientes perfiles, en sentido O-E, se observan las características topográficas de las macrounidades descritas anteriormente:

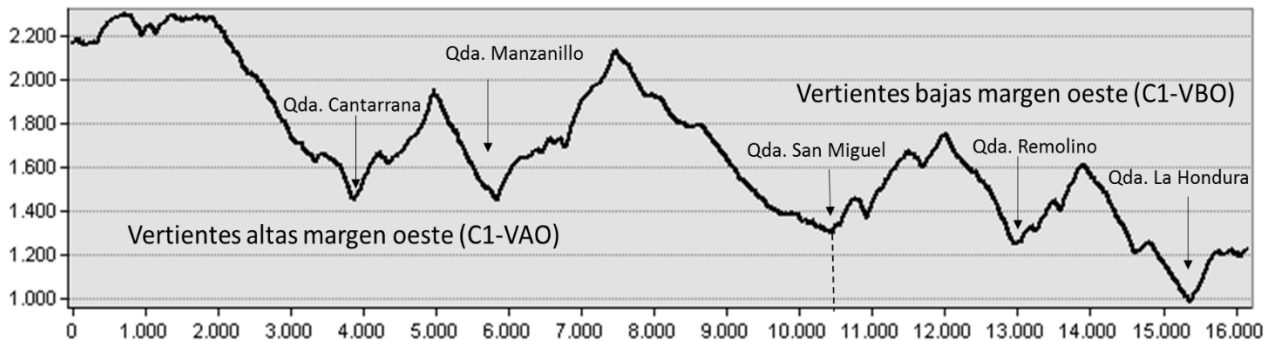


Figura 4. Perfil Oeste-Este al norte del municipio, en dónde se observan las unidades geomorfológicas de filos de topes agudos en dirección norte – sur (C1-VAOfans), diferenciados por las macrounidades de vertientes altas y bajas del margen oeste.

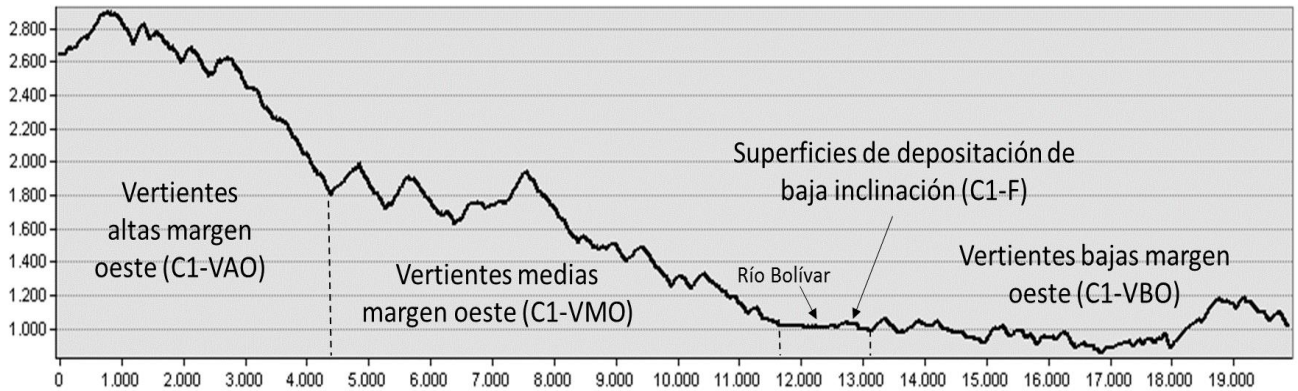


Figura 5. Perfil Oeste- Este al sur del municipio, se observan los contrastes entre las macrounidades de vertientes altas, medias y bajas del margen oeste, además de la superficie de depositación de baja inclinación del río Bolívar en cercanías con el río Farallones.

4 SUELO RURAL

4.1 GEOLOGÍA LOCAL Y FORMACIONES SUPERFICIALES

En el municipio de Ciudad Bolívar, afloran unidades asociadas en su mayoría a rocas de origen sedimentario y volcánico de afinidad oceánica y edad cretácica, limitadas al Oeste por la intrusión del Batolito de Farallones durante el Eoceno; sin embargo, el municipio se caracteriza por la predominancia de la Formación Penderisco – Miembro Urrao a lo largo de todo el territorio, la cual limita hacia el extremo Oeste y Este por franjas alargadas de menor tamaño, correspondientes a la Formación Barroso. De igual manera, en el municipio se encuentran extensas unidades de depósitos fluviotorrenciales, asociadas principalmente a las cuencas de los ríos Bolívar y Farallones, y la quebrada La Arboleda en los alrededores del centro poblado Villa Alegría. Finalmente, las unidades de depósitos de vertiente se observan a nivel puntual, con una extensión menor y una distribución a lo largo de todo el municipio. Las unidades encontradas se describen a continuación:

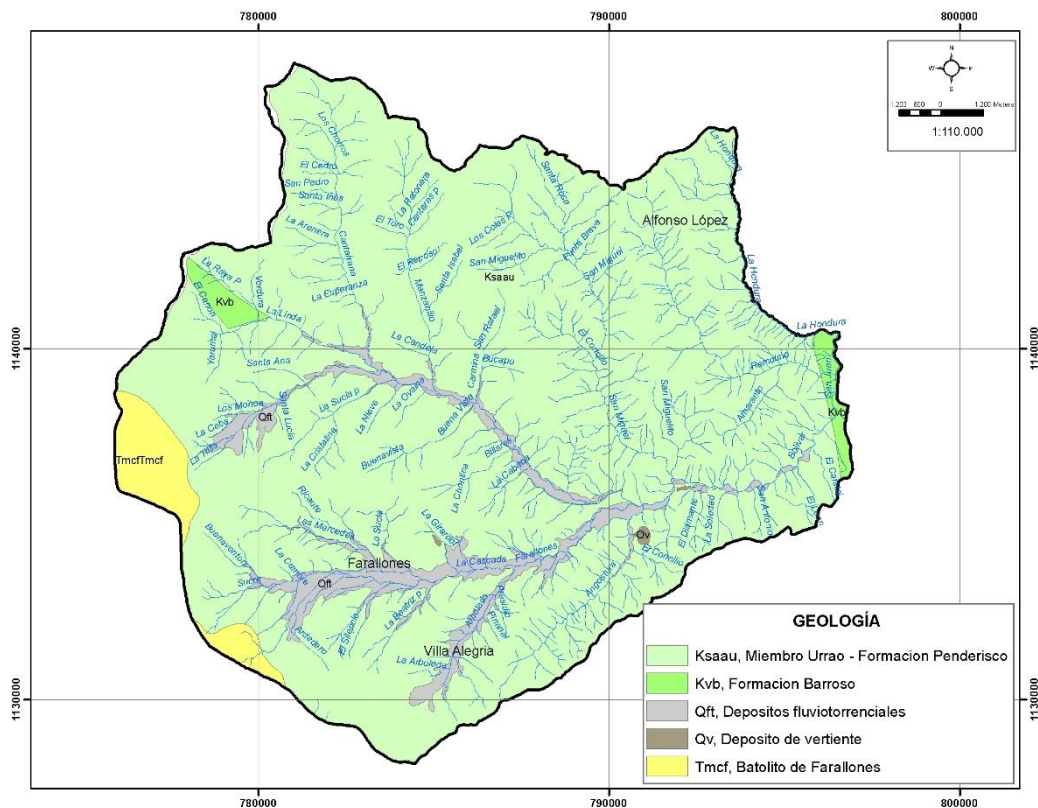


Figura 6. Mapa geológico local y de formaciones superficiales en el suelo rural.

Formación Penderisco – Miembro Urrao (Ksaau): Constituye una secuencia sedimentaria conformada por la interestratificación fina de limolitas, lutitas, litoarenitas y chert; y corresponde a la unidad con mayor predominio en el municipio. A nivel regional conforma una franja en sentido N-S, la cual se observa de manera parcial en el municipio, mostrando los límites con otras unidades en los extremos este y oeste. Presenta afloramientos a lo largo de todo el municipio, especialmente en los cortes de las vías, presentando mayores exposiciones de la roca fresca en la vía de acceso principal, mientras que hacia la vía que conduce al centro poblado Alfonso López se presentan materiales más meteorizados; encontrando los mejores afloramientos a lo largo de la vía Medellín Quibdó.

En la vía hacia el centro poblado Alfonso López, se observan afloramientos asociados a los cortes de la vía, en los cuales se observan materiales con una estratificación delgada, con alto grado de meteorización, sin embargo es posible reconocer en su mayoría las estructuras de estratificación principales, a pesar de la descomposición y fracturamiento de los materiales de grano fino. En algunos afloramientos más extensos, fue posible observar un horizonte con menor grado de meteorización, con materiales de coloraciones rojizas y moradas, con materiales abigarrados, en los cuáles predomina la generación de óxidos que producen estas coloraciones rojizas. Estos materiales se observan en las siguientes fotografías:



Foto 1. Afloramientos de la Formación Penderisco – Miembro Urrao, en la vía que conduce al centro poblado Alfonso López.

En la vía que va desde el centro poblado Alfonso López hacia la cabecera principal, por las veredas San Miguel y La Carmina, se observan materiales con menor grado de meteorización, los cuáles muestran una laminación fina y rítmica de arcillolitas y lodolitas de coloraciones grisáceas oscuras y marrones, cuyos

estratos presentan inclinaciones moderadas y variables, observándose además la ocurrencia de pliegues en los afloramientos más extensos. Estos materiales muestran un alto grado de fracturamiento, cuyos sistemas de diaclasamiento generan estructuras en forma de rombo a lo largo de los planos de estratificación, como se observa en las siguientes fotografías:



Foto 2. Afloramientos de la Formación Penderisco – Miembro Urrao, en la vía que conduce a la cabecera municipal por la vereda La Carmina.

En la vía principal, hacia el municipio de Betania, se observan afloramientos de mayor extensión, los cuáles exhiben en la base materiales con un menor grado de meteorización, mostrando estratos de tamaños centimétricos con una estratificación homogénea, intercalados por materiales arcillosos y limosos de coloraciones grisáceas oscuras y marrones claras, dependiendo de su grado de meteorización. Los estratos en esta zona muestran disposiciones variables, encontrando algunos afloramientos con una orientación casi horizontal, que contrastan con zonas en las cuáles los estratos muestran una disposición vertical, evidenciando la variabilidad el alto nivel de plegamiento de estos materiales. Los materiales encontrados en la vía principal se observan en las siguientes fotografías:



Foto 3. Afloramientos de la Formación Penderisco – Miembro Urrao, en la vía hacia el municipio de Betania.



Foto 4. Afloramientos de la Formación Penderisco – Miembro Urrao, en la vía principal de ingreso al municipio.

Al inicio de la vía que va desde el centro poblado Villa Alegría al alto de los Jaramillo, se observan algunos afloramientos de esta formación que muestran una zona del perfil de meteorización más superficial, en la cual se observan materiales arcillo arenosos de coloraciones marrones y rojizas en el tope, con un espesor inferior a 5 m, suprayaciendo horizontes con presencia de fragmentos de roca con grado medio-alto de meteorización. Como se observa en la siguiente fotografía:

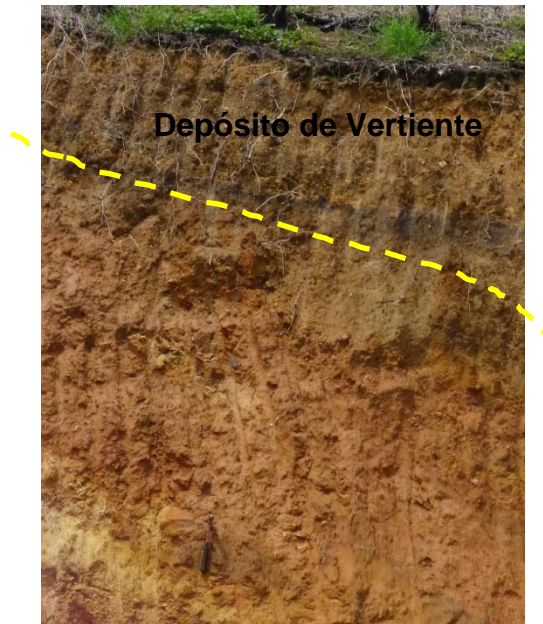


Foto 5. Afloramientos de la Formación Penderisco – Miembro Urrao, en la vía hacia el alto de los Jaramillo.

Hacia el sur del municipio, esta unidad presenta menores afloramientos, debido a la predominancia de extensas unidades de depósitos aluviotorrenciales y depósitos de vertiente, lo cual restringe los afloramientos de esta unidad en los cortes y zonas con mayores pendientes en la parte alta de las vertientes, en especial en la zona del alto de los Jaramillo.

Esta unidad presenta un perfil de meteorización variable; sin embargo a nivel general se observa que los espesores de suelo no sobrepasan los 8 m de profundidad, ya que se observa un mayor predominio de los horizontes IV y V en los cuáles se presenta la roca con un alto grado de meteorización y conservando las estructuras de estratificación principales. En algunas zonas, en la parte central del municipio, se observa un horizonte V de composición limo arenosa y coloraciones moradas y rojizas. Estos horizontes presentan espesores variables entre 5 y 20 m, dependiendo de la topografía a nivel puntual; constituyendo los materiales más comunes a lo largo de los cortes de las vías y los banqueos realizados. En la vía principal, se observan materiales asociados al horizonte III, los cuáles muestran unas coloraciones grisáceas oscuras y un grado de meteorización menor, en los cuáles se observan también coloraciones marrones y naranjas a nivel puntual, en zonas de mayor penetración de agua producto del alto nivel de fracturación de la roca. El espesor de este horizonte no fue posible de determinar con las observaciones realizadas en el trabajo de campo, ya que constituye la base del perfil observado. En las siguientes fotografías se observa el horizonte Y con mayor predominio al sur del municipio:



Foto 6. Afloramientos de la Formación Penderisco – Miembro Urrao, en la vía hacia el alto de los Jaramillo.

Formación Barroso (Kvb): Conjunto de rocas volcánicas con intercalaciones de liditas hacia el tope que presentan una alta variabilidad litológica y textural. Sus afloramientos se restringen hacia los extremos occidental y oriental del municipio, en los cuáles afloran como granjas alargadas, al este a lo largo del río San Juan hasta su desembocadura en la quebrada La Hondura, en sentido N-S; y al oeste en los límites con el municipio del Carmen de Atrato, en una franja en dirección NNW a lo largo de la quebrada La Raya. Debido a los cortes de la vía Medellín-Quibdó, el límite occidental constituye la zona con mejores afloramientos de esta unidad, en los cuáles se observa una alta recurrencia de procesos morfodinámicos.

En el límite occidental del municipio, se encuentra un afloramiento de alrededor de 35 m de altura, asociado al corte de la vía y a la extracción de material, en el cual se observan plegamientos y estratos finos dispuestos casi verticalmente, en los cuáles se intercalan estratos de coloraciones oscuras y coloraciones grisáceas más claras, de lutitas y arcillolitas principalmente. Estas unidades se encuentran altamente cizalladas, generando depósitos locales de detritos en la parte baja. En la zona superior se observa un horizonte de suelo de coloración amarilla clara y textura limo arenosa. Este afloramiento se observa en las siguientes fotografías:

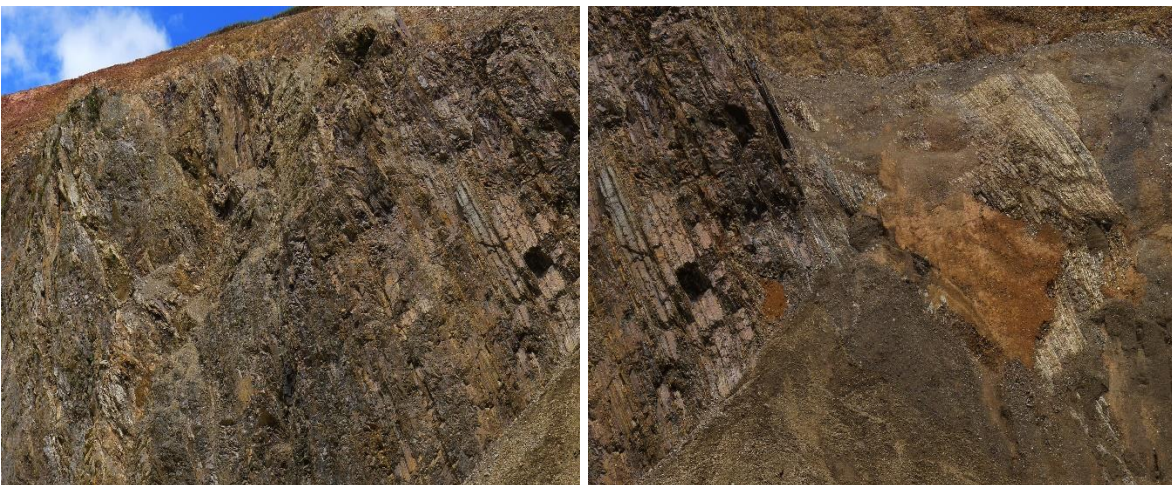
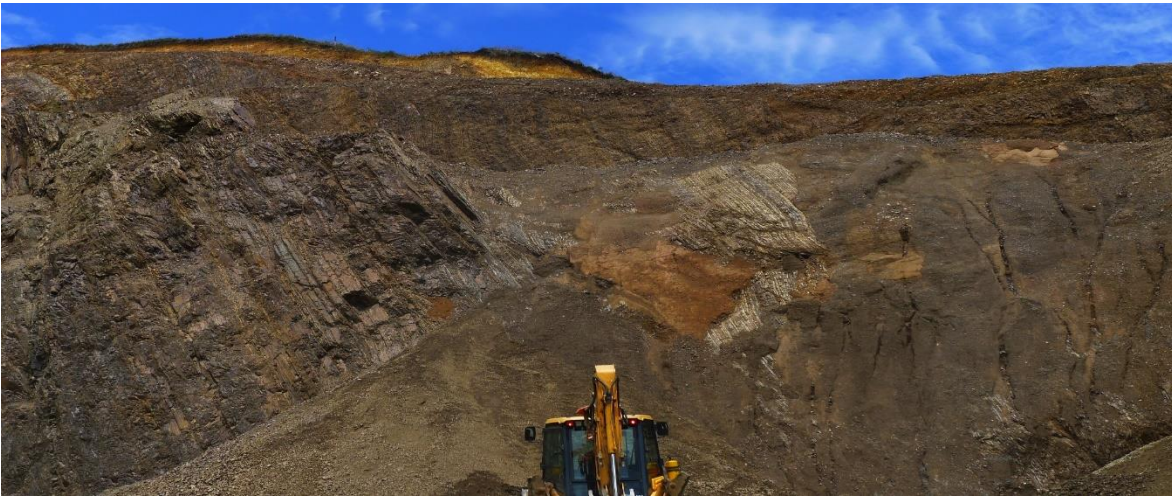


Foto 7. Afloramientos de la Formación Barroso, en la vía hacia el Carmen de Atrato, zona limítrofe del municipio.

A lo largo de esta vía, se observan cortes con materiales limo arenosos de coloraciones amarillas claras, de hasta 5 m de altura, al igual que deslizamientos traslacionales y localmente rotacionales, en los cuáles se evidencia la presencia

de un horizonte de suelo más desarrollado. De igual manera, esta unidad muestra una alta recurrencia de procesos morfodinámicos, no sólo en los cortes sino también en las vertientes a lo largo de la vía. Estos materiales se observan en las siguientes fotografías:

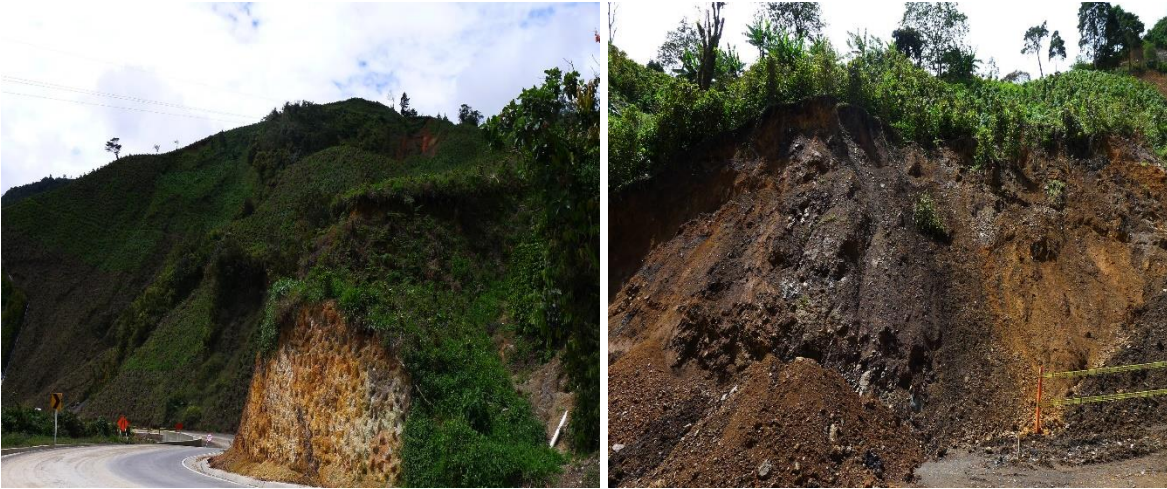


Foto 8. Afloramientos de los materiales superficiales de la Formación Barroso, en la vía hacia el Carmen de Atrato.

El perfil de meteorización de esta unidad muestra un horizonte de suelo VI desarrollado, con un espesor promedio de 5-8 m, seguido por un horizonte V, de coloraciones más rojizas, en los cuáles se observan materiales completamente meteorizados, con presencia a nivel puntual de bloques de roca, este horizonte se observa en los procesos morfodinámicos encontrados; su espesor es variable entre 5 y 10 m. Finalmente, no se observa el horizonte IV de manera tan clara, siendo mucho más evidente la transición al horizonte III, el cual corresponde al afloramiento de la secuencia de roca con un grado de alteración moderado a bajo, el cual aflora con un espesor mínimo de 20 m en el corte mencionado anteriormente en el límite del municipio.

Batolito de Farallones (Tmcf): Cuerpo intrusivo de composición monzonítica que aflora en el eje de la cordillera occidental. Se encuentra en el extremo suroccidental del municipio, en cercanías al centro poblado San Bernardo de Los Farallones. Esta unidad, se caracteriza por presentar pendientes abruptas a escarpadas, en las cuáles se ubica una zona de reserva natural. Debido a su ubicación y dificultad para el acceso, no fue posible la caracterización detallada ni se observaron afloramientos que permitieran su descripción. En las siguientes fotografías se observan las características superficiales del Batolito de Farallones, en cercanías al centro poblado San Bernardo de los Farallones:



Foto 9. Características del Batolito de Farallones, en cercanías al centro poblado San Bernardo de los Farallones.

A pesar de la ausencia de afloramientos de roca, en las quebradas y ríos cercanos a la unidad, se observan bloques de tamaños métricos, compuestos por gravas que descienden del batolito, los cuáles muestran una textura afanítica y coloraciones grisáceas oscuras y apariencia maciza; a nivel puntual se observan minerales máficos alargados embebidos en una matriz afanítica en la cual es posible reconocer algunas estructuras de cristales de coloraciones blancas y gris claras.

El perfil de meteorización de esta unidad no se observó en campo, sin embargo, teniendo en cuenta factores como la pendiente, es posible inferir que no se encuentra muy desarrollado, ya que en las zonas más próximas es común ver superficies expuestas de roca, la cual presenta una cobertura vegetal espesa que se renueva rápidamente, debido a la alta ocurrencia de procesos que se presentan en esta unidad. En las siguientes fotografías se observan los bloques encontrados en cercanías al centro poblado Villa Alegría en la quebrada La Arboleda y en cercanías al centro poblado San Bernardo de Los Farallones:



Foto 10. Bloques del Batolito de los Farallones en la quebrada La Arboleda (Izq.) y en las afueras del centro poblado San Bernardo de Los Farallones (Der.)

Depósitos de vertiente (Qv): Conformados por depósitos de flujo de lodos y/o escombros a lo largo de la vertiente oriental de la quebrada La Angostura, dónde presentan mayor extensión, sin embargo se presentan de manera puntual en todo el municipio, presentando una distribución aleatoria.

Las características de estos depósitos son variables, hacia el sur del municipio, en la vía que conduce a los centros poblados Villa Alegría y San Bernardo de Los Farallones, se observan depósitos con una proporción 50:50 entre los clastos y la matriz; mostrando bloques subredondeados de tamaños centimétricos y selección moderada, en una matriz limo arenosa de coloraciones marrones y presencia de materia orgánica, como se observa en las siguientes fotografías:



Foto 11. Depósitos de vertiente en las partidas hacia el centro poblado Villa Alegría.

Subiendo hacia el alto de los Jaramillo, se observa un depósito de vertiente de menor tamaño, con un espesor de aproximadamente 1 m, compuesto por bloques angulares de tamaños centimétricos, bien seleccionados, embebidos en una matriz limo arcillosa de casi el 80%, limitado en la base por la presencia de un nivel de paleosuelo de 30 cm de espesor; como se observa en las siguientes fotografías:

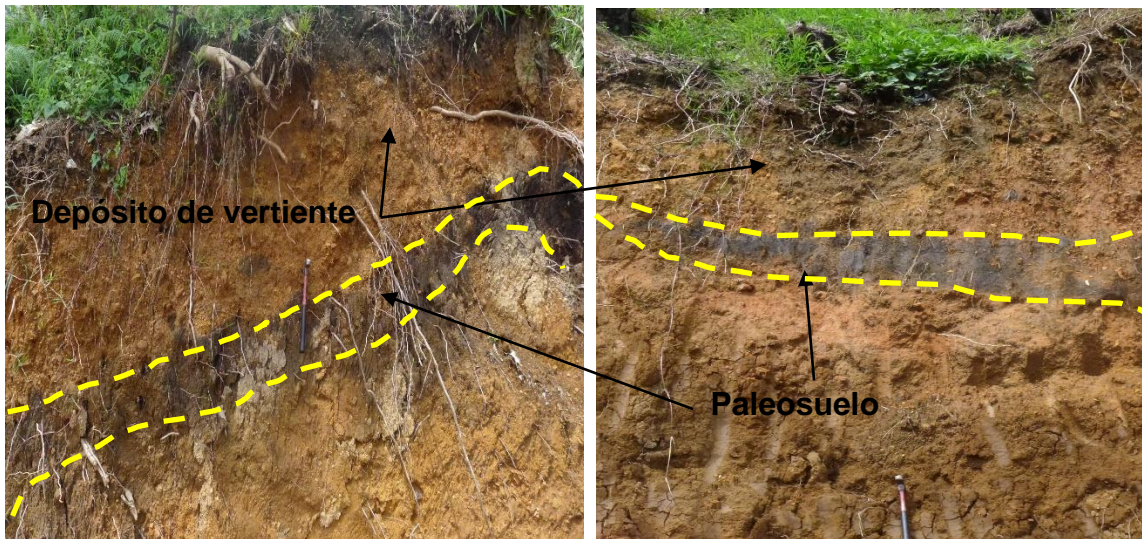


Foto 12. Depósitos de vertiente en la vía hacia el alto de los Jaramillo.

En la vía hacia el sector de La Angostura, se observan depósitos en la margen izquierda de la quebrada con el mismo nombre, los cuáles presentan bloques más angulosos y heterogéneos, además de un porcentaje de matriz inferior al 30%. Esta matriz presenta coloraciones marrones y tonalidades verdes, además de una textura limo arenosa, como se observa en las siguientes fotografías:



Foto 13. Depósitos de vertiente en la vía hacia La Angostura, en la margen izquierda de la quebrada con el mismo nombre.

En la vía hacia Bolívar Arriba, se presentan depósitos matriz soportados, en los cuáles se observan bloques angulosos de tamaños centimétricos y poca selección, embebidos en una matriz limo arenosa de coloraciones rojizas, como se observa en las siguientes fotografías:



Foto 14. Depósitos de vertiente en la vía hacia Bolívar Arriba.

Depósitos fluviotorrenciales (Qft): Conforman depósitos de materiales asociados a los ríos Bolívar y Farallones, además de las quebradas Los Monos, La Linda, Manzanillo, Cantarrana y La Carmina en los alrededores del casco urbano. Hacia el sur se encuentran asociados a los cauces de las quebradas La Angostura, La Arboleda, La Girardot, La Sucia, Las Mercedes, Buenaventón,

Sucre, Ardedero, El Silencio y La Beatriz. Estos depósitos presentan grandes extensiones y composiciones variables, caracterizados por la presencia de bloques de gran tamaño, subredondeados y angulosos, evidenciando el carácter torrencial de estas cuencas que drenan los Farallones del Citará.

Se observa además, que presentan diferentes edades, algunos de los cuáles están asociados a superficies de depositación más antiguas, en las cuáles predominan los procesos de erosión que dejan bloques erráticos que sobresalen en la topografía, en especial en la vía hacia los corregimientos de San Bernardo de Los Farallones y Villa Alegría, dónde es posible reconocer dentro de la misma superficie aluvio torrencial inclinada, depósitos más antiguos que otros, como se observa en las siguientes fotografías:



Foto 15. Depósitos fluviotorrenciales antiguos del río Farallones (Izq.) en la vía que conduce a los centros poblados Villa Alegría y San Bernardo de Los Farallones, que contrastan con los depósitos más recientes de la quebrada La Arboleda en la vía hacia el centro poblado Villa Alegría (Der.)

Estos depósitos alcanzan mayores extensiones en la vereda Farallones, presentando varias superficies diferenciales, asociadas a dinámicas de depositación antiguas en relación con las dinámicas actuales y los procesos de erosión a lo largo del cuaternario. Se encuentra hacia el centro poblado, una franja más elevada, correspondiente a la superficie más antigua de depositación, la cual presenta bloques de tamaños métricos variables, caracterizados por su gran tamaño y la presencia de líquenes en las superficies expuestas de los bloques. Estos bloques sobresalen en la topografía debido a la erosión de la matriz que los embebía, por lo que predominan al día de hoy los procesos denudativos sobre la dinámica depositacional, a pesar de su origen claramente torrencial. Estos depósitos antiguos se observan en las siguientes fotografías:



Foto 16. Depósitos fluviotorrenciales en los alrededores del centro poblado San Bernardo de Los Farallones, correspondientes a una superficie de depositación más antigua y erosionada.

Adicionalmente, en el sector de Farallones es posible encontrar depósitos asociados a crecientes anteriores en corrientes actuales, lo cuáles se caracterizan por la presencia de bloques de tamaños métricos, subredondeados, a lo largo del cauce actual, como se observa en las siguientes fotografías:



Foto 17. Depósitos fluviotorrenciales de la quebrada El Silencio, en las afueras del centro poblado San Bernardo de Los Farallones.

Finalmente, en esta extensa superficie de depositación se observan materiales aluviales con gravas de menor tamaño en algunas márgenes del río Farallones, como observa en las siguientes fotografías:



Foto 18. Depósitos fluviotorrenciales del río Farallones en las afueras del centro poblado San Bernardo de Los Farallones.

En la quebrada La Angostura se observan depósitos con gravas de tamaños moderados y bloques predominantemente angulosos, en los cuáles se observa la presencia de una terraza de 60 cm aproximadamente, como se observa en las siguientes fotografías:



Foto 19. Depósitos fluviotorrenciales de la quebrada La Angostura, se observan los materiales aluviales en el canal aluvial.



Foto 20. Depósitos fluviotorrenciales de la quebrada La Angostura, donde se observa un nivel de terraza a la altura de la vía de acceso a la vereda.

En la entrada a la cabecera municipal, en la quebrada Cantarrana se encuentran depósitos fluviotorrenciales con gravas de tamaños centimétricos, poca selección y presencia de una matriz limo arcillosa con gran cantidad de materia orgánica. Estos depósitos tienen al menos tres niveles de terrazas, las más bajas de ellas están siendo erosionadas por la misma dinámica de la quebrada, como se observa en las siguientes fotografías:





Foto 21. Depósitos fluviotorrenciales de la quebrada Cantarrana en cercanías a la cabecera municipal.

En la entrada a la cabecera municipal, los depósitos de la quebrada Los Monos presentan al menos dos niveles de terrazas, conformados por bloques heterogéneos y subredondeados, como se observa en las siguientes fotografías:



Foto 22. Depósitos fluviotorrenciales de la quebrada Los Monos en cercanías a la cabecera municipal.

4.2 GEOMORFOLOGÍA

De acuerdo con el esquema de jerarquización geomorfológica propuesto por Corantioquia (2002) en el Municipio de Ciudad Bolívar, se define una unidad de

relieve denominada Cañón del Río Cauca – San Juan, las cuales se dividen en 4 unidades de relieve, definidas como vertientes altas, medias y bajas de la margen oeste y fondo (Tabla 3).

Tabla 1. Tabla de unidades de relieve y macrounidades para el Municipio de Ciudad Bolívar.

Unidad de relieve	Macrounidad
Cañón del Río Cauca – San Juan	Vertientes altas de la margen oeste
	Vertientes medias de la margen oeste
	Vertientes bajas de la margen oeste
	Fondo

Partiendo de estos rasgos regionales se delimitan las diferentes unidades y subunidades geomorfológicas a escala 1:25.000 para el Municipio de Ciudad Bolívar. A continuación en la Figura 11 se muestra el mapa geomorfológico y se describen cada una de las unidades geomorfológicas identificadas y sus correspondientes subunidades:

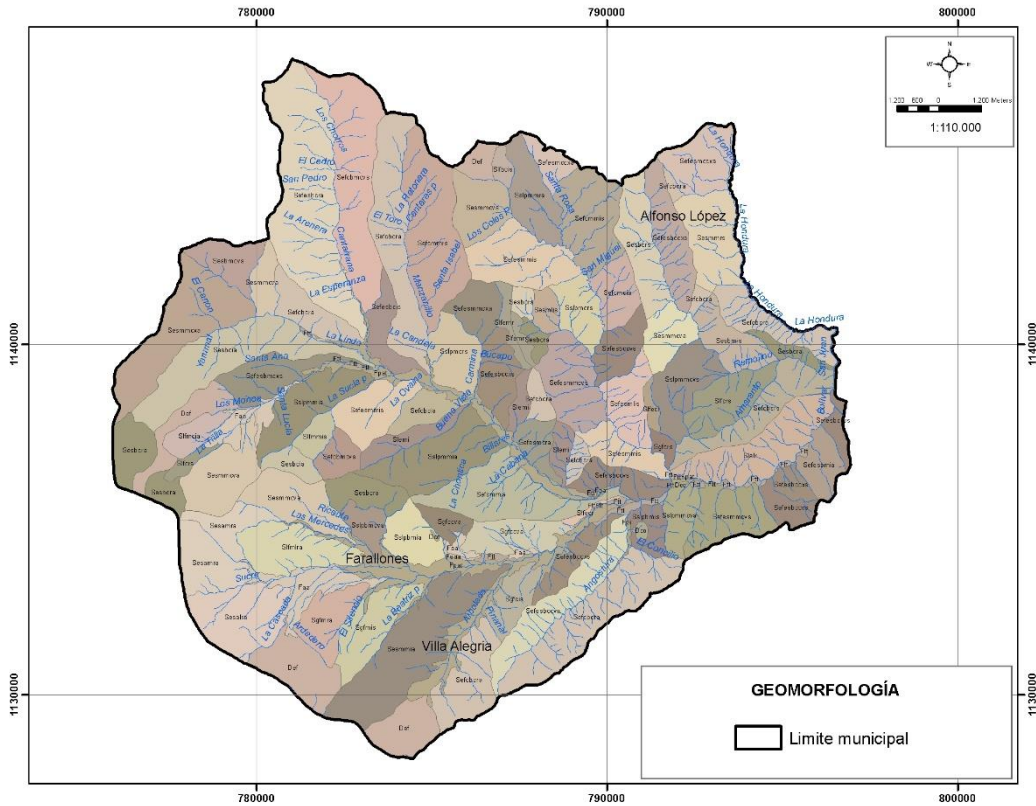


Figura 7. Mapa de unidades geomorfológicas del municipio de Ciudad Bolívar.

4.2.1 Cañón del Río Cauca – San Juan (C1)

4.2.1.1 Vertientes altas de la margen oeste (VAO)

Escarpe de línea de falla (C1-VAO-Slfe): Plano vertical a subvertical moderado, y recto de pendiente abrupta. Su origen se relaciona a las superficies definidas por el truncamiento de estructuras topográficas y geológicas afectadas por procesos de erosión acentuada. Se ha definido 1 subunidad, como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 2. Subunidad de la unidad escarpe de línea de falla

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Escarpe de línea de falla	C1-VAO-Slfe-mr: moderado y recto	Se localiza hacia la parte alta de la vereda La Carmina en la zona de nacimiento de las quebrada San Rafael, La Miel y Bucato. Igualmente se localiza en el costado occidental de la vereda san Miguel. Representa el 100% con respecto a la unidad y el 0.43 con respecto al total del Municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.



Foto 23. Escarpe de línea de falla vereda La Carmina.

Escarpe faceteado (C1-VAO-Def): Plano vertical a subvertical moderado, recto, de longitud moderada y pendientes escarpadas a muy escarpadas. Su origen es relacionado a procesos de erosión, incisión y movimientos en masa en laderas relictas que aparecen en torno a relieves estructurales constituidos por materiales fracturados.

Tabla 3. Subunidad de la unidad escarpe de línea de falla

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Escarpe facetado	C1-VAO-Def-mr: moderado y recto	Se localiza hacia el noroccidente de la vereda farallones y al occidente de la vereda Los Monos, como una franja alargada en sentido este – oeste, en la cuenca alta de la quebrada Santa Bárbara, en la zona que conforma los Farallones de Citará. Representa el 100% con respecto a la unidad y el 1.13 con respecto al total del Municipio.	Asociado a esta subunidad se identifican principalmente deslizamientos de tipo traslacional, localizados principalmente hacia el sector de Los Farallones.



Foto 24. Escarpe facetado en la vereda Farallones.

Espolón (C1-VAO-Ses): Saliente natural de morfología alomada y elongada, dispuestos perpendicularmente a la tendencia estructural general de la región, con índices de relieve desde bajos hasta altos, con topes de longitud moderada y forma aguda a subredondeada. Presenta laderas con pendientes muy inclinadas a muy abruptas, de diferentes longitudes y formas irregulares a recta. El patrón de drenaje es paralelo a subparalelo, con un grado de incisión alto, generando valles en "V" cerrados. De acuerdo con su altura relativa, longitud, forma, pendiente de la ladera y características del tope se han definido 10 subunidades que se describe en la siguiente tabla.

Tabla 4. Subunidades de la unidad espolón

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Espolón	C1-VAO-Ses-ala: Altos de laderas largas rectas y topes agudos	Se localiza hacia la zona que corresponde a los Farallones de Citará, en el costado occidental de la vereda Farallones, limitada al norte por la quebrada Sucre y al sur por la quebrada La Cascada. Representa el 10.94% dentro de la unidad y ocupa el 1.70% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad se identifican deslizamientos de tipo traslacionales localizados hacia la zona de mayor

			pendiente.
	C1-VAO-Ses-amra: Alto de laderas moderadas rectas y topes agudos	Se localiza hacia la zona que corresponde a los Farallones de Citará, en el costado occidental de la vereda Farallones, limitada al norte por la quebrada Las Mercedes y al sur por la quebrada Sucre. Representa el 11.29% dentro de la unidad y ocupa el 1.76% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad se identifican deslizamientos de tipo traslacionales localizados hacia la zona de mayor pendiente.
	C1-VAO-Ses-bcia: bajo de laderas cortas irregulares y topes agudos	Corresponde a dos polígonos, el primero de ellos localizado hacia la parte alta de la vereda La Sucia, en la zona de nacimiento de la quebrada que lleva este mismo nombre. El segundo se localiza al sur de la vereda La Linda, limitada al norte por la quebrada que lleva este mismo nombre y al sur por la divisoria de aguas. Representa el 18.80% dentro de la unidad y ocupa el 2.93% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad sólo se identifica un deslizamiento de tipo traslacional.
	C1-VAO-Ses-bcra: bajo de laderas cortas rectas y topes agudos	Esta subunidad se distribuye en tres sectores dentro del municipio. Los dos primeros se localizan al noroccidente de la vereda Farallones, en los denominados Farallones de Citará. La tercera zona se localiza al occidente de la vereda San Miguel hacia la parte alta de la quebrada El Concilio. Representa el 8.44% dentro de la unidad y ocupa el 1.31% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos
	C1-VAO-Ses-bcrs: bajo de laderas cortas rectas y topes subredondeados	Se localiza al occidente de la vereda San Miguel hacia la parte alta de la quebrada El Concilio Representa el 1.26% dentro de la unidad y ocupa el 0.20% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos
	C1-VAO-Ses-bmcs: bajo de laderas moderadas convexas y topes subredondeados	Se localiza al norte de la vereda La Linda, limitada al oriente por la quebrada Verdura y al occidente por la quebrada La Raya. Representa el 4.97% dentro de la unidad y ocupa el 0.77% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad sólo se identifica un deslizamiento de tipo traslacional.
	C1-VAO-Ses-mlir: moderado de laderas largas irregulares y topes subredondeados	Se localiza al occidente de la vereda san Miguel, sobre la margen norte de la quebrada El Concilio. Representa el 2.10% dentro de la unidad y ocupa el 0.33% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.
	C1-VAO-Ses-mmcv: moderado de laderas moderadas cóncavas y topes agudos	Se asocia a tres sectores dentro del Municipio, los dos primeros localizados hacia el costado noroccidental de la vereda Farallones, en la vertiente norte de la quebrada Las Mercedes y en la vertiente sur de la quebrada La Trilla respectivamente. La tercera zona se localiza al norte de la vereda La Linda, sobre la vertiente oriental de la quebrada La Verdura. Representa el 19.80% dentro de la unidad y ocupa el 3.08% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad se identifican deslizamientos de tipo traslacionales localizados hacia la zona de mayor pendiente.
	C1-VAO-Ses-mmcv: moderado de laderas moderadas cóncavas y topes	Se localiza al norte de la vereda San Miguel, sobre la vertiente norte de la quebrada Los Coles P. Representa el 6.46% dentro de la unidad y ocupa el 1.01% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad se identifican deslizamientos de tipo traslacional.

	subredondeados		
	C1-VAO-Ses-mmca: moderado de laderas moderadas convexas y topes agudos	Se localiza hacia el costado noroccidental de la vereda La Linda, limitada al norte por la quebrada La Raya y al sur por la quebrada La Linda. Representa el 15.95% dentro de la unidad y ocupa el 2.48% del total del área del municipio.	Asociado a esta unidad se identifican deslizamientos de tipo traslacional de importantes dimensiones.



Foto 25. Espolones en los alrededores de San Bernardo de Los Farallones.

Espolón facetado (C1-VAO-Sefc): Saliente topográfica de morfología alomada y de forma predominantemente simétricas, con índice de relieve bajo a moderado; presenta topes de longitud moderada y formas agudas a redondeadas con dirección preferencial E-W. Presenta laderas caracterizadas por inclinaciones escarpadas y longitudes cortas a largas, de forma irregular y rectas, y perpendicular a ella forman facetas triangulares. El patrón de drenaje dominante es subparalelo, con valles en forma de "V" abierto e incisiones fuertes. De acuerdo con su altura relativa, longitud, forma, pendiente de la ladera y características del tope se han definido 5 subunidades que se describen en la siguiente tabla.

Tabla 5. Subunidades de la unidad de espolón facetado

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Espolón facetado	C1-VAO-Sefc-bcra: bajo de laderas cortas rectas y topes agudos	Esta subunidad se distribuye en cuatro polígonos dentro de la zona de estudio. El primero de ellos se localiza al oriente de la vereda La Linda, sobre la vertiente norte de la quebrada que lleva este mismo nombre. La segunda zona se localiza sobre todo el costado occidental de la vereda Manzanillo, sobre la vertiente occidental que lleva este mismo nombre. La tercera y cuarta zona se localizan al suroccidente de la vereda San Miguel. Representa el 31.78% dentro de la unidad y ocupa el 3.72% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad se identifican deslizamientos de tipo traslacional.

	C1-VAO-Sefc-bmcvs: bajo de laderas moderadas cóncavas y topes subredondeados	Se localiza sobre la vertiente oriental de la vereda Quebrada Arriba, sobre la margen oriental de la quebrada Cantarrana. Representa el 24.91% dentro de la unidad y ocupa el 2.91% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad sólo se identifica un deslizamiento de tipo traslacional.
	C1-VAO-Sefc-mmca: moderado de laderas moderadas convexas y topes agudos	Se localiza hacia el norte de la vereda La Carmina, limitada al oriente por la quebrada San Rafael y al occidente por la quebrada La Carmina. Representa el 6.13% dentro de la unidad y ocupa el 0.72% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.
	C1-VAO-Sefc-mmms: moderado de laderas moderadas irregulares y topes subredondeados	Se localiza al nororiente de la vereda San Miguel, sobre la vertiente oriental de la quebrada que lleva este mismo nombre. Representa el 14.24% dentro de la unidad y ocupa el 1.67% del total del área del municipio.	Asociado a esta unidad se identifican deslizamientos de tipo traslacional de importantes dimensiones.
	C1-VAO-Sefc-mmrs: moderado de laderas moderadas rectas y topes subredondeados	Se localiza sobre la vertiente oriental de la quebrada Manzanillo, sobre la margen oriental de la misma. Representa el 22.89% dentro de la unidad y ocupa el 2.68% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.



Foto 26. Espolón faceteado en los alrededores del centro poblado Alfonso López y en la vía a San Miguel.

Espolón festoneado (C1-VAO-Sefes): Prominencia topográfica de morfología colinada, elongada y de forma predominantemente simétricas, con índice de relieve bajo a medio; presenta topes de longitud moderada a larga y forma redondeada a agudos. Presenta laderas caracterizadas por inclinaciones escarpadas y longitudes cortas, de formas rectas y convexas. El patrón de drenaje dominante es subparalelo, con valles en forma de "V" abierto e incisión fuerte. La característica principal de esta unidad corresponde a que la parte terminal del espolón es amplia y se asemeja a una pata de elefante.

De acuerdo con su altura relativa, longitud, forma, pendiente de la ladera y características del tope se han definido 9 subunidades que se describen en la siguiente tabla.

Tabla 6. Subunidades de la unidad de espolón festoneado

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Espolón festoneado	C1-VAO-Sefes-bccvs: bajo de laderas cortas cóncavas y topes subredondeados	Se localiza al sur de la vereda San Miguel, sobre la margen norte del río Farallones. Representa el 5.88% dentro de la unidad y ocupa el 0.74% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad se identifican deslizamientos de tipo traslacional.
	C1-VAO-Sefes-bccxa: bajo de laderas cortas convexas y topes agudos	Se localiza al oriente de la vereda La Carmina, limitada al norte por la quebrada San Rafael y al sur por la quebrada La Carmina. Representa el 7.12% dentro de la unidad y ocupa el 0.89% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad sólo se identifica un deslizamiento de tipo traslacional.
	C1-VAO-Sefes-bcis: bajo de laderas cortas irregulares y topes subredondeados	Se localiza al sur de las veredas Bolívar Arriba y Manzanillo, al norte de la zona urbana, sobre la vertiente oriental de la quebrada Cantarrana y norte de la quebrada la Linda. Representa el 5.49% dentro de la unidad y ocupa el 0.69% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.
	C1-VAO-Sefes-bcra: bajo de laderas cortas rectas y topes agudos	Se localiza al occidente de la vereda Bolívar Arriba, sobre la margen occidental de la quebrada Cantarrana. Representa el 35.07% dentro de la unidad y ocupa el 4.40% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad se identifican deslizamientos de tipo traslacional.
	C1-VAO-Sefes-bmcxs: bajo de laderas moderadas convexas y topes subredondeados	Se localiza al nororiente de la vereda Los Monos, sobre la margen norte de la quebrada que lleva este mismo nombre, y limitada al occidente por la quebrada Danubio y al oriente por la divisoria de aguas. Representa el 8.34% dentro de la unidad y ocupa el 1.05% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.
	C1-VAO-Sefes-mccxa: moderado de laderas cortas convexas y topes agudos	Se localiza al norte de la vereda San Miguel hacia la zona de nacimiento de la quebrada Santa Rosa. Representa el 3.49% dentro de la unidad y ocupa el 0.44% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad se identifican deslizamientos de tipo traslacional.
	C1-VAO-Sefes-mcra: moderado de laderas cortas rectas y topes agudos	Se localiza al suroccidente de la vereda San Miguel, sobre la vertiente norte de la quebrada La Linda. Representa el 4.24% dentro de la unidad y ocupa el 0.53% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad sólo se identifica un deslizamiento de tipo traslacional.
	C1-VAO-Sefes-mmcv: moderado de laderas moderadas cóncavas y topes subredondeados	Se localiza en la zona central de la vereda San Miguel, sobre la vertiente occidental de la quebrada El Concilio. Representa el 11.60% dentro de la unidad y ocupa el 1.45% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.
	C1-VAO-Sefes-mmis: moderado de laderas moderadas irregulares y topes subredondeados	Se asocia a dos sectores localizados en la vereda San Miguel; el primero de ellos al noroccidente limitada al norte por la quebrada Los Colores y al oriente por la quebrada San Miguel. El segundo sector se localiza al sur, sobre la vertiente sur de la quebrada san	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.

		Miguel. Representa el 18.78% dentro de la unidad y ocupa el 2.35% del total del área del municipio.	
--	--	---	--



Foto 27. Espolón festoneado en la vía al centro poblado Alfonso López en la vereda San Miguel.

Ladera estructural (C1-VAO-Sle): Superficie en declive, de morfología irregular, definida por planos preferentes (estratos, foliación, diaclasamiento entre otros) a favor de la pendiente del terreno. De longitud moderada y con pendientes muy inclinadas. Esta geoforma no está asociada a ninguna estructura de tipo regional (anticlinal, sinclinal, monoclinal, entre otros). Se ha definido 1 subunidad, como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 7. Subunidad de la unidad de ladera estructural

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Ladera estructural	C1-VAO-Sle-mi: Moderada e irregular	Se localiza al suroccidente de la vereda San Miguel, sobre la vertiente norte de la quebrada la Linda. Representa el 100% con respecto a la unidad y el 0.58 con respecto al total del Municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.

Lomo de falla (C1-VAO-Slf): Prominencia topográfica de morfología alomada, con laderas cortas a largas, de formas irregulares a rectas y pendiente muy inclinadas a abruptas, localizados a lo largo de una falla de rumbo y formados por el efecto combinado del desplazamiento lateral y la geometría del plano de falla que determina la expulsión de un bloque de terreno.

De acuerdo con su altura relativa, longitud, forma, pendiente de la ladera y características del tope se han definido 5 subunidades que se describen en la siguiente tabla.

Tabla 8. Subunidades de la unidad de lomo de falla

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Lomo de falla	C1-VAO-Slf-bcis: bajo de laderas cortas irregulares y tope subredondeado	Se localiza al norte de la vereda san Miguel, en la zona de nacimiento de la quebrada que lleva este mismo nombre. Representa el 7.38% dentro de la unidad y ocupa el 0.20% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad sólo se identifica un deslizamiento de tipo traslacional, aunque con una dimensión importante que ha comprometido la estabilidad de la vía de acceso a la vereda.
	C1-VAO-Slf-bcrs: bajo de laderas cortas rectas y tope subredondeado	Se localiza entre las vereda farallones y Los monos, limitada al norte por la quebrada Santa Bárbara y al sur por la quebrada Trilla, en la zona de nacimiento de ambas. Representa el 7.56% dentro de la unidad y ocupa el 0.20% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.
	C1-VAO-Slf-mcia: moderado de laderas cortas irregulares y tope agudo	Se localiza entre las vereda farallones y Los monos, limitada al sur por la quebrada Santa Bárbara y al norte por la quebrada Los Monos. Representa el 18.62% dentro de la unidad y ocupa el 0.50% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.
	C1-VAO-Slf-mlra: moderado de laderas largas rectas y tope agudo	Se localiza al noroccidente de la vereda Farallones, limitado al norte por la quebrada Las Mercedes y al sur por la quebrada Sucre, en la zona denominada como Farallones de Citará. Representa el 52.60% dentro de la unidad y ocupa el 1.41% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad sólo se identifica un deslizamiento de tipo traslacional.
	C1-VAO-Slf-mmis: moderado de laderas moderadas irregulares y tope subredondeado	Se localiza al suroccidente de la vereda La Sucia, limitado al norte por la quebrada La Sucia y al sur por la Cristalina. Representa el 13.85% dentro de la unidad y ocupa el 0.37% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.



Foto 28. Lomo de falla en la vereda Farallones.

Planicies Aluviales (C1-VAO-Fpa): Superficies elongadas, de dimensiones variables, de pendiente inclinada a suave, modelada sobre sedimentos aluviales y aluvio - torrenciales, que se presenta en forma pareada, limitada por escarpes de diferente altura a lo largo del cauce de un Río o quebrada. Su origen es relacionado a procesos de erosión y acumulación aluvial y aluvio - torrencial, dentro de antiguas llanuras de inundación y/o abanicos. Su formación incluye fases de acumulación, incisión y erosión vertical. Por sus diferentes características se ha definido 1 subunidad, como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 9. Subunidad de la unidad de planicies aluviales

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Planicies Aluviales	C1-VAO-Fpa-af: Abanico fluvio - torrencial	Se localiza en la vereda Los Monos, en la zona aledaña al cauce de la quebrada Santa Bárbara. Representa el 100% dentro de la unidad y ocupa el 0.53% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.



Foto 29. Abanico fluvio – torrenciales en la parte alta de la quebrada Los Monos

Sierras y lomos de presión (C1-VAO-Sslp): Prominencia topográfica alomada a elongada, localmente curva, asociada a zonas compresivas. Su origen es relacionado al truncamiento y desplazamiento vertical o lateral por procesos de fallamiento intenso. De acuerdo con su altura relativa, longitud, forma, pendiente de la ladera y características del tope se han definido 4 subunidades que se describen en la siguiente tabla.

Tabla 10. Subunidades de la unidad de sierras y lomos de presión

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Sierra y lomo de presión	C1-VAO-Sslp-mcrs: moderado de laderas cortas rectas y tope subredondeado	Se localiza entre las veredas Manzanillo y La Carmina, limitado al occidente y oriente por las quebradas que llevan estos mismos nombres. Representa el 23.37% dentro de la unidad y ocupa el 0.99% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.
	C1-VAO-Sslp-mlrs: moderado de laderas largas rectas y tope subredondeado	Se localiza en la zona central de la vereda san Miguel, limitado al oriente por la quebrada que lleva este mismo nombre y al occidente por la quebrada El Concilio. Representa el 18.63% dentro de la unidad y ocupa el 0.79% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.
	C1-VAO-Sslp-mlia: moderado de laderas moderadas irregulares y tope agudo	Se localiza en límite entre las veredas Los Monos y La Sucia, limitada al norte y al sur por las quebradas que llevan estos mismos nombres. Representa el 31.70% dentro de la unidad y ocupa el 1.35% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad sólo se identifica un deslizamiento de tipo traslacional.
	C1-VAO-Sslp-mlmra: moderado de laderas moderadas rectas y tope agudo	Se localiza al norte de la vereda san Miguel, limitado al oriente por la quebrada Santa Rosa y al occidente por la quebrada San Miguel. Representa el 26.30% dentro de la unidad y ocupa el 1.12% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.



Foto 30. Sierra y lomo de presión en la vereda San Miguel.

4.2.1.2 Vertientes medias de la margen oeste (VMO)

Cono o lóbulo (C1-VMO-Dco): Estructura en forma de cono o lóbulo con morfología alomada baja. Su origen es relacionado a procesos de transporte y depositación de materiales sobre las laderas y por efecto de procesos hidrogravitacionales en suelos saturados y no saturados. Son superficies con pendientes inclinadas generalmente, con bloques angulares a subredondeados sobre la superficie. Se le asocia una subunidad que se describe en la siguiente tabla.

Tabla 11. Subunidad de la unidad de cono o lóbulo

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Cono o lóbulo	C1-VMO- Dco-cs: Coluvial y de solifluxión	Esta subunidad se asocia a tres pequeños polígonos localizados en las veredas San Miguel, La Angostura y Farallones. Representa el 100% dentro de la unidad y ocupa el 0.09% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.



Foto 31. Cono o lóbulo en la vereda San Miguel.

Escarpe de línea de falla (C1-VMO-Sife): Plano vertical a subvertical corto, y recto de pendiente abrupta. Su origen se relaciona a las superficies definidas por el truncamiento de estructuras topográficas y geológicas afectadas por procesos de erosión acentuada. Se ha definido 1 subunidad, como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 12. Subunidad de la unidad escarpe de línea de falla

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Escarpe de línea de falla	C1-VMO-Slfe-cr: corto y recto	Se localiza al oriente de la vereda farallones, sobre la vertiente norte de la quebrada que lleva este mismo nombre. Representa el 100% con respecto a la unidad y el 0.09% con respecto al total del Municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.

Escarpe faceteado (C1-VMO-Def): Plano vertical a subvertical moderado, recto, de longitud moderada y pendientes escarpadas a muy escarpadas. Su origen es relacionado a procesos de erosión, incisión y movimientos en masa en laderas relictas que aparecen en torno a relieves estructurales constituidos por materiales fracturados.

Tabla 13. Subunidad de la unidad escarpe de línea de falla

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Escarpe faceteado	C1-VMO-Def-mr: moderado y recto	Corresponde a dos polígonos localizados en la parte alta de las veredas Farallones y La Arboleda, en la zona aledaña a los Farallones de Citará. Representa el 100% con respecto a la unidad y el 2.17% con respecto al total del Municipio.	Asociado a esta subunidad se identifican principalmente deslizamientos de tipo traslacional, y algunos pocos flujos, localizados principalmente hacia el sector de Los Farallones.



Foto 32. Escarpe faceteado en la vereda Farallones, sector Ardedero.

Espolón (C1-VMO-Ses): Saliente natural de morfología alomada y elongada, dispuestos perpendicularmente a la tendencia estructural general de la región, con índices de relieve bajos a moderados, con topes de longitud moderada y forma aguda. Presenta laderas con pendientes muy inclinadas a muy abruptas, de diferentes longitudes y formas irregulares a recta. El patrón de drenaje es paralelo a subparalelo, con un grado de incisión alto, generando valles en "V" cerrados. De acuerdo con su altura relativa, longitud, forma, pendiente de la ladera y características del tope se han definido 2 subunidades que se describe en la siguiente tabla.

Tabla 14. Subunidades de la unidad espolón

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Espolón	C1-VMO-Ses-bcra: bajo de laderas cortas rectas y topes agudos	Ocupa gran parte del resguardo La Sucia Indígena y pequeños sectores de la vereda Farallones. Representa el 19% dentro de la unidad y ocupa el 0.72% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.
	C1-VMO-Ses-mmia: moderado de laderas moderadas irregulares y topes agudos	Se localiza en límites entre las veredas Farallones y La Arboleda, limitado al occidente por la quebrada La Beatriz y al oriente por la quebrada La Arboleda. Representa el 81% dentro de la unidad y ocupa el 3.08% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad se identifican deslizamientos de tipo traslacionales localizados hacia la zona de mayor pendiente.



Foto 33. Espolones en la vereda La Arboleda.

Espolón faceteado (C1-VMO-Sefc): Saliente topográfica de morfología alomada y de forma predominantemente simétricas, con índice de relieve bajo a moderado; presenta topes de longitud moderada y formas agudas a redondeadas sin dirección preferencial. Presenta laderas caracterizadas por inclinaciones muy

inclinadas a muy abruptas y longitudes cortas a moderadas, de diferentes formas, y perpendicular a ella forman facetas triangulares. El patrón de drenaje dominante es subparalelo, con valles en forma de "V" abierto e incisiones fuertes. De acuerdo con su altura relativa, longitud, forma, pendiente de la ladera y características del tope se han definido 4 subunidades que se describen en la siguiente tabla.

Tabla 15. Subunidad de la unidad de espolón facetado

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Espolón facetado	C1-VMO-Sefc-bcia: bajo de laderas cortas irregulares y topes agudos	Abarca la vereda La Granja, en el sector localizado al sur de la cabecera urbana. Representa el 7.83% dentro de la unidad y ocupa el 0.54% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.
	C1-VMO-Sefc-bcra: bajo de laderas cortas rectas y topes agudos	Se asocia a dos sectores. El primero de ellos localizado al suroriente de la vereda La Arboleda sobre la vertiente sur de la quebrada que lleva este mismo nombre y limitado al norte por la quebrada Pinanal y al sur por la quebrada Aro Bajo. La segunda zona se localiza sobre el extremo sur de la vereda La Angostura sobre la vertiente sur de la quebrada que lleva este mismo nombre. Representa el 55.41% dentro de la unidad y ocupa el 3.85% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad se identifican deslizamientos de tipo traslacional, algunos de ellos con dimensiones de importancia.
	C1-VMO-Sefc-bmcvs: bajo de laderas moderadas cóncavas y topes subredondeados	Se localiza al suroriente de la vereda La Sucia, sobre la vertiente sur de la quebrada La Cristalina. Representa el 7.04% dentro de la unidad y ocupa el 0.49% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.
	C1-VMO-Sefc-mmia: moderado de laderas moderadas irregulares y topes agudos	Corresponde a un polígono localizado al suroccidente de la vereda San Miguel y al suroriente de la vereda Los Billares, limitada al norte por la quebrada Los Billares y al sur por la divisoria de aguas de la quebrada La Linda. Representa el 29.72% dentro de la unidad y ocupa el 2.06% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.



Foto 34. Espolón faceteado en la vía al centro poblado Villa Alegría, en la vereda La Arboleda.

Espolón festoneado (C1-VMO-Sefes): Prominencia topográfica de morfología colinada, elongada y de forma predominantemente simétricas, con índice de relieve bajo a moderado; presenta topos de longitud moderada a larga y forma subredondeada a agudos. Presenta laderas caracterizadas por inclinaciones muy inclinadas a escarpadas y longitudes cortas a moderadas, de diferentes formas. El patrón de drenaje dominante es subparalelo, con valles en forma de "V" abierto e incisión fuerte. La característica principal de esta unidad corresponde a que la parte terminal del espolón es amplia y se asemeja a una pata de elefante.

De acuerdo con su altura relativa, longitud, forma, pendiente de la ladera y características del tope se han definido 3 subunidades que se describen en la siguiente tabla.

Tabla 16. Subunidades de la unidad de espolón festoneado

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Espolón festoneado	C1-VMO-Sefes-bccva: bajo de laderas cortas cóncavas y topos agudos	Se localiza sobre toda la vertiente norte de la vereda La Angostura, sobre la vertiente norte de la quebrada que lleva este mismo nombre. Representa el 48.08% dentro de la unidad y ocupa el 1.60% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad sólo se identifica un deslizamiento de tipo traslacional.
	C1-VMO-Sefes-bccxs: bajo de laderas cortas convexas y topos subredondeados	Se localiza en límites entre las veredas Farallones y La Arboleda, sobre la vertiente oriental de la quebrada Farallones hasta su divisoria de aguas. Representa el 19.39% dentro de la unidad y ocupa el 0.65% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos
	C1-VMO-Sefes-mmis: moderado de laderas moderadas irregulares y topos subredondeados	Se localiza al nororiente de la vereda La Sucia, al sur de la cabecera urbana, limitada al occidente por la quebrada La Sucia y al oriente por la quebrada La Ovaina. Representa el 32.53% dentro de la unidad y ocupa el 1.08% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.



Foto 35. Espolón festoneado en la vereda La Sucia.

Gancho de flexión (C1-VMO-Sgf): Espolón estructural de morfología alomada, con una geometría en planta en forma de gancho. Su origen se relaciona al efecto combinado generado por el desplazamiento lateral a lo largo de una falla de rumbo y su posterior incisión erosiva. De acuerdo con su altura relativa, longitud, forma, pendiente de la ladera y características del tope se han definido 5 subunidades que se describen en la siguiente tabla.

Tabla 17. Subunidades de la unidad de gancho de flexión

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Gancho de flexión	C1-VMO-Sgf-ccva: de laderas cortas cóncavas y topes agudos	Se localiza al oriente de la vereda Farallones, en la zona aledaña a la quebrada Santa Lucía y algunos tributarios de la quebrada Farallones. Representa el 22.32% dentro de la unidad y ocupa el 0.92% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.
	C1-VMO-Sgf-ccxa: de laderas cortas convexas y topes agudos	Se localiza al oriente de la vereda Farallones, sobre la vertiente norte de la quebrada La Girardot. Representa el 8.91% dentro de la unidad y ocupa el 0.37% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.
	C1-VMO-Sgf-cis: de laderas cortas irregulares y topes subredondeados	Se localiza al nororiente de la vereda La Arboleda, sobre la vertiente sur de la quebrada que lleva este mismo nombre y limitada al sur por la quebrada Pinanal. Representa el 17.16% dentro de la unidad y ocupa el 0.71% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.
	C1-VMO-Sgf-mis: de laderas moderadas irregulares y topes subredondeados	Se localiza al sur de la vereda Farallones, limitado al oriente por la quebrada La Beatriz y al occidente por la quebrada San Pedro. Representa el 29.25% dentro de la unidad y ocupa el 1.20% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad se identifican deslizamientos de tipo traslacional.
	C1-VMO-Sgf-mra: de laderas moderadas rectas y topes agudos	Se localiza al sur de la vereda Farallones, limitada al oriente por la quebrada San Pedro y al occidente por la quebrada La Morona. Representa el 19.39% dentro de la unidad y	Asociado a esta subunidad se identifican deslizamientos de

		ocupa el 0.65% del total del área del municipio.	tipo traslacional.
--	--	--	--------------------



Foto 36. Gancho de flexión llegando a las partidas a Villa Alegría.

Ladera estructural (C1-VMO-Sle): Superficie en declive, de morfología irregular, definida por planos preferentes (estratos, foliación, diaclasamiento entre otros) a favor de la pendiente del terreno. De longitud moderada y con pendientes muy inclinadas. En esta geoforma no está asociada a ninguna estructura de tipo regional (anticlinal, sinclinal, monoclinal, entre otros). Se ha definido 1 subunidad, como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 18. Subunidad de la unidad de ladera estructural

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Ladera estructural	C1-VMO-Sle-mi: Moderada e irregular	Se localiza en el extremo norte de la vereda Buenavista, sobre toda la vertiente norte de la quebrada que lleva este mismo nombre. Representa el 100% con respecto a la unidad y el 0.56% con respecto al total del Municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.

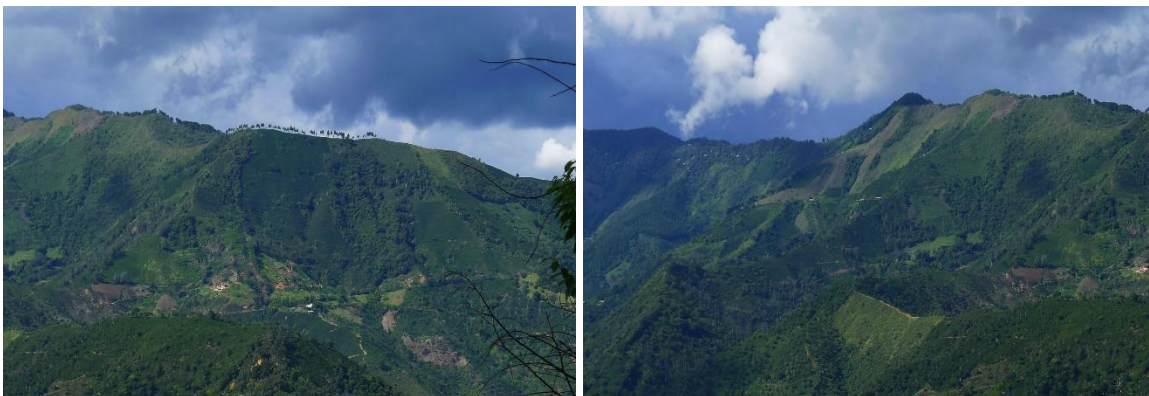


Foto 37. Ladera estructural en la vereda Buenavista.

Planicies Aluviales (C1-VMO-Fpa): Superficies elongadas, de dimensiones variables, de pendiente inclinada a suave, modelada sobre sedimentos aluviales y aluvio - torrenciales, que se presenta en forma pareada, limitada por escarpes de diferente altura a lo largo del cauce de un Río o quebrada. Su origen es relacionado a procesos de erosión y acumulación aluvial y aluvio - torrencial, dentro de antiguas llanuras de inundación y/o abanicos. Su formación incluye fases de acumulación, incisión y erosión vertical. Por sus diferentes características se han definido 2 subunidades, como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 19. Subunidades de la unidad abanico fluvio - torrencial

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Planicies Aluviales	C1-VAO-Fpa-af: Abanico fluvio - torrencial	Se localizan al oriente de la vereda Farallones, en la zona aledaña a las quebradas Girardot y santa Lucia. Representa el 81.42% dentro de la unidad y ocupa el 0.19% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.
	C1-VAO-Fpa-eaf: Escarpe de abanico fluviotorrencial	Se localizan al oriente de la vereda Farallones, sobre la vertiente oriental de la quebrada Girardot. Representa el 18.58% dentro de la unidad y ocupa el 0.04% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.



Foto 38. Planicie aluvial al norte del cauce de la quebrada La Girardot, vereda Farallones.

Sierras y lomos de presión (C1-VMO-Sslp): Prominencia topográfica alomada a elongada, localmente curva, asociada a zonas compresivas. Su origen es relacionado al truncamiento y desplazamiento vertical o lateral por procesos de fallamiento intenso. De acuerdo con su altura relativa, longitud, forma, pendiente de la ladera y características del tope se han definido 5 subunidades que se describen en la siguiente tabla.

Tabla 20. Subunidades de la unidad de sierras y lomos de presión

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Sierra y lomo de presión	C1-VMO-Sslp-bmcvs: bajo de laderas moderadas cóncavas y tope subredondeado	Se localiza al sur del resguardo indígena, en la vereda Farallones, limitada al oriente por la quebrada La Sucia y al occidente por la quebrada Ricaute. Representa el 10.97% dentro de la unidad y ocupa el 0.46% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.
	C1-VMO-Sslp-bmia: bajo de laderas moderadas irregulares y tope agudo	Se localiza al oriente de la vereda Farallones, limitada al norte por la quebrada La Girardot, y al sur por la quebrada La Sucia. Representa el 19.34% dentro de la unidad y ocupa el 0.81% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.
	C1-VMO-Sslp-bmis: bajo de laderas moderadas irregulares y tope subredondeado	Se localiza en límites entre las veredas La Angostura y San Miguel, limitada al norte por la quebrada Farallones, y al sur por la quebrada El Concilio. Representa el 10.77% dentro de la unidad y ocupa el 0.45% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad sólo se identifica un deslizamiento de tipo traslacional.
	C1-VMO-Sslp-bmmcva: moderado de laderas moderadas cóncavas y tope agudo	Se localiza al suroriente de la vereda San Miguel, limitado al oriente por la quebrada El Diamante y al occidente por la quebrada Farallones. Representa el 15.30% dentro de la unidad y ocupa el 0.64% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.
	C1-VMO-Sslp-mmia: moderado de laderas moderadas irregulares y tope agudo	Se localiza en límites entre las veredas Buenavista y los Billares, limitado al norte y al sur por las quebradas que llevan estos mismos nombres. Representa el 43.64% dentro de la unidad y ocupa el 1.83% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos



Foto 39. Sierra y lomo de presión en la vereda Farallones.

4.2.1.3 Vertientes bajas de la margen oeste (VMO)

Escarpe de línea de falla (C1-VBO-Slfe): Plano vertical a subvertical corto, y de aspecto irregular, de pendiente abrupta. Su origen se relaciona a las superficies definidas por el truncamiento de estructuras topográficas y geológicas afectadas por procesos de erosión acentuada. Se ha definido 1 subunidad, como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 21. Subunidad de la unidad escarpe de línea de falla

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Escarpe de línea de falla	C1-VAO-Slfe-ci: corto e irregular	Se localiza al suroriente de la vereda San Miguel, sobre la vertiente occidental de la quebrada San Miguelito. Representa el 100% con respecto a la unidad y el 0.16% con respecto al total del Municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.

Espolón (C1-VBO-Ses): Saliente natural de morfología alomada y elongada, dispuestos perpendicularmente a la tendencia estructural general de la región, con índices de relieve bajos a moderados, con topes de longitud moderada y forma aguda a subredondeada. Presenta laderas con pendientes muy inclinadas a muy abruptas, de diferentes longitudes y formas irregulares a recta. El patrón de drenaje es paralelo a subparalelo, con un grado de incisión alto, generando valles en "V" cerrados. De acuerdo con su altura relativa, longitud, forma, pendiente de la ladera y características del tope se han definido 5 subunidades que se describe en la siguiente tabla.

Tabla 22. Subunidades de la unidad espolón

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Espolón	C1-VBO-Ses-bcra:	Se localiza al sur de la vereda La	Asociado a esta subunidad

	bajo de laderas cortas rectas y topes agudos	Hondura, en la vertiente norte de la quebrada Remolino. Representa el 6.47% dentro de la unidad y ocupa el 0.31% del total del área del municipio.	se identifican deslizamientos de tipo traslacionales, algunos de ellos de dimensiones importantes.
	C1-VBO-Ses-bcrs: bajo de laderas cortas rectas y topes subredondeados	Se localiza al norte de la vereda Remolino, sobre la vertiente occidental de la quebrada que lleva este mismo nombre. Representa el 27.07% dentro de la unidad y ocupa el 1.30% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.
	C1-VBO-Ses-bmis: bajo de laderas moderadas irregulares y topes subredondeados	Se localiza en la zona central de la vereda Remolino, sobre la vertiente oriental de la quebrada Remolino. Representa el 19.39% dentro de la unidad y ocupa el 0.93% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad se identifican deslizamientos de tipo traslacionales, algunos de ellos de dimensiones importantes.
	C1-VBO-Ses-mlrs: moderado de laderas largas rectas y topes subredondeados	Se localiza en la zona central de la vereda Remolino, sobre la vertiente occidental de la quebrada que lleva este mismo nombre. Representa el 15.84% dentro de la unidad y ocupa el 0.76% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.
	C1-VBO-Ses-mmrs: moderado de laderas moderadas rectas y topes subredondeados	Se localiza al norte de la vereda La Hondura, sobre la vertiente occidental de la quebrada que lleva este mismo nombre. Representa el 31.23% dentro de la unidad y ocupa el 1.50% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.



Foto 40. Espolón en la vereda La Hondura.

Espolón facetado (C1-VBO-Sefc): Saliente topográfica de morfología alomada y de forma predominantemente simétricas, con índice de relieve bajo a moderado; presenta topes de longitud moderada y formas agudas a redondeadas con dirección preferencial E-W. Presenta laderas caracterizadas por inclinaciones escarpadas y longitudes predominantemente cortas, de forma irregular y rectas, y perpendicular a ella forman facetas triangulares. El patrón de drenaje dominante es subparalelo, con valles en forma de "V" abierto e incisiones fuertes. De acuerdo con su altura relativa, longitud, forma, pendiente de la ladera y

características del tope se han definido 3 subunidades que se describen en la siguiente tabla.

Tabla 23. Subunidades de la unidad de espolón facetado

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Espolón facetado	C1-VBO-Sefc-bcra: bajo de laderas cortas rectas y topes agudos	Se asocia a tres polígonos dentro de la zona de estudio. El primero de ellos se localiza al norte de la vereda La Hondura; el segundo al sur de esta misma vereda sobre la vertiente sur de la quebrada Hondura. Finalmente el tercero y el de menor representatividad se localiza en la vereda Remolino. Representa el 36.97% dentro de la unidad y ocupa el 1.27% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad se identifica sólo un deslizamiento de tipo traslacional.
	C1-VBO-Sefc-bcrs: bajo de laderas cortas rectas y topes subredondeados	Esta unidad incluye parte de las veredas remolino, Amaranto, y San Miguel, por lo que se encuentra limitada al norte por la quebrada Amaranto, al sur por la divisoria de aguas de dicha quebrada, al oriente por la quebrada Remolino y al occidente San Miguelito. Representa el 40.31% dentro de la unidad y ocupa el 1.393.72% del total del área del municipio	Asociado a esta subunidad se identifican movimientos en masa, asociados a las zonas de mayor pendiente.
	C1-VBO-Sefc-mcia: moderado de laderas cortas irregulares y topes agudos	Se localiza al nororiente de la vereda San Miguel, sobre la vertiente oriental de la quebrada que lleva este mismo nombre. Representa el 22.71% dentro de la unidad y ocupa el 0.78% del total del área del municipio	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfoodinámicos.



Foto 41. Espolón facetado, vereda Remolino.

Espolón festoneado (C1-VBO-Sefes): Prominencia topográfica de morfología colinada, elongada y de forma predominantemente simétricas, con índice de relieve bajo a moderado; presenta topes de longitud moderada a larga y forma subredondeada a agudos. Presenta laderas caracterizadas por pendientes muy inclinadas y longitudes cortas a largas, de diferentes formas. El patrón de drenaje dominante es subparalelo, con valles en forma de "V" abierto e incisión fuerte. La característica principal de esta unidad corresponde a que la parte terminal del espolón es amplia y se asemeja a una pata de elefante.

De acuerdo con su altura relativa, longitud, forma, pendiente de la ladera y características del tope se han definido 7 subunidades que se describen en la siguiente tabla.

Tabla 24. Subunidades de la unidad de espolón festoneado

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Espolón festoneado	C1-VBO-Sefes-bccva: bajo de laderas cortas cóncavas y topes agudos	Se localiza al sur de la vereda Remolino, limitada al oriente por la quebrada El León y al occidente San Antonio. Representa el 6.56% dentro de la unidad y ocupa el 0.47% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.
	C1-VBO-Sefes-bccvs: bajo de laderas cortas cóncavas y topes subredondeados	Se asocia a tres polígonos principalmente. El primero de ellos se extiende al norte de la vereda Remolino, sobre la vertiente oriental de la quebrada Remolino. El segundo se localiza en la zona central de la vereda San Miguel sobre la vertiente oriental de dicha quebrada; y finalmente el tercer polígono se localiza en el extremo oriental del Municipio, en la vereda remolino, sobre la margen oriental del río San Juan. Representa el 32.31% dentro de la unidad y ocupa el 2.34% del total del área del municipio	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.
	C1-VBO-Sefes-bccxs: bajo de laderas cortas convexas y topes subredondeados	Se localiza al sur de la vereda Remolino, limitado al oriente por la quebrada El Cafetala y al occidente por la quebrada El León. Representa el 4.41% dentro de la unidad y ocupa el 0.32% del total del área del municipio	Asociado a esta unidad se identifican algunos procesos morfodinámicos correspondiente principalmente a movimientos en masa (deslizamientos).
	C1-VBO-Sefes-bmia: bajo de laderas moderadas irregulares y topes agudos	Se localiza al sur de la vereda Remolino, en la al sur del río Bolívar, donde se localiza la quebrada El Cafetal. Representa el 9.40% dentro de la unidad y ocupa el 0.68% del total del área del municipio	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.
	C1-VBO-Sefes-mccxa: moderado de laderas cortas convexas y topes agudos	Ocupa la vereda La Lindaja y el costado nororiental de la vereda La Hondura, hacia la zona de nacimiento de la quebrada La Hondura. Representa el 13.63% dentro de la unidad y ocupa el 1.20% del total del área del municipio	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.
	C1-VBO-Sefes-mlis: moderado de laderas largas irregulares y topes subredondeados	Se localiza en la zona central de la vereda San Miguel, sobre la vertiente oriental de dicha quebrada. Representa el 13.03% dentro de la unidad y ocupa el 0.94% del total del área del municipio	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.
	C1-VBO-Sefes-mmcxs: moderado de laderas moderadas convexas y topes subredondeados	Se localiza al sur de las veredas San Miguel y Remolino, limitado al oriente por la quebrada San Antonio y al occidente por el río Farallones. Representa el 17.66% dentro de la unidad y ocupa el 1.28% del total del área del municipio	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.



Foto 42. Espolón festoneado en la vereda San Miguel, vía a Alfonso López.

Gancho de flexión (C1-VBO-Sgf): Espolón estructural de morfología alomada, con una geometría en planta en forma de gancho. Su origen se relaciona al efecto combinado generado por el desplazamiento lateral a lo largo de una falla de rumbo y su posterior incisión erosiva. De acuerdo con su altura relativa, longitud, forma, pendiente de la ladera y características del tope se ha definido 1 subunidad que se describe en la siguiente tabla.

Tabla 25. Subunidad de la unidad de gancho de flexión

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Gancho de flexión	C1-VBO-Sgf-crs: de laderas cortas rectas y topes subredondeados	Se localiza al suroriente de la vereda San Miguel, limitado al norte por la quebrada San Miguelito y al sur por la quebrada San Miguel. Representa el 100% dentro de la unidad y ocupa el 0.18% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.



Foto 43. Gancho de flexión vereda San Miguel.

Ladera estructural (C1-VBO-Sle): Superficie en declive, de morfología irregular, definida por planos preferentes (estratos, foliación, diaclasamiento entre otros) a favor de la pendiente del terreno. De longitud larga y con pendientes muy inclinadas. En esta geoforma no está asociada a ninguna estructura de tipo regional (anticlinal, sinclinal, monoclinal, entre otros). Se ha definido 1 subunidad, como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 26. Subunidad de la unidad de ladera estructural

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Ladera estructural	C1-VBO-Sle-Ir: larga y recta	Se localiza en las veredas Remolino y San Miguel sobre la margen oriental del río Bolívar. Representa el 100% con respecto a la unidad y el 1.88% con respecto al total del Municipio.	Asociado a esta unidad se identifican un predominio de procesos morfodinámicos correspondiente principalmente a movimientos en masa (deslizamientos), algunos de ellos de dimensiones importantes.

Lomo de falla (C1-VBO-Slf): Prominencia topográfica de morfología alomada, con laderas cortas, de forma rectas y pendiente muy inclinadas a abruptas, localizados a lo largo de una falla de rumbo y formados por el efecto combinado del desplazamiento lateral y la geometría del plano de falla que determina la expulsión de un bloque de terreno. De acuerdo con su altura relativa, longitud, forma, pendiente de la ladera y características del tope se ha definido 1 subunidad que se describe en la siguiente tabla.

Tabla 27. Subunidad de la unidad de lomo de falla

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Lomo de falla	C1-VBO-Slf-bcrs: bajo de laderas cortas rectas y tope subredondeado	Corresponde a un polígono que se extiende entre las veredas Amaranto, Remolino y San Miguel, limitado al norte por la quebrada Remolino y al sur por la quebrada Amaranto. Representa el 100% dentro de la unidad y ocupa el 1.17% del total del área del municipio.	Asociado a esta unidad se identifican un predominio de procesos morfodinámicos correspondiente principalmente a movimientos en masa (deslizamientos).



Foto 44. Lomo de falla en la vereda Remolino.

Sierras y lomos de presión (C1-VBO-Sslp): Prominencia topográfica alomada a elongada, localmente curva, asociada a zonas compresivas. Su origen es relacionado al truncamiento y desplazamiento vertical o lateral por procesos de fallamiento intenso. De acuerdo con su altura relativa, longitud, forma, pendiente de la ladera y características del tope se ha definido 1 subunidad que se describe en la siguiente tabla.

Tabla 28. Subunidad de la unidad de sierras y lomos de presión

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Sierra y lomo de presión	C1-VBO-Sslp-mmcs: moderado de laderas moderadas cóncavas y tope subredondeado	Se localiza entre las veredas Remolino y San Miguel, limitado al oriente por la quebrada Remolino y al occidente por la quebrada San Miguelito. Representa el 100% dentro de la unidad y ocupa el 1.24% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.

4.2.1.4 Fondo (F)

Planicies Aluviales (C1-F-Fpa): Superficies elongadas, de dimensiones variables, de pendiente inclinada a suave, modelada sobre sedimentos aluviales y aluvio - torrenciales, que se presenta en forma pareada, limitada por escarpes de diferente altura a lo largo del cauce de un Río o quebrada. Su origen es relacionado a procesos de erosión y acumulación aluvial y aluvio - torrencial, dentro de antiguas llanuras de inundación y/o abanicos. Su formación incluye fases de acumulación, incisión y erosión vertical. Por sus diferentes características se han definido 3 subunidades, como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 29. Subunidades de la unidad de planicies aluviales

Unidad	Subunidad	Localización	Procesos
Planicies Aluviales	C1-F-Fpa-tft: Terraza fluvio - torrencial	Corresponde a pequeños polígonos localizados de forma discontinua a lo largo de algunas corrientes del municipio, como las quebradas La Linda, Los Monos, La Cascada y el río Bolívar. Representa el 12.29% dentro de la unidad y ocupa el 0.50% del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.
	C1-F-Fpa-pat: Plano aluvio - torrencial	Corresponde una franja delgada y alargada que se extiende de forma paralela a las quebradas La Linda, La Cascada, La Arboleda, el río Bolívar, y Farallones. Representa el 86.51% dentro de la unidad y ocupa el 3.49 % del total del área del municipio.	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos.
	C1-F-Fpa-fpi: Plano llanura de inundación	Se extiende como una franja largada y continua a la quebrada Angostura en la quebrada que lleva este mismo nombre. Representa el 1.20% dentro de la unidad y ocupa el 0.05 % del total del área	Asociado a esta subunidad no se identifican procesos morfodinámicos

		del municipio	
--	--	---------------	--



Foto 45. Planicie aluvial en la vereda Farallones.

4.3 VARIABLES MORFOMÉTRICAS

4.3.1 Pendientes

Se define como el ángulo de la ladera con respecto a la horizontal, en términos de grados o en términos de porcentaje. Se relaciona con la ocurrencia de movimientos en masa debido a que estos últimos constituyen un fenómeno de tipo gravitacional, en los cuáles las pendientes de rangos moderados a fuertes están asociados a valores de aceleración mayores; sin embargo la ocurrencia de estos movimientos se relaciona también con la generación de suelo, el cual se desarrolla de manera general en condiciones de menor inclinación y en menor proporción en zonas de inclinaciones mayores, con menores o nulos espesores en zonas abruptas a muy abruptas, en las cuáles predominan los fenómenos de caída de roca, por lo cual el comportamiento cualitativo que más se ajusta a esta variable está relacionado con una función de carácter sinoidal.

Para el municipio de Ciudad Bolívar, esta variable muestra un predominio de pendientes inclinadas a muy inclinadas distribuidas a lo largo de todo el área de estudio, asociado al paisaje de espolones que se desarrollan sobre suelos residuales del Miembro Urrao de la Formación Penderisco. Se destaca que estas zonas representan el 67.05 % del total del Municipio.

Las zonas de pendientes abruptas a escarpadas presentan una distribución moderada, representando el 20.39% del total del Municipio y se localiza principalmente hacia el costado suroccidental, incluyendo la parte alta de las veredas Farallones y La Linda asociado a la zona correspondiente a los Farallones de Citará. Se destaca que este rango de pendientes igualmente se identifica hacia la parte alta de las veredas Bolívar Arriba, Manzanillo y San Miguel, en el costado norte del municipio.

Finalmente las zonas de pendientes suaves y muy suaves se encuentran poco distribuidas, ocupando el 12.56% del total del Municipio y corresponde principalmente a las zonas de acumulación de depósitos aluvio – torrenciales localizados adyacentes a los principales ríos como los ríos Bolívar y Farallones, incluyendo el sector donde se localiza la cabecera urbana y el centro poblado de San Bernardo de Farallones. Este rango de pendientes igualmente se asocia a los lechos de los principales ríos y quebradas que drenan el Municipio.

En la siguiente tabla se presenta la distribución de los diferentes rangos de pendientes para el Municipio de Ciudad Bolívar y en la Figura 8 el mapa de pendientes:

Tabla 30. Distribución de la variable pendientes para el Municipio de Ciudad Bolívar

Rango pendiente	Total Área (ha)	Porcentaje (%)
0 - 3%	322.30	1.24
3 - 10%	2953.76	11.32
10 - 25%	10653.22	40.84
25 - 40%	6835.77	26.21
40 - 60%	3684.00	14.12
60 - 100%	1549.56	5.60
>100%	175.18	0.67

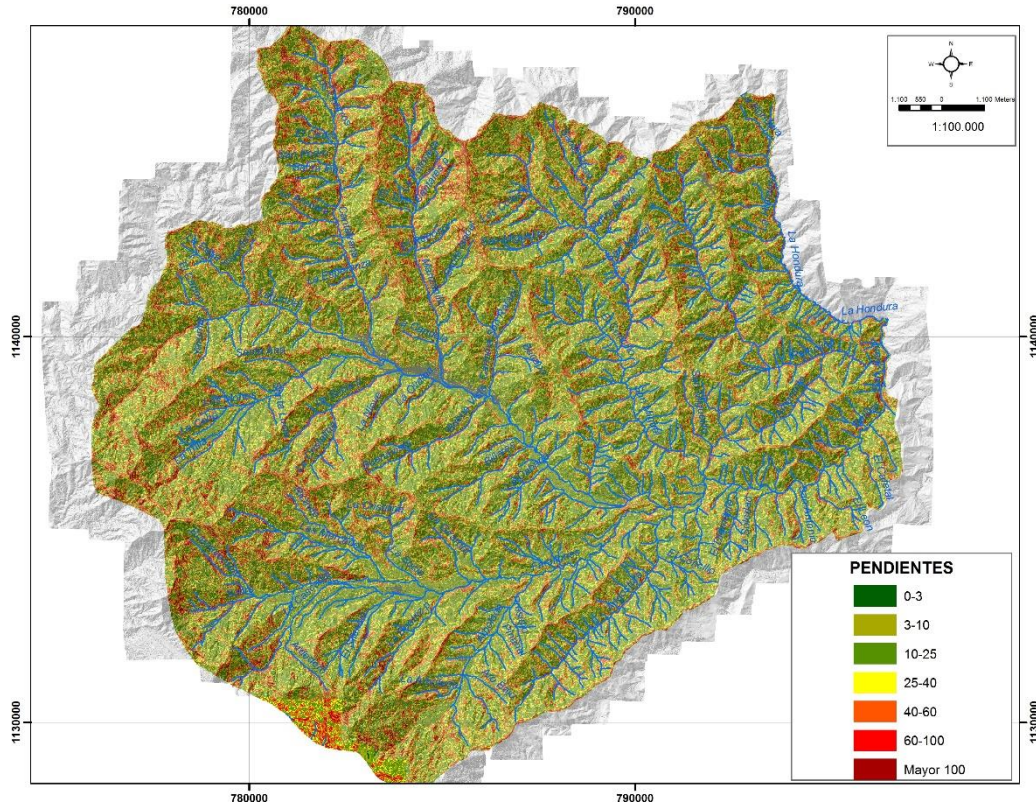


Figura 8. Mapa de variable pendientes para el suelo rural del Municipio de Ciudad Bolívar

4.3.2 Rugosidad

Variable asociada a la diferencia de la pendiente en un área determinada en términos de celdas (25X25 celdas). Matemáticamente se define como la desviación del vector normal a la superficie de cada una de las celdas, en valores normalizados de 0 a 1, asociando los valores más altos a una rugosidad menor y los valores más bajos a una rugosidad más alta, ya que aumenta la dispersión de los vectores. En términos de amenaza, esta variable se relaciona con la definición de formas asociadas a taludes y diferencias entre las laderas, las crestas y los valles, asociando de manera general con una mayor susceptibilidad por movimientos de masa a aquellas laderas con mayor rugosidad.

Esta variable no muestra un patrón muy diferenciable para el Municipio debido a que se presenta una distribución bastante homogénea de las zonas con rugosidad predominantemente alta y muy alta, las cuales representan el 87.63% del total del área del Municipio, y por lo tanto su distribución se da a lo largo de todas las veredas que lo conforman (Figura 9).

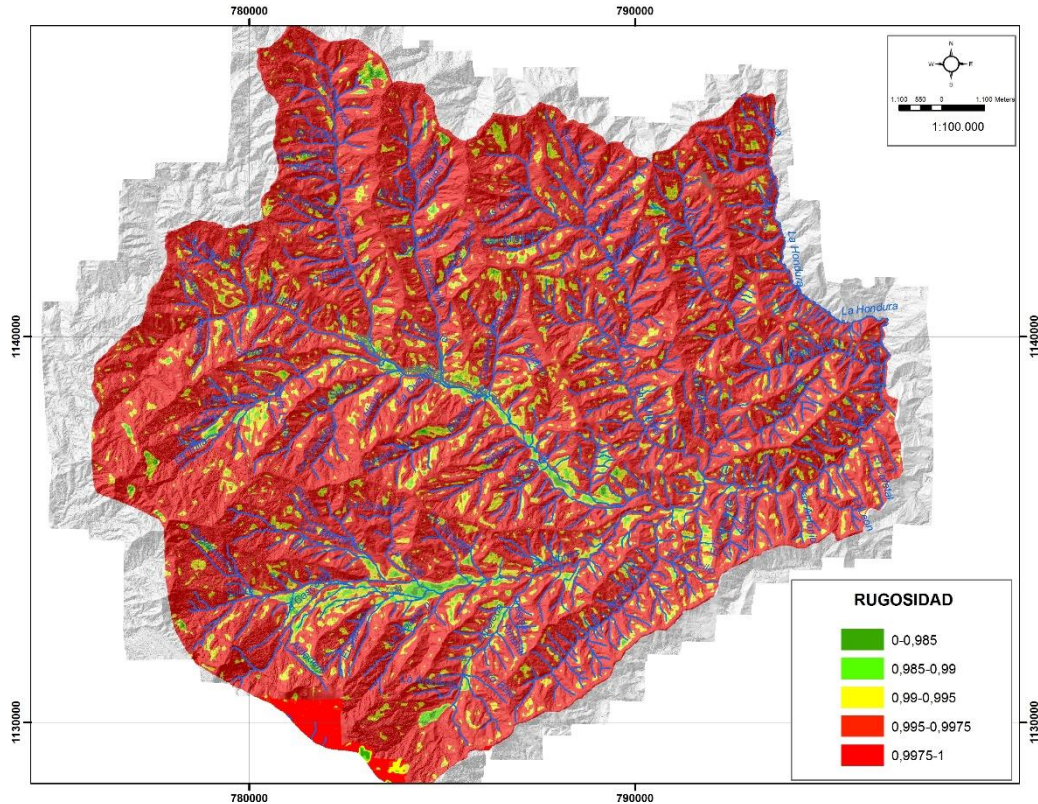


Figura 9. Mapa de variable rugosidad para el suelo rural del Municipio de Ciudad Bolívar

Las zonas de rugosidad media y baja representan el 12.09% del total del Municipio y su distribución se concentra hacia las zonas aledañas a las principales corrientes que drenan el Municipio, como los ríos Bolívar, Farallones y las quebradas La Linda y Los Monos, y en las zonas modificadas por la acumulación de depósitos aluvio - torrenciales. Estos valores de rugosidad igualmente se distribuyen de forma aleatoria como pequeños polígonos a lo largo de todo el Municipio, con un mayor predominio en las veredas San Miguel y Farallones (Figura 9).

En la siguiente tabla se presenta la distribución de la variable rugosidad para el Municipio de Ciudad Bolívar y en la Figura 9 el mapa de dicha variable:

Tabla 31. Distribución de la variable rugosidad para el Municipio de Ciudad Bolívar

Nombre	Total Área (ha)	Porcentaje (%)
Rugosidad muy baja o nula	73.26	0.28
Rugosidad baja	433.95	1.66
Rugosidad media	2718.87	10.42
Rugosidad alta	3861.24	14.80

Rugosidad Muy alta	18996.45	72.83
--------------------	----------	-------

4.3.3 Relieve relativo

Se define como la diferencia entre la mayor elevación y la menor en una unidad determinada de superficie, cuya máxima diferencia se expresa en metros. Esta diferencia de altura se presenta con relación a un nivel base del terreno, midiendo su variación indiferente de su altura con respecto al nivel del mar. Esta variable está directamente relacionada con la resistencia de los materiales a nivel superficial, asociados a la recurrencia de eventos de inestabilidad en materiales más erosionados o en aquellos que por su resistencia desarrollan un relieve con intervalos de altura extremadamente altos y pendientes escarpadas y abruptas.

Esta variable muestra para el Municipio el predominio de zonas con índice de relieve bajo en el rango entre 50 y 200m principalmente, asociado al paisaje de espolones asociados al ambiente estructural que se distribuye principalmente hacia la zona central del municipio donde se localizan las veredas La Sucia, San Juan, Buenavista, La Carmina, la parte baja de la vereda San Miguel y la cabecera urbana, ocupando el 66.51% del total del área.

Igualmente y con un marcado predominio hacia el costado suroccidental del Municipio, asociado al sistema de espolones que descienden desde los Farallones de Citará en la parte alta de las veredas Farallones y la Linda, se identifican zonas con índice de relieve medio, con una distribución importante, representando el 32.40% del total del Municipio. Estas zonas con índice de relieve medio igualmente exhiben una importante distribución hacia el costado norte hacia la parte alta de las veredas Bolívar Arriba, Manzanillo y San Miguel.

Finalmente las zonas con índice de relieve muy bajo exhiben una baja representación (0.83%) y se localizan principalmente en la vereda Farallones y en la cabecera urbana en la zona aledaña a los ríos Farallones, Bolívar y la quebrada La Linda.

En la siguiente tabla se presenta la distribución de la variable relieve relativo para el Municipio de Ciudad Bolívar y en la figura 10 el mapa de dicha variable.

Tabla 32. Distribución de la variable relieve relativo para el Municipio de Ciudad Bolívar

Nombre	Rango (m)	Total Área (ha)	Porcentaje (%)
Muy Bajo	<50	215.77	0.83
Bajo	50 - 200	17348.68	66.51
Media	200 - 400	8450.12	32.40
Alto	400 - 600	64.52	0.25

Muy Alto	600 - 1000	4.69	0.02
----------	------------	------	------

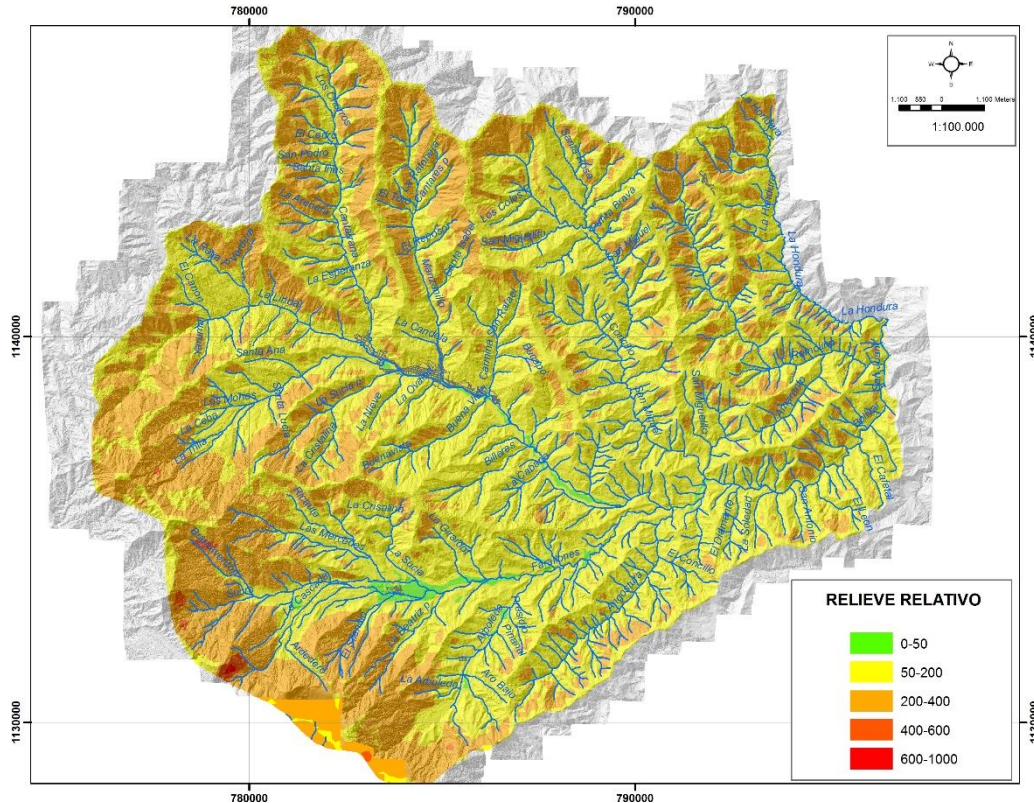


Figura 10. Mapa de variable relieve relativo para el suelo rural del Municipio de Ciudad Bolívar

4.4 PROCESOS MORFODINÁMICOS

Para el municipio de Ciudad Bolívar se cartografiaron un total de 508 procesos morfodinámicos correspondientes principalmente a movimientos en masa. Estos procesos se distribuyen a lo largo de todo el Municipio, afectando principalmente las unidades de espolones que se desarrollan sobre suelos residuales del Miembro Urrao de la Formación Penderisco.

A continuación se presenta el mapa de localización de dichos procesos (Figura 11):

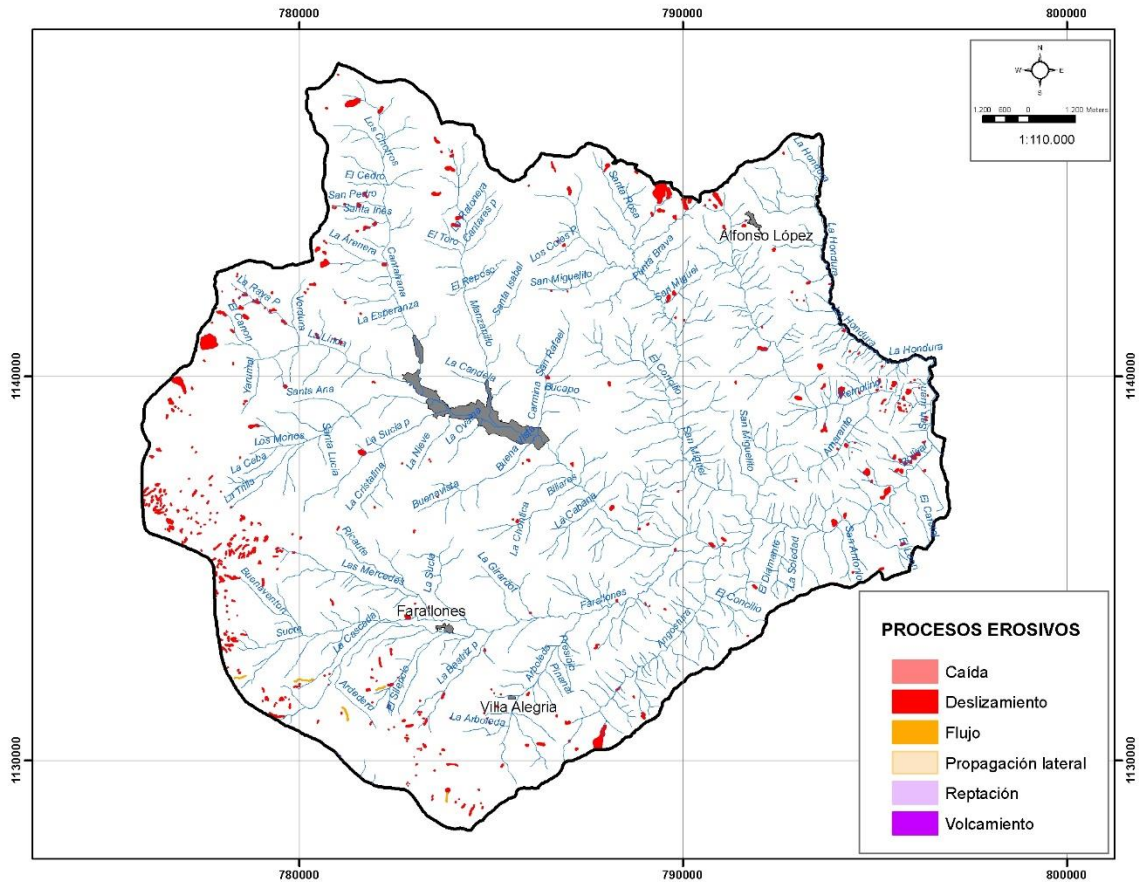


Figura 11. Mapa de procesos morfodinámicos para el suelo rural del Municipio de Ciudad Bolívar

Como se expresó anteriormente, los movimientos en masa exhiben una alta distribución dentro del Municipio, de los cuales el 89% corresponden a deslizamientos traslacionales favorecidos por las condiciones geológicas de la zona, el 7% a deslizamientos rotacionales y el 4% restante a flujo de lodos, y se presentan desde movimientos recientes hasta cicatrices de antiguos deslizamientos.

Estos eventos están asociados a diferentes factores, tanto naturales como antrópicos. Entre las causas naturales se encuentran la saturación de los suelos por períodos intensos de lluvias y las propiedades mecánicas de los suelos que en algunas ocasiones corresponden a saprolitos arenosos altamente susceptibles a la generación de procesos morfodinámicos. Otros factores que intervienen y favorecen los deslizamientos son el gradiente, la forma y longitud de las laderas. Las causas atribuidas a factores antrópicos son principalmente sobrecargas, pérdida de soporte en taludes por modificaciones para las construcciones y explotación de materiales, ausencia de sistemas de drenaje o en su defecto

sistemas mal contruidos, deforestación, mal uso y manejo del suelo como por ejemplo sobrepastoreo, banqueos y llenos antitécnicos, modificación de cauces, etc.

Los deslizamientos que se pudieron apreciar en los recorridos de campo han tenido gran influencia en el modelado del paisaje, presentan diferentes dimensiones y grados de afectación. Dentro de los movimientos en masa activos identificados, se destaca la presencia de algunos deslizamientos de tipo traslacionales, además de flujos de lodos y escombros, con importantes grados de afectación, pero los de mayor predominio corresponden a los deslizamientos de tipo traslacional favorecidos por la superficie de contacto entre el suelo residual y los materiales menos meteorizados. Estos procesos generan un aspecto cóncavo en las laderas afectadas, y comprometen principalmente suelos residuales del Miembro Urrao de la Formación Penderisco.

A continuación se describen algunos de los procesos morfodinámicos cartografiados durante los recorridos de campo:

- Sobre la vía que conduce al centro poblado de Alfonso López, aproximadamente 1km antes dentro poblado se identifica un deslizamiento de tipo traslacional, asociado al Miembro Urrao de la Formación Penderisco caracterizado por rocas altamente fracturadas y moderadamente meteorizadas. Este movimiento en masa actualmente se encuentra activo y afecta la transitabilidad de la vía por la acumulación del material movilizado.



Foto 46. Deslizamiento traslacional cerca al centro poblado de Alfonso López

- Hacia la vertiente occidental del espolón sobre el que se localiza el centro poblado de Alfonso López, se identifica igualmente un deslizamiento rotacional con superficie de falla profunda, con características retrogresivas que afecta suelos residuales del Miembro Urrao, cuya corona presenta una dimensión de

aproximadamente 50m y que en caso de presentar un avance podía llegar a afectar algunas de las viviendas localizadas sobre dicha vertiente. Se destaca que este movimiento en masa actualmente se encuentra activo.



Foto 47. Deslizamiento rotacional sobre vertiente occidental de Alfonso López

- Sobre la vía que comunica las veredas de Remolino y San Miguel, hacia la parte más alta, se identifican dos deslizamientos traslacionales a planares, de dimensiones importantes y que afectaron la transitabilidad de dicha vía, además de importantes zonas de cultivos de café. Estos movimientos en masa alcanzan dimensiones de hasta 200m de amplitud y se desarrollan sobre suelos residuales de la Formación Penderisco, cuya superficie de falla está dada por los cambios de rigidez entre los materiales que conforman el perfil de meteorización. Estos movimientos en masa se encuentran activos y se ven favorecidos por la presencia de planos paralelos a la pendiente.



Foto 48. Deslizamiento traslacional en la vereda san Miguel



Foto 49. Deslizamiento traslacional sobre la vía que comunica las veredas Remolino y San Miguel

- Asociado a los cortes de las vías veredales y antiguas canteras de explotación minera se identifican deslizamientos rotacionales y traslacionales, que no afectan infraestructuras o viviendas pero que muestran el comportamiento dinámico de la zona.



Foto 50. Deslizamientos asociados a cortes de las vías y antiguas canteras

- Sobre la vía que conduce al Carmen de Atrato (Chocó), se identifican una serie de deslizamientos de tipo Traslacional, asociados a la realización de cortes de gran altura sin ningún tipo de protección. Estos deslizamientos se desarrollan principalmente sobre las rocas sedimentarias del miembro Urrao, presentan diferentes dimensiones, algunos de ellos alcanzando alturas hasta de 15m y generan afectaciones en la transitabilidad de la vía.



Foto 51. Deslizamientos asociados a cortes de las vías que conduce al Carmen de Atrato

- En la vereda La Angostura sector Alto de los Jaramillo se identifica un deslizamiento traslacional con un flujo de lodos que descendió hasta la quebrada La Angostura, que afecta suelos residuales y presenta una amplitud de corona de aproximadamente 190m. Este movimiento en masa, de acuerdo a información suministrada por la comunidad, ocurrió en el año 2008 y generó pérdida total de 2 viviendas, además de afectar la transitabilidad total de la vía.



Foto 52. Deslizamientos sector Alto de los Jaramillo

- Asociado a la zona de los Farallones se identifica una alta densidad de procesos morfodinámicos, correspondientes a pequeños desgarres de tipo superficial y flujos, asociado al poco desarrollo de suelo residual, lo que favorece el desprendimiento de la capa superficial del suelo.
- Además de los deslizamientos anteriormente referenciados, asociado a la quebrada La Angostura se identifican procesos de socavación de orillas que afectan la banca de la vía que sirve de acceso a esta misma vereda.



Foto 53. Procesos de socavación asociados al cauce de la quebrada La Angostura

4.5 COBERTURAS

Para este componente se utiliza la información levantada durante el proceso de actualización del PBOT del municipio, cuya descripción se encuentra incluida dentro del documento de diagnóstico y cuya representación gráfica se presenta en la siguiente figura.

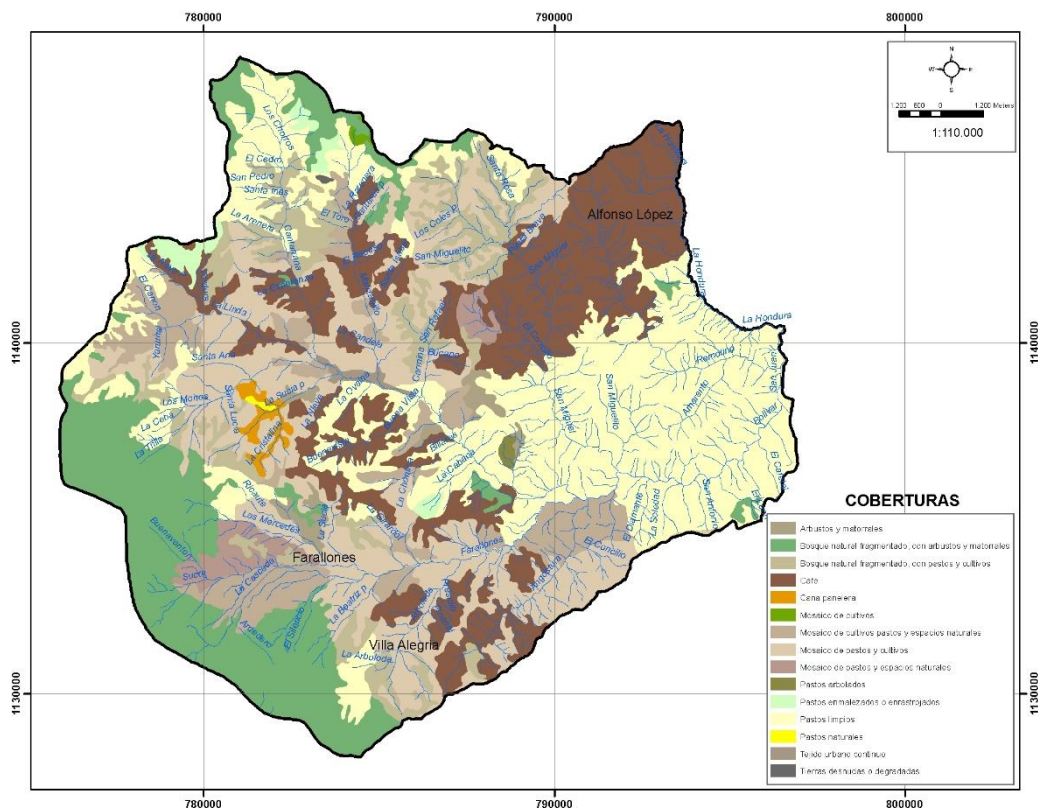


Figura 12. Mapa de coberturas vegetales para el suelo rural del Municipio de Ciudad Bolívar

Para analizar la susceptibilidad a los movimientos en masa ofrecida por las diferentes coberturas terrestres que se encuentran en el municipio de Ciudad Bolívar, se calificó y categorizó la variable profundidad efectiva.

A continuación se detallan las variables evaluadas respecto a la susceptibilidad a los movimientos en masa para cada una de las coberturas de la tierra identificadas en el municipio de Ciudad Bolívar.

4.5.1 Profundidad efectiva

Esta variable indica la profundidad máxima del suelo hasta donde pueden penetrar las raíces de las coberturas vegetales sin mayores impedimentos. Es sabido que a mayor profundidad radicular menor es la susceptibilidad de la cobertura a los movimientos en masa. En la Tabla 33 se presenta la categorización de la variable, datos que fueron tomados del documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa - SGC (2013).

Tabla 33. Categorización de la variable profundidad efectiva.

Profundidad Efectiva	Rango (cm)
Muy superficial	< 25
Superficial	25 - 50
Moderadamente profundo	50 - 100
Profundo	110 - 150
Muy profundo	> 150

Fuente. SGC (2013)

Los resultados sobre profundidad efectiva para diferentes coberturas, obedecen a la revisión de información secundaria. Entre los estudios analizados se encuentran: Suárez (2009) donde se consideran profundidades efectivas para las coberturas bosques, pastos y arbustos; Fajardo (2005), contiene resultado para las categorías de cultivos y herbáceas; Reyes y otros (1997) profundidades efectivas para otros cultivos arbóreos; conceptos de Giraldo (2002) sobre la influencia de las plantaciones en los acuíferos. En la Tabla 34 se presentan algunos de estos datos.

Como se mencionó anteriormente, para el caso de los polígonos de consociación, la profundidad efectiva se calificó según el valor de la cobertura con mayor predominancia en la consociación.

Para la categoría de Bosque fragmentado, se estima la profundidad efectiva como el promedio entre las profundidades de las coberturas de bosque denso y

vegetación secundaria o en transición. Para la categoría de pastos arbolados, se calcula la profundidad efectiva como el promedio de los valores para las coberturas de arbustos y pastos limpios. En el caso de la cobertura pasto enmalezado, por la similitud en el sistema radicular con el cultivo de caña, se estima la profundidad efectiva como el promedio entre los valores de las categorías de pastos limpios y caña. Finalmente, la profundidad efectiva de la categoría vegetación secundaria o en transición, se calcula mediante el promedio de profundidades de las coberturas de arbustos y pastos enmalezados.

Tabla 34. Datos de profundidad efectiva para diferentes coberturas de la tierra.

Cobertura	Cálculo	Dato (cm)	Observación
Arbustal Abierto		150	Dato obtenido con base en teorías de "Biología de las plantas" de Raven, Evert y Eichhorn (1992)
Arbustal Denso		150	Dato obtenido con base en teorías de "Biología de las plantas" de Raven, Evert y Eichhorn (1992)
Bosque Abierto Alto de Tierra Firme		>300	Dato obtenido de Suárez (2009)
Bosque de galería y ripario		200	Dato interpretado de Suárez (2009) y de la definición para esta cobertura en IDEAM (2010). Se tuvo en cuenta que allí las raíces no buscan mucho el agua por ser de fácil y rápido acceso.
Bosque Denso Alto de Tierra Firme		>300	Dato obtenido de Suárez (2009)
Bosque Fragmentado	$(300+101,3)/2$	200,7	Promedio entre los valores para las categorías de bosque denso y vegetación secundaria o en transición
Caña		80	Dato obtenido de Fajardo (2005)
Cuerpos de agua artificiales		0	No posee coberturas vegetales.
Cultivos confinados		50	Dato obtenido con base en valores para tomate y hortalizas según Fajardo, 2005.
Hortalizas		50	Dato obtenido con base en valores para tomate y hortalizas según Fajardo, 2005.
Cultivos permanentes arbustivos		80	Promedio entre café y cacao (datos tomados de Fajardo 2005) por ser cultivos permanentes arbustivos.
Herbazal denso de tierra firme		30	Dato obtenido de Fajardo 2005 y características radicales de pastos oligotrofos con agrostis (Hernández et al. 1992)
Lagunas, lagos y ciénagas naturales		0	No posee coberturas vegetales.
Mosaico de cultivos	-	-	Se considera el valor de la categoría predominante en cada polígono
Mosaico de cultivos con espacios naturales	-	-	Se considera el valor de la categoría predominante en cada polígono
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	-	-	Se considera el valor de la categoría predominante en cada polígono

Mosaico de pastos con espacios naturales	-	-	Se considera el valor de la categoría predominante en cada polígono
Mosaico de pastos y cultivos	-	-	Se considera el valor de la categoría predominante en cada polígono
Obras hidráulicas		0	No posee coberturas vegetales.
Cultivos permanentes arbóreos		70	Promedio entre cítricos (dato tomado de Fajardo 2005) y palma de aceite (dato tomado de Reyes et al. 1997).
Cultivos permanentes herbáceos		80	Se asume el valor de profundidad para el cultivo de caña
Otros cultivos transitorios		50	Dato obtenido con base en valores para tomate según Fajardo, 2005. La definición de IDEAM, 2010, especifica que esta cobertura incluye al tomate, flores, fresa, tabaco.
Pastos arbolados	$(150+25)/2$	87,5	Promedio entre profundidades radicales de arbustos (150 cm) y pastos limpios (25 cm)
Pastos enmalezados	$(80+25)/2$	52,5	Promedio entre profundidades radicales de caña por similitud con maleza (80 cm) y pastos limpios (25 cm)
Pastos limpios		25	Dato interpretado de Suárez (2009)
Plantación forestal		80	Dato obtenido de Fajardo 2005.
Ríos (50 m)		0	No posee coberturas vegetales.
Tejido urbano continuo		0	No posee coberturas vegetales.
Tejido urbano discontinuo		101,3	Se consideró el valor para la categoría vegetación secundaria o en transición.
Tierras desnudas y degradadas		0	No posee coberturas vegetales.
Tubérculos		50	Dato obtenido con base en valores para tomate y hortalizas según Fajardo, 2005.
Vegetación secundaria o en transición	$(150+52,5)/2$	101,3	Promedio entre profundidades radicales de arbustos (150 cm) y pastos enmalezados (52,5 cm)
Zonas arenosas naturales		0	No posee coberturas vegetales.
Zonas quemadas		0	No posee coberturas vegetales.
Zona de disposición residuos		0	Se asume el valor para Tierras desnudas y degradadas

Fuente: Información secundaria

La Tabla 35 presenta el área ocupada por las coberturas terrestres identificadas en el municipio de Ciudad Bolívar según la profundidad efectiva.

Tabla 35. Profundidad efectiva de las coberturas presentes en el municipio de Ciudad Bolívar

Profundidad Efectiva	Rango (cm)	Área (ha)
Muy superficial	0 - 20	130.02
Superficial	20 - 30	12813.60
Moderadamente profundo	>40	13140.16

En el municipio de Ciudad Bolívar predominan las profundidades efectivas *moderadamente profunda* (50.38% del área del municipio), debido a la dominancia de la cobertura de pastos limpios y mosaicos de cultivos, que con sus sistemas radiculares poco profundos conllevan a una baja protección del suelo ante los movimientos en masa. Le sigue la profundidad efectiva de *superficial* (49.12%) (Figura 13).

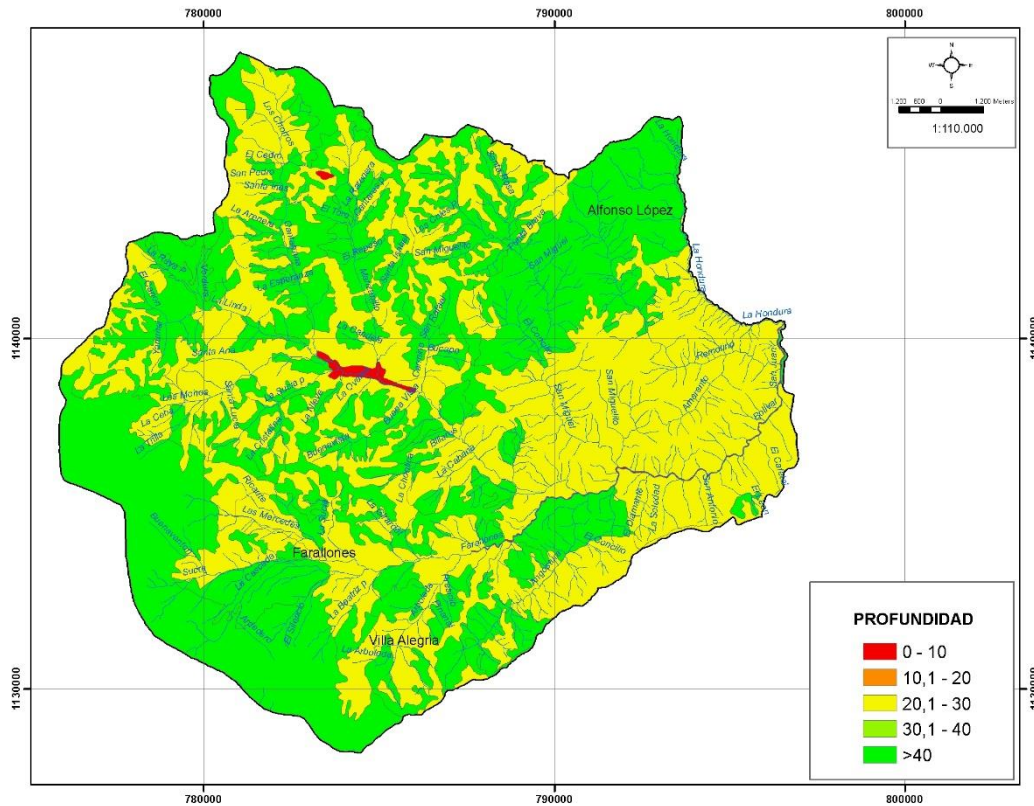


Figura 13. Mapa de profundidad efectiva para el Municipio de Ciudad Bolívar

4.6 ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR MOVIMIENTOS EN MASA

4.6.1 Susceptibilidad

Como se señaló con anterioridad, para la evaluación de la susceptibilidad se analizaron varios métodos, siendo escogido el método estadístico bivariado, específicamente el denominado método de proporción de la frecuencia (frequency ratio method), método del índice estadístico (The statistical index method) o de información ponderada (Van Westen, 1993).

Debido a que el 95% de los movimientos corresponden a movimientos en masa tipo deslizamientos y flujos (generados a partir de los primeros), el modelo de susceptibilidad y por ende el de amenazas realizado en este estudio, está desarrollado para evaluar estos tipos de movimientos, los cuales igualmente son los responsables del mayor número de pérdidas en la subregión.

El método seleccionado es un estadístico bivariado simple, donde los pesos son asignados basados en la relación de los factores condicionantes (como la geología, la geomorfología, la pendientes, la rugosidad, el relieve relativo y la cobertura terrestre) con la frecuencia de los movimientos en masa (Figura 18). Este método ha sido aplicado por Sarkar et al. (1995) y Panikkar y Subramaniyan (1997) en la India. Mrozek et al (2004), emplearon el método en los montes Cárpatos en Polonia, Pereira et al (2012) en Santa Marta de Penaguião localizado en el norte de Portugal y así se encuentran en la literatura numerosas aplicaciones en Afganistán, (Zhang et al, 2015), Malasia (Lee y Talib, 2005), Cambodia (Lee y Sambath, 2006) Etiopía (Meten et al. 2015), Grecia (Chalkias, 2014), Vietnam (Viscarra, 2007), California – USA (He y Beighley, 2007) entre muchos otros.

La evaluación de la susceptibilidad involucró tres pasos (Varni, 1984; Carrara et al. 1995; Soeters and van Westen, 1996; Leroi, 1997; van Westen, 2001 et al; van Westen et al., 2003; van Westen et al. 2006): (a) el inventario de movimientos en masa. (b) El mapeo de los parámetros más significativos (factores condicionantes) en la distribución espacial de los movimientos y su análisis (c) la definición de los pesos relativos a cada factor asociado a la localización de movimientos en masa. El método del índice estadístico asigna un valor de peso determinado W_i a cada clase de parámetro, por ejemplo una unidad geológica superficial o una unidad geomorfológica. Van Westen (1997) define el valor W_i como el logaritmo natural de la densidad de deslizamientos dentro de la clase dividido por la densidad de deslizamientos en general en todo el mapa. A continuación se presenta la expresión utilizada para la calificación de las unidades al interior de los diferentes factores.

$$W_i = \ln \left(\frac{Densclas}{Densmap} \right) = \ln \left[\frac{\frac{Npix(Si)}{Npix(Ni)}}{\frac{\sum Npix(Si)}{\sum Npix(Ni)}} \right]$$

- W_i = Ponderación dado a determinado parámetro de clase (ejemplo, tipo de roca).
Densclas = Densidad de los deslizamientos dentro del parámetro de clase.
Densmap = Densidad de los deslizamientos dentro del todo el mapa.
Npix (Si) = Número de pixeles que contienen deslizamientos dentro de un determinado parámetro de clase.
Npix (Ni) = Número total de pixeles e un determinado parámetro de clase.

Los factores condicionantes utilizados fueron la geología, de la cual se tomó para el análisis la litología, la geomorfología de la cual se emplearon las subunidades, la cobertura terrestre, de la cual se analizó la variable profundidad radicular. De la morfometría obtenida a partir del DEM, fueron obtenidos la rugosidad, las pendientes y el relieve relativo.

Una vez las diferentes unidades de cada uno de los factores fueron calificadas con el W_i , estos fueron sumados, obteniendo un mapa de susceptibilidad final con una gran variedad de valores.

A partir de los valores de W_i obtenidos, se asignaron los valores de susceptibilidad alta, media y baja, graficando los porcentajes de área acumulada de los diferentes rangos de susceptibilidad (se subdividió la susceptibilidad en 50 clases) organizados de mayor a menor, versus el porcentaje acumulado de movimientos en masa. De esta manera, se estableció como el valor de susceptibilidad alta la clase en la cual se presentaba el 60% de los movimientos, la cual representaba el 20% del área, y como el valor de susceptibilidad media el que representaba el 90% de los movimientos en masa y que estaba alrededor del 50% de mapa.

De esta manera sólo el 10% de los movimientos en masa se ubican en la categoría de susceptibilidad baja, dando una muy buena correlación entre el modelo y la realidad del área de estudio analizada.

El mapa de susceptibilidad por movimientos en masa de Ciudad Bolívar se categoriza en 3 rangos: Alta, Media y Baja (Figura 14) y el consolidado de las áreas involucradas en cada categoría se presenta en la siguiente tabla.

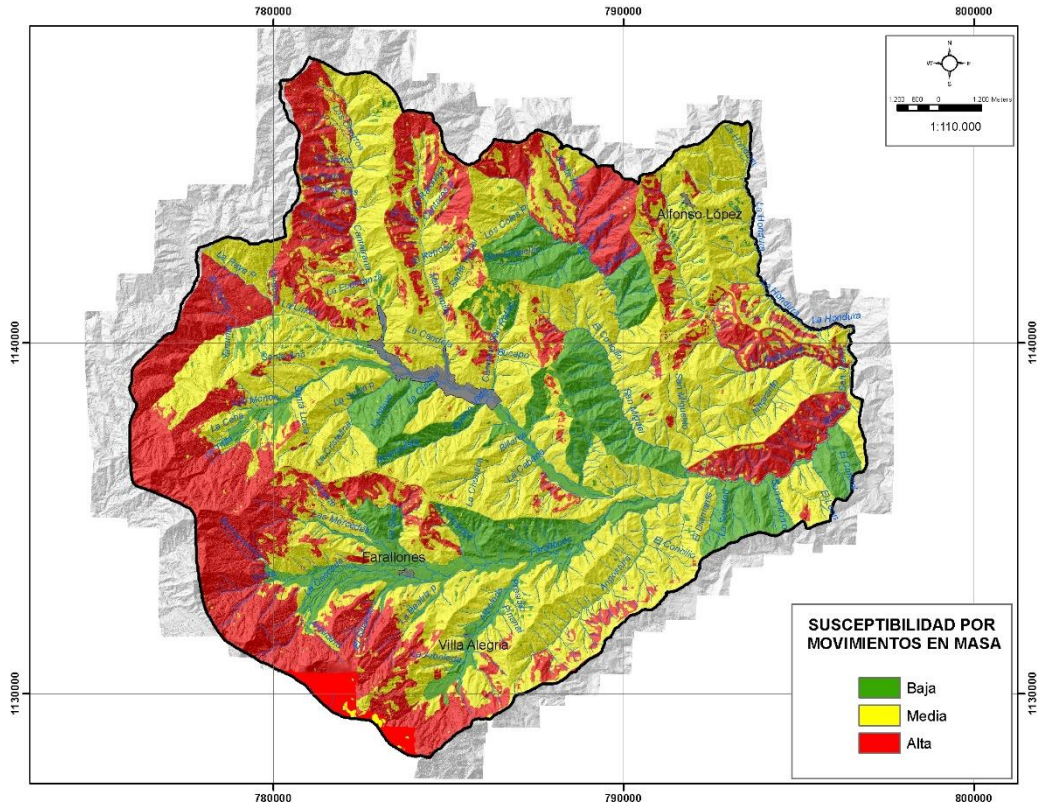


Figura 14. Mapa de susceptibilidad por movimientos en masa para el Municipio de Ciudad Bolívar

Tabla 36. Distribución de la susceptibilidad por movimientos en masa para el Municipio de Ciudad Bolívar

Susceptibilidad	Total Área (ha)	Porcentaje (%)
Alta	7641.07	29.39
Media	4533.65	17.44
Baja	3823.51	53.17

4.6.2 Detonante lluvia

Los deslizamientos representan en una parte el efecto de la lluvia sobre las laderas, y por lo tanto, esta variable deberá ser considerada en la modelación de movimientos en masa del municipio de Ciudad Bolívar, departamento de Antioquia. En el presente capítulo se muestran los análisis y resultados obtenidos en el proceso de determinar el detonante de lluvia del territorio que conforma el municipio referenciado.

4.6.2.1 Información Disponible

Con el fin de realizar los estudios hidrológicos que permitieran estimar el detonante de precipitación asociado a movimientos en masa, se procedió a revisar las estaciones hidroclimatológicas disponibles localizadas en la zona de estudio. El presente documento muestra como énfasis la determinación del detonante para el municipio de Ciudad Bolívar, sin embargo y con el fin de realizar un mejor análisis en cuanto al área de evaluación de la lluvia (variación espacial), se presenta el estudio a partir del área que cubre la región del suroeste antioqueño. Revisada la red de estaciones hidrometeorológicas de la zona, se encontraron para la zona de estudio un total de 119 estaciones con registros hidroclimatológicos disponibles, todas administradas y operadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia - IDEAM. Las estaciones utilizadas y la variable requerida es presentada Figura 15, y la localización general de cada una de ellas se presenta en la Tabla 37.

El análisis de las estaciones con información de lluvia, se realizará para una zona más amplia (toda la región del suroeste antioqueño), ya que este tipo de análisis permite una mejor representación de las variaciones espaciales de la precipitación, tomando como resultado de interés, el resultado para la zona del municipio de Ciudad Bolívar.

Tabla 37. Estaciones disponibles en la zona de estudio.

Código	Nombre	Categoría	Estado	Entidad	Este	Norte
2614011	San Clemente	PM	Act	IDEAM	810483	1080121
2618504	San Felix	CO	Act	IDEAM	856167	1086013
2616008	SalaminaConcBarc	PM	Act	IDEAM	843515	1088564
2617029	Riosucio	PM	Act	IDEAM	816863	1091916
2618026	Miranda La	PM	Act	IDEAM	860786	1092035
2617501	Riosucio	CO	Sus	IDEAM	820167	1092814
2617505	Riosucio	CO	Sus	IDEAM	820167	1092814
2617502	Inst Los Fundadore	CO	Sus	IDEAM	818320	1092819
2617035	Flecha La	PM	Sus	IDEAM	829415	1096477
2618024	Pavas Las	PG	Act	IDEAM	854235	1102560
2616009	Pacora Plaza Feria	PM	Act	IDEAM	847342	1102603
2617017	Pradera La	PM	Sus	IDEAM	823892	1103866
2617018	Caramanta	PM	Act	IDEAM	826708	1105463
2619010	StaBarbara	PM	Act	IDEAM	798028	1107331
2618501	Pelada La	CO	Act	IDEAM	859581	1108804
2616503	Jardin El	CO	Sus	IDEAM	805433	1109450
2616016	Maria La	PM	Act	IDEAM	833791	1109833
2619503	Jardin El	CO	Act	IDEAM	809068	1109925
2618019	Aguadas	PM	Act	IDEAM	847792	1111184
2618023	Aguadas	PG	Sus	IDEAM	847792	1111184

Código	Nombre	Categoría	Estado	Entidad	Este	Norte
2619012	Campamento	PM	Sus	IDEAM	800932	1120485
2619502	Ita Andes	CO	Act	IDEAM	800273	1121378
2619008	Betania-Volga	PM	Sus	IDEAM	788848	1122411
2617016	Nacional La Gja	PM	Sus	IDEAM	818407	1124164
2617503	Nacional Gja La	CP	Act	IDEAM	820889	1124544
2618027	Pintada La Automatica	PG	Sus	IDEAM	831481	1125907
2618022	La Pintada	PM	Act	IDEAM	831509	1126002
2618013	Pintada La	PM	Sus	IDEAM	831344	1127816
2619013	Mansa La	PM	Sus	IDEAM	775937	1127987
2619009	Betania-Las Guacas	PM	Act	IDEAM	789733	1128493
1102005	Pinon El	PM	Act	IDEAM	759219	1128897
1102002	Guaduas	PM	Sus	IDEAM	766707	1129865
2620503	Farallones	CO	Sus	IDEAM	829508	1131508
2618016	Abejorral	PM	Act	IDEAM	850143	1131747
2617015	Pueblorrico	PM	Act	IDEAM	804897	1132434
2618503	JericoAutomatica	CP	Act	IDEAM	810357	1133324
2617504	TunezHda	CO	Act	IDEAM	825712	1133384
2617019	Dique El	PM	Act	IDEAM	817665	1133812
2618505	StaBarbaraAutom	CP	Act	IDEAM	836227	1139928
1102501	Mansa La	CO	Act	IDEAM	777723	1142182
1102001	Carmen De Atrato	PM	Act	IDEAM	771337	1145546
2621011	Penalisa	PM	Act	IDEAM	802473	1148349
2620015	Fredonia	PM	Act	IDEAM	821973	1148501
2618020	Montebello	PM	Act	IDEAM	838401	1150014
2620013	Bolombolo	PM	Act	IDEAM	804580	1151987
2620507	Plata La	CP	Sus	IDEAM	807416	1153699
2618017	Union La	PM	Act	IDEAM	855630	1155225
2308510	Carmelo El Hda	AM	Sus	IDEAM	853578	1159101
2701079	Meseta La-Sena	PM	Sus	IDEAM	829584	1159164
2621501	Concordia	CO	Act	IDEAM	796022	1159975
2701526	Salada La	AM	Act	IDEAM	828700	1160829
2701516	Clara La	AM	Sus	IDEAM	831440	1162847
2308065	Campoalegre	PM	Act	IDEAM	860719	1163558
2620012	Otramina	PM	Act	IDEAM	809894	1163606
2621008	Herradura La	PM	Act	IDEAM	801111	1166542
2308504	Selva La	AM	Act	IDEAM	851975	1169983
2308526	La Selva Automatica	AM	Act	IDEAM	851975	1169983
1107013	Brechon El	PM	Sus	IDEAM	783475	1170377
2620014	Armenia	PM	Act	IDEAM	812477	1173005
2308520	A.J M Cordova	SP	Act	IDEAM	850749	1174075
2308527	A.J.M. CordovaAutom	SP	Act	IDEAM	850749	1174075
2308064	Marinilla	PM	Act	IDEAM	861586	1174319
2701077	Chuscal El	PM	Act	IDEAM	819841	1175234
2701081	Sta Helena	PM	Act	IDEAM	840698	1177227

Código	Nombre	Categoría	Estado	Entidad	Este	Norte
2621014	Altamira	PM	Act	IDEAM	793235	1179769
2701507	A.Olaya Herrera	SP	Act	IDEAM	832710	1179873
2701127	Laureles-Medellin	PM	Act	IDEAM	832487	1182729
2701530	VillanuevVillahermoAut	CP	Act	IDEAM	830072	1183470
2701111	Astilleros	PM	Act	IDEAM	823103	1183961
2701527	JardinBotanico	CO	Sus	IDEAM	835581	1184988
2701521	Vivero El	CP	Sus	IDEAM	842578	1186784
2701529	Pajarito Automatica	CP	Act	IDEAM	830083	1187158
2701512	Piedras Blancas	CO	Sus	IDEAM	842583	1188628
2621009	Anza	PM	Act	IDEAM	802817	1189097
2701112	Iguana La	PG	Act	IDEAM	825152	1190479
2701509	Tulio Ospina	CO	Act	IDEAM	836779	1190980
1107502	Urrao	CO	Act	IDEAM	771760	1191625
2701531	MetromedellinAutom	CP	Act	IDEAM	836456	1192250
1107002	Roble El	PM	Act	IDEAM	761937	1192470
1107004	Urrao	PM	Sus	IDEAM	768796	1192565
2620508	Aldea La	ME	Act	IDEAM	820364	1193229
2701078	Boqueron	PM	Sus	IDEAM	822307	1194218
1107501	Honda La	CO	Sus	IDEAM	769759	1195112
2620504	IguinaHda	CO	Sus	IDEAM	802020	1196129
2701082	Cuchilla La	PM	Act	IDEAM	847738	1196173
2701080	Meseta La Sn Pedro	PM	Act	IDEAM	830747	1199694
2620506	Noque La	CO	Sus	IDEAM	805723	1199804
2621007	Caicedo	PM	Act	IDEAM	789350	1200523
2701515	Progreso El Hda	CO	Act	IDEAM	854052	1201196
2621502	Cañafisto	CO	Sus	IDEAM	807574	1201642
2623018	Llanos De San Juan	PM	Act	IDEAM	818525	1202749
2621013	Guasabra	PM	Act	IDEAM	792206	1211286
2623502	Vega La-Tab Rubios	CO	Sus	IDEAM	809462	1214543
2701532	AragonAutomatica	AM	Act	IDEAM	807618	1214550
2622503	CotoveHda	AM	Act	IDEAM	806432	1214618
2622506	HdaCotoveAutomatica	AM	Act	IDEAM	806432	1214618
2701511	Aragon	CO	Act	IDEAM	806475	1214628
1107003	Clarita La	PM	Act	IDEAM	769780	1215370
2701083	San Isidro	PM	Act	IDEAM	840922	1217751
2622006	Tunal El	PM	Sus	IDEAM	805793	1220088
2701087	Belmira	PM	Act	IDEAM	824057	1222885
2623001	Olaya	PM	Act	IDEAM	808294	1225101
2701528	PmoBelmiraAutomatica	CP	Act	IDEAM	826579	1225412
1111002	Abriaqui	PG	Act	IDEAM	779079	1226736
2622009	Giraldo	PM	Act	IDEAM	792129	1231725
1111011	Boqueron De Toyo	PG	Sus	IDEAM	789891	1232994
2701088	Montañitas	PM	Act	IDEAM	854628	1233160
2623014	Placita La	PM	Act	IDEAM	814173	1235278

Código	Nombre	Categoría	Estado	Entidad	Este	Norte
2622504	PiuntiHda	CO	Act	IDEAM	797041	1236292
1111004	Cañasgordas	PM	Sus	IDEAM	783737	1238612
1111502	Cañasgordas	CO	Act	IDEAM	784140	1239502
1111001	Normal Sta Teresa	PM	Act	IDEAM	772650	1240134
2623022	Oculta La	PM	Act	IDEAM	827408	1241706
1111504	Musinga	CO	Act	IDEAM	766331	1242774
2702022	Llanos D Cuiba Los	PM	Act	IDEAM	844529	1245440
1111503	Nutibara	CO	Sus	IDEAM	759801	1246092
2623020	Sabanalarga	PG	Act	IDEAM	807946	1249142
2623002	Sabanalarga	PM	Sus	IDEAM	807946	1249142
1111003	Fuemia	PM	Act	IDEAM	759576	1250673

4.6.2.2 Análisis de Frecuencia

El análisis de frecuencia es una herramienta utilizada para predecir el comportamiento futuro de una variable climatológica en un sitio de interés, a partir de la información histórica. Es un método basado en procedimientos estadísticos que permite calcular la magnitud del de la precipitación máxima de 24 horas asociada a un período de retorno.

Su confiabilidad depende de la longitud y calidad de la serie histórica, además de la incertidumbre propia de la distribución de probabilidades seleccionada. Cuando se pretende realizar extrapolaciones, período de retorno mayor que la longitud de la serie disponible, el error relativo asociado a la distribución de probabilidades utilizada es más importante, mientras que en interpolaciones la incertidumbre está asociada principalmente a la calidad de los datos a modelar, en ambos casos la incertidumbre es alta dependiendo de la cantidad de datos disponibles (Ashkar, et al. 1994).

Para determinar la magnitud de eventos extremos, se requiere conocer la variación de la variable respecto a la media. Chow en 1994 (Chow, et al, 1994) presentó la forma de determinar esta variación a partir de un factor de frecuencia K_T que puede ser expresado:

$$P_{\max 24H TR} = \mu + k * \sigma$$

Para una distribución de probabilidad dada, puede determinarse una relación entre K y el período de retorno Tr . Esta relación puede expresarse en términos matemáticos o por medio del uso de una tabla. El análisis de frecuencia consiste en determinar los parámetros de las distribuciones de probabilidad y determinar

con el factor de frecuencia la magnitud del evento para un período de retorno dado.

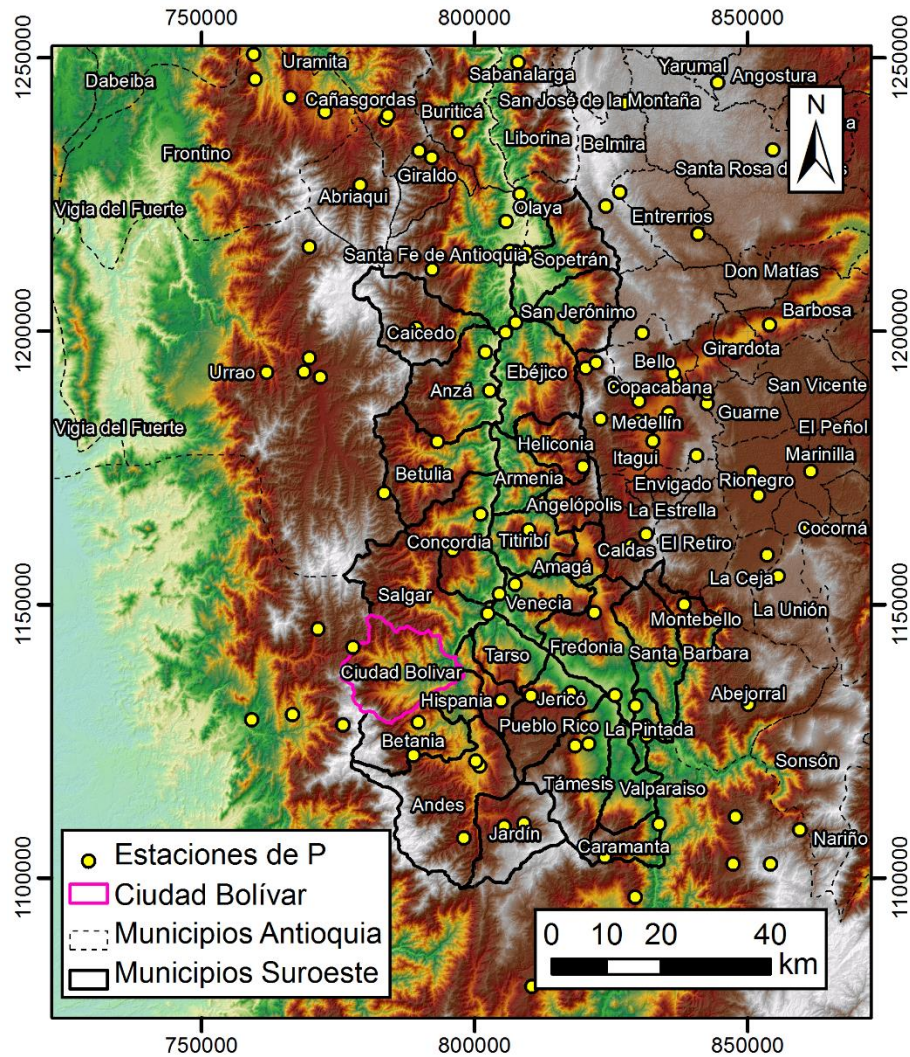


Figura 15. Localización general de las estaciones hidroclimatológicas disponibles en la zona de interés.

Para el presente trabajo se realizó la estimación de la precipitación máxima de 24 horas para los periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años a través de las distribuciones de probabilidad Normal, Log Normal, Gumbel, Log Gumbel, Pearson y Log Pearson.

A continuación se describen las principales distribuciones de probabilidad utilizadas en el presente trabajo, la forma de estimar sus parámetros y el factor de frecuencia.

- Distribución Normal

La función Normal es el modelo más utilizado y con mayor importancia en el campo de la estadística (Varas y Bois, 1998). Sin embargo, su uso es muy limitado en hidrología, dado que las variables raramente se comportan de esta forma.

Linsley et al., (1988) señalan que el uso de esta función, en términos hidrológicos, debe reducirse a zonas húmedas donde el valor medio es alto, no siendo recomendable para valores extremos.

Función de distribución de probabilidad normal:

$$F(X) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{1}{2}\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right)^2} dx$$

Dónde:

x: Variable aleatoria.

μ : Media de la población.

σ : Desviación estándar de la población.

Para resolver esta función se recurren a métodos numéricos para evaluarla, y para hacer esto más sencillo se le ha asignado una variable estandarizada, cuya expresión es la siguiente:

$$z = \frac{x - \mu}{\sigma}$$

La cual está normalmente distribuida con media cero y desviación estándar unitaria. Así, la función principal queda como:

$$F(X) = F(z) = \int_{-\infty}^z \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{z^2}{2}} dz$$

- Distribución Log-Normal

Las variables físicas de interés en Hidrología (precipitación, caudal, evaporación y otras) son generalmente positivas, por lo cual es usual que presenten distribuciones asimétricas. Así, se ha propuesto aplicar una transformación logarítmica (Varas y Bois, 1998), donde $Y = \text{Ln } X$, está normalmente distribuida; luego X está distribuida en forma Normal, y su función de densidad de probabilidad es

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \frac{1}{x\beta} \ell^{-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \alpha}{\beta}\right)^2}$$

Donde los parámetros de la función son α y β , que son la media y la desviación estándar de los logaritmos de la variable aleatoria, y están definidos como sigue:

$$\alpha = \sum_{i=1}^n \frac{\text{Ln} x_i}{n}$$

$$\beta = \left[\sum_{i=1}^n \frac{(\ln x_i - \alpha)^2}{n} \right]^{1/2}$$

Al igual que en la distribución normal, se le asigna a "z" los siguientes valores:

$$z = \frac{\ln x - \alpha}{\beta}$$

- Distribución Gumbel

Según Aparicio, 1997, si se tienen N muestras, cada una de las cuales contienen n eventos y si se selecciona el máximo de x de los n eventos de cada muestra, es posible demostrar que, a medida que n aumenta, la función de distribución de probabilidad de x tiende a:

$$F(x) = \ell^{-e^{-d(x-\mu)}}, \text{ para } -\infty \leq x \leq \infty$$

Dónde:

χ : Representa el valor a asumir por la variable aleatoria

e : Constante de Neper.

Los parámetros de la distribución de una muestra de tamaño infinito, tienden a los siguientes valores, en base a la media aritmética y la desviación estándar de la muestra:

$$d = \frac{1}{0.779696 * S} \text{ y } \mu = \bar{x} - 0.450047 * S$$

4.6.2.3 Procedimiento de Cálculo

En primer lugar se evaluó los datos disponibles en cada una de las estaciones, encontrando que los registros obtenidos en las estaciones del IDEAM presentan mayor longitud de registro (en comparación con otras entidades operadoras de estaciones climatológicas), incluyendo el valor de la precipitación máxima en 24 horas para cada una de las estaciones.

En la figura 16, se presenta la ubicación de las estaciones del IDEAM que fueron usadas para determinar el detonante de lluvia.

Es importante tener en cuenta que si bien en la Tabla 37 se presentaron todas las estaciones propiedad del IDEAM disponibles en la zona, no todos los registros fueron aportados por dicha entidad. Es por ello que en la Figura 16, se muestran las estaciones que finalmente se incluyeron en el análisis.

Para determinar el detonante de lluvia, se recopiló la información de precipitación máxima de 24 horas en cada una de las estaciones, y se evaluaron los valores atípicos que se ubicaban por fuera de la media de los registros.

Un punto anormalmente extremo o atípico es una observación alejada del comportamiento general de las observaciones en una serie. Los valores atípicos dan la impresión de ser muestras de una distribución distinta al resto de las observaciones o no ser representativos de la muestra.

En los procesos de estimación estadística los valores atípicos a menudo llevan a resultados sesgados y escogencia de distribuciones inadecuadas. Para el presente estudio se usó la metodología de “Punto Fuera de rango”, la cual consiste en comparar una a una las entradas de la serie con la desviación estándar de la serie escalada por 4 y estimada sin el valor a evaluar y sin los valores atípicos encontrados.

Este análisis es importante realizarlo con el fin de que el cálculo del detonante de lluvia se realice con las series de precipitación máxima en 24 horas homogéneas.

Luego, se realizaron las pruebas de Smirnov-Kolmogorov y Chi Cuadrado, con el fin de determinar cuál era el tipo de distribución de probabilidad que mejor se ajustó a los datos de la precipitación máxima de 24 horas en las estaciones operadas por el IDEAM.

Teniendo como base las distribuciones de probabilidad indicadas, las pruebas de ajuste mencionadas y los registros de valores máximos anuales de la precipitación máxima de 24 horas, se aplicó el procedimiento presentado por Chow, 1994, para calcular el valor de la variable para diferentes periodos de retorno.

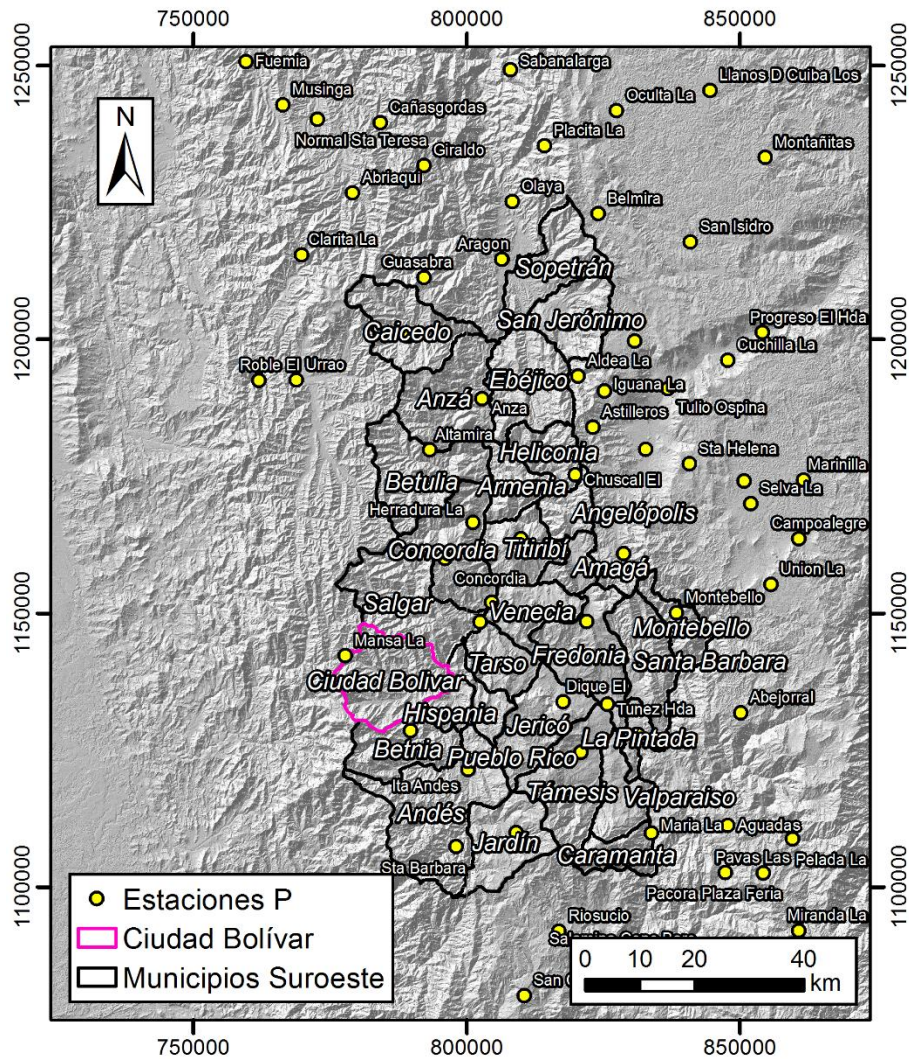


Figura 16. Estaciones para determinar el detonante de lluvia.

4.6.2.4 Estimación de Mapas de Precipitación Máxima de 24 Horas

La modelación de movimientos en masa se elabora a través de análisis geoespaciales por lo que se requiere implementar la variable de Precipitación Máxima de 24 horas de una forma espacial y distribuida en todo el territorio analizado, y para ello la información disponible y/o los métodos de estimación existentes abundan cada vez más.

Para la construcción de un mapa continuo de precipitación máxima de 24 horas es necesario la interpolación de la información puntual que recogen las estaciones pluviográficas sobre la zona de estudio y alrededor de ella.

Para el caso específico del municipio de Ciudad Bolívar, y su región del suroeste antioqueño, se contó con un total de 69 estaciones de precipitación y que son operadas por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM tal como se identifican en la Figura 16 y en la tabla 38.

Tabla 38. Estaciones IDEAM y valor de precipitación máxima en 24 horas para cada periodo de retorno.

Código	Nombre	2.33	5	10	25	50	100
2308520	A.J M Cordova	57.19	67.20	76.63	90.47	102.33	115.64
2701507	A.Olaya Herrera	55.39	64.10	71.71	81.98	90.13	98.71
2618016	Abejorral	69.04	80.52	88.13	96.25	101.49	106.21
1111002	Abriaqui	61.29	73.65	83.70	96.21	105.34	114.30
2618019	Aguadas	79.96	104.21	129.31	169.83	207.90	254.12
2620508	Aldea La	79.66	97.56	111.60	128.80	141.30	153.57
2621014	Altamira	76.53	94.73	109.56	128.30	142.20	156.00
2621009	Anza	71.67	85.82	96.72	109.87	119.30	128.47
2701511	Aragon	48.64	57.10	63.99	72.70	79.16	85.57
2620014	Armenia	78.42	90.11	97.87	106.14	111.49	116.29
2701111	Astilleros	68.47	86.25	104.10	132.01	157.46	187.56
2701087	Belmira	56.70	71.30	83.20	98.22	109.37	120.43
2619009	Betania-Las Guacas	77.55	90.00	99.93	112.12	120.93	129.52
2620013	Bolombolo	70.05	83.62	95.58	111.91	125.00	138.91
1111502	Cañasgordas	72.98	83.13	89.87	97.05	101.70	105.87
2621007	Caicedo	63.42	81.94	97.12	116.41	130.87	145.40
2308065	Campoalegre	71.79	80.86	87.85	96.22	102.16	107.87
2617018	Caramanta	81.19	92.78	100.48	108.68	113.98	118.74
2701077	Chuscal El	90.93	114.29	134.06	159.34	178.15	196.85
1107003	Clarita La	64.67	83.23	102.22	132.53	160.68	194.54
2621501	Concordia	75.40	86.38	94.32	103.40	109.61	115.43
2622503	CotoveHda	59.86	69.19	75.67	82.82	87.58	91.96
2701082	Cuchilla La	63.48	79.72	95.97	121.32	144.36	171.55
2617019	Dique El	89.13	105.97	118.86	134.35	145.40	156.12
2620015	Fredonia	83.63	101.75	113.77	126.59	134.87	142.32

Código	Nombre	2.33	5	10	25	50	100
1111003	Fuemia	69.71	90.40	107.42	129.11	145.39	161.79
2622009	Giraldo	61.84	73.30	82.04	92.53	100.00	107.23
2621013	Guasabra	68.14	83.61	96.84	114.40	128.13	142.44
2621008	Herradura La	81.55	102.07	117.40	135.25	147.60	159.25
2701112	Iguana La	81.59	96.40	107.44	120.35	129.37	137.96
2619502	Ita Andes	64.10	73.38	80.11	87.81	93.09	98.05
2619503	Jardin El	58.73	67.81	75.23	84.68	91.80	99.02
2702022	Llanos D Cuiba Los	84.48	118.19	147.57	186.85	217.54	249.37
2623018	Llanos De San Juan	72.13	87.20	99.02	113.35	123.61	133.55
2616016	Maria La	72.24	85.93	96.51	109.35	118.60	127.63
2308064	Marinilla	62.54	85.06	109.28	149.97	189.66	239.45
2701080	Meseta La Sn Pedro	53.07	79.05	102.98	136.51	163.78	192.94
2618026	Miranda La	57.13	78.56	99.67	131.67	159.87	192.23
2701088	Montañitas	63.97	74.48	82.39	91.74	98.35	104.69
2618020	Montebello	77.87	91.91	100.93	110.30	116.22	121.45
1111504	Musinga	61.73	69.00	74.26	80.27	84.39	88.25
2617503	Nacional Gja La	76.02	93.22	110.06	135.76	158.63	185.13
1111001	Normal Sta Teresa	76.87	90.25	101.15	114.92	125.14	135.28
2623022	Oculta La	58.42	74.12	90.68	117.34	142.16	172.03
2623001	Olaya	66.42	83.06	96.35	112.86	125.00	137.04
2620012	Otramina	78.16	108.88	142.62	200.60	258.36	332.13
2616009	Pacora Plaza Feria	85.58	107.53	129.50	163.81	195.00	231.84
2618024	Pavas Las	72.09	91.05	110.12	140.03	167.35	199.75
2618501	Pelada La	58.78	76.46	91.03	109.64	123.64	137.75
2621011	Penalisa	94.30	113.86	129.78	149.91	164.84	179.66
2618013	Pintada La	81.40	96.36	107.76	121.41	131.14	140.55
2623014	Placita La	51.81	65.54	77.96	95.33	109.56	124.96
2701515	Progreso El Hda	60.93	74.82	85.89	99.67	109.81	119.88
2617029	Riosucio	68.09	76.87	83.31	90.77	95.94	100.84
1107002	Roble El	86.39	107.90	125.41	147.55	163.97	180.26
2623020	Sabanalarga	52.93	65.44	77.78	96.74	113.74	133.57
2701526	Salada La	71.68	87.56	100.06	115.26	126.16	136.72
2616008	SalaminaConcBarc	61.45	72.94	82.29	94.11	102.88	111.58
2614011	San Clemente	70.53	85.73	99.09	117.29	131.86	147.32
2618504	San Felix	48.85	60.98	73.05	91.77	108.71	128.60
2701083	San Isidro	48.21	68.86	85.67	106.91	122.67	138.32
2308504	Selva La	58.52	68.52	75.15	82.23	86.79	90.90
2619010	StaBarbara	62.95	74.45	84.14	96.48	105.64	114.73
2701081	Sta Helena	67.71	79.25	87.96	98.32	105.64	112.70
2701509	Tulio Ospina	62.24	73.15	81.42	91.27	98.26	105.00
2617504	TunezHda	70.92	84.85	94.46	105.03	112.03	118.46
2618017	Union La	59.24	74.54	87.80	105.64	119.75	134.57
1107004	Urrao	50.64	60.09	67.32	75.99	82.18	88.18
1102501	Mansa La	68.33	81.95	93.25	107.88	119.05	130.48

A estas estaciones se les realizó un análisis de homogeneidad para detectar cambios en la media o en la varianza de la serie. Dada la disponibilidad de la información y los resultados en el análisis de homogeneidad, no se realizó el reemplazo de ninguna serie o modificación de la misma por lo cual se trabajaron con los datos tal y como fueron registrados por las estaciones y suministrados por parte del IDEAM.

- Estimación de La Precipitación

Para el cálculo de un campo continuo de precipitación en la región de estudio, se hace necesaria la utilización de diferentes herramientas de interpolación, además de información continua y puntual que ayude a tener una mejor caracterización espacial de la lluvia; en esta dirección el uso de variables de apoyo “derivadas externas” contribuye en gran medida con este propósito, estas son las encargadas de relacionar la variable de interés y el sitio de las observaciones con el medio requerido.

El método utilizado para la elaboración de los mapas de esta variable fue el Kriging Ordinario. Una descripción detallada de los métodos de interpolación del tipo Kriging puede encontrarse en Álvarez (2007).

Para su aplicación, el método de interpolación KO requiere un análisis de la variabilidad espacial de la información puntual de precipitación, lo cual se logra a través de la construcción de un variograma. Dicho análisis permite identificar las direcciones de máxima y mínima correlación entre la información, que reflejan agentes condicionante del régimen de precipitación en la región analizada.

- Campo de Precipitación

El procedimiento consiste en implementar un procedimiento de interpolación denominado Kriging, el cual a partir de un agente externo denominado “Semivariograma”, permite ajustar la tendencia de interpolación en cuanto a magnitud y dirección de los datos. Por tal razón, antes de realizar la interpolación se debe construir un semivariograma que se ajuste a los datos de las estaciones utilizadas y para cada uno de los periodos de retorno.

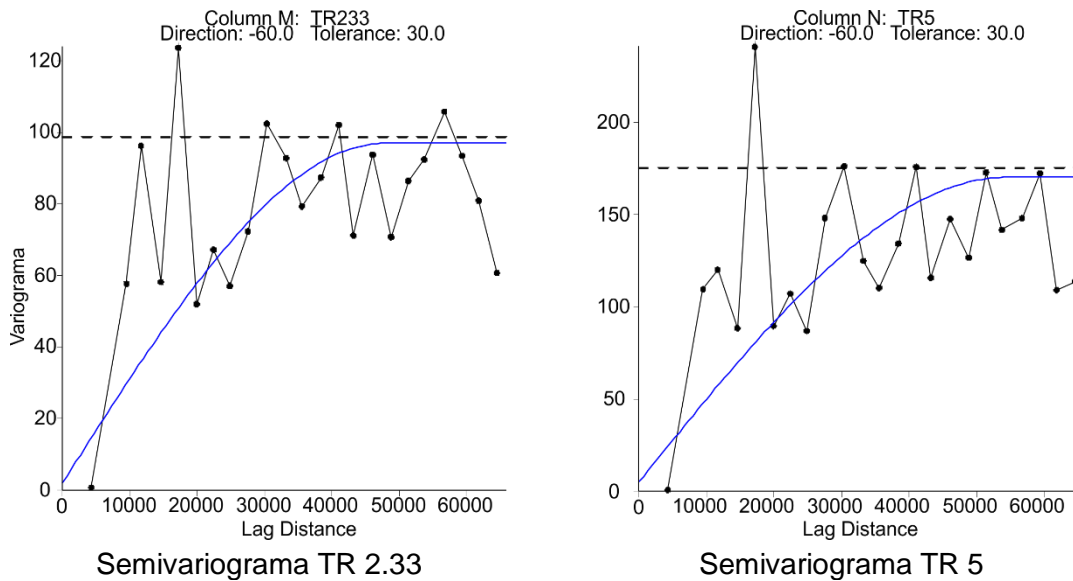
En la tabla 39, se presentan los parámetros utilizados para la construcción de los semivariogramas teóricos que permitieron mejor ajuste a los datos reales de las estaciones de precipitación máxima de 24 horas en cada periodo de retorno, y que se recopilaron de toda la zona de estudio.

Tabla 39. Parámetros para la construcción de semivariogramas.

TR	Modelo					
	NuggetEffect		Spherical			
	Error Variance	Micro Variance	Scale	Length	Anisotropy Ratio	AnisotropyAngle
2.33	2	0	95	44000	0.6	30
5	5	0	165	50000	0.6	30
10	20	0	230	50000	0.6	30
25	50	0	500	55000	0.6	30
50	150	0	800	40000	0.6	30
100	300	0	1300	50000	0.6	30

*: La nomenclatura de las variables se ha referenciado en inglés, ya que es en este idioma en el que se encuentran la plataforma del software para elaborar interpolación.

En la Figura 17, se presentan los semivariogramas teóricos que mejor se ajustaron a los datos de precipitación máxima en 24 horas y para cada uno de los periodos de retorno estudiados. Después de realizar el análisis estructural de los datos y aplicar los métodos de interpolación descritos, se obtienen los campos de precipitación máxima en 24 horas para toda la zona de estudio.



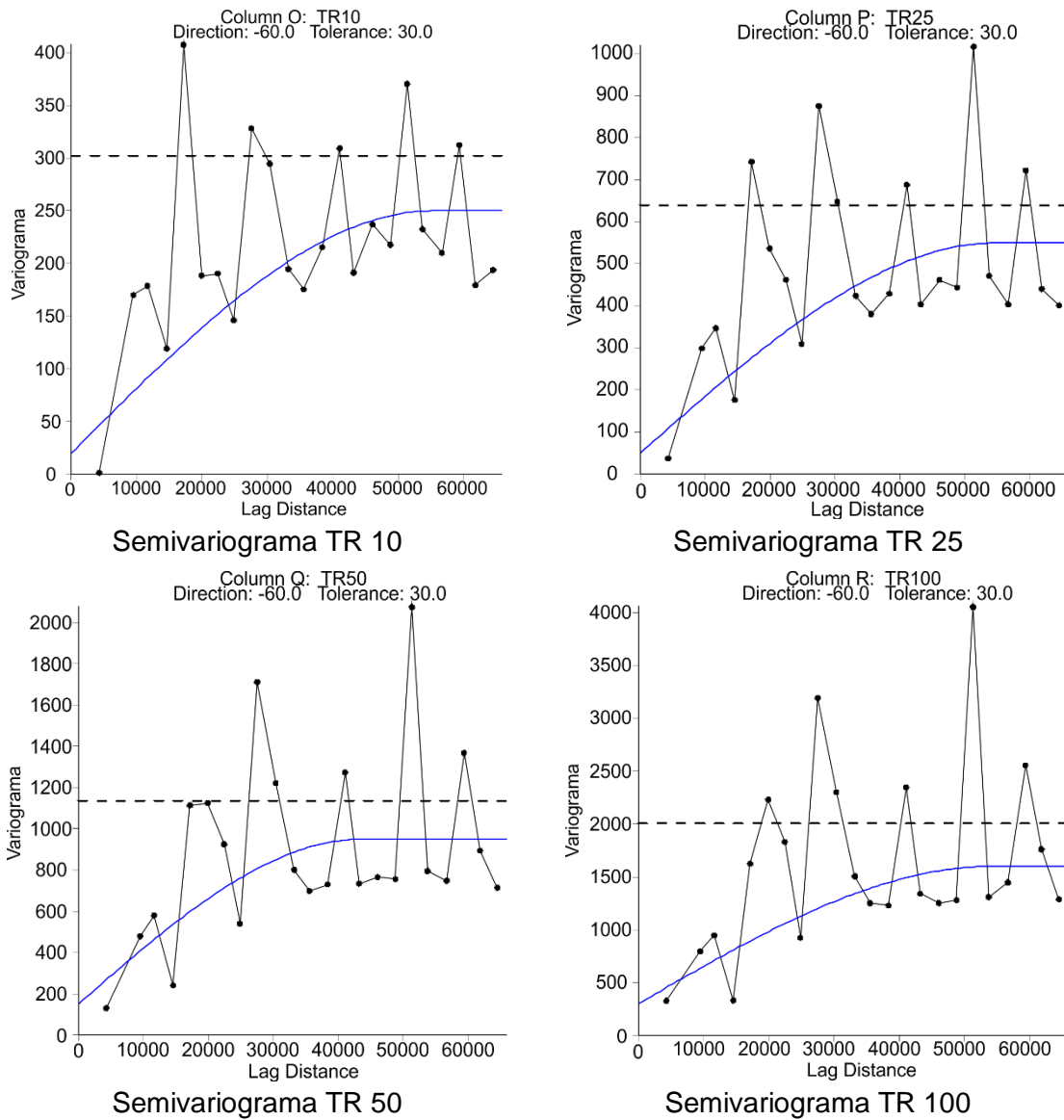
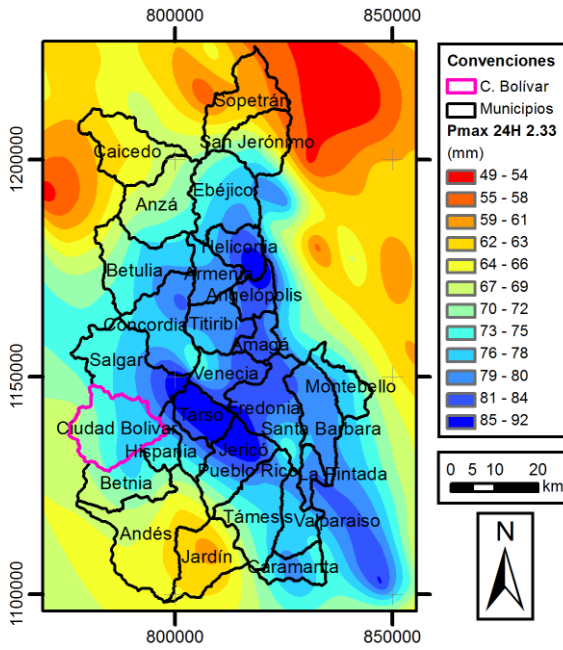
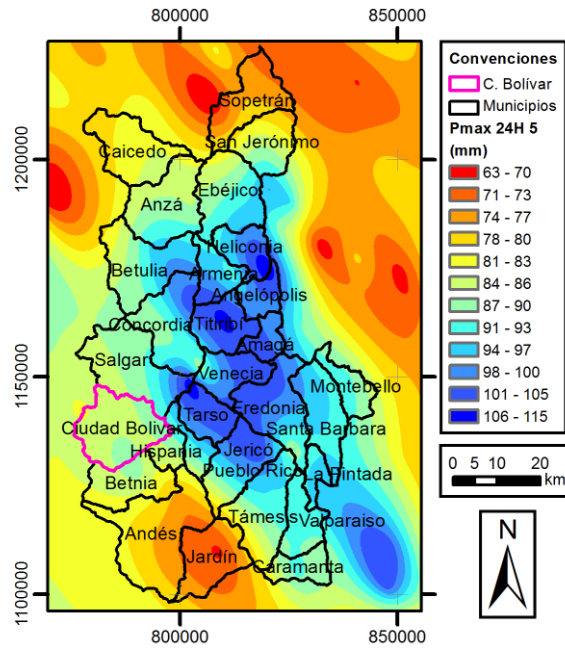


Figura 17. Semivariogramas teóricos utilizados en la generación de campos de precipitación máxima en 24 horas, norte de Antioquia.

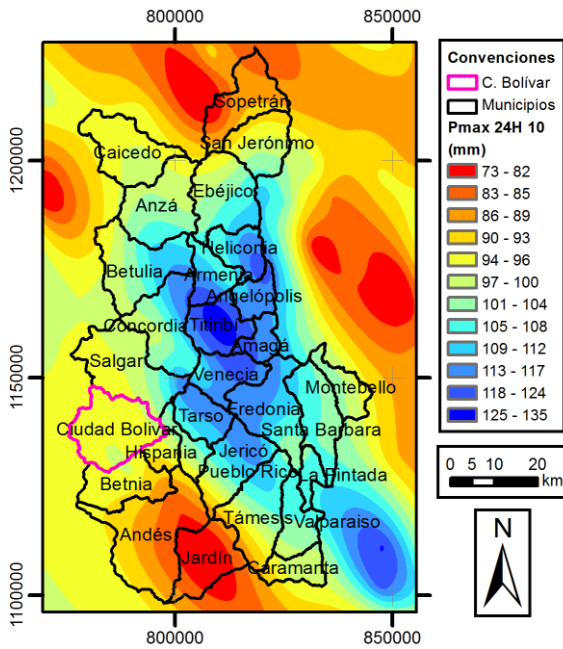
En la Figura 18, se presentan los campos de precipitación máxima de 24 horas para los periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años, los cuales son insumos dentro del modelo de predicción de movimientos en masa. A partir de las consideraciones hechas para cada uno de los mapas, en cuanto a sus resultados y metodologías, es posible afirmar que el método utilizado o métodos de interpolación similares presentan en general resultados satisfactorios.



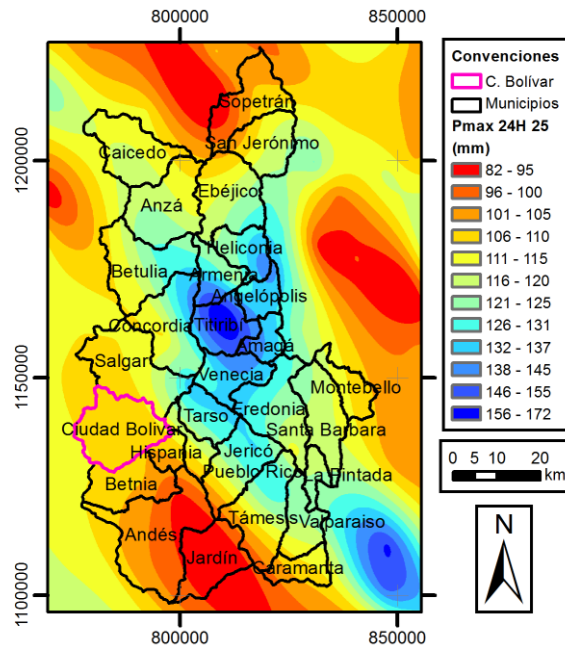
Mapa P Max 24 H TR 2.33



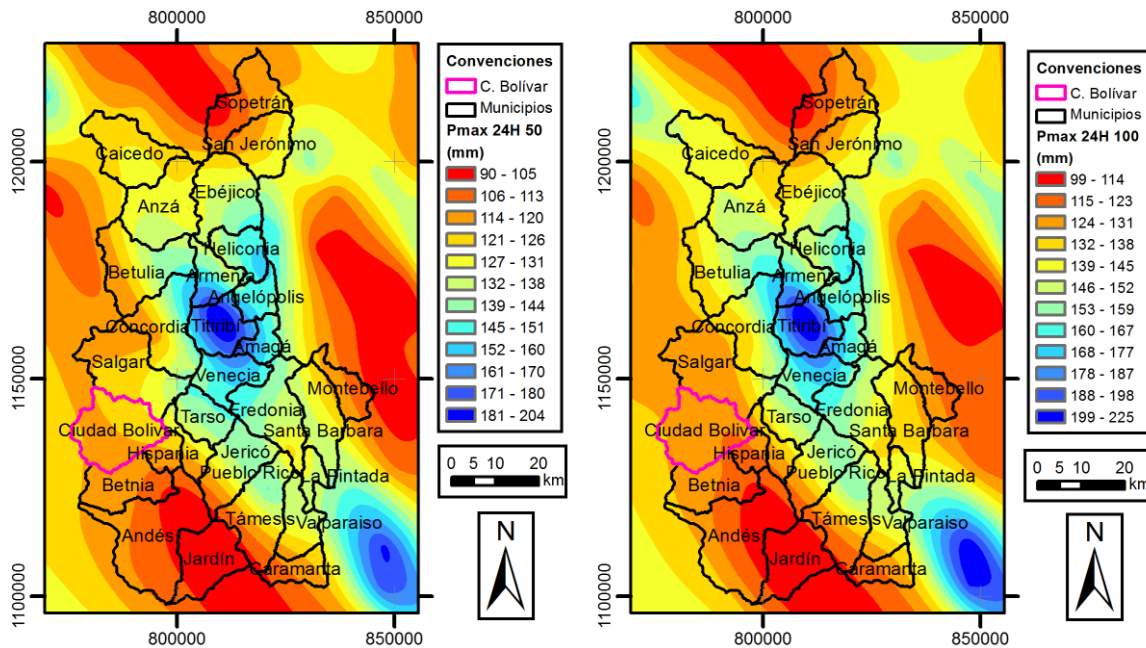
Mapa P Max 24 H TR 5



Mapa P Max 24 H TR 10



Mapa P Max 24 H TR 25



Mapa P Max 24 H TR 50

Mapa P Max 24 H TR 100

Figura 18. Mapas de precipitación máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno

4.6.3 Detonante sísmico

Desde el punto de vista ingenieril, las laderas y taludes se encuentran en estados que van desde muy estables a marginalmente estables. Cuando un sismo ocurre induce un movimiento del terreno a menudo suficiente para causar fallas a taludes que están marginalmente a moderadamente estables antes del sismo. Los daños resultantes pueden ser desde insignificantes a catastróficos dependiendo de la geometría y de las características del material que las conforman (SGC, 2013).

El detonante sismo fue tomado del Mapa Nacional de Amenaza Sísmica (INGEOMINAS & Universidad Nacional, 2010), el cual proporciona, entre otros parámetros, los valores de aceleración máxima horizontal (PGA) a nivel de terreno firme correspondiente a un período de retorno de 475 años, calculadas para una grilla cada 0,1 grados cubriendo la totalidad del territorio nacional y conformada por 16.872 puntos, incluyendo adicionalmente 1.114 puntos correspondientes a los municipios y capitales en origen Magna Sirgas Bogotá;

estos valores fueron calificados de acuerdo con su menor o mayor grado de contribución a la generación de movimientos en masa (SGC, 2013).

En el marco del mencionado estudio, se ha empleado el método probabilístico con base en investigaciones geológicas, neotectónicas, sismológicas y de ingeniería sísmica. Los cálculos se han realizado mediante el uso del programa de computador Crisis (Ordaz *et al.*, 2007), el cual tiene en cuenta los aspectos de geometría, recurrencia y ley de atenuación, así como los parámetros de probabilidad de excedencia y tiempo de exposición, definidos según la Normatividad Sismorresistente vigente (NSR-10) (SGC, 2013).

4.6.3.1 Cobertura del Detonante Sismo

Con base en los procesos y evidencias de inestabilidad que se han documentado en estudios de sismicidad histórica, así como en sismos recientes ocurridos en el territorio colombiano (p.e. Sismo de Páez en 1994, Sismo del Quindío en 1999, Sismo de Quetame en 2008, entre otros), la cobertura del detonante sismo obedece a la hipótesis de que a mayor aceleración sísmica horizontal basal (a nivel de roca), se incrementarán las fuerzas actuantes y se reducirán las fuerzas resistentes, debido al incremento de las presiones de poros, lo cual no solamente depende del entorno sismotectónico considerado, sino de otras condiciones como la topografía del terreno y la disposición, espesor y propiedades dinámicas de los materiales que conforman el subsuelo y aspectos locales que están fuera del alcance del presente estudio (SGC, 2013).

De esta manera, el cálculo del detonante sismo se generó a partir de los datos de PGA (cm/seg^2) correspondientes a un periodo de retorno de 475 años, los cuales fueron rasterizados y categorizados cada 50 gales, permitiendo de esta forma calificar, de forma cualitativa el grado de contribución del sismo a la ocurrencia de movimientos en masa (Tabla 40) (SGC, 2013).

Tabla 40. Calificación de los valores de PGA de menor a mayor grado de contribución de la amenaza sísmica a su contribución a los movimientos en masa (Tomado de SGC, 2013).

Valores de PGA (cm/s^2)	Calificación
< 100	Muy1
100-150	Baja2
150-200	Media3
200-300	Alta4
> 300	Muy alta

4.6.3.2 Mapa del Detonante Sismo para el Municipio de Ciudad Bolívar

En la Figura 19 se presenta el mapa del detonante sismo correspondiente al municipio de Ciudad Bolívar.

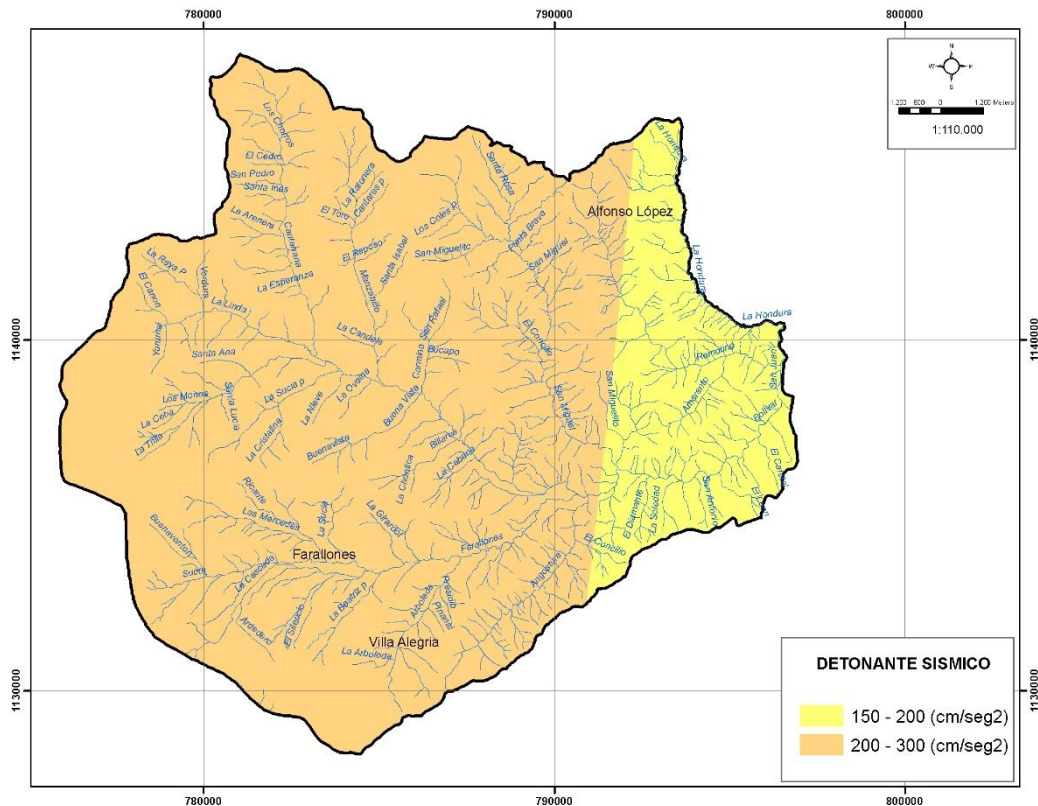


Figura 19. Mapa del detonante sismo el municipio de Ciudad Bolívar

Con base en la espacialización de las aceleraciones máximas horizontales dadas en PGA, el detonante sismo para el Municipio de Ciudad Bolívar presenta valores de la aceleración máxima horizontal PGA < 300 cm/seg².

El municipio se caracteriza por presentar dos sectores referentes a los valores de PGA. Hacia el oriente ocupando parte de las veredas La Hondura, Remolino y Amaranto, como una franja que se extienden en sentido norte - sur se observa la presencia de una zona con valores en el rango entre 150 - 200 PGA, correspondiendo a la zona con valores más bajos dentro del municipio y determinado como valores medios.

En la zona central y el costado occidental, correspondiendo a los valores de mayor predominio dentro del Municipio se presentan valores más altos del

detonante sismo, el cual exhibe una oscilación de la aceleración máxima horizontal entre 200 -300 PGA, y está distribuida uniformemente, ocupando aproximadamente el 80% del área del municipio.

4.6.4 Zonificación de amenaza por movimientos en masa

Para la determinación de la amenaza, fueron sumados los valores W_i de la susceptibilidad y de los factores detonantes lluvia y sismo.

En el caso de la lluvia, fueron probados los diferentes periodos de retorno, encontrando que el $Tr=100$ años, es el que mejor representatividad lograba de las condiciones observadas en campo y el que estadísticamente concentraba la mayor cantidad de movimientos en la menor área.

La ponderación utilizada para la obtención del mapa de amenazas fue la siguiente:

$$AMM = \sum_i^n S_{Wi} + DTr_{Wi} + DS_{Wi}$$

Donde,

S_{Wi} es el valor de la susceptibilidad generado de la suma de los W_i obtenido a partir de la densidad de procesos para cada variable condicionante.

DTr_{Wi} es el valor del detonante lluvia para cada periodo de retorno generado de la suma de los W_i obtenido a partir de la densidad de procesos.

DS_{Wi} es el valor del detonante sismo generado de la suma de los W_i obtenido a partir de la densidad de procesos.

En la Figura 20 se presenta metodología seguida para obtener la amenaza. Finalmente, fueron obtenidos una serie de valores, los cuales fueron graficados en función del área acumulada en cada valor del mapa de amenaza en relación con el porcentaje acumulado de movimientos en masa. Esto permitió establecer las tres categorías alta, media y baja, buscando que las primeras categorías en menor área tengan un número representativo de eventos (Figura 21).

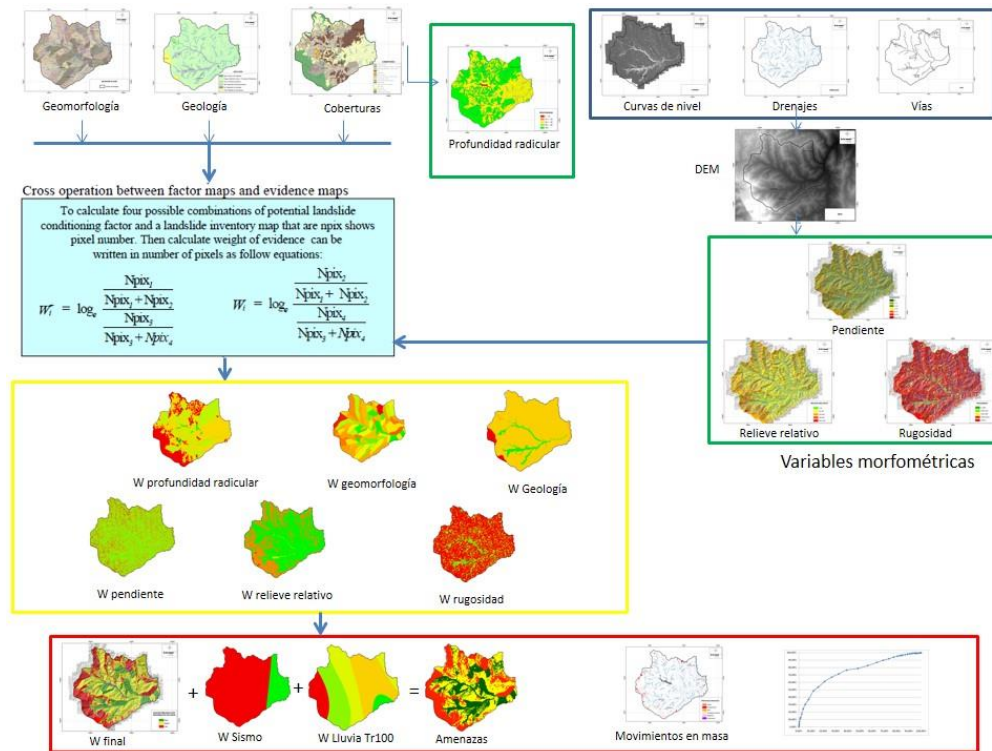


Figura 20. Metodología para obtener la amenaza por movimientos en masa

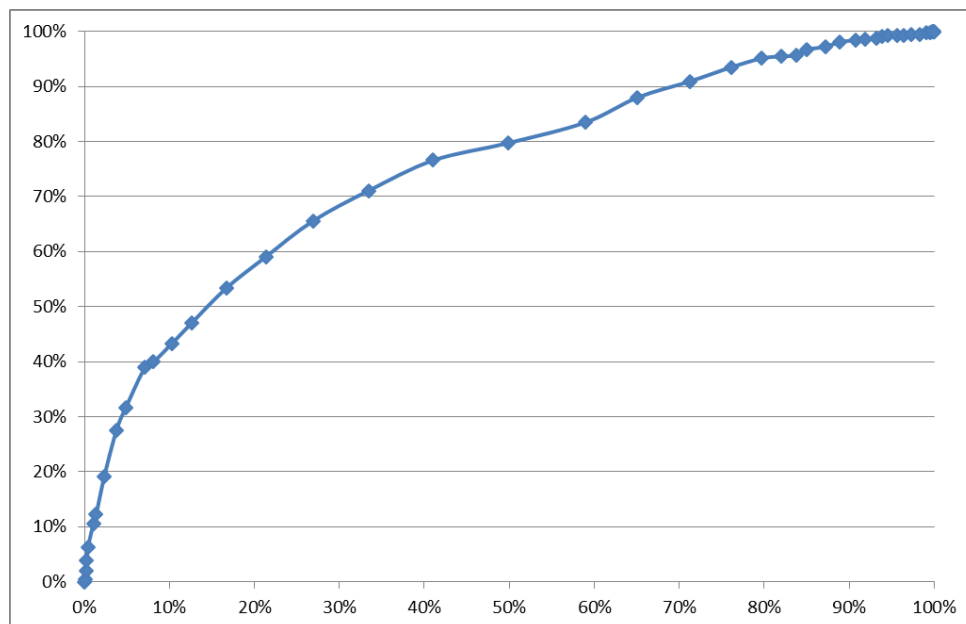


Figura 21. Relación del porcentaje de movimientos en masa con respecto al área acumulada.

El mapa de amenaza por movimientos en masa del municipio de Ciudad Bolívar presenta las tres categorías de amenaza: Alta, Media y Baja (Figura 22) y el consolidado de las áreas involucradas en cada categoría se presenta en la siguiente tabla.

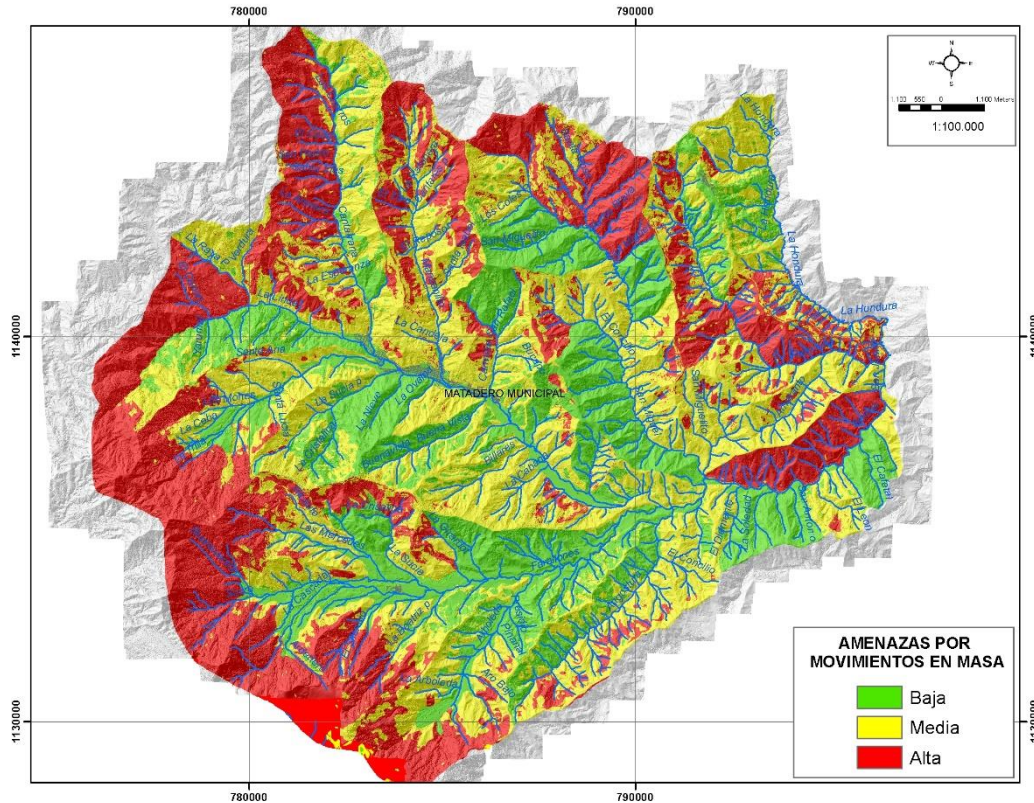


Figura 22. Mapa de amenaza por movimientos en masa del municipio de Ciudad Bolívar

Tabla 41. Amenaza por movimientos en masa en el municipio de Ciudad Bolívar

Categoría	Total área (ha)	Porcentaje (%)
Alta	8470.41	32.60
Media	10658.92	41.02
Baja	6856.61	26.39

4.6.4.1 Amenaza alta

Estas zonas presentan una distribución moderada, ocupando el 32.60% del total del Municipio, y su distribución se da principalmente hacia el costado suroccidental, en la parte alta de las veredas Farallones, La Linda y La Arboleda, en la zona correspondiente a los Farallones de Citará, asociado principalmente a

las unidades geomorfológicas de tipo estructural, entre las que predominan espolones faceteados y festoneados con índices de relieve altos y escarpes de línea de falla. Los procesos morfodinámicos identificados en estas zonas corresponden principalmente a deslizamientos traslacionales, con superficies de fallas poco profundas y asociadas principalmente a suelos residuales y rocas moderadamente meteorizadas del Miembro Urrao de la Formación Penderisco, además del Batolito de Farallones. Estas unidades en general, presentan un relieve relativo de moderado a alto, con pendientes inclinadas a abruptas.

Esta categoría es controlada principalmente por los valores de susceptibilidad alta, donde el detonante climático no presenta variaciones significativas debido a que predominan valores de lluvia entre 115 y 125 mm/día, y el detonante sísmico con valores entre 150 y 200 PGA. A partir de este análisis se puede determinar que para estas zonas lo que condiciona la amenaza corresponde a la susceptibilidad, debido a que corresponde a zonas donde las condiciones geológicas de los materiales tales como grado de meteorización, propiedades físicas y mecánicas aumentan su predisposición a la ocurrencia de movimientos en masa, además de las condiciones topográficas.

4.6.4.2 Amenaza media

Este rango de susceptibilidad corresponde al de mayor predominio representando el 41.02% del total del área y su distribución se da a lo largo de todo el Municipio sin exhibir un predominio. Litológicamente este rango cubre la mayor parte de las rocas sedimentarias del Miembro Urrao de la Formación Penderisco, las cuales exhiben diferentes niveles de meteorización, donde predominan limos arenosos y arenas limosas susceptibles principalmente a procesos de erosión y deslizamientos en presencia de agua.

Desde el punto de vista geomorfológico se asocia a unidades de tipo estructural, con un marcado predominio hacia los diferentes tipos de espolones que predominan en la zona central y el costado oriental del Municipio, los cuales exhiben índices de relieve moderados a bajos, con pendientes predominantemente inclinadas. En éstas zonas se han cartografiado algunos procesos morfodinámicos como deslizamientos rotacionales y traslacionales, aunque con una densidad y grados de afectación bajos. Los procesos erosivos presentan una mayor representatividad y corresponden principalmente a erosión por sobrepastoreo y laminar.

En esta categoría de amenaza se tienen valores de lluvia de 115 y 125 mm/día y los valores para el detonante sismo son de < 300 PGA. Teniendo en cuenta el

anterior análisis, igualmente se identifica que la amenaza media está controlada por la variable susceptibilidad, debido a que las condiciones de lluvia y sismo son muy similares para todas las zonas, por lo que no marcan diferenciación.

4.6.4.3 Amenaza baja

Corresponden al rango de distribución moderado, ocupando el 26.39% del total del área del Municipio, y su distribución igualmente se da a lo largo de todo el Municipio, pero con un marcado predominio hacia la parte baja de las veredas San Miguel, Farallones, La Sucia y La Linda, donde se encuentra relacionado con las zonas que han sido modificadas por la acumulación de depósitos aluviales y aluvio- torrenciales de las principales corrientes que drenan el municipio como los ríos Bolívar y Farallones.

Desde el punto de vista geológico se asocia tanto a suelos residuales derivados de la meteorización de la Formación Penderisco, como a depósitos cuaternarios de origen aluvio – torrencial. Geomorfológicamente se asocia a unidades de tipo estructural con índices de relieves moderados como espolones y ganchos de flexión, además de las asociadas a la dinámica depositacional de las principales corrientes.

En las zonas de susceptibilidad baja no se identifican proceso de remoción en masa, pero asociado a las actividades agrícolas es común la presencia de procesos de tipo erosivo.

En esta categoría de amenaza se tienen valores de lluvia de 115 y 125 mm/día y los valores para el detonante sismo son de < 300 PGA.

4.7 ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES

Una avenida torrencial se puede definir como un movimiento en masa generado cuando el caudal aumenta su volumen en un cauce, transportando materiales sólidos (e.g bloques, troncos, lodo) (INGEOMINAS-CVC, 2001). Por su el carácter impredecible, la rapidez con que presentan, la corta duración, el largo período de recurrencia para un mismo lugar y su distribución espacial y temporal; los fenómenos de remoción de masa catalogados como avenidas torrenciales presentan dificultades metodológicas para su definición (Parra, 1998).

Estos procesos son frecuentes en ríos y quebradas de zonas montañosas con fuertes pendientes, y la mayoría de las veces son desencadenadas debido a la siguiente secuencia de fenómenos:

1. Los fuertes aguaceros que caen sobre vertientes conformadas por terrenos inestables o sin cobertura vegetal, propician la ocurrencia de deslizamientos que taponan los cauces de ríos y quebradas. De igual manera estos deslizamientos pueden generarse por Sismos.
2. Los materiales litológicos y edafológicos acumulados sobre los cauces forman un represamiento natural de las aguas que por éstos discurren.
3. El agua ejerce gran presión sobre el represamiento hasta que lo rompe arrastrándolo consigo.

Una característica importante de las corrientes torrenciales es su régimen irregular, muy poco caudal en épocas secas e inundaciones rápidas y violentas en épocas de lluvias. Para la definición de las zonas de amenaza por avenidas torrenciales se asociaron los depósitos cartografiados en campo localizados a lo largo de las principales corrientes del Municipio.

Este tipo de amenaza presenta una distribución importante en la zona rural asociado a los cauces de las quebradas Los Monos, La Linda, La Cantarrana, La Carmina, La Cascada y La Arboleda, además de los río Bolívar y Farallones, donde se evidencian grandes depósitos de material producto de eventos de tipo torrencial que han sido depositados en las partes topográficamente planas de dichas quebradas (Figura 23).

Dentro de este tipo de amenaza se destacan las asociadas al río Farallones, y las quebradas La Cascada y La Arboleda, donde geomorfológicamente se identifican diferentes niveles de terrazas con características torrenciales que alcanzan amplitudes hasta de 200m, lo que evidencia el comportamiento de dichas corrientes. Se destaca que asociado a la quebrada la Arboleda en épocas recientes se han presentado eventos torrenciales, como el ocurrido hace aproximadamente 20 años, el cual generó importantes afectaciones en pérdida de vidas humanas, además de las edificaciones localizadas en la zona aledaña a dicha quebrada, y que desencadenó el proceso de reubicación en la zona denominada como Villa Alegría. Se destaca que actualmente las zonas afectadas por dicho evento, están siendo nuevamente ocupadas con viviendas, las cuales se localizan de forma aislada a lo largo del cauce de dicha quebrada.

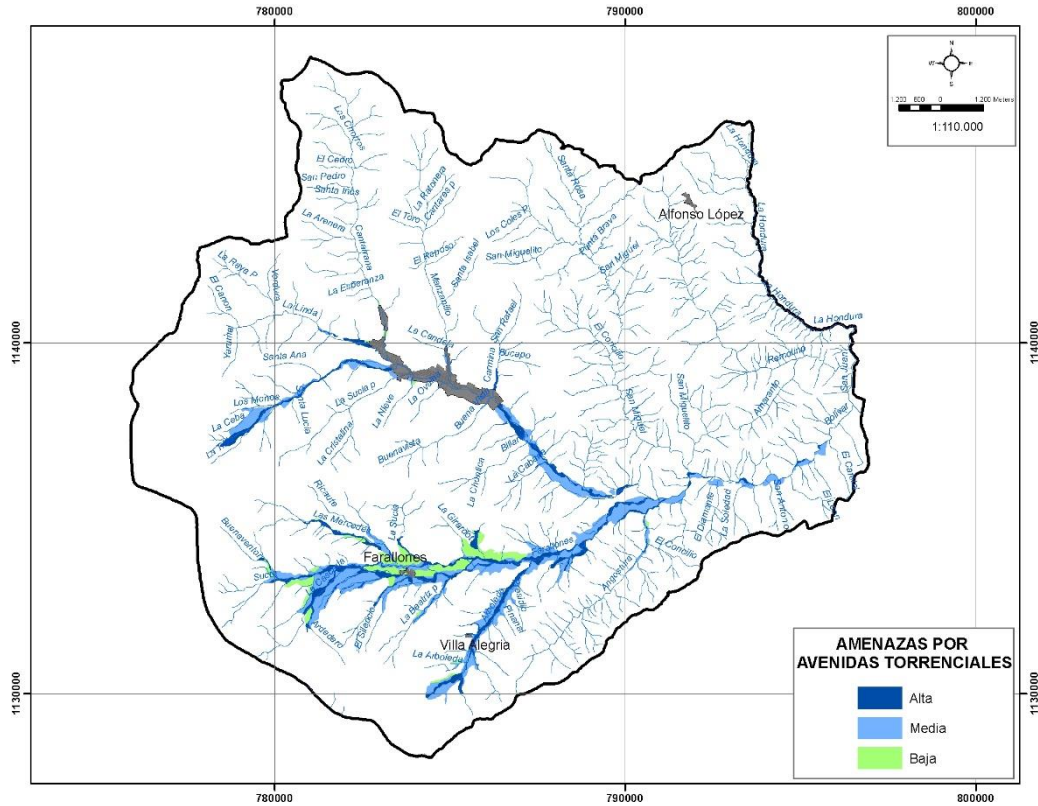


Figura 23. Mapa de amenazas por avenidas torrenciales en el suelo rural de Ciudad Bolívar.

En la parte inferior del centro poblado Villa Alegría, todavía se observan los depósitos de esta crecida, los cuáles se generaron tras la socavación de depósitos más antiguos que se encuentran en los alrededores, como se observa en las siguientes fotografías:



Foto 54. Depósitos fluviotorrenciales de la quebrada La Arboleda en la zona baja del centro poblado Villa Alegría.

5 SUELO URBANO CIUDAD BOLÍVAR

5.1 GEOLOGÍA Y FORMACIONES SUPERFICIALES

En el casco urbano del municipio de Ciudad Bolívar, se encuentran unidades asociadas a depósitos aluviotorrenciales de los afluentes de la quebrada La Linda, además de depósitos de vertiente en los límites del municipio, conformando franjas entre las zonas más planas y las pendientes más inclinadas. Estos depósitos cuaternarios suprayacen rocas de la Formación Penderisco – Miembro Urrao, cuyos suelos residuales se encuentran a lo largo de todo el municipio. Finalmente, es posible observar algunas unidades de llenos asociadas a la intervención y actividad antrópica en el territorio (Figura 24).

A continuación se describen las unidades geológicas presentes en la cabecera municipal:

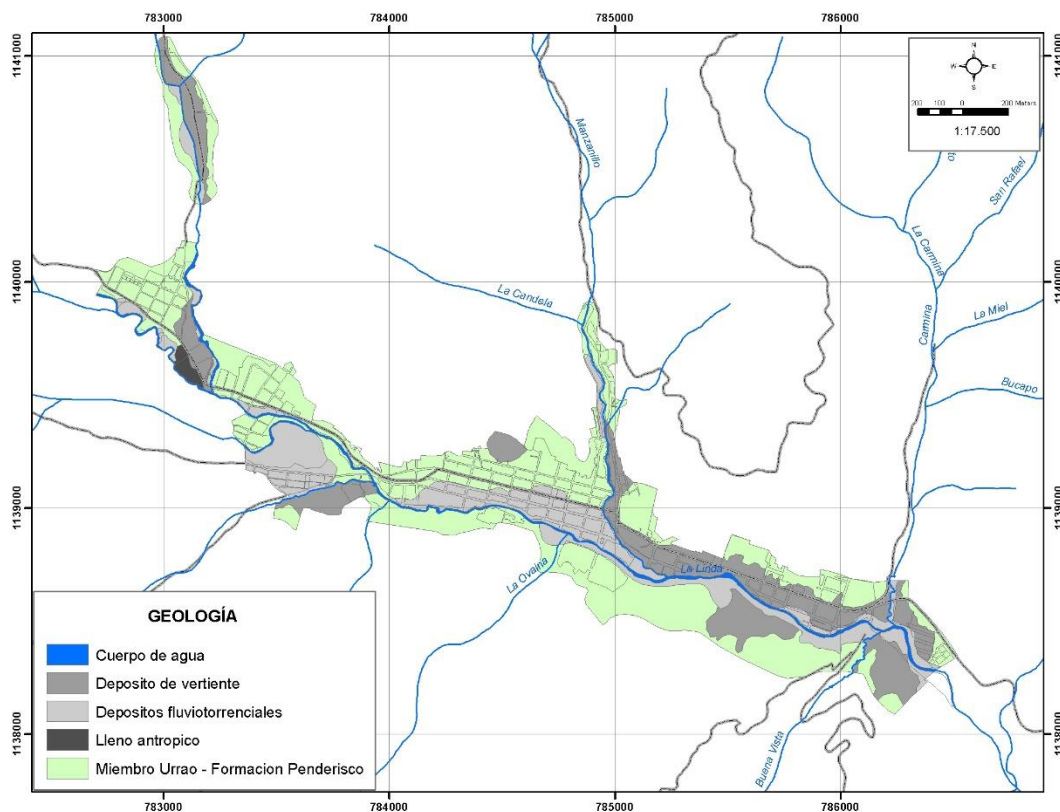


Figura 24. Mapa geológico local y de formaciones superficiales de la cabecera municipal.

Formación Penderisco – Miembro Urrao (Ksaau): Los suelos residuales de esta formación se encuentra a lo largo de todo el casco urbano, infrayaciendo los depósitos de vertiente y depósitos fluviotorrenciales, encontrándose hacia los límites del municipio en las zonas más colinadas, especialmente en los barrios La Cabaña, Chapinero, Pío XII, La Cumbre, Obrero, Verdún, Manzanillo y Manuelita; y en la parte alta de los barrios Alferez, La Sucia, Centro, San Vicente, La Playa y La Floresta. De igual manera, es posible observar sus características en algunos cortes realizados a las afueras del municipio, dónde se observa un suelo de color rojizo y naranjado, de textura limo arenosa, cómo se observa en las siguientes fotografías:



Foto 55. Características de los suelos residuales de la Formación Penderisco – Miembro Urrao en cortes realizados en la margen derecha de la entrada principal (Der.) y en la vía hacia el cementerio (Izq.)

En el sector el Verdún, en la ladera que desciende del cristo, se observan algunos materiales producto de algunos procesos erosivos en el sector, los cuáles pueden observarse también en los alrededores del cementerio, dónde se observan sus coloraciones rojizas. Esta formación contrasta con el relieve más plano de los depósitos que se observan en la zona central.



Foto 56. Características de los suelos residuales de la Formación Penderisco – Miembro Urrao en el sector El Verdún.



Foto 57. Procesos morfodinámicos (Izq.) y procesos erosivos (Der.) de menor magnitud que permiten observar los suelos característicos la Formación Penderisco – Miembro Urrao en los alrededores del cementerio.



Foto 58. Características de los suelos residuales de la Formación Penderisco – Miembro Urrao en el sector del cristo.

En el norte del casco urbano, es posible observar los suelos residuales de la formación debido a la presencia de procesos erosivos como sobrepastoreo, asociado a los cultivos de café que se encuentran en los alrededores del municipio, como se observa en las siguientes fotografías:



Foto 59. Características de los suelos residuales de la Formación Penderisco – Miembro Urrao en el barrio Chapinero.

En la zona central de la cabecera, debido a su nivel de intervención, no es posible observar directamente los materiales de esta formación; sin embargo, estos se reconocen claramente por su topografía y los distintos niveles con respecto a los depósitos a medida que se aleja del cauce de la quebrada La Linda, siendo más evidentes hacia el norte del parque principal por los niveles de las vías que marcan de manera paralela la diferencia en los materiales, como se observa en las siguientes fotografías:



Foto 60. Características de los suelos residuales de la Formación Penderisco – Miembro Urrao en la zona central del municipio, con respecto a los cambios de nivel y los contrastes con las terrazas y depósitos de la quebrada La Linda.

Depósitos de vertiente (Qv): Conformados por depósitos de flujos de lodos y/o escombros que se encuentran en la parte baja de las vertientes que rodean el casco urbano, especialmente en los barrios Arenales, San Vicente, La Carmina, Calle 6, La Estación, La Playa y La Floresta; y en algunos sectores puntuales del centro, La Sucia, El Olimpo y el barrio Alférez. Hacia el oeste del municipio, se

observan en algunos cortes en la vía principal, en dónde se caracterizan por presentar bloques subredondeados y angulosos, de tamaños métricos y centimétricos, embebidos en una matriz limo arenosa de color marrón y tonalidades rojizas, además de una distribución caótica de los escombros, como se observa en las siguientes fotografías:



Foto 61. Depósitos de vertiente al occidente del municipio, sobre la vía principal sector El Olimpo.



Foto 62. Características de los depósitos de vertiente al occidente, sectores El Alférez y El Olimpo.

Hacia el este del municipio, estos depósitos están cubiertos por el tejido urbano casi en su totalidad, por lo cual es posible observarlos en los alrededores de los cauces de las quebradas Manzanillo y La Carmina.

Depósitos fluviotorrenciales (Qft): Depósitos asociados a la dinámica de las quebradas que drenan el sector, como la quebrada La Linda, La Ovaina, La Nieve, La Sucia, Manzanillo, Los Monos, La Carmina y Cantarrana. Tienen extensiones variables, sin embargo estos son más amplios hacia el centro del municipio, en el parque principal, además de la parte baja de los barrios La Estación, La Playa, La Floresta y La Carmina. Hacia el límite occidental en cercanías al perímetro urbano, se observa en los alrededores de la quebrada Los Monos, depósitos asociados a la presencia de un abanico. A continuación se observan los depósitos fluviotorrenciales en la zona central del municipio, caracterizados por presentarse como una superficie plana y moderadamente inclinada, en contraste con las unidades colinadas de los alrededores:



Foto 63. Características de los depósitos fluviotorrenciales en la zona central del municipio, en contraste con las unidades de laderas de los alrededores.

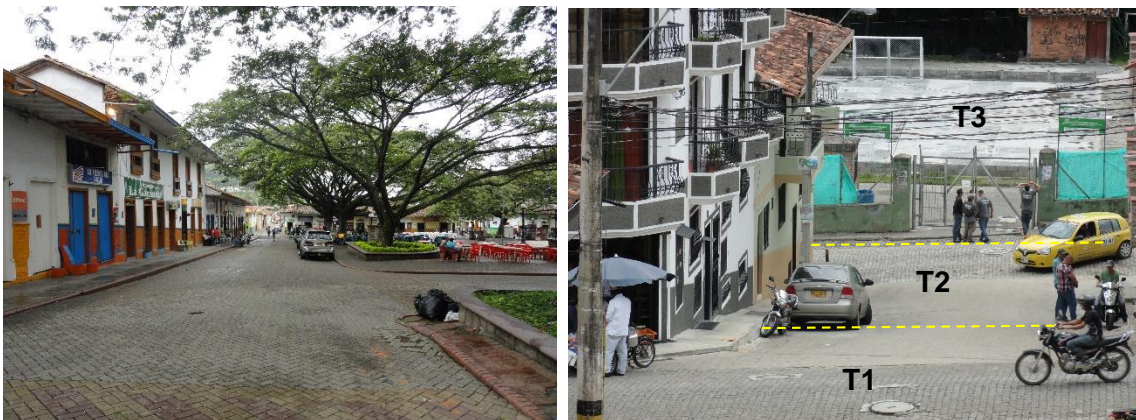


Foto 64. Características de los depósitos fluviotorrenciales en la zona central del municipio. Se observan distintos niveles de terrazas en cercanías a la unidad deportiva.

De manera general, es posible diferenciar tres niveles de terrazas en la zona de más extensión de los depósitos, hacia el centro y el este del casco urbano, dónde las terrazas No. 1 y No. 2 (T1 y T2), están asociadas a depósitos más antiguos, por lo cual se encuentran más elevados y distanciados del cauce principal de la quebrada La Linda; mientras que la terraza No. 3 (T3) y algunas terrazas puntuales de alturas inferiores a 1m, se encuentran en las riberas de los cauces y están asociadas a la actividad más reciente de los mismos.

La composición de estos depósitos presenta una gran heterogeneidad, debido no sólo a su extensión sino también a la dinámica aluviotorrencial de estas quebradas, mostrando algunos estratos con mayor predominio de gravas que se intercalan con zonas de depositación más finas, además de gravas con selección moderada y de carácter subredondeado y anguloso a nivel puntual. Es las siguientes fotografías se observan los materiales que componen estos depósitos más antiguos, desde el occidente hasta el límite oriental del municipio, en la vía hacia Medellín:



Foto 65. Características de los depósitos fluviotorrenciales antiguos al oeste del parque central.



Foto 66. Características de los depósitos fluviotorrenciales antiguos en la entrada principal desde Medellín.

Finalmente, los depósitos fluviotorrenciales recientes se encuentran en las riberas de los cauces principales, especialmente de la quebrada La Linda, dónde se presentan además algunos procesos de socavación y retrabajamiento de los mismos, en especial en la desembocadura de la quebrada Los Monos, como se observa en las siguientes fotografías:



Foto 67. Depósitos fluviotorrenciales incisados por el cauce de la quebrada La Linda. Oeste del municipio.

La extensión de estos depósitos recientes es variable, ya que en el casco urbano se ven afectados por los procesos de intervención de los cauces, que se encuentran invadidos y afectados por la construcción de muros y puentes, lo que modifica la dinámica depositacional de los mismos, encontrando zonas con depósitos extensos, especialmente al occidente del municipio, en las quebradas La Linda y Los Monos, mientras que hacia el este, en los cauces de las quebradas Manzanillo, Cantarrana y La Carmina, hay menores extensiones de estos depósitos ya que el grado de intervención se hace mayor, como se observa en las siguientes fotografías:



Foto 68. Depósitos recientes de la quebrada La Linda, occidente del municipio.



Foto 69. Depósitos recientes de la quebrada Manzanillo.



Foto 70. Depósitos recientes de la quebrada Cantarrana o Bolivar Arriba.

Lleno antrópico (QII): Corresponden a depósitos artificiales de composición 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. Dentro de esta unidad también se incluyen aquellas acumulaciones artificiales necesarias para la construcción de las obras de infraestructura.

En la cabecera urbana, se encuentra un lleno cartografiable en el barrio El Olimpo, en la margen izquierda de la quebrada La Linda, dónde actualmente funciona una estación de gasolina y servicios, en la cual se adicionó material sobre la terraza de la quebrada con el fin de nivelar el terreno desde la vía principal, como se observa en las siguientes fotografías:



Foto 71. Lleno antrópico en la estación de servicio sector El Olimpo.

5.2 GEOMORFOLOGÍA

Para la caracterización geomorfológica de la cabecera municipal del Municipio de Ciudad Bolívar, se continuó con la jerarquización geomorfológica de acuerdo con la escala de estudio, con el fin de representar a nivel de formas las subunidades del suelo rural, buscando garantizar la escala 1:2.000 y sin perder la interpretación genética de las unidades.

A nivel geomorfológico regional, la cabecera municipal se localiza en la unidad de relieve Cañón del Río Cauca – San Juan (C1) y en las macrounidades de Vertientes altas de la margen oeste (VAO) y Fondo (F). En la figura 25 se presenta el mapa geomorfológico de la cabecera municipal y a continuación se describen las subunidad y sus correspondientes formas.

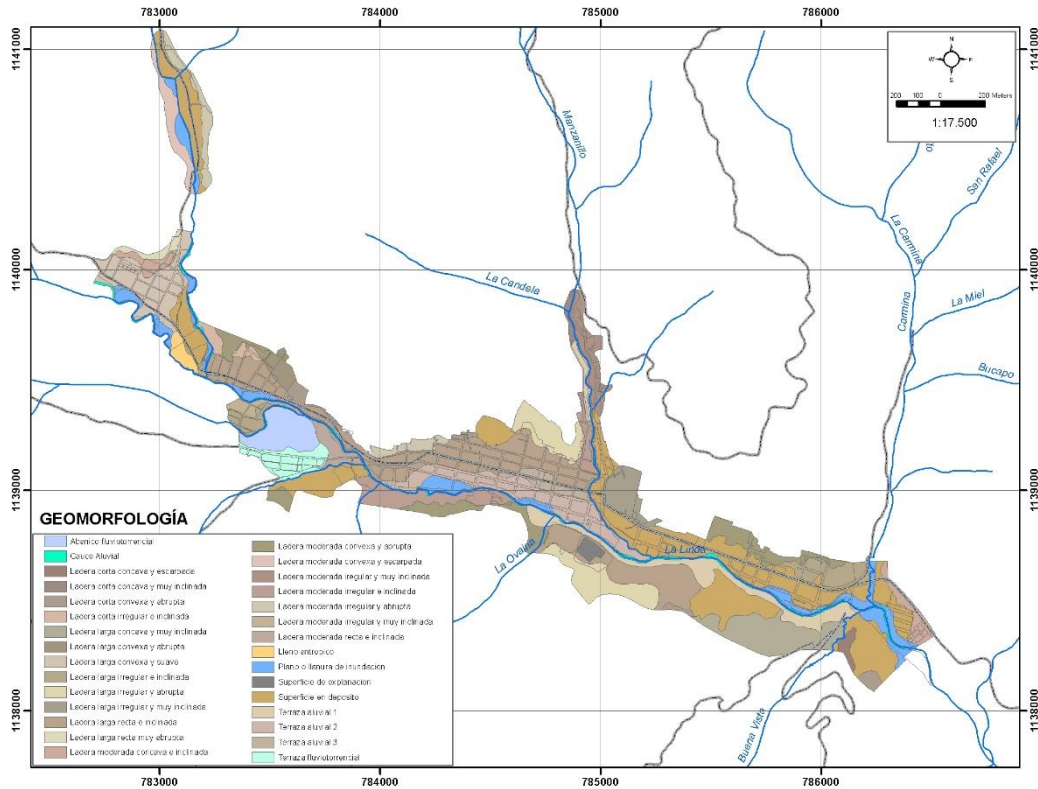


Figura 25. Mapa geomorfológico, cabecera urbana Ciudad Bolívar.

5.2.1 Planicies aluviales (C1-F-Fpa)

5.2.1.1 Plano aluvio - torrencial (C1-F-Fpa-fpat)

Superficies elongadas, de dimensiones variables, de pendiente inclinada a suave, modelada sobre sedimentos aluviales y aluvio - torrenciales, que se presenta en forma pareada, limitada por escarpes de diferente altura a lo largo del cauce de un Río o quebrada. Su origen es relacionado a procesos de erosión y acumulación aluvial y aluvio - torrencial, dentro de antiguas llanuras de inundación y/o abanicos. Su formación incluye fases de acumulación, incisión y erosión vertical. Por sus diferentes características se han definido 6 formas, como se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 42. Formas asociadas a la subunidad de plano aluvio - torrencial

Subunidad	Formas	Localización
Plano aluvio - torrencial	Abanico fluvio - torrencial	Se localiza al sur del barrio Pio XII, sobre la margen oriental de la quebrada La Sucia en la zona de confluencia con la quebrada Los Monos.

	Cauce aluvial	Se asocia a los cauces de las quebradas La Linda, Los Monos, Manzanillo, La Carmina y el Río Bolívar.
	Superficie inundable	Corresponde a franjas irregulares, localizadas de forma discontinua a lo largo de los principales drenajes, siendo más predominantes las asociadas a la quebrada La Linda, en los barrios Alférez, La Cábala y el Barrio Centro.
	Terraza aluvial 1	Corresponde a una unidad continua y alargada, localizada sobre la margen sur de la quebrada La Linda, entre los barrios centro al occidente y Calle 6 al oriente. Esta unidad igualmente se identifica sobre la margen occidental de la quebrada Manzanillo en el barrio san Judas.
	Terraza aluvial 2	Se presenta como una franja alargada y con un ancho variable entre 55 y 100m que se extiende de forma paralela a la quebrada La Linda, extendiéndose desde el barrio la Independencia al occidente hasta la confluencia de las quebradas Manzanillo y La Linda al oriente, en el barrio La Playa, incluyendo gran parte del sector comprendido entre las calles 48 y 49 en la zona centro.
	Terraza aluvial 3	Se localiza en el barrio Centro, como una franja alargada localizada en el sector comprendido entre las carreras 48b y 52 con calle 49 y 51, en la zona donde se localiza el parque principal.
	Ladera larga convexa y suave	Se localiza en el barrio Alférez en el sector comprendido entre la carrera 71 y 76 con calle 55 al norte y la quebrada La Linda al sur.
	Ladera larga irregular e inclinada	Se localiza al norte de la quebrada Los Monos en el barrio Pio XII en el sector comprendido entre la calle 49b y la quebrada Los Monos.
	Ladera larga recta e inclinada	Corresponde a la unidad de mayor predominio que se extiende como una franja delgada y alargada en sentido este – oeste, paralelo a la quebrada La Linda en el sector comprendido entre las carreras 47b y 68B en los barrios La Cabaña, Chapinero, La Cumbre y Centro.
	Ladera moderada irregular e inclinada	Se localiza en el sector comprendido entre las quebradas La Linda y Los Monos en el barrio Pio XII, en el sector comprendido entre la calle 49b y la quebrada La Linda.
	Ladera moderada recta e inclinada	Se localiza en el barrio La Sucia en el sector comprendido entre las quebradas La Linda y La Sucia.
	Lleno Antrópico	Se localiza en el barrio El Olimpo, asociado a la zona donde se localiza la estación de servicios La Colina.
	Superficie en depósito	<p>Corresponde a una unidad ampliamente distribuida dentro de la cabecera urbana por lo que se asocia a varios polígonos localizados de forma aislada y distribuidos de la siguiente forma:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Entre los barrios Alférez y El Olimpo en el sector comprendido entre la carrera 69 y 71 con calle 50 y la quebrada Cantarrana. • Al sur de los barrios Las Palmas y La Sucia donde se localiza el Convento de las hermanas Concepcionistas. • Al norte del barrio Centro donde se localiza el colegio corporativo Alejandro Restrepo. • Sobre toda la margen oriental de la quebrada Manzanillo hasta la confluencia con la quebrada La Linda, y desde ahí sobre la margen norte de la quebrada La Linda hasta la quebrada La Carmina. Este corresponde al polígono de mayor extensión abarcando parte de los barrios San Vicente, La Estación, La Playa y la Floresta. • Sobre la margen oriental de la quebrada La Carmina en el barrio que lleva esta mismo nombre.

		<ul style="list-style-type: none">Al sur del barrio Calle 6.
--	--	--



Foto 72. Diferentes niveles de terrazas asociadas a la quebrada La Linda



Foto 73. Panorámica unidad de ladera larga recta e inclinada



Foto 74. Panorámica unidad de superficies en depósito

5.2.2 Espolón festonado (C1-VAO-Sefes)

5.2.2.1 Bajo de laderas cortas irregulares y topes subredondeados (C1-VOE-Sefes-bcis)

Prominencia topográfica de morfología colinada, elongada y de forma predominantemente simétricas, con índice de relieve bajo. Presenta tope de longitud moderada y forma subredondeada. Presenta laderas caracterizadas por inclinaciones inclinadas a muy inclinadas y longitudes cortas, de forma irregular. El patrón de drenaje dominante es subparalelo, con valles en forma de "V" abierto e incisión fuerte. La característica principal de esta unidad corresponde a que la parte terminal del espolón es amplia y se asemeja a una pata de elefante. Por sus diferentes características se han definido 6 formas, como se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 43. Formas asociadas a la subunidad de espolón festoneado bajo de laderas cortas irregulares y topes subredondeados

Subunidad	Formas	Localización
Bajos de laderas cortas irregulares y topes subredondeados	Ladera corta convexa y abrupta	Se asocia a dos polígonos localizados al norte de la cabecera urbana, al norte de los barrios Chapinero y Obrero.
	Ladera corta irregular e inclinada	Se localiza al norte del barrio Olimpo, frente a la Ciudadela La Colina.
	Ladera larga convexa y abrupta	Se localiza al nororiente del barrio La Cabaña, en el sector comprendido entre la carrera 64 y 66 con calles 51 y 52.
	Ladera larga irregular y abrupta	Se extiende hacia el norte de los barrios centro y Verdum, incluyendo la zona donde se localiza el monumento del Cristo.
	Ladera moderada convexa y abrupta	Se localiza al norte del barrio La Cabaña en la zona posterior de la Urbanización El Porvenir
	Ladera moderada irregular y abrupta	Se localiza al norte del barrio La Cumbre y al sur occidente del barrio obrero, en el sector comprendido entre las carreras 53 y 58 con calles 50ª y 52.



Foto 75. Panorámica de formas de la subunidad de espolones al norte de la cabecera urbana.



Foto 76. Panorámica de forma de laderas cortas convexas y abruptas en el barrio La Cabaña.

5.2.2.2 *Bajo de laderas cortas convexas y topes agudos (C1-VAO-Sefes-bccxa)*

Prominencia topográfica de morfología colinada, elongada y de forma predominantemente simétricas, con índice de relieve bajo. Presenta tope de longitud moderada y forma aguda. Presenta laderas caracterizadas por inclinaciones inclinadas a muy inclinadas y longitudes cortas, de forma convexa. El patrón de drenaje dominante es subparalelo, con valles en forma de "V" abierto e incisión fuerte. La característica principal de esta unidad corresponde a que la parte terminal del espolón es amplia y se asemeja a una pata de elefante. Por sus diferentes características se ha definido 1 forma, como se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 44. Formas asociadas a la subunidad de espolón festoneado bajo de laderas cortas convexas y topes agudos

Subunidad	Formas	Localización
Bajos de laderas cortas convexas y topes agudos	Ladera moderada cóncava e inclinada	Se localiza en el extremo nororiental de la cabecera urbana, sobre la margen oriental en el barrio La Carmina, asociado al talud inferior de la vía principal correspondiente a la calle 49, donde se localiza la urbanización Conrado Vélez.



Foto 77. Panorámica de forma de ladera moderada cóncava e inclinada.

5.2.2.3 Moderado de laderas moderadas irregulares y topes subredondeados (C1-VAO-Sefes-mmis)

Prominencia topográfica de morfología colinada, elongada y de forma predominantemente simétricas, con índice de relieve moderado. Presenta tope de longitud moderada y forma subredondeada. Presenta laderas caracterizadas por pendientes inclinadas y longitudes moderadas, de forma irregular. El patrón de drenaje dominante es subparalelo, con valles en forma de "V" abierto e incisión fuerte. La característica principal de esta unidad corresponde a que la parte terminal del espolón es amplia y se asemeja a una pata de elefante. Por sus diferentes características se han definido 2 formas como se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 45. Formas asociadas a la subunidad de espolón festoneado moderado de laderas moderadas irregulares y topes subredondeados

Subunidad	Formas	Localización
Moderado de laderas moderadas irregulares y topes subredondeados	Ladera moderada convexa y abrupta	Corresponde a dos polígonos independientes, localizados en la margen sur de la quebrada La Linda. El primero de ellos localizado al sur del barrio Manuelita y Centro en el sector comprendido entre las quebradas La Ovaina al oriente y La Nieve al occidente. El segundo polígono corresponde a un pequeño sector localizado al suroccidente de la capilla del convento de las hermanas Concepcionistas.
	Ladera moderada irregular e inclinada	Se localiza al sur del barrio Manuelita y Centro en el sector comprendido entre las quebradas La Ovaina al oriente y La Nieve al occidente.



Foto 78. Panorámica de formas asociadas a la subunidad de espolón festoneado moderado de laderas moderadas irregulares y topes subredondeados

5.2.3 Espolón faceteado (C1-VAO-Sefc)

5.2.3.1 Bajo de laderas cortas rectas y topes agudos (C1-VAO-Sefes-bcra)

Saliente topográfica de morfología alomada y de forma predominantemente simétricas, con índice de relieve bajo; presenta topes de longitud moderada y formas agudas. Presenta laderas caracterizadas por inclinaciones abruptas y longitudes cortas, de forma recta, y perpendicular a ella forman facetas triangulares. El patrón de drenaje dominante es subparalelo, con valles en forma de "V" abierto e incisiones fuertes.

Por sus diferentes características se han definido 4 formas, como se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 46. Formas asociadas a la subunidad de espolón faceteado bajo de laderas cortas rectas y topes agudos

Subunidad	Formas	Localización
Bajos de laderas cortas rectas y topes agudos	Ladera corta cóncava y muy inclinada	Se localiza sobre la vertiente occidental de la quebrada Manzanillo en el barrio San Judas, en el sector comprendido entre la calle 48 y la quebrada.
	Ladera moderada irregular e inclinada	Se localiza sobre la vertiente occidental de la quebrada Manzanillo, al sur del barrio San Judas y el oriente del barrio Verdum, en el sector comprendido entre las calles 52ª y 54.
	Ladera larga recta y muy abrupta	Se localiza al suroccidente del barrio Alférez.
	Ladera moderada cóncava e inclinada	Se localiza al suroccidente del barrio Alférez, en el sector comprendido entre la calle 53 con carrera 72 y 76.



Foto 79. Panorámica de forma de ladera moderada, irregular e inclinada.

5.2.3.2 *Bajo de laderas cortas irregulares y topes agudos (C1-VAO-Sefes-bcia)*

Saliente topográfica de morfología alomada y de forma predominantemente simétricas, con índice de relieve bajo; presenta topes de longitud moderada y formas agudas. Presenta laderas caracterizadas por inclinaciones abruptas y longitudes cortas, de forma irregular, y perpendicular a ella forman facetas triangulares. El patrón de drenaje dominante es subparalelo, con valles en forma de "V" abierto e incisiones fuertes.

Por sus diferentes características se han definido 4 formas, como se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 47. Formas asociadas a la subunidad de espolón facetado bajo de laderas cortas irregulares y topes agudos

Subunidad	Formas	Localización
Bajos de laderas cortas irregulares y topes agudos	Ladera corta convexa y abrupta	Corresponde a un pequeño sector localizado al sur del barrio La Playa.
	Ladera larga cóncava y muy inclinada	Se localiza al sur del barrio Calle 6 al occidente de la vía que conduce a la vereda Bellavista.
	Ladera larga irregular y abrupta	Se localiza al sur del barrio La Playa al sur de la zona al sur de la institución educativa localizada en dicho sector.
	Ladera larga recta e inclinada	Se localiza sobre la vertiente sur de la quebrada La Linda, al sur de los barrios La Playa y La Estación.



Foto 80. Panorámica de formas asociadas a la subunidad de espolón faceteado bajo de laderas cortas irregulares y topes agudos

5.2.4 Sierra y lomo de presión (C1-VOE-Sslp)

5.2.4.1 Moderado de laderas cortas rectas y tope subredondeado (C1-VAO-Sslp-mcrs)

Prominencia topográfica alomada a elongada, localmente curva, asociada a zonas compresivas, caracterizada por presentar índice de relieve moderado, con laderas cortas, de formas rectas a planas, topes subredondeados y pendientes inclinadas a muy inclinadas. Por sus diferentes características se han definido 4 formas, como se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 48. Formas asociadas a la subunidad de sierra y lomo de presión moderadas de laderas cortas, rectas y tope subredondeado

Subunidad	Formas	Localización
moderadas de laderas cortas, rectas y tope subredondeado	Ladera larga irregular e inclinada	Se localiza hacia el costado oriental del municipio, hacia el costado nororiental del barrio La Floresta, en el sector comprendido entre las calles 49 y 51 con la carrera 39 y la quebrada La Carmina.
	Ladera larga irregular y muy inclinada	Se localiza al norte del barrio La Estación y al suroriente del barrio San Miguel, incluyendo la zona aledaña al sector del cementerio.
	Ladera moderada convexa y abrupta	Se localiza al norte del barrio La Floresta en el sector comprendido entre el coliseo y el norte del hospital la Merced.
	Ladera moderada irregular y muy inclinada	Se localiza sobre la vertiente oriental de la quebrada Manzanillo, en el barrio que lleva este mismo nombre, en el sector comprendido entre la placa polideportiva al norte y la calle 54 al sur.



Foto 81. Panorámica formas de ladera larga irregular y muy inclinada en el sector del cementerio.

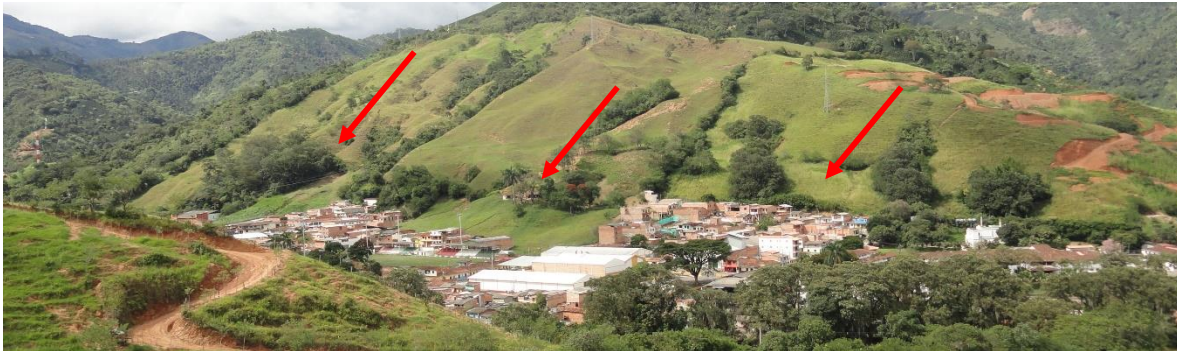


Foto 82. Panorámica de forma de ladera larga irregular e inclinada al nororiente del barrio La Floresta.

5.2.4.2 Moderado de laderas moderadas irregulares y tope agudo (C1-VOE-Sslp-mmia)

Prominencia topográfica alomada a elongada, localmente curva, asociada a zonas compresivas, caracterizada por presentar índice de relieve moderado, con laderas moderadas, de formas irregulares, tope agudos y pendientes inclinadas a muy inclinadas. Por sus diferentes características se han definido 3 formas, como se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 49. Formas asociadas a la subunidad de sierra y lomo de presión moderadas de laderas moderadas, irregulares y tope agudo

Subunidad	Formas	Localización
moderadas de laderas moderadas, irregulares y	Ladera corta convexa y abrupta	Se localiza en el costado suroriental de la cabecera urbana, al sur del barrio Arenales
	Ladera corta cóncava y escarpada	Se localiza sobre la margen oriental de la quebrada Buenavista en el costado suroriental de la cabecera

tope agudo		urbana
------------	--	--------

5.3 PENDIENTES

La zona urbana del Municipio se caracteriza por tener una topografía dominada por rangos de pendientes suaves a inclinadas en una gran porción de su extensión, la mayor parte de éstas asociadas a las laderas y superficies generadas por la acumulación de depósitos aluviales y aluvio – torrenciales asociados a la dinámica depositacional de las principales corrientes que drenan la zona. Igualmente se identifican zonas de mayor pendiente asociado a los sistemas de sierras y espolones que bordean la cabecera.

En la siguiente tabla se presenta la distribución de los diferentes rangos de pendientes para la cabecera urbana del Municipio de Ciudad Bolívar y en la Figura 26 el correspondiente mapa:

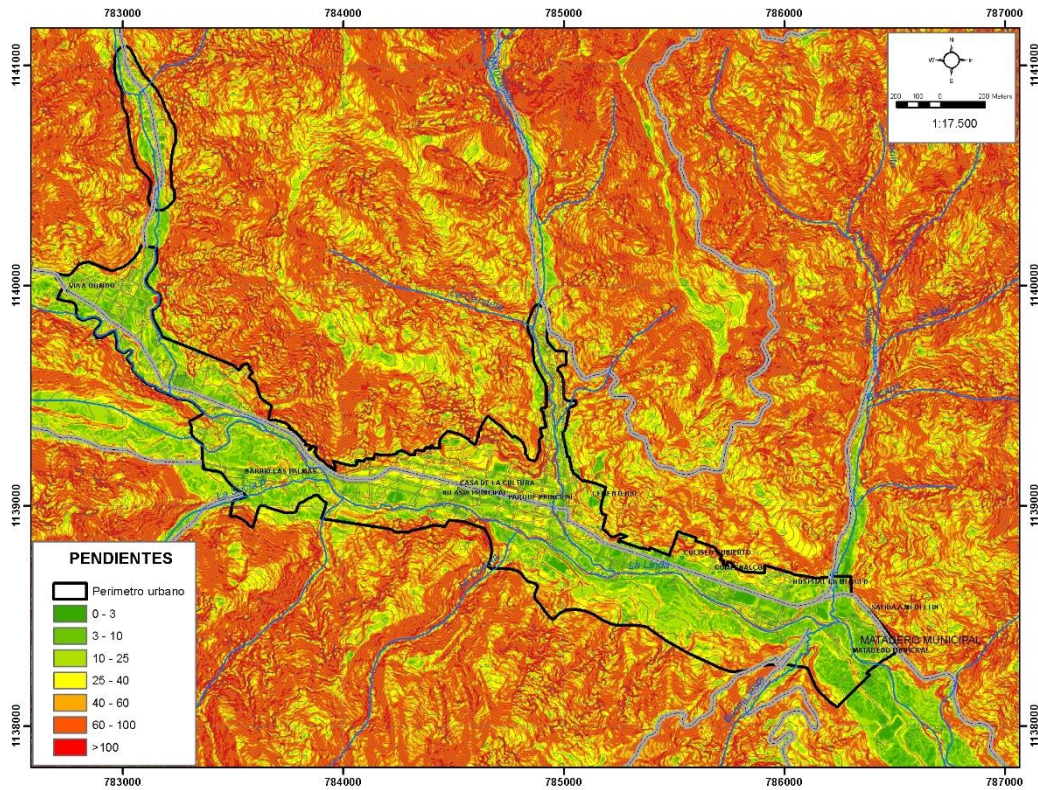


Figura 26. Mapa de variable pendientes para el suelo urbano del Municipio de Ciudad Bolívar.

Tabla 50. Distribución de la variable pendientes para la cabecera urbana del Municipio de Ciudad Bolívar

Rango pendiente	Total Área (ha)	Porcentaje (%)
0 - 3%	4.62	2.58
3 - 10%	40.90	22.86
10 - 25%	87.72	49.03
25 - 40%	30.16	16.86
40 - 60%	11.10	6.20
60 - 100%	4.37	2.44
>100%	0.04	0.02

Rango de pendientes 0 – 10% (muy suave – suave): Representa el 25.44% del total de la cabecera urbana y se localiza principalmente hacia la zona conformada por depósitos de tipo aluvial y aluvio - torrenciales asociados a la quebrada La Linda y sus principales tributarios como las quebradas Los Monos, Cantarrana, La Sucia y Manzanillo. Este rango de pendientes igualmente se relaciona con las zonas que han sido modificadas antrópicamente mediante la realización de explanaciones para la adecuación urbanística.

Rango de pendientes 10 – 25% (inclinada): Corresponde al rango de mayor distribución por lo que ocupa el 49.03% del total de la cabecera y se asocia principalmente a todas las laderas suavizadas por la acumulación de depósitos de vertiente y algunas de las zonas conformados por depósitos aluvio – torrenciales. Se destaca que sobre este rango de pendientes se asienta la mayor parte de la zona urbanizada.

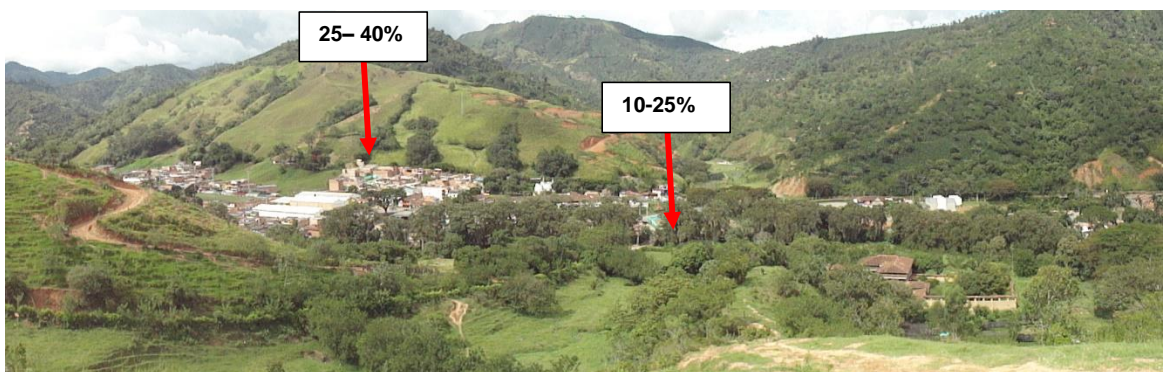


Foto 83. Características morfométricas asociadas a la zona urbana

Rango de pendientes 25 – 40% (muy inclinada): Representan el 16.86% del total de la cabecera y se localiza de forma dispersa, asociado a las laderas que definen los sistemas de sierras y espolones que bordean la cabecera urbana.

Rango de pendientes >40 % (Abrupta a escarpada): Corresponde a un rango de pendientes poco distribuido ocupando el 8.67% del total de la zona de estudio, y se encuentra relacionado con el rango de pendientes anterior asociado a los sistemas de espolones festoneados, faceteados y sierras y lomos de presión que bordean la cabecera.



Foto 84. Zona con rangos de pendientes entre 25-40% y superiores al 40%.

5.4 PROCESOS MORFODINÁMICOS

La cabecera urbana del Municipio de Ciudad Bolívar por sus características geológicas, topográficas e hidrológicas presenta una moderada susceptibilidad ante la ocurrencia de procesos morfodinámicos, sin embargo se identifica una baja densidad de ellos, donde los procesos identificados corresponden principalmente a procesos de intervención antrópica realizados para la conformación de espacios urbanizables, además de algunos movimientos en masa actualmente estabilizados y procesos de socavación de orillas sobre el cauce de la quebrada La Linda.

A continuación se describen los principales procesos identificados en la cabecera urbana:

Movimientos en masa: Dentro de la cabecera urbana son poco los movimientos en masa identificados, todos ellos inactivos, siendo más predominantes hacia las unidades geomorfológicas de mayor pendiente correspondiente a las diferentes laderas que definen los sistemas de espolones y sierras predominantes en la zona evaluada.

A continuación se describen las principales características de los procesos identificados en la zona:

Barrios San Vicente y Verdum (en la base del cerro de la cruz y de la zona donde se localiza el cementerio): Asociado a las formas geomorfológicas de laderas largas irregulares de pendientes muy inclinadas y abruptas, se identifican pequeños deslizamientos de tipo traslacional o planar, poco profundos, asociados a la realización de cortes para el establecimiento de viviendas o la apertura de vías de acceso. Se destaca que estos procesos se encuentran activos y en el caso del localizado sobre la vertiente donde se localiza el cementerio ha sido intervenido por medio de procesos de revegetalización y conformación de terracedos.



Foto 85. Movimientos en masa identificados en los barrios San Vicente y Verdum.

Socavación lateral de orillas: Se presenta esencialmente en las orillas de la quebrada La Linda debido a la dinámica y evolución de éstas y a los procesos de intervención antrópica, además de las condiciones estratigráficas que conforman el perfil de suelos. Asociado a este tipo de proceso, es común la presencia de movimientos en masa y pequeños desprendimientos generados por pérdida del soporte lateral de las laderas de dicha quebrada. Este tipo de proceso se acentúa en las curvas externas, donde la erosión lateral socava la base de la ladera. Este proceso se ve favorecido por la presencia de limos y arenas, materiales de baja cohesión y bajo grado de consolidación, susceptibles a la erosión causada por la corriente, especialmente durante las crecientes. A continuación se describen algunos de los sectores críticos asociados a este tipo de evento:

- En el barrio Chapinero asociado a la margen norte de la quebrada La Linda se identifica un proceso de socavación que afecta un tramo aproximado de 50m, generado deterioro en algunas de las estructuras correspondientes a un parque recreativo localizado en dicho sector. Se destaca que asociada a esta

zona se identifican algunos movimientos en masa generados por pérdida de soporte lateral.



Foto 86. Proceso de socavación en el barrio Chapinero

- En el barrio Centro frente a la institución Educativa San José del Citará igualmente se identifica un procesos de socavación que afecta una estructura de contención localizada sobre la margen sur de la quebrada La Linda. En este sector el tramos afectado es de aproximadamente 60m.



Foto 87. Proceso de socavación frente a institución educativa San José de Citará

Erosión superficial: Este tipo de proceso se identifica principalmente en el barrio Chapinero asociado a la unidad geomorfológica de ladera corta convexa y abrupta, donde asociado a las zonas de mayor pendientes y que han sido sometidas a cambios en el uso del suelo se presentan zonas desprovistas de vegetación afectadas por este tipo de procesos.



Foto 88. Proceso de erosión superficial en las laderas que bordean la cabecera.

Procesos de intervención antrópica: Además de los procesos anteriormente mencionados, a lo largo de la cabecera urbana, son común los procesos de intervención antrópica que generan afectaciones sobre las condiciones naturales del paisaje, la mayor parte de ellas asociadas al componente hídrico, entre las que se destacan:

- Ocupación de cauces: Este corresponde al proceso de mayor recurrencia y comprende la ocupación con viviendas e infraestructuras de los cauces de todas las corrientes que drenan la cabecera urbana, algunas de ellas localizadas en zonas donde es recurrente los eventos de inundación. Estos procesos de intervención generan estrangulamiento de dichas corrientes.



Foto 89. Ocupación del cauce de la quebrada La Linda con viviendas.

- Vertimiento de aguas residuales sobre el cauce de las quebradas sin ningún tipo de control, algunas veces generado incipientes procesos de socavación.
- Conformación de zonas de botaderos en las zonas aledañas a los cauces de las quebradas.



Foto 90. Puntos de vertimientos en la quebrada La Linda.

5.5 ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR MOVIMIENTOS EN MASA

En el suelo urbano para el análisis de amenazas fue utilizado el método explícito analítico jerárquico, puesto que el empleo de métodos estadísticos no reflejaría las restricciones reales del territorio, debido a la ausencia de movimientos en masa en la mayor parte del suelo urbano del municipio; por lo anterior no se reflejarían las restricciones en los procesos de ocupación, que en últimas es el objeto de este tipo de estudios orientados a la planificación del territorio.

Inicialmente, se realizó la evaluación de la susceptibilidad, empleando los factores condicionantes: formaciones superficiales, geomorfología y pendientes. Estos factores a su interior fueron valorados, asignando pesos de 1 a 9 a cada una de las diferentes categorías, siendo 9 el valor que favorece los movimientos en masa y 1 el que menos los favorece (se asignan solo valores impares, 1, 3, 5, 7 y 9).

Una vez calificadas las variables al interior de cada factor, se procedió por medio del grupo de expertos (geólogos) a calificar la importancia del factor, esto en función de la calidad de la información y de su importancia en la generación de movimientos en masa, arrojando que la geomorfología (40%) y las pendientes (40%) son los factores de mayor peso y las formaciones superficiales (20%).

En ese orden de ideas, la expresión utilizada para la evaluación de la susceptibilidad urbana fue la siguiente:

$$S_{MM} = \sum_i^n F_j * V_i$$

Donde,

F_j es la ponderación del factor (geomorfología (40%), pendientes (40%), formaciones superficiales (20%).).

V_i es el valor asignado a la variable el cual oscila entre 1 y 9.

Una vez evaluada la susceptibilidad, se ponderó la amenaza e integrando además de la susceptibilidad los factores detonantes lluvia y sismo.

En el caso de la lluvia, fue utilizado el periodo de retorno $Tr=50$ años, que fue el que mejor representatividad lograba de las condiciones observadas en campo en especial en el suelo rural, donde se observó una mayor densidad de movimientos. Se destaca que el detonante sísmico para el suelo urbano exhibe valores constantes de aceleración horizontal altos en el rango entre 200 – 300 PGA. Debido a que dicho detonante no exhibe variabilidad dentro de la cabecera, este no es empleado dentro del modelo final.

La ponderación utilizada para la obtención del mapa de amenazas fue la siguiente:

$$AMM = \sum_i^n F_j * V_i$$

Donde,

F_j es la ponderación del factor (Susceptibilidad (80%), detonante lluvia (20%))

V_i es el valor obtenido a la variable el cual oscila entre 1 y 9.

Una vez realizados estos cruces, el resultado presenta valores entre 1 y 9, los cuales fueron reclasificados en amenaza baja (valores de 1 a 5), media (5 a 7) y alta (7 a 9).

El consolidado de las áreas involucradas en cada categoría se presenta en la siguiente tabla y se muestra gráficamente en la figura 27.

Tabla 51. Amenaza por movimientos en masa en la cabecera municipal de Ciudad Bolívar

Categoría	Total área (ha)	Porcentaje (%)
Alta	0.97	0.54
Media	55.70	31.15

Categoría	Total área (ha)	Porcentaje (%)
Baja	122.14	68.31

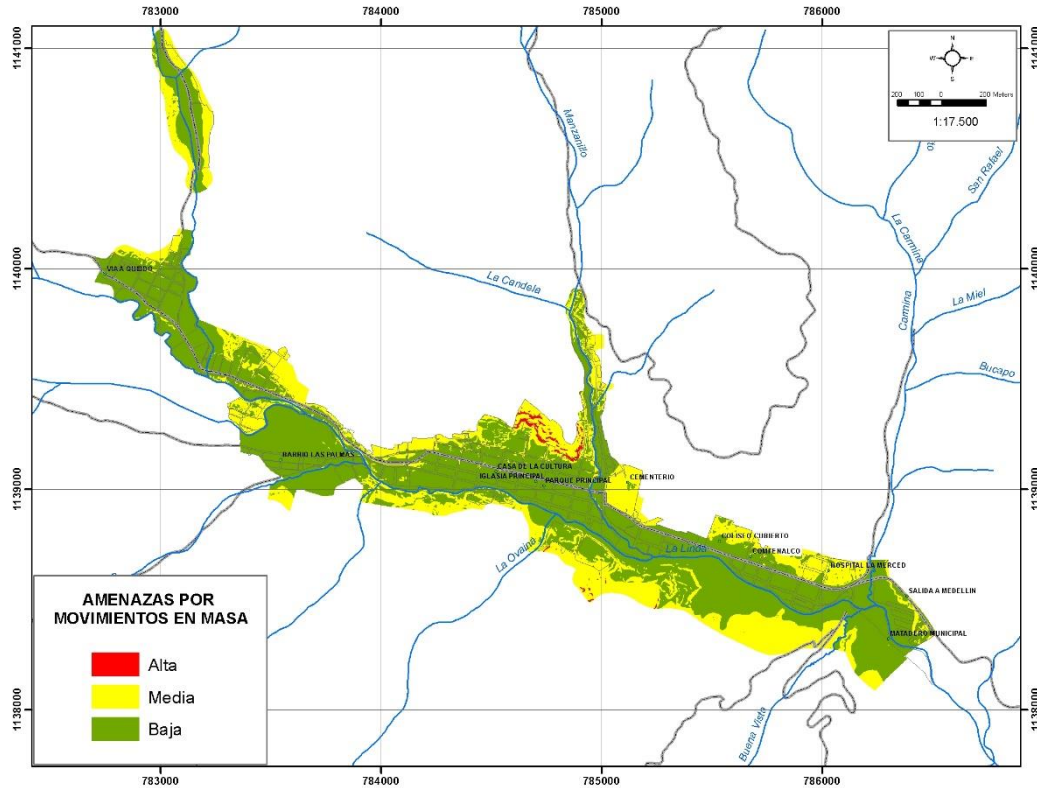


Figura 27. Mapa de amenaza por movimientos en masa de la cabecera municipal de Ciudad Bolívar.

5.5.1 Amenaza Alta

Corresponde al rango de menor distribución, correspondiente al 0.54% del total del área de estudio, y este se distribuye principalmente hacia las ladera larga irregular y abrupta que define el sector donde se localiza el cerro de Cristo, al norte del barrio Centro.

Esta categoría de amenaza es igualmente el resultado de la interacción de zonas con susceptibilidad media y alta con el detonante lluvia, que es constante para toda la cabecera municipal.

5.5.2 Amenaza Media

Presenta un rango de distribución moderado dentro de la cabecera urbana del Municipio, representando el 31.15% del total del área de ésta. Su distribución se

encuentra ampliamente ligada con las unidades geomorfológicas de mayor índice de relieve relativo y pendiente como son los diferentes tipos de laderas que definen los espolones festoneados, facetados y sierras y limos de presión, desarrollados sobre saprolitos y suelos residuales del Miembro Urrao de la Formación Penderisco. Asociado a estas zonas se identifican en baja proporción pequeños deslizamientos con características planares, además de procesos erosivos como erosión superficial.

Dentro de la cabecera urbana, estas zonas de amenaza media se localizan hacia los bordes de la cabecera, abarcando el costado norte del barrio La Cabaña, la zona central del barrio Pio XII, al norte del barrio Chapinero, La Cumbre y Obrero; en el norte de los barrios Centro y Verdum, en la zona aledaña al cerro del Cristo; al norte del barrio San Vicente y La Floresta, todo estos sobre la margen norte de la quebrada La Linda. Sobre la margen sur, las zonas de amenaza media se distribuyen hacia el sur de los barrios Calle 6, Arenales, Manuelita y Centro. Se destaca que la mayor parte de estas zonas no se encuentran ocupadas con viviendas.

Esta categoría de amenaza es igualmente el resultado de la interacción de zonas con susceptibilidad media y alta con el detonante lluvia, que es constante para toda la cabecera municipal.

5.5.3 Amenaza Baja

Corresponde al rango de mayor predominio dentro de la cabecera urbana, ocupando el 68.31% del total del área de estudio, por lo que se extiende a lo largo de toda la zona, con un mayor predominio hacia la zona central de la mayor parte de los barrios que conforman la zona urbana, de forma paralela a la quebrada La Linda y sus principales tributarios.

Desde el punto de vista geomorfológico se asocia a las unidades de tipo aluvio - torrencial asociadas a la dinámica de la quebrada La Linda y sus principales tributarios, además de las laderas que exhiben pendientes predominantemente inclinadas o que han sido suavizadas por la acumulación de depósitos de vertiente. Asociado a estas zonas no se identifican procesos morfodinámicos que condicionen la estabilidad de la zona.

En esta categoría se reportan valores de susceptibilidad baja con detonante lluvia constante para toda el área urbana.

5.6 AMENAZA POR INUNDACIONES

5.6.1 Hidrología

Con el fin de identificar las corrientes potencialmente susceptibles a avenidas torrenciales o inundaciones lentas en el municipio de Ciudad Bolívar y el centro poblado San Bernardo de los Farallones, se propone realizar un estudio hidrológico con el fin de conocer posible afectaciones a la zona urbana donde muchas de estas corrientes confluyen.

Las principales corrientes que atraviesan el municipio de Ciudad Bolívar y el centro poblado San Bernardo de los Farallones, se presentan en las figuras 28 y 29, respectivamente.

A lo largo del recorrido realizado a través de Ciudad Bolívar se identificaron las principales corrientes que atraviesan el municipio, y se realizó una inspección ocular de las quebradas: La Linda como eje estructurante del municipio, Carmina, Manzanillo, La Sucia, Bolívar Arriba y Los Monos, además de tres (3) corrientes que entregan sobre la margen derecha de la quebrada La Linda (La Nieve, La Ovaina y Buena Vista), las cuales se encuentran por fuera del perímetro urbano del municipio, y por dicha razón no serán descritas en el presente documento (ver Figura 28).

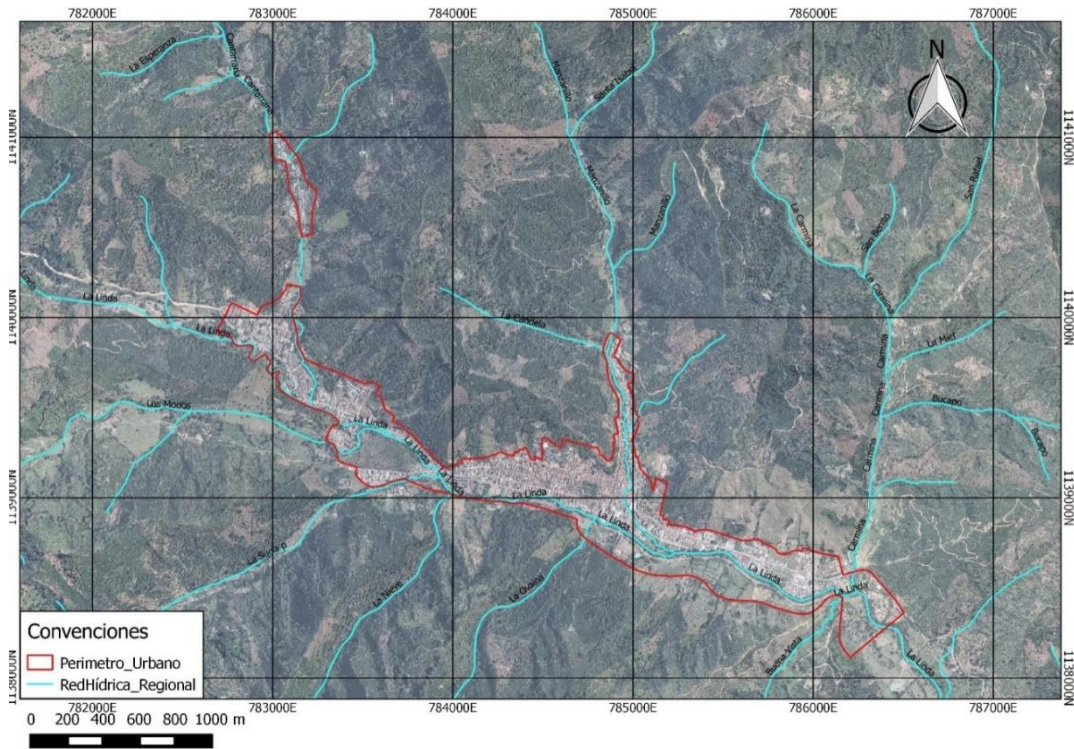


Figura 28. Corrientes que discurren a través del municipio Ciudad Bolívar.

Para el caso del centro poblado San Bernardo de los Farallones, se identificaron dos (2) corrientes que a pesar de encontrarse por fuera del perímetro urbano, son susceptibles de generar afectación a la población, siendo estas las quebradas La Cascada y San Pedro (Figura 29).

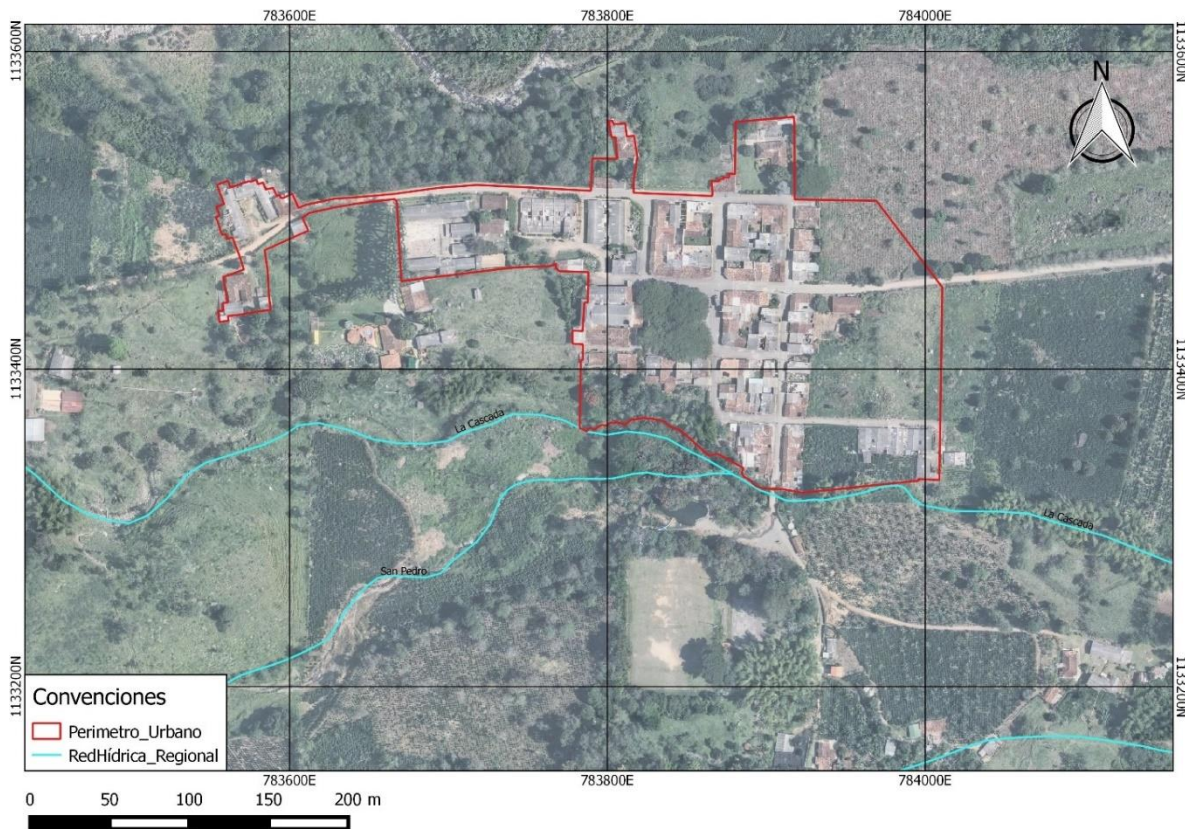


Figura 29. Corrientes que discurren a través de San Bernardo de los Farallones.

El estudio hidrológico tiene por objeto la estimación de los caudales máximos instantáneos asociados a los periodos de retorno correspondientes a 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años de los afluentes a la quebrada La Linda: Los Monos, Bolívar Arriba, Manzanillo, Carmina y la quebrada La Linda hasta el punto de control definido, el cual se encuentra localizado en las coordenadas 786400 E - 1138300N, origen Magna Colombia Bogotá.

Para el caso de San Bernardo de los Farallones se realiza la estimación de dichos caudales de los afluentes La Cascada, San Pedro y el punto de control ubicado aguas abajo de la confluencia, el cual encuentra localizado en las coordenadas 783990 E – 1133323 N.

Debido a que en la mayoría de nuestras cuencas no se dispone de información hidrológica que permita estimar caudales máximos a partir de un análisis de frecuencia de los registros históricos, se hace necesario utilizar modelos Lluvia-Escorrentía como lo son las Hidrógrafas Unitarias y el método Racional, para la estimación de los caudales de diseño.

En el caso de las hidrógrafas unitarias es importante anotar que dichas metodologías son aplicables a cuencas con tamaños mayores a 1 mi²; por consiguiente, cuencas que no cumplen con estos requisitos pueden ser evaluadas a partir del método Racional, donde las hipótesis de saturación de la cuenca para periodos de retorno pequeños son aplicables.

La estimación de los caudales máximos se debe hacer con mucho cuidado ya que una mala interpretación o utilización de los mismos puede reflejarse en sobredimensionamientos o subestimación de las obras. Las bases teóricas de los modelos lluvia-escorrentía fueron desarrolladas para condiciones hidrológicas y geológicas diferentes a las existentes en el trópico, por tal razón, muchas veces los resultados obtenidos se alejan del fenómeno físico real y en otros casos pueden invalidar los resultados obtenidos. La metodología consiste en procesar la información disponible en la zona en cuanto a la cartografía, delimitar la cuenca, y determinar los principales parámetros morfométricos que sirven para determinar el tiempo de concentración. Con base en la estación de lluvia más cercana a la cuenca, se determinan las diferentes intensidades de la lluvia y con ellas, los caudales de diseño.

5.6.1.1 Cálculo de Caudales Máximos

5.6.1.1.1 Información Disponible

5.6.1.1.2 Precipitación

Como información de precipitación, se utilizó la estación pluviográfica Las Mercedes (Código 26190190), por ser la más cercana a las cuencas de interés. La tabla 52 presenta las características principales de la estación utilizada.

Tabla 52. Características principales de la estación pluviográfica Las Mercedes.

Nombre	Código	Elevación [msnm]	(*) Coordenadas		Inicio
			Este [m]	Norte [m]	
Las Mercedes	26190190	2100	783383	1144559	01/1985

* Magna Sirgas, Origen Bogotá

5.6.1.2 Procesamiento del modelo del terreno y morfometría

Con base en el modelo digital de terreno (MDT) de Ciudad Bolívar, se delimitaron las cuencas de estudio (Los Monos, Bolívar Arriba, Manzanillo, Carmina y el punto de control) con una resolución (tamaño de píxel) de 2 m. Esto se realiza, utilizando los programas HydroSIG y Global Mapper en los cuales se generan además las subcuencas y la hidrografía del sitio.

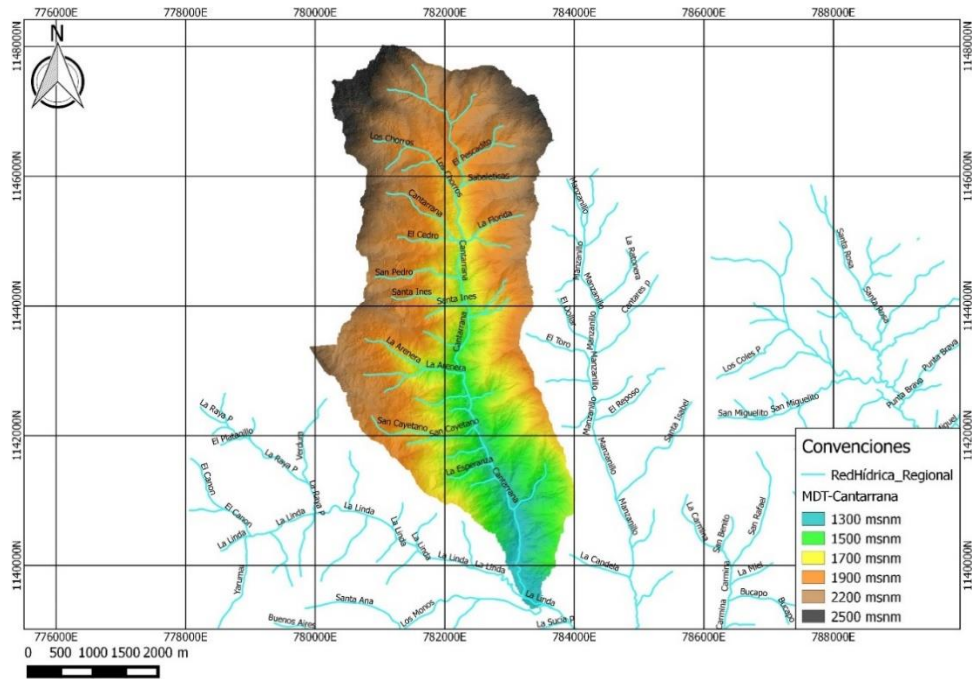


Figura 31. Modelo digital del terreno de la quebrada Bolívar Arriba

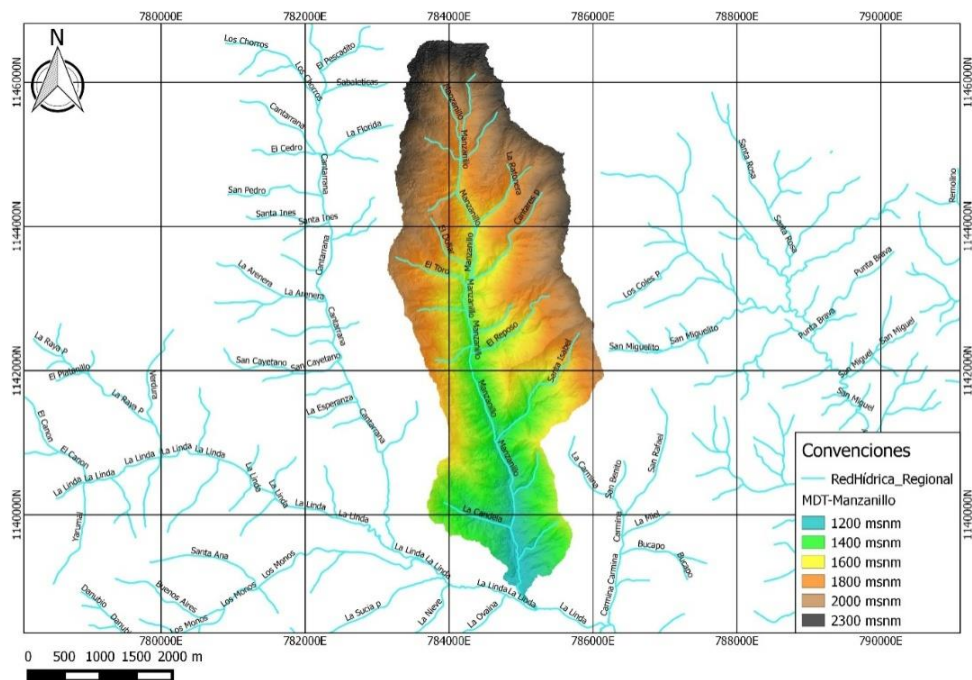


Figura 32. Modelo digital del terreno de la quebrada Manzanillo.

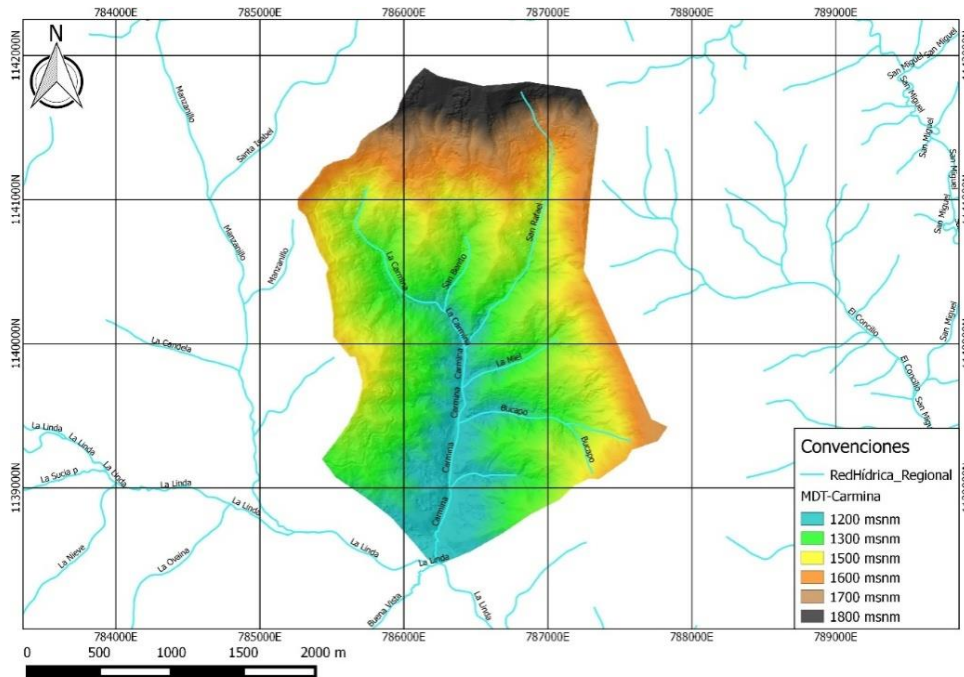


Figura 33. Modelo digital del terreno de la quebrada Carmina.

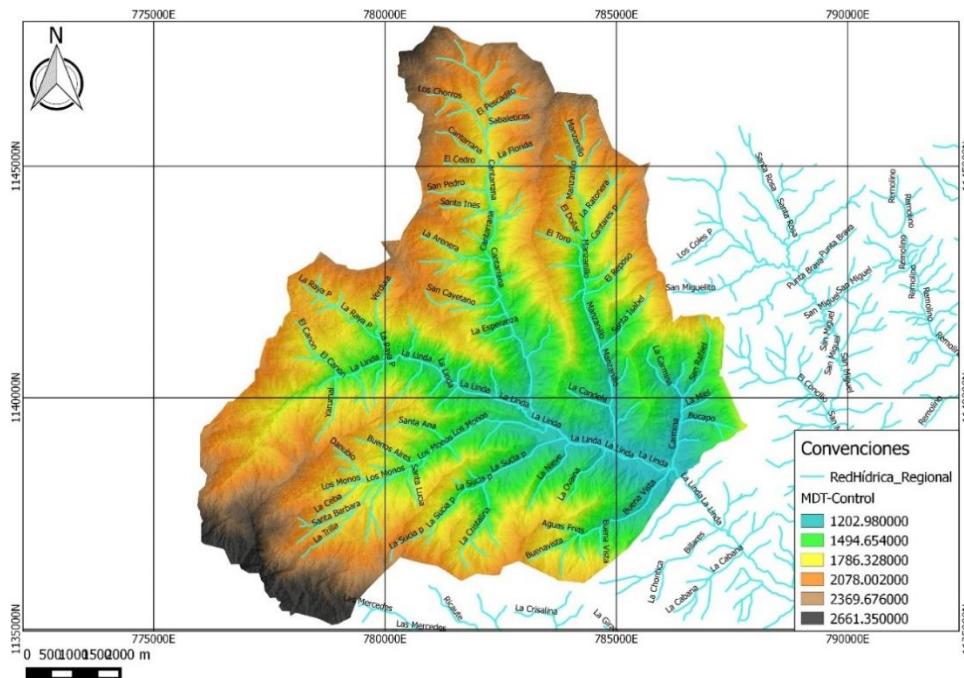


Figura 34. Modelo digital del terreno de la quebrada La Linda en el punto de control.

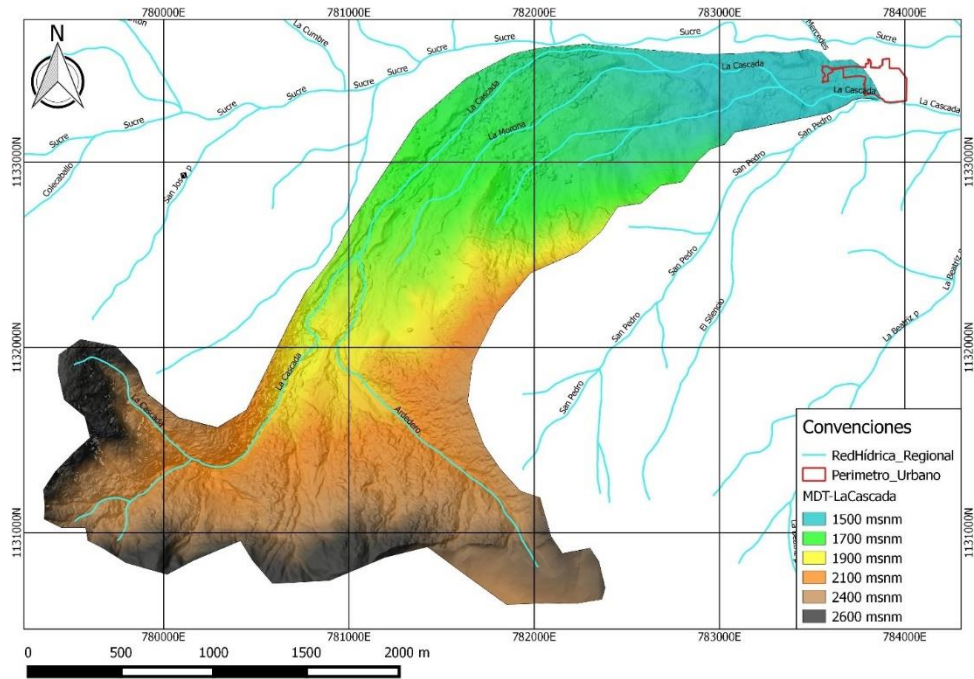


Figura 35. Modelo digital del terreno de la quebrada La Cascada.

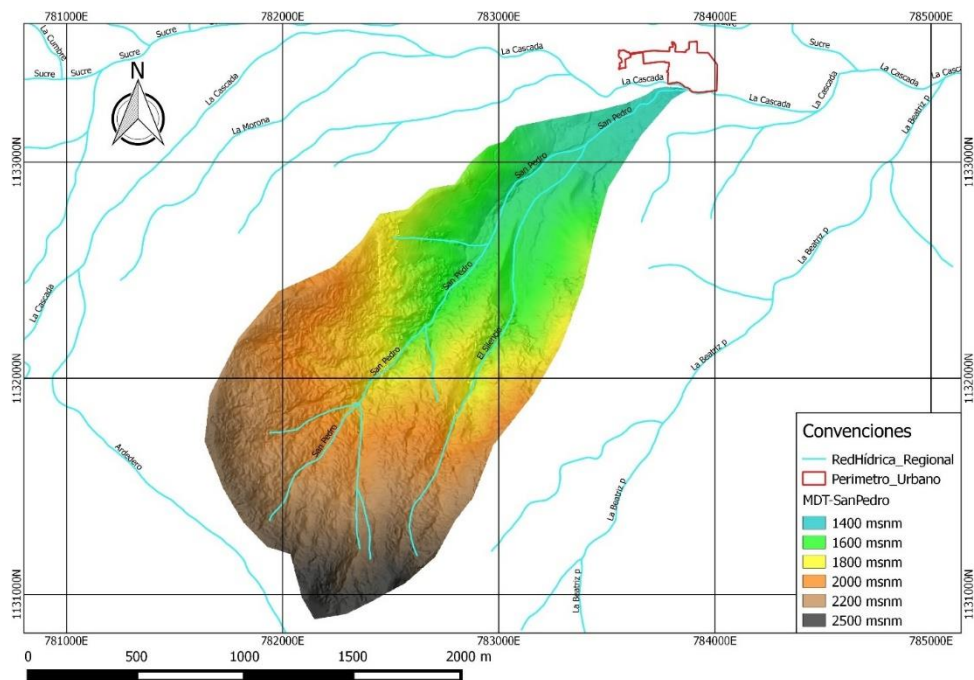


Figura 36. Modelo digital del terreno de la quebrada San Pedro.

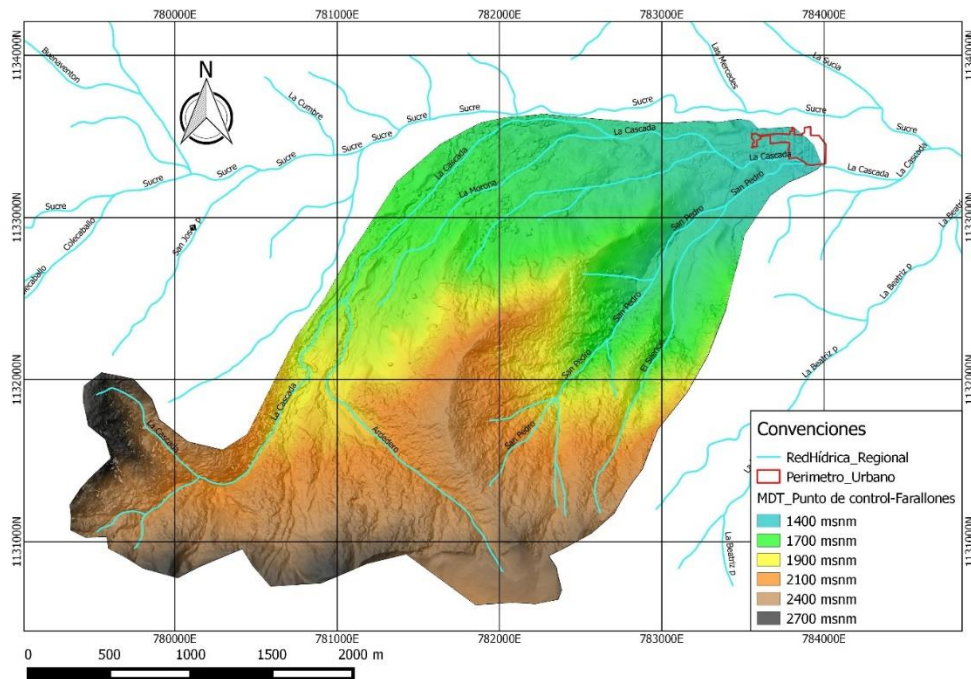


Figura 37. Modelo digital del terreno de la Cuenca Farallones.

Una vez delimitada la cuenca, se calcularon los parámetros morfométricos necesarios para realizar la evaluación hidrológica; estos son necesarios para determinar el tiempo de concentración de la cuenca (tiempo que se demora una gota ideal de agua en viajar desde el punto más alejado de la cuenca hasta el punto de control definido) y para la estimación de las hidrógrafas unitarias obtenidas por los métodos que más adelante se explican. La tabla 53 presenta de manera resumida los parámetros morfométricos obtenidos para la cuenca de estudio.

Tabla 53. Parámetros morfométricos para las diferentes cuencas de estudio.

Parámetros morfométricos	Unidad	Q. Los Monos	Q. Bolívar Arriba	Q. Manzanillo	Q. Carmina	Punto de control - Q. La Linda	Q. La Cascada	Q. San Pedro	Punto de control – Cuenca Farallones
Área de la Cuenca	(km ²)	13.76	19.96	13.92	5.30	88.63	5.20	2.50	7.73
Perímetro de la Cuenca	(km)	22.69	27.29	23.42	10.84	45.20	14.77	7.16	13.77
Cota superior Cuenca	(m)	2908.22	2493.92	2295.98	1850.13	2661.35	2820.04	2580.62	2820.04
Cota Superior Cauce	(m)	2584.44	2134.13	1978.65	1568.94	2584.44	2760.67	2417.18	2760.67
Cota Inferior Cauce	(m)	1327.33	1319.37	1224.11	1141.05	1202.98	1413.04	1413.04	1405.17
Longitud de la Cuenca en línea recta	(km)	7.47	8.71	7.94	3.42	10.97	5.05	3.00	5.14
Longitud del Cauce principal	(km)	8.80	10.18	8.34	3.73	13.89	6.21	2.96	6.31
Longitud desde el final del cauce a la divisoria	(km)	0.70	0.78	0.73	0.45	0.78	0.10	0.38	0.10
Longitud total de la Cuenca sobre el cauce	(km)	9.50	10.96	9.07	4.18	14.67	6.31	3.34	6.41
Pendiente media de la Cuenca	(%)	16.64	10.72	11.82	16.96	9.94	22.30	34.96	22.07
Pendiente media del Cauce	(%)	14.28	8.00	9.05	11.47	9.95	21.70	33.92	21.48
(*) Coordenadas del punto de control		834330 E	783215E	785233E	786250E	7864110E	783878 E	783878 E	783982 E
		1172490 N	1139500N	1138690N	1138470N	1138282N	1133333 N	1133333 N	1133327 N

* Magna Sirgas, Origen Bogota

5.6.1.3 Información Básica

5.6.1.3.1 Tiempo de concentración

Al revisar los resultados obtenidos con todas las metodologías para el cálculo de los tiempos de concentración, se tiene que algunos valores se alejan considerablemente de la moda. Por esta razón se descartaron los valores más altos calculados con los métodos de Johnstone & Cross, y Campo & Múnera; y el valor más bajo como el obtenido con Pérez Monteagudo. Ahora, promediando los demás valores, se obtiene un tiempo de concentración, el cual se adopta como el tiempo de concentración para cada una de las cuencas de estudio.

En las siguientes figuras se presentan los tiempos de concentración obtenidos con cada una de las metodologías mencionadas anteriormente, así como el tiempo de concentración adoptado para la quebrada Los Monos (Figura 38a), río Bolívar arriba (Figura 38b), Manzanillo (Figura 39a), Carmina (Figura 39b), quebrada La Linda (Figura 40). Para el caso de San Bernardo de los Farallones se presentan los tiempos de concentración para la quebrada La Cascada en la Figura 41a, para la quebrada San Pedro en la Figura 41b.

De igual forma, los resultados obtenidos al aplicar las metodologías se encuentran consignados en la tabla 54.

Tabla 54. Tiempos de concentración estimados para la cuenca Las cuencas de análisis.

Método	Q. Los Monos		Q. Bolívar Arriba		Q. Manzanillo		Q. Carmina		Punto de control - Q. La Linda		Q. La Cascada		Q. San Pedro		Punto de control - Cuenca Farallones	
	Hora	Min	Hora	Min	Hora	Min	Hora	Min	Hora	Min	Hora	Min	Hora	Min	Hora	Min
Témez (1978)	0.93	56	1.16	69	0.97	58	0.51	31	1.40	84	0.66	40	0.93	56	0.67	40
Kirpich & U.S.B.R (1990)	0.81	49	1.13	68	0.94	56	0.48	29	1.30	78	0.49	30	0.81	49	0.50	30
Ventura Heras	1.28	77	1.96	118	1.61	97	0.88	53	3.88	233	0.64	38	0.54	33	0.78	47
Passini	1.70	102	2.65	159	2.11	127	1.04	62	4.42	265	0.89	53	0.96	58	1.02	61
Johnstone - Cross (1949)	2.06	124	2.62	157	2.39	143	1.48	89	2.74	164	1.53	92	2.06	124	1.55	93
California Culverts Practice	0.75	45	1.05	63	0.86	51	0.42	25	1.22	73	0.49	29	0.75	45	0.50	30
Giandiotti (1990)	1.03	62	1.44	87	1.30	78	0.95	57	2.02	121	0.63	38	0.72	43	0.70	42
Scs - Ramser	0.82	49	1.14	68	0.94	57	0.48	29	1.30	78	0.50	30	0.82	49	0.50	30
Bransby-Williams (1)	1.49	89	2.05	123	1.62	97	0.74	45	2.18	131	1.02	61	1.77	106	1.00	60
Perez Monteagudo (1985)	0.39	24	0.64	39	0.49	29	0.19	11	0.77	46	0.22	13	0.39	24	0.22	13
Campo y Munera (1997)	2.43	146	3.03	182	2.75	165	1.95	117	4.86	292	1.41	85	1.42	85	1.61	97
Promedio	1.24	75	1.72	103	1.45	87	0.83	50	2.37	142	0.77	46	1.02	61	0.82	49
Adoptado	1.10	66	1.42	85	1.29	78	0.69	41	1.74	104	0.67	40	0.87	52	0.71	43

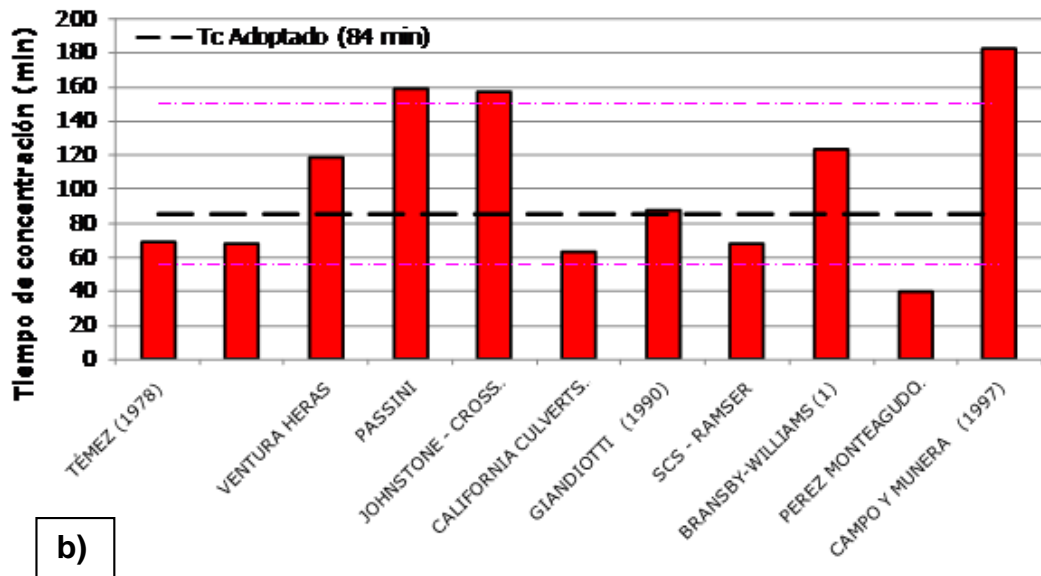
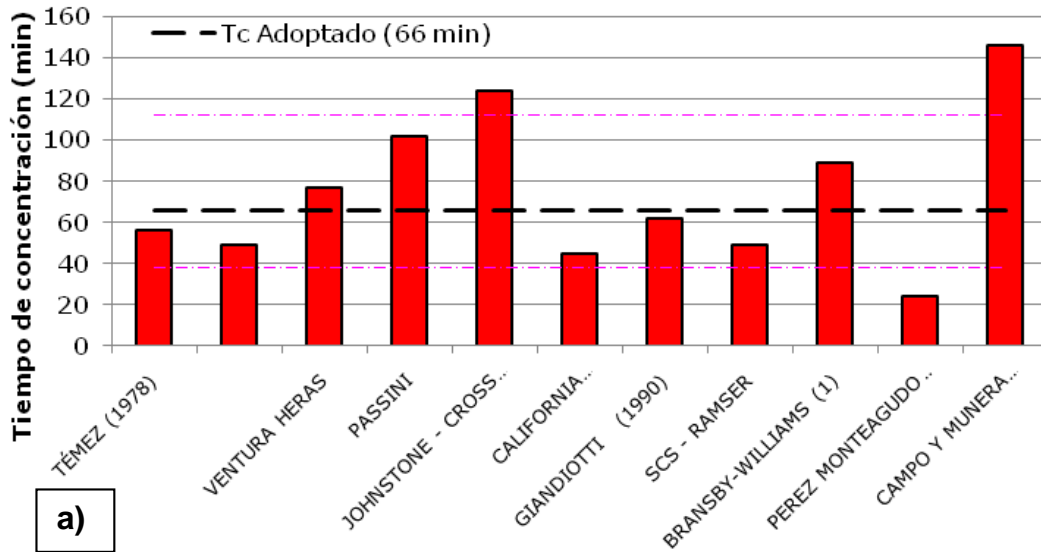
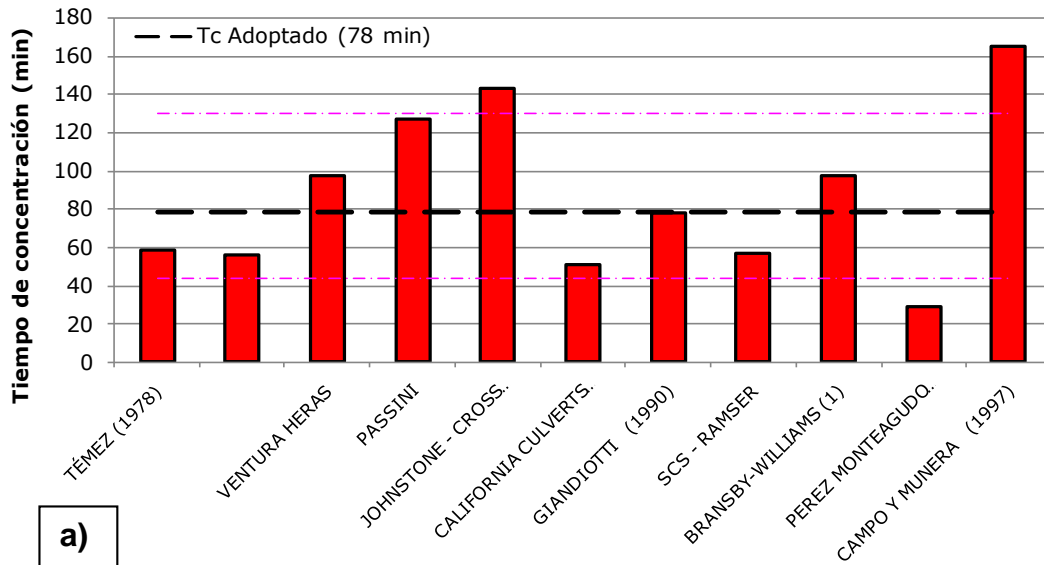
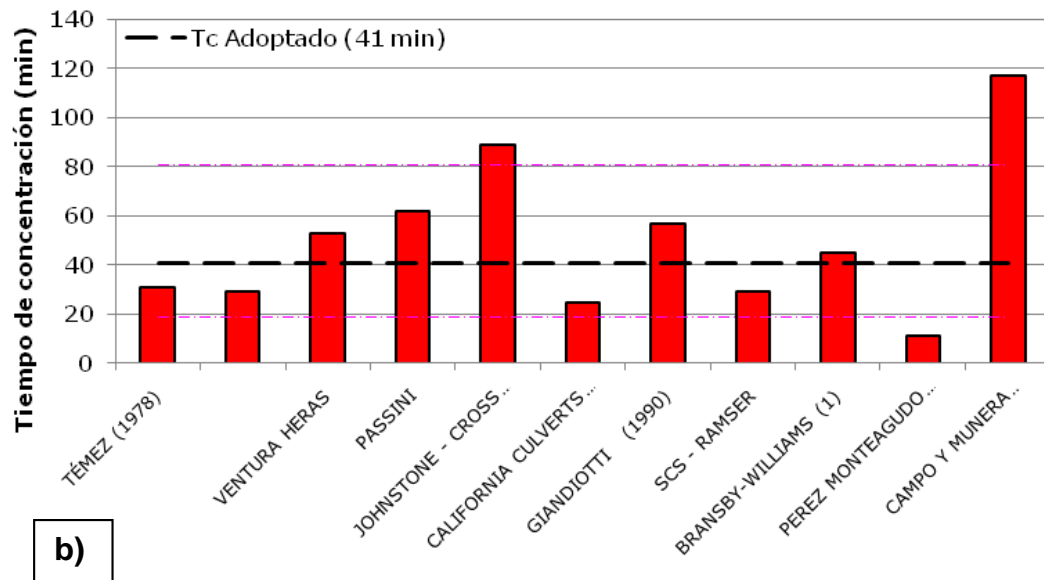


Figura 38. Tiempos de concentración: a) Quebrada Los Monos y b) Río Bolívar Arriba

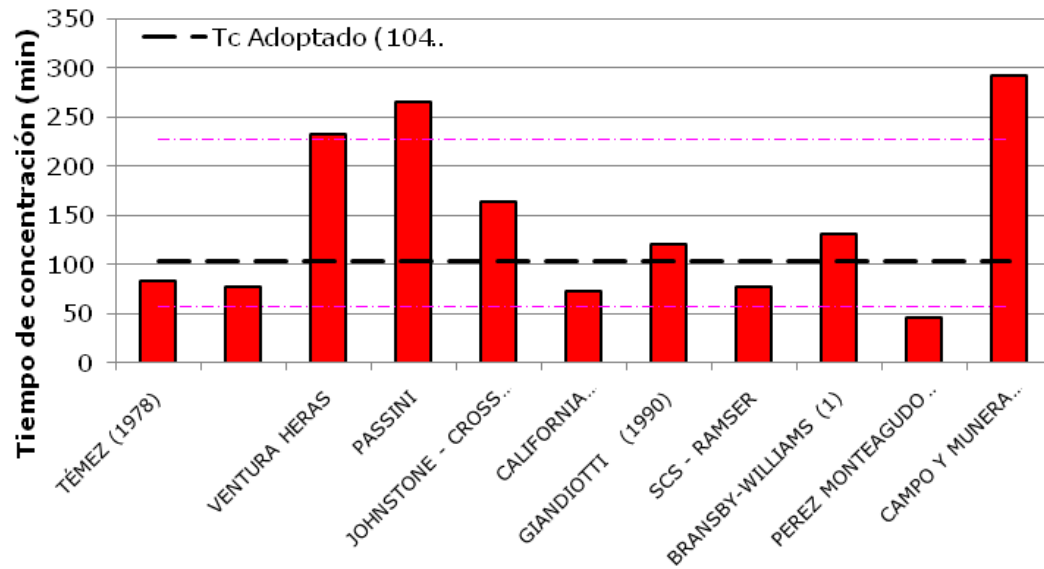


a)



b)

Figura 39. Tiempos de concentración: a) Quebrada Manzanillo y b) Quebrada Carmina



ra 40. Tiempos de concentración en la Quebrada La Linda

Figura

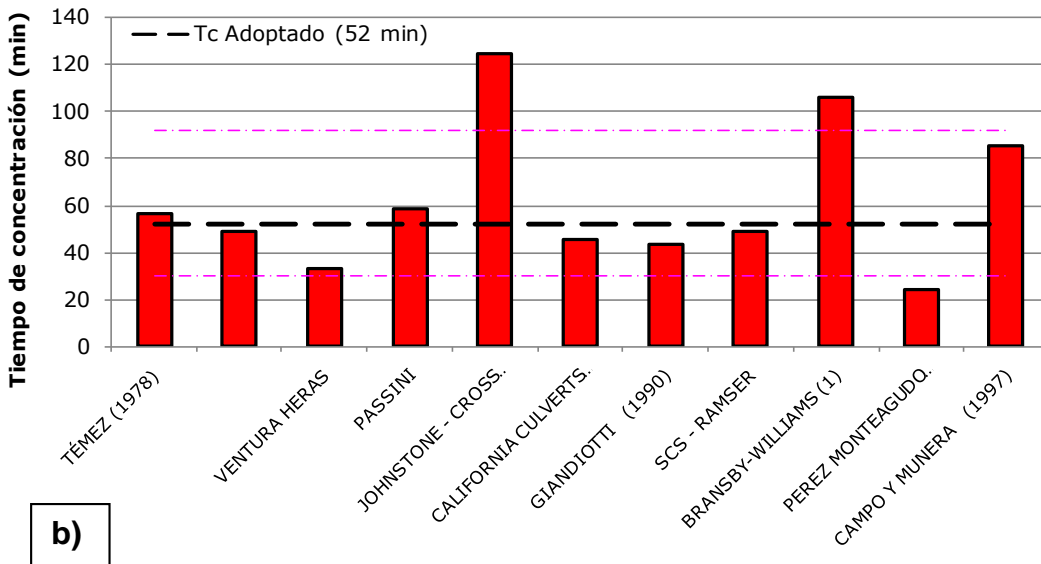
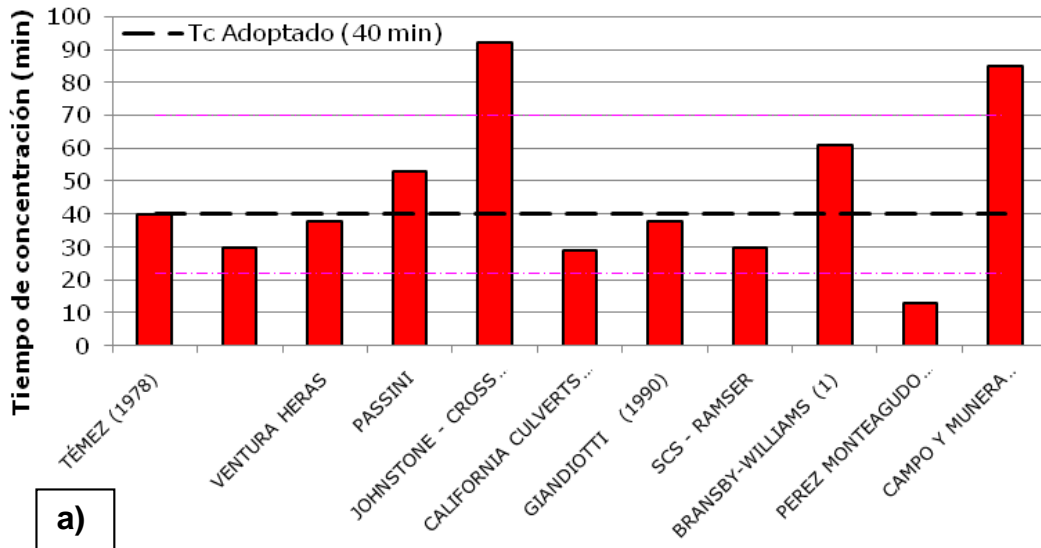


Figura 41. Tiempos de concentración: a) Quebrada La Cascada y b) Quebrada San Pedro

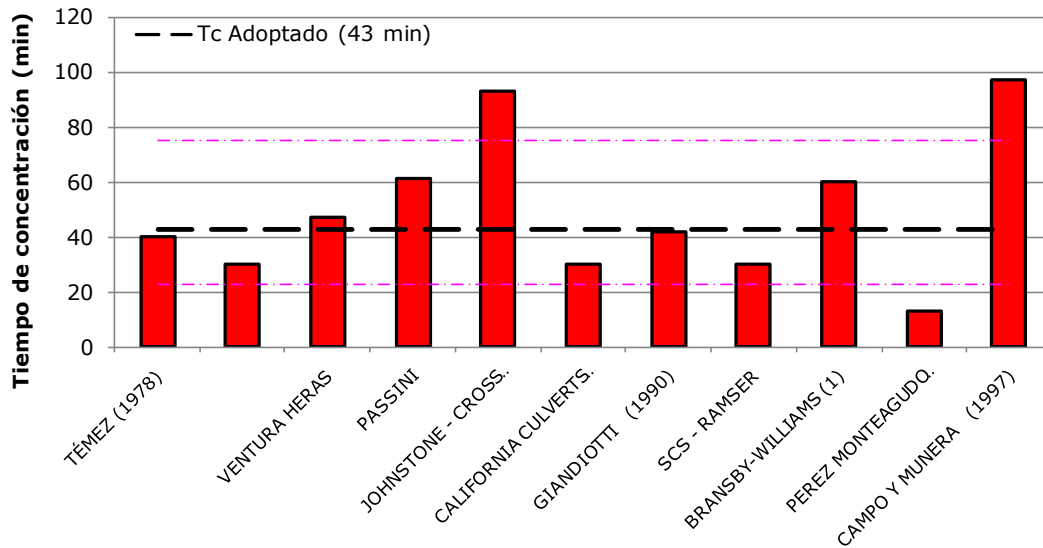


Figura 42. Tiempos de concentración en la Cuenca Farallones

5.6.1.4 Intensidad de diseño y magnitud de la precipitación para los diferentes periodos de retorno

Para determinar la intensidad de la 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 diferentes períodos de retorno. Es por esta razón que se utiliza la información de la estación Las Mercedes por ser la más cercana a la cuenca en estudio. La figura 43 presenta las curvas IDF asociadas a diferentes periodos de retorno y sus respectivos parámetros.

Las curvas Intensidad-Frecuencia-Duración se ajustan a una ecuación de la forma:

$$i = \frac{kT_R^m}{(c + d)^n}$$

Donde:

K, m, c, n : Parámetros

I : Intensidad

T_R : Periodo de retorno en años

d : Duración en minutos

Este método, relaciona simultáneamente las tres variables.

Los parámetros para la construcción de la curva IDF de la estación Las Mercedes se obtuvieron por el método de máximas anuales, la cual toma la tormenta máxima por cada año de registro.

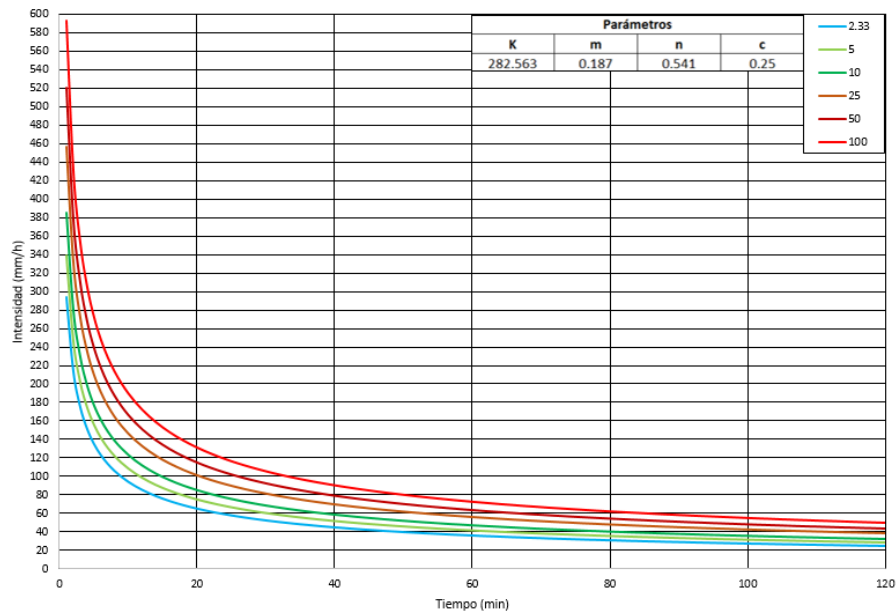


Figura 43. Curvas IDF para la estación Las Mercedes.

El uso de las curvas IDF permitirá integrar el tiempo de concentración de la cuenca con la probabilidad de ocurrencia de dicha tormenta y la intensidad del evento involucrado. La magnitud de la precipitación se puede determinar partiendo de la intensidad de lluvia para diferentes períodos de retorno mediante la siguiente expresión:

$$P = i * \frac{d}{60}$$

Donde i es la intensidad en mm/h y d es la duración de la lluvia en minutos.

La tabla 55 presenta las intensidades estimadas para una duración de lluvia igual al tiempo de concentración calculado, para cada una de las cuencas.

Tabla 55. Intensidad y precipitación de diseño para diferentes periodos de retorno.

Tr (Años)	Q. Los Monos		Q. Bolívar Arriba		Q. Manzanillo		Q. Carmina		Punto de control - Q. La Linda		Q. La Cascada		Q. San Pedro		Punto de control - Cuenca Farallones	
	I (mm/h)	P (mm)	I (mm/h)	P (mm)	I (mm/h)	P (mm)	I (mm/h)	P (mm)	I (mm/h)	P (mm)	I (mm/h)	P (mm)	I (mm/h)	P (mm)	I (mm/h)	P (mm)
2.33	32.9	36.2	26.7	37.8	28.7	37.3	47.0	32.1	22.4	38.8	47.8	31.9	39.6	34.3	45.4	32.6
5	42.0	46.2	33.6	47.6	36.3	47.2	61.6	42.1	27.9	48.4	62.7	41.8	51.2	44.4	59.4	42.6
10	49.5	54.5	39.3	55.7	42.6	55.4	73.5	50.3	32.4	56.2	74.9	50.0	60.8	52.7	70.9	50.8
25	59.0	64.9	46.5	65.9	50.5	65.6	88.6	60.5	38.1	66.0	90.3	60.2	72.8	63.1	85.3	61.1
50	66.0	72.6	51.8	73.4	56.3	73.2	99.7	68.2	42.3	73.4	101.7	67.8	81.7	70.8	96.0	68.8
100	72.9	80.2	57.1	80.8	62.1	80.7	110.8	75.7	46.5	80.6	113.0	75.4	90.6	78.5	106.5	76.3

5.6.1.5 Distribución temporal de la precipitación

Para los modelos lluvia-escorrentía se debe determinar la tormenta de diseño hallando la distribución de la lluvia en el tiempo. Existen diferentes metodologías: Diagrama de Huff, Histograma triangular, Bloque alterno, etc. Una de las más conocidas es el diagrama de Huff (1967) (en Chow, 1994). Huff analizó eventos de tormentas observados y determinó la secuencia temporal de precipitación en tormentas típicas para varias duraciones, a partir de datos registrados en Illinois. La Figura 44 presenta la distribución temporal de la precipitación para tormentas puntuales con duraciones menores a 6 horas, las cuales están asociadas con la distribución de tormentas en el primer cuartil.

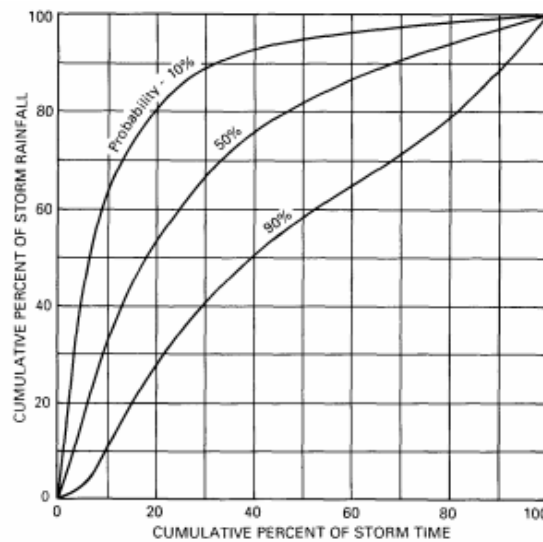


Figura 44. Distribución temporal para precipitaciones puntuales en el primer cuartil.

Para determinar la distribución de la lluvia, se escogen intervalos correspondientes al 10% del tiempo de duración de la tormenta y se lee el correspondiente valor en porcentaje de la distribución de la lluvia de diseño. Así, para incrementos en el tiempo de 10%, se tiene el comportamiento de las lluvias presentado en la tabla 56.

Tabla 56. Distribución temporal de la lluvia de diseño en la cuenca de estudio.

$t_{Acum}(\%)$	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
$P_{Acum}(\%)$	33	52	66	75	82	86	90	94	97	100

5.6.1.6 Pérdidas hidrológicas

La metodología del SoilConservationServices (SCS) permite determinar las pérdidas hidrológicas en la cuenca mediante la asignación de un coeficiente (previamente calibrado) según el tipo de suelo y el uso del mismo. Si en la cuenca existen cambios en el tipo y el uso del suelo, el coeficiente se pondera según sean las áreas de influencia. El método relaciona la escorrentía superficial (R) con la precipitación total (P) y con la capacidad de almacenamiento (S_{\max}) mediante la siguiente ecuación empírica:

$$R = \frac{(P - 0.2S_{\max})^2}{(P + 0.8S_{\max})}, \quad \text{Para } P > 0.2 S_{\max}$$

donde:

P es la precipitación (en pulgadas)

S_{\max} (mm) es calculada como una función del número de curva (CN):

$$S_{\max} = \frac{1000}{CN} - 10$$

El número de curva puede variar desde 0 hasta 100, y es función de la textura, la cobertura, la pendiente y los antecedentes de humedad del suelo. Entre menor sea el número de curva, más bajo es el potencial de escorrentía.

Los usos de los suelo presentes en las cuencas de estudio fueron obtenidos de la ortofoto del municipio de Ciudad Bolívar. La discretización de los usos del suelo, el valor porcentual de cada de las áreas, el número de curva asociado, en condiciones de humedad antecedente tipo II para cada una de las cuencas de estudio se presentan a continuación.

El mapa de usos del suelo para la cuenca de la quebrada Los Monos se visualiza en la figura 45.

Para las áreas discretizadas anteriormente en la cuenca de la quebrada Los Monos se realiza una ponderación según el número de curva asociado a cada uso del suelo, como se presenta en la tabla 57.

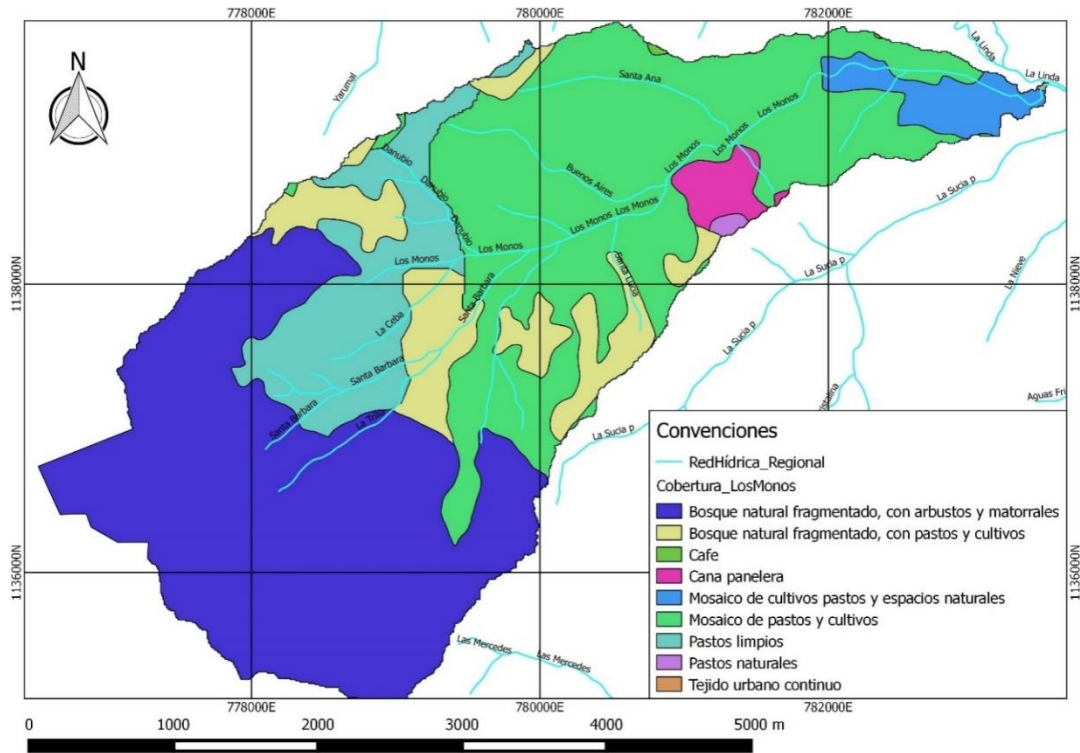


Figura 45. Usos del suelo para la cuenca de la quebrada Los Monos.

Tabla 57. Cálculo del número de curva CN de la quebrada Los Monos.

Descripción	% Área	CN
Concreto/Techo	1%	92
Zona Verde - Media - $S > 7\%$	0%	96
Cultivo Pendiente - $S > 7\%$	43%	82
Pastizales Pendiente - $S > 7\%$	5%	89
Bosques Pendiente - $S > 7\%$	50%	83
CN II Ponderado	-	83.10

El mapa de usos del suelo para la cuenca del río Bolívar Arriba se presenta en la figura 46.

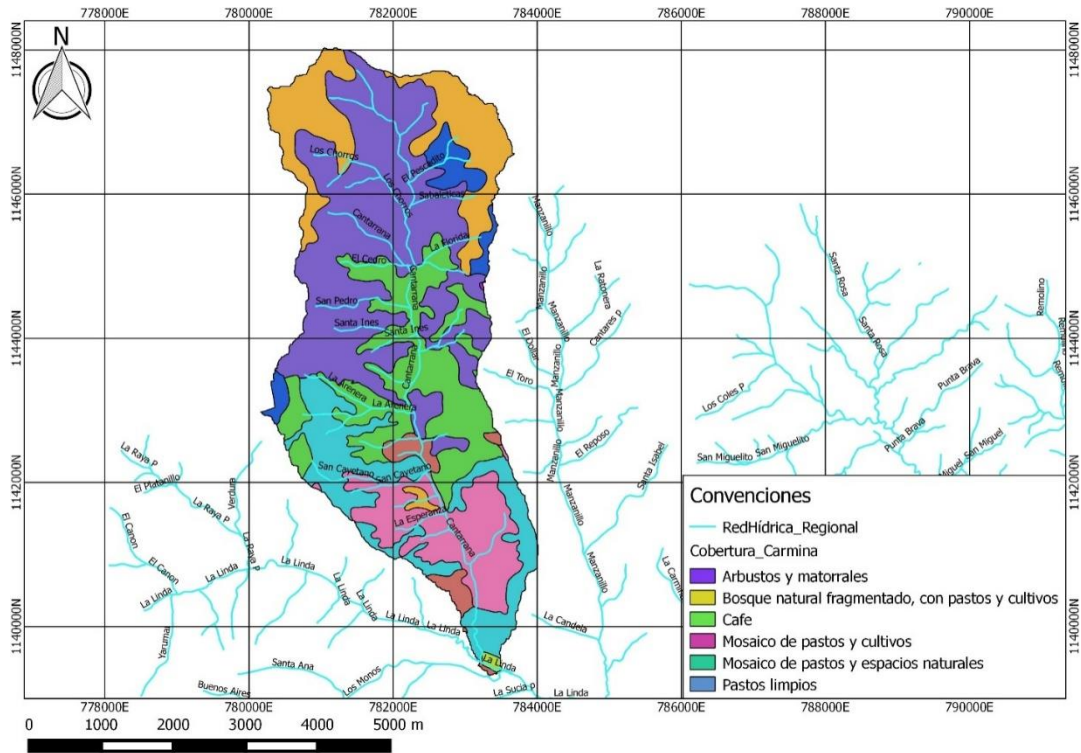


Figura 46. Usos del suelo para la cuenca del río Bolívar arriba.

Para las áreas discretizadas anteriormente en la cuenca del río Bolívar Arriba se realiza una ponderación según el número de curva asociado a cada uso del suelo, como se presenta en la tabla 58.

Tabla 58. Cálculo del número de curva cn del río Bolívar Arriba.

Descripción	% Área	CN
Concreto/Techo	2%	92
Zona Verde - Media - $S > 7\%$	0%	96
Cultivo Pendiente - $S > 7\%$	59%	82
Pastizales Pendiente - $S > 7\%$	21%	89
Bosques Pendiente - $S > 7\%$	19%	83
CN II Ponderado	-	83.82

Los usos del suelo para la cuenca de la quebrada Manzanillo se presentan en la figura 47.

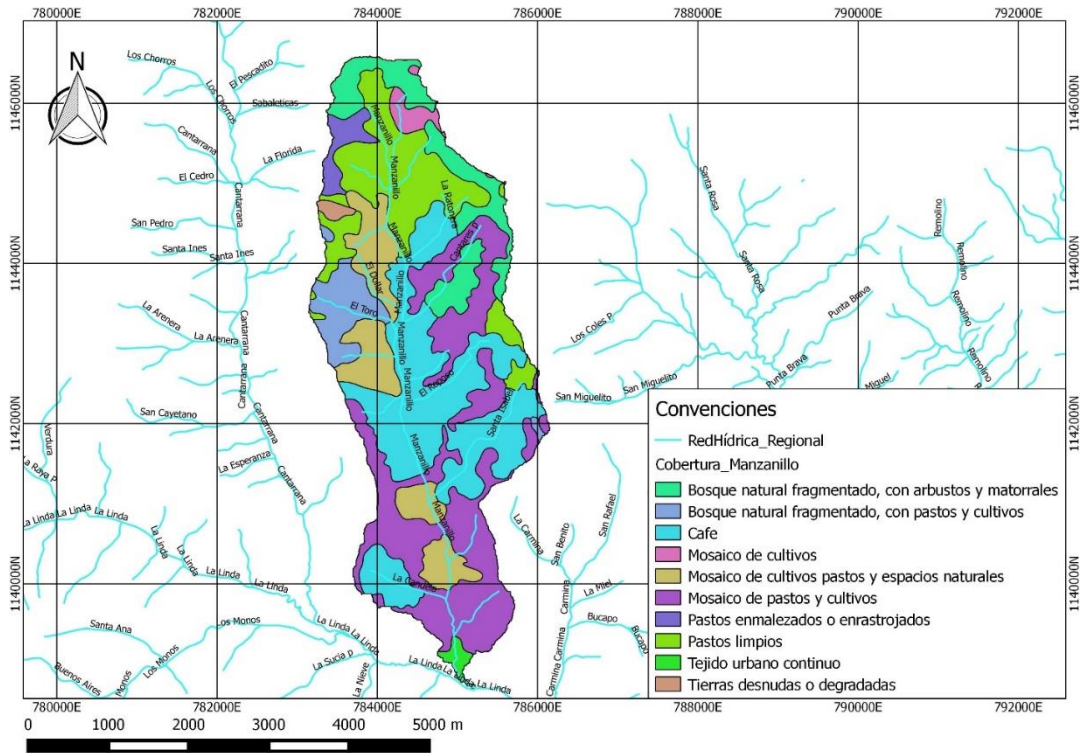


Figura 47. Usos del suelo para la cuenca de la quebrada manzanillo.

Para las áreas discretizadas anteriormente en la cuenca de la quebrada Manzanillo se realiza una ponderación según el número de curva asociado a cada uso del suelo, como se observa en la tabla 59.

Tabla 59. Cálculo del número de curva CN de la quebrada Manzanillo.

Descripción	% Área	CN
Concreto/Techo	1%	92
Zona Verde - Media - $S > 7\%$	0%	96
Cultivo Pendiente - $S > 7\%$	30%	82
Pastizales Pendiente - $S > 7\%$	59%	89
Bosques Pendiente – $S > 7\%$	10%	83
CN II Ponderado	-	86.30

El mapa de usos del suelo para la cuenca de la quebrada Carmina se presenta en la figura 48.

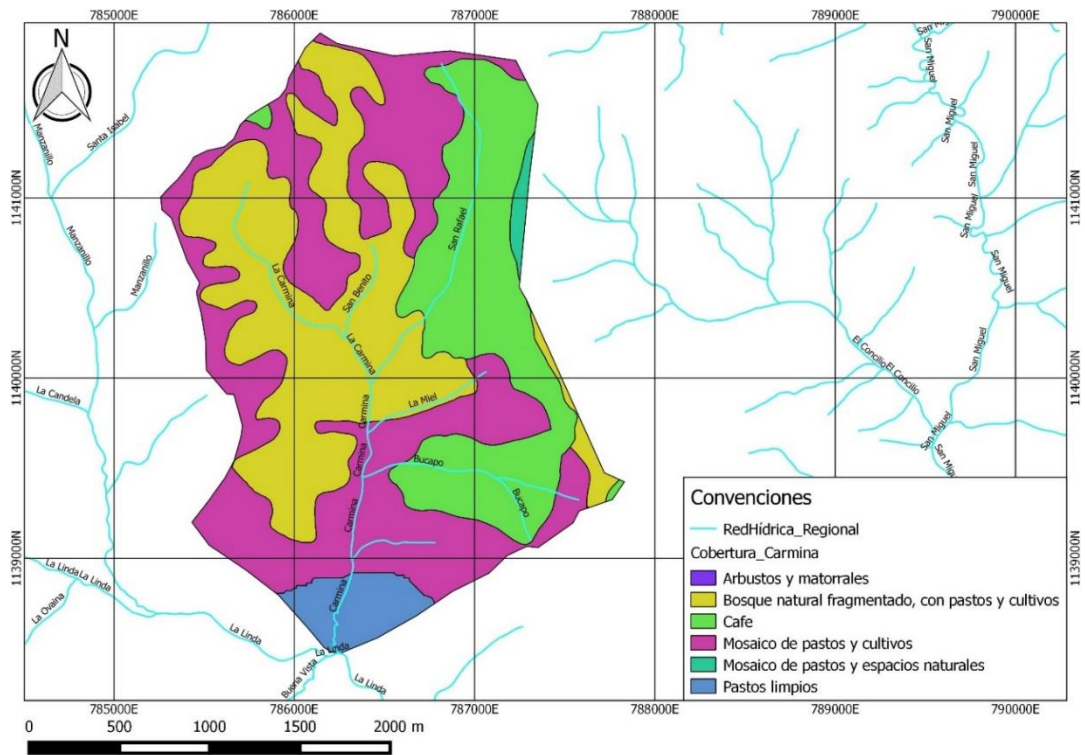


Figura 48. Usos del suelo para la cuenca de la quebrada Carmina.

Para las áreas discretizadas anteriormente en la cuenca de la quebrada Carmina se realiza una ponderación según el número de curva asociado a cada uso del suelo, como se observa en la tabla 60.

Tabla 60. Cálculo del número de curva CN de la quebrada Carmina.

Descripción	% Área	CN
Concreto/Techo	0%	92
Zona Verde - Media - $S > 7\%$	0%	96
Cultivo Pendiente - $S > 7\%$	52%	82
Pastizales Pendiente - $S > 7\%$	45%	89
Bosques Pendiente - $S > 7\%$	2%	83
CN II Ponderado	-	85.20

El mapa de usos del suelo para el punto de control en la cuenca de la quebrada La Linda se visualiza en la Figura 49.

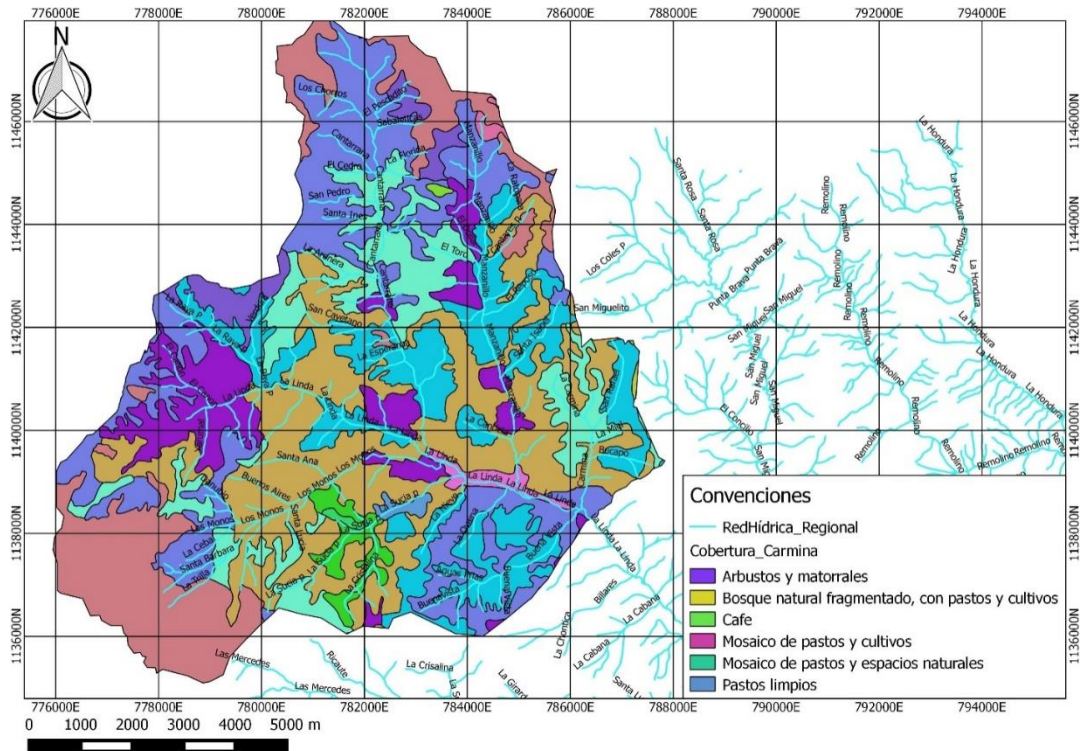


Figura 49. Usos del suelo para el punto de control de la cuenca Quebrada La Linda.

Para las áreas discretizadas anteriormente en el punto de control de la cuenca de la quebrada La Linda se realiza una ponderación según el número de curva asociado a cada uso del suelo, como se observa en la tabla 61.

Tabla 61. Cálculo del número de curva CN de la quebrada La Linda.

Descripción	% Área	CN
Concreto/Techo	1%	92
Zona Verde - Media - $S > 7\%$	0%	96
Cultivo Pendiente - $S > 7\%$	10%	82
Pastizales Pendiente - $S > 7\%$	78%	89
Bosques Pendiente - $S > 7\%$	12%	83
CN II Ponderado	-	87.68

El mapa de usos del suelo para la cuenca de la quebrada La Cascada se visualiza en la figura 50.

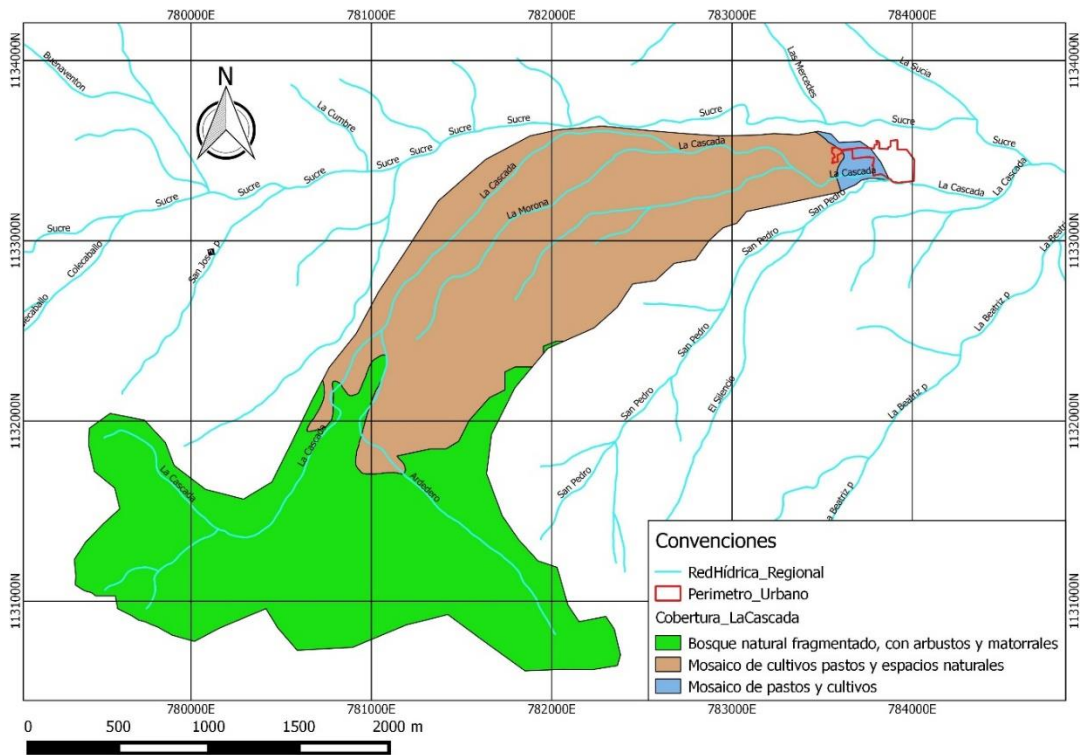


Figura 50. Usos del suelo para la cuenca de la quebrada La Cascada.

Para las áreas discretizadas anteriormente en la cuenca de la quebrada La Cascada se realiza una ponderación según el número de curva asociado a cada uso del suelo, como se observa en la tabla 62.

Tabla 62. Cálculo del número de curva CN de la quebrada La Cascada.

Descripción	% Área	CN
Concreto/Techo	0%	92
Zona Verde - Media - $S > 7\%$	0%	96
Cultivo Pendiente - $S > 7\%$	44%	82
Pastizales Pendiente - $S > 7\%$	0%	89
Bosques Pendiente - $S > 7\%$	56%	83
CN II Ponderado	-	82.56

El mapa de usos del suelo para la cuenca de la quebrada San Pedro se visualiza en la figura 51.

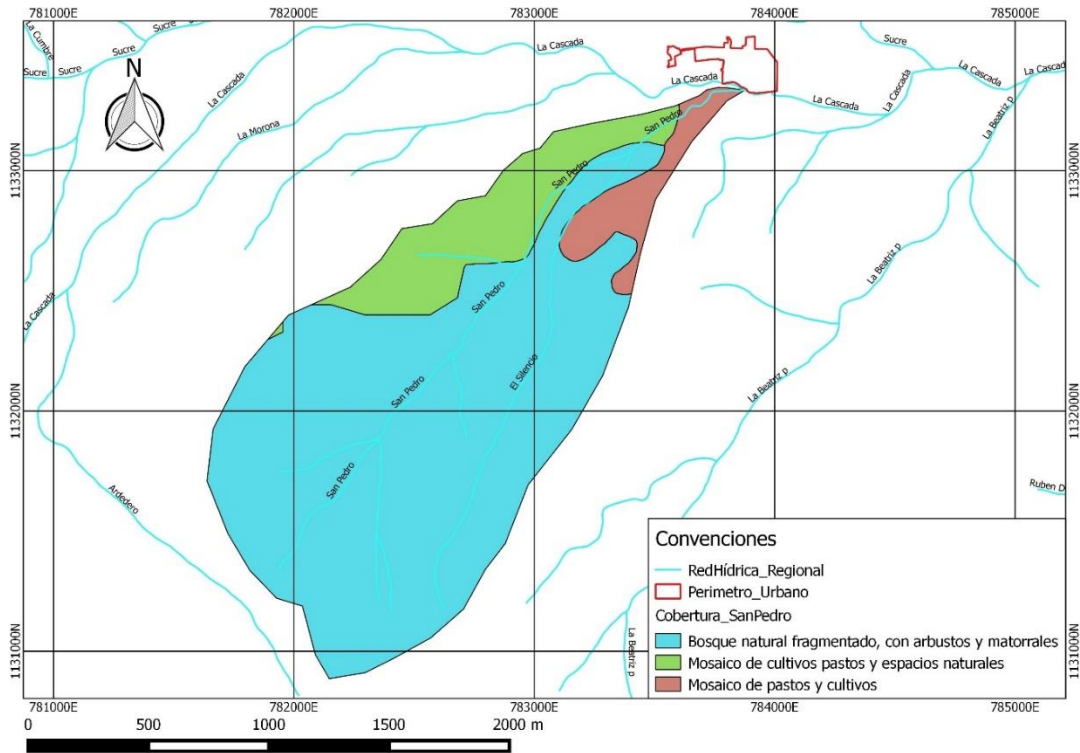


Figura 51. Usos del suelo para la cuenca de la quebrada San Pedro.

Para las áreas discretizadas anteriormente en la cuenca de la quebrada San Pedro se realiza una ponderación según el número de curva asociado a cada uso del suelo, como se observa en la tabla 63.

Tabla 63. Cálculo del número de curva CN de la quebrada San Pedro.

Descripción	% Área	CN
Concreto/Techo	0%	92
Zona Verde - Media - $S > 7\%$	0%	96
Cultivo Pendiente - $S > 7\%$	44%	82
Pastizales Pendiente - $S > 7\%$	0%	89
Bosques Pendiente - $S > 7\%$	56%	83
CN II Ponderado	-	82.56

El mapa de usos del suelo para la cuenca de la quebrada San Pedro se visualiza en la figura 52.

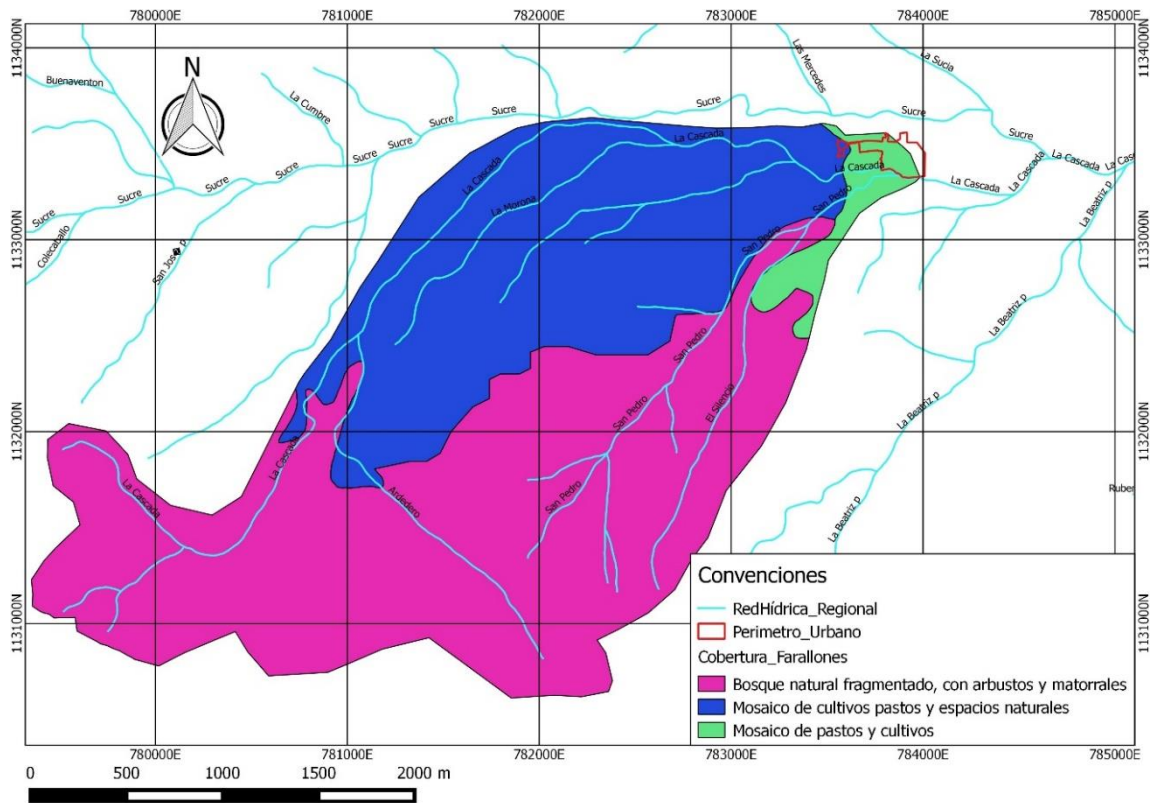


Figura 52. Usos del suelo para el punto de control de la cuenca Farallones.

Para las áreas discretizadas anteriormente para el punto de control de la cuenca Farallones se realiza una ponderación según el número de curva asociado a cada uso del suelo, como se observa en la tabla 64.

Tabla 64. Cálculo del número de curva CN para el punto de control de la cuenca Farallones.

Descripción	% Área	CN
Concreto/Techo	0%	92
Zona Verde - Media - $S > 7\%$	0%	96
Cultivo Pendiente - $S > 7\%$	44%	82
Pastizales Pendiente - $S > 7\%$	0%	89
Bosques Pendiente - $S > 7\%$	56%	83
CN II Ponderado	-	82.56

5.6.1.7 Hidrogramas Sintéticos

Los caudales de diseño se obtuvieron utilizando los modelos de William &Hann, Snyder y el SCS. A continuación se presentan los valores de los parámetros de cada uno de los modelos usados para definir las hidrógrafas unitarias.

5.6.1.7.1 Modelo de William &Hann

Las características geomorfológicas de la cuenca están representadas en el modelo mediante dos coeficientes, que son la constante de recesión K, y el tiempo al pico T_p . El Hidrograma Unitario Sintético desarrollado por Williams y Hann puede expresarse en forma adimensional dividiendo las abscisas y las ordenadas por el tiempo al pico T_p , y el caudal pico U_p respectivamente, aunque también pueden trabajarse con sus correspondientes unidades de caudal U, y tiempo t.

El caudal pico se puede calcular como:

$$U_p = \frac{B * A_c}{T_p}$$

Donde, A_c es el área de cuenca mi^2 , T_p es el tiempo al pico en horas y B es un parámetro de conversión de unidades.

5.6.1.7.2 Modelo de Snyder

El modelo de Snyder deriva un Hidrograma Unitario a partir de algunas características físicas de la cuenca, para ser aplicado en las cuencas donde no se tiene registro de caudal. Este modelo considera aspectos como duración efectiva, caudal pico, tiempo al pico, tiempo base, intervalo de tiempo correspondiente al 50% del caudal pico W_{50} , intervalo de tiempo correspondiente al 75%.

5.6.1.7.3 Modelo de SCS

El Servicio de Conservación de Suelos de los Estados Unidos (SoilConservationService, SCS) desarrolló un Hidrograma Unitario Adimensional a partir de una serie de hidrógrafas observadas, correspondientes a cuencas de muy diversos tamaños y ubicadas en distintos sitios de los Estados Unidos.

5.6.1.7.4 Método Racional

El método asume que la escorrentía es directamente proporcional a la precipitación efectiva y aunque esto en la realidad no es cierto, los errores en cuencas tan pequeñas (menores de 50 km²), no son significativos. Con este método puede hallarse el caudal con la siguiente expresión:

$$Q = \frac{C * i * A}{3.6}$$

Donde A es el área de cuenca en km², i es la intensidad de lluvia en mm/h y depende del periodo de retorno al igual que el coeficiente de escorrentía C.

El coeficiente de escorrentía depende del porcentaje de impermeabilidad del suelo, de la pendiente del terreno, así como de las características de encharcamiento de la superficie, de las condiciones del suelo, entre otras características. La cantidad de parámetros presentes en la determinación del coeficiente de escorrentía hacen que sea una de las fuentes de mayor incertidumbre en la utilización de este método.

Con el fin de considerar la humedad antecedente del suelo, es posible establecer una relación entre el número de curva y el coeficiente de escorrentía:

Por definición el coeficiente de escorrentía es:

$$C = \frac{E_s}{P} \therefore E_s = \text{Escorrentía} \text{ y } P = \text{Precipitación}$$

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 $I_a = 0.2 \times S$ (Infiltración inicial), se tiene que:

$$E_s = \frac{(P - I_a)^2}{P + 4 * I_a} \rightarrow C = \frac{E_s}{P} = \frac{(P - I_a)^2}{P^2 + 4 * P * I_a}$$

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 65 se presentan los coeficientes de escorrentía para las cuencas de estudio.

Tabla 65. Coeficientes de escorrentía estimados para las cuencas de estudio.

Tr (Años)	Coeficiente de escorrentía
2.33	0.37
5	0.40
10	0.42
25	0.46
50	0.49
100	0.53

5.6.1.8 Resultados de los caudales máximos estimados

5.6.1.8.1 Quebrada Los Monos

El resumen de los caudales máximos de diseño en la quebrada Los Monos para los diferentes períodos de retorno, encontrados mediante los métodos anteriormente mencionados se presentan en la tabla 66. Los caudales obtenidos con cada una de las metodologías utilizadas presentan valores cercanos para cada periodo de retorno evaluado, siendo el método racional el que presenta los valores más conservadores, mientras que los caudales máximos obtenidos con las hidrógrafas unitarias de Williams &Hann presenta los valores más bajos.

Revisando los caudales presentados en la tabla 66, se evidencia que las hidrógrafas unitarias presentan valores similares, y que el método racional es el que presenta los mayores valores. Es importante entender que el método racional funciona de forma adecuada, para cuencas con áreas menores de 5 km², razón por la cual se adopta para esta quebrada el caudal estimado por la hidrógrafa de Williams &Hann.

Tabla 66. Caudales máximos (m³/s) estimados en la quebrada Los Monos.

Tr (Años)	Racional	SCS	Williams &Hann	Adoptado
2.33	26	9	11	11
5	32	13	16	16
10	39	18	22	22
25	50	26	33	33
50	61	34	43	43
100	75	45	56	56

La representación gráfica de los caudales máximos obtenidos con las diferentes metodologías utilizadas, se presentan en la figura 53.

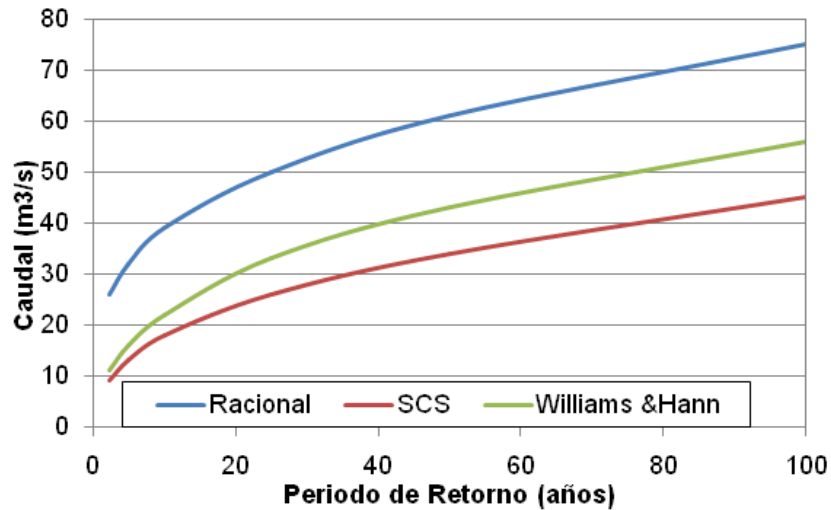


Figura 53. Caudales máximos estimados en la quebrada Los Monos.

5.6.1.8.2 Río Bolívar Arriba

El resumen de los caudales máximos de diseño del río Bolívar Arriba se presenta en la tabla 67. Los caudales obtenidos con las metodologías aplicadas, presentan gran variabilidad al ser comparados. Sin embargo, es posible descartar los resultados obtenidos con el método racional, dado que presenta los valores más altos y dicha metodología es recomendada para cuencas con áreas menores de 5 km². Por esta razón, se adopta para el río Bolívar Arriba el caudal estimado por la hidrógrafa de Williams & Hann.

Tabla 67. Caudales máximos (m³/s) estimados en el río Bolívar Arriba.

Tr (Años)	Racional	SCS	Williams & Hann	Adoptado
2.33	24	0.1	0.2	0.2
5	30	0.7	0.8	0.8
10	36	2	2	2
25	46	4	5	5
50	57	8	8	8
100	70	12	13	13

En la figura 54 se presenta de forma gráfica los resultados obtenidos en el estudio hidrológico.

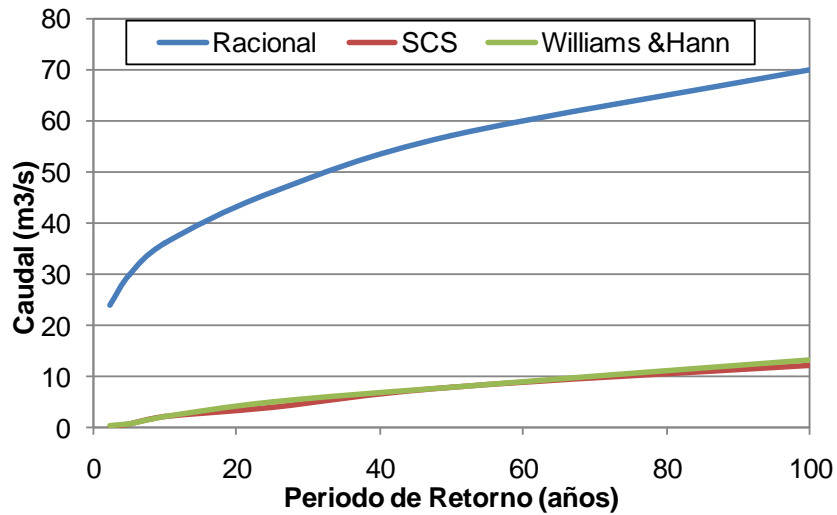


Figura 54. Caudales máximos estimados para el río Bolívar Arriba

5.6.1.8.3 Quebrada Manzanillo

Para el caso de la quebrada Manzanillo, los resultados obtenidos evidencian que los caudales estimados por hidrógrafas Unitarias son consistentes, presentando valores similares. Nuevamente, el valor más alto es el estimado por el método racional, y será descartado dado que la metodología es recomendada para cuencas con áreas menores de 5 km². Por esta razón, se adopta para la quebrada Manzanillo el caudal estimado por la hidrógrafa de Williams & Hann.

Tabla 68. Caudales máximos (m³/s) estimados en la quebrada Manzanillo.

Tr (Años)	Racional	SCS	Williams & Hann	Adoptado
2.33	22	11	13	13
5	27	15	18	18
10	33	20	23	23
25	42	29	33	33
50	51	37	42	42
100	63	46	54	54

La representación gráfica de los caudales máximos obtenidos con las diferentes metodologías, se presentan en la figura 55.

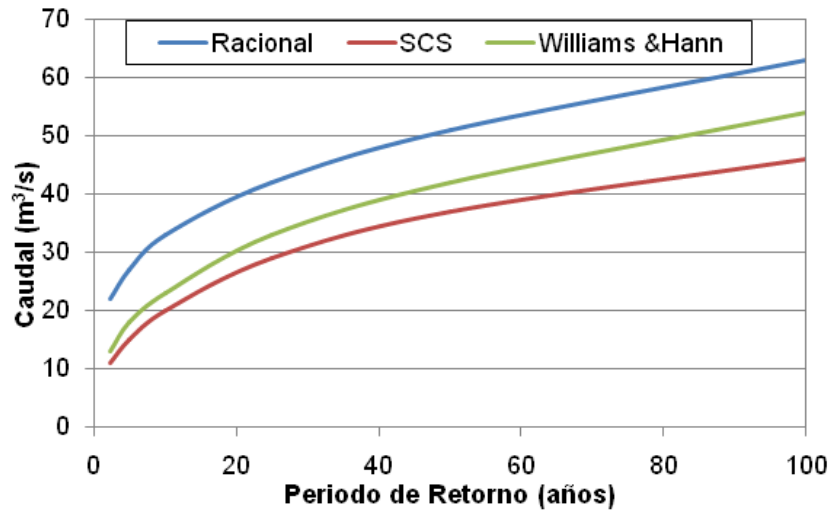


Figura 55. Caudales máximos estimados en la quebrada Manzanillo.

5.6.1.8.4 Quebrada Carmina

Para el caso de la quebrada La Carmina, los resultados obtenidos mediante las metodologías aplicadas son muy consistentes y similares, esto debido al tamaño de la cuenca de estudio.

Los mayores valores se presentan en el estimativo del método racional, razón por la cual serán adoptados como caudales de diseño.

Tabla 69. Caudales máximos (m³/s) estimados en la quebrada Carmina.

Tr (Años)	Racional	SCS	Williams & Hann	Adoptado
2.33	19	12	13	19
5	23	16	18	23
10	28	21	23	28
25	36	29	31	36
50	44	36	39	44
100	54	45	49	54

La representación gráfica de los caudales máximos obtenidos con las diferentes metodologías utilizadas, dentro de las cuales se encuentra el método Racional (valor adoptado), se presentan en la figura 56.

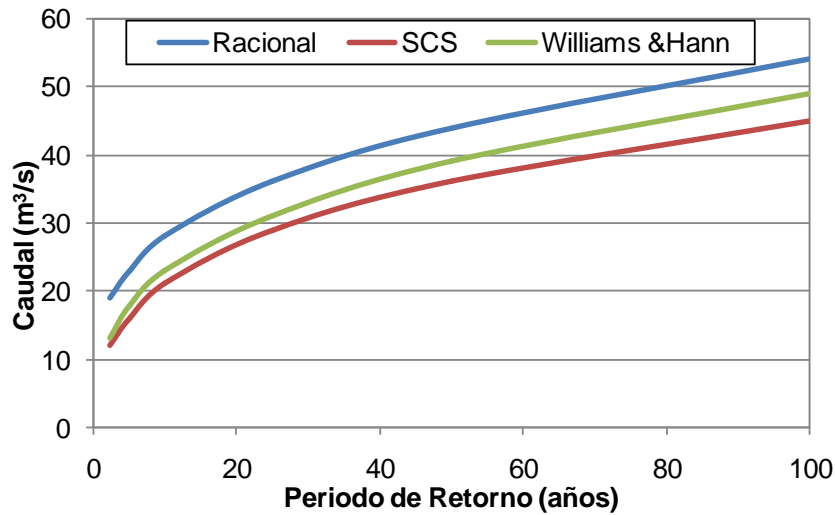


Figura 56. Caudales máximos estimados en la quebrada Carmina.

5.6.1.8.5 Quebrada La Linda

Para la quebrada La Linda, los resultados obtenidos evidencian que los caudales estimados por hidrógrafas Unitarias son consistentes, presentando valores similares. Sin embargo, el valor más alto es el estimado por el método de Williams & Hann. Para el caso de análisis se adopta un criterio conservador, el caudal estimado por la hidrógrafa de SCS.

Tabla 70. Caudales máximos (m^3/s) estimados en el punto de control quebrada La Linda.

Tr (Años)	Racional	SCS	Williams & Hann	Adoptado
2.33	204.0	243.62	426.75	243.62
5	274.7	331.02	583.76	331.02
10	335.0	404.46	714.11	404.46
25	431.4	505.03	880.07	505.03
50	510.2	583.51	1006.48	583.51
100	606.7	666.78	1130.11	666.78

La representación gráfica de los caudales máximos obtenidos con las diferentes metodologías utilizadas, se presentan en la figura 57.

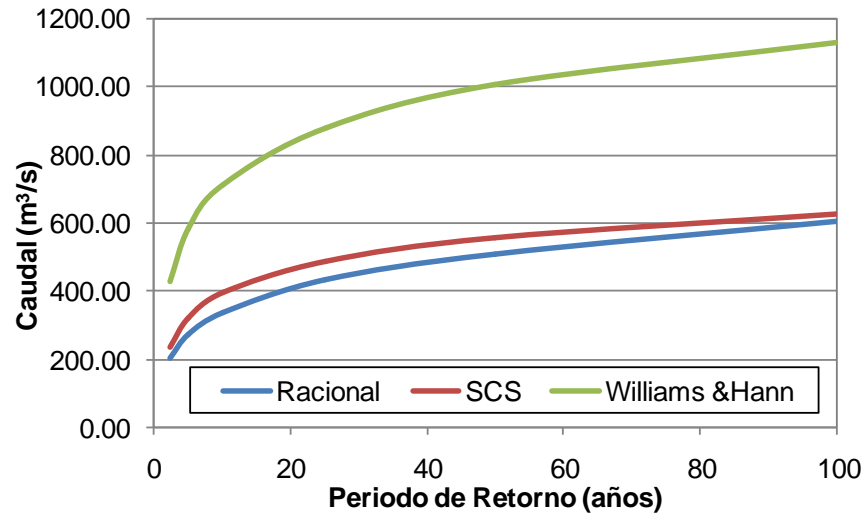


Figura 57. Caudales máximos estimados en la quebrada La Linda

5.6.1.8.6 Quebrada La Cascada

Para el caso de la quebrada La Cascada, los resultados obtenidos mediante las metodologías aplicadas son muy consistentes y similares, esto debido al tamaño de la cuenca de estudio.

Los mayores valores se presentan en el estimativo del método racional, razón por la cual serán adoptados como caudales de diseño.

Tabla 71. Caudales máximos (m³/s) estimados en el punto de control quebrada La Cascada.

Tr (Años)	Racional	SCS	Williams & Hann	Adoptado
2.33	19	10	13	19
5	23	14	18	23
10	28	18	23	28
25	36	25	32	36
50	44	32	41	44
100	54	40	52	54

Los caudales máximos estimados con las diferentes metodologías se presentan en la figura 58.

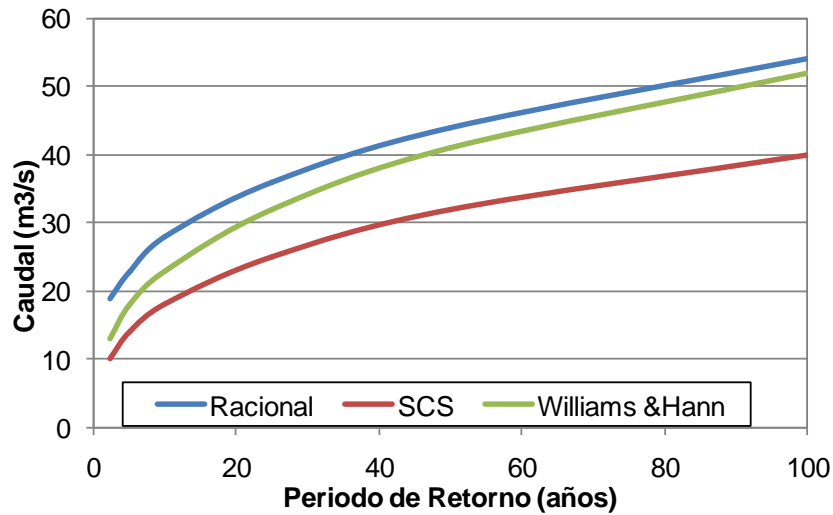


Figura 58. Caudales máximos estimados en la quebrada La Cascada.

5.6.1.8.7 Quebrada San Pedro

Para el caso de la quebrada San Pedro, los resultados obtenidos mediante las metodologías aplicadas son muy consistentes y similares, esto debido al tamaño de la cuenca de estudio.

Los mayores valores se presentan en el estimativo del método racional, razón por la cual serán adoptados como caudales de diseño.

Tabla 72. Caudales máximos (m³/s) estimados en el punto de control quebrada San Pedro.

Tr (Años)	Racional	SCS	Williams & Hann	Adoptado
2.33	8	6	9	8
5	9	8	11	9
10	11	10	13	11
25	15	13	17	15
50	18	16	21	18
100	22	20	26	22

La representación gráfica de los caudales máximos obtenidos con las diferentes metodologías utilizadas, dentro de las cuales se encuentra el método Racional (valor adoptado), se presentan en la figura 59.

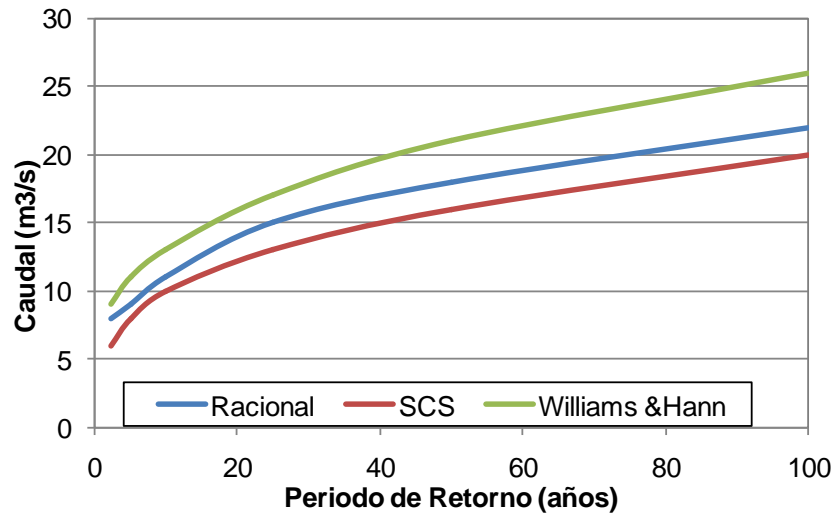


Figura 59. Caudales máximos estimados en la quebrada San Pedro.

5.6.1.8.8 Cuenca Farallones

Para el caso de la quebrada San Pedro, los resultados obtenidos mediante las metodologías aplicadas son muy consistentes y similares. A pesar de que la cuenca presenta un tamaño superior a 5 km², se asumen los valores presentes en el método racional, con el objetivo de tener continuidad con los estimativos de las dos cuencas pequeñas que hacen parte de la cuenca mayor (La Cascada y San Pedro).

Los mayores valores se presentan en el estimativo del método racional, razón por la cual serán adoptados como caudales de diseño.

Tabla 73. Caudales máximos (m³/s) estimados en el punto de control de la cuenca Farallones.

Tr (Años)	Racional	SCS	Williams & Hann	Adoptado
2.33	26	14	18	26
5	32	19	24	32
10	38	25	31	38
25	50	34	44	50
50	60	44	55	60
100	74	55	69	74

La representación gráfica de los caudales máximos obtenidos con las diferentes metodologías, dentro de las cuales se encuentra el método Racional (valor adoptado), se presentan en la figura 60.

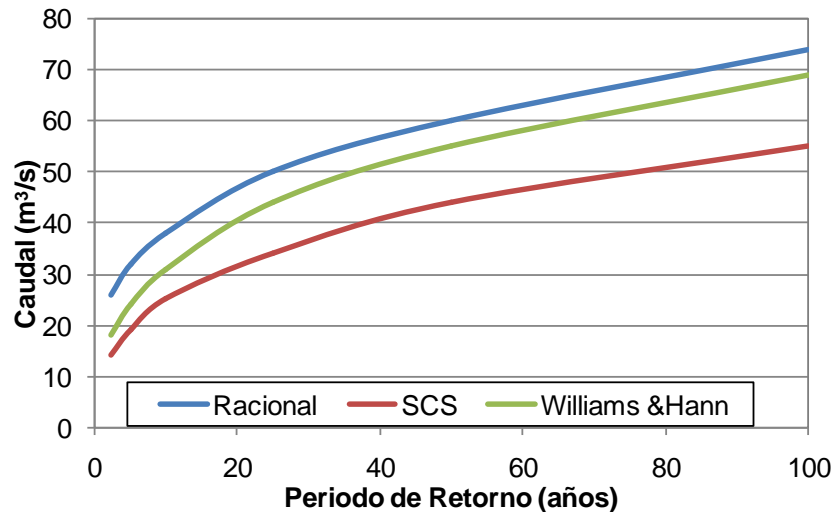


Figura 60. Caudales máximos estimados en el punto de control de la cuenca Farallones.

5.6.2 Hidráulica

Se presenta el estudio hidráulico para el tramo de interés del municipio de Ciudad Bolívar y del corregimiento de San Bernardo de Los Farallones, específicamente para las quebradas Los Monos, Manzanillo, Carmina, La Linda, La Cascada, San Pedro y el río Bolívar Arriba, con el fin de analizar 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 será el caudal de diseño el cual se usa normalmente para incluir dentro del volumen de agua transportada el arrastre de sedimentos tipo gravas y guijarros, los cuales son característicos de las corrientes a estudiar.

Como justificación para implementar el caudal con periodo de retorno de 100 años incrementado en 40%, se tienen los conceptos presentados en el 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.

Así mismo, el Acuerdo Metropolitano 009 de 2012 (Código de Laderas) 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, en el cual se retoman las recomendaciones presentadas en el POMCA, 2006, ya que se considera una buena metodología para contemplar los incrementos en los niveles del flujo por avistas torrenciales. A partir de estos resultados, se identifican las zonas que son afectadas por la inundación y avenidas torrenciales de las corrientes dentro del casco urbano del municipio de Ciudad Bolívar y del corregimiento de San Bernardo de los Farallones, y se presentan las recomendaciones para mitigar estas afectaciones.

5.6.2.1 Ciudad Bolívar

5.6.2.1.1 Reconocimiento de Campo

A lo largo del recorrido realizado a través de Ciudad Bolívar se identificaron las principales corrientes que atraviesan el municipio, y se realizó una inspección ocular del río Bolívar Arriba y de las quebradas La Linda como eje estructurante del municipio, Carmina, Manzanillo, La Sucia, Los Monos, además de tres (3) corrientes que entregan sobre la margen derecha de la quebrada La Linda (La Nieve, La Ovaina y Buena Vista), las cuales se encuentran por fuera del perímetro urbano del municipio, y por dicha razón no serán descritas en el presente documento (ver Figura 61).

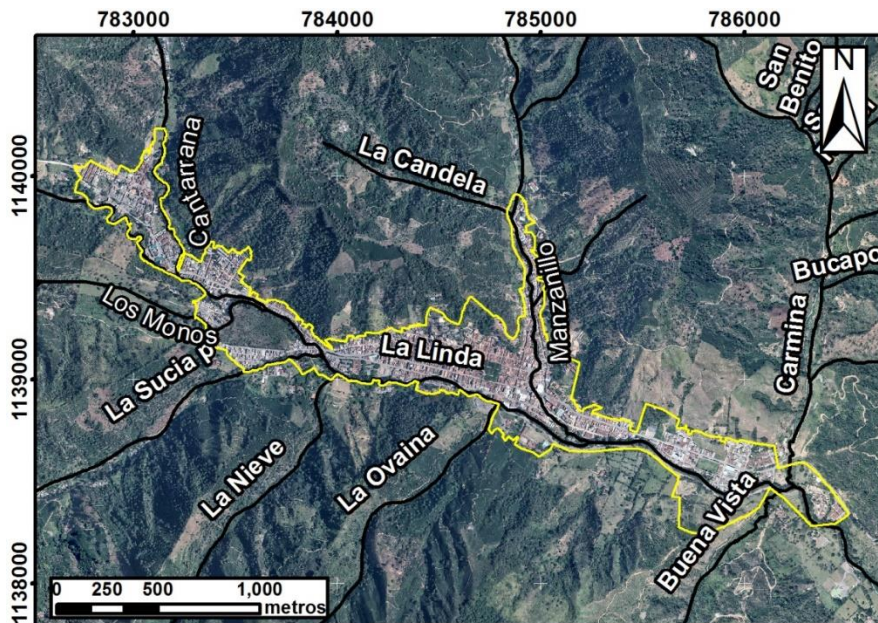


Figura 61. Corrientes que discurren a través del municipio Ciudad Bolívar.

A continuación se describirán las corrientes recorridas durante la inspección ocular

- **Quebrada La Linda**

Esta corriente se presenta como el eje estructurante del municipio, dado que el desarrollo del tejido urbano, ha sido a lo largo del cauce de la corriente.

La corriente de la quebrada La Linda presenta una sección hidráulica de tipo cajón, con un ancho promedio de 20,0 m y altura de márgenes de 2,0 a 3,0 m.

El sedimento transportado por la corriente es de tipo cantos rodados y bolos de roca, con un tamaño máximo de partícula de 1,50 m, característica que da cuenta de la alta capacidad de arrastre de la corriente, ante un evento de creciente (ver Foto 68a).

En el recorrido se evidenciaron varias estructuras de paso vehicular, algunas en buen estado y otras con un gálibo bajo, para las crecientes de la quebrada (ver Foto 68b).

Adicionalmente, se encontró estructuras de protección lateral volcadas y falladas, debido a la capacidad de arrastre de la corriente (ver Foto 68c).

El alineamiento es recto, con presencia de algunas curvas suaves y su cauce se encuentra protegido por especies arbóreas de gran porte (ver foto 68d).



(a)



(b)



(c)



(d)

Foto 91. Caracterización de la quebrada La Linda: (a) Tipo de sedimento transportado, (b) Estructuras vehiculares a lo largo del tramo, (c) Obras laterales falladas a causa de la corriente y (d) coberturas vegetales a lo largo del tramo de interés.

- **Quebrada Carmina**

La corriente de la quebrada Carmina, es afluente directo de la quebrada La Linda y realiza su entrega sobre la margen izquierda, a la altura de la entrada al pueblo (ver foto 69).

La corriente de la quebrada Carmina presenta una sección hidráulica de tipo cajón, con un ancho promedio de 5,0 m y altura de márgenes de 2,0 m.

El sedimento transportado por la corriente es de tipo cantos rodados y guijarros de roca, con un tamaño máximo de partícula de 0,20 m (ver foto 69a).



(a)



(b)



(c)

(d)

Foto 92. Caracterización de la quebrada Carmina: (a) Tipo de sedimento transportado, (b) Estructuras vehiculares a lo largo del tramo, (c) Obras del cruce y (d) coberturas vegetales a lo largo del tramo de interés.

En el recorrido se evidenciaron dos (2) estructuras de paso vehicular, la primera corresponde a un puente de paso para una vía secundaria, el cual presenta un gálibo bajo, para las crecientes de la quebrada (ver foto 69b).

Adicionalmente, se encontró estructuras de protección lateral volcadas y falladas, debido a la capacidad de arrastre de la corriente (ver foto 69c), la segunda corresponde a la obra de paso sobre la vía principal del municipio.

El alineamiento de la corriente es recto, con presencia de algunas curvas suaves y las coberturas vegetales del tramo de interés están caracterizadas por pastos y arbustos (ver foto 69d).

- **Quebrada Manzanillo**

La quebrada Manzanillo es afluente directo de la quebrada La linda y realiza su entrega sobre la margen izquierda, zona central del pueblo (ver foto 70).

La corriente presenta un alineamiento recto y el material transportado lo caracterizan cantos rodados y guijarros con un tamaño máximo de 0,30 m (Foto 70a).

La quebrada Manzanillo, es una corriente con una fuerte acción antrópica, debido a presenta gran cantidad de viviendas construidas sobre las zonas de retiro de las mismas, confinando su flujo ante eventos de creciente (Foto 70b).



(a)



(b)

Foto 93. Caracterización de la quebrada Manzanillo: (a) Tipo de sedimento transportado, (b) Construcciones sobre la zona de retiro de la quebrada.

- **Quebrada La Sucia**

La corriente de la quebrada La Sucia, es afluente de la quebrada La linda y realiza su entrega sobre la margen derecha (ver foto 71). La corriente presenta un alineamiento recto y el material transportado lo caracterizan guijarros con un tamaño máximo de 0,10 m.

A pesar de que la quebrada La Sucia, es una corriente con una fuerte acción antrópica, debido a presenta gran cantidad de viviendas construidas sobre las zonas de retiro de la mismas, no se considera que su cauce pueda generar avenidas torrenciales (Foto 71).



(a)



(b)

Foto 94. Caracterización de la quebrada La Sucia: (a) Aguas arriba, (b) Aguas abajo.

- **Quebrada Los Monos**

La corriente de la quebrada Los Monos, es afluente directo de la quebrada La linda y realiza su entrega sobre la margen derecha, en la parte alta del pueblo (ver foto 72).

La corriente de la quebrada Los Monos presenta una sección hidráulica de tipo cajón, con un ancho promedio de 1,0 m y altura de márgenes de 2,0 m, además de una llanura de inundación amplia y un alineamiento recto (ver foto 72a).

El sedimento transportado por la corriente es de tipo cantos rodados y bolos de roca, con un tamaño máximo de partícula de 0,90 m, característica que da cuenta de la alta capacidad de arrastre de la corriente, ante un evento de creciente (ver foto 72b).

En el recorrido se evidenció una (1) estructura de paso vehicular (ver foto 72c) y un muro de protección lateral, para cuidado de la vía, dado que la corriente presenta una curva en dicho sitio, haciéndolo propenso a un proceso de socavación (ver foto 72c).



(a)



(b)



(c)



(d)

Foto 95. Caracterización de la quebrada Los Monos: (a) Tipo de sedimento transportado, (b) Alineamiento de la corriente, (c) Obra cruce y (d) Obra de protección lateral

- **Río Bolívar Arriba**

El río Bolívar Arriba es afluente de la quebrada La Linda y realiza su entrega sobre la margen izquierda, en la parte alta del pueblo (ver foto 73).

La corriente presenta un alineamiento recto y el material transportado lo caracterizan guijarros con un tamaño máximo de 0,20 m (ver foto 73).

Las coberturas vegetales del tramo de interés las caracterizan pastos y malezas (ver foto 73).



(a)



(b)

Foto 96. Caracterización de la quebrada Cantarrana: (a) Aguas arriba, (b) Aguas abajo.

5.6.2.1.2 Información Básica

- Topografía

Se contó con un levantamiento topográfico de márgenes y lecho de las quebradas Los Monos, Manzanillo, Carmina y La Linda, y del río Bolívar Arriba en todo el tramo urbano del municipio de Ciudad Bolívar, el cual contó con información en una longitud aproximada de 132, 892, 50, 4200 y 730 m, respectivamente. Las secciones transversales se elaboraron cada 50 m para las corrientes más extensas y cada 5 m para las corrientes más pequeñas, esto con el fin de detallar adecuadamente los cambios en el fondo del canal, así como los detalles de las obras de cruce existentes en los diferentes tramos.

En las siguientes figuras que se presentan a continuación se presenta un esquema del sitio de análisis con la ubicación de cada una de las secciones transversales en las corrientes de estudio.

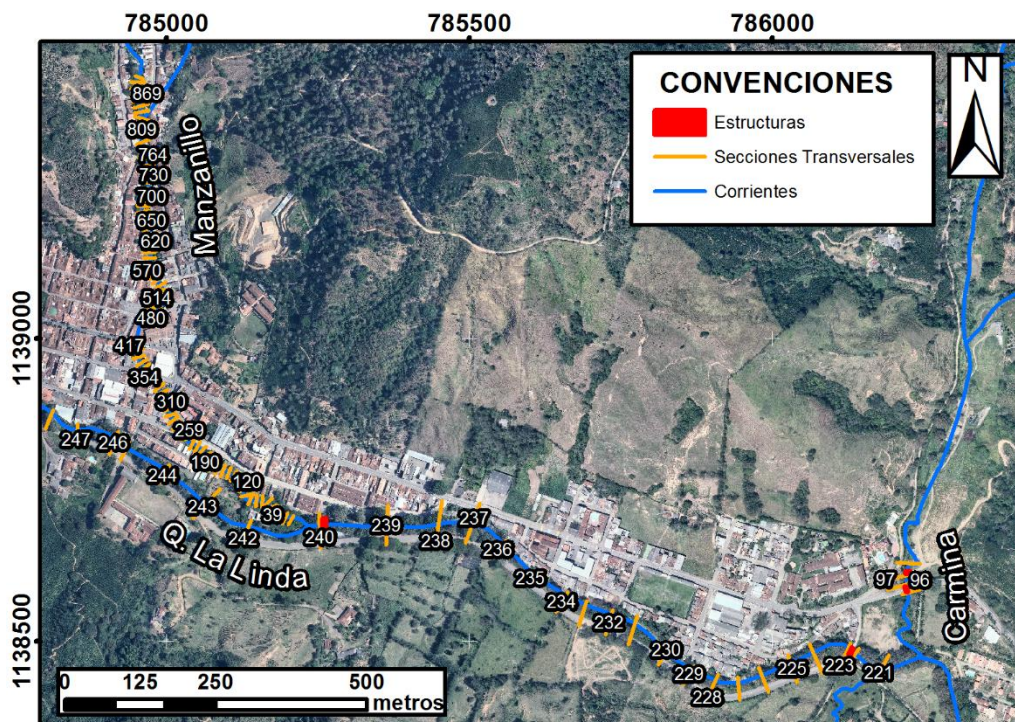


Figura 62. Esquema del tramo y secciones trasversales, Quebradas La Carmina, Manzanillo y quebrada La Linda (aguas abajo).

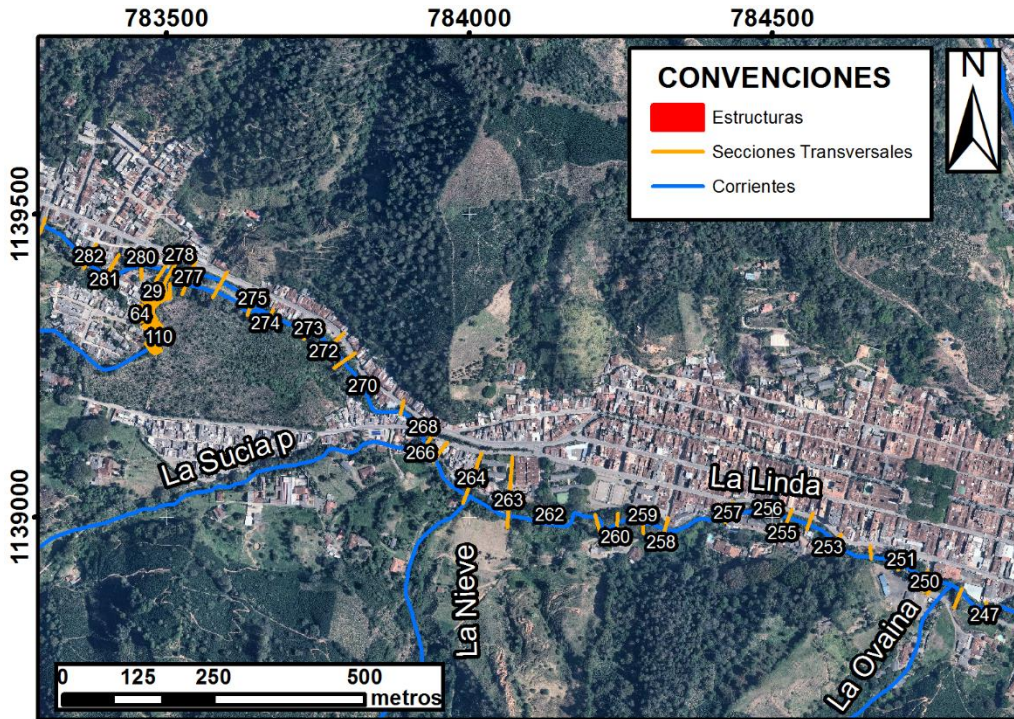


Figura 63. Esquema del tramo y secciones trasversales, Quebradas La Linda (zona media) y los Monos.

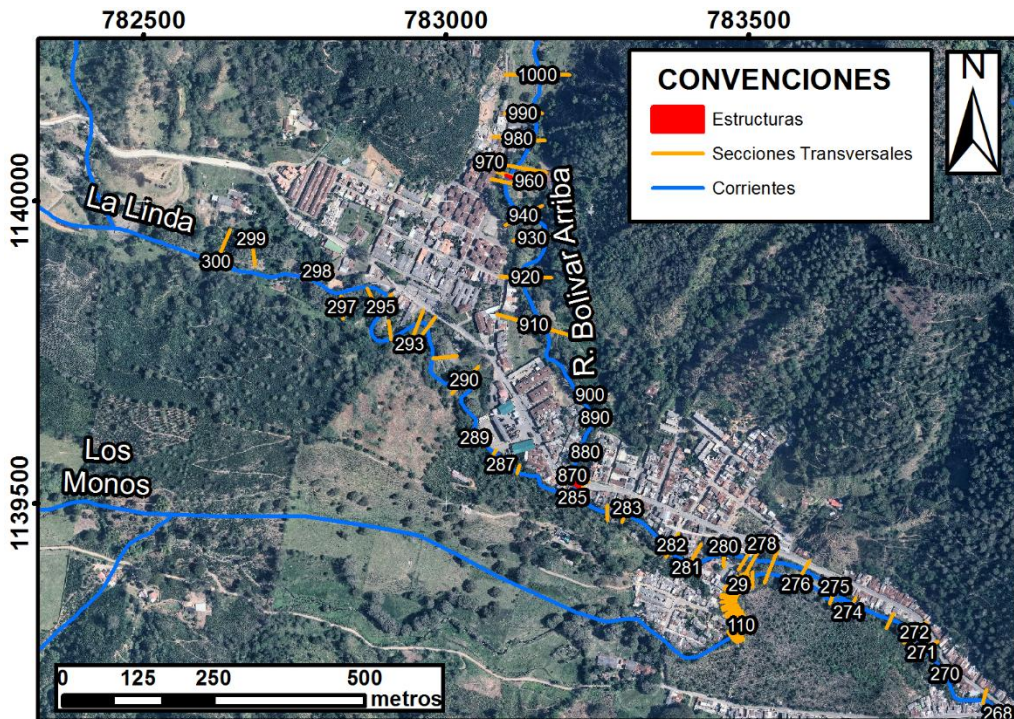


Figura 64. Esquema del tramo y las secciones trasversales, Quebradas La Linda y Río Bolívar Arriba.

El abscisado de cada una de las corrientes se realizó de forma descendente, considerándose como el 0+000, la sección ubicada aguas abajo de todo el 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 las quebradas Los Monos, Manzanillo, Carmina y La Linda, y para el río Bolívar Arriba, los cuales fueron presentados en el capítulo 5.6.1.8. Debido a que las corrientes de interés no cuentan con registros de caudal, se aplicaron modelos de lluvia escorrentía como hidrógrafas unitarias de SCS y Williams y Hann, así como el método Racional. Se seleccionó como caudal de diseños para las quebradas: Los Monos, Manzanillo, y el río Bolívar Arriba los valores estimados por el método de Williams & Hann.

Para el caso de la quebrada Carmina se adoptaron los resultados obtenidos a partir del método Racional, y para la quebrada La Linda, los estimados por SCS. Los caudales fueron estimados para los periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años, resultados presentados en la tabla 74.

Tabla 74. Caudales usados en la modelación hidráulica (POMCA).

TR	Caudal de Diseño (m ³ /s)				
	Q. Los Monos	Q. Manzanillo	Q. Carmina	Q. La Linda	Río Bolívar Arriba
2.33	11	13	19	243.62	0.2
5	16	18	23	331.02	0.8
10	22	23	28	404.46	2
25	33	33	36	505.03	5
50	43	42	44	583.51	8
100	56	54	54	666.78	13
POMCA	78.4	75.6	75.6	243.62	18.2

Estos caudales fueron implementados en las secciones 140, 899, 98 y 300 para las quebradas Los Monos, Manzanillo, Carmina y La Linda, respectivamente, y para el río Bolívar Arriba en la sección 1000, y transitados a través de las secciones transversales en cada una de las corrientes estudiadas. Se incluyó como caudal de diseño, el denominado POMCA, que consiste en el caudal con periodo de retorno de 100 años mayorado en 40% (POMCA, 2006), siguiendo así las recomendaciones indicadas en el capítulo 5.6.2.

5.6.2.1.3 Diagnóstico de crecientes

Para evaluar el comportamiento hidráulico de las corrientes en estudio dentro del casco urbano del municipio Ciudad Bolívar, se usó el software HEC – RAS versión 4.1.0 (U.S Army Corps of Engineers – HydrologicEngineering Center, 2002 a), 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 n , 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.

- Coeficiente de Rugosidad

Inicialmente se evaluaron las condiciones de rugosidad de cada uno de los canales de las quebradas Los Monos, Manzanillo, Carmina y La Linda, y del río Bolívar Arriba, para lo cual se aplicó el método de Cowan (Chow et al., 1994).

Rugosidad del Material de Arrastre (n_0)

El valor de n_0 corresponde a las características del material de arrastre, el cual es conformado por cantos rodados y guijarros o bolas de roca, para todas las corrientes de estudio, donde el material de mayor tamaño fue evidenciado en la quebrada La Linda. La determinación de este valor se realizó a partir de comparaciones visuales de acuerdo a lo evidenciado en campo (5.6.2.1.1) y a lo establecido en la literatura. Para el caso de las quebradas La Linda y Los Monos, el valor de n_0 se asumió de **0,028**, y para las quebradas Carmina y Manzanillo, y para el río Bolívar de **0,027**, dichos valores están de acuerdo con lo presentado en el Anexo y lo indicado en el Manual de Referencial del modelo HEC-RAS.

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. Las geoformas identificadas en el cauce de las corrientes de estudio corresponden a saltos, causados por la acomodación natural de las piedras. Para el caso de las quebradas Carmina y La Linda, y para el río Bolívar Arriba, se determinó un valor para n_1 de **0,005**. Para la quebrada Los Monos se escogió un valor de **0,004**, y para la quebrada Manzanillo de **0,003**.

Las quebradas Los Monos, Manzanillo, Carmina y La Linda, y el río Bolívar Arriba en el tramo de estudio presentan algunos cambios en la geometría de la sección, los cuales pueden denominarse como graduales, por ello, en todos los casos se le asignó un valor a n_2 de **0,003**.

En la quebrada Manzanillo se presentan algunas obstrucciones apreciables, generadas por las estructuras de paso, razón por la cual se asumió un valor de **0,002** para n_3 . Para el resto de las corrientes en estudio no se observaron obstrucciones considerables, por tanto, se asumió un valor de **0** para este parámetro.

La presencia de vegetación en todas las corrientes fue baja, por lo cual se determinó para todos los casos un valor de **0** para el parámetro n_4 .

Finalmente, todas las corrientes en el tramo de estudio son predominante rectas y los pequeños cambios en la dirección del flujo reflejan un mínimo aumento en el valor de la rugosidad, por la cual se escogió un valor de **1** para el parámetro m .

En la tabla 75, se presentan los resultados obtenidos de la aplicación del método mencionado.

Tabla 75. Cálculo de la rugosidad método de Cowan (Chow, 1994), en cada una de las corrientes.

Parámetro	Q. Los Monos	Q. Manzanillo	Q. Carmina	Q. La Linda	Río Bolívar Arriba
n_0	0.028	0.027	0.027	0.028	0.027
n_1	0.004	0.003	0.005	0.005	0.005
n_2	0.003	0.003	0.003	0.003	0.003
n_3	0	0.002	0	0	0
n_4	0	0	0	0	0
m	1	1	1	1	1
n	0.035	0.035	0.035	0.036	0.035

Las márgenes todas las corrientes en estudio están conformadas por terrenos que cuentan rastrojos bajos y maleza, por ello se escogió un valor para la rugosidad promedio en las orillas de **0,030**. Para muros y algunas secciones en concreto se asumió un valor de rugosidad de **0,016**.

- Condiciones de Frontera

Las corrientes en estudio discurren a través de canales con pendientes moderadas, donde es posible que se presenten tramos con altas velocidades y otros con velocidades menos importantes. Es por ello que se optó por realizar la simulación hidráulica bajo el régimen mixto el cual permite la combinación entre los flujos súper críticos y sub críticos, para lo cual es necesario ingresar la condición de frontera aguas arriba y aguas abajo de cada tramo. 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. En la tabla 76 se presentan los parámetros de entrada utilizados en el modelo hidráulico de las corrientes en estudio.

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.

Tabla 76. Resumen parámetros de entrada al modelo hidráulico.

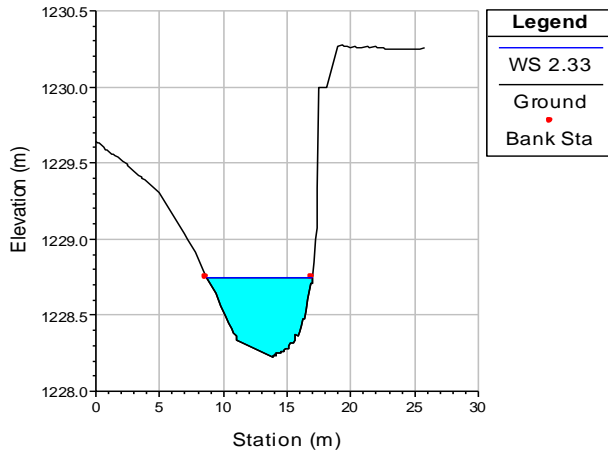
Parámetro	Q. Los Monos	Q. Manzanillo	Q. Carmina	Q. La Linda	Río Bolívar Arriba
n de manning canal	0.035	0.035	0.035	0.036	0.035
n de manning márgenes	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
Caudal de diseño (m ³ /s)	78.4	75.6	75.6	933.5	18.2
Tipo de Simulación	Mixta	Mixta	Mixta	Mixta	Mixta
Condición de Frontera aguas arriba (m/m)	0.100	0.040	0.003	0.035	0.040
Condición de Frontera aguas abajo(m/m)	Junction	Junction	0.0148	0.038	Junction
Coeficiente de Contracción	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
Coeficiente de Expansión	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3

- Calibración del Modelo Hidráulico

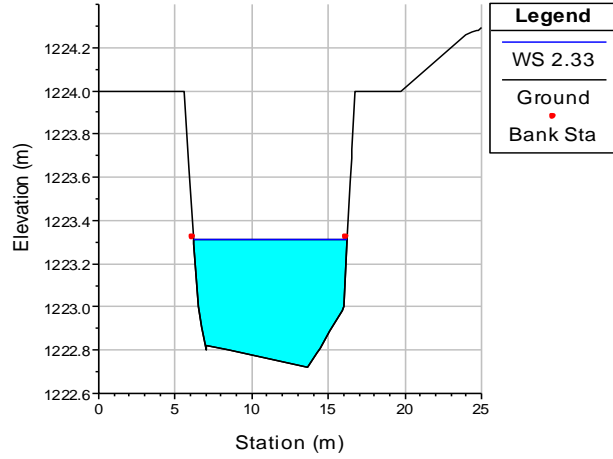
Parte fundamental de la aplicación de un modelo hidráulico en una corriente natural, consiste en la calibración del mismo, ya que a partir de este procedimiento se evaluará si los resultados obtenidos representan las condiciones reales del tránsito hidráulico en el canal de la quebrada.

Como se mencionó en la metodología, el proceso de calibración se realizó aplicando el concepto de Banca Llena (Posada, 1994). Se evaluó la altura de la lámina de agua alcanzada para el caudal con periodo de retorno de 2.33 años a través del canal de las quebradas Los Monos, Manzanillo, Carmina y La Linda, y del río Bolívar Arriba.

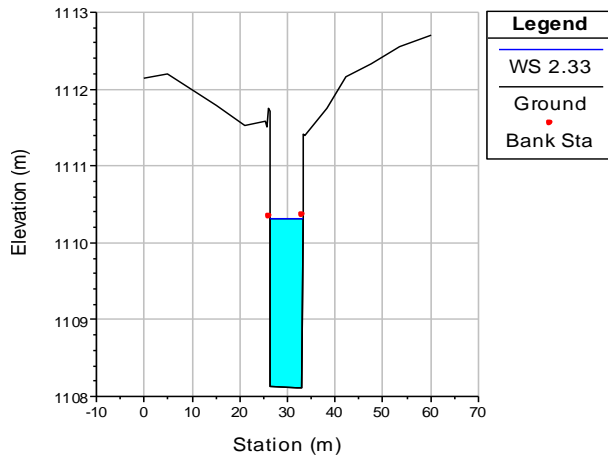
En la figura 71, se presenta la lámina de agua para los caudales con periodo de retorno de 2.33 años como proceso de calibración del modelo hidráulico.



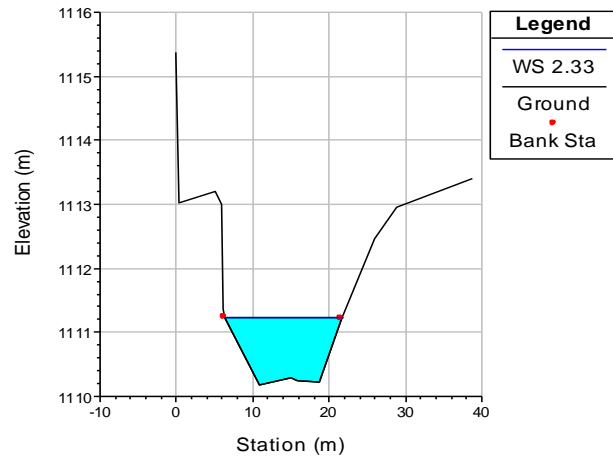
Sección 110 – Quebrada Los Monos



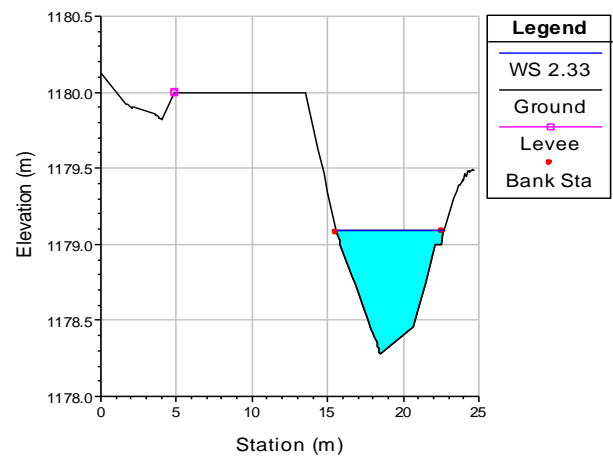
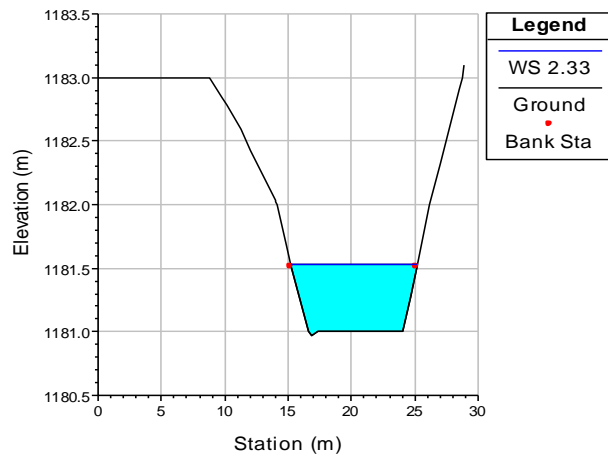
Sección 11.89 – Quebrada Los Monos



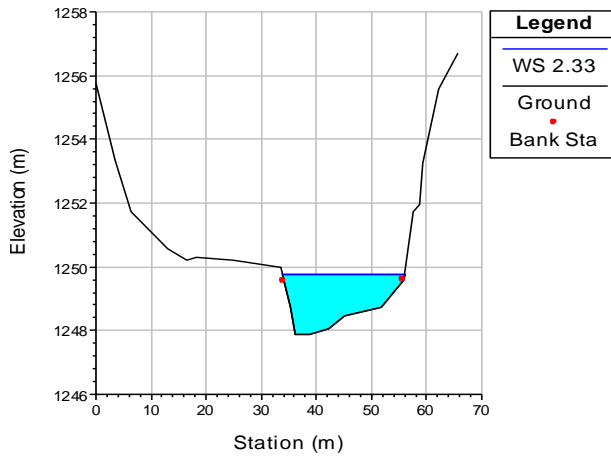
Sección 96 – Quebrada Carmina



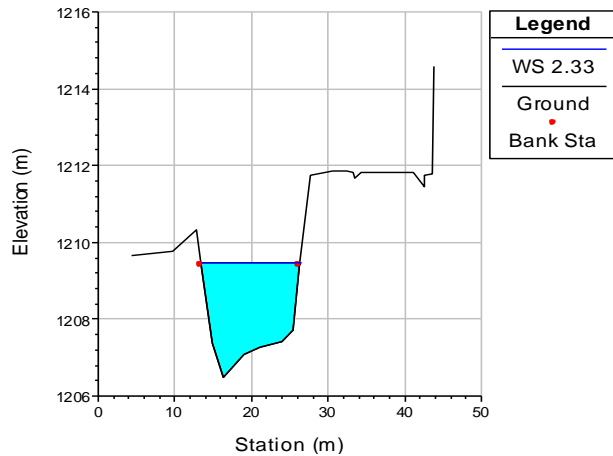
Sección 98 – Quebrada Carmina



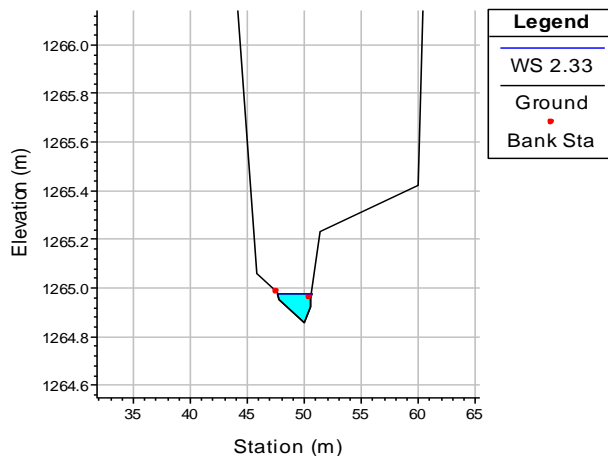
Sección 869 – Quebrada Manzanillo



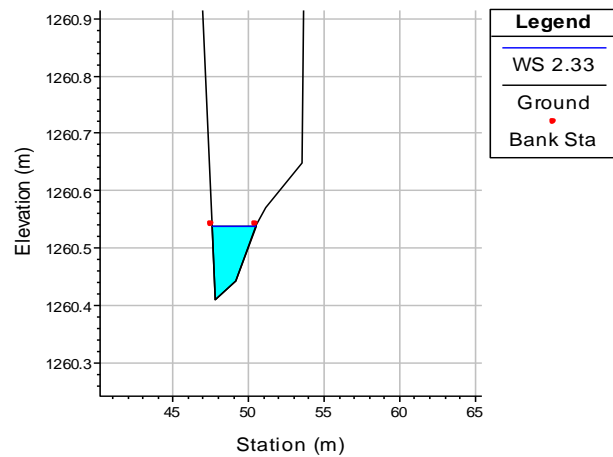
Sección 820 – Quebrada Manzanillo



Sección 293 - Quebrada La Linda



Sección 271 - Quebrada La Linda



Sección 990 – Río Bolívar Arriba

Sección 970 – Río Bolívar Arriba

Figura 65. Lámina de agua para TR 2.33 en las corrientes estudiadas.

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 de los cauces y márgenes de las corrientes analizadas.

- Resultados – Cálculo de Velocidades y Alturas de Lámina de Agua

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 las corrientes Los Monos, Manzanillo, Carmina, La Linda y río Bolívar Arriba, para determinar los principales

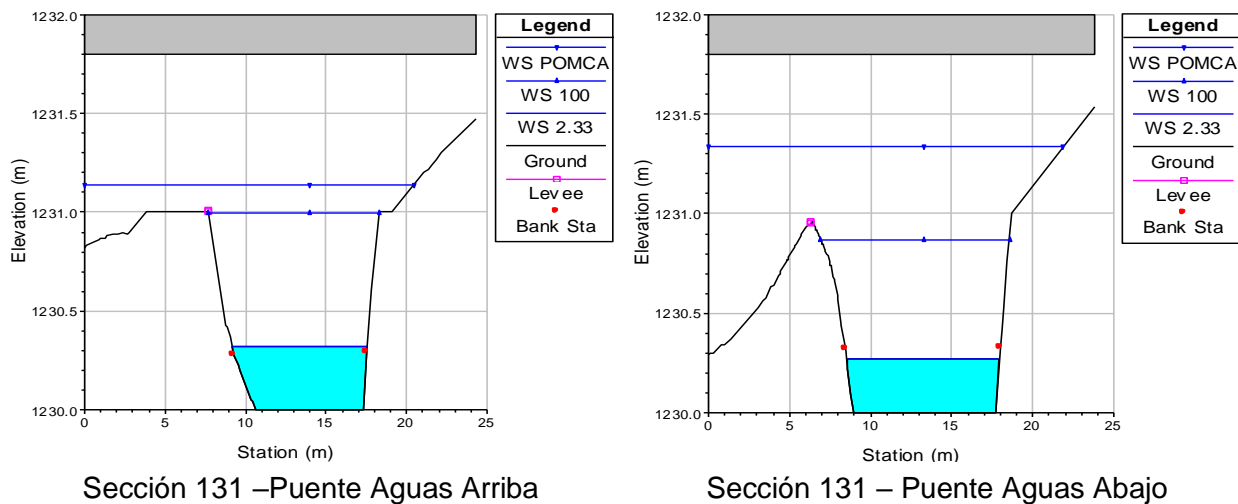
cambios entre las variables hidráulicas para los periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años. Los resultados presentados en este documento corresponden a los valores para los caudales con periodos de retorno de 2.33, 100 años y POMCA, los resultados completos se presentan en el Anexo 1.

- Quebrada Los Monos

En el tramo de estudio se presentan velocidades promedio para los caudales con periodos de retorno de 2,33, 100 años y POMCA de 3.24, 5.86 y 6.36 m/s, respectivamente, con valores máximos de 4.82, 6.72 y 7.66 m/s. Para esta quebrada, la profundidad promedio es de 0.47, 1.01 y 1.19 m, para los caudales mencionados.

Dentro de la geometría del tramo estudiado, se encuentran dos puentes existentes (peatonales), ubicados en las secciones 131 y 12 del modelo hidráulico. La estructura ubicada en la sección 131 cuenta con capacidad hidráulica para el paso de la creciente POMCA, conservando un borde libre de 0.6 m. Para el caso del puente de la sección 12, se presenta insuficiencia para el caudal POMCA, con una diferencia entre la lámina de agua y la cota inferior de la obra de 0.25 m.

En la figura 72, se presentan los puentes existentes sobre la quebrada Los Monos y la altura de la lámina de agua para los caudales con periodo de retorno de 2,33, 100 años y POMCA.



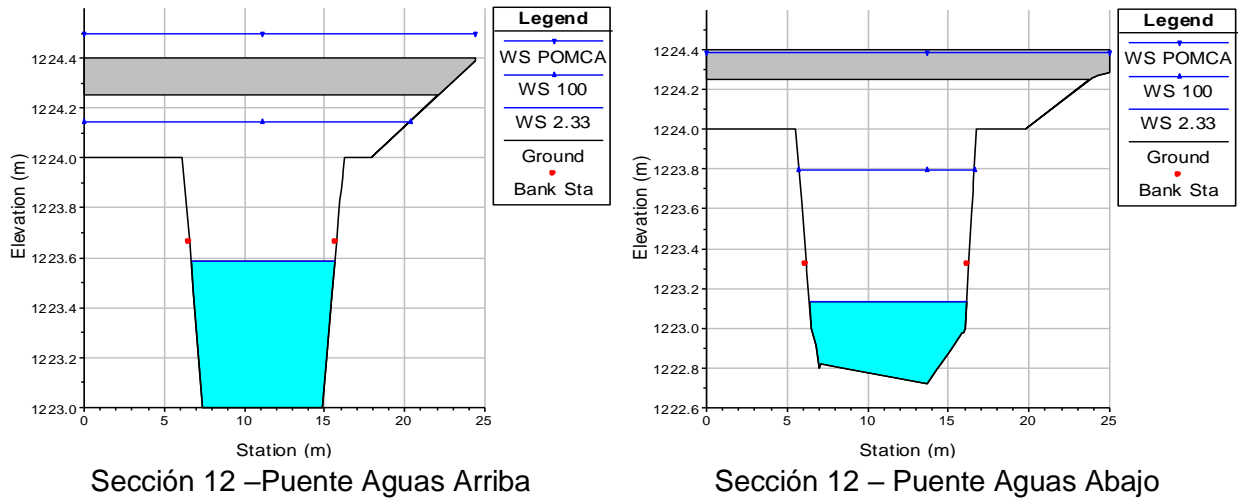


Figura 66. Secciones transversales en puentes existentes, quebrada Los Monos

En la figura 73, se presenta el perfil del flujo de la corriente para los caudales con periodos de retorno de 2,33, 100 años y POMCA. En el perfil se observa que la lámina de agua conserva un comportamiento estable de acuerdo a la pendiente del canal a pesar de las variaciones en el lecho.

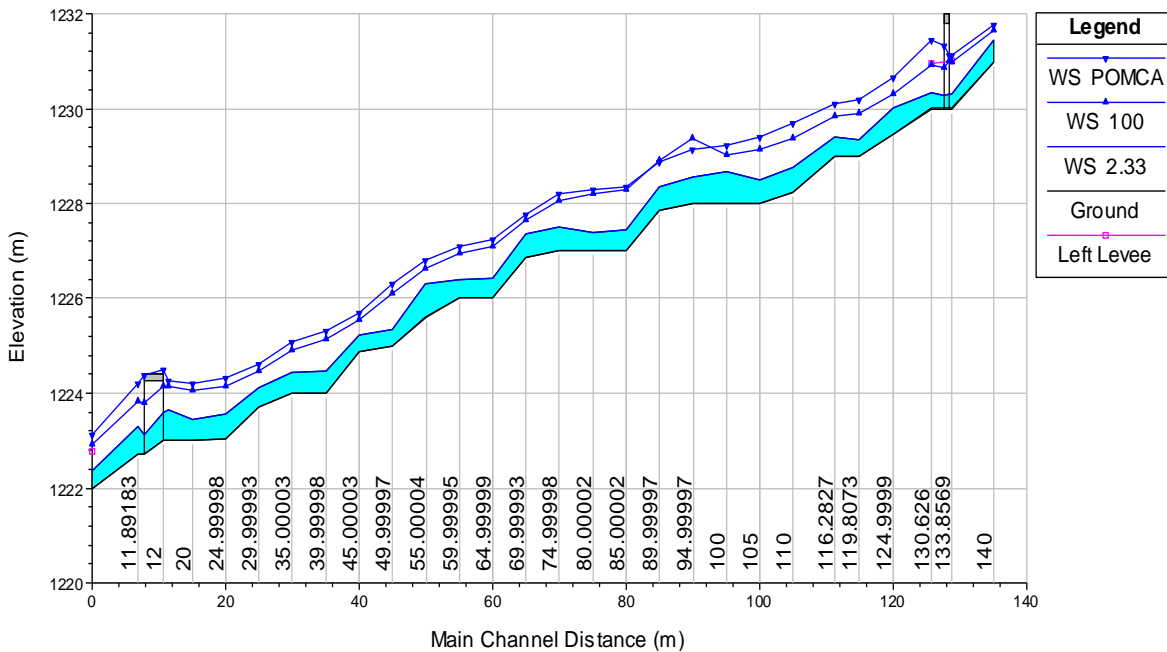


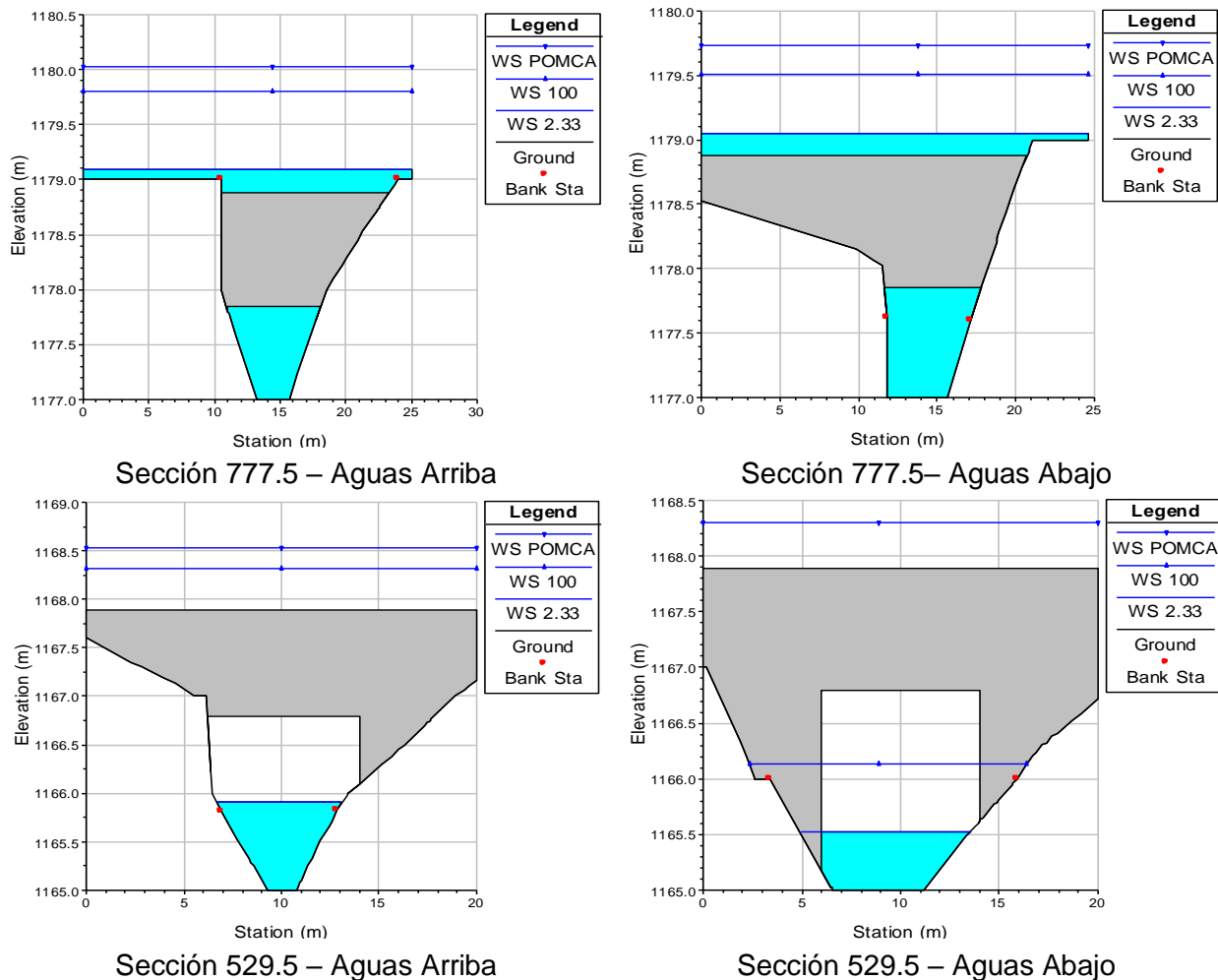
Figura 67. Perfil del flujo en el tramo de la quebrada Los Monos.

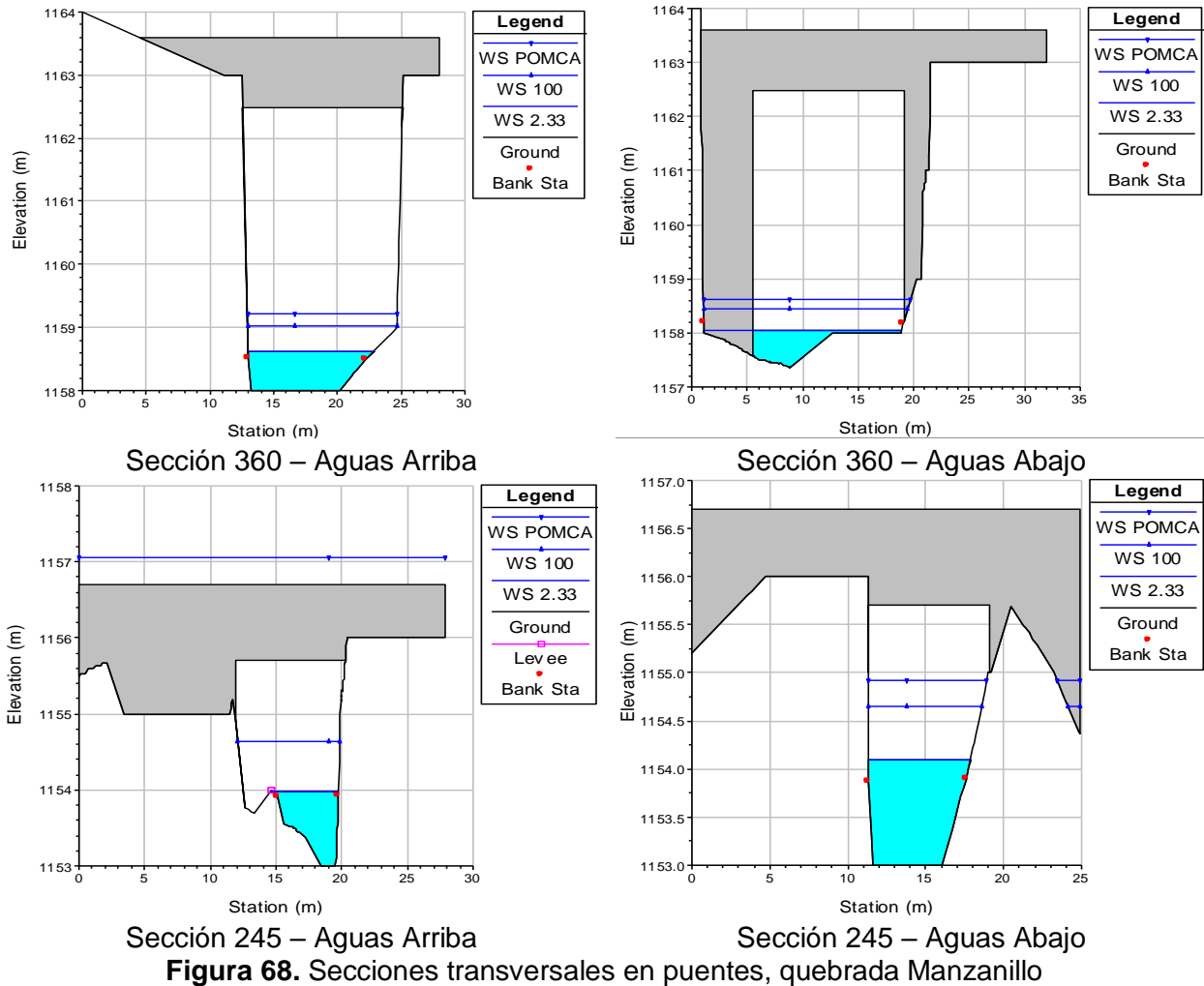
- Quebrada Manzanillo

Para esta corriente se presentan velocidades máximas de 5.11, 7.15 y 8.10 m/s, para los caudales con periodo de retorno de 2,33, 100 años y POMCA, cuyos valores medios son de 3.30, 5.31 y 5.76 m/s.

En el tramo estudiado de la quebrada Manzanillo, se encuentran un total de 4 puentes (vehiculares), y una cobertura. Las obras se ubican en las secciones 777.5, 529.5, 420, 360 y 245 del modelo, y según los resultados de la simulación hidráulica, sólo el puente ubicado en la sección 360 cuenta con suficiencia hidráulica para el paso de la creciente POMCA, conservando un borde libre de 3.5 m aproximadamente.

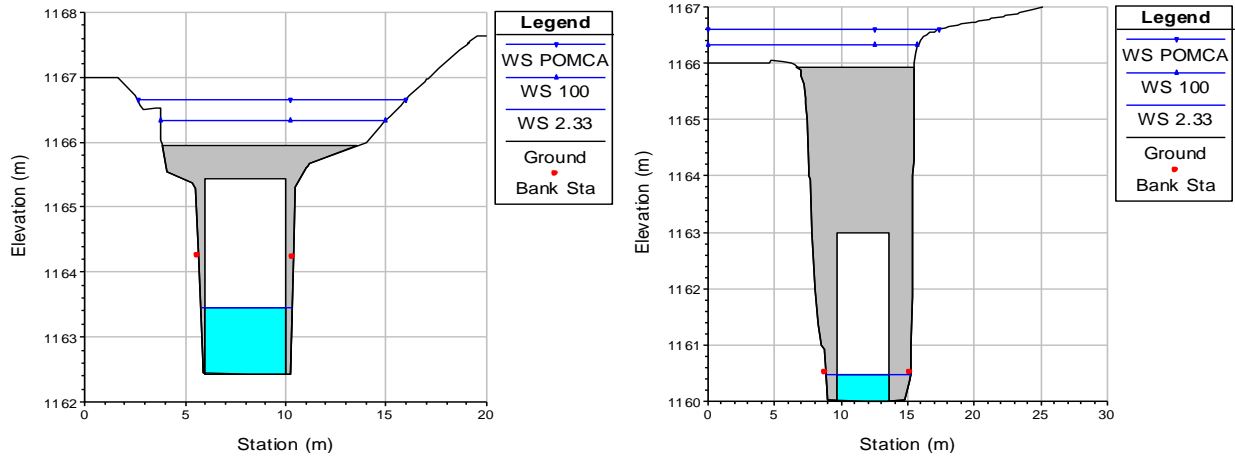
En la figura 74 se presentan las secciones transversales de las obras tipo puente.





Con relación a la profundidad del flujo en la quebrada Manzanillo, se presentan alturas promedio de 0.79, 1.58 y 1.88 m para los caudales con periodos de retorno de 2,33, 100 años y POMCA

En la figura 75 se presentan las secciones transversales de la obra de paso tipo cobertura.



Sección 420 – Aguas Arriba

Sección 420 – Aguas Abajo

Figura 69. Secciones transversales cobertura, quebrada El Manzanillo.

En la figura 76, se presenta el perfil del flujo para la quebrada El Manzanillo para los caudales con periodos de retorno de 2,33, 100 años y POMCA. En el perfil se evidencia que la lámina de agua conserva un comportamiento estable de acuerdo a la pendiente del canal a pesar de las variaciones en el lecho.

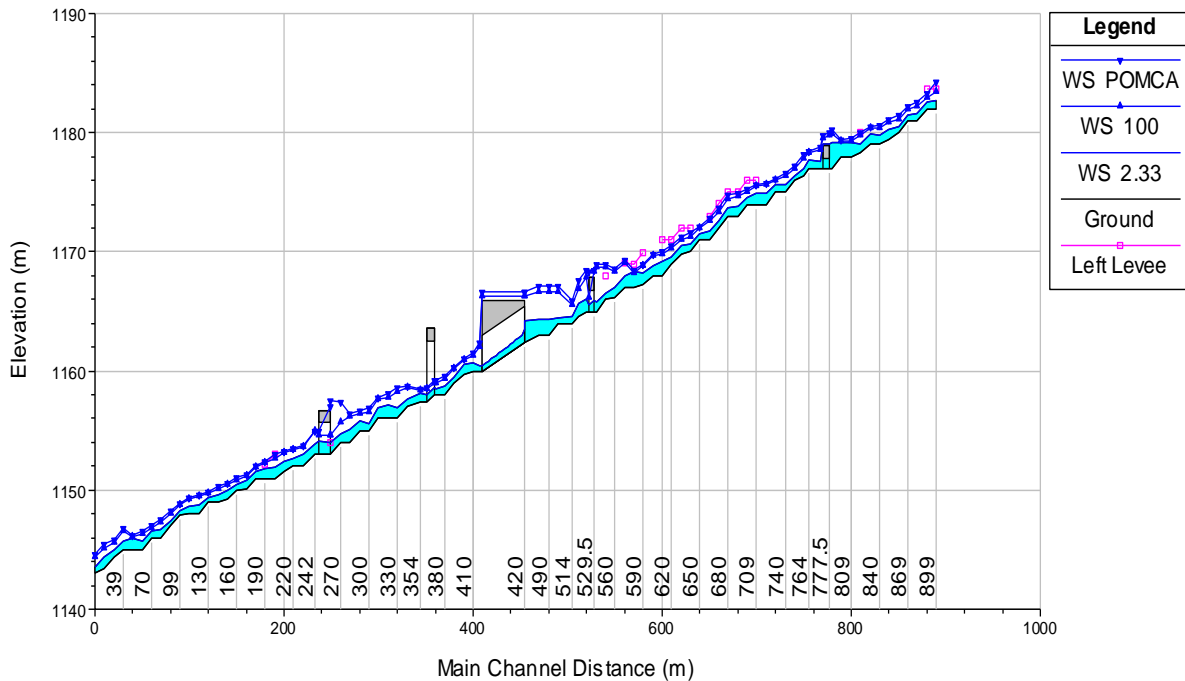


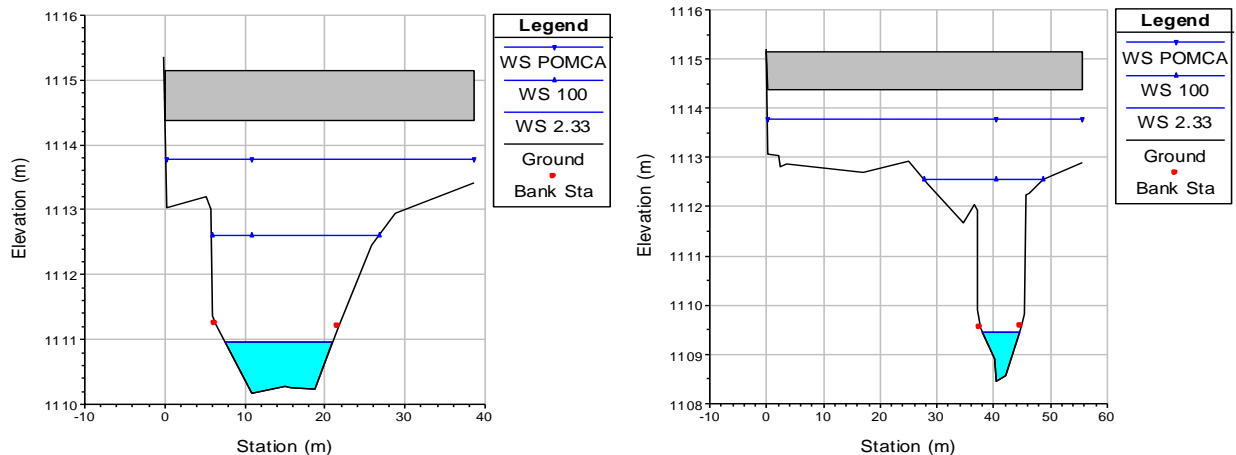
Figura 70. Perfil del flujo en el tramo de la quebrada El Manzanillo.

- Quebrada Carmina

Para el tramo de estudio, se encontraron velocidades medias para caudales con periodo de retorno de 2,33, 100 años y POMCA de 2.93, 2.51 y 2.28 m/s, respectivamente, donde sus valores máximos alcanzan a 4.82, 5.38 y 5.92 m/s para estos caudales. Para esta quebrada, la profundidad promedio es de 1.35, 3.31 y 4.35 m, para los caudales mencionados.

A lo largo de la quebrada Carmina, se presentan dos estructuras hidráulicas; un puente (vehicular) ubicado en la sección 97.5, y un box culvert en la sección 95.5. Según los resultados de la modelación hidráulica, ambas estructuras cuentan capacidad para el paso de la creciente POMCA, con un borde libre de 0.6 y 3,0 m, respectivamente.

En la figura 77 se presentan las secciones transversales del puente ubicado sobre el cauce de la quebrada Carmina y las láminas de agua para los caudales con periodos de retorno de 2.33, 100 años y POMCA.

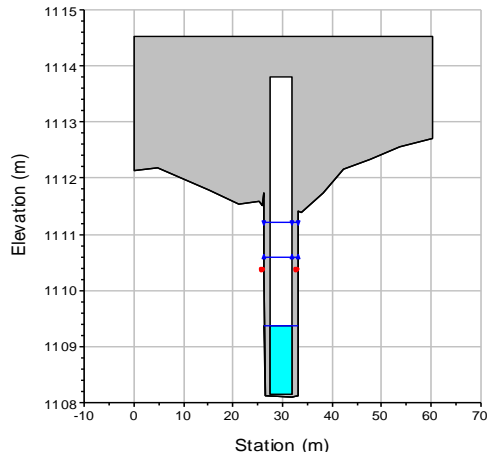


Sección 97.5 – Aguas Arriba

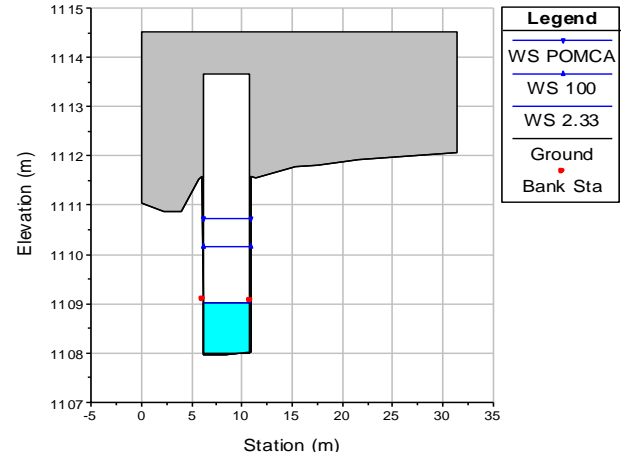
Sección 97.5 – Aguas Abajo

Figura 71. Secciones transversales en puente, quebrada Carmina.

En la figura 78 se presentan las secciones transversales de la obra de paso tipo cobertura.



Sección 95.5 – Aguas Arriba



Sección 95.5 – Aguas Abajo

Figura 72. Secciones transversales en cobertura, quebrada Carmina.

En la figura 79, se presenta el perfil del flujo de la quebrada Carmina para los caudales con periodo de retorno de 2,33, 100 años y POMCA. En el Perfil se puede observar que la lámina de agua conserva un comportamiento estable de acuerdo a la pendiente del canal a pesar de las variaciones en el lecho.

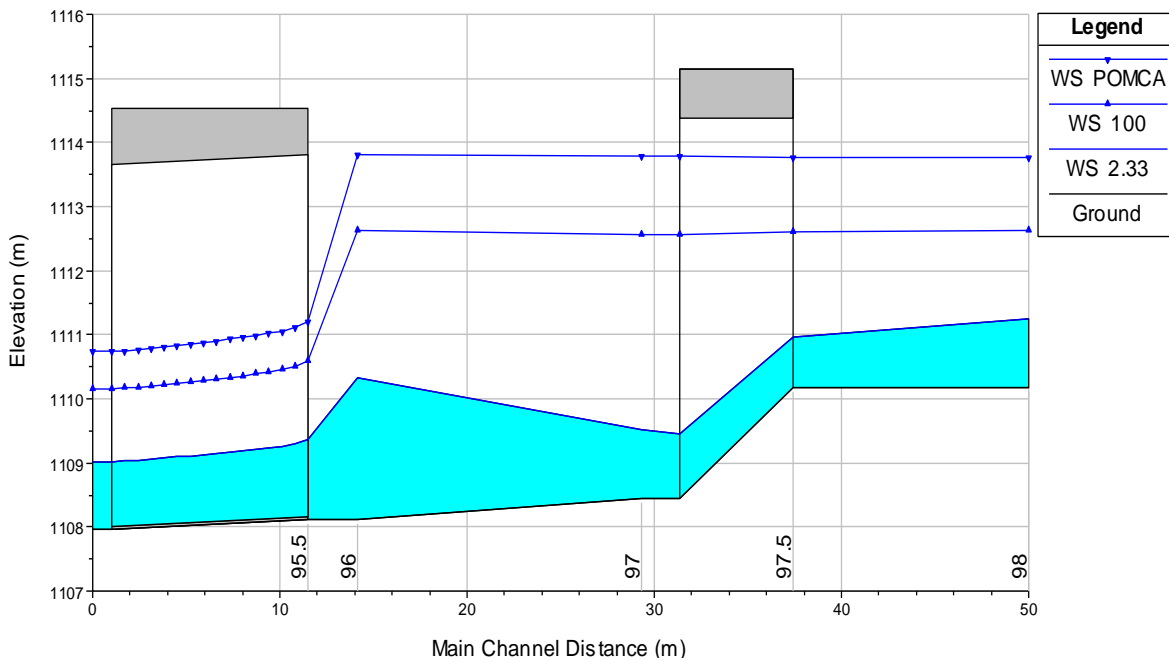


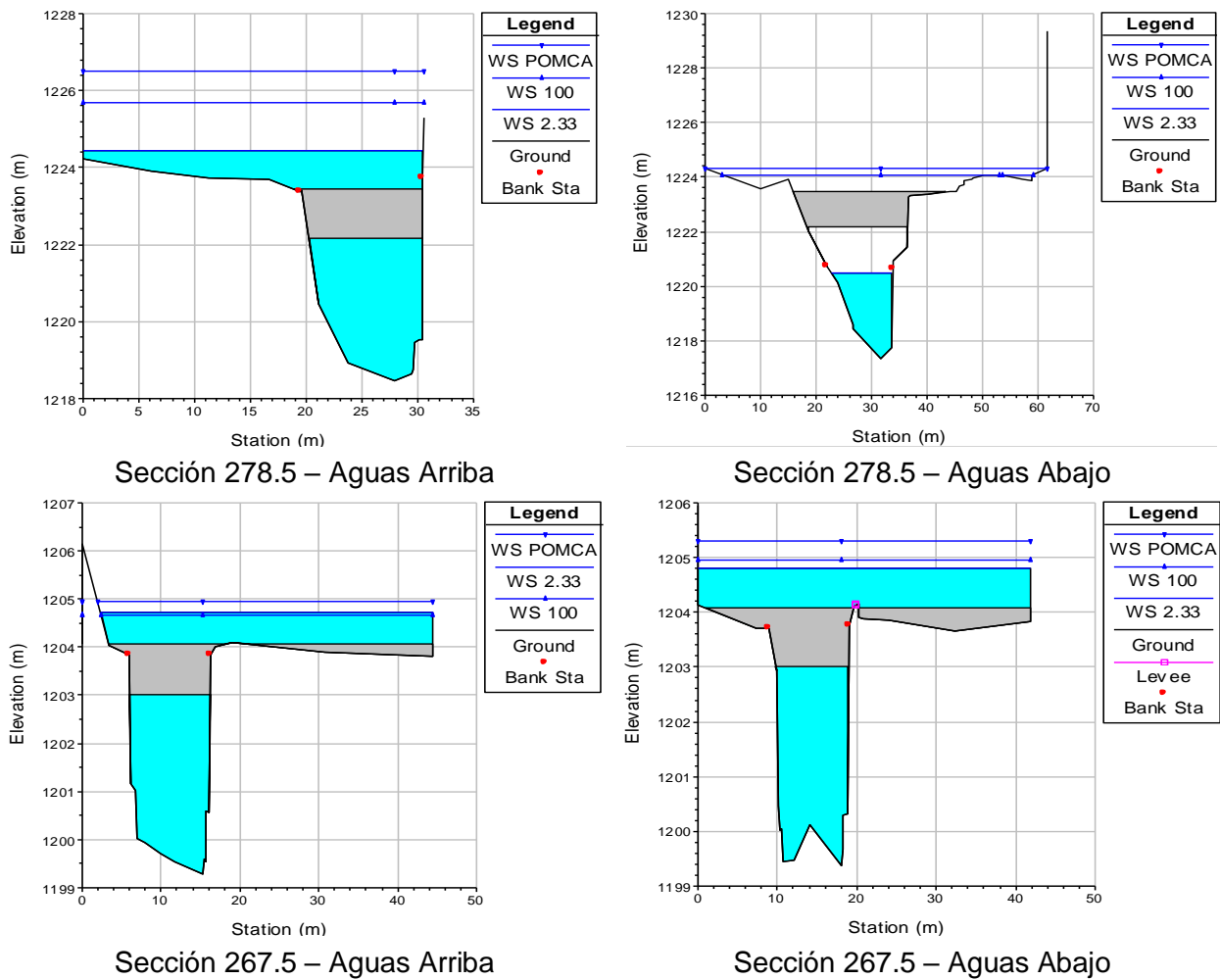
Figura 73. Perfil del flujo en el tramo de la quebrada Carmina.

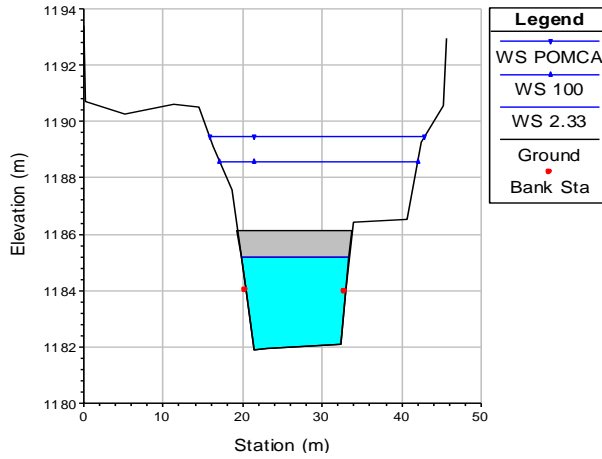
- Quebrada La Linda

En el tramo de estudio se presentan velocidades promedio para los caudales con periodos de retorno de 2,33, 100 años y POMCA de 6.83, 9.43 y 10.08 m/s, respectivamente, con valores máximos de 8.94, 12.03 y 12.64 m/s. Para esta corriente, la profundidad promedio es de 3.06, 4.49 y 5.28 m, para los caudales mencionados.

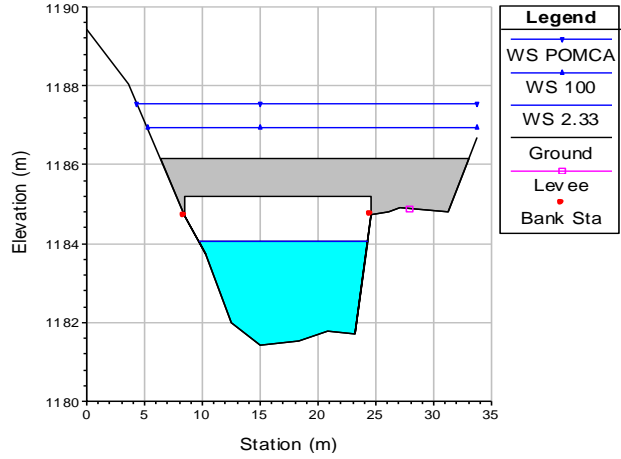
Dentro de la geometría del tramo estudiado, se encuentran seis puentes existentes (vehiculares), ubicados en las secciones 278.5, 267.5, 259.5, 249.5, 238.5 y 222.5 del modelo hidráulico, de los cuales sólo el penúltimo (238.5) cuenta con capacidad hidráulica para el paso de la creciente POMCA, conservando un borde libre aguas arriba de 0.6 m y aguas abajo de 5,0 m.

En la figura 80 se presentan las secciones transversales de las obras tipo puente.

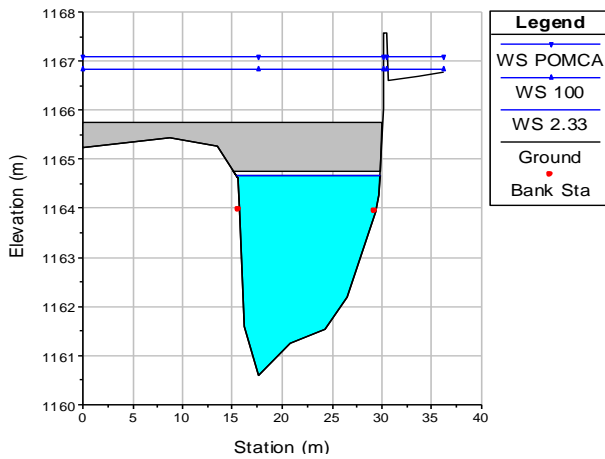




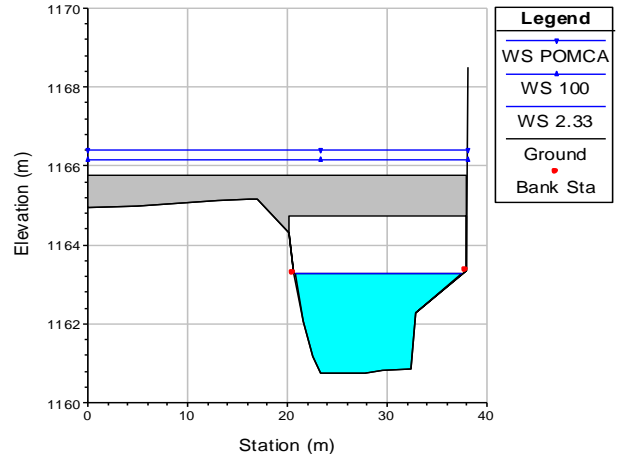
Sección 259.5 – Aguas Arriba



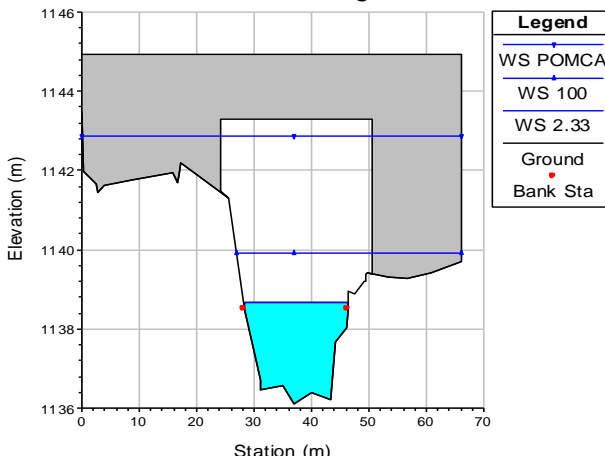
Sección 259.5 – Aguas Abajo



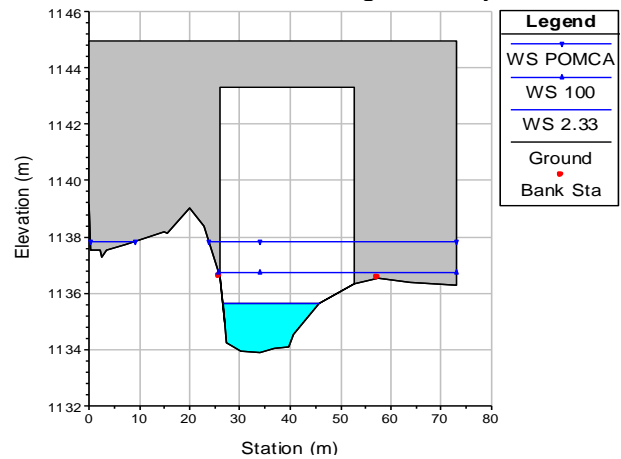
Sección 249.5 – Aguas Arriba



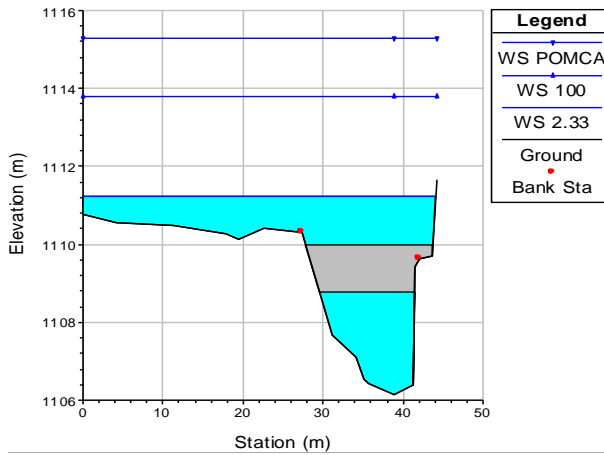
Sección 249.5 – Aguas Abajo



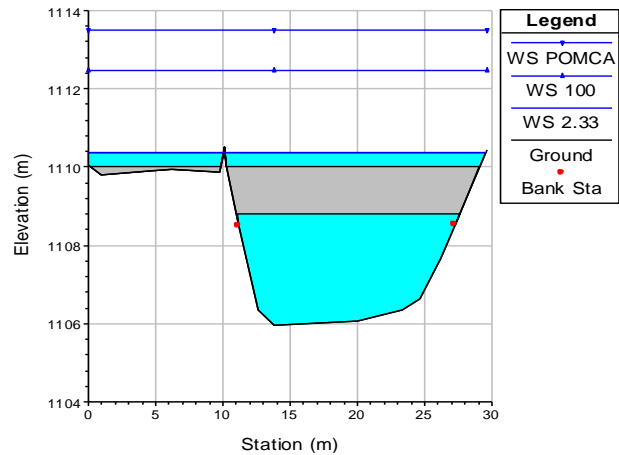
Sección 238.5 – Aguas Arriba



Sección 238.5 – Aguas Abajo



Sección 222.5 – Aguas Arriba



Sección 222.5 – Aguas Abajo

Figura 74. Secciones transversales en puentes existentes, quebrada La Linda.

En la figura 81 se presenta el perfil del flujo para la quebrada La Linda para los caudales con periodos de retorno de 2,33, 100 años y POMCA. En el perfil se puede evidenciar que la lámina de agua conserva un comportamiento estable de acuerdo a la pendiente del canal a pesar de las variaciones en el lecho.

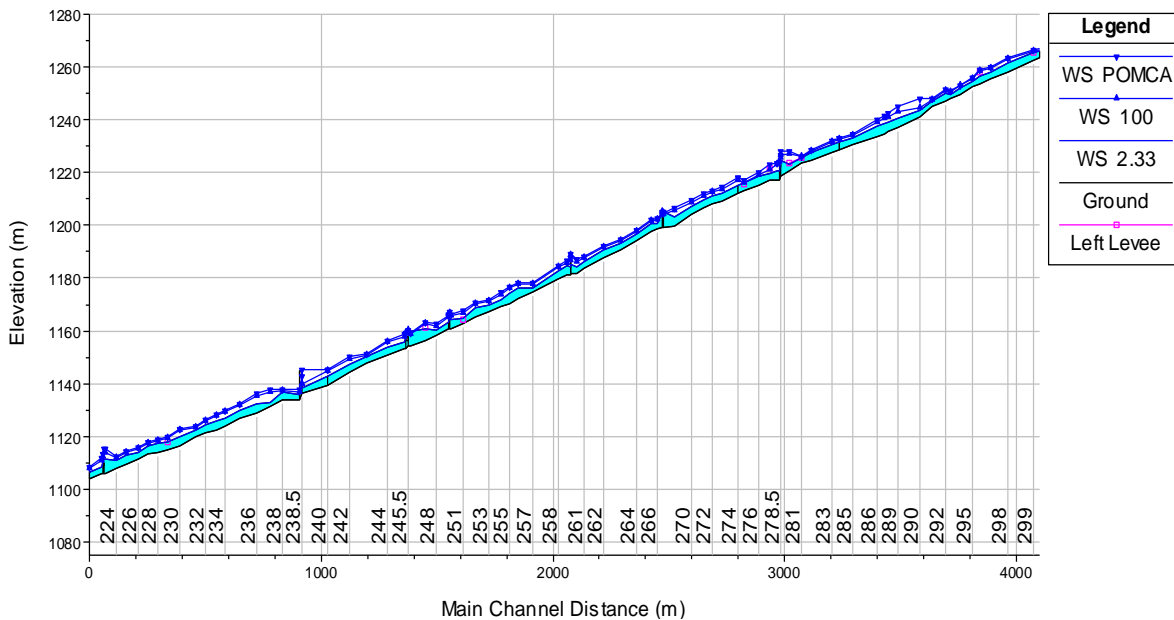


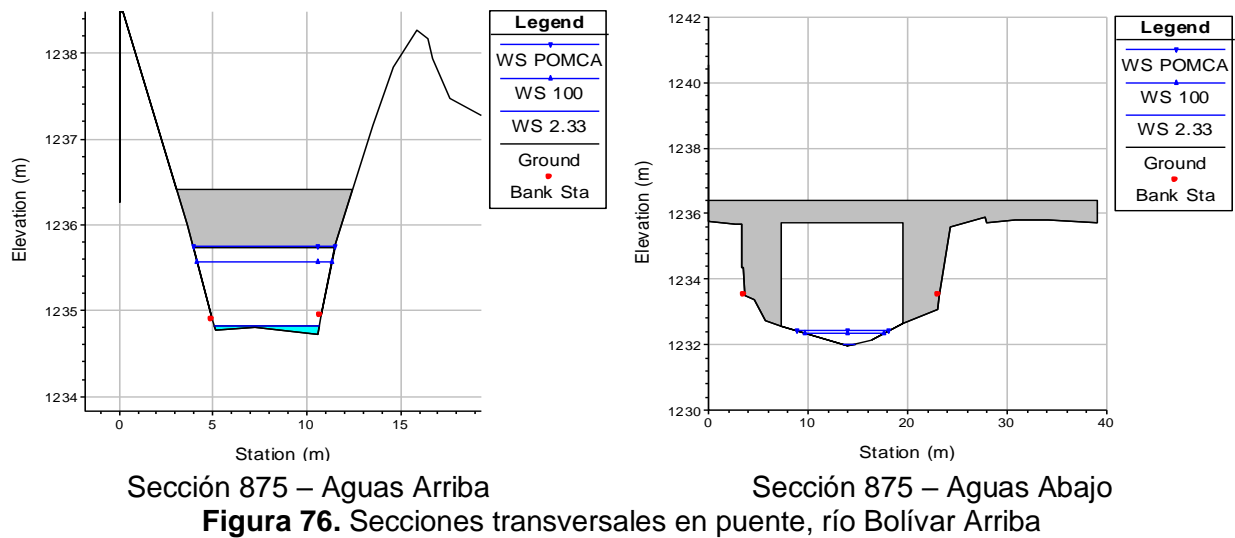
Figura 75. Perfil del flujo en el tramo de la quebrada La Linda.

- Río Bolívar Arriba

Para esta corriente se presentan velocidades máximas de 1.60, 6.42 y 7.15 m/s, para los caudales con periodo de retorno de 2,33, 100 años y POMCA, cuyos valores medios son de 1.0, 4.28 y 4.89 m/s.

Dentro del tramo estudiado del río Bolívar Arriba, se encuentra un puente (vehicular) ubicado en la sección 875. Según los resultados del modelo hidráulico, al comienzo del puente la lámina de agua para el caudal POMCA coincide con la cota inferior de la obra, presentando insuficiencia hidráulica, sin embargo, el flujo se acelera con un comportamiento rápidamente variado y encuentra capacidad hidráulica al finalizar ésta, conservando un borde libre de 3,0 m aproximadamente.

En la figura 82 se presentan las secciones transversales de la obra tipo puente.



Con relación a la profundidad del flujo en el río Bolívar Arriba, se presentan alturas promedio de 0.21, 0.74 y 0.84 m para los caudales con periodos de retorno de 2,33, 100 años y POMCA.

En la figura 83 se presenta el perfil del flujo para la quebrada el río Bolívar Arriba, para los caudales con periodos de retorno de 2,33, 100 años y POMCA. En el perfil se evidencia que la lámina de agua conserva un comportamiento estable de acuerdo a la pendiente del canal a pesar de las variaciones en el lecho.

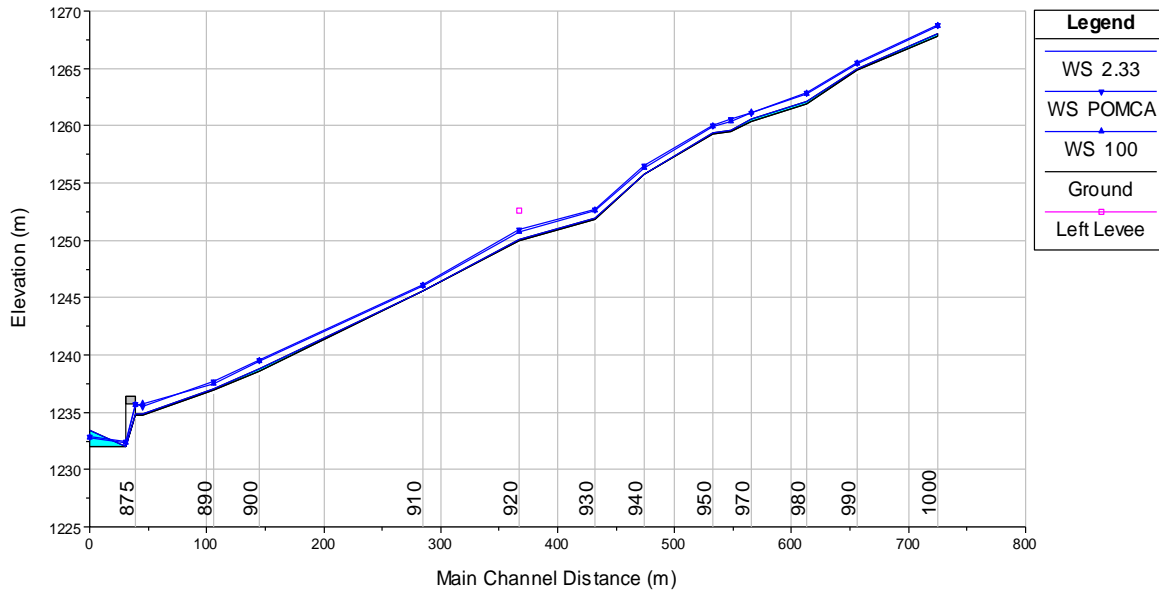


Figura 77. Perfil del flujo en el tramo del río Bolívar Arriba.

- Mapas de Inundación

En las siguientes figuras se presentan las manchas de inundación asociadas al caudal POMCA en las quebradas Los Monos, Manzanillo, Carmina y La Linda, y en el río Bolívar Arriba.

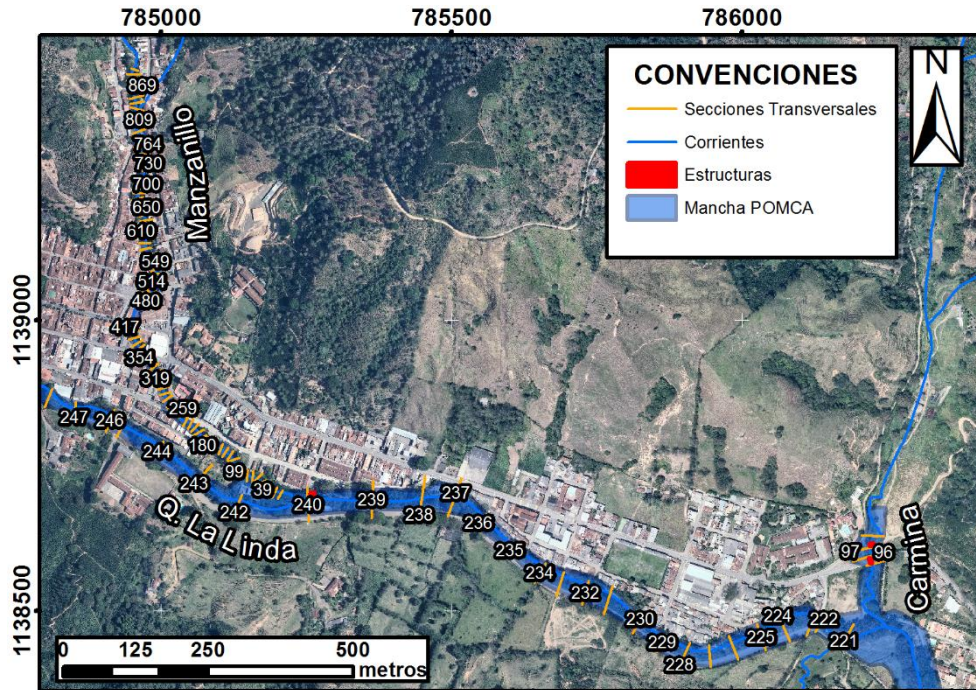


Figura 78. Mancha de inundación para TR POMCA, Quebradas La Carmina, Manzanillo y La Linda (aguas abajo).

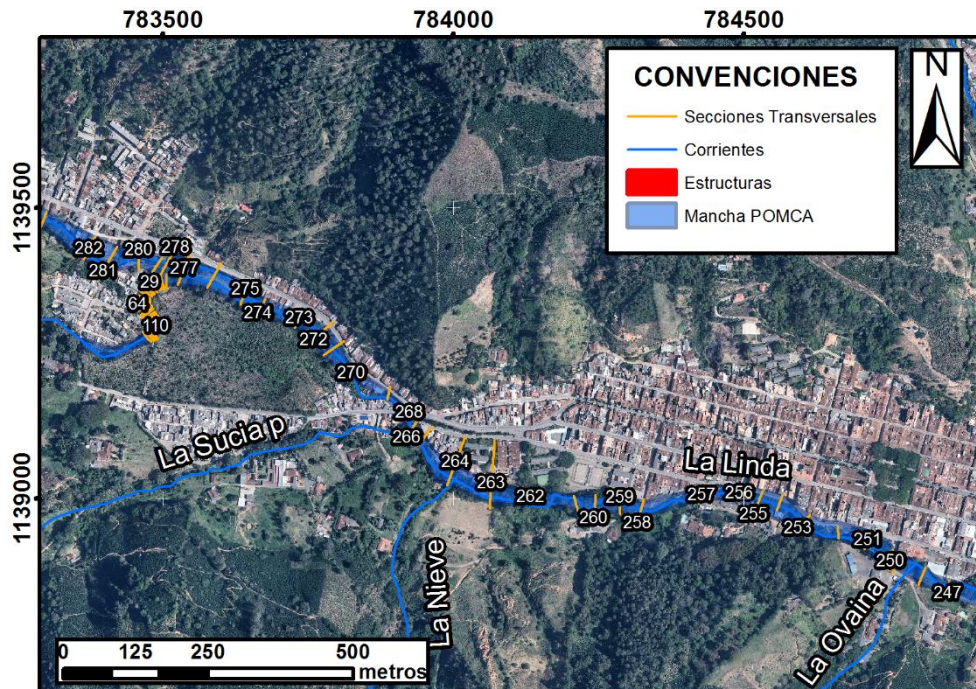


Figura 79. Mancha de inundación para TR POMCA, Quebradas La Linda (zona media) y Los Monos.

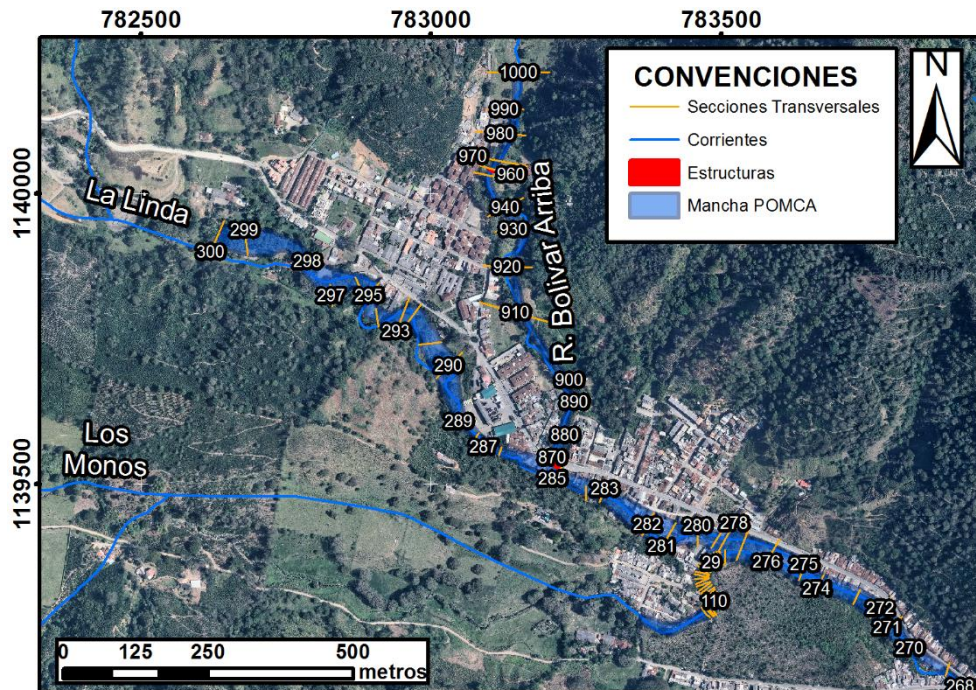


Figura 80. Mancha de inundación para TR POMCA, Quebradas La Linda y Río Bolívar Arriba.

Al analizar la mancha de inundación asociada al caudal con periodo de retorno de 100 años, mayorado un 40% según la recomendación del POMCA, se evidencia diversos puntos de afectación, los cuales son descritos en la tabla 77:

Tabla 77. Puntos de afectación por inundación.

Corriente	Dirección	Afectación
La Linda	Calle 50 con Carrera 74	Desbordamiento sobre la margen izquierda, inundado predios.
	Calle 50 con Carrera 69	Desbordamiento sobre la margen izquierda, inundado parte posterior de la estación de servicio.
	Calle 50 con Carrera 68B	Confluencia con Río Bolívar Arriba - Desbordamiento sobre la margen izquierda, inundado la vía.
	Calle 50 con Carrera 64	Desbordamiento sobre la margen izquierda desde la confluencia con el río Bolívar Arriba.
	Calle 50 entre Carreras 64 y Carrer 48	Desbordamiento sobre la margen izquierda en viviendas asentadas sobre el retiro.
	Calle 47 con Carrera36	Desbordamiento sobre la margen derecha, inundando a vía.
Carmina	Todo el tramo	Inundación sobre las zonas de retiro y vías.

Manzanillo	Calle 54 con Carrera 47	Inundación de las vías aledañas por insuficiencia hidráulica de la obra de cruce.
	Calle 54 entre Carreras 48 y 47	Inundación en inmediación de la obra de cruce.
	Calles 50 y 51 con Carreras 47B	Se recomienda realizar revisión del box culvert sobre el cual se construyó vivienda.
Bolívar Arriba	Calle 50 con Carrera 64	Inundación en ambas márgenes, debido a confluencia con río Bolívar Arriba

5.6.3 Condiciones geomorfológicas

En el mapa geomorfológico de la cabecera municipal de Ciudad Bolívar, se identifican las formas de origen aluvial y aluvio – torrenciales asociadas a las quebradas La Linda, Los Monos, Manzanillo y La Carmina principalmente, que muestran evidencias morfológicas de inundación y eventos torrenciales asociado a períodos de máximas precipitaciones.

Se caracteriza por corresponder a zonas de pendientes planas de aspecto irregular, localizadas contiguas y paralelas al cauce de las quebradas, la amplitud varía en cada corriente y se reporta para la quebrada La Linda una amplitud máxima sobre la margen sur, de hasta 100 m aproximadamente desde el cauce actual y depositado en abanicos, terrazas y planos aluvio torrenciales. Se destaca que muchas de las corrientes de la cabecera urbana las evidencias morfológicas son poco apreciables debido a los altos procesos de ocupación de la zona, sin embargo existen reportes de la ocurrencia de eventos recientes asociados a dichas quebradas, además de observarse los depósitos aluvio – torrenciales asociados a ellas.

Se destaca que la superficie de inundación de estas quebradas ha sido altamente intervenida mediante la realización de explanaciones y la conformación de llenos para su adecuación urbanística, lo que enmascara las condiciones originales del terreno.

5.6.4 Zonificación de amenaza por inundaciones

La condición de amenaza por inundación está basada en el análisis hidráulico que arroja la mancha de inundación TR POMCA y la condición geomorfológica, que ha sido ajustada de acuerdo con las condiciones propias del municipio, es decir, la zona de amenaza combina los resultados arrojados por los dos métodos de análisis, primando en algunos casos el análisis hidráulico y en otros el análisis geomorfológico (Figura 81)

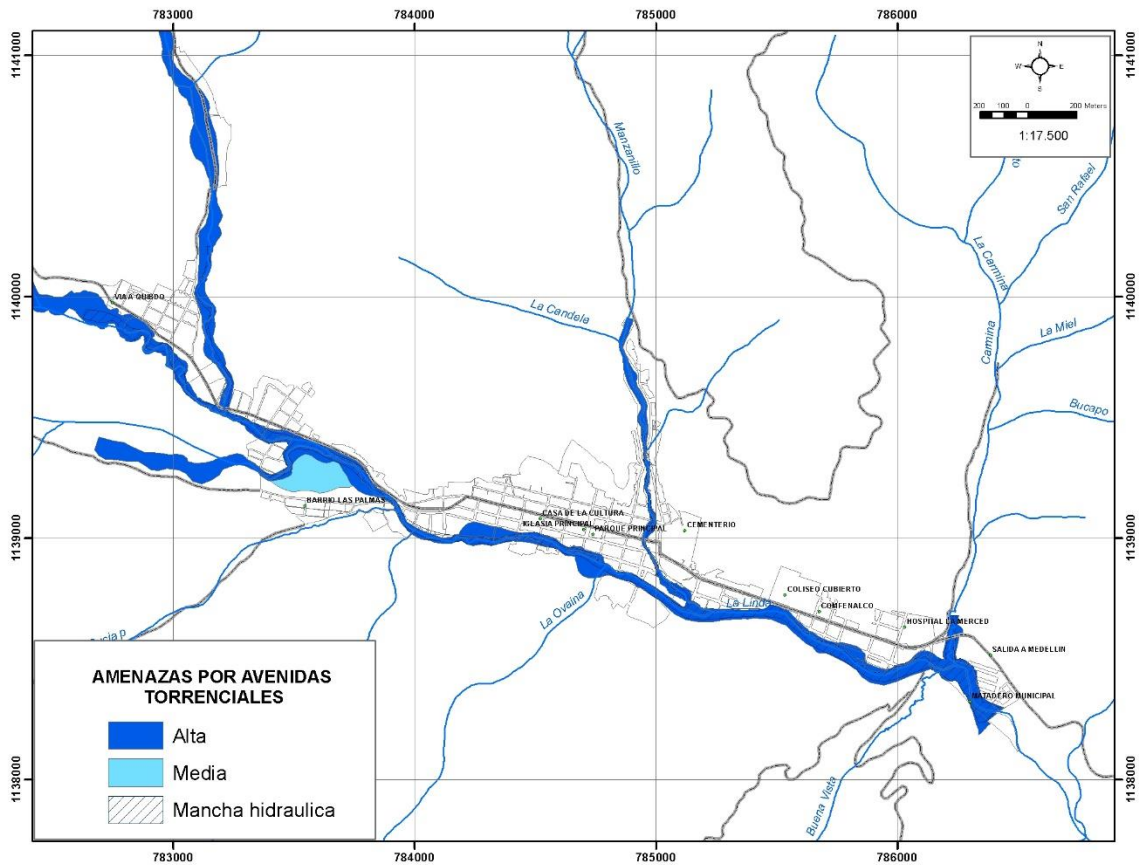


Figura 81. Mapa de amenaza por avenidas torrenciales en la cabecera municipal de Ciudad Bolívar

Amenaza Alta: Se incluye como zona de amenaza alta a la mancha de inundación asociada al caudal POMCA en las quebradas La Linda, Manzanillo y La Carmina, obtenida a partir de los resultados del estudio hidrológico e hidráulico de este estudio. Esta corresponde a una franja continua que se extiende sobre ambas márgenes de las quebradas, con una mayor afectación sobre la margen sur y que en algunos tramos se encuentra controlada por la presencia de intervenciones antrópicas.

Igualmente se define como zonas de amenaza alta por avenidas torrenciales, las zonas que desde el punto de vista geomorfológico exhiben evidencias de la ocurrencia de antiguos eventos recurrentes, como los asociados a planos fluvio – torrenciales. Estas zonas de amenaza alta se localizan de forma discontinua a lo largo de todos los cauces que drenan la zona, destacándose los localizados al oriente en los barrios La Floresta y La Carmina, y en el barrio centro.

Amenaza media: Las zonas de amenaza media por avenidas torrencial se encuentran conformadas principalmente por las zonas que desde el punto de vista geomorfológico exhiben evidencias de la ocurrencia de antiguos eventos extremos o de periodos de alta precipitación, como los asociados al denominado abanico fluvio – torrencial, localizado en el barrio Pio XII, sobre la margen oriental de la quebrada La Sucia en la zona de confluencia con la quebrada Los Monos.

5.7 ZONAS CON CONDICIÓN DE RIESGO

De acuerdo con lo establecido en el decreto 1807 de 2014, las áreas con condición de riesgo son aquellas zonas clasificada como de amenaza alta que estén urbanizadas, ocupadas o edificadas así como en las que se encuentren elementos del sistema vial, equipamientos e infraestructura de servicios públicos. Se destaca que igualmente dentro del párrafo del Artículo 12 del Decreto 1807 de 2014, las zonas de amenaza media para las cuales en la revisión o expedición de un nuevo POT se proponga el cambio de densidad o un cambio en los usos del suelo que pueda generar o incrementar el riesgo en la zona, se consideran como áreas con condición de riesgo, por lo que en este informe igualmente se incluyen dentro de esta categoría las zonas de amenaza media urbanizadas.

La delimitación de las zonas con condición de riesgo se llevó a cabo tomando como referencia los resultados obtenidos en la zonificación de amenazas por movimientos en masa e inundaciones, además de incluir otras variables como las características geomorfológicas y el catastro, esto con fin de que se incluya la totalidad de las construcciones asentadas en las zonas de amenaza alta y medias, y cuyas características morfológicas condicionen la estabilidad de la zona (Figura 82)

- Zonas con condición de riesgo por movimientos en masa: Asociado a la amenaza alta y media por movimientos en masa se identifican varios sectores, localizados la mayor parte de ellos hacia el norte de la cabecera, donde se destacan:
 - ✓ Zona central del barrio Pio XII, en el sector comprendido entre las carreras 64 y 66 con calles 49 y 50.
 - ✓ Extremo nororiental del barrio La Cabaña, entre las carreras 65 y 66 con calles 52 y 53.
 - ✓ Hacia el costado norte de los barrios Chapinero, La Cumbre y Obrero, como una franja delgada y alargada que se extiende desde la carrera 54 hasta las 64ª con calle 50ª.
 - ✓ Barrio Manzanillo en su margen oriental

- ✓ Al suroriente del barrio San Vicente hacia la base del cementerio
- Zonas con condición de riesgo por avenidas torrenciales: Dentro de la cabecera urbana se identifican una serie de zonas localizadas de forma discontinua a lo largo de todos los cauces que drenan la zona, destacándose los localizados al oriente en los barrios La Floresta y La Carmina, y en el barrio centro. A continuación se describen los principales zonas:
 - ✓ La margen occidental de la quebrada Cantarrana, en el barrio El Olimpo, en el sector comprendido entre la carrera 69 y la quebrada con la calle 50. En este sector se localizan un aproximado de 25 construcciones, muchas de ellas localizadas muy cerca al cauce actual de la quebrada. De acuerdo a información suministrada por la comunidad, en esta zona las inundaciones son recurrentes.



Foto 97. Características de las construcciones localizadas contiguas a la quebrada en el barrio Olimpo

- ✓ Una franja alargada que se extiende desde el barrio Chapinero hasta la Sucia en el sector comprendido entre la calle 50 al norte y la quebrada La Linda al sur. Este sector presenta condiciones iguales a la anteriormente descrita donde se identifican viviendas e infraestructuras localizadas directamente sobre el cauce de la quebrada. Se destaca que en este tramo igualmente se identifican procesos de socavación que comprometen la estabilidad de la zona
- ✓ Al sur de los barrios Olimpo y La Cabaña en el tramo comprendido entre la calle 50 al norte y la quebrada La Linda al sur. Este sector presenta una importante densidad de viviendas, las cuales se encuentran localizadas encima del cauce de la quebrada, generando estrangulamientos y disminución en la capacidad hidráulica de la misma.



Foto 98. Características de las construcciones localizadas contiguas a la quebrada La Linda en el barrio La Cabaña

- ✓ En el barrio la sucia en la zona de confluencia de la quebrada La Sucia en la Linda, donde se identifican problemas de insuficiencia hidráulica asociado a las estructuras localizadas en dicha zona.
- ✓ Al sur occidente del barrio centro, al oriente del colegio Maria Auxiliadora, donde se identifican importantes equipamientos como la placa polideportiva e indeportes.
- ✓ En los barrios San Judas y Manzanillo como una franja alargada en sentido norte – sur que se extiende desde el inicio de la zona urbana al norte hasta la calle 54 y limitado al oriente por la calle 47 y al occidente por la calle 48. Se destaca que este corresponde a un sector con alta densidad de viviendas y la amenaza se asocia a la quebrada Manzanillo.
- ✓ En el barrio La Floresta asocia a la margen norte de la quebrada La Linda en el tramo comprendido entre la calle 48 y la quebrada, donde las características son iguales a las de los tramos anteriores.

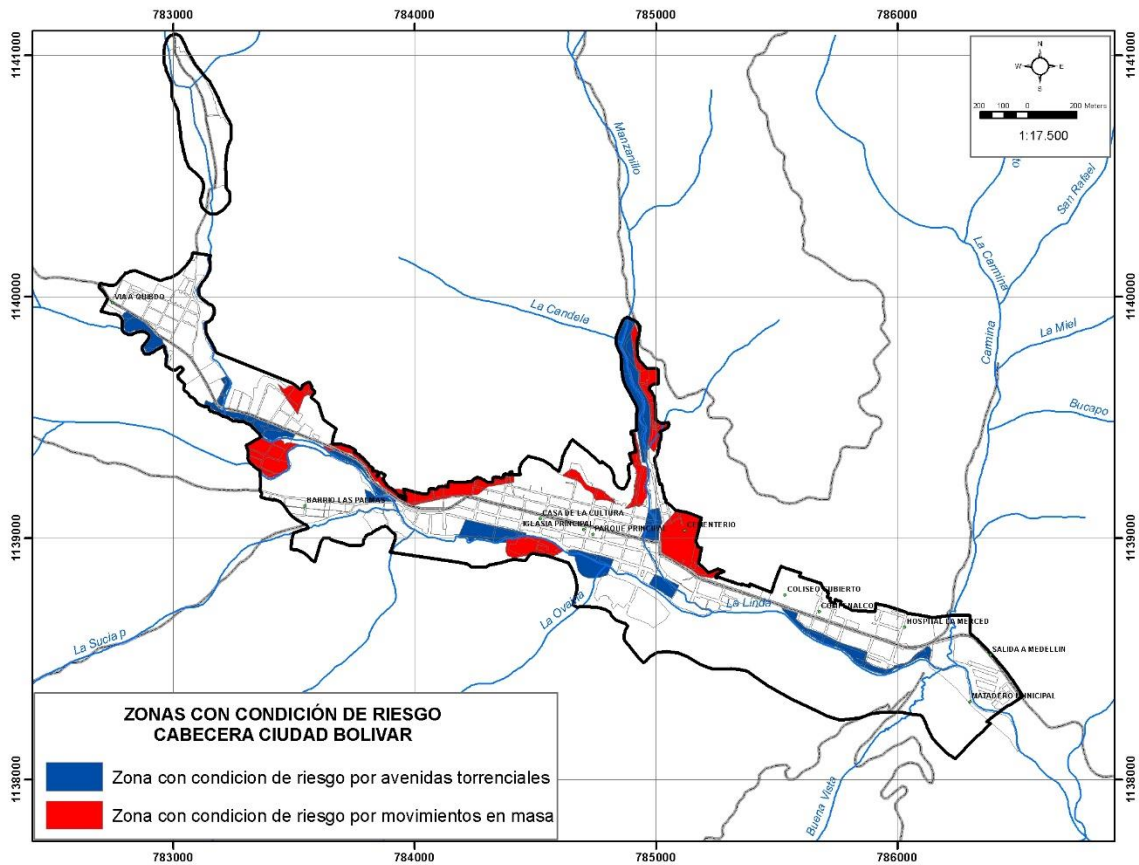


Figura 82. Mapa de zonas con condición de riesgo en la cabecera municipal de Ciudad Bolívar.

5.8 ZONAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA

Las zonas con condición de amenaza son zonas clasificadas como de amenaza media y alta en las que se establezca en el POT la necesidad de clasificarlas como suelo urbano, de expansión o centros poblados rurales para permitir su desarrollo.

Para la cabecera urbana del Municipio de Ciudad Bolívar se definen zonas con condición de amenaza por movimientos en masa y por inundaciones, distribuidas de la siguiente forma (Figura 83):

- Zonas con condición de amenaza por movimientos en masa: Corresponden principalmente a zonas de amenaza media, distribuidas hacia el costado sur y

asociado principalmente a los suelos de expansión que se extienden hacia el sur de los barrios La Independencia, Centro y La Playa.

- Zonas con condición de amenaza por avenidas torrenciales: En los tramos de las quebradas que se les realizó estudios hidráulicos e hidrológicos de detalle en este proyecto, no son catalogadas como con condición de amenaza por avenidas torrenciales, debido a que ya tienen el estudio detallado, por lo que son consideradas zonas de amenaza.

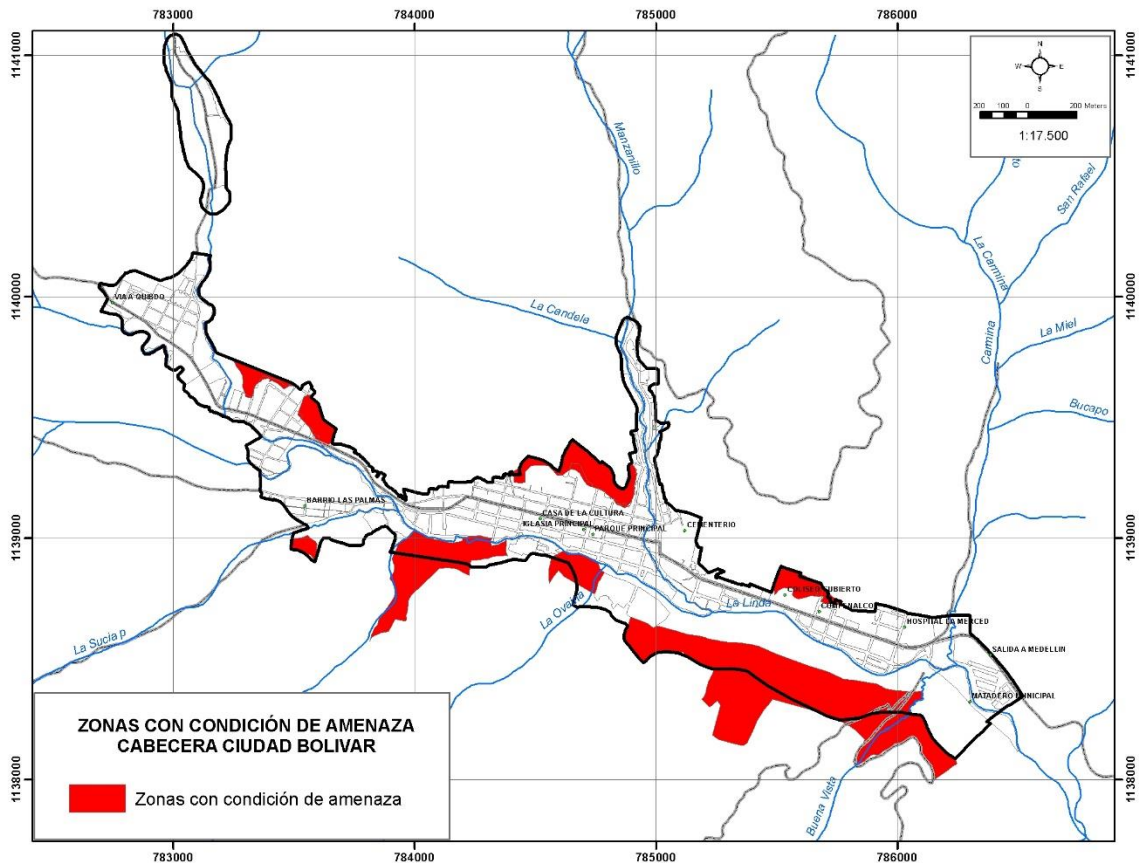


Figura 83. Mapa de zonas con condición de amenaza en la cabecera municipal de Ciudad Bolívar.

6 CENTRO POBLADO ALFONSO LÓPEZ

6.1 GEOLOGÍA Y FORMACIONES SUPERFICIALES

Desde el punto de vista geológico, la zona se encuentra conformada principalmente por suelos residuales y rocas derivadas de la meteorización de las rocas de la Formación Penderisco – Miembro Urrao. Esta corresponde a la unidad superficial de mayor predominio en todo el municipio y se encuentra conformada principalmente por suelos residuales con características limo arenosas de color rojizo y baja compresibilidad. Este suelo residual tiene espesores variables entre los 5 y 12 m en el centro poblado, seguido por un horizonte IV que se observa en la vía de acceso, donde se muestra de coloraciones grisáceas y marrones, producto de la meteorización de la roca que aún conserva su estructura foliada original (Figura 84). A continuación se observa el mapa geológico local del centro poblado:

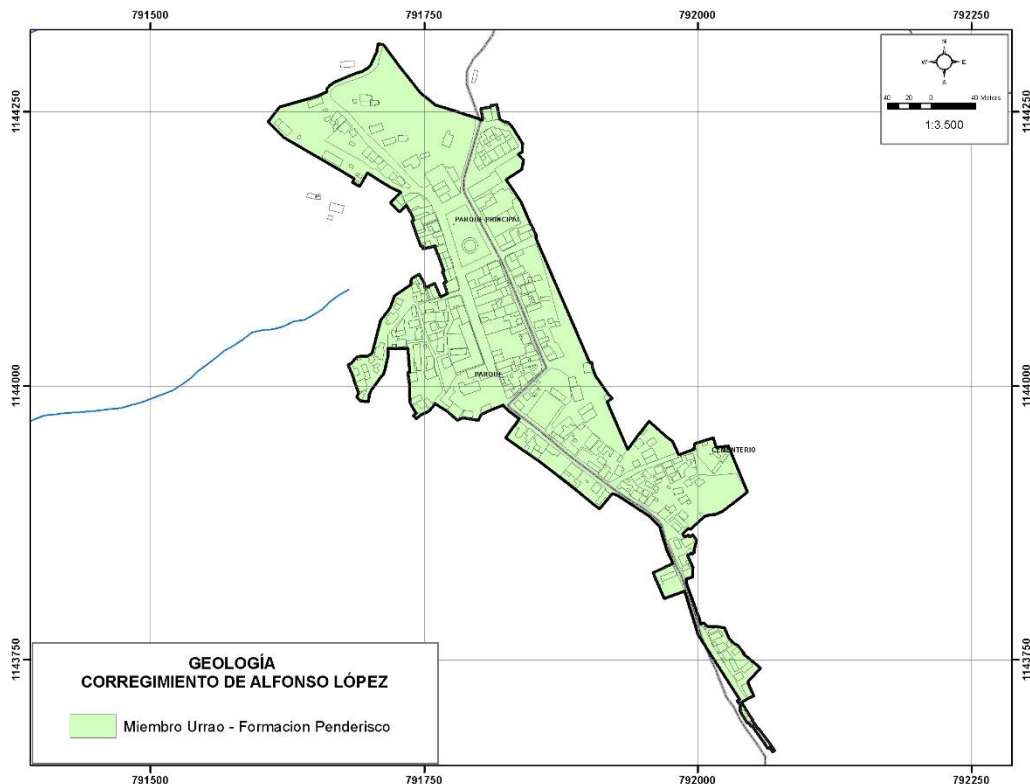


Figura 84. Mapa geológico local del centro poblado Alfonso López.

Estos materiales afloran principalmente en los cortes de la entrada al municipio, en el sector Siete Brincos y al sur del cementerio, dónde empieza la vía destapada que hace un corte y expone los materiales superficiales de la formación, como se observa en las siguientes fotografías:



Foto 99. Suelos de la Formación Penderisco – Miembro Urrao en un corte realizado en el sector de Siete Brincos.

Hacia el sur del municipio, se observan los horizontes de suelo y el horizonte V en las vías que no se encuentran pavimentadas, en las cuáles se presentan además procesos de erosión en surcos y cárcavas, como se observa en las siguientes figuras:



Foto 100. Suelos de la Formación Penderisco – Miembro Urrao en el límite sur de la vía principal del centro poblado.

6.2 GEOMORFOLOGÍA

La caracterización geomorfológica del centro poblado de Alfonso López, sigue la jerarquía establecida para el estudio, logrando un mayor detalle definiendo hasta

el nivel de formas el mapa geomorfológico, y conservando la interpretación genética de las unidades.

A nivel geomorfológico regional, el centro poblado se localiza en la unidad de relieve Cañón del Río Cauca – San Juan (C1) y en las macrounidades de Vertientes bajas de la margen oeste (VBO). En la figura 85 se presenta el mapa geomorfológico de la cabecera municipal y a continuación se describen las subunidad y sus correspondientes formas.

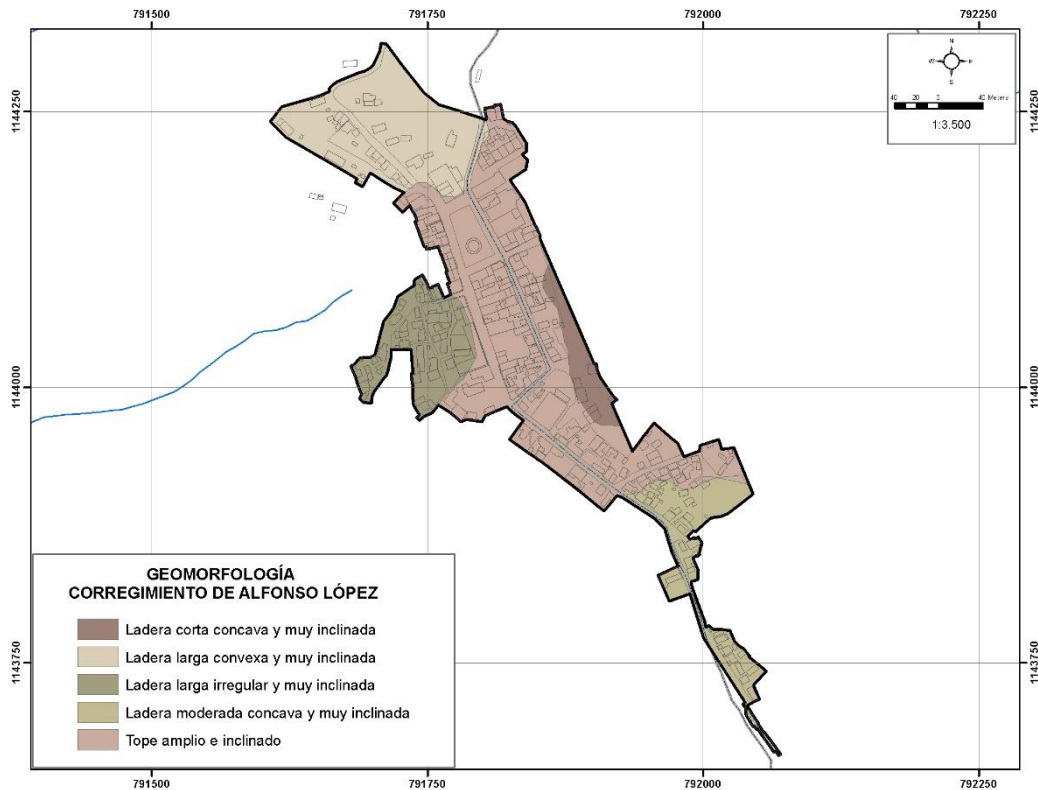


Figura 85. Mapa geomorfológico centro poblado de Alfonso López

6.2.1 Espolón festonado (C1-VBE-Sefes)

6.2.1.1 *Bajo de laderas cortas cóncavas y topes subredondeados (C1-VBE-Sefes-bccvs)*

Prominencia topográfica de morfología colinada, elongada y de forma predominantemente simétricas, con índice de relieve bajo. Presenta tope de longitud moderada a larga y forma subredondeada. Presenta laderas

caracterizadas por pendientes muy inclinadas a abruptas y longitudes cortas, de forma cóncava. El patrón de drenaje dominante es subparalelo, con valles en forma de "V" abierto e incisión fuerte. La característica principal de esta unidad corresponde a que la parte terminal del espolón es amplia y se asemeja a una pata de elefante. Por sus diferentes características se han definido 3 formas, como se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 78. Formas asociadas a la subunidad de espolón festoneado bajo de laderas cortas cóncavas y topes subredondeados

Subunidad	Formas	Localización
Bajo de laderas cortas cóncavas y topes subredondeados	Ladera larga convexa y muy inclinada	Esta unidad se distribuye hacia el norte del centro poblado en el sector localizado al oriente de la vía que sirve de acceso desde la cabecera municipal.
	Ladera larga irregular y muy inclinada	Se extiende hacia el costado occidental en el sector denominado Siete Brincos.
	Tope amplio e inclinado	Corresponde a la unidad de mayor predominio dentro del centro poblado y asociado a este es que se ha desarrollado urbanísticamente la zona. Se extiende como una franja alargada en sentido norte – sur con una amplitud variable entre 70 y 90m que se extiende desde la zona donde se localiza la Parroquia de San Gregorio al norte hasta el centro del salud al sur.



Foto 101. Panorámica forma de ladera larga irregular y muy inclinada en el centro poblado de Alfonso López.



Foto 102. Panorámica forma de tope amplio e inclinado centro poblado de Alfonso López.

6.2.2 Espolón (C1-VBE-Ses)

6.2.2.1 Moderado de laderas moderadas rectas y topes subredondeados (C1-VBE-Sefes-bccvs)

Saliente natural de morfología alomada y elongada, dispuestos perpendicularmente a la tendencia estructural general de la región, con índice de relieve moderado, con topes de longitud moderada y forma subredondeada. Presenta laderas con pendientes muy inclinadas a abruptas, de longitud moderada y forma recta. El patrón de drenaje es paralelo a subparalelo, con un grado de incisión alto, generando valles en "V" cerrados. Por sus diferentes características se han definido 2 formas, como se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 79. Formas asociadas a la subunidad de espolón moderado de laderas moderadas rectas y topes subredondeados

Subunidad	Formas	Localización
Moderado de laderas moderadas rectas y topes subredondeados	Ladera corta cóncava y muy inclinada	Se extiende hacia el costado oriental, al oriente de la inspección de policía y de la placa polideportiva.
	Ladera moderada cóncava y muy inclinada	Se extiende hacia el sur, al sur del centro de salud Roberto Londoño y hasta el fin del centro poblado.



Foto 103. Panorámica forma de ladera moderada cóncava y muy inclinada, centro poblado de Alfonso López.

6.3 PROCESOS MORFODINÁMICOS

Dentro del área del centro poblado no se identifican procesos morfodinámicos que comprometan la estabilidad de la zona, sin embargo, hacia la parte baja del sector de Siete Brincos se identifica un deslizamiento rotacional con superficie de falla profunda, con características retrogresivas que afecta suelos residuales del Miembro Urrao de la Formación Penderisco, cuya corona presenta una dimensión de aproximadamente 50m y que en caso de presentar un avance podría llegar a afectar algunas de las viviendas localizadas sobre dicha vertiente. Se destaca que este movimiento en masa actualmente se encuentra activo y afecta el sendero peatonal que sirve de acceso al sector.



Foto 104. Deslizamiento rotacional sobre vertiente occidental de Alfonso López.

6.4 ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS POR MOVIMIENTOS EN MASA

La metodología presentada en la zona urbana es la misma utilizada para obtener la zonificación de amenazas por movimientos en masa del centro poblado de Alfonso López.

El mapa de amenaza por movimientos en masa del centro poblado presenta dos categorías de amenaza: Media y Baja (Figura 32) y el consolidado de las áreas involucradas en cada categoría se presenta en la tabla 54.

Tabla 80. Amenaza por movimientos en masa en el centro poblado de Alfonso López

Categoría	Área (ha)	Porcentaje (%)
Alta	0	0
Media	1.85	29.27
Baja	4.47	70.73

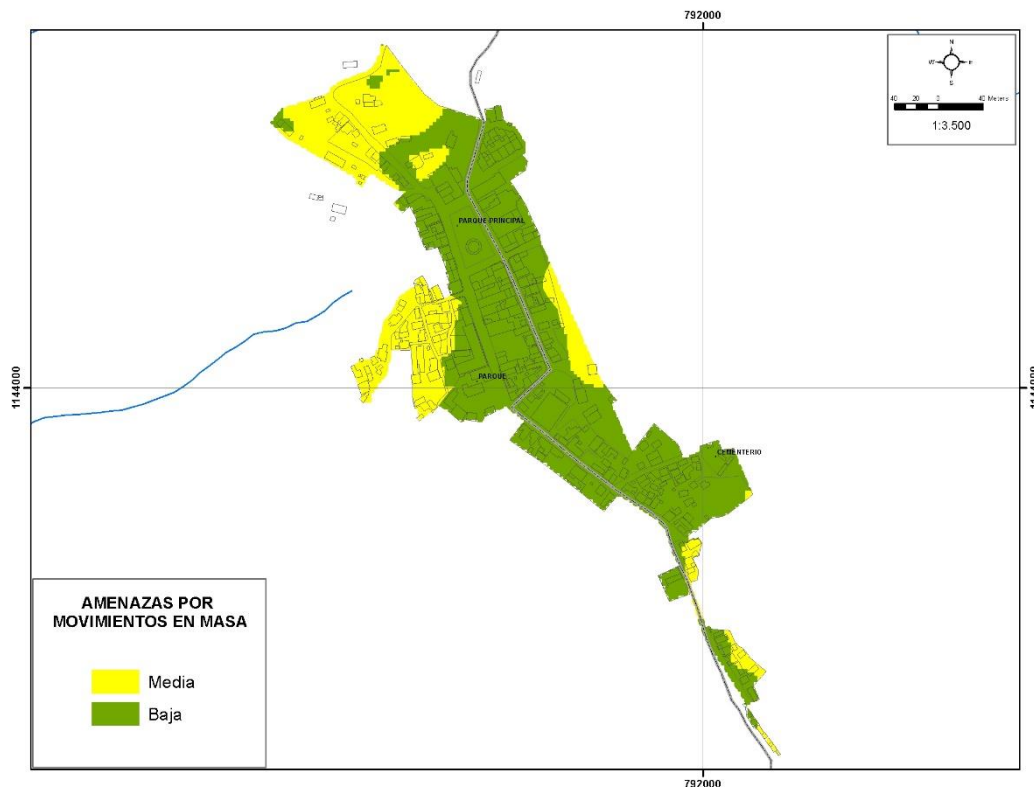


Figura 86. Mapa de amenaza por movimientos en masa en el centro poblado de Alfonso López

6.4.1 Amenaza Media

Corresponde a un nivel de amenaza de distribución moderada, correspondiente al 29.27% del total del centro poblado, y su distribución se asocia a las unidades de laderas desarrolladas sobre suelo residual del Miembro Urrao de la Formación Penderisco.

Estas zonas de amenaza media se localizan principalmente al norte del centro poblado, al oriente de la vía que sirve de acceso al centro poblado; en el sector de Siete Brincos hacia el extremo occidental; y en el costado oriental, al oriente de la inspección de policía y de la placa polideportiva.

Se destaca que asociado a esta zona no se presentan movimientos en masa, sin embargo la probabilidad de ocurrencia está en función de la susceptibilidad propia de las laderas que definen la zona sobre la que se asienta el centro poblado.

6.4.2 Amenaza Baja

Corresponde al rango de amenaza de mayor distribución dentro del centro poblado, representando el 70.73% del total del área de estudio, y su distribución se encuentra relacionada a la unidad geomorfológica de tope amplio e inclinado, donde las pendientes son suaves, se desarrolla sobre suelos residuales y no se identifican procesos morfodinámicos.

Esta zona de amenaza se extiende como una franja alargada en sentido norte – sur que se extiende desde la zona donde se localiza la Parroquia de San Gregorio al norte hasta el centro de salud al sur.

Estas zonas se caracterizan por presentar una susceptibilidad baja y los valores de la detonante lluvia son constantes.

6.5 ZONAS CON CONDICIÓN DE RIESGO

Asociado a las zonas de amenaza media por movimientos en masa se establece como zona con condición de riesgo los siguientes sectores:

- Costado norte del centro poblado, en la zona comprendida entre la zona que sirve de acceso al centro poblado y la vía que conduce a la vereda La Hondura, donde se localizan principalmente viviendas, con un aproximado de 40 construcciones. Actualmente en este sector no se identifican procesos morfodinámicos, sin embargo las condiciones topográficas y geológicas condicionan los procesos urbanísticos.

- Sector Siete Brincos, localizada hacia el costado occidental, donde la amenaza por movimientos en masa se asocia a la variable susceptibilidad dada por las características geológicas y geomorfológicas de la zona, además de la ocurrencia de procesos morfodinámicos hacia la base de la ladera donde se asienta este sector. En este sector se localizan un aproximado de 60 construcciones, algunas de las cuales evidencian importantes deterioros de tipo estructural representadas en agrietamientos y asentamientos.



Foto 105. Deterioros estructurales asociadas al sector de Siete Brincos.

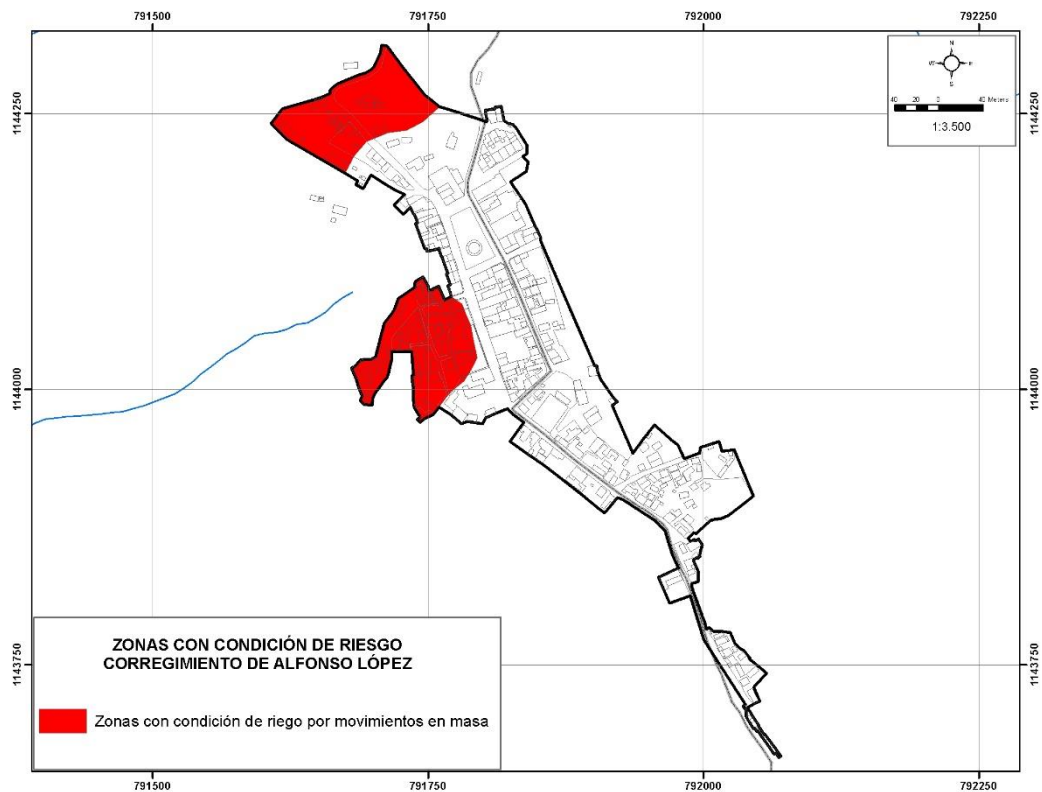


Figura 87. Mapa de amenaza de zonas con condición de riesgo en el centro poblado de Alfonso López.

7 CENTRO POBLADO SAN BERNARDO DE LOS FARALLONES

7.1 GEOLOGÍA Y FORMACIONES SUPERFICIALES

El centro poblado San Bernardo de Los Farallones se encuentra en una extensa planicie fluviotorrencial en sentido O-E, asociada a nivel regional a la cuenca del río Farallones. A nivel local, se encuentran depósitos más antiguos hacia la zona central, en el parque y sus alrededores, cuyos depósitos se encuentran en una superficie ligeramente más elevada y se caracterizan por la presencia de bloques métricos, subredondeados y erráticos que descienden del Batolito de Farallones; los cuáles son producto de la erosión de los materiales más finos del depósito. Finalmente, hacia la zona norte y sur del centro poblado, se encuentran niveles de terrazas y depósitos más recientes, producto de la socavación y retrabajamiento de los depósitos más antiguos, por parte de las quebradas Sucre al norte y La Cascada y San Pedro al sur del centro poblado. A continuación se observa el mapa geológico local de la zona:

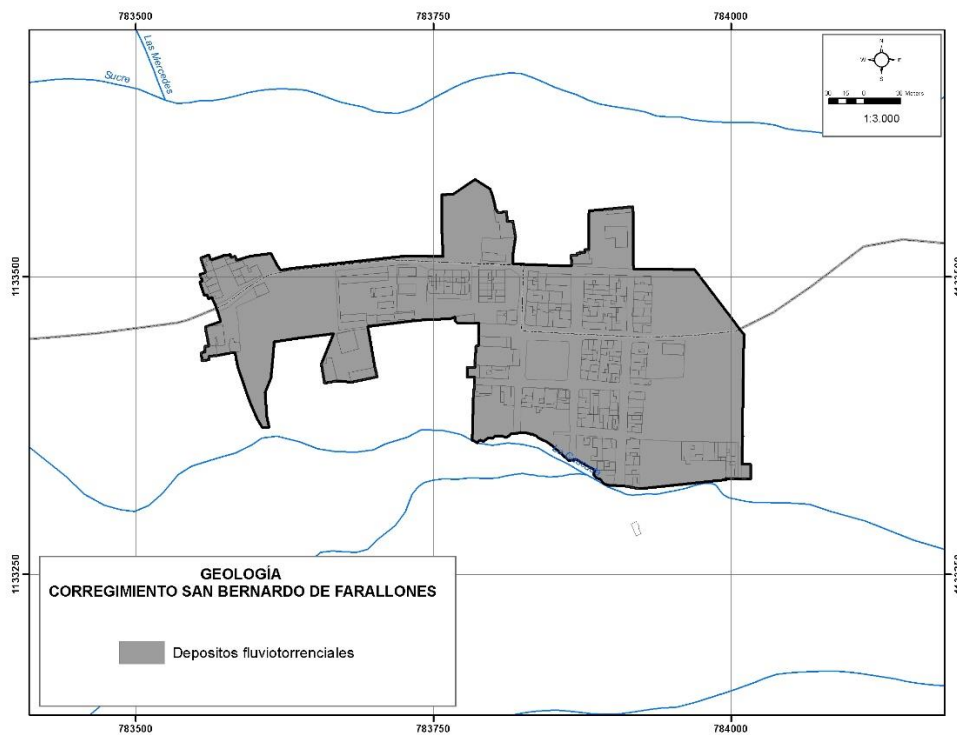


Figura 88. Mapa geológico local del centro poblado San Bernardo de Los Farallones.

Los depósitos en la zona central se encuentran cubiertos en su totalidad por el tejido urbano, sin embargo es posible observar bloques erráticos de gran tamaño a lo largo de las vías y en los jardines del parque, al igual que algunos cambios ligeros en la elevación de las casas, de acuerdo a los cambios a nivel puntual en la incisión del depósito más antiguo. Hacia el oriente, a dos cuadras del parque principal y paralela la vía de acceso al centro poblado, se encuentra un sector dónde es posible observar estos bloques en una matriz de gravas y arenas debido al lavado de los materiales más finos. Estos bloques presentan tamaños heterogéneos y en general son subredondeados a angulosos, mostrando muy mala selección.

A continuación se observan las características de los depósitos aluviotorrenciales más antiguos:



Foto 106. Características de los depósitos fluviotorrenciales en el límite oriental del centro poblado.

Los depósitos en los límites norte y sur del municipio son ligeramente más recientes, están asociados a la dinámica torrencial de la quebrada Sucre al norte y la confluencia de la quebrada La Cascada y San Pedro al sur, en dónde es posible reconocer algunos niveles de terrazas, sin embargo; todos se caracterizan por presentar bloques de tamaños métricos, más angulosos y embebidos en una matriz limo arenosa, la cual se encuentra menos incisada, lo cual permite inferir que son más recientes que los depósitos encontrados en la zona central del centro poblado, como se observa a continuación:



Foto 107. Características de los depósitos fluvio-torrentiales al norte del centro poblado, en cercanías a la quebrada Sucre.

Finalmente, los depósitos más recientes se encuentran en los alrededores de la confluencia de las quebradas La Cascada y San Pedro, dónde se observan niveles inferiores a los 2 m, de depósitos con bloques de tamaños centimétricos y una mayor presencia de gravas y arenas, los cuáles no han sido erodados y se encuentran cubiertos con vegetación.

7.2 GEOMORFOLOGÍA

La caracterización geomorfológica del centro poblado de San Bernardo de Farallones, sigue la jerarquía establecida para el estudio, y aunque los insumos de análisis son escala 1:25.000 se logró tener un mayor detalle definiendo hasta el nivel de formas el mapa geomorfológico, y conservando la interpretación genética de las unidades.

A nivel geomorfológico regional, el centro poblado se localiza en la unidad de relieve Cañón del Río Cauca – San Juan (C1) y en las macrounidades de Fondo (F). En la figura 31 se presenta el mapa geomorfológico de la cabecera municipal y a continuación se describen las subunidad y sus correspondientes formas.

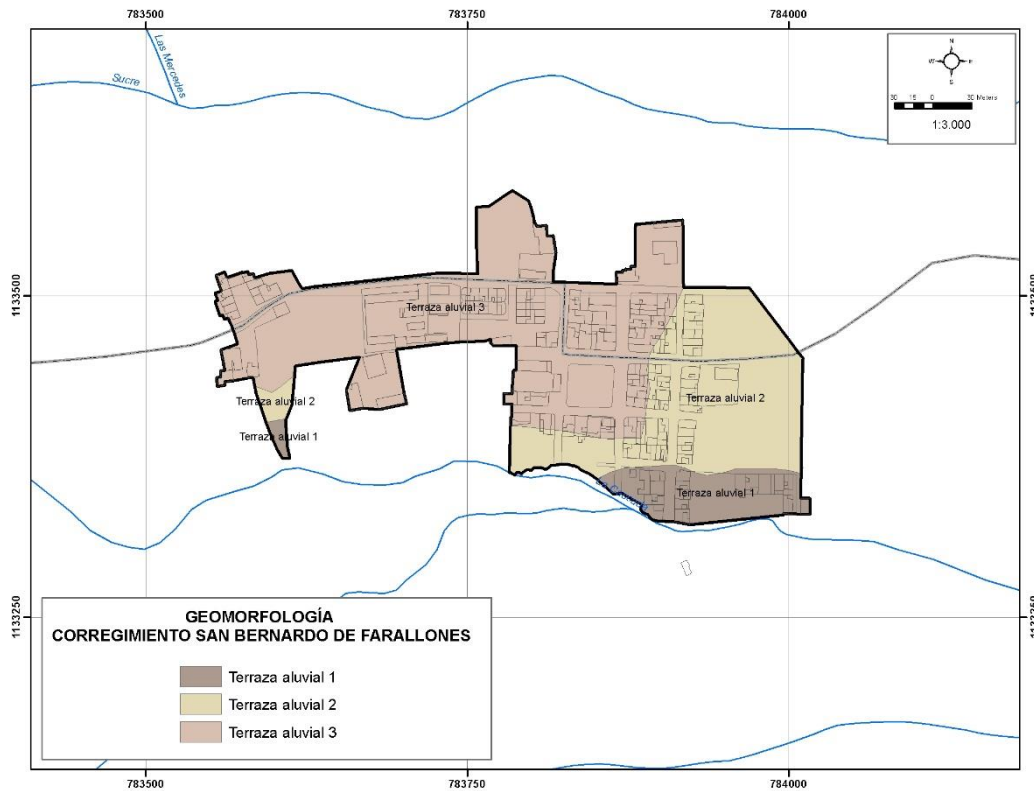


Figura 89. Mapa geomorfológico centro poblado de San Bernardo de Farallones

7.2.1 Planicies aluviales (C1-F-Fpa)

7.2.1.1 Plano aluvio - torrencial (C1-F-Fpa-fpat)

Superficies elongadas, de dimensiones variables, de pendiente inclinada a suave, modelada sobre sedimentos aluviales y aluvio - torrenciales, que se presenta en forma pareada, limitada por escarpes de diferente altura a lo largo del cauce de un Río o quebrada. Su origen es relacionado a procesos de erosión y acumulación aluvial y aluvio - torrencial, dentro de antiguas llanuras de inundación y/o abanicos. Su formación incluye fases de acumulación, incisión y erosión vertical. Por sus diferentes características se han definido 3 formas, como se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 81. Formas asociadas a la subunidad de plano aluvio – torrencial en el corregimiento de San Bernardo de Farallones

Subunidad	Formas	Localización
Plano aluvio - torrencial	Terraza aluvial 1	Se localiza en el costado suroriental del centro poblado, sobre la margen norte de la quebrada La Cascada. Esta corresponde a la terraza más baja y corresponde a la zona contigua al parque infantil

		localizado en la zona aledaña a la quebrada La Cascada.
	Terraza aluvial 2	Se localiza contigua a la unidad anteriormente mencionada, por lo que se localiza igualmente hacia el costado oriental en la zona donde se localiza el centro de salud.
	Terraza aluvial 3	Corresponde a la unidad de mayor predominio y sobre esta se localiza la zona central del centro poblado, en una zona que se extiende desde la urbanización Maria Auxiliadora al occidente hasta la zona donde se localiza el comando de policía al sur, incluyendo la plaza principal.



Foto 108. Características morfológicas (T3) en el parque principal y sus alrededores.



Foto 109. Características morfológicas (T1) hacia la zona suroriental del centro poblado

7.3 PROCESOS MORFODINÁMICOS

Asociado a este centro poblado no se identifican procesos morfodinámicos o de tipo erosivo que condiciones la estabilidad de la zona.

7.4 AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES

7.4.1 Reconocimiento de Campo

- Quebradas La Cascada y San Pedro

Estas corrientes discurren por el costado sur del centro poblado, sin embargo por las condiciones geomorfológicas del terreno, aguas abajo de la confluencia de las corrientes, se pueden generar afectaciones por inundación (ver Foto 110).

Las corrientes de las quebradas La Cascada y San Pedro presentan una sección hidráulica de tipo cajón, con un ancho promedio de 4,0 m y altura de márgenes de 1,0 a 1,5 m.

El sedimento transportado por la corriente es de tipo cantos rodados y guijarros, con un tamaño máximo de partícula de 0,30 m, característica que da cuenta de la alta capacidad de arrastre de la corriente, ante un evento de creciente (ver Foto 110a).

El alineamiento de las corrientes es recto, con presencia de algunas curvas suaves y su cauce se encuentra protegido por especies arbóreas de gran porte y abundantes pastos (ver Foto 110b).



(a)

(b)

Foto 110. Caracterización de las quebradas: (a) La Cascada, (b) San Pedro.

7.4.2 Información Básica

- Topografía

Se contó con un levantamiento topográfico de márgenes y lecho de las quebradas La Cascada, San Pedro en todo el tramo urbano del corregimiento de San Bernardo de Los Farallones, el cual contó con información en una longitud de 344 y 20 m, respectivamente. Las secciones transversales se elaboraron cada 10 m para las corrientes más extensas y cada 5 m para la corriente más pequeña, esto con el fin de detallar adecuadamente los cambios en el fondo del canal, así como los detalles de las obras de cruce existentes en los diferentes tramos.

En la figura 90 se presentan un esquema del sitio de análisis con la ubicación de cada una de las secciones transversales en las quebradas de estudio.

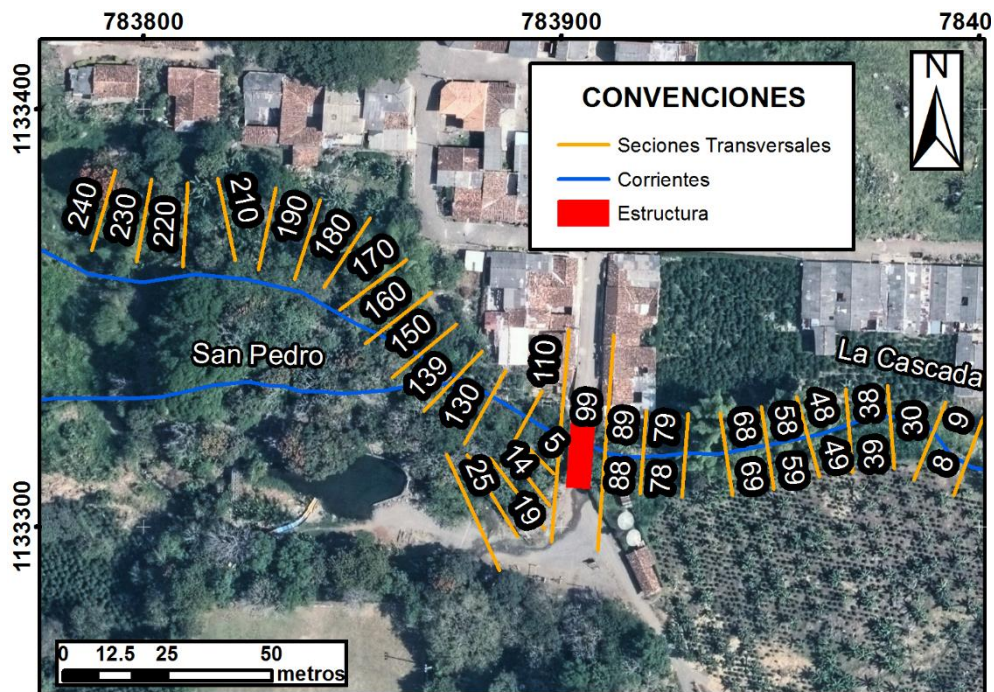


Figura 90. Esquema del tramo y secciones trasversales, Quebradas (Aguas arriba y Farallones) La Cascada y San Pedro.

El abscisado de cada una de las corrientes se realizó de forma descendente, considerándose como el 0+000, la sección ubicada aguas abajo de todo el 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 las quebradas La Cascada, y San Pedro, los cuales fueron presentados en el capítulo 5.6.1.8. Debido a que las corrientes de interés no contaron con registros de caudal, se aplicaron modelos de lluvia escorrentía como hidrógrafas unitarias de Snyder, SCS y Williams y Hann, así como el método Racional, escogiendo finalmente como caudales de diseño los estimados por el método Racional. Los caudales fueron calculados para los periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años, resultados que son presentados en la tabla 82.

Tabla 82. Caudales usados en la modelación hidráulica.

TR	Caudal de Diseño (m ³ /s)		
	Q. La Cascada	Q. San Pedro	Q. Farallones
2,33	19	8	26
5	23	9	32
10	28	11	38
25	36	15	50
50	44	18	60
100	54	22	74
POMCA	75.6	30.8	103.6

Estos caudales fueron ingresados en las secciones 240, 25, y 110.14 para las quebradas La Cascada, y San Pedro, respectivamente, y transitados a través de todas las secciones transversales en cada una de las corrientes estudiadas. Se incluyó como caudal de diseño, el denominado POMCA, que consiste en el caudal con periodo de retorno de 100 años mayorado en 40% (POMCA, 2006).

7.4.3 Diagnóstico de crecientes

Para evaluar el comportamiento hidráulico de las corrientes en estudio dentro del corregimiento de San Bernardo de Los Farallones se usó el software HEC – RAS versión 4.0 (U.S Army Corps of Engineers – Hydrologic Engineering Center, 2002 a), desarrollado por el U.S. Army Corps of Engineers – HydrologicEngineering Center.

- Coeficiente de Rugosidad

Inicialmente se evaluaron las condiciones de rugosidad de los canales de las quebradas La Cascada y San Pedro y Farallones, para lo cual se aplicó el método de Cowan (Chow et al., 1994).

Rugosidad del Material de Arrastre (n_0)

Para las quebradas La Cascada y San Pedro, el material de arrastre está conformado por cantos rodados y guijarros, por lo cual se asumió para éstas un valor de n_0 de **0,027**.

Factores n_1 , n_2 , n_3 , n_4 y m

Las geoformas identificadas en el cauce de las quebradas de estudio corresponden a saltos, causados por la acomodación natural de las piedras, por lo que se determinó para estas corrientes un valor para n_1 de **0,005**.

Las quebradas analizadas presentan algunos cambios en la geometría de la sección, los cuales pueden denominarse como graduales, por ello, en todos los casos se le asignó un valor a n_2 de **0,003**.

En la zona analizada no se observaron obstrucciones en las corrientes ni presencia de vegetación, por lo cual se asumió un valor de **0** para los parámetros n_3 y n_4 .

Finalmente, todas las corrientes en el tramo de estudio son predominante rectas y los pequeños cambios en la dirección del flujo reflejan un mínimo aumento en el valor de la rugosidad, por la cual se escogió un valor de **1** para el parámetro m .

En la tabla 83, se presentan los resultados obtenidos de la aplicación del método mencionado.

Tabla 83. Cálculo de la rugosidad método de Cowan (Chow, 1994), en cada una de las corrientes.

Parámetro	Q. La Cascada	Q. San Pedro	Q. Farallones
n_0	0.027	0.027	0.027
n_1	0.005	0.005	0.005
n_2	0.003	0.003	0.003
n_3	0	0.027	0
n_4	0	0	0
m	1	1	1
n	0.035	0.035	0.035

Las márgenes de las corrientes en estudio están conformadas por terrenos que cuentan rastrojos bajos y maleza, por ello se escogió un valor para la rugosidad

promedio en las orillas de **0,030**. Para muros y algunas secciones en concreto se asumió un valor de rugosidad de **0,016**.

- Condiciones de Frontera

Las corrientes en estudio discurren a través de canales con pendientes moderadas, donde es posible que se presenten tramos con altas velocidades y otros con velocidades menos importantes. Es por ello que se optó por realizar la simulación hidráulica bajo el régimen mixto el cual permite la combinación entre los flujos súper críticos y sub críticos, para lo cual es necesario ingresar la condición de frontera aguas arriba y aguas abajo de cada tramo. 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. En la tabla 84, se presentan los parámetros de entrada utilizados en el modelo hidráulico de las corrientes en estudio.

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.

Tabla 84. Resumen parámetros de entrada al modelo hidráulico.

Parámetro	Q. La Cascada	Q. San Pedro	Q. Farallones
n de manning canal	0.035	0.035	0.035
n de manning márgenes	0.03	0.03	0.03
Caudal de diseño (m ³ /s)	75.6	30.8	103.6
Tipo de Simulación	Mixta	Mixta	Mixta
Condición de Frontera aguas arriba (m/m)	0.008	0.171	Junction
Condición de Frontera aguas abajo(m/m)	Junction	Junction	0.058
Coefficiente de Contracción	0.1	0.1	0.1
Coefficiente de Expansión	0.3	0.3	0.3

- 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 la altura de la lámina de agua alcanzada para el caudal con periodo de retorno de 2.33 años a través del canal de las quebradas La Cascada y San Pedro.

En la figura 91, se presenta la lámina de agua para los caudales con periodo de retorno de 2.33 años como proceso de calibración del modelo hidráulico.

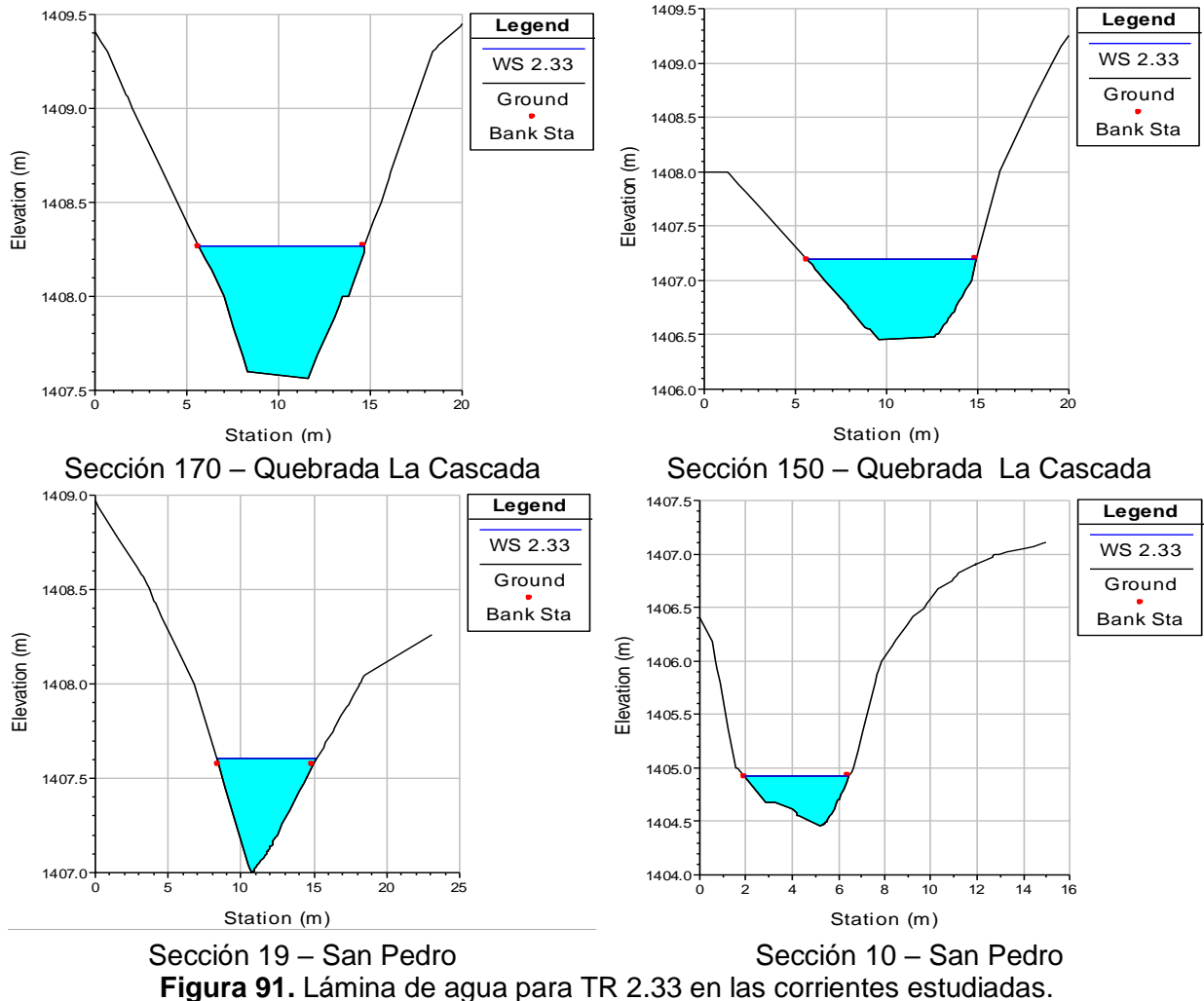


Figura 91. Lámina de agua para TR 2.33 en las corrientes estudiadas.

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 de los cauces y márgenes de las quebradas analizadas.

- Resultados – Cálculo de Velocidades y Alturas de Lámina de Agua

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 las corrientes La Cascada, San Pedro y Farallones, para así determinar los principales cambios entre las variables hidráulicas para 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 muestran en el Anexo 1.

- La Cascada (Aguas Arriba)

En el tramo de estudio se presentan velocidades promedio para los caudales con periodos de retorno de 2,33, 100 años y POMCA de 3.15, 4.31 y 4.68 m/s, respectivamente, con valores máximos de 4.85, 6.26 y 6.81 m/s. Para esta quebrada, la profundidad promedio es de 1.25, .98 y 2.36 m, para los caudales mencionados.

En la figura 92 se presenta el perfil del flujo de la corriente para los caudales con periodos de retorno de 2,33, 100 años y POMCA. En el Perfil se puede evidenciar que la lámina de agua conserva un comportamiento estable de acuerdo a la pendiente del canal a pesar de las variaciones en el lecho.

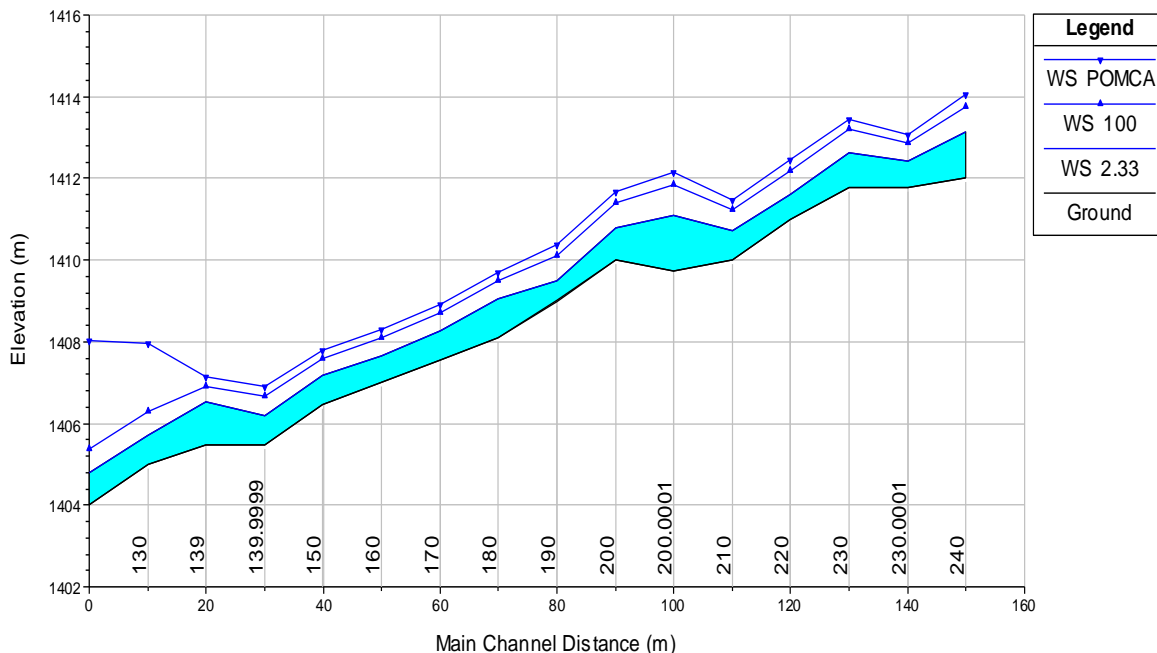


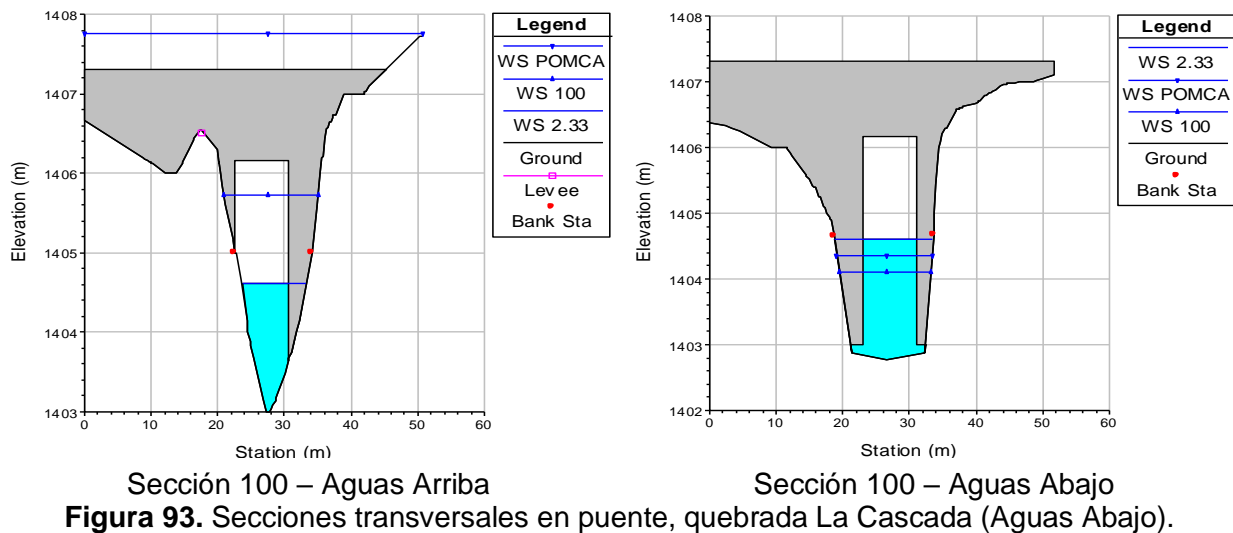
Figura 92. Perfil del flujo en el tramo de la quebrada La Cascada.

- Quebrada La Cascada (Aguas Abajo)

Para el tramo de estudio, se encontraron velocidades medias para los caudales con periodo de retorno de 2,33, 100 años y POMCA de 3.15, 4.31 y 4.68 m/s, respectivamente, donde sus valores máximos alcanzan a 4.85, 6.26 y 6.81 m/s para estos caudales. Para esta quebrada, la profundidad promedio es de 1.25 m, 1.98 m y 2.36 m, para los caudales mencionados.

A lo largo de este tramo, se presenta una obra de paso tipo puente (vehicular), en la sección 100. Según los resultados de la modelación hidráulica, dicha estructura no cuenta con capacidad para el paso de la creciente POMCA.

En la figura 93 se presentan las secciones transversales del puente ubicado sobre el cauce de la quebrada La Cascada (aguas abajo) y las láminas de agua para los caudales con periodos de retorno de 2.33, 100 años y POMCA.



En la figura 94, se presenta el perfil del flujo de la quebrada La Cascada (aguas Abajo) para los caudales con periodo de retorno de 2,33, 100 años y POMCA. En el perfil se presenta la lámina de agua, la cual conserva un comportamiento estable de acuerdo a la pendiente del canal a pesar de las variaciones en el lecho.

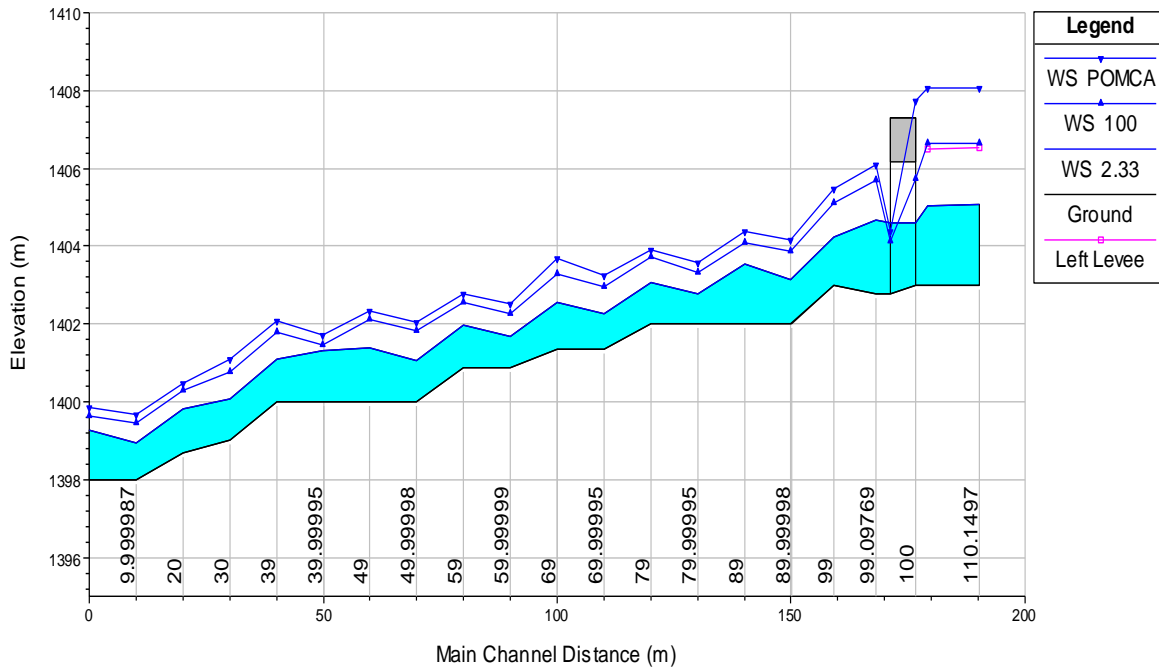


Figura 94. Perfil del flujo en el tramo de la quebrada La Cascada (Aguas Abajo).

- Quebrada San Pedro

Para esta corriente se presentan velocidades máximas de 6.55, 8.03 y 4.31 m/s, para los caudales con periodo de retorno de 2,33, 100 años y POMCA, cuyos valores medios son de 3.92, 5.24 y 4.31 m/s. Con relación a la profundidad del flujo, se presentan alturas promedio de 0.67, 1.23 y 2.12 m para los caudales mencionados.

En la figura 95 se presenta el perfil del flujo para la quebrada San Pedro, para los caudales con periodos de retorno de 2,33, 100 años y POMCA. En el perfil se puede observar que la lámina de agua conserva un comportamiento estable de acuerdo a la pendiente del canal a pesar de las variaciones en el lecho.

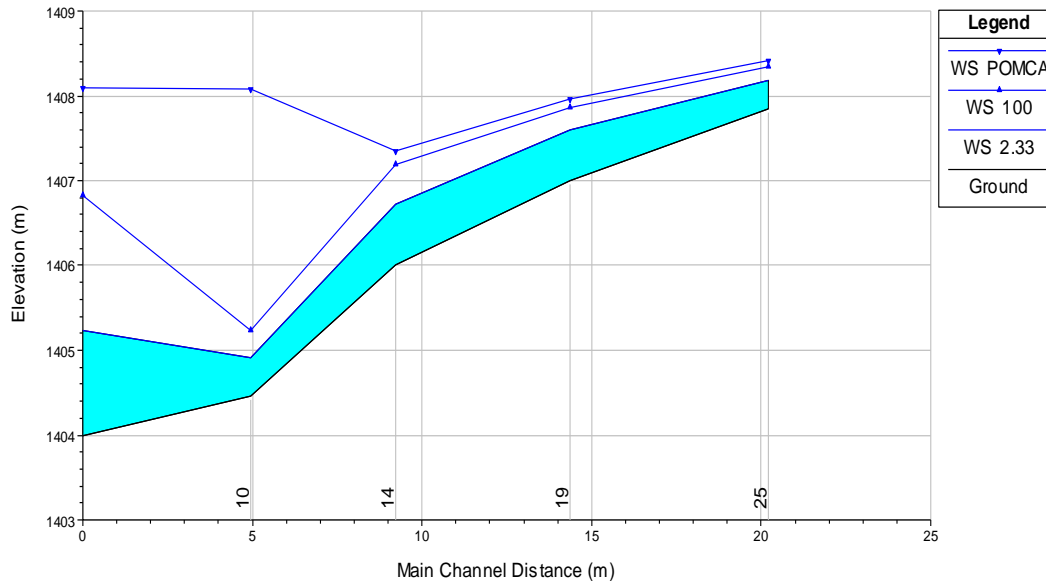


Figura 95. Perfil del flujo en el tramo de la quebrada San Pedro.

- Mapas de Inundación

En la figura 96 se presenta las manchas de inundación asociadas al caudal POMCA en las quebradas La Cascada y San Pedro.

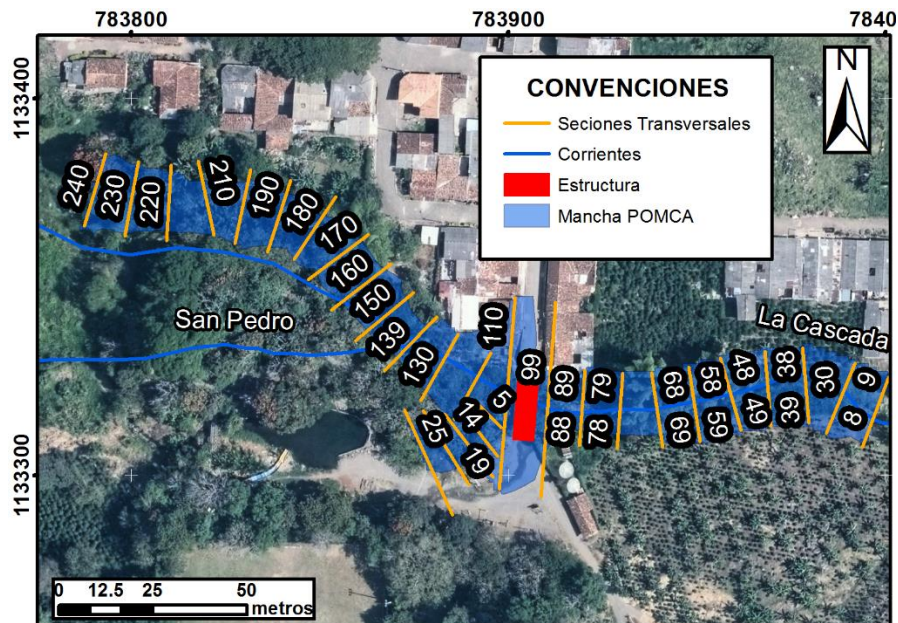


Figura 96. Mancha de inundación para TR POMCA, Quebradas La Cascada (Aguas arriba y Farallones) y San Pedro.

Para el caso de las quebradas La Cascada y San Pedro, se evidencian afectaciones en inmediaciones del puente de cruce, sobre las corrientes, inundado las partes traseras de las viviendas asentadas cerca al cauce y la vía que cruza la corriente natural.

7.4.4 Condiciones geomorfológicas

En el mapa geomorfológico del centro poblado, se identifican las formas de origen aluvio - torrencial asociadas a la quebrada La Cascada, que muestra evidencias morfológicas de inundación asociado a períodos de máximas precipitaciones, y la cual se identifica como terraza aluvial 1, localizada hacia el extremo suroriental en la zona aledaña al parque lineal.

Se caracteriza por ser una superficie inundable de forma plana, contigua y paralela al cauce de la quebrada, la amplitud varía entre 30 y 40m, donde igualmente existen reportes de la ocurrencia de eventos recientes.

7.4.5 Zonificación de amenaza por inundaciones

La condición de amenaza por inundación está basada en el análisis hidráulico que arroja la mancha de inundación TR POMCA y la condición geomorfológica, que ha sido ajustada de acuerdo con las condiciones propias del municipio, es decir, la zona de amenaza combina los resultados arrojados por los dos métodos de análisis, primando en algunos casos el análisis hidráulico y en otros el análisis geomorfológico (Figura 97).

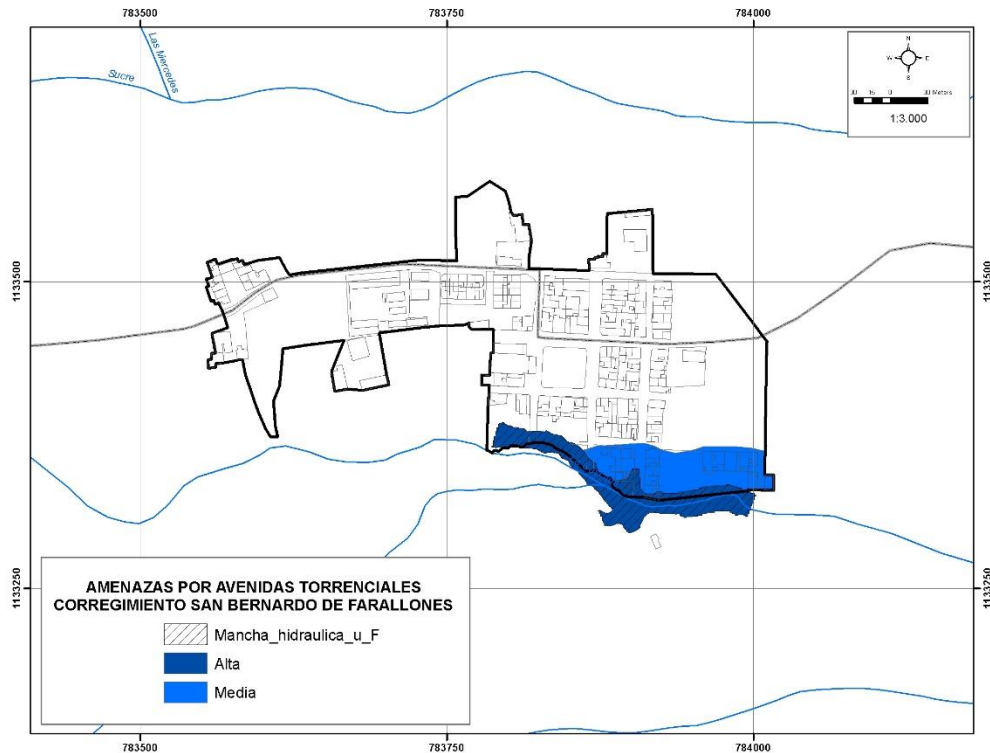


Figura 97. Mapa de amenaza por avenidas torrenciales en el centro poblado de San Bernardo de Farallones.

Amenaza Alta: Se incluye como zona de amenaza alta a la mancha de inundación asociada al caudal POMCA en la quebrada La Cascada, obtenida a partir de los resultados del estudio hidrológico e hidráulico de este estudio. Esta corresponde a una franja continua que se extiende sobre ambos márgenes de la quebrada, con una mayor afectación sobre la margen sur y que en algunos tramos se encuentra controlada por la insuficiencia asociada a cruces viales.

Amenaza Media: Se define como zonas de amenaza media por inundaciones, las zonas que desde el punto de vista geomorfológico exhiben evidencias de la ocurrencia de antiguos eventos de inundación, pero asociados a eventos extremos de precipitación.

7.5 ZONAS CON CONDICIÓN DE RIESGO

Las zonas con condición de riesgo para el centro poblado está asociado a la zona de amenaza media por avenidas torrenciales, localizada hacia el costado

suroriental, sobre la margen norte de la quebrada La Cascada. En este sector se localizan un aproximado de 15 construcciones.

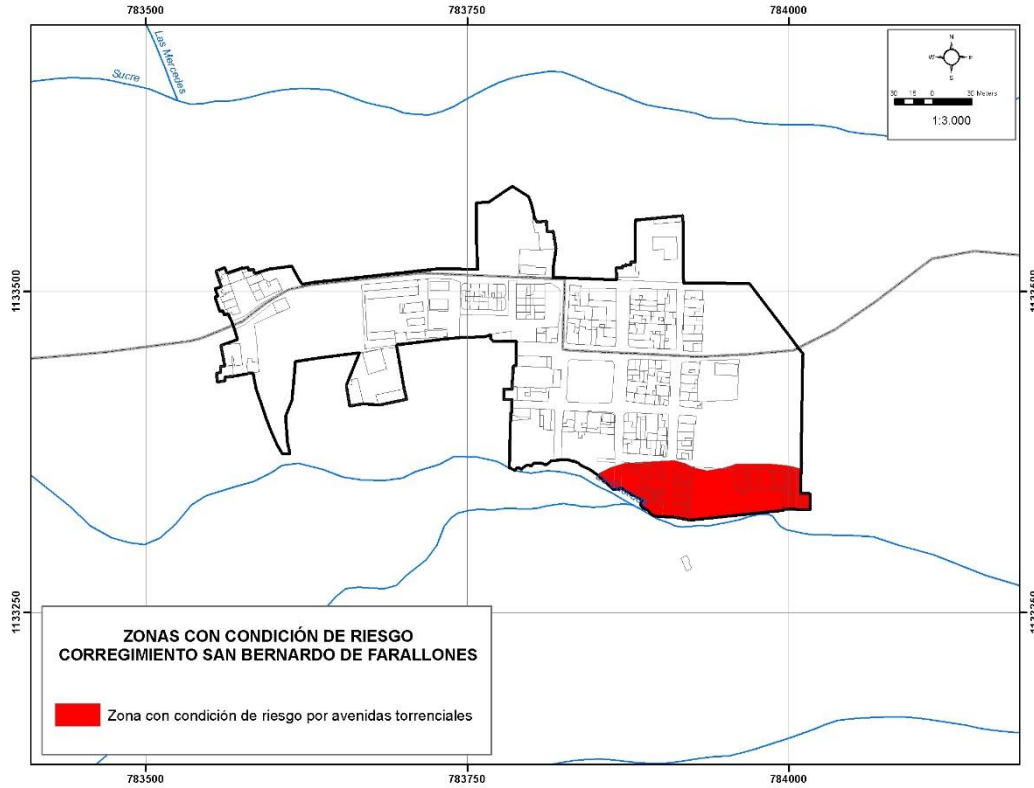


Figura 98. Mapa de zonas con condición de riesgo en el centro poblado de San Bernardo de Farallones.

8 CONCLUSIONES

1. El mapa de amenaza rural por movimientos en masa indica que el 41.02% del municipio tiene una amenaza media, el 32.60% amenaza alta y el 26.39% restante amenaza baja.
2. Las avenidas torrenciales en el área rural exhiben una distribución importante asociado a los cauces de las quebradas Los Monos, La Linda, La Cantarrana, La Carmina, La Cascada y La Arboleda, además de los río Bolívar y Farallones, donde se evidencian grandes depósitos de material producto de eventos de tipo torrencial que han sido depositados en las partes topográficamente planas de dichas quebradas. Se destaca que estas avenidas torrenciales afectan principalmente las estructuras de paso de las vías de acceso a las veredas y han generado importantes afectaciones sobre infraestructuras y viviendas.
3. En el modelo de amenazas implementado, la variable susceptibilidad corresponde a la dominante, donde la probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa se encuentra íntimamente ligada con las condiciones geológicas, geomorfológicas y topográficas intrínsecas de las zonas analizadas.
4. En el suelo rural del Municipio los movimientos en masa exhiben una alta distribución dentro del Municipio, de los cuales el 89% corresponden a deslizamientos traslacionales favorecidos por las condiciones geológicas de la zona, el 7% a deslizamientos rotacionales y el 4% restante a flujo de lodos, y se presentan desde movimientos recientes hasta cicatrices de antiguos deslizamientos. Estos procesos afectan principalmente las unidades de espolones y sierras que se desarrollan sobre suelos residuales del Miembro Urao de la Formación Penderisco.
5. Dentro de la zonificación de amenaza por movimientos en masa para la zona rural se destaca que hacia la parte alta de algunas veredas donde se presentan condiciones de pendientes escarpadas, la amenaza ante los movimientos en masa es baja asociado a la presencia de coberturas boscosas que favorecen los procesos de retención de suelos y lo cual se ve reflejado en la ausencia de movimientos en masa.
6. En la cabecera municipal de Ciudad Bolívar, la condición de amenaza y riesgo por movimientos en masa es predominantemente baja (68.31%), sin embargo

hacia las laderas que bordean esta zona, donde se presentan pendientes mayores y unidades geomorfológicas de mayor altura relativa, las condiciones de amenaza son moderadas (31.15%). Se destaca que gran parte de los suelos de expansión exhiben este nivel de amenaza, por lo son incluidas dentro de las denominadas zonas con condición de amenaza.

7. El mapa de amenaza por avenidas torrenciales de la cabecera municipal combinó estudios hidráulicos de detalle y geomorfológicos para definir las zonas de amenaza alta. De acuerdo con esto, las zonas catalogadas como de amenaza alta corresponde a las zonas que desde el punto de vista geomorfológico exhiben evidencias de la ocurrencia de antiguos eventos recurrentes, como los asociados a planos fluvio – torrenciales. Estas zonas de amenaza alta se localizan de forma discontinua a lo largo de todos los cauces que drenan la zona, destacándose los localizados al oriente en los barrios La Floresta y La Carmina, y en el barrio centro.
8. Se contó con los caudales de diseño para las quebradas Los Monos, Manzanillo, Carmina y La Linda, y para el río Bolívar Arriba, los cuales fueron presentados en el capítulo 5.6.1.8. Debido a que las corrientes de interés no cuentan con registros de caudal, se aplicaron modelos de lluvia escorrentía como hidrógrafas unitarias de SCS y Williams y Hann, así como el método Racional. Se seleccionó como caudal de diseños para las quebradas: Los Monos, Manzanillo, y el río Bolívar Arriba los valores estimados por el método de Williams & Hann.
9. Para el caso de la quebrada Carmina se adoptaron los resultados obtenidos a partir del método Racional, y para la quebrada La Linda, los estimados por SCS. Los caudales fueron estimados para los periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 25, 50 y 100 años.
10. Referente a las obras de cruce analizadas, se evidenció que la mayoría no cuenta con una suficiencia hidráulica para un caudal estimado por la metodología POMCA y deberán ser objeto de un estudio de detalle particular para cada caso.
11. Al analizar la mancha de inundación asociada al caudal con periodo de retorno de 100 años, mayorado un 40% según la recomendación del POMCA, se evidencia diversos puntos de afectación por inundación:
Para el caso de las quebradas La Cascada y San Pedro, se evidencian afectaciones en inmediaciones del puente de cruce, sobre las corrientes, inundado las partes traseras de las viviendas asentadas cerca al cauce y la vía que cruza a corriente natural.

12. Para el centro poblado de Alfonso López, las condiciones de amenaza están dadas por los movimientos en masa, donde se obtiene que el 29.27% del área de este exhibe condiciones de amenaza media, siendo más predominante hacia el costado norte y en el sector de Siete Brincos.
13. En el centro poblado de San Bernardo de Farallones, la amenaza por movimientos en masa no es representativa, sin embargo, se identifican zonas susceptibles a la ocurrencia de avenidas torrenciales asociadas a la quebrada La Cascada.
14. Para el caso del centro poblado de Villa Alegría, durante el trabajo de campo se verifica que en la zona no existen evidencias morfológicas que sugieran procesos de inestabilidad geológica ni afectaciones por inundaciones o avenidas torrenciales, por lo que no se desarrolla dentro de este estudio. Se destaca que este centro poblado surge como un proceso de reasentamiento de la población afectada por una avenida torrencial ocurrida hace aproximadamente 20 años en la vereda La Arboleda.

9 MEDIDAS E INTERVENCIONES

La gestión de riesgo es el conjunto de elementos, medidas y herramientas dirigidas a la intervención de la amenaza o la vulnerabilidad, con el fin de disminuir o mitigar los riesgos existentes. La gestión de riesgos tiene como objetivo articular los diferentes tipos de intervención, dándole un papel principal a la prevención y mitigación sin abandonar la preparación para la respuesta en caso de desastre, la cual se vincula al desarrollo de las políticas preventivas que en el largo plazo conduzcan a disminuir de manera significativa las necesidades de intervenir sobre los desastres ya ocurridos. Una política de gestión de riesgos no sólo se refiere a la acción de las entidades del Estado, sino por su propósito a la articulación de las diversas fuerzas sociales, políticas, institucionales, públicas y privadas. Esto significa la participación democrática y la suma de esfuerzos y responsabilidades de acuerdo con el ámbito de competencia de cada cual.

La principal acción de gestión de riesgos es la reducción del riesgo. En general, corresponde a la ejecución de medidas estructurales y no estructurales de prevención-mitigación. Es la acción de anticiparse con el fin de evitar o disminuir el impacto económico, social y ambiental de los fenómenos peligrosos potenciales. Implica procesos de planificación, pero fundamentalmente de ejecución de medidas que modifiquen las condiciones de riesgo mediante la intervención correctiva y prospectiva de los factores de vulnerabilidad existente o potencial, y control de las amenazas cuando eso es factible (Cardona, et al., 2005).

9.1 EN EL SUELO URBANO DE LA CABECERA MUNICIPAL

En respuesta a las problemáticas identificadas durante este proyecto, se formulan las siguientes propuestas de gestión para la cabecera urbana del municipio de Ciudad Bolívar en materia de ordenamiento territorial:

- 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 entre tanto no se realicen los estudios de detalle y las obras que resulten de los mismos.
- Se debe prohibir la construcción de cualquier tipo de edificación sobre las estructuras hidráulicas de las quebradas La Linda, Cantarrana, La Sucia y Manzanillo principalmente, estas solamente podrán ser ocupadas con pasos viales y obras de espacio público y urbanismo.

- Como resultado de los estudios geomorfológicos e hidráulicos de detalle en la quebradas La Linda, Los Monos, Cantarrana y Manzanillo se definieron zonas de amenaza alta por avenida torrencial y su ocupación estará supeditada a la evaluación prospectiva de la vulnerabilidad y riesgo de las actividades a desarrollar, de manera que el riesgo sea bajo y no se generen afectaciones a las áreas vecinas.
- Se debe definir el retiro de las fuentes hídricas de las quebradas La Linda, Los Monos, Cantarrana y Manzanillo, teniendo en cuenta los resultados de los estudios hidráulicos y geomorfológicos presentados en este informe.
- Para las obras hidráulicas que presenta insuficiencia hidráulica, realizar un estudio de detalle que permita mejorar las condiciones del tránsito del flujo.
- Con respecto a las viviendas aledañas al cauce de las quebradas y que están afectadas con eventuales inundaciones de la quebrada como es el caso de las zonas de los barrios Olimpo, La Cabaña y Centro, se deberá garantizar como mínimo que se encuentran a nivel de la rasante de la vía, para que el agua sea evacuada por las sumidero de la red de aguas lluvias.
- Se recomienda incorporar los resultados de estudios de detalle existentes y futuros, sobre las corrientes principales del municipio del municipio, con el objeto de alimentar el modelo de manchas de inundación existente y ser usado en el proceso de ordenamiento de territorio.
- En las zonas definidas como con condición de riesgo asociadas a la inundación de las quebradas La Linda, Los Monos, Manzanillo y Cantarrana, donde ya se cuenta con el análisis detallado de la amenaza, se considera necesario la realización de los análisis de vulnerabilidad que permita determinar el nivel de riesgo de las construcciones e infraestructuras allí asentadas, teniendo en cuenta los siguientes requerimientos:

Evaluación de la vulnerabilidad: Se deberá realizar una evaluación de la vulnerabilidad física ante el fenómeno que considere los siguientes aspectos:

- ✓ Identificación y localización en cartografía, de los elementos expuestos.
- ✓ Caracterización de los elementos expuestos a las amenazas identificadas, en cuanto al tipo de elemento, grado de exposición, resistencia que ofrece el elemento y distribución espacial.
- ✓ Se deben identificar los diferentes tipos de daño o efectos esperados sobre los elementos expuestos que se pueden presentar como resultado del fenómeno natural.
- ✓ Esta información debe zonificarse en un mapa a la misma escala del mapa de amenazas detallado estableciendo categorías de vulnerabilidad

alta, media y baja, de acuerdo a las características de los elementos expuestos.

Evaluación del riesgo: Se deberá realizar una evaluación del riesgo ante la creciente torrencia que sea el resultado de relacionar la zonificación detallada de amenaza y la evaluación de vulnerabilidad. Con base en ello, se categorizará en riesgo alto, medio y bajo en función de la afectación esperada. Adicional a lo anterior, la evaluación del riesgo debe contener los siguientes aspectos:

- ✓ Documento técnico que contenga metodología de evaluación empleada y los resultados.
 - ✓ Fichas de evaluación de vulnerabilidad.
 - ✓ Mapa de vulnerabilidad categorizada en alta, media y baja.
 - ✓ Mapa de riesgo, categorizado en alto, medio y bajo, señalando para el riesgo alto si es mitigable o no mitigable.
 - ✓ Mapas de localización y dimensionamiento de las medidas de intervención propuestas.
 - ✓ Presupuestos estimados de costos de las alternativas planteadas.
 - ✓ Inventario de viviendas en alto riesgo no mitigable.
- Dentro de la zona urbana se identifican zonas donde se han realizado algunas obras de prevención y mitigación para movimientos en masa, como cunetas, rondas de coronación, los cuales requieren un mantenimiento constante para garantizar su vida útil y funcionamiento adecuado.
 - Para aquellas zonas definidas con condición de amenaza por movimientos en masa que se sean definidas como áreas de desarrollo, se deberá contar con los estudios detallados, en caso que estas áreas no sean definidas como áreas de desarrollo, no aplica la realización de los estudios detallados.
 - El desarrollo de las zonas definidas como con condición de amenaza por movimientos en masa, está supeditado a la realización de estudios de detalle. Estos estudios deben considerar el análisis detallado de la amenaza, y la determinación de medidas específicas de mitigación.

Evaluación detallada de la amenaza: se deberá realizar una evaluación detallada de la amenaza por movimientos en masa que considere los siguientes aspectos:

- ✓ Geología para ingeniería.
- ✓ Geomorfología a nivel de elementos.
- ✓ Hidrogeología, con énfasis en comportamiento de los niveles freáticos.
- ✓ Evaluación del drenaje superficial.

- ✓ Sismología.
 - ✓ Uso del Suelo.
 - ✓ Exploración del subsuelo: Los estimativos de perforaciones deben realizarse de acuerdo al criterio del profesional que realice los estudios de detalle.

 - ✓ Levantamiento topográfico, incluyendo la información predial o catastral.
 - ✓ El análisis de la amenaza a nivel detallado se realizará empleando por lo menos métodos determinísticos y modelos matemáticos, en función de la dinámica del movimiento en masa objeto de análisis.
 - ✓ Como parte del análisis de amenaza se debe tener en cuenta las causas de la inestabilidad del terreno, considerando dentro de los agentes detonantes los siguientes factores: agua, sismo y procesos antrópicos (cortes, excavaciones, rellenos y construcciones en general), mediante el análisis mínimo de tres escenarios.
-
- En las zonas de amenaza media por movimientos en masa, la cual se extiende hacia las laderas que bordean la cabecera, es necesario que se tenga especial cuidado con las intervenciones antrópicas, específicamente en lo que tiene que ver con los cortes, banqueos o explanaciones, que deberán hacerse bajo la dirección de personal profesional o contar con estudios geotécnicos para su desarrollo.

 - Los estudios de detalle en las zonas de condición de amenaza pueden ser realizados por los particulares, siguiendo las condiciones definidas en el presente informe y los alcances del decreto 1807 de 2014.

 - Si las zonas definidas como condición de amenaza no se definen como áreas de desarrollo sino que permanecerán libres de procesos de urbanización e infraestructura, entonces no aplica la realización de estudios de detalle.

 - Para la construcción de nuevas edificaciones se recomienda realizar estudios de suelos detallados y adoptar las recomendaciones tanto de diseño como constructivas que allí sean suministradas, especialmente en lo referente al del tipo de cimentación y profundidad de desplante necesaria para asegurar la estabilidad de la estructura y de las zonas aledañas.

 - Es necesario que se exija la aplicación del Código Colombiano de Sismo resistencia para todas las construcciones del suelo urbano.

 - Para el desarrollo de los suelos de expansión a través de planes parciales, se requiere para su aprobación la elaboración de un planteamiento urbanístico

donde se incluya el diagnóstico y la formulación de los sistemas estructurantes naturales, incluyendo variables geológicas, geotécnicas, de estabilidad, hidrológicas e hidráulicas.

- Asociado a la parte baja de taludes con pendientes superiores a 100% se debe respetar un retiro equivalente al 0.5m de la altura del talud. Este retiro es para construcciones permanentes, sin embargo no aplica para infraestructura vehicular, servicios públicos, ni de espacio público.
- Toda zona de amenaza alta o media ubicada en el suelo urbano o de expansión de la cabecera, que el municipio quiera desarrollar e incorporar en su plan de ordenamiento, deberá ser considerada como zona con condición de amenaza y deberá contar con las normas generales de densidades y usos. De no ser así, una vez realizados los estudios técnicos de detalle deberá revisar el EOT para incluir los cambios en densidades y usos con base en los resultados del estudio.
- Para la elaboración de estudios de detalle de amenaza, vulnerabilidad y riesgo se recomienda la consulta de las diferentes metodologías, incluyendo la guía metodológica del Servicio Geológico Colombiano para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa.

9.2 EN EL CENTRO POBLADO ALFONSO LÓPEZ

- El desarrollo de las zonas definidas como con condición de riesgo por movimientos en masa, correspondientes al sector norte y el costado occidental (sector Siete Cueros) está supeditado a la realización de estudios de detalle. Estos estudios deben considerar el análisis detallado de la amenaza, y la determinación de medidas específicas de mitigación.

Evaluación detallada de la amenaza: se deberá realizar una evaluación detallada de la amenaza por movimientos en masa que considere los siguientes aspectos:

- ✓ Geología para ingeniería.
- ✓ Geomorfología a nivel de elementos.
- ✓ Hidrogeología, con énfasis en comportamiento de los niveles freáticos.
- ✓ Evaluación del drenaje superficial.
- ✓ Sismología.
- ✓ Uso del Suelo.
- ✓ Exploración del subsuelo: Los estimativos de perforaciones deben realizarse de acuerdo al criterio del profesional que realice los estudios de detalle.

- ✓ Levantamiento topográfico, incluyendo la información predial o catastral.
 - ✓ El análisis de la amenaza a nivel detallado se realizará empleando por lo menos métodos determinísticos y modelos matemáticos, en función de la dinámica del movimiento en masa objeto de análisis.
 - ✓ Como parte del análisis de amenaza se debe tener en cuenta las causas de la inestabilidad del terreno, considerando dentro de los agentes detonantes los siguientes factores: agua, sismo y procesos antrópicos (cortes, excavaciones, rellenos y construcciones en general), mediante el análisis mínimo de tres escenarios.
-
- Se recomienda realizar un monitoreo constante al proceso morfodinámico localizado hacia la base del sector de Siete Cueros, esto con el fin de identificar la probabilidad de afectaciones sobre las edificaciones localizadas en dicha zona.
 - Hacia el sector de Siete Cueros se identifican afectaciones de tipo estructural en algunas viviendas, por lo que se recomienda realizar visitas de inspección por parte del personal técnico del CMGRD y evaluar la posibilidad de emprender procesos de reubicación, en caso de requerirse y a criterio de personal técnico.
 - Hacia el sur del centro poblado, las condiciones geológicas de la zona favorecen la ocurrencia de procesos erosivos, por lo que se recomienda recoger y encausar las aguas de escorrentía asociadas al sendero que transcurre por dicho sector.

9.3 EN EL CENTRO POBLADO SAN BERNARDO DE LOS FARALLONES

- En las zonas definidas como con condición de riesgo asociadas a la quebrada La Cascada y correspondiente al costado suroriental del centro poblado, donde ya se cuenta con el análisis detallado de la amenaza, se considera necesario la realización de los análisis de vulnerabilidad que permita determinar el nivel de riesgo de las construcciones e infraestructuras allí asentadas, teniendo en cuenta los siguientes requerimientos:

Evaluación de la vulnerabilidad: Se deberá realizar una evaluación de la vulnerabilidad física ante el fenómeno que considere los siguientes aspectos:

- ✓ Identificación y localización en cartografía, de los elementos expuestos.

- ✓ Caracterización de los elementos expuestos a las amenazas identificadas, en cuanto al tipo de elemento, grado de exposición, resistencia que ofrece el elemento y distribución espacial.
- ✓ Se deben identificar los diferentes tipos de daño o efectos esperados sobre los elementos expuestos que se pueden presentar como resultado del fenómeno natural.
- ✓ Esta información debe zonificarse en un mapa a la misma escala del mapa de amenazas detallado estableciendo categorías de vulnerabilidad alta, media y baja, de acuerdo a las características de los elementos expuestos.

Evaluación del riesgo: Se deberá realizar una evaluación del riesgo ante la inundación que sea el resultado de relacionar la zonificación detallada de amenaza y la evaluación de vulnerabilidad. Con base en ello, se categorizará en riesgo alto, medio y bajo en función de la afectación esperada. Adicional a lo anterior, la evaluación del riesgo debe contener los siguientes aspectos:

- ✓ Documento técnico que contenga metodología de evaluación empleada y los resultados.
- ✓ Fichas de evaluación de vulnerabilidad.
- ✓ Mapa de vulnerabilidad categorizada en alta, media y baja.
- ✓ Mapa de riesgo, categorizado en alto, medio y bajo, señalando para el riesgo alto si es mitigable o no mitigable.
- ✓ Mapas de localización y dimensionamiento de las medidas de intervención propuestas.
- ✓ Presupuestos estimados de costos de las alternativas planteadas.
- ✓ Inventario de viviendas en alto riesgo no mitigable.

9.4 EN EL SUELO RURAL

- La cuenca alta de las quebradas La Cascada, Sucre, La Arboleda y La Angostura debe ser manejada con especial cuidado, implementando actividades protectoras como el uso forestal para reducir la potencia de las avenidas torrenciales y restringir el uso de actividades productivas a la implementación de prácticas agroforestales y silvopastoriles.
- Las zonas de amenaza alta por avenidas torrenciales, pueden destinarse a usos pecuarios y agrícolas de tipo estacional, teniendo en cuenta que estas zonas pueden verse afectadas por inundaciones y crecientes. De acuerdo con esto, se debe prohibir la construcción de viviendas en estas zonas. En el caso

de que requiera un desarrollo en estas áreas, se deberán realizar estudios de detalle de acuerdo a los alcances definidos en el decreto 1807 de 2014.

- En la zona aledaña a la quebrada La Arboleda y que presenta amenaza alta por avenidas torrenciales, se recomienda restringir la ocupación con viviendas, y evaluar el nivel de riesgo de las infraestructuras actualmente ubicadas allí, teniendo en cuenta que dicha quebrada presenta reportes de eventos recientes.
- Se debe revisar la capacidad hidráulica de los puentes y obras de paso sobre fuentes rurales con zonas de amenaza por torrencialidad, de manera que se establezca su afectación ante posibles crecientes y la posibilidad de su mejoramiento.
- Se debe prohibir la construcción de cualquier tipo de edificación sobre las estructuras hidráulicas de las quebradas rurales, estas solamente podrán ser ocupadas con pasos viales y obras de espacio público y urbanismo.
- En las zonas de amenaza alta por movimientos en masa donde predominan las coberturas de pastos limpios y mosaicos de cultivos se recomienda implementar prácticas de manejo silvopastoril. Se debe prohibir a futuro el establecimiento de pastos o actividades pecuarias que no respondan a este tipo de manejo. De igual manera en estas zonas se deben restringir los usos que implementan cultivos limpios y transitorios y promover prácticas agroforestales.
- En las zonas catalogadas como de amenaza alta por movimientos en masa se restringe la construcción de viviendas o la densificación de las zonas actualmente ocupadas. En caso de requerirse la ocupación de estas áreas se requiere la realización de estudios de detalle de acuerdo a los alcances definidos en el decreto 1807 de 2014.
- En las zonas de amenaza media por movimientos en masa donde se presenta un predominio de coberturas de tipo pastos limpios, se debe garantizar un adecuado manejo de éstas áreas para evitar que pasen a la categoría de amenaza alta por movimientos en masa y en lo posible implementar prácticas de manejo silvopastoriles o agroforestales disminuyan los efectos sobre el suelo.
- Las zonas con pendientes superiores al 100%, como la zona asociada a los Farallones de Citará en la vereda Farallones deben continuar siendo destinadas a actividades forestales protectoras como las que actualmente poseen.

- Hacia la parte alta de las veredas Bolívar Alta, Manzanillo y San Miguel, la amenaza se determina como alta y por las condiciones de pendiente se recomienda que permanezca en actividades forestales, porque el cambio en el uso puede generar la ocurrencia de procesos morfodinámicos.
- Para evitar el desarrollo de surcos y cárcavas en los caminos rurales principalmente, se deben realizar obras de drenaje cunetas y pasos o barreras transversales con materiales propios de la zona.
- Los procesos erosivos pueden ayudar a la generación de movimientos en masa, por lo que se recomienda en aquellos lugares identificados con cárcavas y en general donde se presentan terracetas asociadas a la actividad pecuaria, buscar la recuperación por medio de prácticas de manejo.
- En las zonas afectadas por movimientos en masa ni sus zonas de influencia directa no se debe permitir la construcción de vivienda.
- Es necesario que se exija la aplicación del Código Colombiano de Sismo resistencia para las construcciones del suelo rural.
- Para la realización de infraestructura vial en el suelo rural, se deben revisar las disposiciones estructurales de los materiales geológicos, de manera que no se favorezcan los movimientos en masa con los cortes y banqueos.
- Se recomienda que en el EOT las zonas afectadas por movimientos en masa tenga un tratamiento de recuperación para la estabilización de dichas zonas, especialmente en aquellos procesos de dimensiones mayores e impacto sobre las vías de comunicación.
- En general y en todas las situaciones, se recomienda conservar el uso forestal en las áreas existentes, puesto que el cambio de uso cambia la condición de amenaza.
- Teniendo en cuenta que las amenazas naturales son dinámicas, el mapa de zonificación de amenazas será permanentemente actualizado por los funcionarios de planeación municipal o por el Consejo Territorial de Gestión del Riesgo, lo que facilitará una nueva revisión de este.
- El Plan Municipal de Gestión de Riesgos de Desastres debe ser actualizado de manera que se revisen los escenarios de riesgo, se implementen las acciones puntuales definidas y las restricciones al uso planteadas en este documento.

10 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ÁLVAREZ, E., GONZÁLEZ, H. 1978. Geología y Geoquímica del cuadrángulo I-7. Informe No. 1761. INGEOMINAS, Bogotá. 347 p.

APARICIO, F. 1997. Fundamentos de Hidrología de Superficie. 11 ed. México. Editorial Limusa S.A. 303 p.

ASHKAR, F., OUARDA, T. B. M. J., ROY, R. AND BOBÉE, B. 1994. Robust estimators in hydrologic frequency analysis, in Engineering Hydrology. Edited by C.Y, pp 347-352, Am. Soc. Civ. Eng.

CALLE, B., et al. 1980. Edad K-Ar de dos plutones de la parte septentrional de la Cordillera Occidental de Colombia. Bogotá. Geología Norandina. 2:11-17.

CALLE, B., GONZÁLEZ, H. 1980. Geología y geoquímica de la Plancha 166 (Jericó) Ingeominas. Informe 1822. 232 pp.

CARDONA, O.D. 2005. Sistema de indicadores para la gestión del riesgo de desastre: Informe técnico principal. Programa BID/IDEA de Indicadores para la Gestión de Riesgos, Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

CARRARA A, CARDINALI M, GUZZETTI F, REICHENBACH P. 1995. GIS technology in mapping landslide hazard. In Geographical Information Systems in Assessing Natural Hazards, Carrara A, Guzzetti F. (eds). Kluwer: Dordrecht; 135–176.

CHOW, V.; MAIDMENT, D.; MAYS, L. 1994. Hidrología aplicada. Bogotá: McGraw-Hill, 583 p.

CVC; INGEOMINAS. 2001. Guía metodológica para la zonificación de amenazas por fenómenos de remoción en masa – método univariado –y escenarios de riesgo por avenidas torrenciales. Bogotá, 166 p.

CHALKIAS, C., FERENTINO, M., POLYKRETIS, C. 2014. GIS-Based Landslide Susceptibility Mapping on the Peloponnese Peninsula, Greece. Geosciences, 4, 176-190.

CORANTIOQUIA, Universidad Nacional de Colombia, Instituto de Investigaciones en Geociencias, Minería y Química, INGEOMINAS. 2002. Mapa geomorfológico,

de amenazas y de áreas degradadas de la jurisdicción de CORANTIOQUIA a escala 1:100.000. Informe Final. Medellín. 143 pág.

GIRALDO, L.G. 2002. Memorias de hidrología forestal (Influencia de los bosques). Departamento de Ciencias Forestales, Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 227p.

HE, Y., Y BEIGHLEY, E. 2008. GIS-based regional landslide susceptibility mapping: a case study in southern California, *Earth Surface Processes and Landforms* Earth 33, 380 –393.

HERNÁNDEZ A., PASTOR J., URCELAY A. y ESTALRICH E. 1992. Características radicales de pastos oligotrofos con *Agrostis*. XXXII Reunión científica de la S.E.E.P. Pamplona, España. 8 p.

INGEOMINAS. 1980. Geología de la plancha 165 – Carmen de Atrato. Escala 1:100.000. Bogotá, D.C.

INGEOMINAS. 1984. Geología de la plancha 166 – Jericó. Escala 1:100.000. Bogotá, D.C.

INGEOMINAS. 1999. Geología del departamento de Antioquia, escala 1:400.000.

INGEOMINAS-CVC. 2001. Guía metodológica para la zonificación de amenazas por fenómenos de remoción en masa-método univariado- y escenarios de riesgo por avenidas torrenciales. Bogotá.

INGEOMINAS - UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA. 2010. Mapa Nacional de Amenaza Sísmica, período de retorno 475 años. Escala 1:1'500.000, Bogotá D.C.

LEE S, SAMBATH T. 2006. Landslide susceptibility mapping in the Damrei Romel area, Cambodia using frequency ratio and logistic regression models. *Environ Geol* 50:847–855, doi:10.1007/s00254-006-0256-7.

LEE S, TALIB JA. 2005. Probabilistic landslide susceptibility and factor effect analysis. *Environ Geol* 47:982–990, doi:10.1007/s00254-005-1228-z.

LEROI E. 1997. Landslide risk mapping: problems, limitation and developments. In *Landslide Risk Assessment*, Cruden D, Fell R (eds). Balkema: Rotterdam; 239–250.

LINSLEY, R.; KOHLER, M.; PAULUS, J. 1988. Hidrología para ingenieros. 2 ed. México. Editorial McGraw-Hill Interamericana S.A. 386 p.

MIYASHIRO, A., 1994. Metamorphic Petrology. Oxford University Press, New York. 404 P.

METEN, M., PRAKASHBHANDARY, N., RYUICHI YATABE, R. 2015. Effect of Landslide Factor Combinations on the Prediction Accuracy of Landslide Susceptibility Maps in the Blue Nile Gorge of Central Ethiopia. Geoenvironmental Disasters 2:9

MROZEK, T., POLI, S., STERLACCHINI, S., ZABUSKI, L. 2004 Landslide susceptibility assessment: a case study from Beskid Niski mts., Carpathians, Poland. Polish Geological Institute Special Papers, 15: 13–18.

ORDAZ, M.; AGUILAR, A.; ARBOLEDA, J. 2007. CRISIS - Program for Computing Seismic Hazard, Instituto de Ingeniería UNAM, México.

PANIKKAR S, SUBRAMANIYAN V. 1997. Landslide hazard analysis of the area around Dehra Dun and Mussoorie, Uttar Pradesh. Curr Sci 73:1117-1123.

PEREIRA, S., ZEZE, JL., BATEIRA, C. 2012. Technical Note: Assessing predictive capacity and conditional independence of landslide predisposing factors for shallow landslide susceptibility models. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 12, 979–988.

POSADA, L., 1994. Transporte de Sedimentos. Posgrado en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos. Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.

RAVEN P., EVERT R. y EICHHORN S. 1992. Biología de las plantas. Vol. 2. Ed. Reverté S.A. Barcelona, España. 777 p.

RESTREPO, J.J., Y TOUSSAINT, J.F. 1976. Edades radiométricas de algunas rocas del Antioquia. Universidad Nacional de Colombia, Medellín, Publicación Especial de Geología, (6): 1-13.

REYES, R.; BASTIDAS, S.; PEÑA, E. 1997. Distribución del sistema radical de la palma de aceite (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Tumaco, Colombia. En: Revista Palmas 18 (3): 49 – 57.

SARKAR S, KANUNGO DP. 2004. An integrated approach for landslide susceptibility mapping using remote sensing and GIS; Photogrammetric. Eng Rem Sens 70(5):617–625.

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO (SGC). 2012. Propuestas sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000. Bogotá, D.C. 88 p.

SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO (SGC). 2013. Documento metodológico de la zonificación de susceptibilidad y amenaza relativa por movimientos en masa Esc. 1:100.000. Bogotá D.C., 135p.

SOETERS, R. AND VAN WESTEN, C.J. 1996. Slope instability recognition, analysis, and zonation. In: Landslides, investigation and mitigation / ed. by. A.K. Turner and R.L. Schuster. Washington, D.C. National Academy Press, 1996. ISBN 0-309-06151-2. (Transportation Research Board, National Research Council, Special Report; 247) pp. 129 – 177.

SUÁREZ, J. 2009. Deslizamientos: técnicas de remediación, Capítulo 9: La vegetación y los deslizamientos, p: 292 - 312. Universidad Industrial de Santander, UIS. Santander. 417 p. Tomado de www.erosion.com.co.

UNIVERSIDAD EAFIT, UNIVERSIDAD DE MEDELLÍN, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, 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 (UNALMED), AMVA, CORANTIOQUIA y CORNARE, 2006. Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca del Río Aburrá.

VAN WESTEN, C., 1997. Statistical landslide hazard analysis. ILWIS 2.1 for Windows application guide. Enshede, The Netherlands, ITC Publication N. 15: 73-84.

VAN WESTEN, C.J., RENGERS, N. AND SOETERS, R. 2003. Use of geomorphological information in indirect landslide susceptibility assessment. In: Natural hazards: journal of the international society for the prevention and mitigation of natural hazards, 30 (2003)3 pp. 399-419.

VAN WESTEN, C.J., VAN ASCH, TH.W.J. AND SOETERS, R. 2006. Landslide hazard and risk zonation: why is it still so difficult?. In: Bulletin of engineering geology and the environment IAEG, 65 (2006) 2 pp. 167-184.

VAN WESTEN, C.J., CASTELLANOS ABELLA, E.A. AND SEKHAR, L.K. 2008. Spatial data for landslide susceptibility, hazards and vulnerability assessment: an overview. In: Engineering geology, 102 (2008)3-4 pp. 112-131.

VARAS, E.; BOIS, P. 1998. Hidrología probabilística. Santiago. Editorial Universidad Católica de Chile. 156 p.

VISCARRA, F. 2007. Gis statistical shallow landslide assessment at a sub-catchment scale in northwestern Vietnam. Revista I. Civil 2007-2008.

ZHANG, J., GURUNG, D., LIU, R., RAMACHANDRA, M., SU, F. BAREK, A. 2015. Landslide and landslide susceptibility assessment in Badakhshan Province, Afghanistan Landslides 12:597–609 DOI 10.1007/s10346-015-0558-5.