Libro 1. Contenidos Estratégicos

Título 2. Estrategia de ordenamiento para el territorio distrital

DT.04

Anexo 10 del Documento Técnico 04.

Mapa de Amenaza por Avenidas Torrenciales en Perspectiva de Cambio Climático Centros Poblados Rurales – Escala 1:2000

INSTITUTO DISTRITAL DE GESTIÓN DE RIESGOS Y CAMBIO CLIMÁTICO
IDIGER

SUBDIRECCIÓN DE ANÁLISIS DE RIESGOS Y EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO
GRUPO DE TRABAJO TEMÁTICO
AVENIDAS TORRENCIALES
BOGOTÁ, COLOMBIA

PROYECTO ACTUALIZACIÓN COMPONENTE DE GESTIÓN DEL RIESGO PARA LA REVISIÓN ORDINARIA Y ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL

DOCUMENTO TÉCNICO DE SOPORTE

ESTUDIOS BÁSICOS

"AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN PERSPECTIVA DE CAMBIO CLIMÁTICO"

VOLUMEN 3

ORIGINAL

Bogotá D. C., 2 de mayo de 2019

Proyecto actualización de componente de gestión del riesgo para la revisión ordinaria y actualización del Plan de Ordenamiento Territorial

Documento Técnico de Soporte

PARTE III
MAPA DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN PERSPECTIVA DE CAMBIO CLIMÁTICO CENTROS POBLADOS RURALES ESCALA 1:2000

Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático
IDIGER
Diagonal 47 No. 77 B-09 Interior 11
www.idiger.gov.co
Bogotá - Colombia

Director: Ing. Richard Vargas.
Responsable Área: Ing. Diana Arévalo S. Subdirección de Análisis de Riesgos y Efectos de Cambio Climático
Coordinación: César F. Peña P.
Responsable Grupo: Daniel Esteban Bermúdez J.

Elaborado por:
Grupo de Trabajo Temático
Avenidas Torrenciales

ORIGINAL

2 de mayo de 2019

RESUMEN

En el marco del proyecto de actualización del componente de gestión del riesgo para la revisión ordinaria del plan de ordenamiento territorial de Bogotá D.C. – POT, se presenta el documento técnico de soporte – DTS donde se muestra la metodología usada por el Instituto Distrital para la Gestión del Riesgo y el Cambio Climático - IDIGER para la elaboración de un nuevo mapa no incluido en el Decreto 190 de 2004 (por medio del cual se compilan las disposiciones contenidas en los Decretos Distritales 619 de 2000 y 469 de 2003 o POT) de amenaza por avenidas torrenciales para los centros poblados rurales del Distrito Capital, en cumplimiento de lo establecido para los estudios básicos del Decreto Nacional 1807 de 2014 (compilado por el Decreto Nacional 1077 de 2015). El proceso de elaboración consistió en el desarrollo de los análisis geomorfológicos, hidrológicos, hidráulicos y de sedimentos para poder realizar la zonificación de amenaza por avenidas torrenciales para los nueve centros poblados rurales del Distrito Capital y que corresponden con El Destino de la localidad de Usme; Mochuelo Alto, Pasquilla y Quiba Bajo de la localidad de Ciudad Bolívar; Betania, La Unión, Nazareth, Nueva Granada y San Juan de la localidad Sumapaz.

TABLA DE CONTENIDO

0 INTRODUCCIÓN 24
1 OBJETIVOS 25
1.1 OBJETIVO GENERAL 25
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS 25
2 ALCANCE Y LIMITACIONES 26
3 CONTEXTO DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES 27
4 AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTROS POBLADOS A ESCALA 1:2.000 28
4.1 AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN EL CENTRO POBLADO QUIBA BAJO 29
4.1.1 ÁREA DE ESTUDIO 29
4.1.2 INSUMOS 30
4.1.2.1 CARTOGRAFÍA BASE 30
4.1.2.2 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN 31
4.1.2.3 GEOMORFOLOGÍA 32
4.1.3 METODOLOGÍA 32
4.1.3.1 ESQUEMA METODOLÓGICO 33
4.1.4 ANÁLISIS HIDROLÓGICO 34
4.1.4.1 Cuencas Hidrográficas 34
4.1.4.2 Morfometría 38
4.1.4.3 Modelo Lluvia – Escorrentia 38
4.1.5 ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO 41
4.1.5.1 INVENTARIO DE PROCESOS MORFODINÁMICOS 44
4.1.5.2 VERIFICACIÓN EN CAMPO 45
4.1.6 ANÁLISIS DE SEDIMENTOS 49
4.1.7 ANÁLISIS HIDRAÚLICO 51
- MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN 51
4.1.8 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES 54
- RESULTADOS DE MODELACIÓN 54
4.1.9 ZONIFICACIÓN Y MAPA DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO QUIBA BAJO 58
4.1.10 ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO QUIBA BAJO 60
4.1.10.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de Amenaza por Avenidas Torrenciales en el Centro Poblado Quiba Bajo 61
4.1.11 ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO QUIBA BAJO 61

4.1.11.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de Riesgo por Avenidas Torrenciales en el Centro Poblado Quiba Bajo 63
4.1.12 ESTUDIOS DETALLADOS DE RIESGO EN ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO QUIBA BAJO 64
4.2 AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO PASQUILLA 65
4.2.1 ÁREA DE ESTUDIO 65
4.2.2 INSUMOS 66
4.2.2.1 CARTOGRAFÍA BASE 66
4.2.2.2 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN 67
4.2.2.3 GEOMORFOLOGÍA 68
4.2.3 METODOLOGÍA 69
4.2.3.1 ESQUEMA METODOLÓGICO 69
4.2.4 ANÁLISIS HIDROLÓGICO 70
4.2.4.1 Cuencas Hidrográficas 71
4.2.4.2 Morfometría 74
4.2.4.3 Modelo Lluvia – Escorrentia 74
4.2.5 ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO 77
4.2.5.1 INVENTARIO DE PROCESOS MORFODINÁMICOS 79
4.2.5.2 VERIFICACIÓN EN CAMPO 81
4.2.6 ANÁLISIS DE SEDIMENTOS 81
4.2.7 ANÁLISIS HIDRAÚLICO 83
- MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN 83
4.2.8 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES 86
- RESULTADOS DE MODELACIÓN 86
4.2.9 ZONIFICACIÓN Y MAPA DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO PASQUILLA 89
4.2.10 ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO PASQUILLA 91
4.2.10.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de amenaza por avenidas torrenciales en Centro Poblado Pasquilla 92
4.2.11 ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO PASQUILLA 92
4.2.11.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de Riesgo por avenidas torrenciales en centro poblado Pasquilla 93
4.2.12 ESTUDIOS DETALLADOS DE RIESGO EN ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO PASQUILLA 94
4.3 AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO NUEVA GRANADA 95
4.3.1 ÁREA DE ESTUDIO 95

4.3.2 INSUMOS 96
4.3.2.1 CARTOGRAFÍA BASE 96
4.3.2.2 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN 98
4.3.2.3 GEOMORFOLOGÍA 99
4.3.3 METODOLOGÍA 100
4.3.3.1 ESQUEMA METODOLÓGICO 100
4.3.4 ANÁLISIS HIDROLÓGICO 101
4.3.4.1 Cuencas Hidrográficas 102
4.3.4.2 Morfometría 106
4.3.4.3 Modelo Lluvia – Escorrentia 106
4.3.5 ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO 109
4.3.5.1 INVENTARIO DE PROCESOS MORFODINÁMICOS 112
4.3.5.2 VERIFICACIÓN EN CAMPO 114
4.3.6 ANÁLISIS DE SEDIMENTOS 115
4.3.7 ANÁLISIS HIDRAÚLICO 117
- MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN 117
4.3.8 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES 120
- RESULTADOS DE MODELACIÓN 120
4.3.9 ZONIFICACIÓN Y MAPA DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO NUEVA GRANADA 123
4.3.10 ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO NUEVA GRANADA 125
4.3.10.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de Amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado Nueva Granada 126
4.3.11 ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO NUEVA GRANADA 127
4.3.11.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de Riesgo por avenidas torrenciales en centro poblado Nueva Granada 129
4.3.12 ESTUDIOS DETALLADOS DE RIESGO EN ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO NUEVA GRANADA 129
4.4 AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO NAZARETH 130
4.4.1 ÁREA DE ESTUDIO 130
4.4.2 INSUMOS 131
4.4.2.1 CARTOGRAFÍA BASE 131
4.4.2.2 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN 132
4.4.2.3 GEOMORFOLOGÍA 133
4.4.3 METODOLOGÍA 133
4.4.3.1 ESQUEMA METODOLÓGICO 134
4.4.4 ANÁLISIS HIDROLÓGICO 135

4.4.4.1 Cuencas Hidrográficas ... 135
4.4.4.2 Morfometría ... 139
4.4.4.3 Modelo Lluvia – Escorrentia ... 139
4.4.5 ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO ... 142
4.4.5.1 INVENTARIO DE PROCESOS MORFODINÁMICOS ... 145
4.4.5.2 VERIFICACIÓN EN CAMPO ... 147
4.4.6 ANÁLISIS DE SEDIMENTOS ... 148
4.4.7 ANÁLISIS HIDRAÚLICO ... 151
• MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN ... 151
4.4.8 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES ... 154
• RESULTADOS DE MODELACIÓN ... 154
4.4.9 ZONIFICACIÓN Y MAPA DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO NAZARETH ... 157
4.4.10 ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO NAZARETH ... 159
4.4.10.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de Amenaza en centro poblado Nazareth ... 160
4.4.11 ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO NAZARETH ... 161
4.4.11.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de Riesgo por avenidas torrenciales en centro poblado Nazareth ... 162
4.4.12 ESTUDIOS DETALLADOS DE RIESGO EN ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO NAZARETH ... 162
4.5 AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO BETANIA ... 163
4.5.1 ÁREA DE ESTUDIO ... 163
4.5.2 INSUMOS ... 164
4.5.2.1 CARTOGRAFÍA BASE ... 164
4.5.2.2 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN ... 165
4.5.2.3 GEOMORFOLOGÍA ... 166
4.5.3 METODOLOGÍA ... 166
4.5.3.1 ESQUEMA METODOLÓGICO ... 167
4.5.4 ANÁLISIS HIDROLÓGICO ... 168
4.5.4.1 Cuencas Hidrográficas ... 168
4.5.4.2 Morfometría ... 172
4.5.4.3 Modelo Lluvia – Escorrentia ... 172
4.5.5 ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO ... 175
4.5.5.1 INVENTARIO DE PROCESOS MORFODINÁMICOS ... 177
4.5.5.2 VERIFICACIÓN EN CAMPO ... 178
4.5.6 ANÁLISIS DE SEDIMENTOS ... 181
4.5.7 ANÁLISIS HIDRAÚLICO ... 183

- MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN 183

4.5.8 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES 186

- RESULTADOS DE MODELACIÓN 186

4.5.9 ZONIFICACIÓN Y MAPA DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO BETANIA 189
4.5.10 ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO BETANIA 191

4.5.10.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de Amenaza por Avenidas Torrenciales en el centro poblado Betania 192

4.5.11 ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO BETANIA 193

4.5.11.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de Riesgo por Avenidas Torrenciales en el Centro Poblado Betania 194

4.5.12 ESTUDIOS DETALLADOS DE RIESGO EN ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO BETANIA 194

4.6 AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO LA UNIÓN . 195

4.6.1 ÁREA DE ESTUDIO 195
4.6.2 INSUMOS 196

4.6.2.1 CARTOGRAFÍA BASE 196
4.6.2.2 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN 197
4.6.2.3 GEOMORFOLOGÍA 198

4.6.3 METODOLOGÍA 198

4.6.3.1 ESQUEMA METODOLÓGICO 199

4.6.4 ANÁLISIS HIDROLÓGICO 200

4.6.4.1 Cuencas Hidrográficas 200
4.6.4.2 Morfometría 204
4.6.4.3 Modelo Lluvia – Escorrentia 204

4.6.5 ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO 207

4.6.5.1 INVENTARIO DE PROCESOS MORFODINÁMICOS 210
4.6.5.2 VERIFICACIÓN EN CAMPO 212

4.6.6 ANÁLISIS DE SEDIMENTOS 214
4.6.7 ANÁLISIS HIDRAÚLICO 216

- MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN 216

4.6.8 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES 219

- RESULTADOS DE MODELACIÓN 219

4.6.9 ZONIFICACIÓN Y MAPA DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO LA UNIÓN 222
4.6.10 ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO LA UNIÓN 223

4.6.10.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de Amenaza por Avenidas Torrenciales en el Centro Poblado La Unión 225

4.6.11 ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO LA UNIÓN 225

4.6.11.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de Riesgo por Avenidas Torrenciales en el Centro poblado La Unión 226

4.6.12 ESTUDIOS DETALLADOS DE RIESGO EN ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO LA UNIÓN 227

4.7 AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO san juan 228

4.7.1 ÁREA DE ESTUDIO 228
4.7.2 INSUMOS 229

4.7.2.1 CARTOGRAFÍA BASE 229
4.7.2.2 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN 230
4.7.2.3 GEOMORFOLOGÍA 231

4.7.3 METODOLOGÍA 231

4.7.3.1 ESQUEMA METODOLÓGICO 232

4.7.4 ANÁLISIS HIDROLÓGICO 233

4.7.4.1 Cuencas Hidrográficas 233
4.7.4.2 Morfometría 237
4.7.4.3 Modelo Lluvia – Escorrentia 237

4.7.5 ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO 240

4.7.5.1 INVENTARIO DE PROCESOS MORFODINÁMICOS 243
4.7.5.2 VERIFICACIÓN EN CAMPO 245

4.7.6 ANÁLISIS DE SEDIMENTOS 247
4.7.7 ANÁLISIS HIDRAÚLICO 249

- MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN 249

4.7.8 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES 252

- RESULTADOS DE MODELACIÓN 252

4.7.9 ZONIFICACIÓN Y MAPA DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO SAN JUAN 255
4.7.10 ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO SAN JUAN 256

4.7.10.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de Amenaza por Avenidas Torrenciales en el Centro Poblado San Juan 258

4.7.11 ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO SAN JUAN 258

4.7.11.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de Riesgo por Avenidas Torrenciales en el centro poblado San Juan 259

4.7.12 ESTUDIOS DETALLADOS DE RIESGO EN ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO SAN JUAN 259

4.8 AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO EL DESTINO 261

4.8.1 ÁREA DE ESTUDIO 261
4.8.2 INSUMOS 262
4.8.2.1 CARTOGRAFÍA BASE 262
4.8.2.2 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN 263
4.8.2.3 GEOMORFOLOGÍA 264
4.8.3 METODOLOGÍA 265
4.8.3.1 ESQUEMA METODOLÓGICO 265
4.8.4 ANÁLISIS HIDROLÓGICO 266
4.8.4.1 Cuencas Hidrográficas 266
4.8.4.2 Morfometría 270
4.8.4.3 Modelo Lluvia – Escorrentia 270
4.8.5 ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO 273
4.8.5.1 INVENTARIO DE PROCESOS MORFODINÁMICOS 275
4.8.5.2 VERIFICACIÓN EN CAMPO 278
4.8.6 ANÁLISIS DE SEDIMENTOS 280
4.8.7 ANÁLISIS HIDRAÚLICO 281
- MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN 281

4.8.8 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES 285
- RESULTADOS DE MODELACIÓN 285

4.8.9 ZONIFICACIÓN Y MAPA DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO EL DESTINO 288
4.8.10 ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO EL DESTINO 289
4.8.10.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de Amenaza por Avenidas Torrenciales en el Centro Poblado El Destino 291
4.8.11 ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO EL DESTINO 291
4.8.11.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de Riesgo por Avenidas Torrenciales en el Centro Poblado El Destino 292
4.8.12 ESTUDIOS DETALLADOS DE RIESGO EN ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO EL DESTINO 293

4.9 AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO MOCHUELO ALTO 294

4.9.1 ÁREA DE ESTUDIO 294
4.9.2 INSUMOS 295
4.9.2.1 CARTOGRAFÍA BASE 295

4.9.2.2 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN ... 296
4.9.2.3 GEOMORFOLOGÍA ... 297
4.9.3 METODOLOGÍA ... 298
4.9.3.1 ESQUEMA METODOLÓGICO ... 298
4.9.4 ANÁLISIS HIDROLÓGICO ... 299
4.9.4.1 Cuencas Hidrográficas ... 299
4.9.4.2 Morfometría ... 303
4.9.4.3 Modelo Lluvia – Escorrentia ... 303
4.9.5 ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO ... 306
4.9.5.1 INVENTARIO DE PROCESOS MORFODINÁMICOS ... 308
4.9.5.2 VERIFICACIÓN EN CAMPO ... 310
4.9.6 ANÁLISIS DE SEDIMENTOS ... 312
4.9.7 ANÁLISIS HIDRAÚLICO ... 314
- MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN ... 314
4.9.8 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES ... 317
- RESULTADOS DE MODELACIÓN ... 317
4.9.9 ZONIFICACIÓN Y MAPA DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO MOCHUELO ALTO ... 320
4.9.10 ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO MOCHUELO ALTO ... 321
4.9.10.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de Amenaza por Avenidas Torrenciales en el Centro Poblado Mochuelo Alto 323
4.9.11 ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO MOCHUELO ALTO ... 323
4.9.11.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de Riesgo por Avenidas Torrenciales en el Centro Poblado Mochuelo Alto 324
4.9.12 ESTUDIOS DETALLADOS DE RIESGO EN ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO MOCHUELO ALTO ... 325
BIBLIOGRAFÍA ... 326
5 ANEXOS ... 327
5.1 TABLA INFORMACIÓN DISPONIBLE ... 327
5.2 INVENTARIO DE CUENCAS ... 327
5.3 PRIORIZACIÓN DE CUENCAS ... 327
5.4 ESTACIONES IDF ... 327

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 4-1. Localización General de los centros poblados rurales 29
Figura 4-2. Localización del centro poblado Quiba Baja. 30
Figura 4-3: Modelo Digital de Elevación del centro poblado Quiba Bajo 32
Figura 4-4. Esquema metodológico 33
Figura 4-5. Cuencas analizadas en el centro poblado Quiba Bajo. 37
Figura 4-6. Caudales Pico Según Cuencas analizadas en el centro poblado Quiba Bajo. 40
Figura 4-7. Mapa geomorfológico construido para Quiba Bajo. 42
Figura 4-8. Mapa de procesos morfodinámicos construido para Quiba Bajo. 45
Figura 4-9: Buffer de 100 m Cuerpos de Agua Centro Poblado Quiba Bajo 53
Figura 4-10: Procedimiento en ModelBuilder de ArcGIS para la Extracción Raster modelaciones . 54
Figura 4-11. Resultado modelación de amenaza por avenidas torrenciales 58
Figura 4-12. Zonificación de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado Quiba Bajo ... 59
Figura 4-13: Mapa de áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado Quiba Bajo 61
Figura 4-14: Mapa de áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en centro poblado Quiba Bajo 63
Figura 4-15. Localización del centro poblado Pasquilla. 65
Figura 4-16: Modelo Digital de Elevación del centro poblado Pasquilla 68
Figura 4-17. Esquema metodológico 69
Figura 4-18. Cuencas analizadas en el centro poblado Pasquilla. 73
Figura 4-19. Caudales Pico Según Cuencas analizadas en el centro poblado Pasquilla. 76
Figura 4-20. Mapa geomorfológico construido para el centro poblado Pasquilla 78
Figura 4-21. Mapa de procesos morfodinámicos construido para Pasquilla. 80
Figura 4-22: Buffer de 100 m Cuerpos de Agua Centro Poblado Pasquilla 84
Figura 4-23: Procedimiento en ModelBuilder de ArcGIS para la Extracción Raster modelaciones . 86
Figura 4-24. Resultado modelación de amenaza por avenidas torrenciales 88
Figura 4-25. Zonificación de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado Pasquilla..... 90
Figura 4-26: Mapa de áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado Pasquilla 92
Figura 4-27: Mapa de áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en centro poblado Pasquilla 93
Figura 4-28. Localización del centro poblado Nueva Granada 96
Figura 4-29. Puntos de Control Nueva Granada..... 98
Figura 4-30. Modelo Digital del Elevación del centro poblado Nueva Granada 99
Figura 4-31. Esquema metodológico 100
Figura 4-32. Cuencas analizadas en el centro poblado Nueva Granada. 105
Figura 4-33. Caudales Pico Según Cuencas analizadas en el centro poblado Nueva Granada. .. 109
Figura 4-34. Mapa geomorfológico de Nueva Granada 111
Figura 4-35. Mapa de procesos morfodinámicos construido para Nueva Granada. 113
Figura 4-36: Buffer de 100 m Cuerpos de Agua Centro Poblado Nueva Granada 118
Figura 4-37: Procedimiento en ModelBuilder de ArcGIS para la Extracción Raster modelaciones 120
Figura 4-38. Resultado modelación de amenaza por avenidas torrenciales 122
Figura 4-39. Zonificación de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado Nueva Granada 125
Figura 4-40: Mapa de áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado Nueva Granada 126
Figura 4-41: Mapa de áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en centro poblado Nueva Granada 128
Figura 4-42. Localización general del Centro Poblado Nazareth, Localidad del Sumapaz. 130
Figura 4-43: Modelo Digital del Elevación del centro poblado Nazareth 133

Figura 4-44. Esquema metodológico 134
Figura 4-45. Cuencas analizadas en el centro poblado Nazareth. 138
Figura 4-46. Caudales Pico Según Cuencas analizadas en el centro poblado Nazareth. 142
Figura 4-47. Geomorfología y perfil del Centro Poblado Nazareth, Localidad de Sumapaz 143
Figura 4-48. Mapa geomorfológico construido para Nazareth. 144
Figura 4-49. Mapa de procesos morfodinámicos construido para Nazareth. 146
Figura 4-50: Buffer de 100 m Cuerpos de Agua Centro Poblado Nazareth 152
Figura 4-51: Procedimiento en ModelBuilder de ArcGIS para la Extracción Raster modelaciones 153
Figura 4-52. Resultado modelación de amenaza por avenidas torrenciales 156
Figura 4-53. Zonificación de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado Nazareth. 158
Figura 4-54: Mapa de áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado Nazareth 160
Figura 4-55: Mapa de áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en centro poblado Nazareth. 162
Figura 4-56. Localización general del Centro Poblado Betania, Localidad del Sumapaz. 164
Figura 4-57: Modelo Digital del Elevación del centro poblado Betania 166
Figura 4-58. Esquema metodológico 167
Figura 4-59. Cuencas analizadas en el centro poblado Betania. 171
Figura 4-60. Caudales Pico Según Cuencas analizadas en el centro poblado Betania. 175
Figura 4-61. Mapa geomorfológico construido para Betania. 176
Figura 4-62. Geomorfología y perfil del Centro Poblado Betania, Localidad de Sumapaz 177
Figura 4-63. Mapa de procesos morfodinámico construido para Betania. 180
Figura 4-64: Buffer de 100 m Cuerpos de Agua Centro Poblado Betania 184
Figura 4-65: Procedimiento en ModelBuilder de ArcGIS para la Extracción Raster modelaciones 185
Figura 4-66. Resultado modelación de amenaza por avenidas torrenciales 189
Figura 4-67. Zonificación de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado Betania. 190
Figura 4-68: Mapa de áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado Betania 192
Figura 4-69: Mapa de áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en centro poblado Betania 194
Figura 4-70. Localización general del Centro Poblado La Unión, Localidad del Sumapaz. 196
Figura 4-71: Modelo Digital del Elevación del centro poblado La Unión. 198
Figura 4-72. Esquema metodológico 199
Figura 4-73. Cuencas analizadas en el centro poblado La Unión. 204
Figura 4-74. Caudales Pico Según Cuencas analizadas en el centro poblado La Unión. 206
Figura 4-75. Mapa geomorfológico construido para La Unión. 208
Figura 4-76. Geomorfología y perfil del centro poblado La Unión, Localidad de Sumapaz 209
Figura 4-77. Mapa de procesos morfodinámicos construido para La Unión. 211
Figura 4-78: Buffer de 100 m Cuerpos de Agua Centro Poblado La Unión 217
Figura 4-79: Procedimiento en ModelBuilder de ArcGIS para la Extracción Raster modelaciones 218
Figura 4-80. Resultado modelación de amenaza por avenidas torrenciales 221
Figura 4-81. Zonificación de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado La Unión. 223
Figura 4-82: Mapa de áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado La Unión 224
Figura 4-83: Mapa de áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en centro poblado La Unión 226
Figura 4-84. Localización general del Centro Poblado San Juan, Localidad del Sumapaz. 228
Figura 4-85: Modelo Digital del Elevación del centro poblado San Juan 231
Figura 4-86. Esquema metodológico 232
Figura 4-87. Cuencas analizadas en el centro poblado San Juan. 236
Figura 4-88. Caudales Pico Según Cuencas analizadas en el centro poblado San Juan. 239

Figura 4-89. Mapa geomorfológico construido para San Juan. 241
Figura 4-90. Geomorfología y perfil del Centro Poblado San Juan , Localidad de Sumapaz 242
Figura 4-91. Mapa de procesos morfodinámicos construido para San Juan. 244
Figura 4-92: Buffer de 100 m Cuerpos de Agua Centro Poblado San Juan 250
Figura 4-93: Procedimiento en ModelBuilder de ArcGIS para la Extracción Raster modelaciones 252
Figura 4-94. Resultado modelación de amenaza por avenidas torrenciales 254
Figura 4-95. Zonificación de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado San Juan 256
Figura 4-96: Mapa de áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado San Juan 257
Figura 4-97: Mapa de áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en centro poblado San Juan 259
Figura 4-98. Localización general del Centro Poblado El Destino, Localidad de Usme. 261
Figura 4-99: Modelo Digital del Elevación del centro poblado El Destino. 264
Figura 4-100. Esquema metodológico 265
Figura 4-101. Cuencas analizadas en el centro poblado El Destino. 269
Figura 4-102. Caudales Pico Según Cuencas analizadas en el centro poblado El Destino. 272
Figura 4-103. Mapa geomorfológico construido para El Destino. 274
Figura 4-104. Geomorfología y perfil del Centro Poblado El Destino, Localidad de Usme 275
Figura 4-105. Mapa de procesos morfodinámicos construido para El Destino. 278
Figura 4-106: Buffer de 100 m Cuerpos de Agua Centro Poblado El Destino 283
Figura 4-107: Procedimiento en ModelBuilder de ArcGIS para la Extracción Raster modelaciones 285
Figura 4-108. Resultado modelación de amenaza por avenidas torrenciales 288
Figura 4-109. Zonificación de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado El Destino . 289
Figura 4-110: Mapa de áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado El Destino 290
Figura 4-111: Mapa de áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en centro poblado El Destino 292
Figura 4-112. Localización general del Centro Poblado Mochuelo Alto, Localidad de Ciudad Bolívar. 294
Figura 4-113: Modelo Digital de Elevación del centro poblado Mochuelo Alto. 297
Figura 4-114. Esquema metodológico 298
Figura 4-115. Cuencas analizadas en el centro poblado Mochuelo Alto. 302
Figura 4-116. Caudales Pico Según Cuencas analizadas en el centro poblado Mochuelo Alto. ... 305
Figura 4-117. Mapa geomorfológico construido para Mochuelo Alto. 308
Figura 4-118. Geomorfología y perfil del Centro Poblado Mochuelo Alto, Localidad de Ciudad Bolívar 308
Figura 4-119. Mapa de procesos morfodinámico construido para Mochuelo Alto. 310
Figura 4-120: Buffer de 100 m Cuerpos de Agua Centro Poblado Mochuelo Alto 315
Figura 4-121: Procedimiento en ModelBuilder de ArcGIS para la Extracción Raster modelaciones 317
Figura 4-122. Resultado modelación de amenaza por avenidas torrenciales 319
Figura 4-123. Zonificación de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado Mochuelo Alto 321
Figura 4-124: Mapa de áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado Mochuelo Alto 323
Figura 4-125: Mapa de áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en centro poblado Mochuelo Alto 324

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 4.1. Modelos Digitales de Elevación 31
Tabla 4.2. Parámetros del método de Vargas para la región Andina 39
Tabla 4.3. Susceptibilidad Geomorfológica de las Unidades 43
Tabla 4.4. Comportamiento del flujo de sedimentos como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014) 49
Tabla 4.5. Paramentros de concentración de sedimentos en función de los procesos identificados en el búfer de 100m 50
Tabla 4.6. Esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014) 50
Tabla 4.7. Matriz de amenaza definida por la intensidad del proceso y su probabilidad de ocurrencia. (Matjaž, 2013) 55
Tabla 4.8. Matriz para la zonificación de amenaza 55
Tabla 4.9. Área de amenaza en el centro poblado Quiba Bajo 59
Tabla 4.10. Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el centro poblado Quiba Bajo 60
Tabla 4.11. Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado Quiba Bajo 63
Tabla 4.12. Modelos Digitales de Elevación 67
Tabla.13. Parámetros del método de Vargas para la región Andina 75
Tabla 4.14. Susceptibilidad Geomorfológica de las Unidades 79
Tabla 4.15. Comportamiento del flujo de sedimentos como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014) 82
Tabla 4.16. Parametros de concentración de sedimentos en función de los procesos identificados en el búfer de 100m 82
Tabla 4.17. Esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014) 83
Tabla 4.18. Matriz de amenaza definida por la intensidad del proceso y su probabilidad de ocurrencia. (Matjaž, 2013) 86
Tabla 4.19. Matriz para la zonificación de amenaza 87
Tabla 4.20. Área de amenaza en el centro poblado Pasquilla 90
Tabla 4.21. Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el centro poblado Pasquilla 92
Tabla 4.22. Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado Pasquilla 92
Tabla 4.23. Puntos de Control Nueva Granada 97
Tabla 4.24. Modelos Digitales de Elevación 99
Tabla.25. Parámetros del método de Vargas para la región Andina 107
Tabla 4.26. Susceptibilidad Geomorfológica de las Unidades 112
Tabla 4.27. Comportamiento del flujo de sedimentos como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014) 116
Tabla 4.28. Parámetros de concentración de sedimentos en función de los procesos identificados en el búfer de 100m 116
Tabla 4.29. Esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014) 117
Tabla 4.30. Matriz de amenaza definida por la intensidad del proceso y su probabilidad de ocurrencia. (Matjaž, 2013) 120
Tabla 4.31. Matriz para la zonificación de amenaza 121
Tabla 4.32. Área de amenaza en el centro poblado Nueva Granada 125

Tabla 4.33. Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el centro poblado Nueva Granada 125
Tabla 4.34. Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado Nueva Granada 129
Tabla 4.35. Modelos Digitales de Elevación 132
Tabla.36. Parámetros del método de Vargas para la región Andina 140
Tabla 4.37. Susceptibilidad Geomorfológica de las Unidades 145
Tabla 4.38. Comportamiento del flujo de sedimentos como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014) 149
Tabla 4.39. Paramentros de concentración de sedimentos en función de los procesos identificados en el búfer de 100m 150
Tabla 4.40. Esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014) 150
Tabla 4.41. Matriz de amenaza definida por la intensidad del proceso y su probabilidad de ocurrencia. (Matjaž, 2013) 154
Tabla 4.42. Matriz para la zonificación de amenaza 155
Tabla 4.43. Área de amenaza en el centro poblado Nazareth 158
Tabla 4.44. Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el centro poblado Nazareth 159
Tabla 4.45. Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado Nazareth 162
Tabla 4.46. Modelos Digitales de Elevación 165
Tabla.47. Parámetros del método de Vargas para la región Andina 173
Tabla 4.48. Susceptibilidad Geomorfológica de las Unidades 177
Tabla 4.49. Comportamiento del flujo de sedimentos como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014) 181
Tabla 4.50. Parametros de concentración de sedimentos en función de los procesos identificados en el búfer de 100m 182
Tabla 4.51. Esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014) 182
Tabla 4.52. Matriz de amenaza definida por la intensidad del proceso y su probabilidad de ocurrencia. (Matjaž, 2013) 186
Tabla 4.53. Matriz para la zonificación de amenaza 187
Tabla 4.54. Área de amenaza en el centro poblado Betania 190
Tabla 4.55. Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el centro poblado Betania 191
Tabla 4.56. Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado Betania 194
Tabla 4.57. Modelos Digitales de Elevación 197
Tabla.58. Parámetros del método de Vargas para la región Andina 205
Tabla 4.59. Susceptibilidad Geomorfológica de las Unidades 209
Tabla 4.60. Comportamiento del flujo de sedimentos como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014) 214
Tabla 4.61. Parametros de concentración de sedimentos en función de los procesos identificados en el búfer de 100m 215
Tabla 4.62. Esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014) 215
Tabla 4.63. Matriz de amenaza definida por la intensidad del proceso y su probabilidad de ocurrencia. (Matjaž, 2013) 219
Tabla 4.64. Matriz para la zonificación de amenaza 220
Tabla 4.65. Área de amenaza en el centro poblado La Unión 222

Tabla 4.66. Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el centro poblado La Unión 225
Tabla 4.67. Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado La Unión 225
Tabla 4.68. Modelos Digitales de Elevación 230
Tabla.69. Parámetros del método de Vargas para la región Andina 238
Tabla 4.70. Susceptibilidad Geomorfológica de las Unidades 242
Tabla 4.71. Comportamiento del flujo de sedimentos como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014) 248
Tabla 4.72. Parametros de concentración de sedimentos en función de los procesos identificados en el búfer de 100m 248
Tabla 4.73. Esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014) 249
Tabla 4.74. Matriz de amenaza definida por la intensidad del proceso y su probabilidad de ocurrencia. (Matjaž, 2013) 252
Tabla 4.75. Matriz para la zonificación de amenaza 253
Tabla 4.76. Área de amenaza en el centro poblado San Juan 255
Tabla 4.77. Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el centro poblado San Juan 258
Tabla 4.78. Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado San Juan 258
Tabla 4.79. Modelos Digitales de Elevación 263
Tabla.80. Parámetros del método de Vargas para la región Andina 271
Tabla 4.81. Susceptibilidad Geomorfológica de las Unidades 275
Tabla 4.82. Comportamiento del flujo de sedimentos como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014) 280
Tabla 4.83. Esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014) 281
Tabla 4.84. Matriz de amenaza definida por la intensidad del proceso y su probabilidad de ocurrencia. (Matjaž, 2013) 285
Tabla 4.85. Matriz para la zonificación de amenaza 286
Tabla 4.86. Área de amenaza en el centro poblado El Destino 288
Tabla 4.87. Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el centro poblado El Destino 290
Tabla 4.88. Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado El Destino 291
Tabla 4.89. Modelos Digitales de Elevación 296
Tabla.90. Parámetros del método de Vargas para la región Andina 304
Tabla 4.91. Susceptibilidad Geomorfológica de las Unidades 308
Tabla 4.92. Comportamiento del flujo de sedimentos como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014) 313
Tabla 4.93. Paramentros de concentración de sedimentos en función de los procesos identificados en el búfer de 100m 313
Tabla 4.94. Esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014) 313
Tabla 4.95. Matriz de amenaza definida por la intensidad del proceso y su probabilidad de ocurrencia. (Matjaž, 2013) 317
Tabla 4.96. Matriz para la zonificación de amenaza 318
Tabla 4.97. Área de amenaza en el centro poblado Mochuelo Alto 320
Tabla 4.98. Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el centro poblado Mochuelo Alto 323

Tabla 4.99. Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado Mochuelo Alto 323

GLOSARIO DE TÉRMINOS

LISTA DE SIGLAS Y ACRÓNIMOS

CAR Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca
CORANTIOQUIA Corporación Autónoma Regional del Centro de Antioquia
CORNARE Corporación Autónoma Regional de las Cuencas de los Ríos Negro y Nare
CT: Concepto Técnico
CDI: Centro de Documentación e Información del IDIGER
DTS: Documento técnico de soporte
DI: Diagnóstico Técnico
DPAE: Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá (ahora IDIGER)
EAAB: Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá
FONDIGER: Fondo Distrital para la Gestión de Riesgo y Cambio Climático
FOPAE: Fondo de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá (ahora IDIGER y FONDIGER)
IDEAM: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
IDIGER: Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático
IDU: Instituto de Desarrollo Urbano
NUSE: Número Único de Seguridad y Emergencias 123
OPES: Oficina de Prevención y Atención de Emergencias (ahora IDIGER)
PDPAE: Plan Distrital de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá
PDGR-CC: Plan Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático
POT: Plan de Ordenamiento Territorial
SDA: Secretaría Distrital de Ambiente
SDP: Secretaría Distrital de Planeación (antes DAPD)
SDPAE: Sistema Distrital de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá
SDGR-CC: Sistema Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático
SGC: Servicio Geológico Colombiano (antiguo INGEOMINAS)
SIG: Sistemas de Información Geográfica
SIRE: Sistema de Información para la Gestión de Riesgos y Cambio Climático
UAECD: Unidad Administrativa Especial de Catastro Distrital
UNGRD: Unidad Nacional de Gestión de Riesgos de Desastre
UPES: Unidad para la Prevención y Atención de Emergencias (ahora IDIGER)
UPZ: Unidades de Planeamiento Zonal

DEFINICIONES

Almacenamiento de la llanura de inundación: Volumen de agua que se puede almacenar en la llanura de inundación. (WMO & UNESCO, 1998)

Avenidas Torrenciales: Las avenidas torrenciales son crecidas repentinas producto de fuertes precipitaciones que causan aumentos rápidos del nivel de agua de los ríos y quebradas de alta pendiente. Estas crecientes pueden ser acompañadas por flujo de detritos de acuerdo a las condiciones de la cuenca. El flujo de detritos se define como un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos, que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce empinado. Adaptado de: (Gemma, 2007) Página 140

Caudal: Volumen de agua que fluye a través de una sección transversal de un cauce o canal en una unidad de tiempo. (WMO & UNESCO, 1998)

Caudal sólido: Caudal de sedimentos en una sección transversal dada de una corriente de agua. (WMO & UNESCO, 1998)

Concentración de sedimentos: Relación entre el peso seco de los materiales sólidos y el peso total de una muestra de agua y sedimentos. (WMO & UNESCO, 1998)

Control de crecidas: Detención y/o derivación del agua durante episodios de crecida con el fin de reducir el caudal o la inundación de las zonas aguas abajo.(WMO & UNESCO, 1998)

Crecida: 1) Elevación, generalmente rápida, del nivel de agua de un curso, hasta un máximo a partir del cual dicho nivel desciende a una velocidad menor. 2) Flujo relativamente alto medido como nivel o caudal. (WMO & UNESCO, 1998)

Crecida repentina: Crecida de corta duración con un caudal máximo relativamente elevado. (WMO & UNESCO, 1998)

Cuenca: Área que tiene una salida única para su escorrentía superficial. (WMO & UNESCO, 1998)

Curva intensidad-duración-frecuencia: Curva que muestra la relación entre la precipitación en una zona y la frecuencia con la que ocurre para diferentes duraciones. (WMO & UNESCO, 1998)

Detritos: Acumulación de materiales sueltos que se produce por la alteración de las rocas o por materiales de origen antrópico. (WMO & UNESCO, 1998)

Dique lateral: Obra construida para retener el flujo de agua de un río dentro de un tramo determinado de su cauce o para prevenir inundaciones debidas a mareas u ondas. (WMO & UNESCO, 1998)

Escorrentía superficial: Parte de la precipitación que fluye por la superficie del suelo. (WMO & UNESCO, 1998)

Flujo de agua y roca: Flujo de lodo en el que predomina el material de grano grueso. (WMO & UNESCO, 1998)

Flujo hiperconcentrado: Flujo de una mezcla de agua concentrada de sedimentos y detritos de forma tal que la masa fluyente es espesa y viscosa.(WMO & UNESCO, 1998)

Hidrograma: Gráfico que muestra la variación temporal de variables hidrológicas tales como el nivel de agua, el caudal, la velocidad y la carga de sedimentos. (WMO & UNESCO, 1998)

Hietograma: Distribución de la intensidad de lluvia a lo largo del tiempo. (WMO & UNESCO, 1998)

Inundación: 1) Desbordamiento del agua fuera de los confines normales de un río o cualquier masa de agua. 2) Acumulación de agua procedente de drenajes en zonas que normalmente no se encuentran anegadas. 3) Encharcamiento controlado para riego. (WMO & UNESCO, 1998)

Inundación pequeña: Inundación de poca importancia causada por lluvias intensas o deshielo (WMO & UNESCO, 1998)

Llanura de inundación: Terreno adyacente a una corriente de agua que se inunda sólo cuando el caudal es mayor que la capacidad máxima del cauce. (WMO & UNESCO, 1998)

Malecón: Muro construido para confinar cursos de agua a fin de prevenir inundaciones. (WMO & UNESCO, 1998)

Mapa de isoyetas: 1) Mapa que representa la distribución temporal o espacial de la precipitación. 2) Gráfico que muestra la intensidad de la precipitación en función del tiempo. (WMO & UNESCO, 1998)

Morfología fluvial: Ciencia que estudia la formación de diversas acumulaciones de sedimentos en los lechos, llanuras de inundación y cauces por la acción del agua. (WMO & UNESCO, 1998)

Número de curva: Parámetro empírico que varía entre 0 y 100 que se utiliza para estimar el coeficiente de escorrentía de un episodio de lluvias a partir de la altura de precipitación y las propiedades de drenaje de la cuenca. (WMO & UNESCO, 1998)

Precipitación: 1) Elementos líquidos o sólidos procedentes de la condensación o sublimación del vapor de agua que caen de las nubes o son depositados desde el aire en el suelo. 2) Cantidad de precipitación caída sobre una unidad de superficie horizontal por unidad de tiempo. (WMO & UNESCO, 1998)

Protección de elementos situados en zona inundable: Técnicas para reducir los daños por crecidas en zonas con riesgo de inundación. (WMO & UNESCO, 1998)

Sedimento: Material transportado por el agua en suspensión o como arrastre de fondo desde su lugar de origen al de depósito. (WMO & UNESCO, 1998)

Zona inundable: Área que se inunda de forma ocasional. (WMO & UNESCO, 1998)

Zonificación de la llanura de inundación: Clasificación de la llanura de inundación en zonas para diferentes propósitos. (WMO & UNESCO, 1998)

0 INTRODUCCIÓN

El presente informe corresponde al Documento Técnico de Soporte – DTS del mapa normativo de amenaza por avenidas torrenciales para los centros poblados rurales a escala 1:2000, elaborado por el Instituto Distrital para la Gestión del Riesgo y el Cambio Climático - IDIGER en el marco del proyecto de actualización del componente de gestión del riesgo para la revisión ordinaria del plan de ordenamiento territorial de Bogotá D.C.

Para la generación del mapa se tienen en cuenta las consideraciones del Decreto Nacional 1807 de 2014 (compilado por el Decreto Nacional 1077 de 2015), por lo que el documento se desarrolla en una secuencia que evidencia el cumplimiento de dicha normatividad. Se resalta la consulta, análisis y evaluación de bases de datos e información del IDIGER especialmente la relacionada con instrumentos de gestión del riesgo como Conceptos y Estudios de amenaza y riesgo. La consulta a otras entidades del Distrito como la Secretaría Distrital de Planeación (SDP), la Secretaria Distrital de Ambiente (SDA), la Secretaría Distrital de Hábitat la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), entre otras, entidades nacionales como el Servicio Geológico Colombiano y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), que permitieron incorporar información conforme al esquema metodológico planteado.

El DTS se divide en capítulos dentro de los que se encuentra un contexto de amenaza por avenidas torrenciales de la ciudad, la consulta de información disponible, el planteamiento de un esquema metodológico soportado en la información existente, la selección de metodologías de evaluación de amenaza, la descripción e implementación del modelo de análisis de amenaza, los insumos utilizados.

Finalmente, se muestran los criterios utilizados para obtener el mapa definitivo de zonificación de las áreas en amenaza baja, media y alta por avenidas torrenciales para los centros poblados rurales a escala 1:2000.

1 OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Generar el mapa de amenaza por avenidas torrenciales de los centros poblados rurales de Bogotá Distrito Capital en cumplimiento del Decreto 1807 de 2014 (compilado por el Decreto 1077 de 2015 o Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio), cuya delimitación y zonificación obtenida servirá como una herramienta para la identificación de condiciones de amenaza y riesgo, y para definir medidas de intervención que orienten a establecer los condicionamientos y/o restricciones del uso y la ocupación del territorio que debe tenerse en cuenta en la revisión y actualización del instrumento de planificación territorial Plan de Ordenamiento Territorial – POT.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Delimitar y zonificar la amenaza por avenidas torrenciales, a partir de la metodología seleccionada para los centros poblados rurales, dada su relevancia para el suelo rural, en función que constituyen las zonas con mayor exposición de población, edificaciones, equipamientos y líneas vitales.
2. Generar el mapa de amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:2000 para los nueve centros poblados rurales.
3. Definir áreas con condición de amenaza para las zonas objeto de desarrollo y las áreas con condición de riesgo de las zonas ocupadas con el fin de definir la priorización de acciones de reducción de riesgo a implementar en los nueve centros poblados rurales.

2 ALCANCE Y LIMITACIONES

La información plasmada en este documento, tiene como alcance dar un soporte técnico a las distintas actividades ejecutadas para la generación del plano normativo de Amenaza por Avenidas Torrenciales para los centros poblados rurales de Bogotá D.C.; el esquema metodológico planteado para lograr los objetivos se enmarca y se limita al cumplimiento de lo establecido en el Decreto 1807 de 2014 (compilado por el Decreto Nacional 1077 de 2015) para los estudios básicos y aunque describe de manera clara cómo se llegó a la zonificación de amenaza por avenidas torrenciales, su uso o réplica en otros municipios o distritos debe verse con especial cuidado, toda vez que su estructuración tuvo en cuenta información e insumos específicos disponibles.

3 CONTEXTO DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES

La amenaza por avenidas torrenciales en la ciudad es una problemática que ha sido abordada con el fin de evitar impactos no deseados en los ciudadanos e infraestructura aferente a los cuerpos de agua que puedan presentar esta condición de amenaza. La ubicación geográfica de la ciudad y el efecto que la variabilidad climática produce sobre la intensidad de los eventos extremos de precipitaciones hacen que la problemática de avenidas torrenciales en la ciudad tome relevancia debido a la ocupación informal de los sectores aledaños a los cauces. Igualmente, los cambios de cobertura de las cuencas de alta montaña generan el incremento de concentración de volúmenes de agua que aumentan los caudales esperados en las corrientes. Por estas razones la ciudad ha incrementado los esfuerzos que permitan realizar el análisis de esta problemática y de esta forma permitir el asentamiento seguro de sus ciudadanos.

Las laderas que bordean los centros poblados presentan alta pendiente tienen condiciones naturales que permiten la generación de avenidas torrenciales, adicionalmente las precipitaciones que se presentan en las dos temporadas de lluvias de la región producen volúmenes de agua suficientes que pueden ocasionar flujos torrenciales, estas condiciones naturales incrementan la susceptibilidad de los centros poblados a este tipo de amenaza. Adicionalmente a las condiciones naturales existen condiciones antrópicas de ocupación de cauces y cambios de coberturas de las cuencas que aumentan la susceptibilidad de la ciudad al impacto de este tipo de amenaza.

De acuerdo con lo anterior se han realizado algunas aproximaciones con el fin de estudiar la amenaza presente en la ciudad y conocer el comportamiento de estos fenómenos en algunas zonas donde el impacto de este tipo de amenaza puede ser mayor. Como resultado de estos procesos la ciudad ha adquirido un aprendizaje que permite profundizar en el conocimiento de esta amenaza con el fin de hacer frente al reto de generar el mapa de amenaza por avenidas torrenciales a nivel del área total de los centros poblados lo cual permitirá tomar decisiones sobre los lugares prioritarios para realizar estudios detallados.

Por último, la delimitación y zonificación de amenaza por avenidas torrenciales permitirá establecer las zonas prioritarias para la aplicación de los procesos de gestión del riesgo (conocmiento, reducción y manejo de emergencias). De igual manera, por medio del ordenamiento del territorio, se delimitarán las zonas que deben restringirse o condicionarse a su uso en función de las condiciones de amenaza o riesgo que presenten los centros poblados rurales.

4 AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTROS POBLADOS A ESCALA 1:2.000

Las avenidas torrenciales son crecidas repentinas producto de fuertes precipitaciones que causan aumentos rápidos del nivel de agua de los ríos y quebradas de alta pendiente. Estas crecientes pueden ser acompañadas por flujo de detritos de acuerdo a las condiciones de la cuenca. El flujo de detritos se define como un flujo muy rápido a extremadamente rápido de detritos saturados, no plásticos, que transcurre principalmente confinado a lo largo de un canal o cauce empinado. Adaptado de: (Gemma, 2007) Página 140.

A continuación, se presenta la zonificación de amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:2.000 para los centros poblados rurales (Figura 4-1).

Figura 4-1. Localización General de los centros poblados rurales

4.1 AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN EL CENTRO POBLADO QUIBA BAJO

4.1.1 ÁREA DE ESTUDIO

El centro poblado Quiba Baja se encuentra localizado en la parte sur de la Localidad de Ciudad Bolívar en el área rural, a 8.1 km desde el Hospital de Meissen por la vía a Quiba, pasando por los barrios Lucero, Brisas del Volador y Bella Flor. Su área es de 364.200,66 m² en una ladera ondulada de pendientes suaves a escarpadas, con usos de cultivos, pastos y construcciones de viviendas e infraestructura. En la Figura 4-2 se puede ver la localización de Quiba Baja en relación a Ciudad Bolívar.

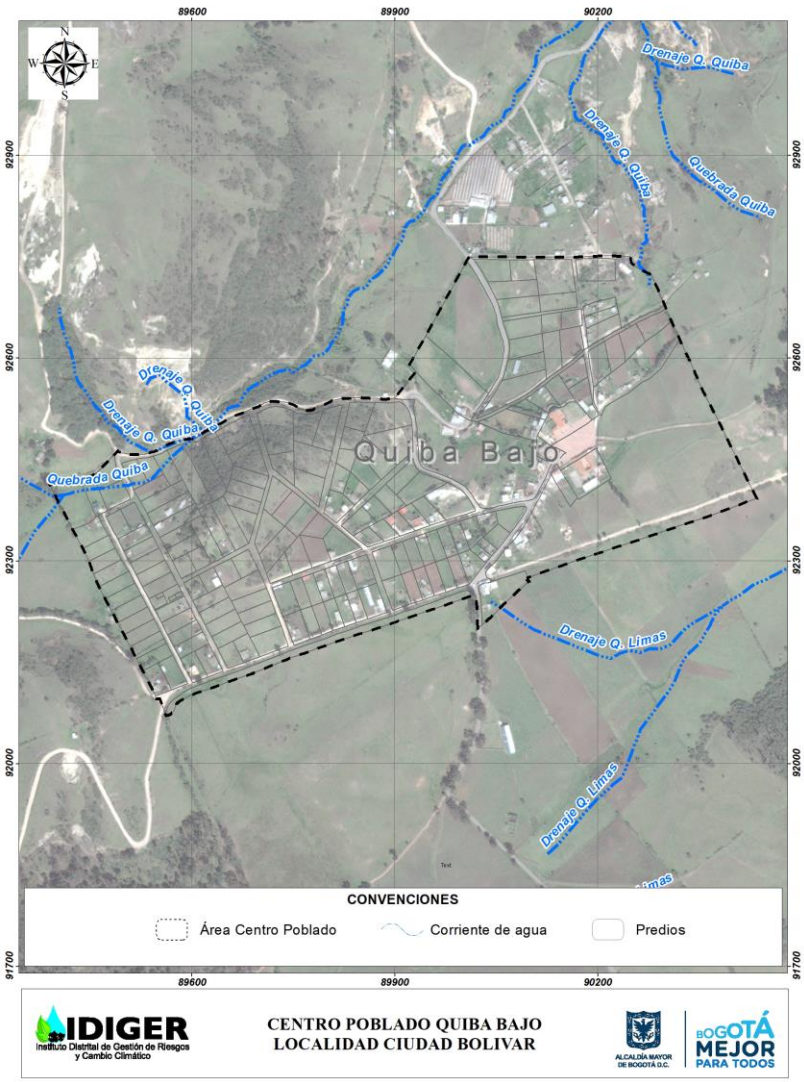


Figura 4-2. Localización del centro poblado Quiba Baja.

4.1.2 INSUMOS

A continuación, se describen los insumos básicos que se tomaron como punto de partida para el desarrollo del análisis de amenaza por avenidas torrenciales, de acuerdo con lo dispuesto en el Art. 10 del Decreto 1807, donde se indica que, para los estudios básicos de amenaza por avenidas torrenciales en centros poblados, se deben realizar a escala 1:2.000.

4.1.2.1 CARTOGRAFÍA BASE

Para la cartografía base utilizada tal como lo establece el Decreto 1807 de 2014 (compilado por el Decreto 1077 de 2015), se verificó que contuviera entre otros: coordenadas, curvas de nivel, drenajes, red vial, infraestructura y equipamientos, asentamientos humanos. A partir de lo anterior para la cartografía se tiene lo siguiente:

A SISTEMAS DE COORDENADAS

Sistema de Coordenadas Proyectadas - Cartesianas: Magna Bogotá
Proyección: Transversal de Mercator
Falso Este: 92324,879
Falso Norte: 109320,965
Longitud Meridiano Central: -74,14659167
Latitud de origen: 4,680486111
Factor de escala: 1
Sistema de Coordenadas Geográfica GCS CarMAGBOG
Meridiano de Greenwich
Datum CGS_CARMAGBOG
Elipsoide: GRS80 Mod
Semieje Mayor: 6380687
Semieje Menor: 6359293,764473119
Achatamiento: 298,257222101

B ESCALA

De acuerdo con el Artículo 10 del Decreto 1807 de 2014 (compilado por el Decreto 1077 de 2015) la base cartográfica que se emplea para la presente zonificación corresponde con una escala 1:2.000.

C GEODATABASE SECRETARÍA DISTRITAL DE PLANEACIÓN SDP

La cartografía base fue tomada de la geodatabase con la información geográfica de la Secretaría Distrital de Planeación.

D LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS DE CENTROS POBLADOS RURALES PRIORIZADOS POR LA SDHT.

Mediante el contrato "*LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS DE CENTROS POBLADOS RURALES PRIORIZADOS POR LA SDHT Y GENERAR LA RESPECTIVA CARTOGRAFÍA ASOCIADA"* (2015) contratado por la SDHT, se generó la topografía detallada de centros poblados cuyo resultado son curvas de nivel cada 0.50m.

Esta información y sus bases de datos fueron insumo para la generación de los estudios realizados a escala 1:2000 para del centro poblado.

4.1.2.2 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN

Se utilizó el Modelo Digital de Elevación – DEM generado de 2 x 2 metros, a partir de la información disponible, para realizar la delimitación las cuencas aferentes y el cálculo de algunos parámetros morfométricos de las mismas, los cuales son de gran utilidad para determinar el comportamiento de las cuencas ante eventos de lluvias máximas.
Para esto se realizó la recolección de modelos digitales de elevación disponibles para el área de estudio, la cual se resume a continuación:

Tabla 4.1. Modelos Digitales de Elevación

Nombre	Fuente	Año	Resumen
Modelo digital de Elevación DEM	SDP		1m
	SDHT	2015	0.5m

Los Modelos Digitales de Elevación que se usaron para para la obtención de la amenaza del centro poblado Quiba Bajo, proviene de la información contenida en el estudio "*LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS DE CENTROS POBLADOS RURALES PRIORIZADOS POR LA SDHT Y GENERAR LA RESPECTIVA CARTOGRAFÍA ASOCIADA.*"

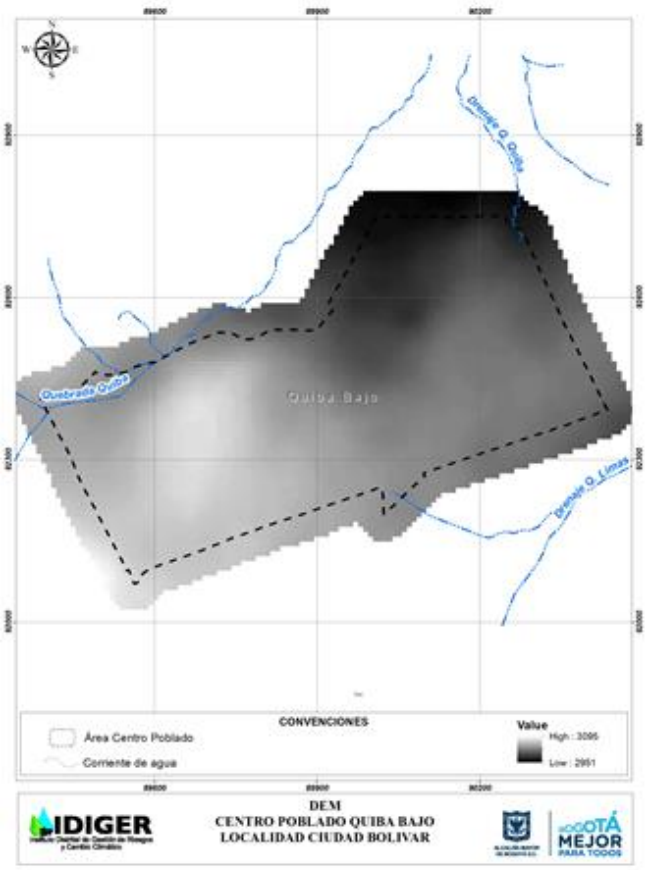


Figura 4-3: Modelo Digital de Elevación del centro poblado Quiba Bajo

4.1.2.3 GEOMORFOLOGÍA

El estudio geomorfológico permite identificar cuales de las unidades correspondientes al Centro Poblado Quiba Bajo son susceptibles a la generación de los procesos de avenidas torrenciales los cuales contribuyen a la delimitación de las zonas de estudio y su correspondiente delimitación de amenaza final. La geomorfología es presentada en detalle dentro del análisis geomorfológico.

4.1.3 METODOLOGÍA

Con el fin de construir el esquema metodológico usado en la generación del mapa de amenaza por avenidas torrenciales, se partió de una revisión de las metodologías de evaluación de amenaza enfocado en la armonización tanto en alcance, nivel de información disponible y calidad de los resultados para definir los procedimientos y actividades a ejecutar para lograr un producto cartográfico ajustado a los requerimientos técnicos exigidos en la normatividad vigente (Decreto 1807 de 2014).

4.1.3.1 ESQUEMA METODOLÓGICO

El esquema metodológico se divide en tres análisis principales: (Ver Figura **4-4**)

1. Análisis Hidrológico
2. Análisis Geomorfológico
3. Análisis de Sedimentos
4. Análisis Hidráulico

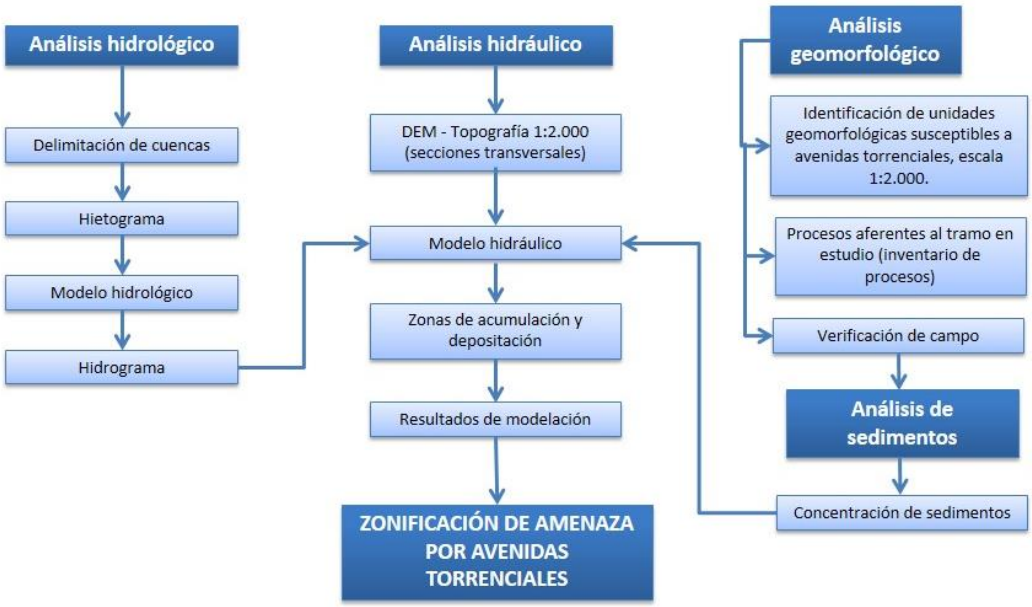


Figura 4-4. Esquema metodológico

El análisis hidrológico inicia con la delimitación de las cuencas aferentes al tramo de río o quebrada que se analiza a partir del modelo de elevación digital de la cuenca, posteriormente se estima el hietograma de precipitación bajo un escenario de periodo de retorno determinado el cual es el insumo de entrada para el modelo hidrológico que proporciona los hidrogramas de entrada del modelo hidráulico.

El análisis geomorfológico consiste en la revisión e identificación de la geomorfolgía a escala 1:2000 de las unidades de potencial acumulación de flujo.

El análisis de sedimentos parte del mapa de procesos geomorfológicos identificados que se encuentran cerca del tramo de rio o quebrada que se analiza, la concentración de sedimentos se determina de acuerdo con la literatura especializada identificada durante la revisión del estado del arte asignando un valor promedio a cada tipo de proceso.

El análisis hidráulico toma como entrada el hidrograma resultado del análisis hidrológico y la concentración de sedimentos del análisis de sedimentos, con estas variables de entrada

transita el hidrograma en el modelo de elevación digital del terreno del tramo de rio o quebrada que se analiza, obteniendo como resultado las velocidades y profundidades máximas alcanzadas en cada una de las celdas del modelo de elevación digital del tramo en estudio, estos valores de velocidad y profundidad se categorizan de acuerdo a la condición de amenaza que representan.

4.1.4 ANÁLISIS HIDROLÓGICO

El análisis hidrológico comprende dos etapas, la primera es la delimitación de las cuencas hidrográficas en el área de estudio y la segunda, el modelo lluvia escorrentía que permite la estimación de hidrogramas que serán la entrada del modelo hidráulico. A continuación, se presenta los pasos seguidos en las dos etapas y sus respectivos resultados.

Para obtener la delimitación de cuencas se parte del Modelo de Elevación Digital (DEM) de la zona de estudio, en este caso se cuenta con un DEM proyectado en coordenadas geográficas. Este DEM requiere ser proyectado en coordenadas planas con el fin de tener la geometría plana adecuada para el cálculo de áreas y distancias de las cuencas generadas.

El DEM proyectado cubre un área de mayor extensión que el área de estudio, con el fin de delimitar solamente las cuencas que drenan a esta área. Este buffer se obtuvo mediante pruebas de sensibilidad con diferentes distancias, con el objetivo de cubrir el área que hidrológicamente tiene algún aporte a las cuencas que se encuentran dentro del perímetro del distrito y que garantiza que éstas drenen completamente en el modelo hidráulico.

Por otra parte, El DEM contiene errores inherentes a este tipo de producto, por tanto, se debe corregir con la cartografía adecuada para que el resultado de la delimitación de cuencas se aproxime a la red de drenaje real. Para lograr este objetivo se cuenta con la cartografía del sistema hídrico en coordenadas geográficas, al igual que se realizó con el DEM, se efectuó la proyección del sistema hídrico y se extrae la red hídrica l.

Dado que la corrección del DEM se puede realizar con el shape tipo polígono o tipo línea, se ha optado por convertir los polígonos a líneas y de esta forma modificar solo las riberas de los ríos que en la cartografía son representados mediante polígonos, el resultado de la conversión del sistema hídrico de polígonos a línea.

4.1.4.1 Cuencas Hidrográficas

Teniendo como entrada el DEM y el sistema hídrico ajustados previamente, se construye en ArcGIS el flujo de trabajo de herramientas a utilizar, con el fin de delimitar las cuencas hidrográficas del área de estudio. En este flujo de trabajo se desarrollan los siguientes 11 pasos.

1. Para poder generar la red de drenaje a partir del DEM es necesario profundizar el DEM en aquellas zonas donde se encuentran ubicados los ríos de acuerdo a la cartografía. En este paso, se realizó la profundización en las zonas donde se encuentran los ríos dibujados como tipo línea.

2. Este paso es similar al anterior, sin embargo, la profundización se realizó en las zonas donde se encuentran los ríos dibujados como tipo polígono, pero solo en las riberas convertidas en líneas.

3. El DEM debe ser hidrológicamente apropiado, es decir, que todas las celdas del DEM drenen a un punto de salida. Para poder generar un DEM hidrológicamente apropiado se deben rellenar los pozos o celdas que no permiten que se genere adecuadamente la red de drenaje.

4. Teniendo en cuenta la pendiente más favorable para el flujo, se genera un valor de dirección de flujo para cada celda del DEM.

5. Teniendo en cuenta la dirección de flujo de cada celda es posible calcular el número de celdas que drenan a determinada zona, con estos valores se genera el ráster de acumulación de flujo.

6. Un parámetro importante en la definición de corrientes es el número de celdas que generan el inicio de un cauce, para este análisis hidrológico se tomó el equivalente a 0.5 km^2 como el valor en el cual se genera una corriente. Este valor se obtuvo mediante pruebas de sensibilidad buscando el tamaño adecuado de cuencas que se ajustaba a la escala de trabajo.

7. Considerando el ráster de acumulación de flujo y el número de celdas que generan el inicio de un cauce, se obtuvieron las corrientes hídricas. Posteriormente, se dividen las corrientes teniendo en cuenta que los tramos de las mismas no tengan confluencias con otras corrientes.

8. De acuerdo con los tramos de cauces obtenidos en el paso anterior, se genera la delimitación automática de cuencas.

9. El Ráster generado en el paso anterior se debe trasformar en formato shape para cálculos posteriores.

10. La segmentación de corrientes obtenida en el paso 6, se debe transformar en formato shape para cálculos posteriores.

11. Las cuencas hidrográficas con área aferente acumulada es el resultado final en la delimitación de cuencas del área de estudio.

Para realizar el análisis sólo en las cuencas que se encuentran en el área de estudio y dado que el procedimiento anterior no tiene en cuenta los efectos de la urbanización en la red de drenaje, se deben estimar o corregir las cuencas obtenidas de acuerdo a esta consideración. Para ello se determinan los puntos de cierre de cuencas que dependen del orden de drenaje dentro de la cuenca.

Para la generación de cuencas y delimitar el área de estudio se desarrollan los siguientes 4 pasos.

1. En el primer paso se vinculan los puntos de cierre de cuencas con el ráster de acumulación de flujo generado anteriormente.
2. De acuerdo con el ráster de acumulación de flujo se recortan las cuencas tipo Ráster.
3. Las cuencas del paso anterior se convierten en polígonos
4. El último paso une las cuencas aferentes que puedan quedar separadas al convertir el ráster de cuencas a polígono

El resultado del procedimiento anterior es la generación de cuencas que cubren el área de estudio.

.

Teniendo como entrada el modelo de elevación digital proyectado, se construye en ArcGIS el flujo de trabajo de herramientas a utilizar con el fin de generar las subcuencas hidrográficas del área de estudio. En este flujo de trabajo se desarrollan los mismos 11 pasos que fueron descritos anteriormente.

1. Corrección DEM mediante red de drenaje tipo línea.
2. Corrección DEM mediante red de drenaje tipo polígono.
3. Modelo de Elevación Digital Hidrológicamente Corregido.
4. Dirección de Flujo.
5. Acumulación de Flujo.
6. Red de Drenaje Generada Tipo Ráster.
7. Red de Drenaje Generada Tipo Ráster Vinculada.
8. Cuencas hidrográficas Tipo Ráster.
9. Cuencas hidrográficas Tipo Polígono.
10. Red de Drenaje Generada Tipo Línea.
11. Cuencas hidrográficas Acumuladas Tipo Polígono.

Cabe aclarar que uno de los parámetros importantes para la definición de las subcuencas es el número de celdas que generan el inicio de un cauce, para este análisis hidrológico se tomó el equivalente a 0.5 km^2 como el valor en el cual se genera una corriente, el resultado del este procedimiento fue la generación de las subcuencas que cubren el área del perímetro del centro poblado (Figura 4-5).

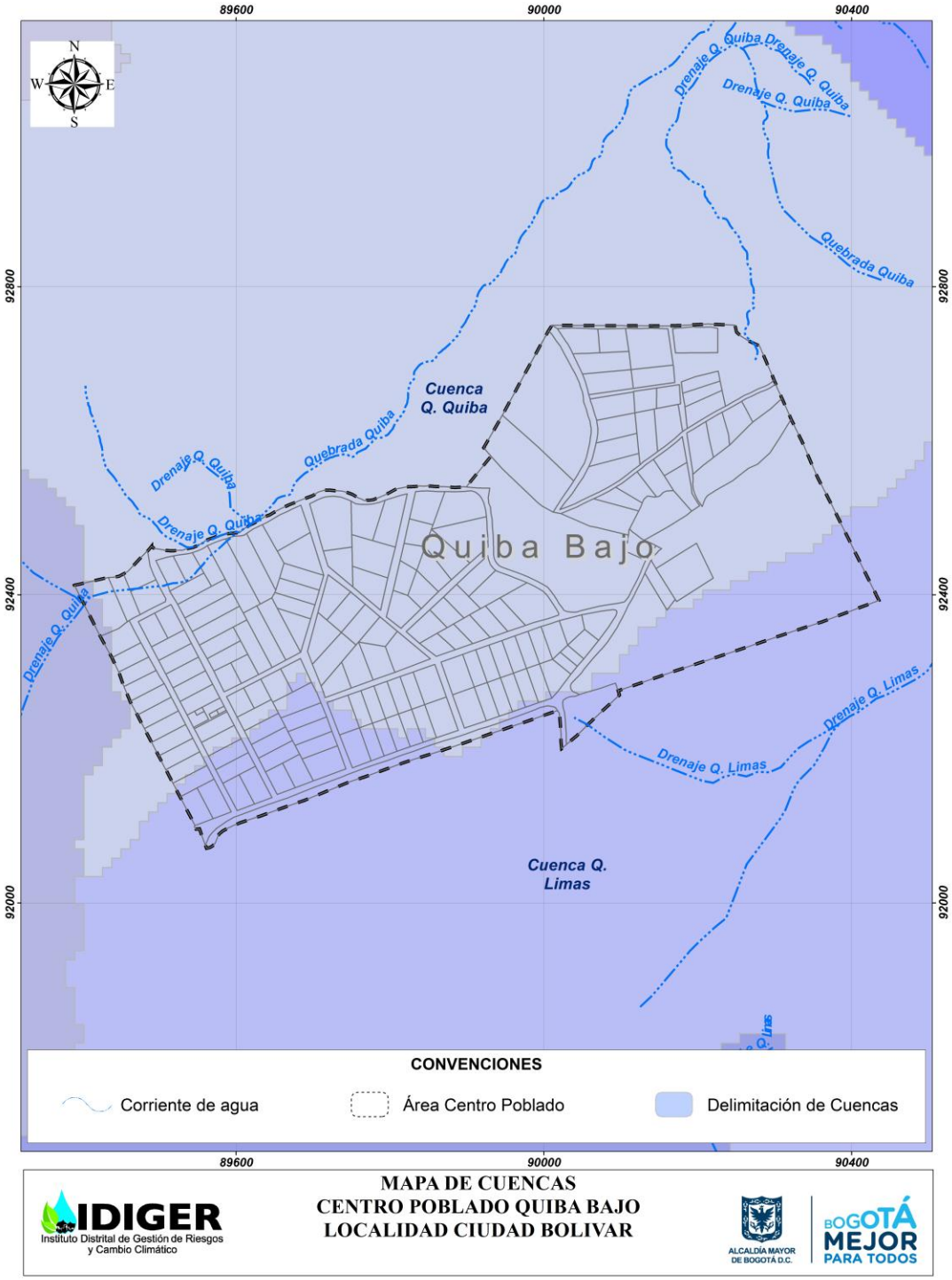


Figura 4-5. Cuencas analizadas en el centro poblado Quiba Bajo.

4.1.4.2 Morfometría

Para el análisis de susceptibilidad de una cuenca a un evento torrencial, se llevó a cabo la evaluación de varios parámetros morfométricos, teniendo cuenta que estos parámetros son indicadores de las características de la cuenca relacionadas con el pico de las crecientes y su producción de sedimentos.

A continuación, se describe los parámetros morfométricos calculados y analizados

A Pendiente

Tiene una influencia significativa en la generación de avenidas torrenciales (Smith, 2003). Esta característica controla en buena parte la velocidad con que se da la escorrentía superficial y afecta, por tanto, el tiempo que requiere el agua lluvia para concentrarse en los lechos fluviales que constituyen la red de drenaje de las cuencas.

B Orden de corriente

En orden de corrientes depende del número de afluente que contenga el cauce principal, por lo tanto, los de primer orden son todos aquellos que no tengan afluentes. Cuando se unen dos cauces de primer orden forman un cauce de segundo orden y así sucesivamente.

C Longitud de Flujo

La Longitud de flujo está definida como la distancia horizontal, medida a lo largo del cauce principal, entre el punto de salida de la cuenca y el límite definido para la cuenca.

4.1.4.3 Modelo Lluvia – Escorrentia

La segunda etapa del análisis hidrológico consiste en el cálculo de los hidrogramas a partir del modelo lluvia – escorrentía, este hidrograma servirá de entrada al modelo hidráulico. Para obtener los eventos de precipitación se utilizó la caracterización de tormentas y actualización de curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia IDF desarrolladas por la EAB, para este fin las cuencas se subdividieron en dos grupos, el primero aquellas cuencas cuyo centroide se encontrara a por lo menos una distancia inferior a diez kilómetros de alguna de las estaciones utilizadas en dicho estudio y un segundo grupo en el cual el centroide de las cuencas se encontrara a una distancia superior a diez kilómetros de alguna de las estaciones utilizadas en el estudio de la EAB (

Para el primer grupo de estaciones se utilizó la curva IDF de la estación más cercana al centroide de la cuenca obtenidos mediante el estudio de la EAB. Para el segundo grupo de estaciones se calculó las curvas sintéticas IDF asociadas al centroide de la cuenca, siguiendo el método de Vargas (1998), el cual se encuentra específicamente formulado para Colombia y cuya ecuación se enuncia a continuación:

$$I = a\frac{{T_r}^b}{t^c}M^d N^e PT^f ELEV^g$$

Siendo:
I: Intensidad (mm/h).
T_r: Período de retorno (años).
t : Duración de la precipitación, (horas).
M: Promedio del valor máximo anual de precipitación diaria (mm).
N: Promedio de número de días anuales con precipitación.
PT: Promedio de precipitación media anual (mm).
ELEV: Elevación de la estación meteorológica de medición (msnm).
a, b, c, d, e, f, y g: Son coeficientes propios de la ecuación que varían según la ubicación regional de la estación y de la cantidad de variables disponibles. Para el caso se utilizaron los recomendados por el autor del método.

En la siguiente tabla se presentan los valores correspondientes a cada parámetro calibrado para la región Andina de acuerdo con Vargas (1998).

Tabla 4.2. Parámetros del método de Vargas para la región Andina

a	b	c	d	e	f	g
1,64	0,19	0,65	0,73	-0,13	0,08	-0,01

Las abstracciones de la precipitación fueron calculadas a partir del método de abstracciones del Soil Conservation Service SCS o Método del Número de curva. Para esto se tuvo en cuenta la cartografía disponible suministrada por SDP en cuanto a coberturas de suelo siguiendo la metodología CORINE Land Cover además de la clasificación del grupo hidrológico del suelo, de acuerdo con el mapa geológico de la zona de estudio, definidos por tipo según su capacidad de infiltración.

Con el evento de precipitación obtenido a partir de las curvas IDF utilizando el método de bloque alterno y las abstracciones calculadas con el método de número de curva se obtienen los hidrogramas que servirán de entrada al modelo hidráulico. El Caudal Pico de estos hidrogramas según las cuencas asociadas al área de estudio se presenta en la Figura 4-6.

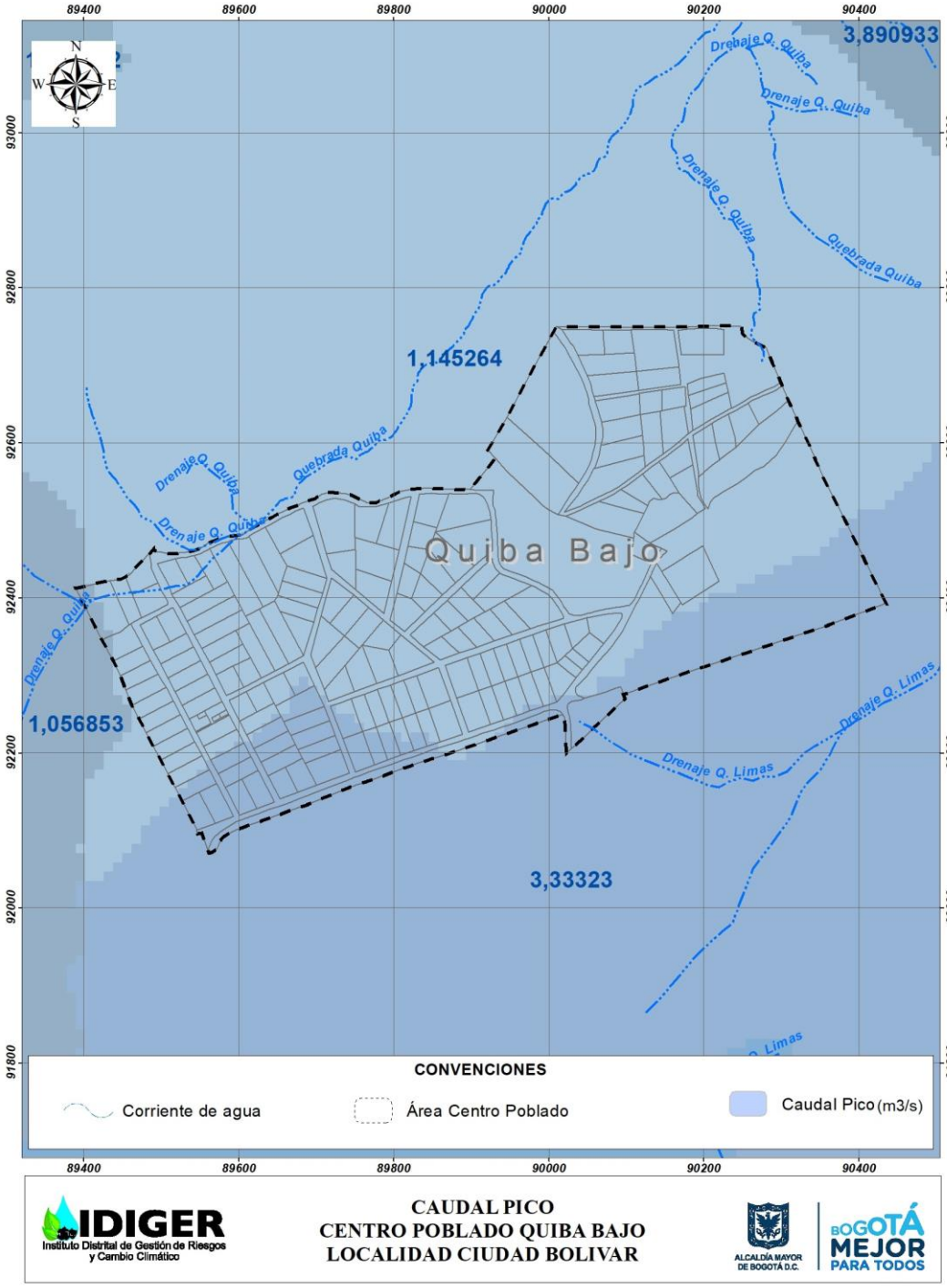


Figura 4-6. Caudales Pico Según Cuencas analizadas en el centro poblado Quiba Bajo.

4.1.5 ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

Dentro del centro poblado, las unidades geomorfológicas que se presentan se muestran en la Figura 4-7, el detalle del proceso de contruccción del levantamiento geomorfológico se presenta en el Documento Técnico de Sopórte del Mapa De Amenaza Por Movimientos En Masa En Perspectiva De Cambio Climático Zona Rural.

En el centro poblado de Quiba Bajo se puede apreciar un modelado estructural denudativo en las laderas donde emplaza el centro poblado. Aparecen algunas planchas estructurales denudadas con cerros remanentes en la mayor parte del área de Quiba Baja. Hacia el noroccidente se aprecian algunas terrazas de fallamiento asociadas a la falla de Soacha – Santa Bárbara en una sierra anticlinal denudada y residual. También se aprecian algunos escarpes de línea de falla y algunas pendientes y escarpes estructurales (véanse la Figura 4-7 y la Fotografía 4.1).

De acuerdo con la geomorfologia a escala 1:2000 y partir de las unidades presentes se realizó en función de la morfogenésis y la morfodinámica, la identificación de la susceptibilidad a avenidas torrenciales, mediante un análisis basado en las morfoestructuras de región, unidad, subunidad y componente, con el fin de realizar la identificación de unidades de origen fluviotorrencial presentes en el área de estudio y determinar zonas susceptibles a la depositación y acumulacion de flujo o generación de sedimentos, previo a la validación mediante el modelo hidráulico, encontrando la siguiente categorización (Tabla 4.3):

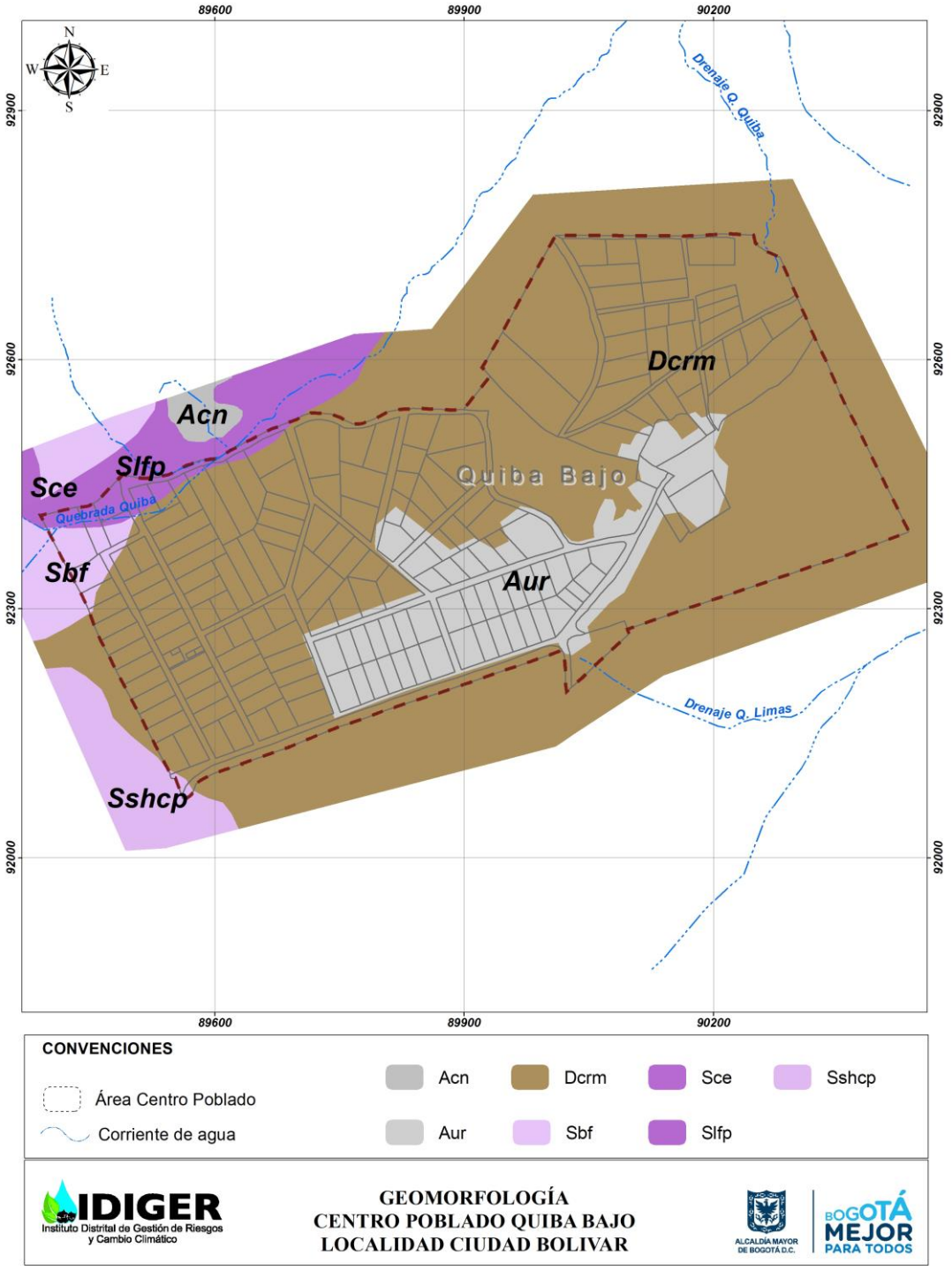


Figura 4-7. Mapa geomorfológico construido para Quiba Bajo.

Fotografía 4.1. Cerros remanentes en planchas estructurales denudadas, Quiba Bajo.

Tabla 4.3. Susceptibilidad Geomorfológica de las Unidades

REGIÓN	UNIDAD	SUBUNIDAD	COMPONENTE	SÍMBOLO	SUSCEPTIBILIDAD	OBSERVACIONES
ANTROPOGÉNICO			Area Urbanizada	**Aur**	Baja	
			Cantera	**Acn**	Alta	Alto Aporte de Sedimentos
ESTRUCTURAL - DENUDATIVO	Planchas Estructurales Denudadas – Espolones Estructurales	Cerros Remanentes o Relictos	Cerros Remanentes o Relictos	**Dcrm**	Baja	
	Sierra Anticlinal Denudada y Residual	Terrazas o bermas de Fallamiento	Colinas Residuales	**Sbf**	Baja	
		Escarpe o línea de falla	Colinas Residuales	**Slfp**	Alta	Zona de debilidad asociada con la falla y con aporte de sedimentos por el alto fracturamiento
		Cerro Estructural	Colinas Residuales	**Sce**	Baja	
	Sierra Homoclinal Denudada	Ladera de Contrapendiente de Sierra Homoclinal Denudadda	Pendientes y Escarpes Estructurales	**SShcp**	Baja	Zona de debilidad con aporte de sedimentos

4.1.5.1 INVENTARIO DE PROCESOS MORFODINÁMICOS

Para poder ajustar a la escala de trabajo el análisis de sedimentos, se verificaron los procesos morfodinámicos, donde se encontraron los siguientes:

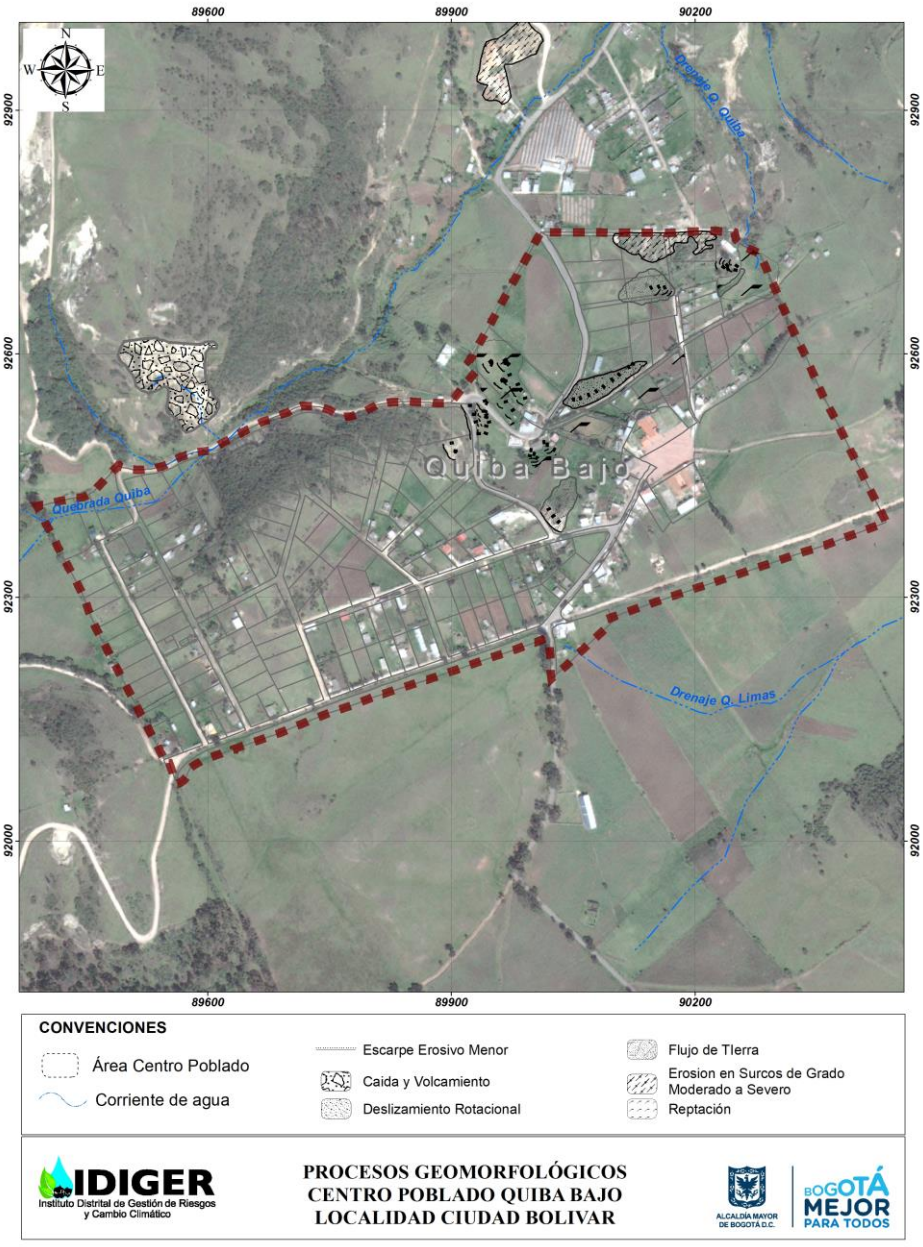


Figura 4-8. Mapa de procesos morfodinámicos construido para Quiba Bajo.

- Caídas y volcamiento de rocas: en el área noroccidental, antigua cantera de explotación en la Arenisca de Labor-Tierna, se puede presentar caída de bloques de roca y volcamientos de roca debido al desconfinamiento del macizo rocoso causado durante el proceso de explotación minera (véase la Figura 4-7).
- Erosión en surcos de grado moderado a severo en varios sectores del centro poblado, como el que se puede apreciar en la Figura 4-7.
- Reptación: Varias de las laderas de Quiba Baja presentan reptaciones de extensión considerable. Se puede apreciar especialmente en la parte posterior de la Iglesia de Quiba Baja (Fotografía 4-4). En la Fotografía 4-5 se puede apreciar la inclinación de los árboles debido a la deformación del suelo por flujo lento ladera abajo.
- Flujo de tierras: Se encontraron algunos flujos de tierras en Quiba Baja en suelos desarrollados sobre las arcillolitas de Plaeners (Fotografía 4-6). No son de gran extensión y obedecen a efectos antrópicos por modificación de la morfología de las laderas y aporte de aguas servidas especialmente.
- Deslizamiento: Se observó un deslizamiento en la parte baja de la ladera posterior a la Iglesia de Quiba Baja. Es notoria la corona y el cuerpo deslizado ha avanzado hasta la vía principal en donde se hicieron trabajos de limpieza de material (Fotografía 4-7).

4.1.5.2 VERIFICACIÓN EN CAMPO

Se realizó por parte de la Entidad, una visita técnica al centro poblado en estudio, en la cual, se realizó vuelo con Dron para realizar los ajustes pertinentes a los Modelos Digitales de Elevación, y así, poder verificar las unidades geomorfológicas y procesos y su potencialidad en la generación de avenidas torrenciales.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observa el centro Poblado Q uiba Bajo, sus principales vías de acceso y la Quebrada Quiba en el costado derecho de la foto.

Fotografía 4-2. Centro poblado Quiba Bajo.

Fotografía 4-3. Ladera en reptación en la parte posterior de la Iglesia de Quiba Bajo.

Fotografía 4-4. Erosión en surcos de grado moderado a severo, Quiba Bajo.

Fotografía 4-5. Proceso de reptación en la parte posterior de la Iglesia de Quiba Bajo.

Fotografía 4-6. Flujo de tierras en Quiba Bajo.

Fotografía 4-7. Deslizamiento en la ladera posterior de la Iglesia de Quiba Bajo.

4.1.6 ANÁLISIS DE SEDIMENTOS

Dado que el aporte de sedimentos de algunos procesos de movimientos en masa aferentes a los cuerpos hídricos puede contribuir a la carga de sedimentos elevando los volúmenes transportados por la corriente es importante definir los procesos que pueden generar aporte de sedimentos a la creciente súbita, para esto se utiliza como insumo el inventario de procesos definido con anterioridad para la escala de trabajo. Se caracterizó cada proceso definiendo a partir de la información disponible la formación, depósito o tipo de suelo, su granulometría y su incidencia en el aporte de sedimentos conforme su ubicación frente al cuerpo de agua, trabajando como zonas de aporte directas, las aferentes en una faja paralela (buffer) de 100 m a lado y lado del cuerpo de agua. Esta distancia tenía como objeto incluir la mayor cantidad de procesos, teniendo en cuenta que la mayoría de las quebradas no tienen definida su zona de ronda propiamente dicha, sino que se toma la generalidad reglamentada de los 30 m.

Según la caracterización y definición del proceso se pudo obtener el tipo de material aportante al cauce, y por tanto establecer el parámetro de concentración de acuerdo al tipo de flujo a presentarse según criterio de experto teniendo en cuenta lo presentado en la Tabla 4.4 y Tabla 4.5.

Por otra parte, en la Tabla 4.4 se presentan los parámetros reológicos utilizados en las modelaciones, donde se establecen las relaciones disponibles del esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimento de acuerdo con el estado del arte de la zonificación de amenazas por avenidas torrenciales. Para la elección del tipo de relación a utilizar se trató de validar los resultados obtenidos utilizando diferentes reologías con el registro histórico presentado en el estudio detallado de la quebrada Limas "Actualización de la Zonificación de Amenaza de Inundación y Avenidas Torrenciales de la Quebrada Limas. Localidad Ciudad Bolívar" Rogelis (2008). Como resultado de esta validación se concluyó que el mejor ajuste se obtenida al seleccionar la reología de Kang & Zhang (1980), y por tanto se toman para el modelo estos parámetros de esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos.

Tabla 4.4. Comportamiento del flujo de sedimentos como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014)

	Concentración de Sedimento		Características del flujo
	En Volumen	En Peso	
Deslizamiento	0.65 - 0.80	0.83 - 0.91	No fluye; falla por deslizamiento.
	0.55 - 0.65	0.76 - 0.83	Falla por deslizamiento con deformación interna, creep lento anterior a la falla.
Flujo de lodos	0.48 - 0.55	0.72 - 0.76	Flujo evidente, creep lento; deformación plástica bajo el peso propio del material; cohesivo, no se extiende en superficie nivelada.
	0.45 - 0.48	0.69 - 0.72	El flujo se extiende sobre superficie nivelada; flujo cohesivo; algo de mezcla.
Creciente de lodos	0.40 - 0.45	0.65 - 0.69	El flujo se mezcla fácilmente; muestra propiedades de fluido en deformación; se extiende en una superficie horizontal pero mantiene una superficie del fluido inclinada; contiene partículas de tamaño considerable; aparecen ondas pero se disipan rápidamente.
	0.35 - 0.40	0.59 - 0.65	Marcado asentamiento de gravas; se extiende casi completamente en una superficie horizontal; superficie líquida con dos fases del fluido; hay ondas que viajan en la superficie.

	0.30 - 0.35	0.54 - 0.59	Las ondas viajan fácilmente; la mayoría de la arena y grava se mueven como carga de lecho.
	0.20 - 0.30	0.41 - 0.54	Presencia de ondas; superficie fluida; todas las partículas se encuentra en el lecho.
Agua	< 0.20	< 0.41	Creciente de agua con carga en suspensión y de lecho.

Tabla 4.5. Paramentros de concentración de sedimentos en función de los procesos identificados en el búfer de 100m

PROCESOS IDENTIFICADOS	UBICACIÓN EN ZONA DE APORTE DIRECTO	CONCENCENTRACIÓN DE SEDIMIENTOS	
		EN VOLUMEN	EN PESO
Caidad de Rocas	Si	0.8-	0.91
Errosión en surcos	Si	0.4	0.65
Reptación	No	< 0.20	< 0.41
Flujos de Tierras	No	< 0.20	< 0.41
Deslizamiento	No	< 0.20	< 0.41

Tabla 4.6. Esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014)

Yield Stress and Viscosity as a Function of Sediment Concentration				
Source	$\tau_y = \alpha e^{\beta Cv}$		$\eta = \alpha e^{\beta Cv}$	
	α	β	α	β
Field Data				
Aspen Pit 1	0.181	25.7	0.0360	22.1
Aspen Pit 2	2.72	10.4	0.0538	14.5
Aspen Natural Soil	0.152	18.7	0.00136	28.4
Aspen Mine Fill	0.0473	21.1	0.128	12.0
Aspen Watershed	0.0383	19.6	0.000495	27.1
Aspen Mine Source Area	0.291	14.3	0.000201	33.1
Glenwood 1	0.0345	20.1	0.00283	23.0
Glenwood 2	0.0765	16.9	0.0648	6.20
Glenwood 3	0.000707	29.8	0.00632	19.9
Glenwood 4	0.00172	29.5	0.000602	33.1
Relationships Available from the Literature				
Iida (1938)	-	-	0.0000373	36.6
Dai et al. (1980)	2.60	17.48	0.00750	14.39
Kang and Zhang (1980)	1.75	7.82	0.0405	8.29
Qian et al. (1980)	0.00136	21.2	-	-
	0.050	15.48	-	-
Chien and Ma (1958)	0.0588	19.1-32.7	-	-
Fei (1981)	0.166	25.6	-	-
	0.00470	22.2	-	-

4.1.7 ANÁLISIS HIDRAÚLICO

- *MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN*

Para generar el modelo hidráulico bidimensional, es necesario contar con un modelo de elevación digital del terreno con un nivel muy alto de detalle, sobre el cual se hace una corrrección de drenaje.

Teniendo como entrada el DEM se construye en ArcGIS el flujo de trabajo de herramientas a utilizar con el fin de generar el DEM para ingresar el modelo hidráulico. En este flujo de trabajo se desarrollan los siguientes 3 pasos.

1. Buffer de 100 m de la corriente a modelar.
2. Modelo de Elevación Digital Tamaño a partir del modelo de elevación digital de 12 m con corrección red de drenaje extraído con buffer de 100 m corriente a modelar.
3. Modelo de Elevación Digital Tamaño corregido.

El anterior procedimiento se realizó para las cuencas que podrían tener incidencia del centro poblado .

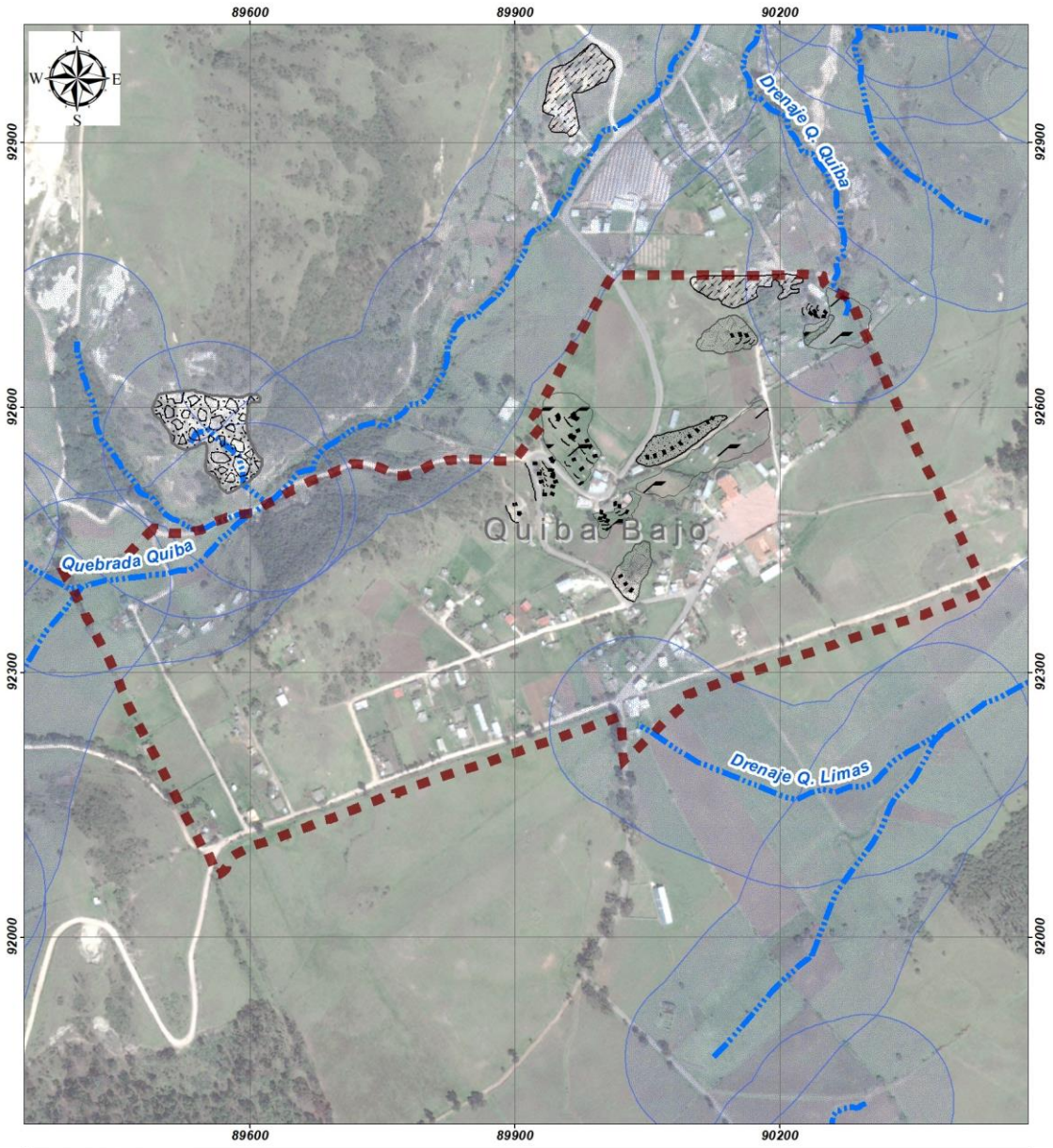

89600
89900
90200
92900
92600
92300
92000
N
W
E
S
Drenaje Q. Quiba
Quiba Bajo
Quebrada Quiba
Drenaje Q. Limas
CONVENCIONES
Corriente de agua
Área Centros Poblados
Buffer 100 mt
Escarpe Erosivo Menor
Caida y Volcamiento
Reptación
Deslizamiento Rotacional
Flujo de TIerra
IDIGER
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático
BUFFER 100 m
CENTRO POBLADO QUIBA BAJO
LOCALIDAD CIUDAD BOLIVAR
ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS

Figura 4-9: Buffer de 100 m Cuerpos de Agua Centro Poblado Quiba Bajo

Para desarrollar el proceso metodológico y obtener el raster que será utilizado para la evaluación hidraulica de cada cuerpo de agua se utilizo la herramienta ModelBuilder de ArcGIS como se muestra en el diagrama de la Figura 4-10 . Este procedimiento inicia con la creación de un buffer por cada drenaje de la zona de estudio y a partir de este, se realiza el corte del DEM y se obtiene el archivo ASCII que permite generar la superficie del modelo hidráulico.

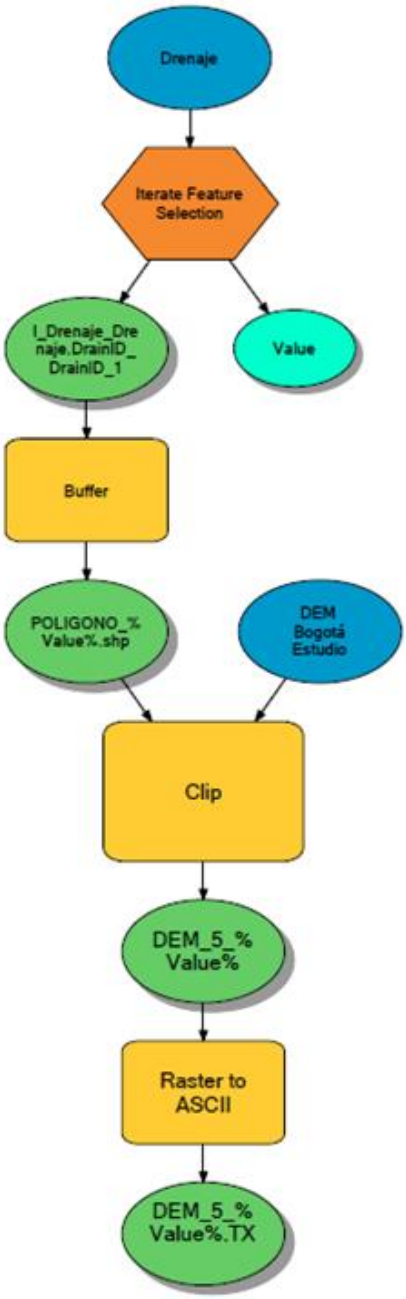


Figura 4-10: Procedimiento en ModelBuilder de ArcGIS para la Extracción Raster modelaciones

4.1.8 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES

- *RESULTADOS DE MODELACIÓN*

Retomando el flujograma metodológico, para la construcción del mapa de amenaza por avenidas torrenciales, partiendo del análisis hidrológico, una vez obtenidos los hidrogramas para las cuencas definidas, estos son incluidos en el modelo hidráulico, el cual es el resultado de la generación de las secciones transversales de cada una de las cuencas delimitadas. Adicionalmente, a partir de la relación Kang & Zhang (1980) se generan los valores del esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos los cuales son incluidos en el modelo hidráulico.

Se inicia el procesamiento en el software de elementos finitos de cada una de las cuencas que cubren el centro poblado, obteniendo alturas y velocidades del flujo para cada pixel junto con los caudales de salida que alimentan los pixeles de la cuenca aguas abajo y van generando la integración del modelo hidráulico. Al final se tiene como resultado un ráster con tamaño de pixel de 1m donde se tiene una profundidad y velocidad del flujo.

A partir de los resultados de altura y velocidades del flujo obtenidos en el modelo hidráulico se realiza la zonificación de la amenaza de acuerdo con la categorización presentada en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7. Matriz de amenaza definida por la intensidad del proceso y su probabilidad de ocurrencia. (Matjaž, 2013)

				Probability of occurrence, *P*		
	BUWAL (1997)	Rickenmann (2005b)		High	Medium	Low
Intensity, *I*	h > 1.0 m and v > 1.0 m/s	h > 1.0 m or v > 1.5 m/s	High	**High**	**High**	**Moderate**
	h < 1.0 m or v < 1.0 m/s	h < 1.0 m and 0.4 m/s < v < 1.5 m/s	Medium	**Moderate**	**Moderate**	**Low**
	non existent	h < 0.4 m and v < 0.4 m/s	Low	**Low**	**Low**	**Very Low**
Not affected areas				**Very Low**	**Very Low**	**Very Low**

Posteriormente para la construcción del mapa de amenaza por avenidas torrenciales, una vez obtenidos los resultados de la modelación donde se generaron alturas y velocidades del flujo para cada pixel de 1m, se procedió a identificar las zonas que cumplen con las características descritas en la Tabla 4.8, para definir la categorización de la amenaza en: Alta, Media o Baja.

Tabla 4.8. Matriz para la zonificación de amenaza

ZONIFICACIÓN	DEFINICIÓN

Zonas en amenaza alta	Zona de desborde del cauce delimitada para el caudal del periodo de retorno de 100 años, con una profundidad de flujo superior a 1,0 y/o una velocidad de flujo superior a 1,5 m/s.
Zonas en amenaza media	Zona de desborde del cauce delimitada para el caudal del periodo de retorno de 100 años, con una profundidad de flujo entre 0,4 m y 1,0 m y/o una velocidad de flujo entre 0,4 y 1,5 m/s.
Zonas en amenaza baja	Zona de desborde del cauce delimitada para el caudal del periodo de retorno de 100 años, con una profundidad de flujo igual o mayor que 0 m e inferior a 0,4 m, y/o una velocidad de flujo igual o mayor que 0 m/s e inferior a 0,4 m/s.

De acuerdo con los resultados obtenidos al realizar el análisis matricial, donde se identifica la calificación de amenaza por avenidas torrenciales, se obtuvo el resultado mostrado en la Figura 4-11.

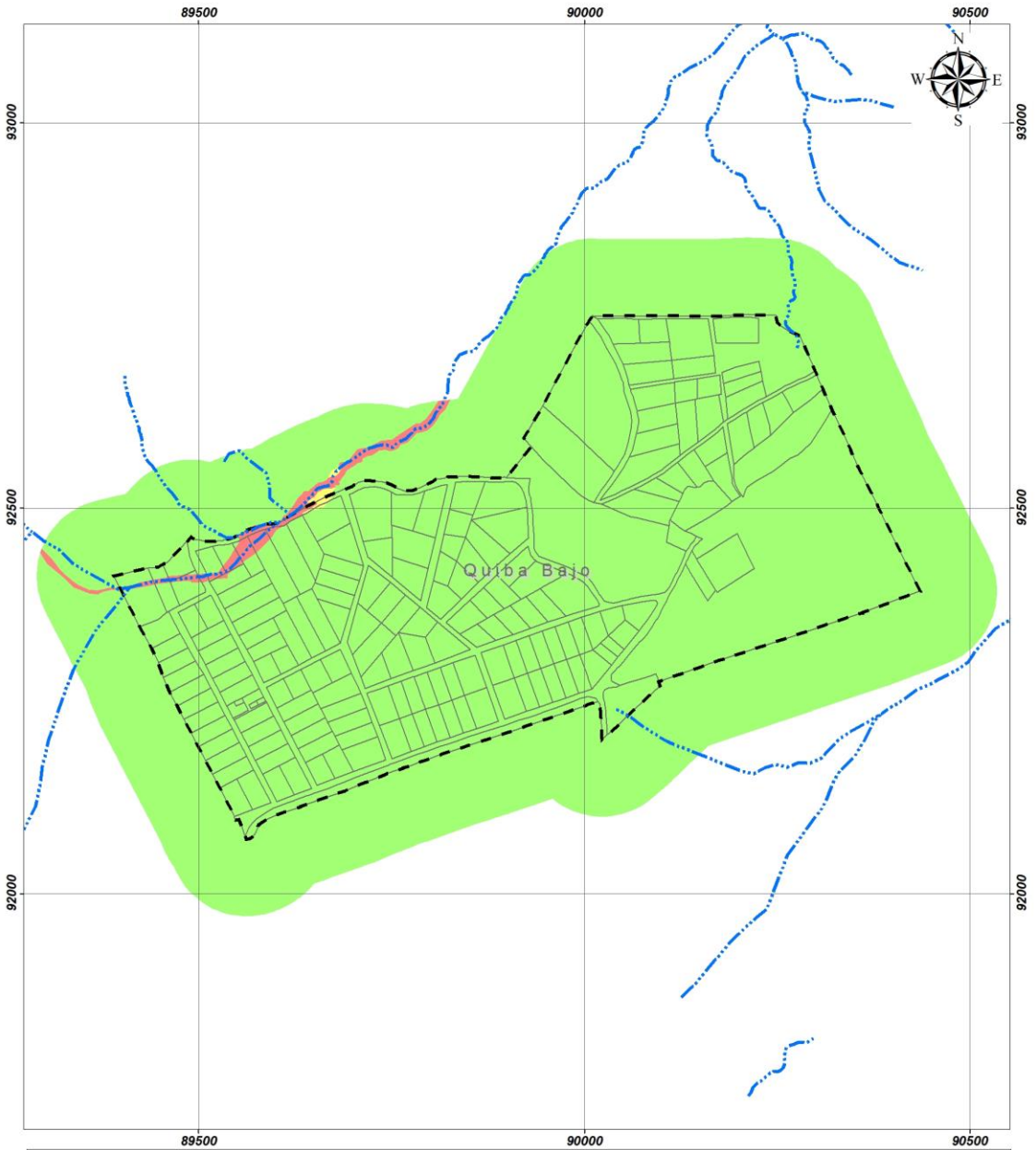

89500
90000
90500
93000
92500
92000
N
W
E
S
Quiba Bajo
CONVENCIONES
Área Centro Poblado
AMENAZA
Amenaza Alta
Amenaza Media
Amenaza Baja
RESULTADO MODELACION AMENAZA AVENIDAS TORRENCIALES
CENTRO POBLADO QUIBA BAJO
LOCALIDAD CIUDAD BOLIVAR
IDIGER
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático
ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS

Figura 4-11. Resultado modelación de amenaza por avenidas torrenciales

Se observan tramos de drenajes en amenaza baja que, aunque son de carácter torrencial, se aclara presentan una profundidad de flujo igual o mayor que 0 m e inferior a 0,4 m, y/o una velocidad de flujo igual o mayor que 0 m/s e inferior a 0,4 m/s.

4.1.9 ZONIFICACIÓN Y MAPA DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO QUIBA BAJO

De acuerdo a los resultados de evaluación se define la amenaza por avenidas torrenciales como el área donde existe una probabilidad de ocurrencia de avenidas torrenciales con un periodo de retorno de 100 años, la intensidad del fenómeno se establece a partir de los resultados del modelo hidráulico de los cauces naturales y/o intervenidos que por sus condiciones presentan avenidas torrenciales. El modelo hidráulico desarrollado implementa los resultados de la modelación hidrológica de las cuencas asociadas a estos cauces naturales y cuya área aferente es mayor a 50 ha y la concentración de sedimentos de fenómenos de movimientos en masa que pueden incorporarse a estos cauces. Las categorías de amenaza por avenidas torrenciales se dividen en tres categorías presentadas en la Tabla 4.8 presentada anteriormente.

Dada las características de corto tiempo y alto impacto que la amenaza por avenidas torrenciales representa para las áreas objeto de desarrollo que se encuentren en zonas de amenaza Alta, Media y Baja, y dado el alcance de los estudios básicos a escala 1:2.000 realizada para los Centros Poblados de acuerdo con los estipulado en el Decreto 1807 de 2014, estas zonas deben ser condicionadas a los estudios detallados que se adelanten con el fin de identificar la categorización del riesgo y establecer las medidas de mitigación correspondientes según el Artículo 4 del Decreto 1807 de 2014.

De acuerdo con los resultados obtenidos de amenaza por avenidas torrenciales, en la Figura 4-12 y en la Tabla 4.9 se presenta el área total dentro del perímetro del centro poblado que se encuentra en amenaza por avenidas torrenciales.

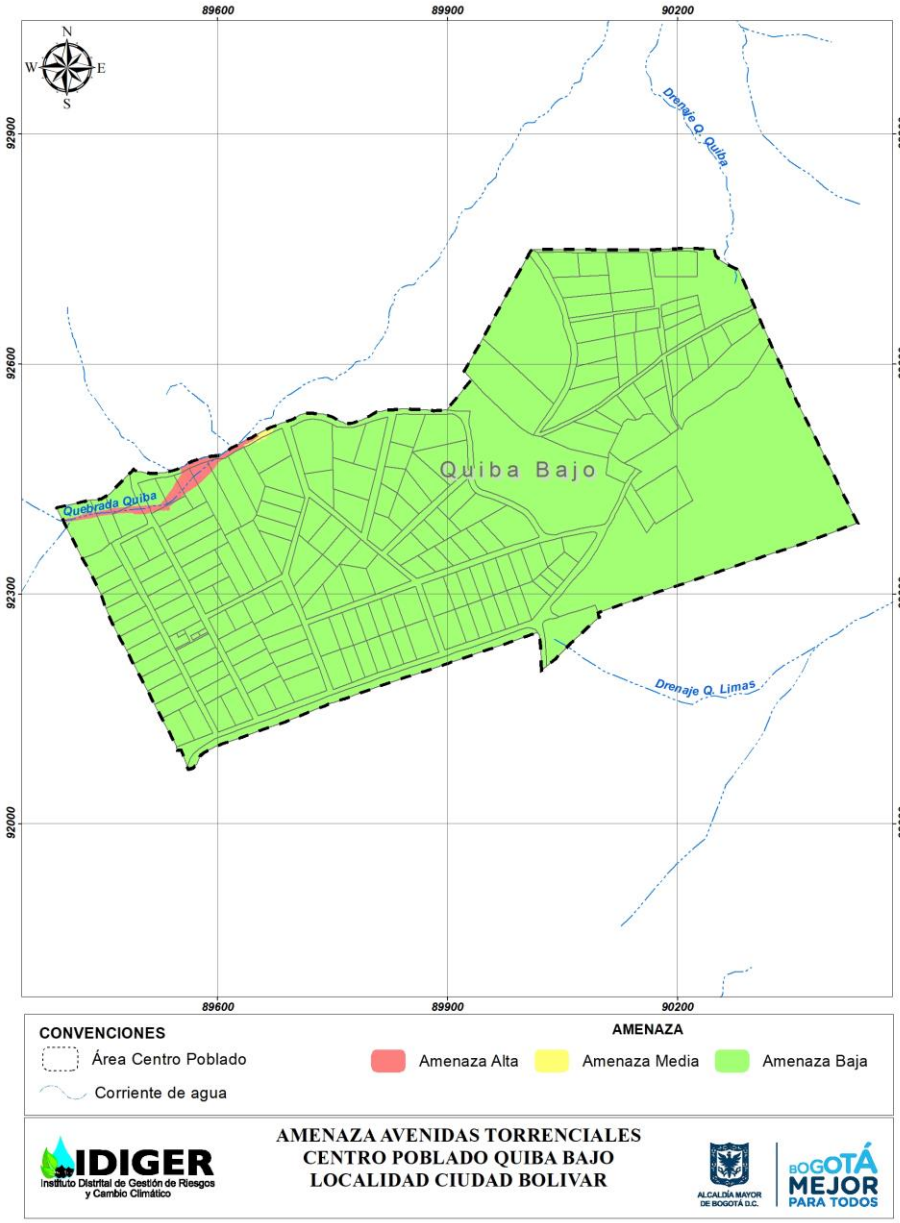


Figura 4-12. Zonificación de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado Quiba Bajo

Tabla 4.9. Área de amenaza en el centro poblado Quiba Bajo

Centro poblado Quiba Bajo	
Amenaza	**Hectáreas (Ha)**
Media	0,03
Alta	0,33
Baja	36,0

4.1.10 ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO QUIBA BAJO

Según el Art. 3 del Decreto 1807 de 2014, *"…las áreas con condición de amenaza son las zonas o áreas del territorio municipal zonificadas como de amenaza alta y media en las que se establezca en la revisión o expedición de un nuevo POT la necesidad de clasificarlas como suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales para permitir su desarrollo."*. Así mismo, el Art. 11 estipula que la delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza, *"con fundamento en la delimitación y zonificación de amenazas, se delimitan y zonifican aquellas áreas sin ocupar del suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales en las que en la revisión o en la expedición de un nuevo POT se proponga su desarrollo."*

Teniendo en cuenta que para el Centro Poblado Quiba Bajo no existen áreas zonificadas como de amenaza alta y media sin ocupar, en las que en la revisión general del POT se proponga su desarrollo, no hay áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales a escala1:2.000 (Figura 4-13 y Tabla 4.10).

Tabla 4.10. Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el centro poblado Quiba Bajo

Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el centro poblado Quiba Bajo	
Amenaza	**Hectáreas (Ha)**
Media	0,00
Alta	0,00

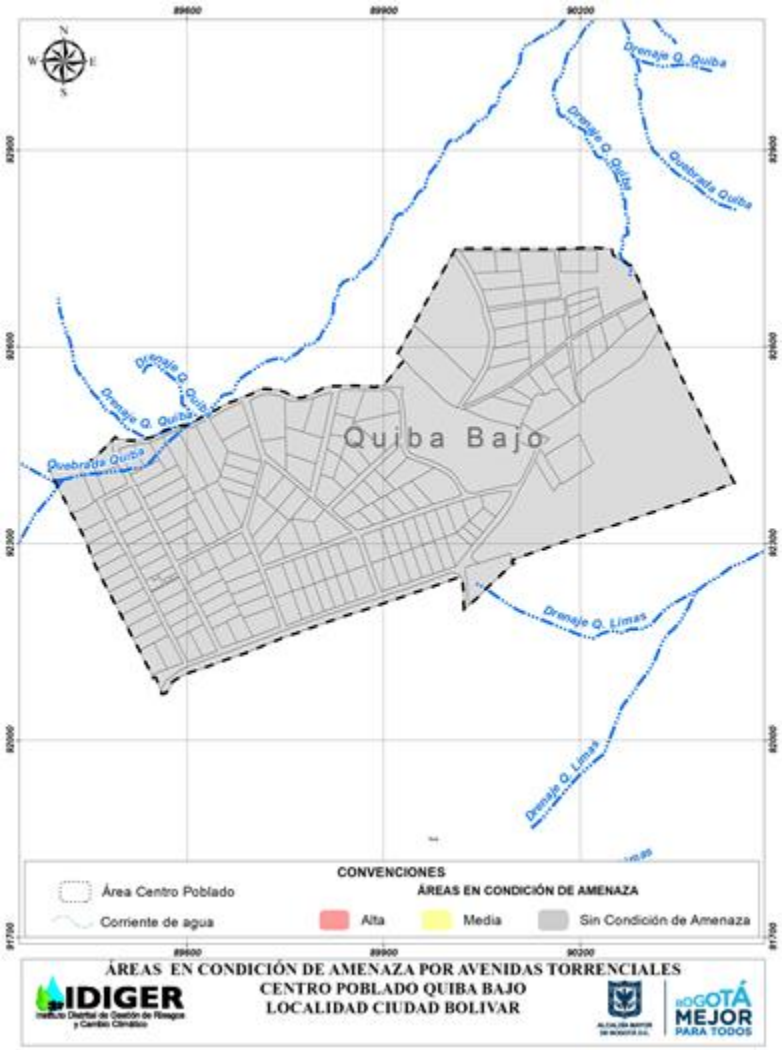


Figura 4-13: Mapa de áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado Quiba Bajo

4.1.10.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de Amenaza por Avenidas Torrenciales en el Centro Poblado Quiba Bajo

No hay condicionamientos o restricciones dado que no hay áreas con condición de amenaza.

4.1.11 ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO QUIBA BAJO

Según el Art. 3 del Decreto 1807 de 2014, las áreas con condición de riesgo *"corresponden a las zonas o áreas del territorio municipal clasificadas como de amenaza alta que estén urbanizadas, ocupadas o edificadas así como en las que se encuentren elementos del sistema vial, equipamientos (salud, educación, otros) e infraestructura de servicios públicos..."*. Indica además en su Art. 12, como se mencionó anteriormente, que para definir estas zonas se deben identificar *"…la existencia de elementos expuestos, de áreas urbanizadas, ocupadas o edificadas así como de aquellas en las que se encuentren edificaciones indispensables y líneas vitales."*

Para delimitar áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado Quiba Bajo, se tuvo en cuenta las construcciones, equipamientos e infraestructura, donde esta última es la única que se encuentran en amenaza alta por avenidas torrenciales (Figura 4-14 y Tabla 4.11).

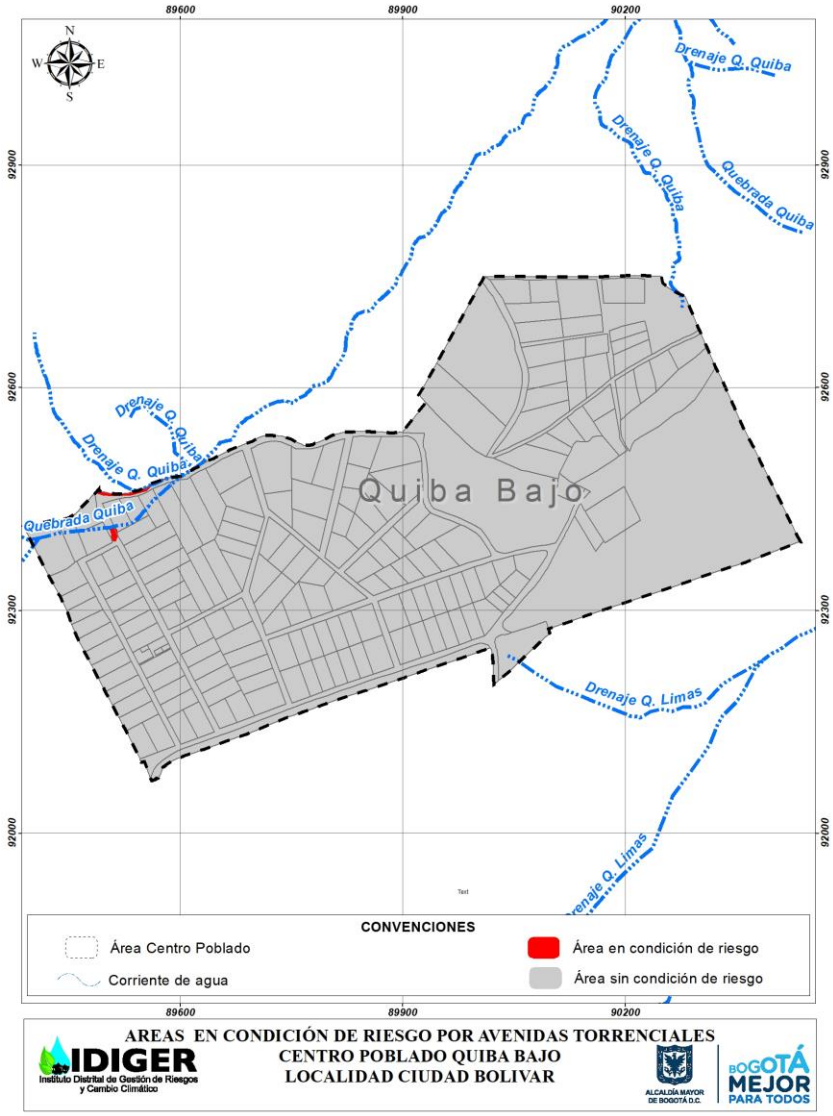


Figura 4-14: Mapa de áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en centro poblado Quiba Bajo

Tabla 4.11. Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado Quiba Bajo

Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado Quiba Bajo	
Amenaza	**Hectáreas (Ha)**
Alta	0,05

4.1.11.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las

Áreas con Condición de Riesgo por Avenidas Torrenciales en el Centro Poblado Quiba Bajo

Dada las características de corto tiempo y alto impacto que la amenaza por avenidas torrenciales representa, en las áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales no se podrán adelantar procesos de construcción, ampliación, urbanización o parcelación y se deberán destinar a los usos permitidos para las áreas de Rondas Hídricas de los Nacimientos, Ríos y Quebradas. No obstante, estas zonas podrán ser recategorizadas mediante estudios detallados a nivel de cuenca, los cuales podrán estar a cargo del gestor y/o promotor y/o urbanizador dentro del trámite de los instrumentos de planeamiento intermedio y de licenciamiento urbanístico.

4.1.12 ESTUDIOS DETALLADOS DE RIESGO EN ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO QUIBA BAJO

Para las áreas con condición de de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado Quiba Bajo, en el largo plazo el Instituto Distrital de Gestión de Riesgo y Cambio Climático – IDIGER realizará los estudios detallados de riesgo. No obstante, estos podrán ser elaborados en el corto plazo y podrán estar a cargo del gestor y/o promotor y/o urbanizador dentro del trámite de los instrumentos de planeamiento intermedio y de licenciamiento urbanístico.

4.2 AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO PASQUILLA

4.2.1 ÁREA DE ESTUDIO

El centro poblado Pasquilla se encuentra localizado en la parte sur de la Localidad de Ciudad Bolívar, en el área rural, a 15.3 km desde el Hospital de Meissen por la Vía Mochuelo. Su perímetro encierra un área de 237.437,46 m² en una ladera de pendiente baja, ondulada, por donde cruzan varios cauces, dedicada a cultivos, pastos y construcciones de vivienda e infraestructura (Figura 4-15).

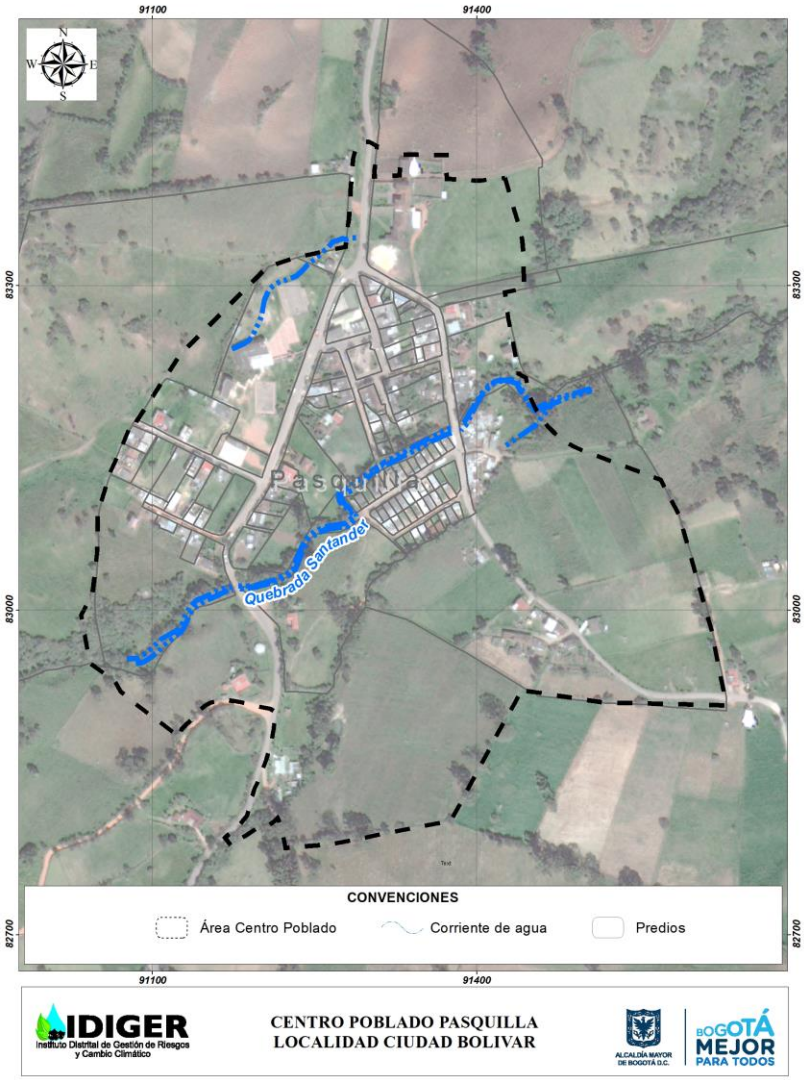


Figura 4-15. Localización del centro poblado Pasquilla.

4.2.2 INSUMOS

A continuación, se describen los insumos básicos que se tomaron como punto de partida para el desarrollo del análisis de amenaza por avenidas torrenciales, de acuerdo con lo dispuesto en el Art. 10 del Decreto 1807, donde se indica que, para los estudios básicos de amenaza por avenidas torrenciales en centros poblados, se deben realizar a escala 1:2.000.

4.2.2.1 CARTOGRAFÍA BASE

Para la cartografía base utilizada tal como lo establece el Decreto 1807 de 2014 (compilado por el Decreto 1077 de 2015), se verificó que contuviera entre otros: coordenadas, curvas de nivel, drenajes, red vial, infraestructura y equipamientos, asentamientos humanos. A partir de lo anterior para la cartografía se tiene lo siguiente:

A SISTEMAS DE COORDENADAS

Sistema de Coordenadas Proyectadas - Cartesianas: Magna Bogotá
Proyección: Transversal de Mercator
Falso Este: 92324,879
Falso Norte: 109320,965
Longitud Meridiano Central: -74,14659167
Latitud de origen: 4,680486111
Factor de escala: 1
Sistema de Coordenadas Geográfica GCS CarMAGBOG
Meridiano de Greenwich
Datum CGS_CARMAGBOG
Elipsoide: GRS80 Mod
Semieje Mayor: 6380687
Semieje Menor: 6359293,764473119
Achatamiento: 298,257222101

B ESCALA

De acuerdo con el Artículo 10 del Decreto 1807 de 2014 (compilado por el Decreto 1077 de 2015) la base cartográfica que se emplea para la presente zonificación corresponde con una escala 1:2.000.

C GEODATABASE SECRETARÍA DISTRITAL DE PLANEACIÓN SDP

La cartografía base fue tomada de la geodatabase con la información geográfica de la Secretaría Distrital de Planeación.

D LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS DE CENTROS POBLADOS RURALES PRIORIZADOS POR LA SDHT.

Mediante el contrato “LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS DE CENTROS POBLADOS RURALESPRIORIZADOS POR LA SDHT Y GENERAR LA RESPECTIVA CARTOGRAFÍA ASOCIADA” (2015) contratado por la SDHT, se generó la topografía detallada de Centros Poblados cuyo resultado son curvas de nivel cada 0.50m.

Esta información y sus bases de datos fueron insumo para la generación de los estudios realizados a escala 1:2000 para del centro poblado.

4.2.2.2 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN

Se utilizó el Modelo Digital del Elevación – DEM generado de 2 x 2 metros, a partir de la información disponible, para realizar la delimitación las cuencas aferentes y el cálculo de algunos parámetros morfométricos de las mismas, los cuales son de gran utilidad para determinar el comportamiento de las cuencas ante eventos de lluvias máximas.

Para esto se realizó la recolección de modelos digitales de Elevación disponibles para el área de estudio, la cual se resume a continuación:

Tabla 4.12. Modelos Digitales de Elevación

Nombre	Fuente	Año	Resumen
Modelo digital de Elevación DEM	SDP		1m
	SDHT	2015	0.5m

Los Modelos Digitales de Elevación que se usaron para para la obtención de la amenaza del centro poblado Pasquilla, proviene de la información contenida en el estudio “*LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS DE CENTROS POBLADOS RURALES PRIORIZADOS POR LA SDHT Y GENERAR LA RESPECTIVA CARTOGRAFÍA ASOCIADA.*”

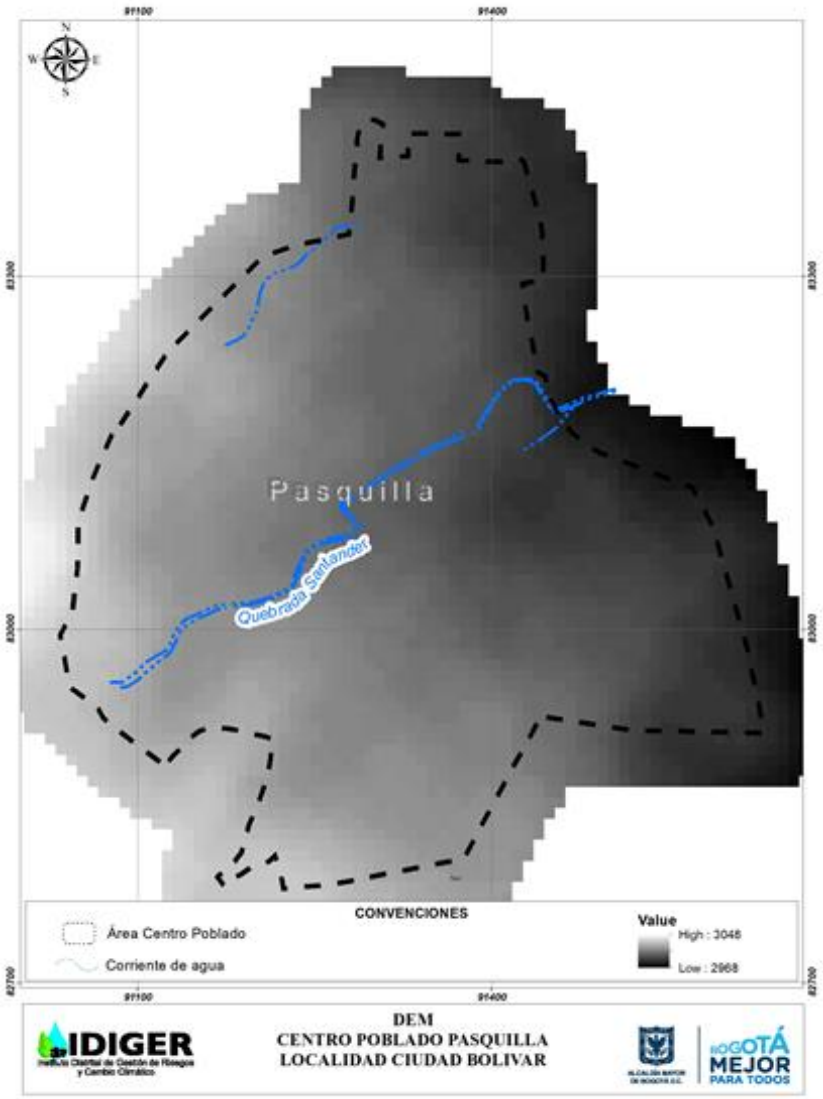


Figura 4-16: Modelo Digital de Elevación del centro poblado Pasquilla

4.2.2.3 GEOMORFOLOGÍA

El estudio geomorfológico permite identificar cuales de las unidades correspondientes al Centro Poblado Pasquilla son susceptibles a la generación de los procesos de avenidas torrenciales los cuales contribuyen a la delimitación de las zonas de estudio y su correspondiente delimitación de amenaza final. La geomorfología es presentada en detalle dentro del análisis geomorfológico.

4.2.3 METODOLOGÍA

Con el fin de construir el esquema metodológico usado en la generación del mapa de amenaza por avenidas torrenciales, se partió de una revisión de las metodologías de evaluación de amenaza enfocado en la armonización tanto en alcance, nivel de información disponible y calidad de los resultados para definir los procedimientos y actividades a ejecutar para lograr un producto cartográfico ajustado a los requerimientos técnicos exigidos en la normatividad vigente (Decreto 1807 de 2014).

4.2.3.1 ESQUEMA METODOLÓGICO

El esquema metodológico se divide en tres análisis principales: (Ver Figura 4-17)

1. Análisis Geomorfológico
2. Análisis Hidrológico
3. Análisis de Sedimentos
4. Análisis Hidráulico

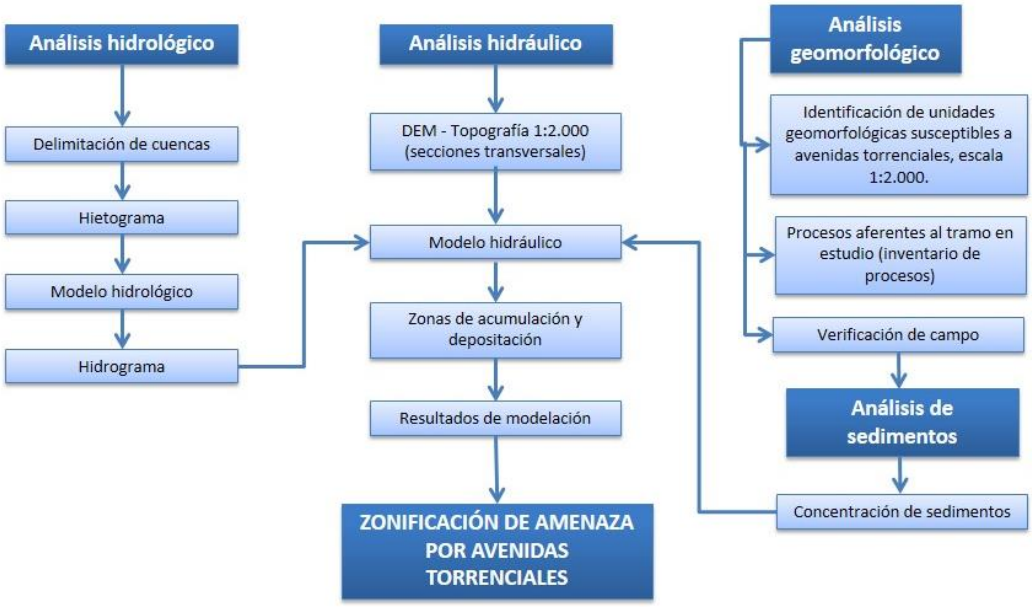


Figura 4-17. Esquema metodológico

El análisis hidrológico inicia con la delimitación de las cuencas aferentes al tramo de río o quebrada que se analiza a partir del modelo de elevación digital de la cuenca, posteriormente se estima el hietograma de precipitación bajo un escenario de periodo de retorno determinado el cual es el insumo de entrada para el modelo hidrológico que proporciona los hidrogramas de entrada del modelo hidráulico.

El análisis geomorfológico consiste en la revisión e identificación de la geomorfolgía a escala 1:2000 de las unidades de potencial acumulación de flujo.

El análisis de sedimentos parte del mapa de procesos geomorfológicos identificados que se encuentran cerca del tramo de rio o quebrada que se analiza, la concentración de sedimentos se determina de acuerdo con la literatura especializada identificada durante la revisión del estado del arte asignando un valor promedio a cada tipo de proceso.

El análisis hidráulico toma como entrada el hidrograma resultado del análisis hidrológico y la concentración de sedimentos del análisis de sedimentos, con estas variables de entrada transita el hidrograma en el modelo de elevación digital del terreno del tramo de rio o quebrada que se analiza, obteniendo como resultado las velocidades y profundidades máximas alcanzadas en cada una de las celdas del modelo de elevación digital del tramo en estudio, estos valores de velocidad y profundidad se categorizan de acuerdo a la condición de amenaza que representan.

4.2.4 ANÁLISIS HIDROLÓGICO

El análisis hidrológico comprende dos etapas, la primera es la delimitación de las cuencas hidrográficas en el área de estudio y la segunda, el modelo lluvia escorrentía que permite la estimación de hidrogramas que serán la entrada del modelo hidráulico. A continuación, se presenta los pasos seguidos en las dos etapas y sus respectivos resultados.

Para obtener la delimitación de cuencas se parte del Modelo de Elevación Digital (DEM) de la zona de estudio, en este caso se cuenta con un DEM proyectado en coordenadas geográficas. Este DEM requiere ser proyectado en coordenadas planas con el fin de tener la geometría plana adecuada para el cálculo de áreas y distancias de las cuencas generadas.

El DEM proyectado cubre un área de mayor extensión que el área de estudio, con el fin de delimitar solamente las cuencas que drenan a esta área. Este buffer se obtuvo mediante pruebas de sensibilidad con diferentes distancias, con el objetivo de cubrir el área que hidrológicamente tiene algún aporte a las cuencas que se encuentran dentro del perímetro del distrito y que garantiza que éstas drenen completamente en el modelo hidráulico.

Por otra parte, El DEM contiene errores inherentes a este tipo de producto, por tanto, se debe corregir con la cartografía adecuada para que el resultado de la delimitación de cuencas se aproxime a la red de drenaje real. Para lograr este objetivo se cuenta con la cartografía del sistema hídrico en coordenadas geográficas, al igual que se realizó con el DEM, se efectuó la proyección del sistema hídrico y se extrae la red hídrica l.

Dado que la corrección del DEM se puede realizar con el shape tipo polígono o tipo línea, se ha optado por convertir los polígonos a líneas y de esta forma modificar solo las riberas de los ríos que en la cartografía son representados mediante polígonos, el resultado de la conversión del sistema hídrico de polígonos a línea.

4.2.4.1 Cuencas Hidrográficas

Teniendo como entrada el DEM y el sistema hídrico ajustados previamente, se construye en ArcGIS el flujo de trabajo de herramientas a utilizar, con el fin de delimitar las cuencas hidrográficas del área de estudio. En este flujo de trabajo se desarrollan los siguientes 11 pasos.

1. Para poder generar la red de drenaje a partir del DEM es necesario profundizar el DEM en aquellas zonas donde se encuentran ubicados los ríos de acuerdo a la cartografía. En este paso, se realizó la profundización en las zonas donde se encuentran los ríos dibujados como tipo línea.

2. Este paso es similar al anterior, sin embargo, la profundización se realizó en las zonas donde se encuentran los ríos dibujados como tipo polígono, pero solo en las riberas convertidas en líneas.

3. El DEM debe ser hidrológicamente apropiado, es decir, que todas las celdas del DEM drenen a un punto de salida. Para poder generar un DEM hidrológicamente apropiado se deben rellenar los pozos o celdas que no permiten que se genere adecuadamente la red de drenaje.

4. Teniendo en cuenta la pendiente más favorable para el flujo, se genera un valor de dirección de flujo para cada celda del DEM.

5. Teniendo en cuenta la dirección de flujo de cada celda es posible calcular el número de celdas que drenan a determinada zona, con estos valores se genera el ráster de acumulación de flujo.

6. Un parámetro importante en la definición de corrientes es el número de celdas que generan el inicio de un cauce, para este análisis hidrológico se tomó el equivalente a 0.5 km^2 como el valor en el cual se genera una corriente. Este valor se obtuvo mediante pruebas de sensibilidad buscando el tamaño adecuado de cuencas que se ajustaba a la escala de trabajo.

7. Considerando el ráster de acumulación de flujo y el número de celdas que generan el inicio de un cauce, se obtuvieron las corrientes hídricas. Posteriormente, se dividen las corrientes teniendo en cuenta que los tramos de las mismas no tengan confluencias con otras corrientes.

8. De acuerdo con los tramos de cauces obtenidos en el paso anterior, se genera la delimitación automática de cuencas.

9. El Ráster generado en el paso anterior se debe trasformar en formato shape para cálculos posteriores.

10. La segmentación de corrientes obtenida en el paso 6, se debe transformar en formato shape para cálculos posteriores.

11. Las cuencas hidrográficas con área aferente acumulada es el resultado final en la delimitación de cuencas del área de estudio.

Para realizar el análisis sólo en las cuencas que se encuentran en el área de estudio y dado que el procedimiento anterior no tiene en cuenta los efectos de la urbanización en la red de drenaje, se deben estimar o corregir las cuencas obtenidas de acuerdo a esta consideración. Para ello se determinan los puntos de cierre de cuencas que dependen del orden de drenaje dentro de la cuenca.
Para la generación de cuencas y delimitar el área de estudio se desarrollan los siguientes 4 pasos.

1. En el primer paso se vinculan los puntos de cierre de cuencas con el ráster de acumulación de flujo generado anteriormente.
2. De acuerdo con el ráster de acumulación de flujo se recortan las cuencas tipo Ráster.
3. Las cuencas del paso anterior se convierten en polígonos
4. El último paso une las cuencas aferentes que puedan quedar separadas al convertir el ráster de cuencas a polígono

El resultado del procedimiento anterior es la generación de cuencas que cubren el área de estudio.

.

Teniendo como entrada el modelo de elevación digital proyectado, se construye en ArcGIS el flujo de trabajo de herramientas a utilizar con el fin de generar las subcuencas hidrográficas del área de estudio. En este flujo de trabajo se desarrollan los mismos 11 pasos que fueron descritos anteriormente.

1. Corrección DEM mediante red de drenaje tipo línea.
2. Corrección DEM mediante red de drenaje tipo polígono.
3. Modelo de Elevación Digital Hidrológicamente Corregido.
4. Dirección de Flujo.
5. Acumulación de Flujo.
6. Red de Drenaje Generada Tipo Ráster.
7. Red de Drenaje Generada Tipo Ráster Vinculada.
8. Cuencas hidrográficas Tipo Ráster.
9. Cuencas hidrográficas Tipo Polígono.
10. Red de Drenaje Generada Tipo Línea.
11. Cuencas hidrográficas Acumuladas Tipo Polígono.

Cabe aclarar que uno de los parámetros importantes para la definición de las subcuencas es el número de celdas que generan el inicio de un cauce, para este análisis hidrológico se tomó el equivalente a 0.5 km^2 como el valor en el cual se genera una corriente, el resultado del este procedimiento fue la generación de las subcuencas que cubren el área del perímetro del centro poblado (Figura 4-18).

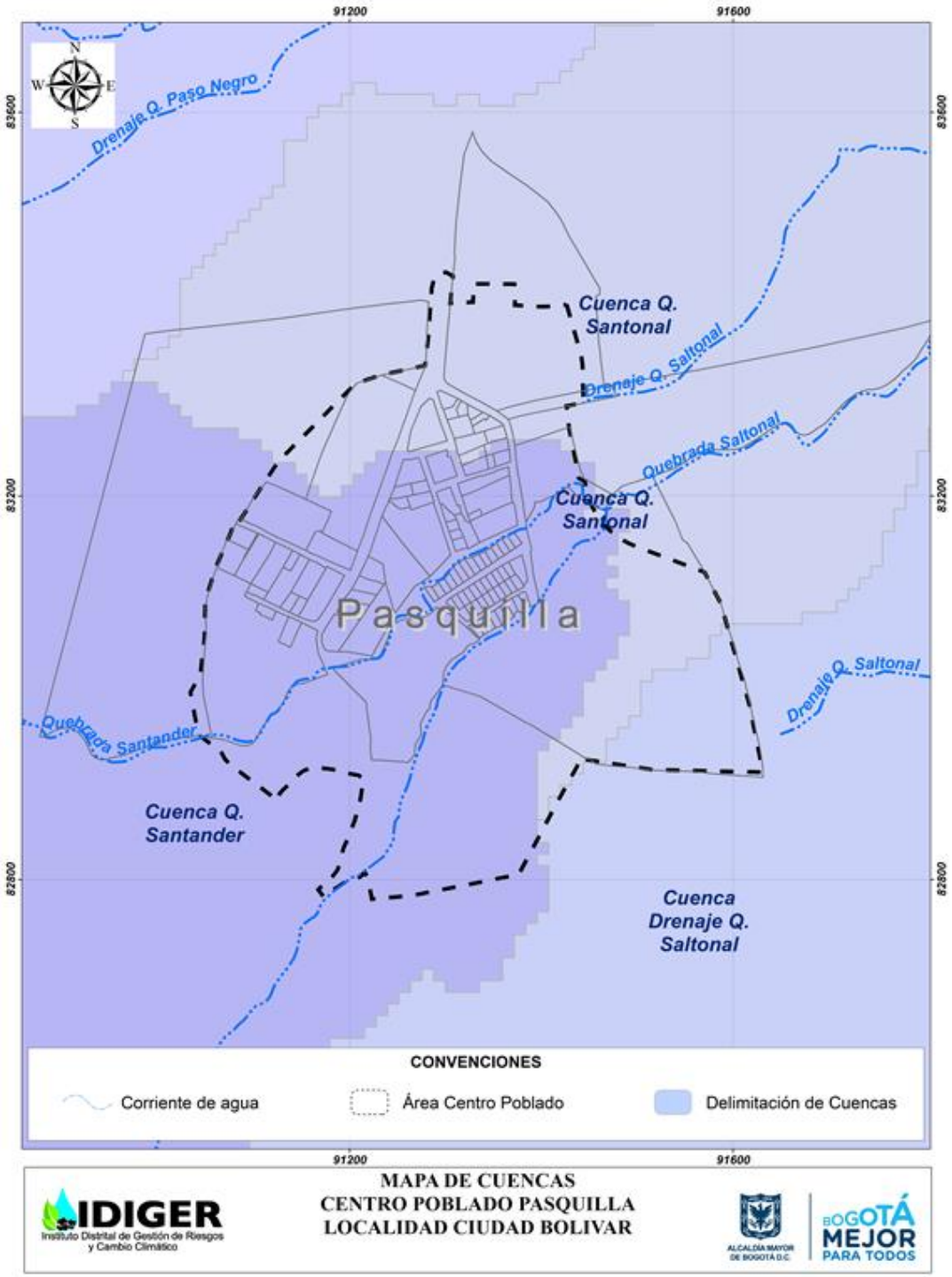


Figura 4-18. Cuencas analizadas en el centro poblado Pasquilla.

4.2.4.2 Morfometría

Para el análisis de susceptibilidad de una cuenca a un evento torrencial, se llevó a cabo la evaluación de varios parámetros morfométricos, teniendo cuenta que estos parámetros son indicadores de las características de la cuenca relacionadas con el pico de las crecientes y su producción de sedimentos.

A continuación, se describe los parámetros morfométricos calculados y analizados

A Pendiente

Tiene una influencia significativa en la generación de avenidas torrenciales (Smith, 2003). Esta característica controla en buena parte la velocidad con que se da la escorrentía superficial y afecta, por tanto, el tiempo que requiere el agua lluvia para concentrarse en los lechos fluviales que constituyen la red de drenaje de las cuencas.

B Orden de corriente

En orden de corrientes depende del número de afluente que contenga el cauce principal, por lo tanto, los de primer orden son todos aquellos que no tengan afluentes. Cuando se unen dos cauces de primer orden forman un cauce de segundo orden y así sucesivamente.

C Longitud de Flujo

La Longitud de flujo está definida como la distancia horizontal, medida a lo largo del cauce principal, entre el punto de salida de la cuenca y el límite definido para la cuenca.

4.2.4.3 Modelo Lluvia – Escorrentia

La segunda etapa del análisis hidrológico consiste en el cálculo de los hidrogramas a partir del modelo lluvia – escorrentía, este hidrograma servirá de entrada al modelo hidráulico. Para obtener los eventos de precipitación se utilizó la caracterización de tormentas y actualización de curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia IDF desarrolladas por la EAB, para este fin las cuencas se subdividieron en dos grupos, el primero aquellas cuencas cuyo centroide se encontrara a por lo menos una distancia inferior a diez kilómetros de alguna de las estaciones utilizadas en dicho estudio y un segundo grupo en el cual el centroide de las cuencas se encontrara a una distancia superior a diez kilómetros de alguna de las estaciones utilizadas en el estudio de la EAB (

Para el primer grupo de estaciones se utilizó la curva IDF de la estación más cercana al centroide de la cuenca obtenidos mediante el estudio de la EAB. Para el segundo grupo de estaciones se calculó las curvas sintéticas IDF asociadas al centroide de la cuenca, siguiendo el método de Vargas (1998), el cual se encuentra específicamente formulado para Colombia y cuya ecuación se enuncia a continuación:

$$I = a\frac{{T_r}^b}{t^c}M^d N^e PT^f ELEV^g$$

Siendo:
I: Intensidad (mm/h).
T_r: Período de retorno (años).
t : Duración de la precipitación, (horas).
M: Promedio del valor máximo anual de precipitación diaria (mm).
N: Promedio de número de días anuales con precipitación.
PT: Promedio de precipitación media anual (mm).
ELEV: Elevación de la estación meteorológica de medición (msnm).
a, b, c, d, e, f, y g: Son coeficientes propios de la ecuación que varían según la ubicación regional de la estación y de la cantidad de variables disponibles. Para el caso se utilizaron los recomendados por el autor del método.

En la siguiente tabla se presentan los valores correspondientes a cada parámetro calibrado para la región Andina de acuerdo con Vargas (1998).

Tabla.13. Parámetros del método de Vargas para la región Andina

a	b	c	d	e	f	g
1,64	0,19	0,65	0,73	-0,13	0,08	-0,01

Las abstracciones de la precipitación fueron calculadas a partir del método de abstracciones del Soil Conservation Service SCS o Método del Número de curva. Para esto se tuvo en cuenta la cartografía disponible suministrada por SDP en cuanto a coberturas de suelo siguiendo la metodología CORINE Land Cover además de la clasificación del grupo hidrológico del suelo, de acuerdo con el mapa geológico de la zona de estudio, definidos por tipo según su capacidad de infiltración.

Con el evento de precipitación obtenido a partir de las curvas IDF utilizando el método de bloque alterno y las abstracciones calculadas con el método de número de curva se obtienen los hidrogramas que servirán de entrada al modelo hidráulico. El Caudal Pico de estos hidrogramas según las cuencas asociadas al área de estudio se presenta en la Figura 4-19.

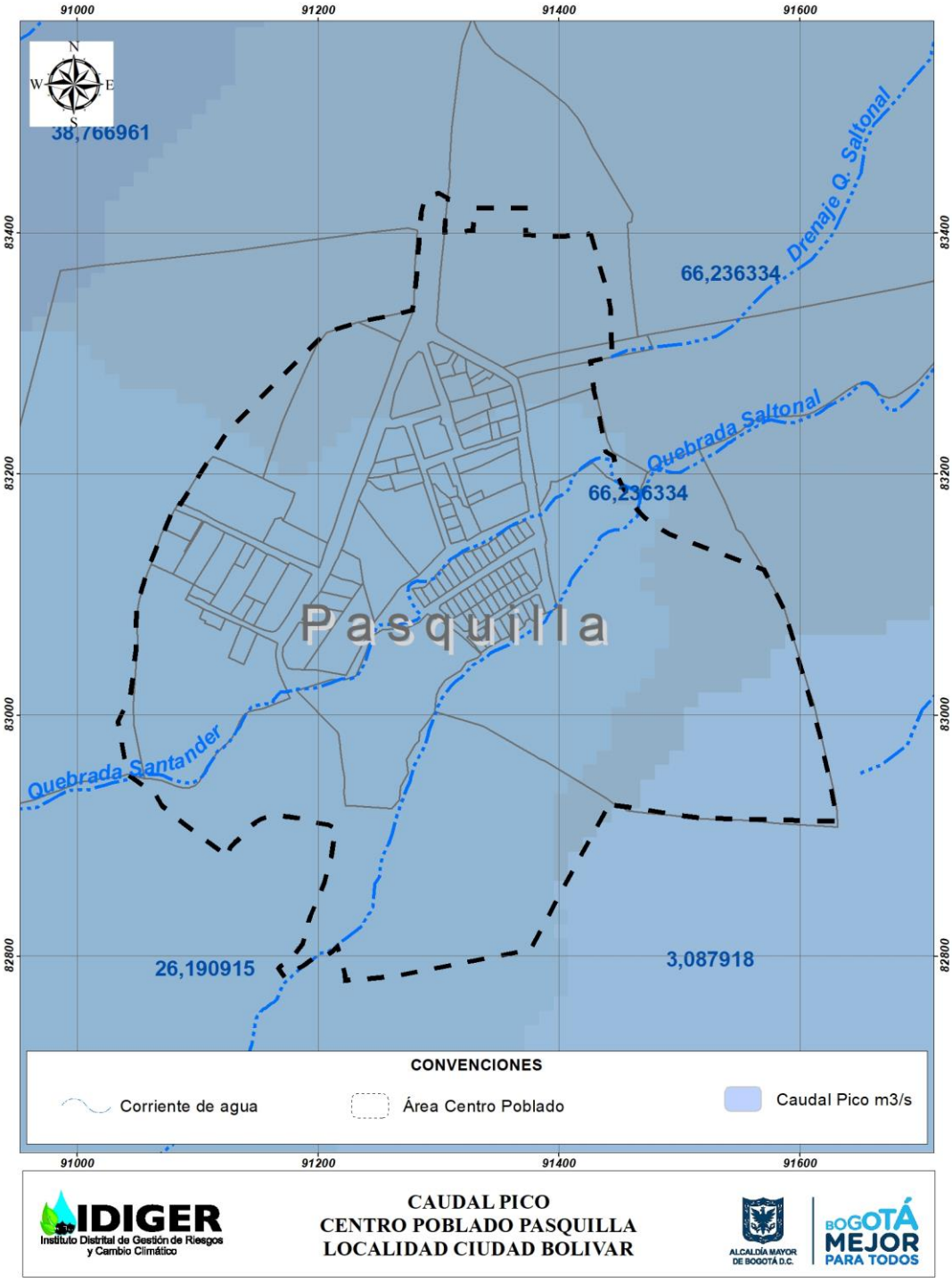


Figura 4-19. Caudales Pico Según Cuencas analizadas en el centro poblado Pasquilla.

4.2.5 ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

Dentro del centro poblado, las unidades geomorfológicas que se presentan se muestran en la Figura 4-20, el detalle del proceso de contruccción del levantamiento geomorfológico se presenta en el Documento Técnico de Sopórte del Mapa De Amenaza Por Movimientos En Masa En Perspectiva De Cambio Climático Zona Rural.

La ladera en la cual se emplaza Pasquilla corresponde a un modelado glacial y periglacial donde se aprecia una cuesta estructural glaciada con conos y lóbulos de gelifracción originados por flujos torrenciales y planchas y espolones estructurales glaciados. Alguna parte de esa ladera ha presentado un modelado estructural denudativo con algunos conos y lóbulos coluviales convirtiéndose en ladera de acumulación.

De acuerdo con la geomorfologia a escala 1:2000 y partir de las unidades presentes se realizó en función de la morfogenésis y la morfodinámica, la identificación de la susceptibilidad a avenidas torrenciales, mediante un análisis basado en las morfoestructuras de región, unidad, subunidad y componente, con el fin de realizar la identificación de unidades de origen fluviotorrencial presentes en el área de estudio y determinar zonas susceptibles a la depositación y acumulacion de flujo o generación de sedimentos, previo a la validación mediante el modelo hidráulico, encontrando la siguiente categorización (Tabla 4.14):

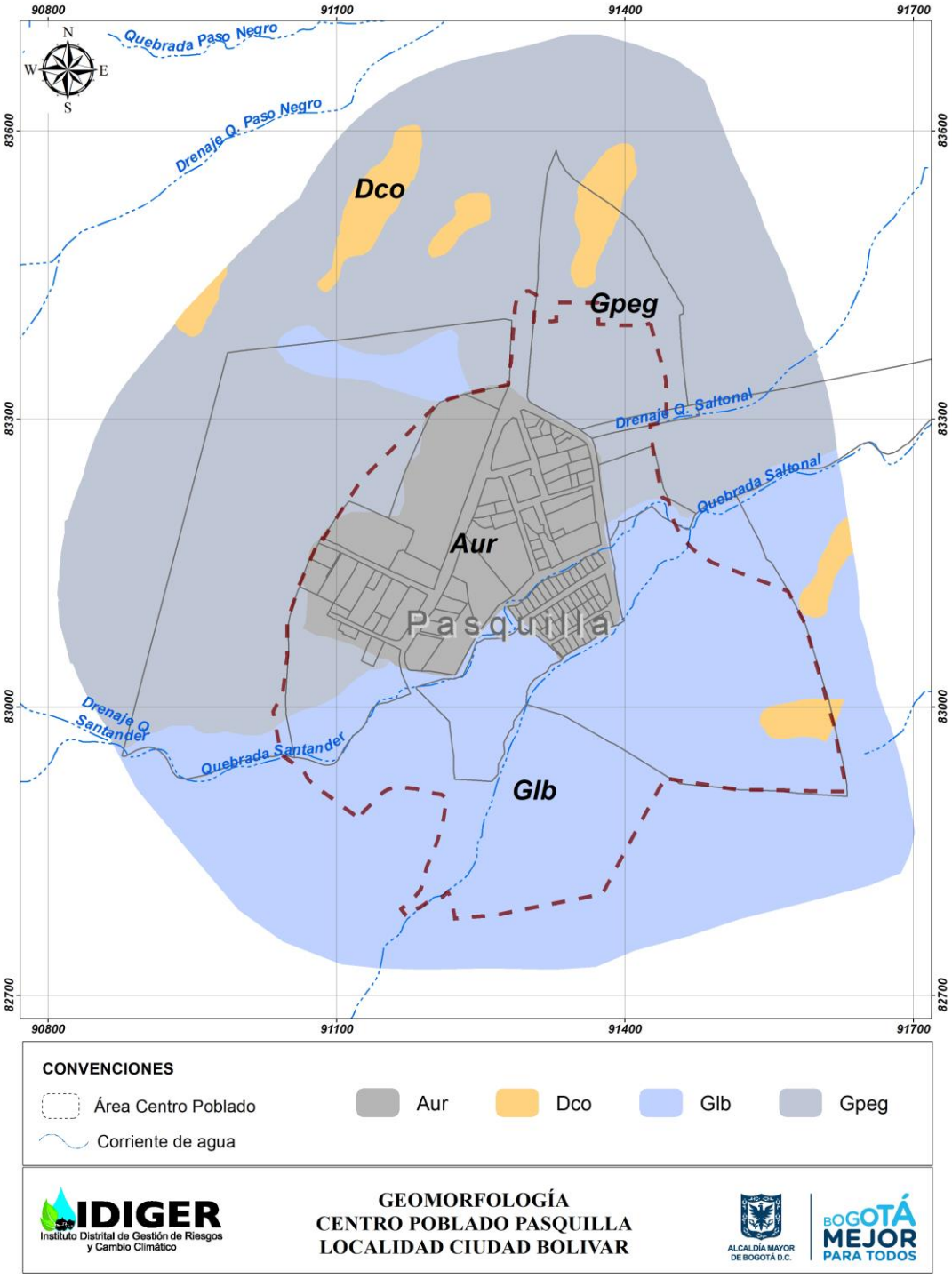


Figura 4-20. Mapa geomorfológico construido para el centro poblado Pasquilla

Tabla 4.14. Susceptibilidad Geomorfológica de las Unidades

REGIÓN	UNIDAD	SUBUNIDAD	COMPONENTE	SÍMBOLO	SUSCEPTIBILIDAD	OBSERVACIONES
ANTROPOGÉNICO			Area Urbanizada	**Aur**	Baja	
ESTRUCTURAL - DENUDATIVO	Planchas Estructurales Denudadas – Espolones Estructurales	Conos y lóbulos Coluviales y de Solifluxión	Ladera de Acumulación	**Dco**	Baja	
GLACIAL Y PEROGLACIAL	Sierra Anticlinal Denudada y Residual	Conos y lóbulosde gelifracción	Flujos Torrenciales	**Glb**	Alta	Torrencialidad asociada al origén
		Planchas y espolones estructurales glaciados	Espolones Estructurales Glaciados	**Gepg**	Alta	

4.2.5.1 INVENTARIO DE PROCESOS MORFODINÁMICOS

Para poder ajustar a la escala de trabajo el análisis de sedimentos, se verificaron los procesos morfodinámicos, donde se encontraron algunos flujos de tierra de tamaño considerable hacia el costado norte, fuera del perímetro del centro poblado, y otros un poco más pequeños hacia el costado oriental. Estos flujos son franjas elongadas de movimiento lento, con buen contenido de humedad, involucrando buena parte de la cobertura vegetal.

En la Figura 4-21 se pueden ver estos flujos de tierra cartografiados sobre el mapa geomorfológico.

Figura 4-21. Mapa de procesos morfodinámicos construido para Pasquilla.

4.2.5.2 VERIFICACIÓN EN CAMPO

Una vez obtenidos los resultados de la modelación y generado los análisis mencionados anteriormente, se realizó por parte de la Entidad la visita técnica al centro poblado, en la cual, se hizo un vuelo con Dron para la verificación, y así, desarrollar los ajustes pertinentes a los resultados obtenidos de las modelaciones hidráulicas y la evaluación de la amenaza por Avenidas Torrenciales a la escala especificada.
En la Fotografía 4-8 se observa el centro poblado Pasquilla, sus principales vías de acceso y la Quebrada Santander que pasa por medio del centro poblado.

Fotografía 4-8. Centro poblado Pasquilla.

4.2.6 ANÁLISIS DE SEDIMENTOS

Dado que el aporte de sedimentos de algunos procesos de movimientos en masa aferentes a los cuerpos hídricos puede contribuir a la carga de sedimentos elevando los volúmenes transportados por la corriente es importante definir los procesos que pueden generar aporte de sedimentos a la creciente súbita, para esto se utiliza como insumo el inventario de procesos definido con anterioridad para la escala de trabajo. Se caracterizó cada proceso definiendo a partir de la información disponible la formación, depósito o tipo de suelo, su granulometría y su incidencia en el aporte de sedimentos conforme su ubicación frente al cuerpo de agua, trabajando como zonas de aporte directas, las aferentes en una faja paralela (buffer) de 100 m a lado y lado del cuerpo de agua. Esta distancia tenía como objeto incluir la mayor cantidad de procesos, teniendo en cuenta que la mayoría de las quebradas no tienen definida su zona de ronda propiamente dicha, sino que se toma la generalidad reglamentada de los 30 m.

Según la caracterización y definición del proceso se pudo obtener el tipo de material aportante al cauce, y por tanto establecer el parámetro de concentración de acuerdo al tipo de flujo a presentarse según criterio de experto teniendo en cuenta lo presentado en la Tabla 4.15 y Tabla 4.16.

Por otra parte, en la Tabla 4.17 se presentan los parámetros reológicos utilizados en las modelaciones, donde se establecen las relaciones disponibles del esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimento de acuerdo con el estado del arte de la zonificación de amenazas por avenidas torrenciales. Para la elección del tipo de relación a utilizar se trató de validar los resultados obtenidos utilizando diferentes reologías con el registro histórico presentado en el estudio detallado de la quebrada Limas "Actualización de la Zonificación de Amenaza de Inundación y Avenidas Torrenciales de la Quebrada Limas. Localidad Ciudad Bolívar" Rogelis (2008). Como resultado de esta validación se concluyó que el mejor ajuste se obtenida al seleccionar la reología de Kang & Zhang (1980), y por tanto se toman para el modelo estos parámetros de esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos.

Tabla 4.15. Comportamiento del flujo de sedimentos como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014)

	Concentración de Sedimento		Características del flujo
	En Volumen	En Peso	
Deslizamiento	0.65 - 0.80	0.83 - 0.91	No fluye; falla por deslizamiento.
	0.55 - 0.65	0.76 - 0.83	Falla por deslizamiento con deformación interna, creep lento anterior a la falla.
Flujo de lodos	0.48 - 0.55	0.72 - 0.76	Flujo evidente, creep lento; deformación plástica bajo el peso propio del material; cohesivo, no se extiende en superficie nivelada.
	0.45 - 0.48	0.69 - 0.72	El flujo se extiende sobre superficie nivelada; flujo cohesivo; algo de mezcla.
Creciente de lodos	0.40 - 0.45	0.65 - 0.69	El flujo se mezcla fácilmente; muestra propiedades de fluido en deformación; se extiende en una superficie horizontal pero mantiene una superficie del fluido inclinada; contiene partículas de tamaño considerable; aparecen ondas pero se disipan rápidamente.
	0.35 - 0.40	0.59 - 0.65	Marcado asentamiento de gravas; se extiende casi completamente en una superficie horizontal; superficie líquida con dos fases del fluido; hay ondas que viajan en la superficie.
	0.30 - 0.35	0.54 - 0.59	Las ondas viajan fácilmente; la mayoría de la arena y grava se mueven como carga de lecho.
	0.20 - 0.30	0.41 - 0.54	Presencia de ondas; superficie fluida; todas las partículas se encuentra en el lecho.
Agua	< 0.20	< 0.41	Creciente de agua con carga en suspensión y de lecho.

Tabla 4.16. Parametros de concentración de sedimentos en función de los procesos identificados en el búfer de 100m

PROCESOS IDENTIFICADOS	UBICACIÓN EN ZONA DE APORTE DIRECTO	CONCENCENTRACIÓN DE SEDIMIENTOS	
		EN VOLUMEN	EN PESO
Flujos de Tierras	SI	0.48-	0.72
Escarpe Erosivo Menor	Si	0.4	0.65
Escarpe Antrópico	SI	0.4	0.65

Tabla 4.17. Esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014)

Yield Stress and Viscosity as a Function of Sediment Concentration				
Source	$\tau_y = \alpha e^{\beta Cv}$		$\eta = \alpha e^{\beta Cv}$	
	α	β	α	β
Field Data				
Aspen Pit 1	0.181	25.7	0.0360	22.1
Aspen Pit 2	2.72	10.4	0.0538	14.5
Aspen Natural Soil	0.152	18.7	0.00136	28.4
Aspen Mine Fill	0.0473	21.1	0.128	12.0
Aspen Watershed	0.0383	19.6	0.000495	27.1
Aspen Mine Source Area	0.291	14.3	0.000201	33.1
Glenwood 1	0.0345	20.1	0.00283	23.0
Glenwood 2	0.0765	16.9	0.0648	6.20
Glenwood 3	0.000707	29.8	0.00632	19.9
Glenwood 4	0.00172	29.5	0.000602	33.1
Relationships Available from the Literature				
Iida (1938)	-	-	0.0000373	36.6
Dai et al. (1980)	2.60	17.48	0.00750	14.39
Kang and Zhang (1980)	1.75	7.82	0.0405	8.29
Qian et al. (1980)	0.00136	21.2	-	-
	0.050	15.48	-	-
Chien and Ma (1958)	0.0588	19.1-32.7	-	-
Fei (1981)	0.166	25.6	-	-
	0.00470	22.2	-	-

4.2.7 ANÁLISIS HIDRAÚLICO

- *MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN*

Para generar el modelo hidráulico bidimensional, es necesario contar con un modelo de elevación digital del terreno con un nivel muy alto de detalle, sobre el cual se hace una corrrección de drenaje.

Teniendo como entrada el DEM se construye en ArcGIS el flujo de trabajo de herramientas a utilizar con el fin de generar el DEM para ingresar el modelo hidráulico. En este flujo de trabajo se desarrollan los siguientes 3 pasos.

1. Buffer de 100 m de la corriente a modelar.
2. Modelo de Elevación Digital Tamaño a partir del modelo de elevación digital de 12 m con corrección red de drenaje extraído con buffer de 100 m corriente a modelar.
3. Modelo de Elevación Digital Tamaño corregido.

El anterior procedimiento se realizó para las cuencas que hacen parte del centro poblado

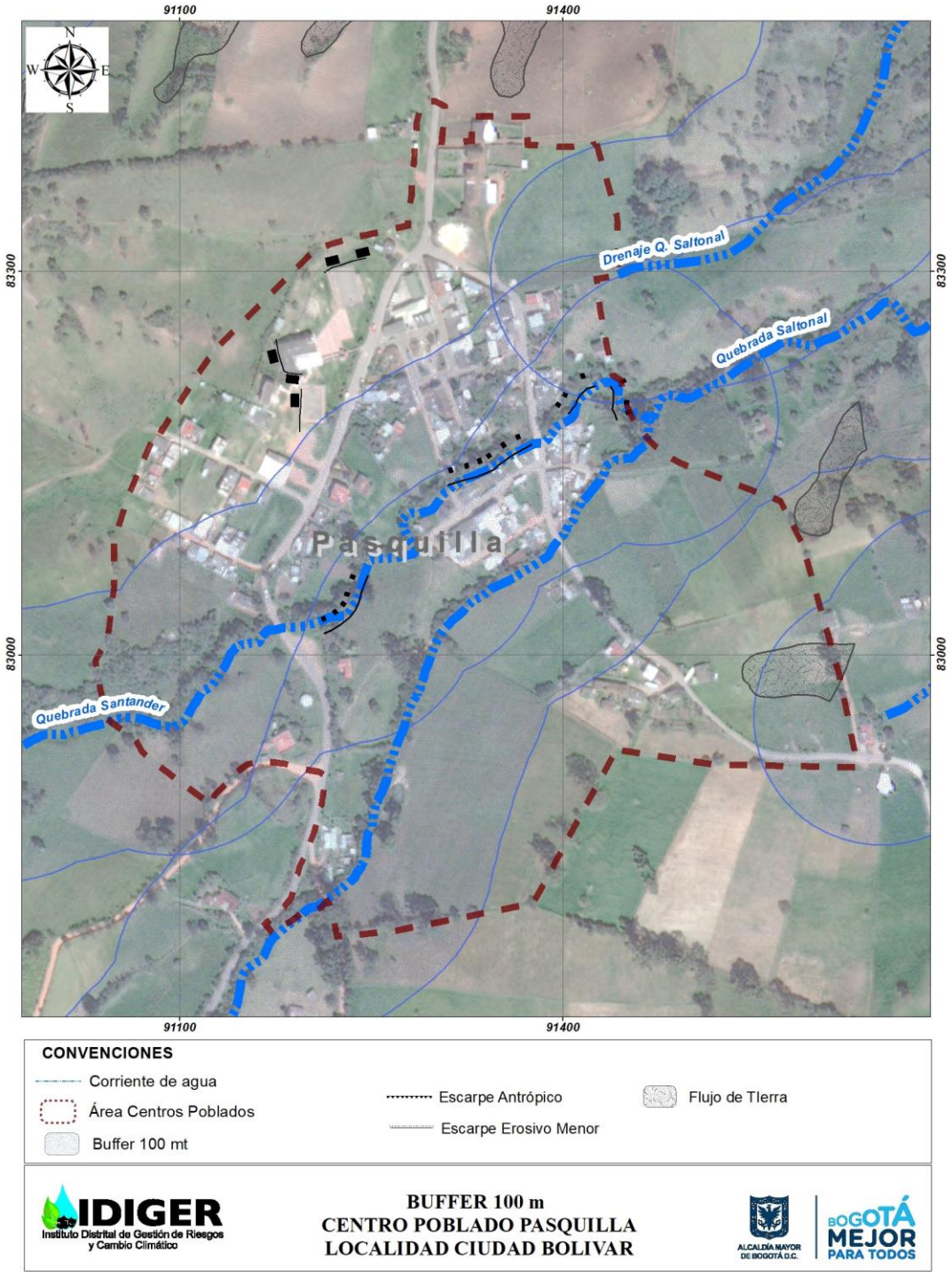


Figura 4-22: Buffer de 100 m Cuerpos de Agua Centro Poblado Pasquilla

Para desarrollar el proceso metodológico y obtener el raster que será utilizado para la evaluación hidraulica de cada cuerpo de agua se utilizo la herramienta ModelBuilder de ArcGIS como se muestra en el diagrama de la Figura 4-10 . Este procedimiento inicia con la creación de un buffer por cada drenaje de la zona de estudio y a partir de este, se realiza el corte del DEM y se obtiene el archivo ASCII que permite generar la superficie del modelo hidráulico.

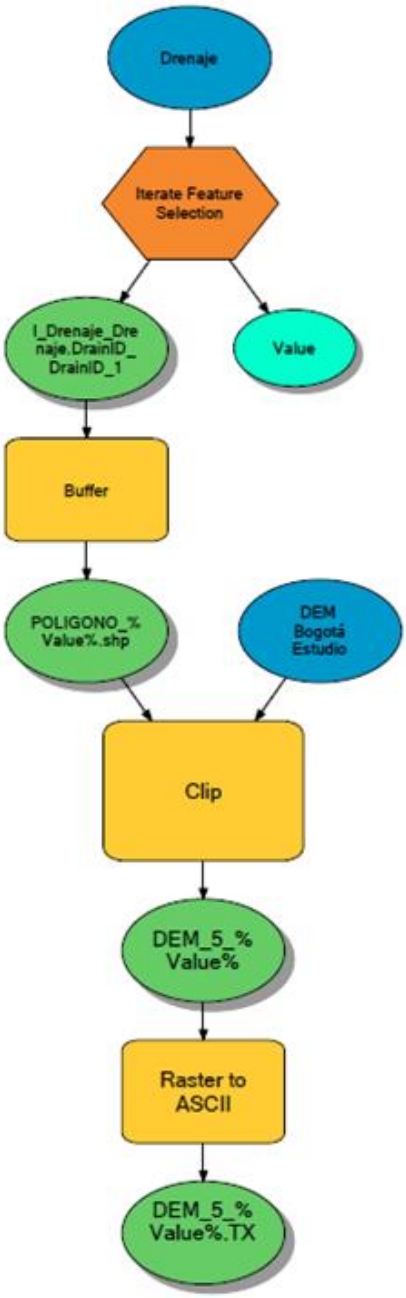


Figura 4-23: Procedimiento en ModelBuilder de ArcGIS para la Extracción Raster modelaciones

4.2.8 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES

- *RESULTADOS DE MODELACIÓN*

Retomando el flujograma metodológico, para la construcción del mapa de amenaza por avenidas torrenciales, partiendo del análisis hidrológico, una vez obtenidos los hidrogramas para las cuencas definidas, estos son incluidos en el modelo hidráulico, el cual es el resultado de la generación de las secciones transversales de cada una de las cuencas delimitadas. Adicionalmente, a partir de la relación Kang & Zhang (1980) se generan los valores del esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos los cuales son incluidos en el modelo hidráulico.

Se inicia el procesamiento en el software de elementos finitos de cada una de las cuencas que cubren el centro poblado, obteniendo alturas y velocidades del flujo para cada pixel junto con los caudales de salida que alimentan los pixeles de la cuenca aguas abajo y van generando la integración del modelo hidráulico. Al final se tiene como resultado un ráster con tamaño de pixel de 1m donde se tiene una profundidad y velocidad del flujo.

A partir de los resultados de altura y velocidades del flujo obtenidos en el modelo hidráulico se realiza la zonificación de la amenaza de acuerdo con la categorización presentada en la Tabla 4.18

Tabla 4.18. Matriz de amenaza definida por la intensidad del proceso y su probabilidad de ocurrencia. (Matjaž, 2013)

				Probability of occurrence, *P*		
	BUWAL (1997)	Rickenmann (2005b)		High	Medium	Low
Intensity, *I*	h > 1.0 m and v > 1.0 m/s	h > 1.0 m or v > 1.5 m/s	High	**High**	**High**	**Moderate**
	h < 1.0 m or v < 1.0 m/s	h < 1.0 m and 0.4 m/s < v < 1.5 m/s	Medium	**Moderate**	**Moderate**	**Low**
	non existent	h < 0.4 m and v < 0.4 m/s	Low	**Low**	**Low**	**Very Low**
Not affected areas				**Very Low**	**Very Low**	**Very Low**

Posteriormente para la construcción del mapa de amenaza por avenidas torrenciales, una vez obtenidos los resultados de la modelación donde se generaron alturas y velocidades del flujo para cada pixel de 1m, se procedió a identificar las zonas que cumplen con las características descritas en la Tabla 4.19, para definir la categorización de la amenaza en: Alta, Media o Baja.

Tabla 4.19. Matriz para la zonificación de amenaza

ZONIFICACIÓN	DEFINICIÓN
Zonas en amenaza alta	Zona de desborde del cauce delimitada para el caudal del periodo de retorno de 100 años, con una profundidad de flujo superior a 1,0 y/o una velocidad de flujo superior a 1,5 m/s.
Zonas en amenaza media	Zona de desborde del cauce delimitada para el caudal del periodo de retorno de 100 años, con una profundidad de flujo entre 0,4 m y 1,0 m y/o una velocidad de flujo entre 0,4 y 1,5 m/s.
Zonas en amenaza baja	Zona de desborde del cauce delimitada para el caudal del periodo de retorno de 100 años, con una profundidad de flujo igual o mayor que 0 m e inferior a 0,4 m, y/o una velocidad de flujo igual o mayor que 0 m/s e inferior a 0,4 m/s.

De acuerdo con los resultados obtenidos al realizar el análisis matricial, donde se identifica la calificación de amenaza por avenidas torrenciales, se obtuvo el resultado mostrado en la Figura 4-24.

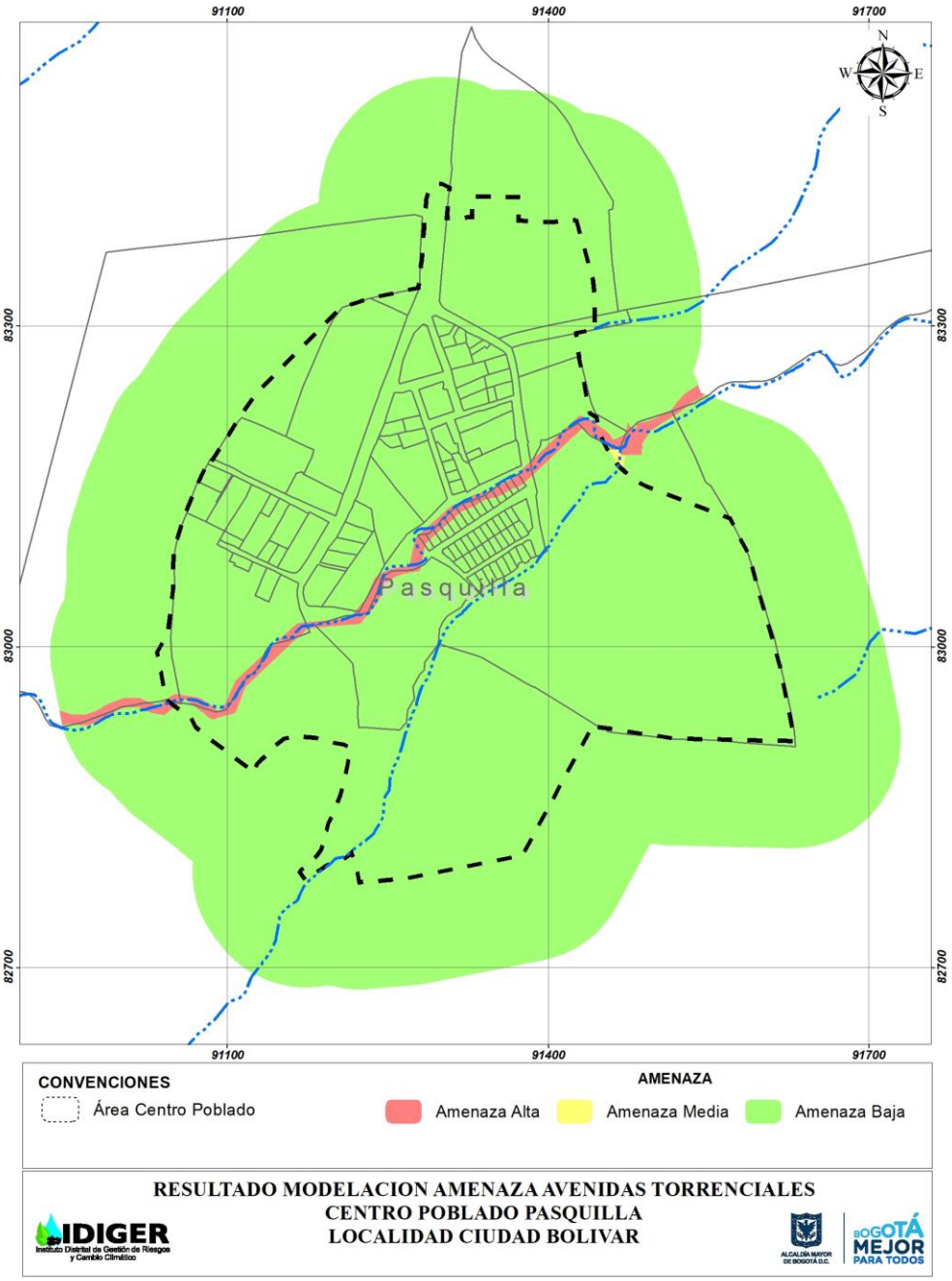


Figura 4-24. Resultado modelación de amenaza por avenidas torrenciales

Se observan tramos de drenajes en amenaza baja, que aunque son de carácter torrencial, se aclara presentan una profundidad de flujo igual o mayor que 0 m e inferior a 0,4 m, y/o una velocidad de flujo igual o mayor que 0 m/s e inferior a 0,4 m/s.

4.2.9 ZONIFICACIÓN Y MAPA DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO PASQUILLA

De acuerdo a los resultados de evaluación se define la amenaza por avenidas torrenciales como el área donde existe una probabilidad de ocurrencia de avenidas torrenciales con un periodo de retorno de 100 años, la intensidad del fenómeno se establece a partir de los resultados del modelo hidráulico de los cauces naturales y/o intervenidos que por sus condiciones presentan avenidas torrenciales. El modelo hidráulico desarrollado implementa los resultados de la modelación hidrológica de las cuencas asociadas a estos cauces naturales y cuya área aferente es mayor a 50 ha y la concentración de sedimentos de fenómenos de movimientos en masa que pueden incorporarse a estos cauces. Las categorías de amenaza por avenidas torrenciales se dividen en tres categorías presentadas en la Tabla 4.19 presentada anteriormente.

Dada las características de corto tiempo y alto impacto que la amenaza por avenidas torrenciales representa para las áreas objeto de desarrollo que se encuentren en zonas de amenaza Alta, Media y Baja y dado el alcance de los estudios básicos en zona rural estas zonas deben ser condicionadas a los estudios detallados que se adelanten con el fin de identificar las zonas de amenaza a una escala más detallada.

De acuerdo con los resultados obtenidos de amenaza por avenidas torrenciales, en la Figura 4-25 y en la Tabla 4.20 se presenta el área total dentro del perímetro del centro poblado que se encuentra en amenaza por avenidas torrenciales.

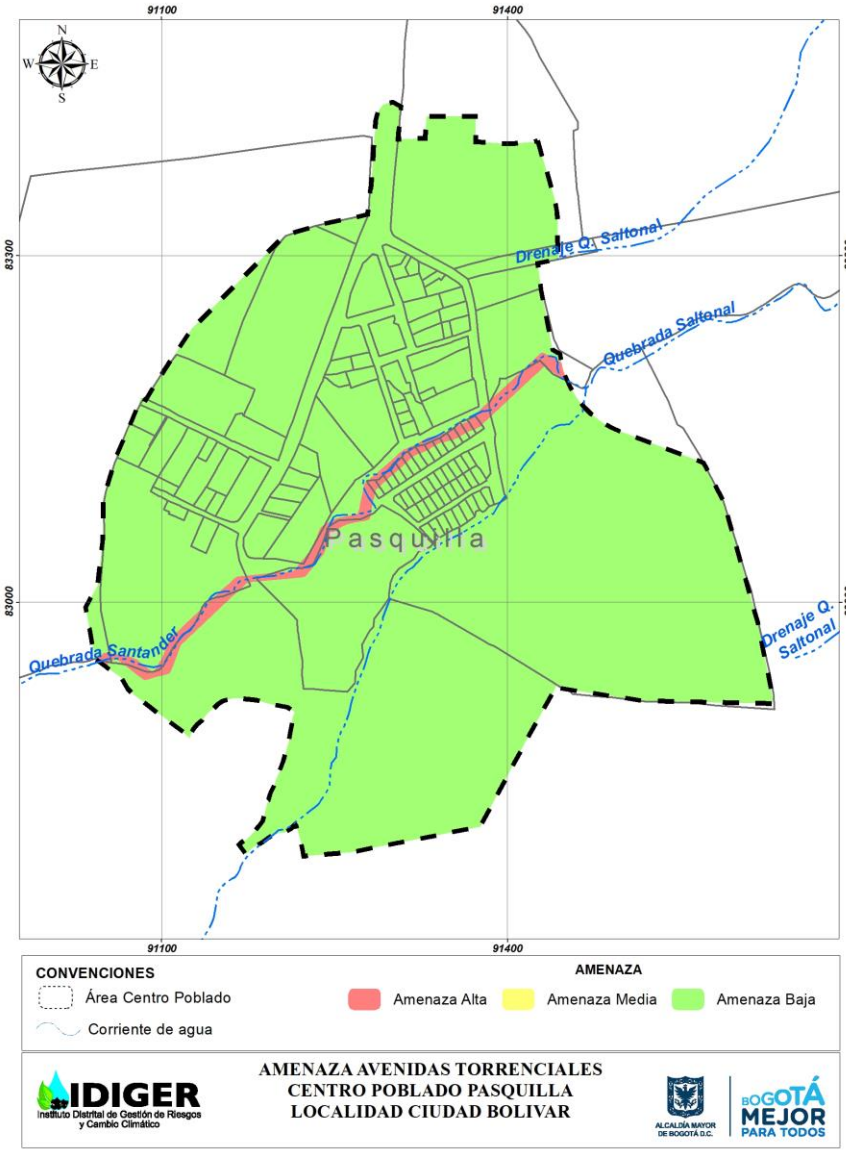


Figura 4-25. Zonificación de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado Pasquilla

Tabla 4.20. Área de amenaza en el centro poblado Pasquilla

Centro poblado Pasquilla	
Amenaza	**Hectáreas (Ha)**
Alta	0,5
Baja	23,2

4.2.10 ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO PASQUILLA

Según el Art. 3 del Decreto 1807 de 2014, *"…las áreas con condición de amenaza son las zonas o áreas del territorio municipal zonificadas como de amenaza alta y media en las que se establezca en la revisión o expedición de un nuevo POT la necesidad de clasificarlas como suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales para permitir su desarrollo."*. Así mismo, el Art. 11 estipula que la delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza, *"con fundamento en la delimitación y zonificación de amenazas, se delimitan y zonifican aquellas áreas sin ocupar del suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales en las que en la revisión o en la expedición de un nuevo POT se proponga su desarrollo."*

Teniendo en cuenta que para el Centro Poblado Pasquilla existen áreas zonificadas como de amenaza alta y media sin ocupar, en las que en la revisión general del POT se propone su desarrollo, las cuales se muestran a continuación (Figura 4-26 y Tabla 4.21).

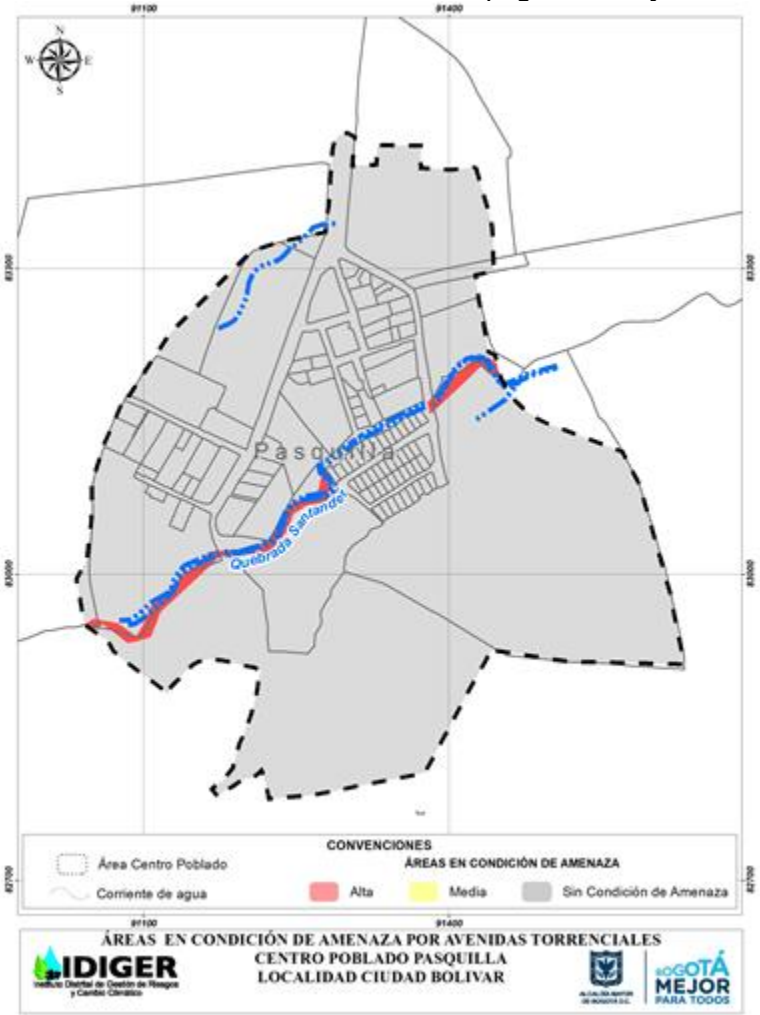


Figura 4-26: Mapa de áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado Pasquilla

Tabla 4.21. Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el centro poblado Pasquilla

Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el centro poblado Pasquilla	
Amenaza	**Hectáreas (Ha)**
Media	0,00006
Alta	0,39

4.2.10.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de amenaza por avenidas torrenciales en Centro Poblado Pasquilla

Dada las características de corto tiempo y alto impacto que la amenaza por avenidas torrenciales representa, en las áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales no se podrán adelantar procesos de construcción, ampliación, urbanización o parcelación y se deberán destinar a los usos permitidos para las áreas de Rondas Hídricas de los Nacimientos, Ríos y Quebradas. No obstante, estas zonas podrán ser recategorizadas mediante estudios detallados a nivel de cuenca, los cuales podrán estar a cargo del gestor y/o promotor y/o urbanizador dentro del trámite de los instrumentos de planeamiento intermedio y de licenciamiento urbanístico.

4.2.11 ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO PASQUILLA

Según el Art. 3 del Decreto 1807 de 2014, las áreas con condición de riesgo *"corresponden a las zonas o áreas del territorio municipal clasificadas como de amenaza alta que estén urbanizadas, ocupadas o edificadas así como en las que se encuentren elementos del sistema vial, equipamientos (salud, educación, otros) e infraestructura de servicios públicos..."*. Indica además en su Art. 12, como se mencionó anteriormente, que para definir estas zonas se deben identificar *"…la existencia de elementos expuestos, de áreas urbanizadas, ocupadas o edificadas así como de aquellas en las que se encuentren edificaciones indispensables y líneas vitales."*

Para delimitar áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado Pasquilla, se tuvo en cuenta las construcciones, equipamientos e infraestructura que se encuentran en amenaza alta por avenidas torrenciales (Figura 4-27 y Tabla 4.22).

Tabla 4.22. Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado Pasquilla

Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado Pasquilla	
Amenaza	**Hectáreas (Ha)**
Alta	0,12

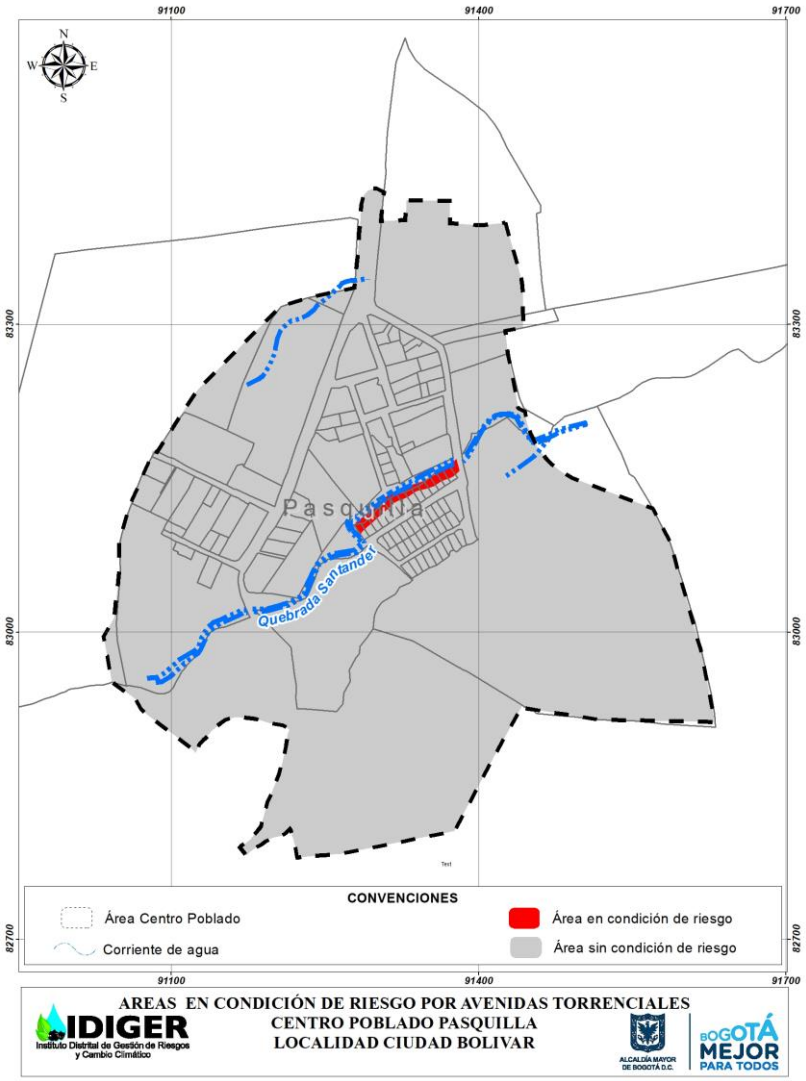


Figura 4-27: Mapa de áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en centro poblado Pasquilla

4.2.11.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de Riesgo por avenidas torrenciales en centro poblado Pasquilla

Dada las características de corto tiempo y alto impacto que la amenaza por avenidas torrenciales representa, en las áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales no se podrán adelantar procesos de construcción, ampliación, urbanización o parcelación y se deberán destinar a los usos permitidos para las áreas de Rondas Hídricas de los Nacimientos, Ríos y Quebradas. No obstante, estas zonas podrán ser recategorizadas

mediante estudios detallados a nivel de cuenca, los cuales podrán estar a cargo del gestor y/o promotor y/o urbanizador dentro del trámite de los instrumentos de planeamiento intermedio y de licenciamiento urbanístico.

4.2.12 ESTUDIOS DETALLADOS DE RIESGO EN ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO PASQUILLA

Para las áreas con condición de amenaza y áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado Pasquilla, en el largo plazo el Instituto Distrital de Gestión de Riesgo y Cambio Climático – IDIGER realizará los estudios detallados de riesgo. No obstante, estos podrán ser elaborados en el corto plazo y mediano plazo y podrán estar a cargo del gestor y/o promotor y/o urbanizador dentro del trámite de los instrumentos de planeamiento intermedio y de licenciamiento urbanístico.

4.3 AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO NUEVA GRANADA

4.3.1 ÁREA DE ESTUDIO

El centro poblado de Nueva Granada se encuentra localizado en la parte sur de la localidad de Sumapaz a 96.5 km de la Iglesia San Pedro de Usme por la Vía Parque Natural del Sumapaz. Abarca un área de 150.855,65 m² en una ladera de pendiente baja, recta, dedicada especialmente a pastos, con algunas construcciones, limitada tanto al norte como al sur por sendas corrientes de agua (véanse Figura 4-28).

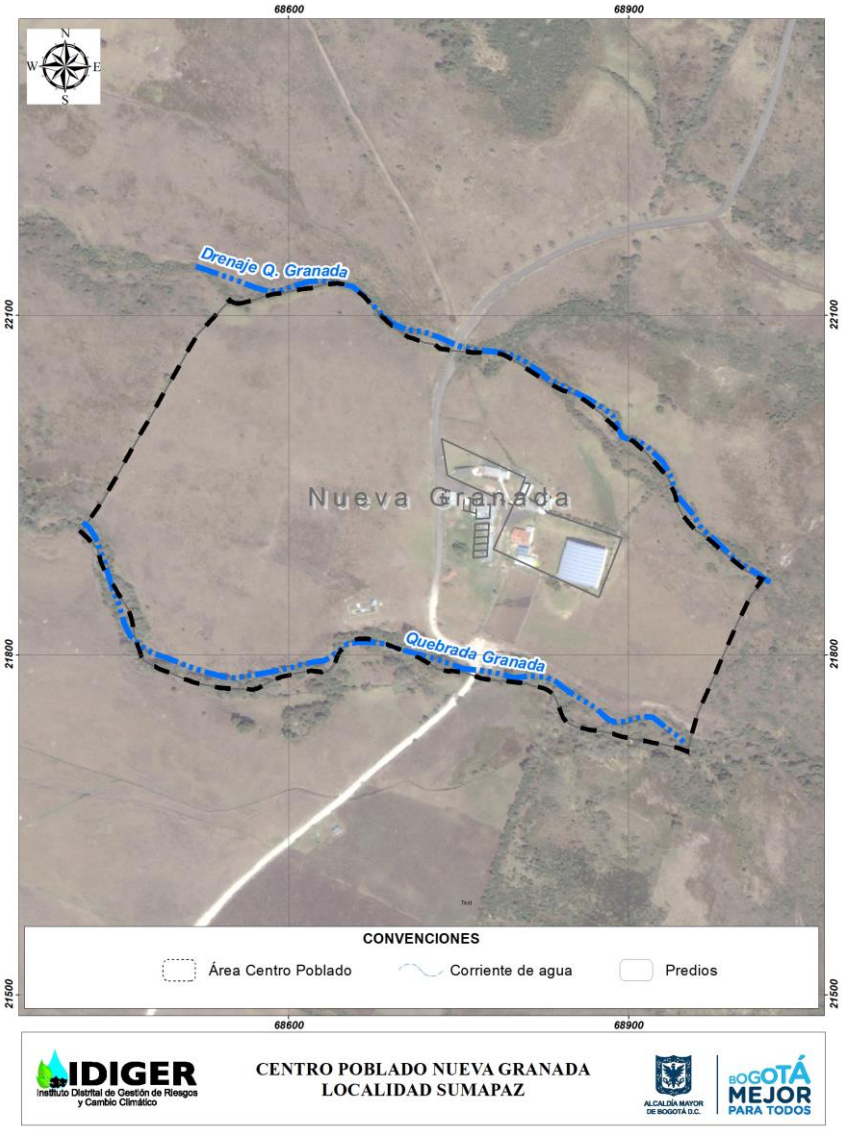


Figura 4-28. Localización del centro poblado Nueva Granada

4.3.2 INSUMOS

A continuación, se describen los insumos básicos que se tomaron como punto de partida para el desarrollo del análisis de amenaza por avenidas torrenciales, de acuerdo con lo dispuesto en el Art. 10 del Decreto 1807, donde se indica que, para los estudios básicos de amenaza por avenidas torrenciales en centros poblados, se deben realizar a escala 1:2.000.

4.3.2.1 CARTOGRAFÍA BASE

Para la cartografía base utilizada tal como lo establece el Decreto 1807 de 2014 (compilado por el Decreto 1077 de 2015), se verificó que contuviera entre otros: coordenadas, curvas de nivel, drenajes, red vial, infraestructura y equipamientos, asentamientos humanos. A partir de lo anterior para la cartografía se tiene lo siguiente:

A SISTEMAS DE COORDENADAS

Sistema de Coordenadas Proyectadas - Cartesianas: Magna Bogotá
Proyección: Transversal de Mercator
Falso Este: 92324,879
Falso Norte: 109320,965
Longitud Meridiano Central: -74,14659167
Latitud de origen: 4,680486111
Factor de escala: 1
Sistema de Coordenadas Geográfica GCS CarMAGBOG
Meridiano de Greenwich
Datum CGS_CARMAGBOG
Elipsoide: GRS80 Mod
Semieje Mayor: 6380687
Semieje Menor: 6359293,764473119
Achatamiento: 298,257222101

B ESCALA

De acuerdo con el Artículo 10 del Decreto 1807 de 2014 (compilado por el Decreto 1077 de 2015) la base cartográfica que se emplea para la presente zonificación corresponde con una escala 1:2.000.

C GEODATABASE SECRETARÍA DISTRITAL DE PLANEACIÓN SDP

La cartografía base fue tomada de la geodatabase con la información geográfica de la Secretaría Distrital de Planeación.

D INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA

Para este centro poblado se partió de la información topográfica existente, donde a partir de fotografías aéreas obtenidas con Dron y los puntos de control que se presentan en la Tabla 4.23 y en la Figura 4-29 y utilizando herramientas de fotogrametría terrestre se reproceso la información para generar la base cartográfica con curvas de nivel de 1m para el centro poblado.

Tabla 4.23. Puntos de Control Nueva Granada

Id	SITIO	PUNTO_X ESTE	PUNTO_Y NORTE
1	Polideportivo	68847,1976198	21901,2779500
2	Jardín infantil	68749,7249249	21956,6288940
0	Alcantarilla	68749,1428404	22075,1095476

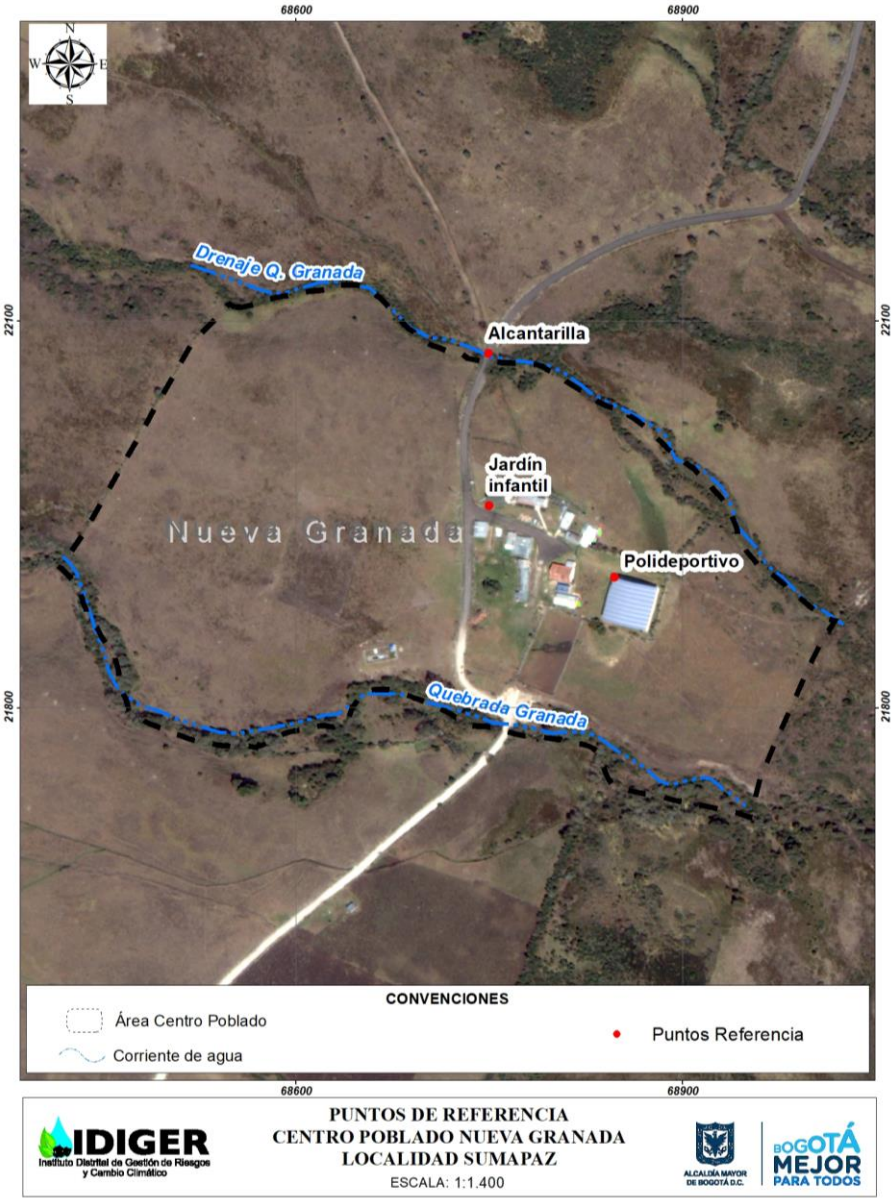


Figura 4-29. Puntos de Control Nueva Granada

4.3.2.2 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN

Se utilizó el Modelo Digital del Elevación – DEM generado de 2 x 2 metros, a partir de la información disponible, para realizar la delimitación las cuencas aferentes y el cálculo de algunos parámetros morfométricos de las mismas, los cuales son de gran utilidad para determinar el comportamiento de las cuencas ante eventos de lluvias máximas.

Para esto se realizó la recolección de modelos digitales de dlevación disponibles para el área de estudio, la cual se resume a continuación:

Tabla 4.24. Modelos Digitales de Elevación

Nombre	Fuente	Año	Resumen
Modelo digital de elevación DEM	IDIGER	2019	1m

El Modelo Digital de Elevación que se usó para la obtención de la amenaza del centro poblado de Nueva Granada proviene de la información contenida en la UPR de Sumapaz (SDP) (Figura 4-30).

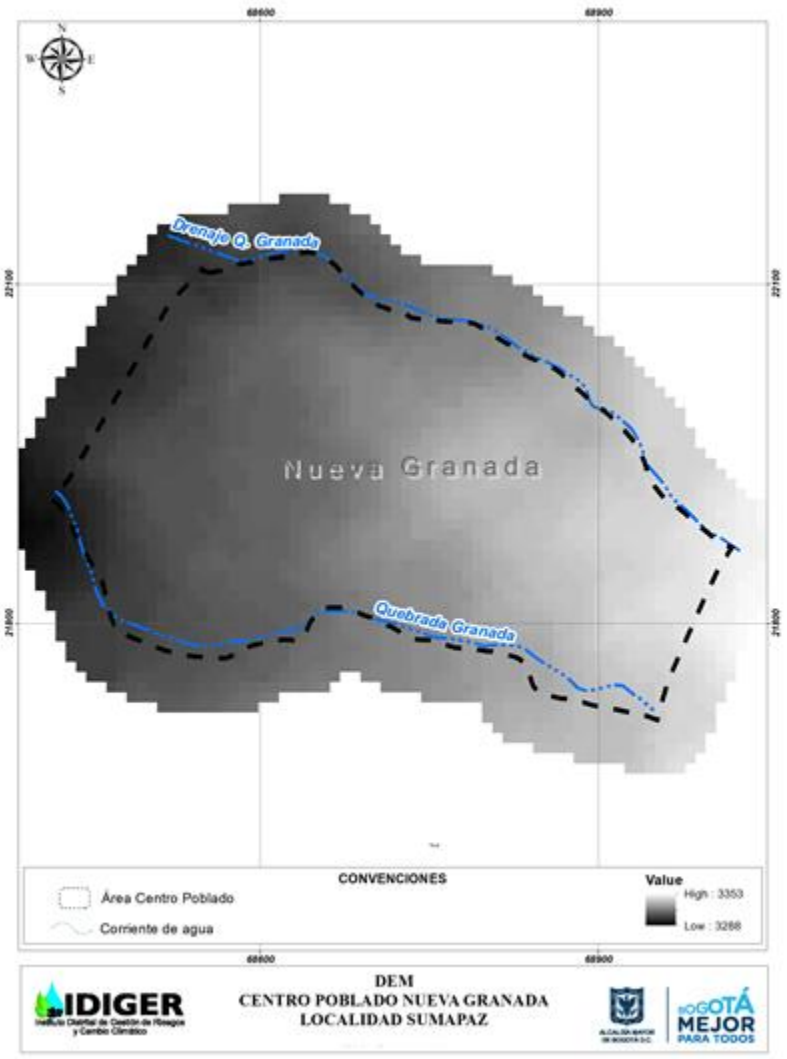


Figura 4-30. Modelo Digital del Elevación del centro poblado Nueva Granada

4.3.2.3 GEOMORFOLOGÍA

El estudio geomorfológico permite identificar cuales de las unidades correspondientes al Centro Poblado Nueva Granada son susceptibles a la generación de los procesos de avenidas torrenciales los cuales contribuyen a la delimitación de las zonas de estudio y su correspondiente delimitación de amenaza final. La geomorfología es presentada en detalle dentro del análisis geomorfológico.

4.3.3 METODOLOGÍA

Con el fin de construir el esquema metodológico usado en la generación del mapa de amenaza por avenidas torrenciales, se partió de una revisión de las metodologías de evaluación de amenaza enfocado en la armonización tanto en alcance, nivel de información disponible y calidad de los resultados para definir los procedimientos y actividades a ejecutar para lograr un producto cartográfico ajustado a los requerimientos técnicos exigidos en la normatividad vigente (Decreto 1807 de 2014).

4.3.3.1 ESQUEMA METODOLÓGICO

El esquema metodológico se divide en tres análisis principales: (Ver Figura **4-31**)

1. Análisis Geomorfológico
2. Análisis Hidrológico
3. Análisis de Sedimentos
4. Análisis Hidráulico

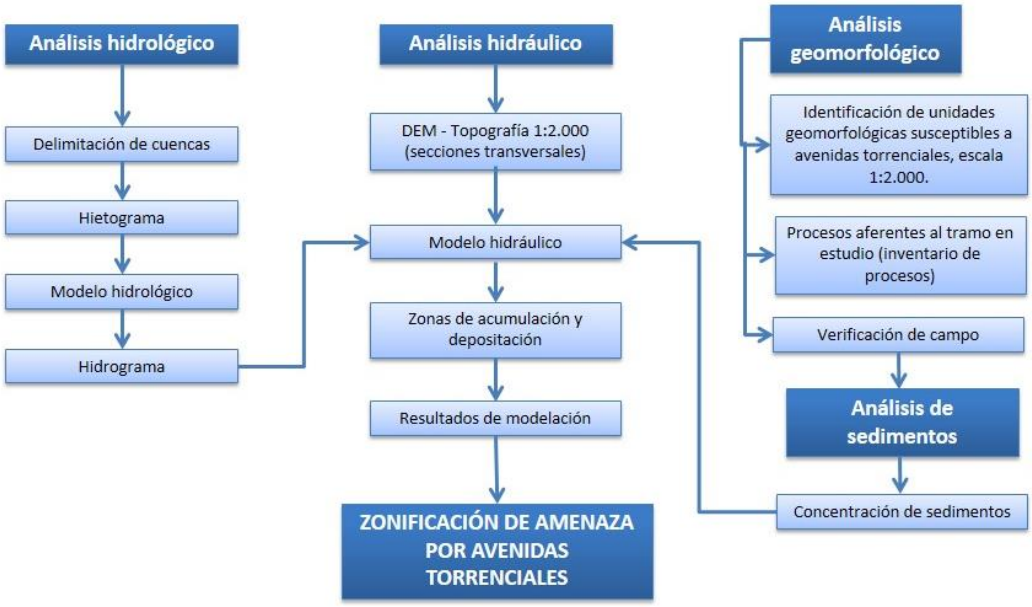


Figura 4-31. Esquema metodológico

El análisis hidrológico inicia con la delimitación de las cuencas aferentes al tramo de río o quebrada que se analiza a partir del modelo de elevación digital de la cuenca, posteriormente se estima el hietograma de precipitación bajo un escenario de periodo de retorno determinado el cual es el insumo de entrada para el modelo hidrológico que proporciona los hidrogramas de entrada del modelo hidráulico.

El análisis geomorfológico consiste en la revisión e identificación de la geomorfolgía a escala 1:2000 de las unidades de potencial acumulación de flujo.

El análisis de sedimentos parte del mapa de procesos geomorfológicos identificados que se encuentran cerca del tramo de rio o quebrada que se analiza, la concentración de sedimentos se determina de acuerdo con la literatura especializada identificada durante la revisión del estado del arte asignando un valor promedio a cada tipo de proceso.

El análisis hidráulico toma como entrada el hidrograma resultado del análisis hidrológico y la concentración de sedimentos del análisis de sedimentos, con estas variables de entrada transita el hidrograma en el modelo de elevación digital del terreno del tramo de rio o quebrada que se analiza, obteniendo como resultado las velocidades y profundidades máximas alcanzadas en cada una de las celdas del modelo de elevación digital del tramo en estudio, estos valores de velocidad y profundidad se categorizan de acuerdo a la condición de amenaza que representan.

4.3.4 ANÁLISIS HIDROLÓGICO

El análisis hidrológico comprende dos etapas, la primera es la delimitación de las cuencas hidrográficas en el área de estudio y la segunda, el modelo lluvia escorrentía que permite la estimación de hidrogramas que serán la entrada del modelo hidráulico. A continuación, se presenta los pasos seguidos en las dos etapas y sus respectivos resultados.

Para obtener la delimitación de cuencas se parte del Modelo de Elevación Digital (DEM) de la zona de estudio, en este caso se cuenta con un DEM proyectado en coordenadas geográficas. Este DEM requiere ser proyectado en coordenadas planas con el fin de tener la geometría plana adecuada para el cálculo de áreas y distancias de las cuencas generadas.

El DEM proyectado cubre un área de mayor extensión que el área de estudio, con el fin de delimitar solamente las cuencas que drenan a esta área. Este buffer se obtuvo mediante pruebas de sensibilidad con diferentes distancias, con el objetivo de cubrir el área que hidrológicamente tiene algún aporte a las cuencas que se encuentran dentro del perímetro del distrito y que garantiza que éstas drenen completamente en el modelo hidráulico.

Por otra parte, el DEM contiene errores inherentes a este tipo de producto; por tanto, se debe corregir con la cartografía adecuada para que el resultado de la delimitación de cuencas se aproxime a la red de drenaje real. Para lograr este objetivo se cuenta con la cartografía del sistema hídrico en coordenadas geográficas, al igual que se realizó con el DEM, se efectuó la proyección del sistema hídrico y se extrae la red hídrica l.

Dado que la corrección del DEM se puede realizar con el shape tipo polígono o tipo línea, se ha optado por convertir los polígonos a líneas y de esta forma modificar solo las riberas de los ríos que en la cartografía son representados mediante polígonos, el resultado de la conversión del sistema hídrico de polígonos a línea.

4.3.4.1 Cuencas Hidrográficas

Teniendo como entrada el DEM y el sistema hídrico ajustados previamente, se construye en ArcGIS el flujo de trabajo de herramientas a utilizar, con el fin de delimitar las cuencas hidrográficas del área de estudio. En este flujo de trabajo se desarrollan los siguientes 11 pasos.

1. Para poder generar la red de drenaje a partir del DEM es necesario profundizar el DEM en aquellas zonas donde se encuentran ubicados los ríos de acuerdo a la cartografía. En este paso, se realizó la profundización en las zonas donde se encuentran los ríos dibujados como tipo línea.

2. Este paso es similar al anterior, sin embargo, la profundización se realizó en las zonas donde se encuentran los ríos dibujados como tipo polígono, pero solo en las riberas convertidas en líneas.

3. El DEM debe ser hidrológicamente apropiado, es decir, que todas las celdas del DEM drenen a un punto de salida. Para poder generar un DEM hidrológicamente apropiado se deben rellenar los pozos o celdas que no permiten que se genere adecuadamente la red de drenaje.

4. Teniendo en cuenta la pendiente más favorable para el flujo, se genera un valor de dirección de flujo para cada celda del DEM.

5. Teniendo en cuenta la dirección de flujo de cada celda es posible calcular el número de celdas que drenan a determinada zona, con estos valores se genera el ráster de acumulación de flujo.

6. Un parámetro importante en la definición de corrientes es el número de celdas que generan el inicio de un cauce, para este análisis hidrológico se tomó el equivalente a 0.5 km^2 como el valor en el cual se genera una corriente. Este valor se obtuvo mediante pruebas de sensibilidad buscando el tamaño adecuado de cuencas que se ajustaba a la escala de trabajo.

7. Considerando el ráster de acumulación de flujo y el número de celdas que generan el inicio de un cauce, se obtuvieron las corrientes hídricas. Posteriormente, se dividen las corrientes teniendo en cuenta que los tramos de las mismas no tengan confluencias con otras corrientes.

8. De acuerdo con los tramos de cauces obtenidos en el paso anterior, se genera la delimitación automática de cuencas.

9. El ráster generado en el paso anterior se debe trasformar en formato shape para cálculos posteriores.

10. La segmentación de corrientes obtenida en el paso 6, se debe transformar en formato shape para cálculos posteriores.

11. Las cuencas hidrográficas con área aferente acumulada es el resultado final en la delimitación de cuencas del área de estudio.

Para realizar el análisis sólo en las cuencas que se encuentran en el área de estudio y dado que el procedimiento anterior no tiene en cuenta los efectos de la urbanización en la red de drenaje, se deben estimar o corregir las cuencas obtenidas de acuerdo a esta consideración. Para ello se determinan los puntos de cierre de cuencas que dependen del orden de drenaje dentro de la cuenca.
Para la generación de cuencas y delimitar el área de estudio se desarrollan los siguientes 4 pasos.

1. En el primer paso se vinculan los puntos de cierre de cuencas con el ráster de acumulación de flujo generado anteriormente.
2. De acuerdo con el ráster de acumulación de flujo se recortan las cuencas tipo Ráster.
3. Las cuencas del paso anterior se convierten en polígonos
4. El último paso une las cuencas aferentes que puedan quedar separadas al convertir el ráster de cuencas a polígono

El resultado del procedimiento anterior es la generación de cuencas que cubren el área de estudio.

.

Teniendo como entrada el modelo de elevación digital proyectado, se construye en ArcGIS el flujo de trabajo de herramientas a utilizar con el fin de generar las subcuencas hidrográficas del área de estudio. En este flujo de trabajo se desarrollan los mismos 11 pasos que fueron descritos anteriormente.

1. Corrección DEM mediante red de drenaje tipo línea.
2. Corrección DEM mediante red de drenaje tipo polígono.
3. Modelo de Elevación Digital Hidrológicamente Corregido.
4. Dirección de Flujo.
5. Acumulación de Flujo.
6. Red de Drenaje Generada Tipo Ráster.
7. Red de Drenaje Generada Tipo Ráster Vinculada.
8. Cuencas hidrográficas Tipo Ráster.
9. Cuencas hidrográficas Tipo Polígono.
10. Red de Drenaje Generada Tipo Línea.
11. Cuencas hidrográficas Acumuladas Tipo Polígono.

Cabe aclarar que uno de los parámetros importantes para la definición de las subcuencas es el número de celdas que generan el inicio de un cauce, para este análisis hidrológico se tomó el equivalente a 0.5 km^2 como el valor en el cual se genera una corriente, el resultado del este procedimiento fue la generación de las subcuencas que cubren el área del perímetro del centro poblado (Figura 4-32).

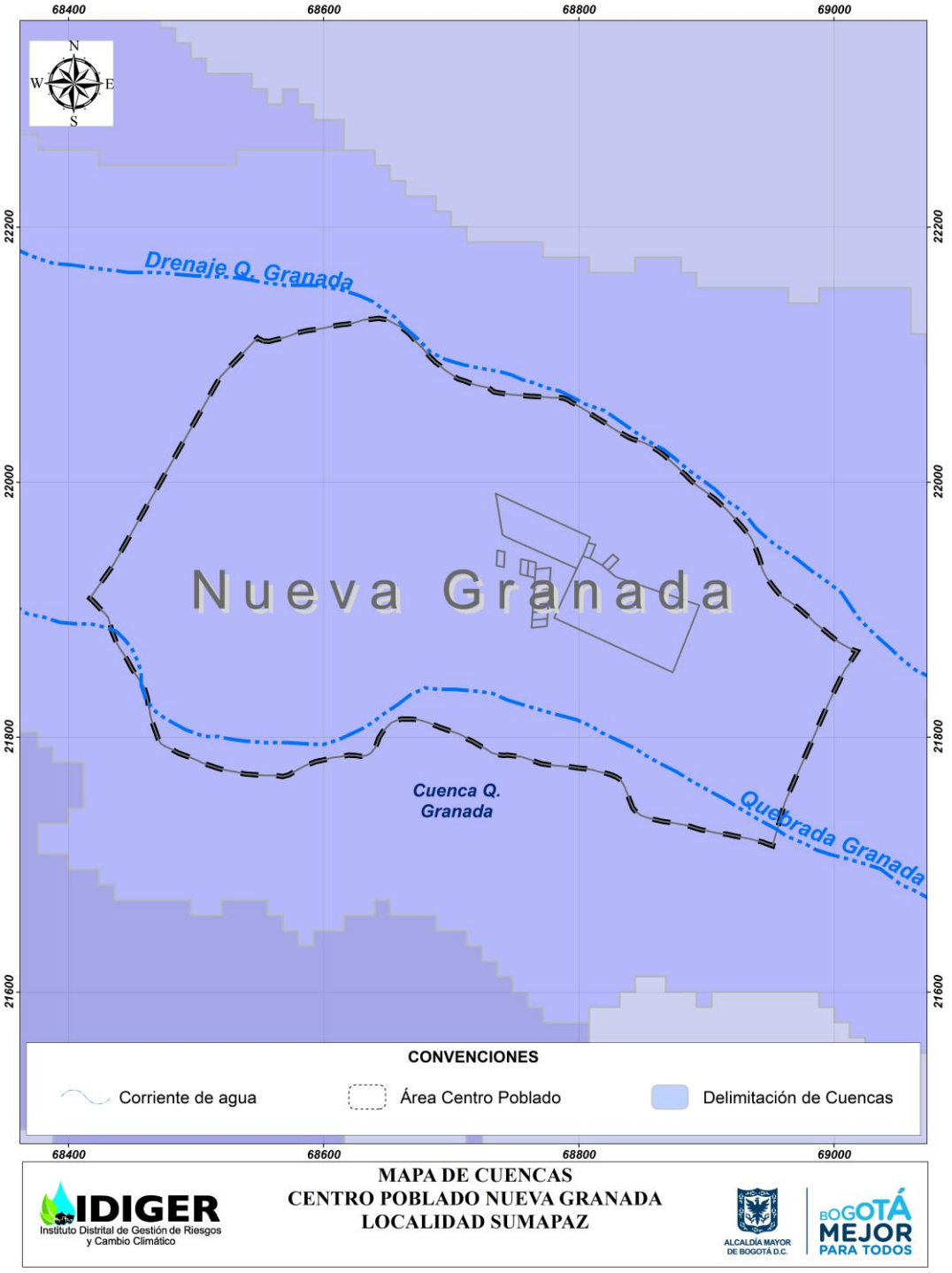


Figura 4-32. Cuencas analizadas en el centro poblado Nueva Granada.

4.3.4.2 Morfometría

Para el análisis de susceptibilidad de una cuenca a un evento torrencial, se llevó a cabo la evaluación de varios parámetros morfométricos, teniendo cuenta que estos parámetros son indicadores de las características de la cuenca relacionadas con el pico de las crecientes y su producción de sedimentos.

A continuación, se describe los parámetros morfométricos calculados y analizados

A Pendiente

Tiene una influencia significativa en la generación de avenidas torrenciales (Smith, 2003). Esta característica controla en buena parte la velocidad con que se da la escorrentía superficial y afecta, por tanto, el tiempo que requiere el agua lluvia para concentrarse en los lechos fluviales que constituyen la red de drenaje de las cuencas.

B Orden de corriente

En orden de corrientes depende del número de afluente que contenga el cauce principal, por lo tanto, los de primer orden son todos aquellos que no tengan afluentes. Cuando se unen dos cauces de primer orden forman un cauce de segundo orden y así sucesivamente.

C Longitud de Flujo

La Longitud de flujo está definida como la distancia horizontal, medida a lo largo del cauce principal, entre el punto de salida de la cuenca y el límite definido para la cuenca.

4.3.4.3 Modelo Lluvia – Escorrentia

La segunda etapa del análisis hidrológico consiste en el cálculo de los hidrogramas a partir del modelo lluvia – escorrentía, este hidrograma servirá de entrada al modelo hidráulico. Para obtener los eventos de precipitación se utilizó la caracterización de tormentas y actualización de curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia IDF desarrolladas por la EAB, para este fin las cuencas se subdividieron en dos grupos, el primero aquellas cuencas cuyo centroide se encontrara a por lo menos una distancia inferior a diez kilómetros de alguna de las estaciones utilizadas en dicho estudio y un segundo grupo en el cual el centroide de las cuencas se encontrara a una distancia superior a diez kilómetros de alguna de las estaciones utilizadas en el estudio de la EAB (

Para el primer grupo de estaciones se utilizó la curva IDF de la estación más cercana al centroide de la cuenca obtenidos mediante el estudio de la EAB. Para el segundo grupo de estaciones se calculó las curvas sintéticas IDF asociadas al centroide de la cuenca, siguiendo el método de Vargas (1998), el cual se encuentra específicamente formulado para Colombia y cuya ecuación se enuncia a continuación:

$$I = a\frac{{T_r}^b}{t^c}M^d N^e PT^f ELEV^g$$

Siendo:
I: Intensidad (mm/h).
T_r: Período de retorno (años).
t : Duración de la precipitación, (horas).
M: Promedio del valor máximo anual de precipitación diaria (mm).
N: Promedio de número de días anuales con precipitación.
PT: Promedio de precipitación media anual (mm).
ELEV: Elevación de la estación meteorológica de medición (msnm).
a, b, c, d, e, f, y g: Son coeficientes propios de la ecuación que varían según la ubicación regional de la estación y de la cantidad de variables disponibles. Para el caso se utilizaron los recomendados por el autor del método.

En la siguiente tabla se presentan los valores correspondientes a cada parámetro calibrado para la región Andina de acuerdo con Vargas (1998).

Tabla.25. Parámetros del método de Vargas para la región Andina

a	b	c	d	e	f	g
1,64	0,19	0,65	0,73	-0,13	0,08	-0,01

Las abstracciones de la precipitación fueron calculadas a partir del método de abstracciones del Soil Conservation Service SCS o Método del Número de curva. Para esto se tuvo en cuenta la cartografía disponible suministrada por SDP en cuanto a coberturas de suelo siguiendo la metodología CORINE Land Cover además de la clasificación del grupo hidrológico del suelo, de acuerdo con el mapa geológico de la zona de estudio, definidos por tipo según su capacidad de infiltración.

Con el evento de precipitación obtenido a partir de las curvas IDF utilizando el método de bloque alterno y las abstracciones calculadas con el método de número de curva se obtienen los hidrogramas que servirán de entrada al modelo hidráulico. El Caudal Pico de estos hidrogramas según las cuencas asociadas al área de estudio se presenta en la Figura 4-33.

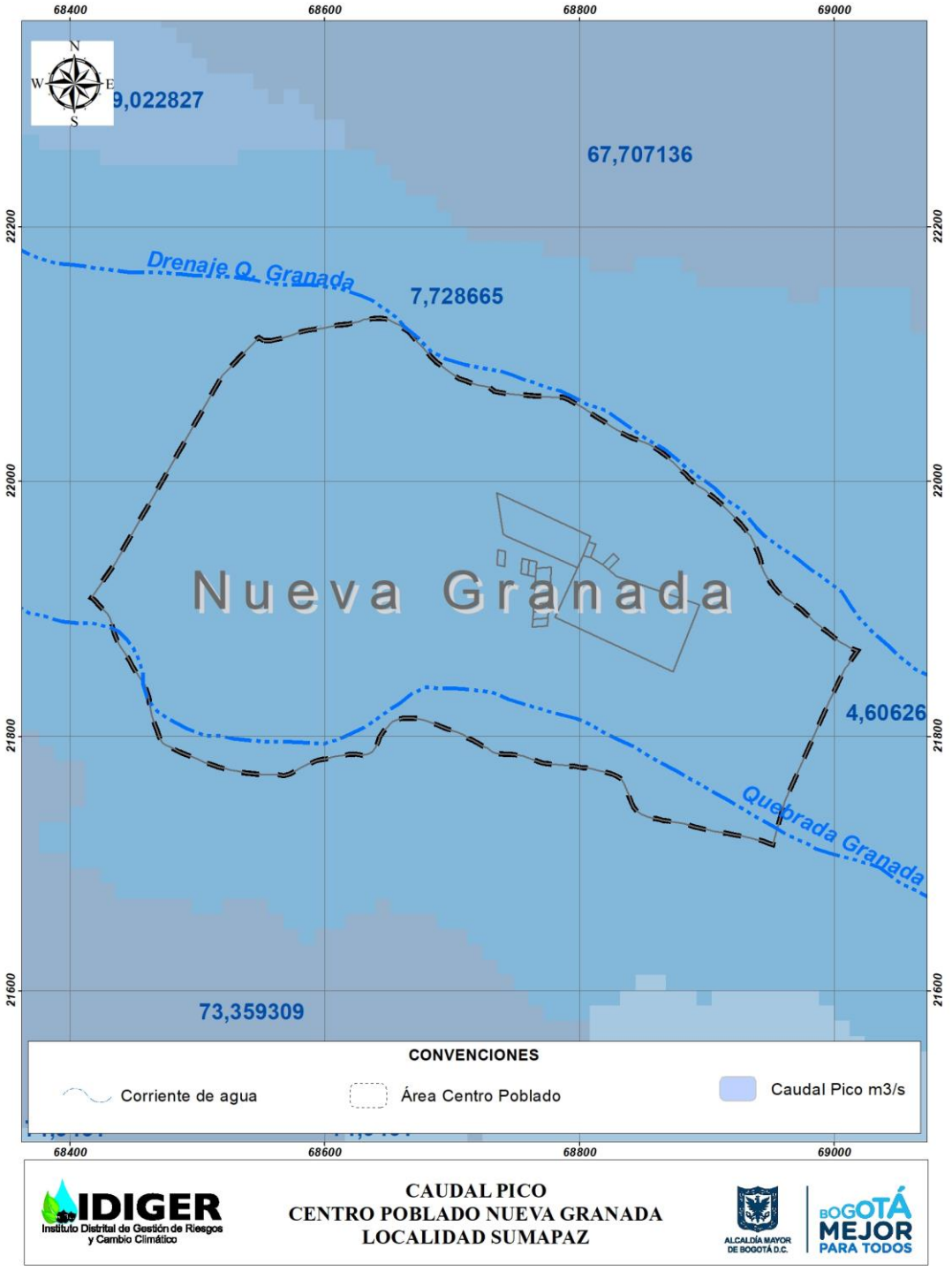

68400
68600
68800
69000
22200
22000
21800
21600
N
S
W
E
9,022827
67,707136
Drenaje Q. Granada
7,728665
Nueva Granada
4,60626
Quebrada Granada
73,359309
CONVENCIONES
Corriente de agua
Área Centro Poblado
Caudal Pico m3/s
IDIGER
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático
CAUDAL PICO
CENTRO POBLADO NUEVA GRANADA
LOCALIDAD SUMAPAZ
ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS

Figura 4-33. Caudales Pico Según Cuencas analizadas en el centro poblado Nueva Granada.

4.3.5 ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

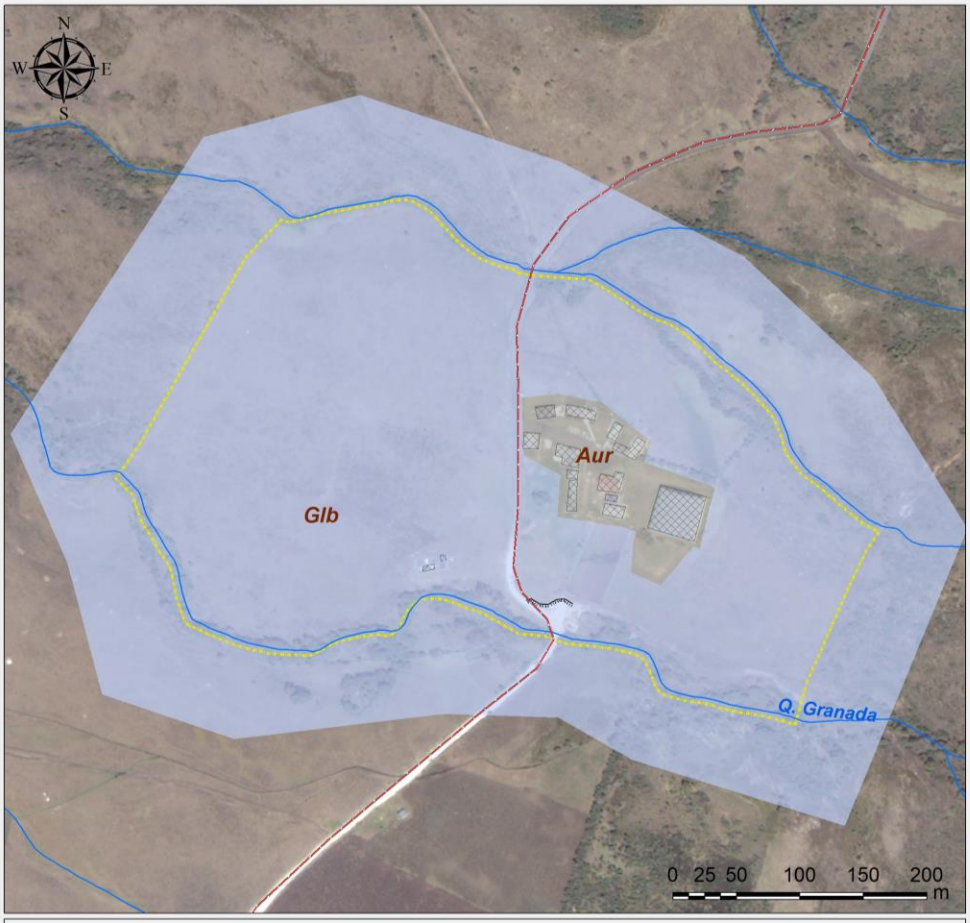
Dentro del centro poblado, las unidades geomorfológicas que se presentan se muestran en la Figura 4-34, el detalle del proceso de contruccción del levantamiento geomorfológico se presenta en el Documento Técnico de Sopórte del Mapa de Amenaza Por Movimientos En Masa En Perspectiva De Cambio Climático Zona Rural.

Geomorfológicamente, el centro poblado de Nueva Granada está localizado en una ladera recta de baja pendiente, larga a muy larga, de origen glaciar y periglacial, cuya unidad es una cuesta estructural glaciada en conos y lóbulos de gelifracción de flujos torrenciales. Los perímetros norte y sur del centro poblado están limitados por dos cauces que han disectado ligeramente esta ladera.

En la Fotografía 4.9 una panorámica de la cuesta estructural glaciada en que se ubica este centro poblado.

Fotografía 4.9. Panorámica de la cuesta estructural glaciada en donde se ubica Nueva Granada

De acuerdo con la geomorfologia a escala 1:2000 y partir de las unidades presentes se realizó en función de la morfogenésis y la morfodinámica, la identificación de la susceptibilidad a avenidas torrenciales, mediante un análisis basado en las morfoestructuras de región, unidad, subunidad y componente, con el fin de realizar la identificación de unidades de origen fluviotorrencial presentes en el área de estudio y determinar zonas susceptibles a la depositación y acumulacion de flujo o generación de sedimentos, previo a la validación mediante el modelo hidráulico, encontrando la siguiente categorización (Tabla 4.26):



LEYENDA

Escarpe Erosivo Menor

REGIÓN	UNIDAD	SUBUNIDAD	COMPONENTE	SÍMBOLO
ANTROPOGÉNICO			Área Urbanizada	Aur
GLACIAL Y PERIGLACIAL	Cuesta Estructural Glaciada	Conos y lóbulos de gelifracción	Flujos Torrenciales	Glb

CONVENCIONES

Construcciones | Límite Centro Poblado | Drenajes | Malla Vial

IDIGER
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático

FIGURA GEOMORFOLOGÍA Y PROCESOS MORFODINÁMICOS CENTRO POBLADO NUEVA GRANADA

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS

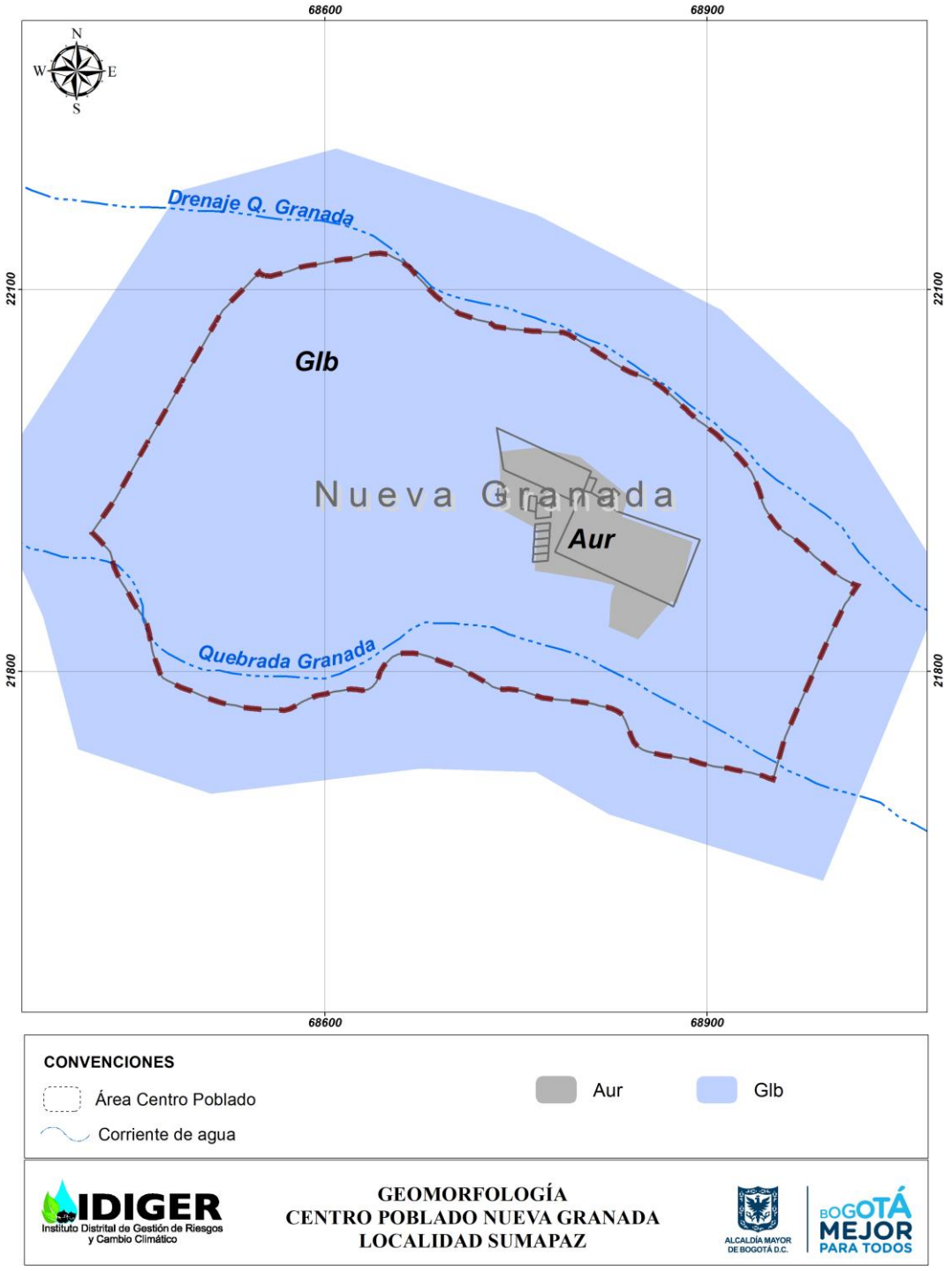


Figura 4-34. Mapa geomorfológico de Nueva Granada

Tabla 4.26. Susceptibilidad Geomorfológica de las Unidades

REGIÓN	UNIDAD	SUBUNIDAD	COMPONENTE	SÍMBOLO	SUSCEPTIBILIDAD	OBSERVACIONES
ANTROPOGÉNICO			Area Urbanizada	**Aur**	Baja	
GLACIAL Y PERIGLACIAL	Cuesta Estructural Glaciada	Conos y lóbulosde gelifracción	Flujos Torrenciales	**Glb**	Baja	Torrencialidad asociada al origén

4.3.5.1 INVENTARIO DE PROCESOS MORFODINÁMICOS

Para poder ajustar a la escala de trabajo el análisis de sedimentos, se verificaron los procesos morfodinámicos. En los alrededores del centro poblado de Nueva Granada no se observaron procesos actuales que puedan afectar la estabilidad de esta ladera. En la parte sur, donde la carretera principal se cruza con la quebrada Granada, se aprecia un talud de corte de la vía pudiéndose determinar que en general este material fluvioglaciario tiende a ser estable y que si se perdiera la cobertura vegetal se podrían presentar procesos erosivos por lavado de los finos.

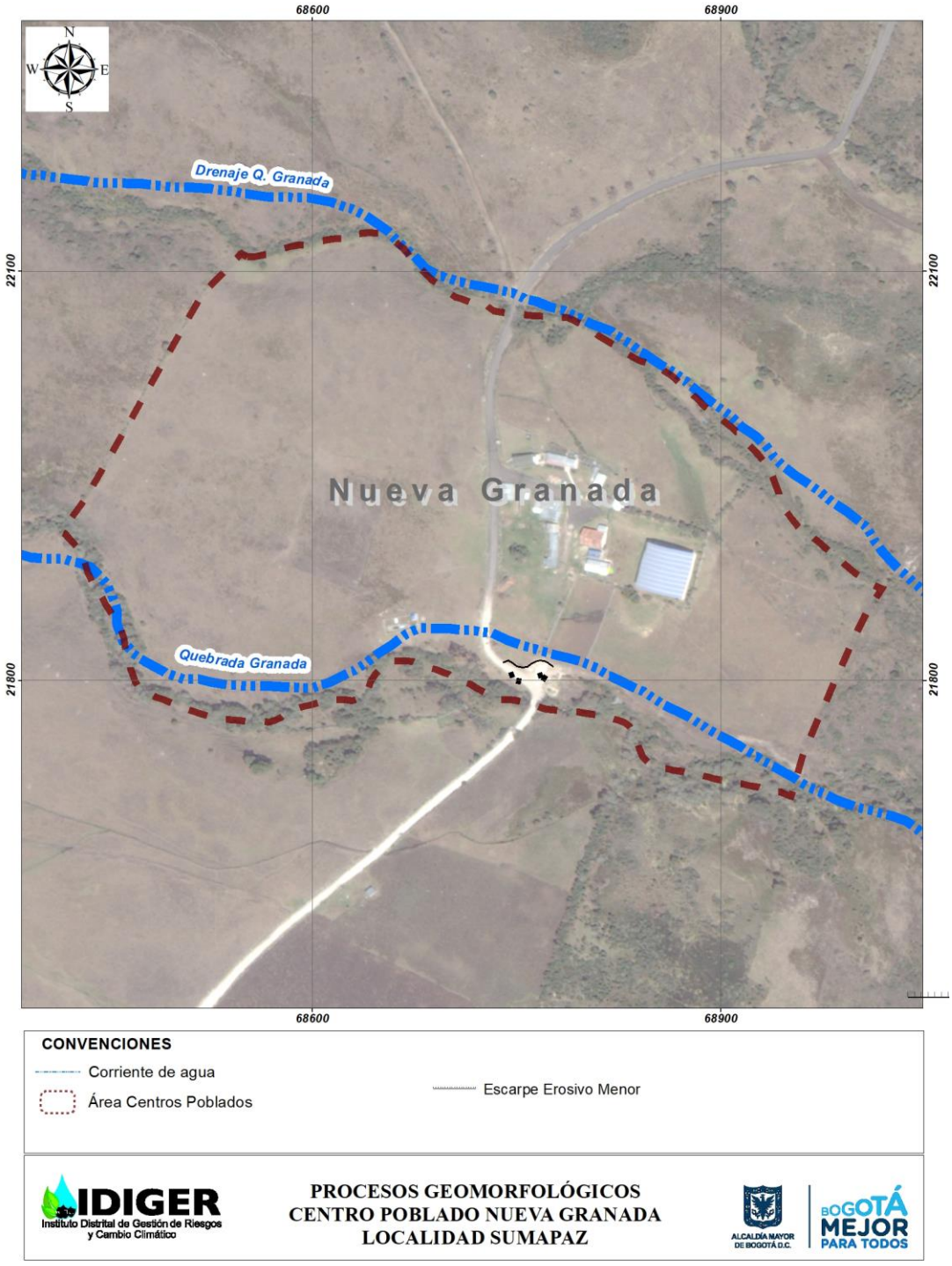


Figura 4-35. Mapa de procesos morfodinámicos construido para Nueva Granada.

4.3.5.2 VERIFICACIÓN EN CAMPO

Se realizó por parte de la Entidad, una visita técnica al centro poblado en estudio, en la cual, se realizó vuelo con Dron para realizar los ajustes pertinentes a los modelos Digitales de Elevación del Terreno, y así, poder verificar las zonificaciones por Avenidas Torrenciales a la escala especificada.

En la Fotografía 4-10 se preseta la vista en planta de las edificaciones que se encuentran en el centro poblado Nueva Granada, vía de acceso y su principal cuerpo de agua la quebrada Granada.

Fotografía 4-10. Vista en planta del centro poblado Nueva Granda.

En la Fotografía 4-11 se observan las edificaciones que se encuentran en el centro poblado Nueva Granada, vía de acceso y su principal cuerpo de agua la quebrada Granada. Se puede observar el diferencial de nivel entre el centro poblado y las quebradas que lo rodean.

Fotografía 4-11. Centro poblado Nueva Granada.

4.3.6 ANÁLISIS DE SEDIMENTOS

Dado que el aporte de sedimentos de algunos procesos de movimientos en masa aferentes a los cuerpos hídricos puede contribuir a la carga de sedimentos elevando los volúmenes transportados por la corriente es importante definir los procesos que pueden generar aporte de sedimentos a la creciente súbita, para esto se utiliza como insumo el inventario de procesos definido con anterioridad para la escala de trabajo. Se caracterizó cada proceso definiendo a partir de la información disponible la formación, depósito o tipo de suelo, su granulometría y su incidencia en el aporte de sedimentos conforme su ubicación frente al cuerpo de agua, trabajando como zonas de aporte directas, las aferentes en una faja paralela (buffer) de 100 m a lado y lado del cuerpo de agua. Esta distancia tenía como objeto incluir la mayor cantidad de procesos, teniendo en cuenta que la mayoría de las quebradas no tienen definida su zona de ronda propiamente dicha, sino que se toma la generalidad reglamentada de los 30 m.

Según la caracterización y definición del proceso se pudo obtener el tipo de material aportante al cauce, y por tanto establecer el parámetro de concentración de acuerdo al tipo de flujo a presentarse según criterio de experto teniendo en cuenta lo presentado en la Tabla 4.27 y Tabla 4.28.

Por otra parte, en la Tabla 4.29 se presentan los parámetros reológicos utilizados en las modelaciones, donde se establecen las relaciones disponibles del esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimento de acuerdo con el estado del arte de la zonificación de amenazas por avenidas torrenciales. Para la elección del tipo de relación a utilizar se trató de validar los resultados obtenidos utilizando diferentes reologías

con el registro histórico presentado en el estudio detallado de la quebrada Limas "Actualización de la Zonificación de Amenaza de Inundación y Avenidas Torrenciales de la Quebrada Limas. Localidad Ciudad Bolívar" Rogelis (2008). Como resultado de esta validación se concluyó que el mejor ajuste se obtenida al seleccionar la reología de Kang & Zhang (1980), y por tanto se toman para el modelo estos parámetros de esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos.

Tabla 4.27. Comportamiento del flujo de sedimentos como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014)

	Concentración de Sedimento		Características del flujo
	En Volumen	En Peso	
Deslizamiento	0.65 - 0.80	0.83 - 0.91	No fluye; falla por deslizamiento.
	0.55 - 0.65	0.76 - 0.83	Falla por deslizamiento con deformación interna, creep lento anterior a la falla.
Flujo de lodos	0.48 - 0.55	0.72 - 0.76	Flujo evidente, creep lento; deformación plástica bajo el peso propio del material; cohesivo, no se extiende en superficie nivelada.
	0.45 - 0.48	0.69 - 0.72	El flujo se extiende sobre superficie nivelada; flujo cohesivo; algo de mezcla.
Creciente de lodos	0.40 - 0.45	0.65 - 0.69	El flujo se mezcla fácilmente; muestra propiedades de fluido en deformación; se extiende en una superficie horizontal pero mantiene una superficie del fluido inclinada; contiene partículas de tamaño considerable; aparecen ondas pero se disipan rápidamente.
	0.35 - 0.40	0.59 - 0.65	Marcado asentamiento de gravas; se extiende casi completamente en una superficie horizontal; superficie líquida con dos fases del fluido; hay ondas que viajan en la superficie.
	0.30 - 0.35	0.54 - 0.59	Las ondas viajan fácilmente; la mayoría de la arena y grava se mueven como carga de lecho.
	0.20 - 0.30	0.41 - 0.54	Presencia de ondas; superficie fluida; todas las partículas se encuentra en el lecho.
Agua	< 0.20	< 0.41	Creciente de agua con carga en suspensión y de lecho.

Tabla 4.28. Parámetros de concentración de sedimentos en función de los procesos identificados en el búfer de 100m

PROCESOS IDENTIFICADOS	UBICACIÓN EN ZONA DE APORTE DIRECTO	CONCENCENTRACIÓN DE SEDIMIENTOS	
		EN VOLUMEN	EN PESO
Caidad de Rocas	Si	0.8-	0.91
Errosión en surcos	Si	0.4	0.65
Reptación	No	< 0.20	< 0.41
Flujos de Tierras	No	< 0.20	< 0.41
Deslizamiento	No	< 0.20	< 0.41

Tabla 4.29. Esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014)

Yield Stress and Viscosity as a Function of Sediment Concentration				
Source	$\tau_y = \alpha e^{\beta Cv}$		$\eta = \alpha e^{\beta Cv}$	
	α	β	α	β
Field Data				
Aspen Pit 1	0.181	25.7	0.0360	22.1
Aspen Pit 2	2.72	10.4	0.0538	14.5
Aspen Natural Soil	0.152	18.7	0.00136	28.4
Aspen Mine Fill	0.0473	21.1	0.128	12.0
Aspen Watershed	0.0383	19.6	0.000495	27.1
Aspen Mine Source Area	0.291	14.3	0.000201	33.1
Glenwood 1	0.0345	20.1	0.00283	23.0
Glenwood 2	0.0765	16.9	0.0648	6.20
Glenwood 3	0.000707	29.8	0.00632	19.9
Glenwood 4	0.00172	29.5	0.000602	33.1
Relationships Available from the Literature				
Iida (1938)	-	-	0.0000373	36.6
Dai et al. (1980)	2.60	17.48	0.00750	14.39
Kang and Zhang (1980)	1.75	7.82	0.0405	8.29
Qian et al. (1980)	0.00136	21.2	-	-
	0.050	15.48	-	-
Chien and Ma (1958)	0.0588	19.1-32.7	-	-
Fei (1981)	0.166	25.6	-	-
	0.00470	22.2	-	-

4.3.7 ANÁLISIS HIDRAÚLICO

- *MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN*

Para generar el modelo hidráulico bidimensional, es necesario contar con un modelo de elevación digital del terreno con un nivel muy alto de detalle, sobre el cual se hace una corrrección de drenaje.

Teniendo como entrada el DEM se construye en ArcGIS el flujo de trabajo de herramientas a utilizar con el fin de generar el DEM para ingresar el modelo hidráulico. En este flujo de trabajo se desarrollan los siguientes 3 pasos.

1. Buffer de 100 m de la corriente a modelar.
2. Modelo de Elevación Digital Tamaño a partir del modelo de elevación digital de 12 m con corrección red de drenaje extraído con buffer de 100 m corriente a modelar.
3. Modelo de Elevación Digital Tamaño corregido.

El anterior procedimiento se realizó para las cuencas que hacen parte del centro poblado.

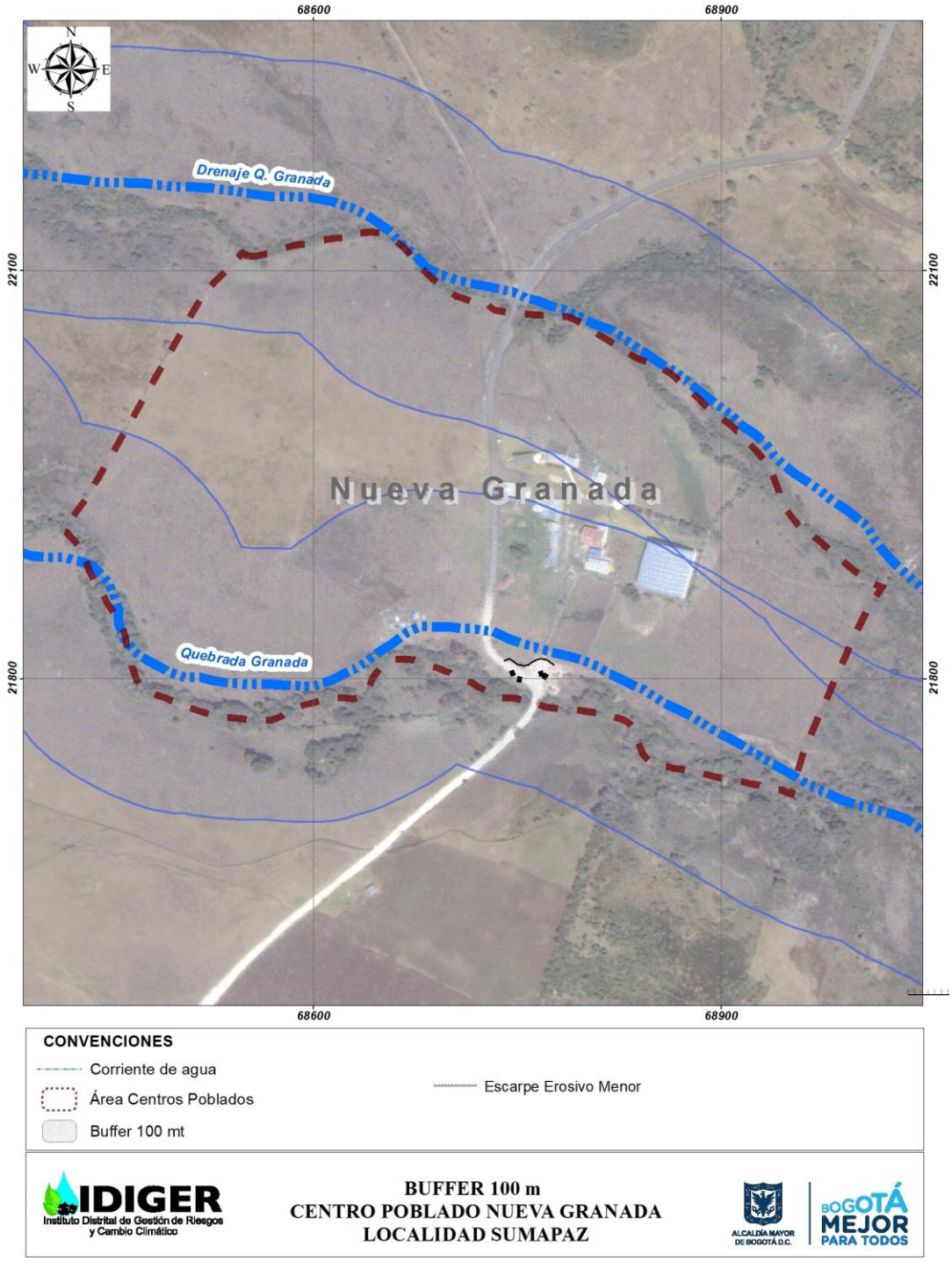


Figura 4-36: Buffer de 100 m Cuerpos de Agua Centro Poblado Nueva Granada

Para desarrollar el proceso metodológico y obtener el raster que será utilizado para la evaluación hidraulica de cada cuerpo de agua se utilizo la herramienta ModelBuilder de ArcGIS como se muestra en el diagrama de la Figura 4-10 . Este procedimiento inicia con la creación de un buffer por cada drenaje de la zona de estudio y a partir de este, se realiza el corte del DEM y se obtiene el archivo ASCII que permite generar la superficie del modelo hidráulico.

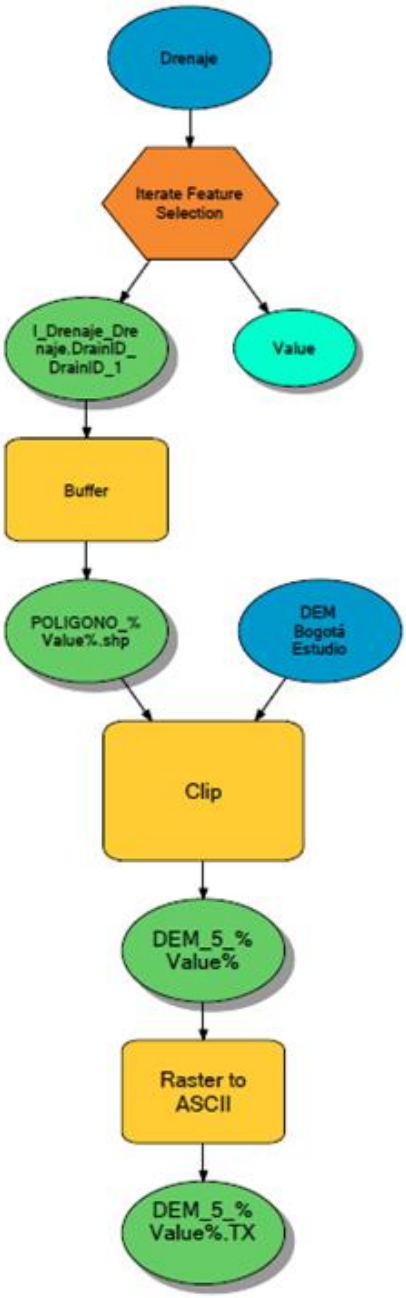


Figura 4-37: Procedimiento en ModelBuilder de ArcGIS para la Extracción Raster modelaciones

4.3.8 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES

- *RESULTADOS DE MODELACIÓN*

Retomando el flujograma metodológico, para la construcción del mapa de amenaza por avenidas torrenciales, partiendo del análisis hidrológico, una vez obtenidos los hidrogramas para las cuencas definidas, estos son incluidos en el modelo hidráulico, el cual es el resultado de la generación de las secciones transversales de cada una de las cuencas delimitadas. Adicionalmente, a partir de la relación Kang & Zhang (1980) se generan los valores del esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos los cuales son incluidos en el modelo hidráulico.

Se inicia el procesamiento en el software de elementos finitos de cada una de las cuencas que cubren el centro poblado, obteniendo alturas y velocidades del flujo para cada pixel junto con los caudales de salida que alimentan los pixeles de la cuenca aguas abajo y van generando la integración del modelo hidráulico. Al final se tiene como resultado un ráster con tamaño de pixel de 1m donde se tiene una profundidad y velocidad del flujo.

A partir de los resultados de altura y velocidades del flujo obtenidos en el modelo hidráulico se realiza la zonificación de la amenaza de acuerdo con la categorización presentada en la Tabla 4.30.

Tabla 4.30. Matriz de amenaza definida por la intensidad del proceso y su probabilidad de ocurrencia. (Matjaž, 2013)

				Probability of occurrence, *P*		
	BUWAL (1997)	Rickenmann (2005b)		High	Medium	Low
Intensity, *I*	h > 1.0 m and v > 1.0 m/s	h > 1.0 m or v > 1.5 m/s	High	**High**	**High**	**Moderate**
	h < 1.0 m or v < 1.0 m/s	h < 1.0 m and 0.4 m/s < v < 1.5 m/s	Medium	**Moderate**	**Moderate**	**Low**
	non existent	h < 0.4 m and v < 0.4 m/s	Low	**Low**	**Low**	**Very Low**
Not affected areas				**Very Low**	**Very Low**	**Very Low**

Posteriormente para la construcción del mapa de amenaza por avenidas torrenciales, una vez obtenidos los resultados de la modelación donde se generaron alturas y velocidades del flujo para cada pixel de 1m, se procedió a identificar las zonas que cumplen con las características descritas en la Tabla 4.31, para definir la categorización de la amenaza en: Alta, Media o Baja.

Tabla 4.31. Matriz para la zonificación de amenaza

ZONIFICACIÓN	DEFINICIÓN
Zonas en amenaza alta	Zona de desborde del cauce delimitada para el caudal del periodo de retorno de 100 años, con una profundidad de flujo superior a 1,0 y/o una velocidad de flujo superior a 1,5 m/s.
Zonas en amenaza media	Zona de desborde del cauce delimitada para el caudal del periodo de retorno de 100 años, con una profundidad de flujo entre 0,4 m y 1,0 m y/o una velocidad de flujo entre 0,4 y 1,5 m/s.
Zonas en amenaza baja	Zona de desborde del cauce delimitada para el caudal del periodo de retorno de 100 años, con una profundidad de flujo igual o mayor que 0 m e inferior a 0,4 m, y/o una velocidad de flujo igual o mayor que 0 m/s e inferior a 0,4 m/s.

De acuerdo con los resultados obtenidos al realizar el análisis matricial, donde se identifica la calificación de amenaza por avenidas torrenciales, se obtuvo el resultado mostrado en la Figura 4-38.

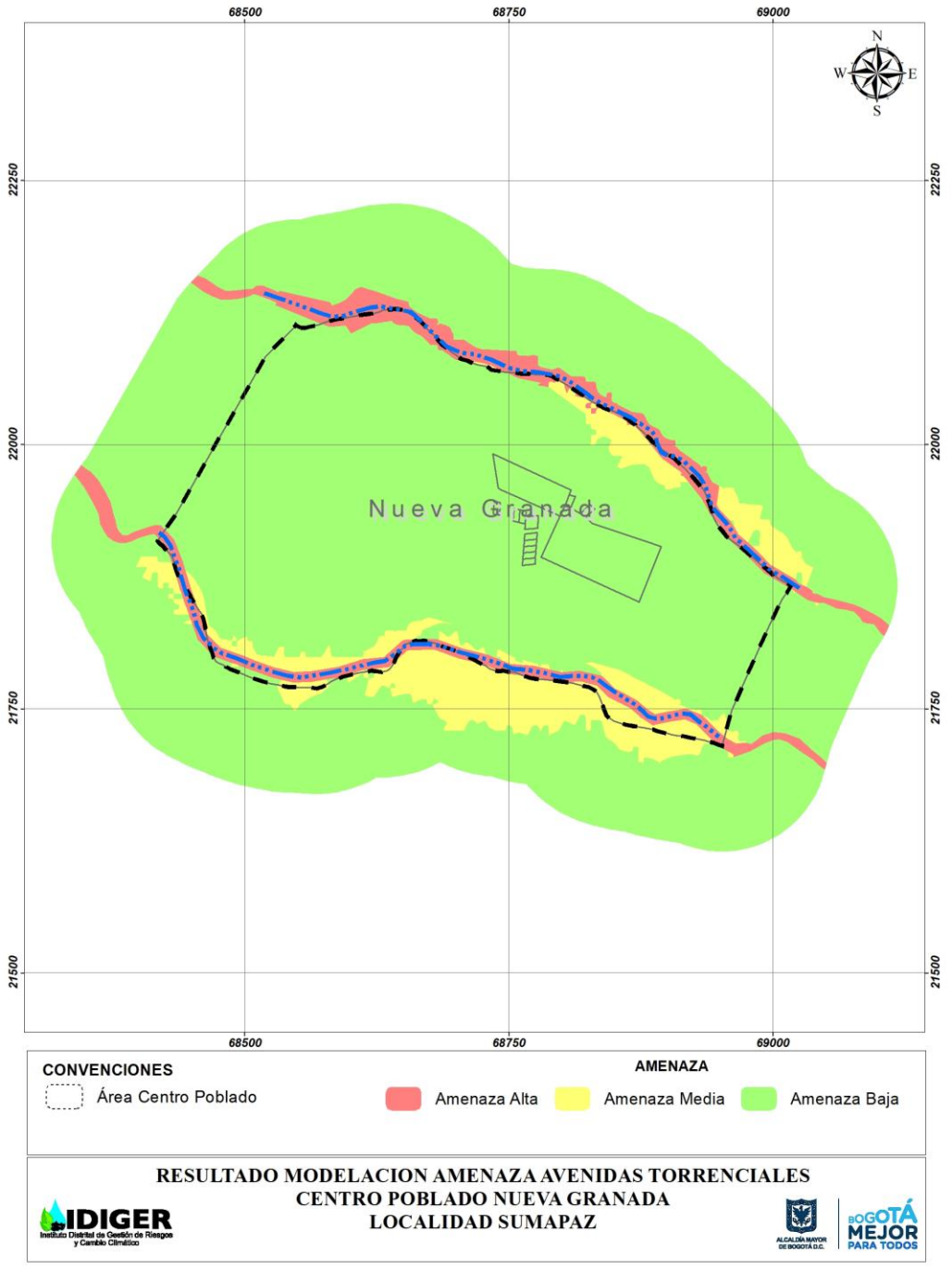


Figura 4-38. Resultado modelación de amenaza por avenidas torrenciales

4.3.9 ZONIFICACIÓN Y MAPA DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO NUEVA GRANADA

De acuerdo a los resultados de evaluación se define la amenaza por avenidas torrenciales como el área donde existe una probabilidad de ocurrencia de avenidas torrenciales con un periodo de retorno de 100 años, la intensidad del fenómeno se establece a partir de los resultados del modelo hidráulico de los cauces naturales y/o intervenidos que por sus condiciones presentan avenidas torrenciales. El modelo hidráulico desarrollado implementa los resultados de la modelación hidrológica de las cuencas asociadas a estos cauces naturales y cuya área aferente es mayor a 50 ha y la concentración de sedimentos de fenómenos de movimientos en masa que pueden incorporarse a estos cauces. Las categorías de amenaza por avenidas torrenciales se dividen en tres categorías presentadas en la Tabla 4.31 presentada anteriormente.

Dada las características de corto tiempo y alto impacto que la amenaza por avenidas torrenciales representa para las áreas objeto de desarrollo que se encuentren en zonas de amenaza Alta, Media y Baja y dado el alcance de los estudios básicos en la zona rural estas zonas deben ser condicionadas a los estudios detallados que se adelanten con el fin de identificar las zonas de amenaza a una escala más detallada.

De acuerdo con los resultados obtenidos de amenaza por avenidas torrenciales, en la Figura 4-39 y en la Tabla 4.32 se presenta el área total del centro poblado que se encuentra en amenaza por avenidas torrenciales.

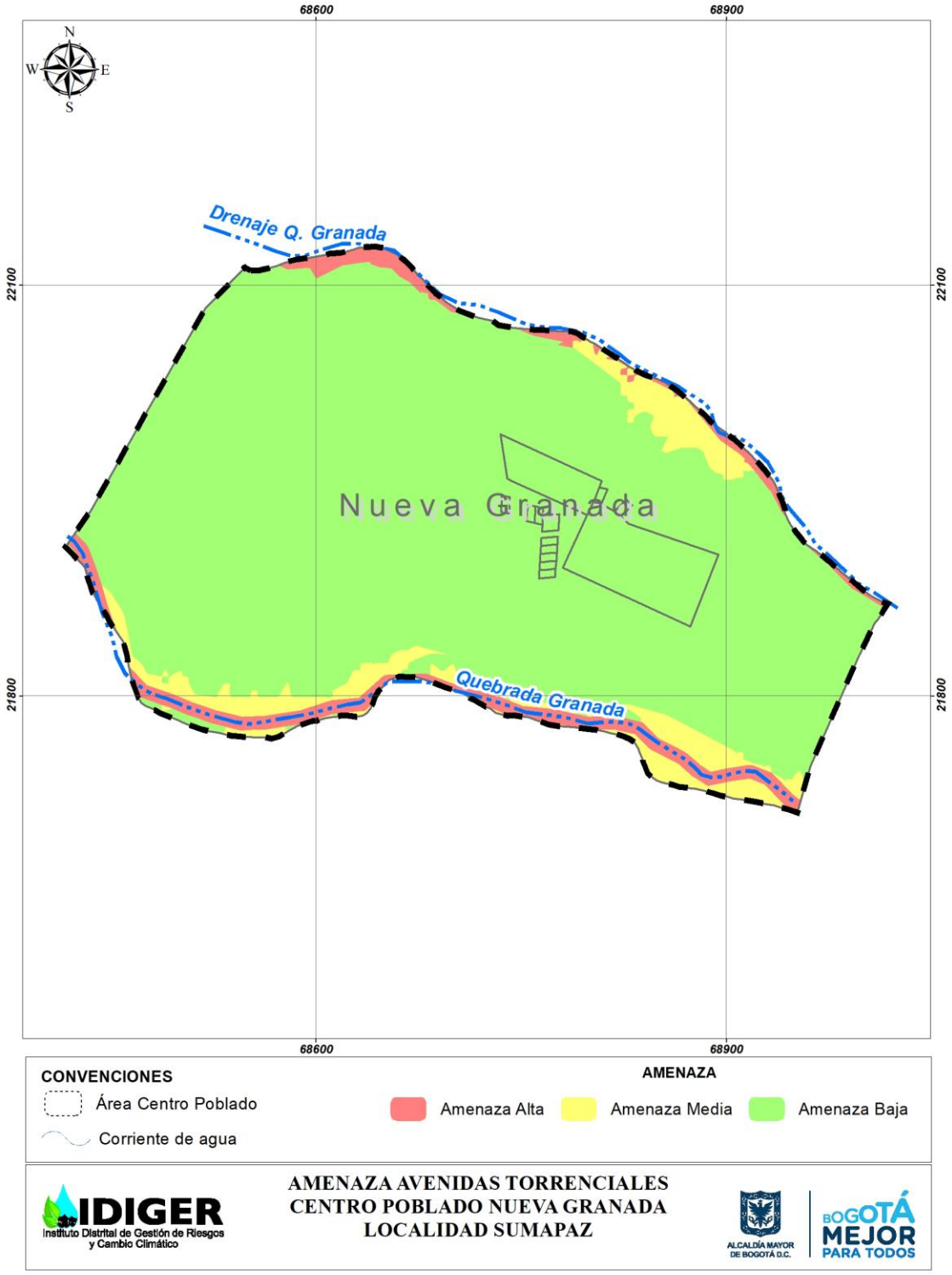

68600
68900
22100
21800
N
W
E
S
Drenaje Q. Granada
Nueva Granada
Quebrada Granada
CONVENCIONES
Área Centro Poblado
Corriente de agua
AMENAZA
Amenaza Alta
Amenaza Media
Amenaza Baja
IDIGER
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático
AMENAZA AVENIDAS TORRENCIALES
CENTRO POBLADO NUEVA GRANADA
LOCALIDAD SUMAPAZ
ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS

Figura 4-39. Zonificación de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado Nueva Granada

Tabla 4.32. Área de amenaza en el centro poblado Nueva Granada

Centro poblado Nueva Granada	
Amenaza	**Hectáreas (Ha)**
Media	0,03
Alta	0,22
Baja	14,5

4.3.10 ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO NUEVA GRANADA

Según el Art. 3 del Decreto 1807 de 2014, *"…las áreas con condición de amenaza son las zonas o áreas del territorio municipal zonificadas como de amenaza alta y media en las que se establezca en la revisión o expedición de un nuevo POT la necesidad de clasificarlas como suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales para permitir su desarrollo."*. Así mismo, el Art. 11 estipula que la delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza, *"con fundamento en la delimitación y zonificación de amenazas, se delimitan y zonifican aquellas áreas sin ocupar del suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales en las que en la revisión o en la expedición de un nuevo POT se proponga su desarrollo."*

Teniendo en cuenta que para el Centro Poblado Nueva Granada existen áreas zonificadas como de amenaza alta y media sin ocupar, en las que en la revisión general del POT se propone su desarrollo se presentan a continuación (Figura 4-40 y Tabla 4.33).

Tabla 4.33. Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el centro poblado Nueva Granada

Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el centro poblado Nueva Granada	
Amenaza	**Hectáreas (Ha)**
Media	0,97
Alta	0,79

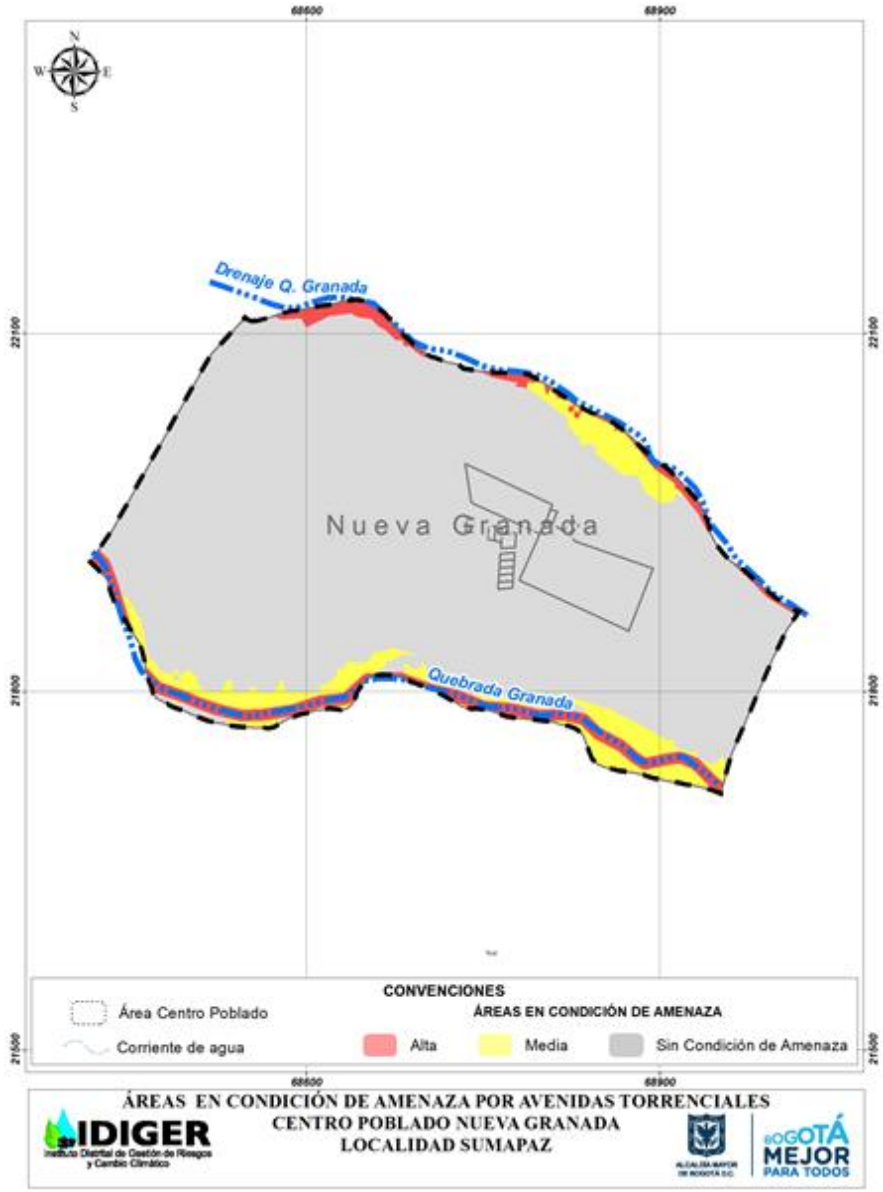


Figura 4-40: Mapa de áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado Nueva Granada

4.3.10.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de Amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado Nueva Granada

Dada las características de corto tiempo y alto impacto que la amenaza por avenidas torrenciales representa, en las áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales no se podrán adelantar procesos de construcción, ampliación, urbanización o parcelación y se deberán destinar a los usos permitidos para las áreas de Rondas Hídricas de los

Nacimientos, Ríos y Quebradas. No obstante, estas zonas podrán ser recategorizadas mediante estudios detallados a nivel de cuenca, los cuales podrán estar a cargo del gestor y/o promotor y/o urbanizador dentro del trámite de los instrumentos de planeamiento intermedio y de licenciamiento urbanístico.

4.3.11 ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO NUEVA GRANADA

Según el Art. 3 del Decreto 1807 de 2014, las áreas con condición de riesgo *"corresponden a las zonas o áreas del territorio municipal clasificadas como de amenaza alta que estén urbanizadas, ocupadas o edificadas así como en las que se encuentren elementos del sistema vial, equipamientos (salud, educación, otros) e infraestructura de servicios públicos..."*. Indica además en su Art. 12, como se mencionó anteriormente, que para definir estas zonas se deben identificar *"…la existencia de elementos expuestos, de áreas urbanizadas, ocupadas o edificadas así como de aquellas en las que se encuentren edificaciones indispensables y líneas vitales."*

Para delimitar áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado Nueva Granada, se tuvo en cuenta las construcciones, equipamientos e infraestructura verificando que no se encuentran en amenaza alta por avenidas torrenciales (Figura 4-41 y Tabla 4.34).

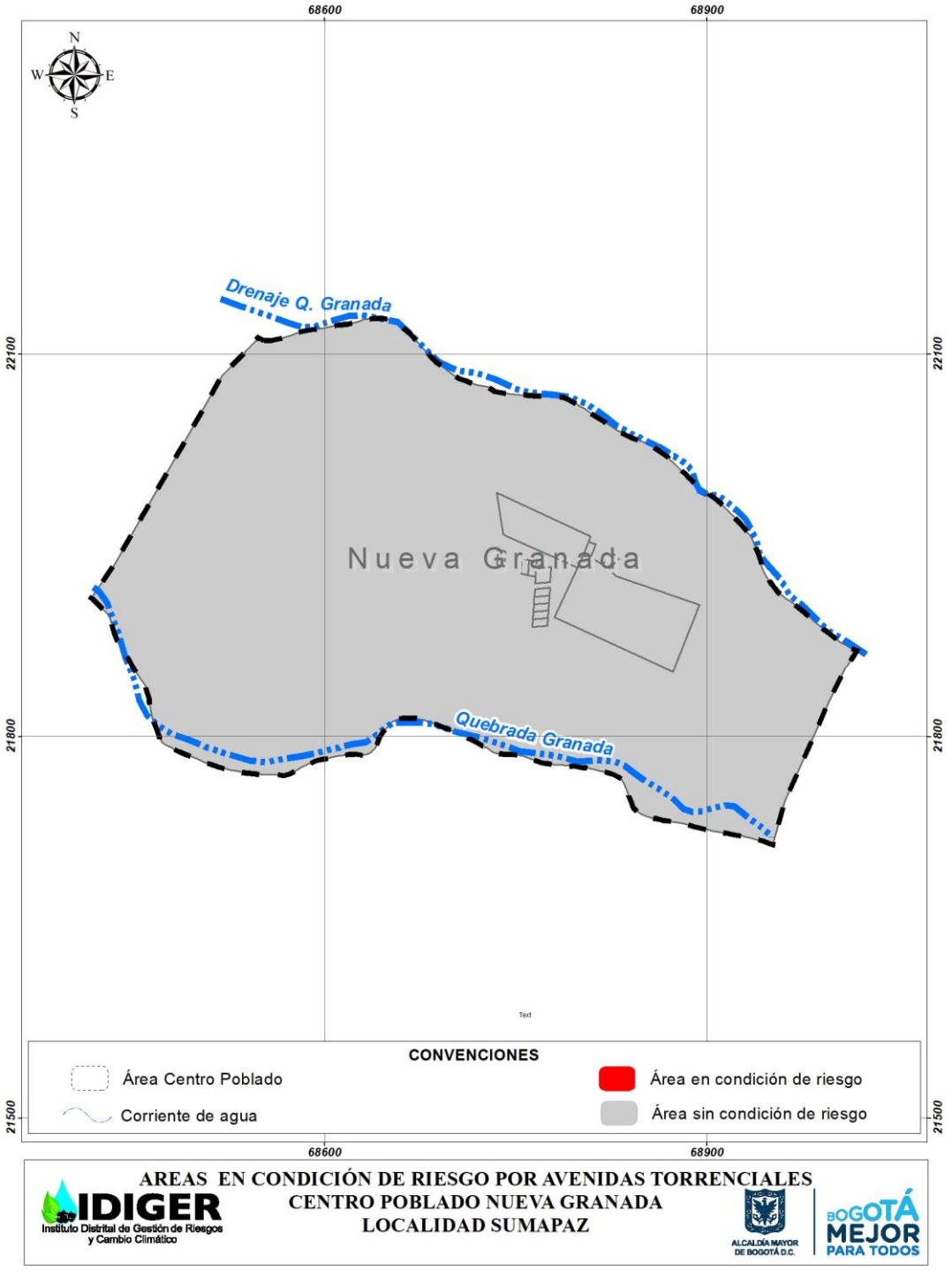


Figura 4-41: Mapa de áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en centro poblado Nueva Granada

Tabla 4.34. Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado Nueva Granada

Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado Nueva Granada	
Amenaza	**Hectáreas (Ha)**
Alta	0,00

4.3.11.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de Riesgo por avenidas torrenciales en centro poblado Nueva Granada

No hay condicionamientos o restricciones dado que no hay áreas con condición de riesgo

4.3.12 ESTUDIOS DETALLADOS DE RIESGO EN ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO NUEVA GRANADA

Para las áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el centro poblado Nueva Granada, en el largo plazo el Instituto Distrital de Gestión de Riesgo y Cambio Climático – IDIGER realizará los estudios detallados de riesgo. No obstante, estos podrán ser elaborados en el corto plazo y mediano plazo y podrán estar a cargo del gestor y/o promotor y/o urbanizador dentro del trámite de los instrumentos de planeamiento intermedio y de licenciamiento urbanístico

4.4 AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO NAZARETH

4.4.1 ÁREA DE ESTUDIO

El centro poblado Nazareth se encuentra ubicado al nororiente de la Localidad de Sumapaz, en la UPR 4 Rio Blanco, como se ve en la Figura 4-42, se localiza en suelo rural, sobre la vía que conduce al Parque Natural del Sumapaz a aproximadamente 50 Km de Usme. Su perímetro encierra un área de 183.179,58 m² en una ladera estructural denudada, fluvial intermontana, sobre una terraza aluvial, de pendiente baja, escalonada, dedicada especialmente a pastos y cultivos y a construcciones de vivienda e infraestructura.

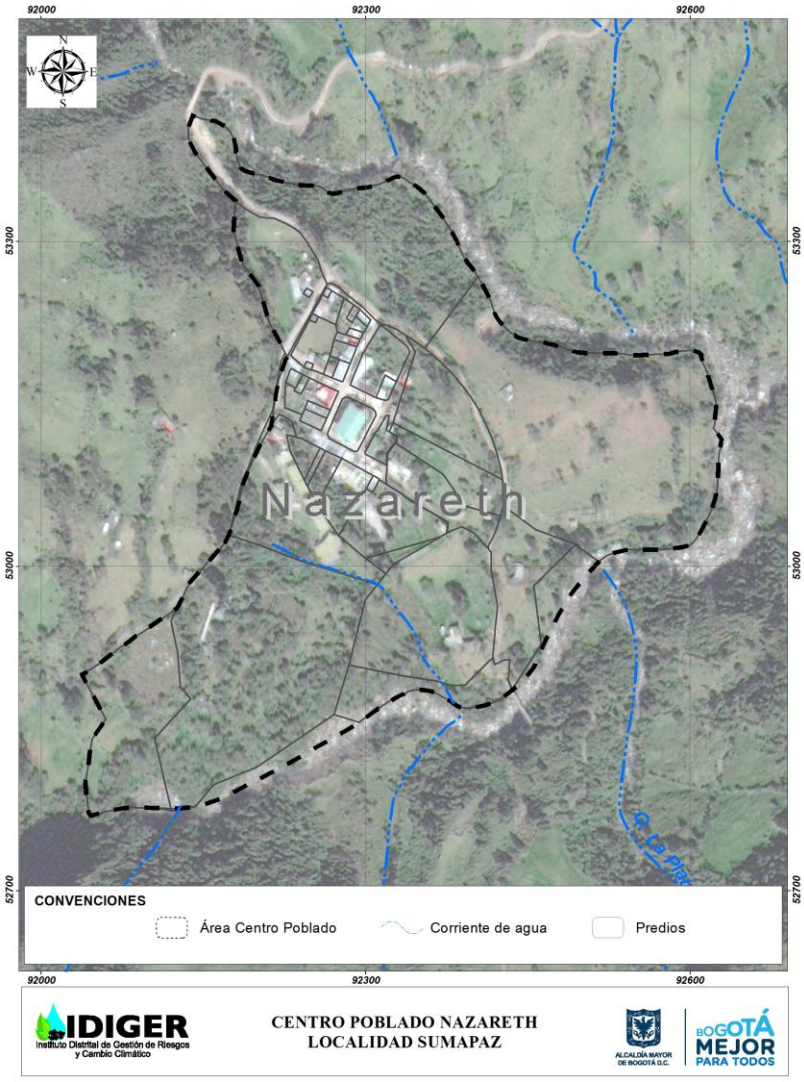


Figura 4-42. Localización general del Centro Poblado Nazareth, Localidad del Sumapaz.

En la Figura 4-42, se presenta la ubicación del centro poblado Nazareth y la zonificación de amenaza por avenidas torrenciales en suelo rural, en la cual se observa que no existe influencia de la amenaza por avenidas torrenciales en el perímetro del centro poblado.

4.4.2 INSUMOS

A continuación, se describen los insumos básicos que se tomaron como punto de partida para el desarrollo del análisis de amenaza por avenidas torrenciales, de acuerdo con lo dispuesto en el Art. 10 del Decreto 1807, donde se indica que, para los estudios básicos de amenaza por avenidas torrenciales en centros poblados, se deben realizar a escala 1:2.000.

4.4.2.1 CARTOGRAFÍA BASE

Para la cartografía base utilizada tal como lo establece el Decreto 1807 de 2014 (compilado por el Decreto 1077 de 2015), se verificó que contuviera entre otros: coordenadas, curvas de nivel, drenajes, red vial, infraestructura y equipamientos, asentamientos humanos. A partir de lo anterior para la cartografía se tiene lo siguiente:

A SISTEMAS DE COORDENADAS

Sistema de Coordenadas Proyectadas - Cartesianas: Magna Bogotá
Proyección: Transversal de Mercator
Falso Este: 92324,879
Falso Norte: 109320,965
Longitud Meridiano Central: -74,14659167
Latitud de origen: 4,680486111
Factor de escala: 1
Sistema de Coordenadas Geográfica GCS CarMAGBOG
Meridiano de Greenwich
Datum CGS_CARMAGBOG
Elipsoide: GRS80 Mod
Semieje Mayor: 6380687
Semieje Menor: 6359293,764473119
Achatamiento: 298,257222101

B ESCALA

De acuerdo con el Artículo 10 del Decreto 1807 de 2014 (compilado por el Decreto 1077 de 2015) la base cartográfica que se emplea para la presente zonificación corresponde con una escala 1:2.000.

C GEODATABASE SECRETARÍA DISTRITAL DE PLANEACIÓN SDP

La cartografía base fue tomada de la geodatabase con la información geográfica de la Secretaría Distrital de Planeación.

D LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS DE CENTROS POBLADOS RURALES PRIORIZADOS POR LA SDHT.

Mediante el contrato "*LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS DE CENTROS POBLADOS RURALES PRIORIZADOS POR LA SDHT Y GENERAR LA RESPECTIVA CARTOGRAFÍA ASOCIADA"* (2015) contratado por la SDHT, se generó la topografía detallada de centros poblados cuyo resultado son curvas de nivel cada 0.50m.

Esta información y sus bases de datos fueron insumo para la generación de los estudios realizados a escala 1:2000 para del centro poblado.

4.4.2.2 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN

Se utilizó el Modelo Digital de Elevación – DEM generado de 2 x 2 metros, a partir de la información disponible, para realizar la delimitación las cuencas aferentes y el cálculo de algunos parámetros morfométricos de las mismas, los cuales son de gran utilidad para determinar el comportamiento de las cuencas ante eventos de lluvias máximas.

Para esto se realizó la recolección de modelos digitales de Elevación disponibles para el área de estudio, la cual se resume a continuación:

Tabla 4.35. Modelos Digitales de Elevación

Nombre	Fuente	Año	Resumen
Modelo digital de elevación DEM	SDP		1m
	SDHT	2015	0.5m

Los Modelos Digitales de Elevación que se usaron para para la obtención de la amenaza del centro poblado Nazareth, proviene de la información contenida en el estudio "*LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS DE CENTROS POBLADOS RURALES PRIORIZADOS POR LA SDHT Y GENERAR LA RESPECTIVA CARTOGRAFÍA ASOCIADA.*"

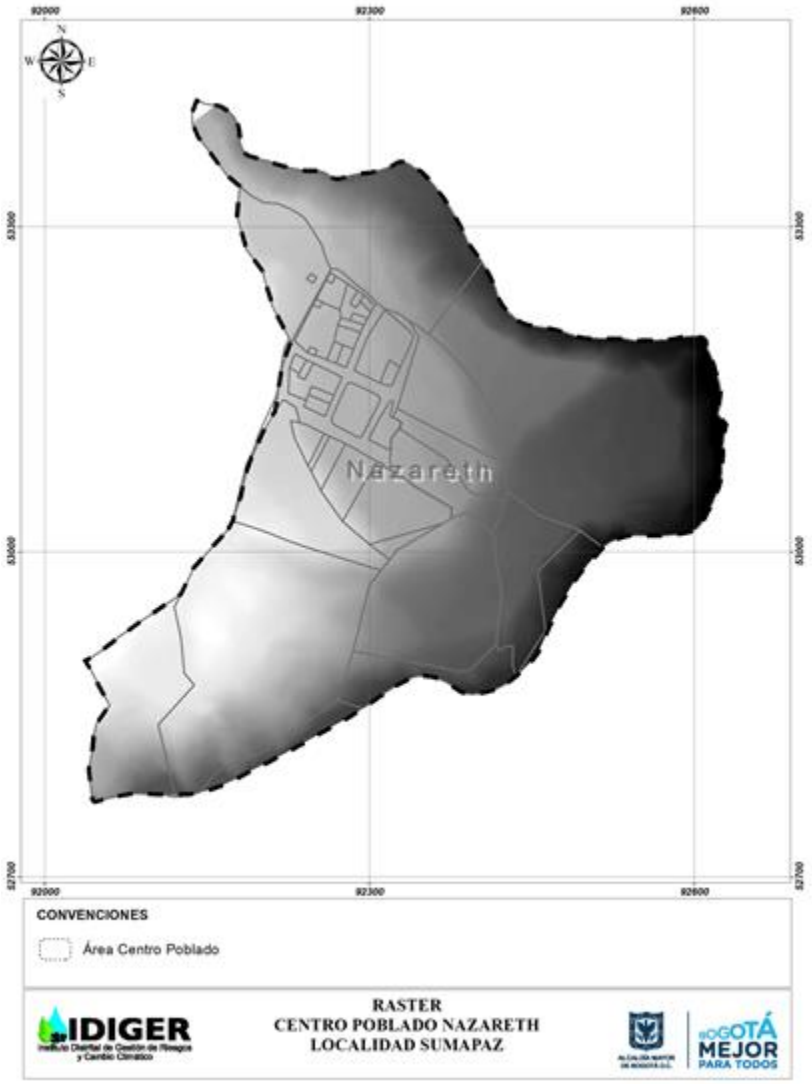


Figura 4-43: Modelo Digital del Elevación del centro poblado Nazareth

4.4.2.3 GEOMORFOLOGÍA

El estudio geomorfológico permite identificar cuales de las unidades correspondientes al Centro Poblado Nazareth son susceptibles a la generación de los procesos de avenidas torrenciales los cuales contribuyen a la delimitación de las zonas de estudio y su correspondiente delimitación de amenaza final. La geomorfología es presentada en detalle dentro del análisis geomorfológico.

4.4.3 METODOLOGÍA

Con el fin de construir el esquema metodológico usado en la generación del mapa de amenaza por avenidas torrenciales, se partió de una revisión de las metodologías de

evaluación de amenaza enfocado en la armonización tanto en alcance, nivel de información disponible y calidad de los resultados para definir los procedimientos y actividades a ejecutar para lograr un producto cartográfico ajustado a los requerimientos técnicos exigidos en la normatividad vigente (Decreto 1807 de 2014).

4.4.3.1 ESQUEMA METODOLÓGICO

El esquema metodológico se divide en tres análisis principales: (Ver Figura **4-44**)

1. Análisis Geomorfológico
2. Análisis Hidrológico
3. Análisis de Sedimentos
4. Análisis Hidráulico

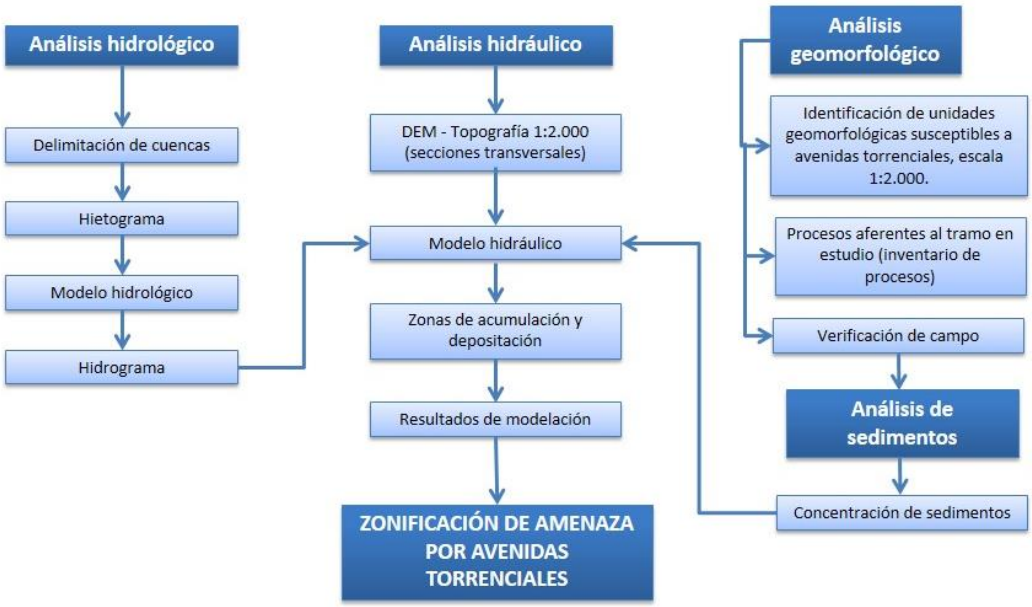


Figura 4-44. Esquema metodológico

El análisis hidrológico inicia con la delimitación de las cuencas aferentes al tramo de río o quebrada que se analiza a partir del modelo de elevación digital de la cuenca, posteriormente se estima el hietograma de precipitación bajo un escenario de periodo de retorno determinado el cual es el insumo de entrada para el modelo hidrológico que proporciona los hidrogramas de entrada del modelo hidráulico.

El análisis geomorfológico consiste en la revisión e identificación de la geomorfolgía a escala 1:2000 de las unidades de potencial acumulación de flujo.

El análisis de sedimentos parte del mapa de procesos geomorfológicos identificados que se encuentran cerca del tramo de rio o quebrada que se analiza, la concentración de

sedimentos se determina de acuerdo con la literatura especializada identificada durante la revisión del estado del arte asignando un valor promedio a cada tipo de proceso.

El análisis hidráulico toma como entrada el hidrograma resultado del análisis hidrológico y la concentración de sedimentos del análisis de sedimentos, con estas variables de entrada transita el hidrograma en el modelo de elevación digital del terreno del tramo de rio o quebrada que se analiza, obteniendo como resultado las velocidades y profundidades máximas alcanzadas en cada una de las celdas del modelo de elevación digital del tramo en estudio, estos valores de velocidad y profundidad se categorizan de acuerdo a la condición de amenaza que representan.

4.4.4 ANÁLISIS HIDROLÓGICO

El análisis hidrológico comprende dos etapas, la primera es la delimitación de las cuencas hidrográficas en el área de estudio y la segunda, el modelo lluvia escorrentía que permite la estimación de hidrogramas que serán la entrada del modelo hidráulico. A continuación, se presenta los pasos seguidos en las dos etapas y sus respectivos resultados.

Para obtener la delimitación de cuencas se parte del Modelo de Elevación Digital (DEM) de la zona de estudio, en este caso se cuenta con un DEM proyectado en coordenadas geográficas. Este DEM requiere ser proyectado en coordenadas planas con el fin de tener la geometría plana adecuada para el cálculo de áreas y distancias de las cuencas generadas.

El DEM proyectado cubre un área de mayor extensión que el área de estudio, , con el fin de delimitar solamente las cuencas que drenan a esta área . Este buffer se obtuvo mediante pruebas de sensibilidad con diferentes distancias, con el objetivo de cubrir el área que hidrológicamente tiene algún aporte a las cuencas que se encuentran dentro del perímetro del distrito y que garantiza que éstas drenen completamente en el modelo hidráulico.

Por otra parte, El DEM contiene errores inherentes a este tipo de producto, por tanto se debe corregir con la cartografía adecuada para que el resultado de la delimitación de cuencas se aproxime a la red de drenaje real. Para lograr este objetivo se cuenta con la cartografía del sistema hídrico en coordenadas geográficas, al igual que se realizó con el DEM, se efectuó la proyección del sistema hídrico y se extrae la red hídrica l.

Dado que la corrección del DEM se puede realizar con el shape tipo polígono o tipo línea, se ha optado por convertir los polígonos a líneas y de esta forma modificar solo las riberas de los ríos que en la cartografía son representados mediante polígonos, el resultado de la conversión del sistema hídrico de polígonos a línea.

4.4.4.1 Cuencas Hidrográficas

Teniendo como entrada el DEM y el sistema hídrico ajustados previamente, se construye en ArcGIS el flujo de trabajo de herramientas a utilizar, con el fin de delimitar las cuencas

hidrográficas del área de estudio. En este flujo de trabajo se desarrollan los siguientes 11 pasos.

1. Para poder generar la red de drenaje a partir del DEM es necesario profundizar el DEM en aquellas zonas donde se encuentran ubicados los ríos de acuerdo a la cartografía. En este paso, se realizó la profundización en las zonas donde se encuentran los ríos dibujados como tipo línea.

2. Este paso es similar al anterior, sin embargo, la profundización se realizó en las zonas donde se encuentran los ríos dibujados como tipo polígono, pero solo en las riberas convertidas en líneas.

3. El DEM debe ser hidrológicamente apropiado, es decir, que todas las celdas del DEM drenen a un punto de salida. Para poder generar un DEM hidrológicamente apropiado se deben rellenar los pozos o celdas que no permiten que se genere adecuadamente la red de drenaje.

4. Teniendo en cuenta la pendiente más favorable para el flujo, se genera un valor de dirección de flujo para cada celda del DEM.

5. Teniendo en cuenta la dirección de flujo de cada celda es posible calcular el número de celdas que drenan a determinada zona, con estos valores se genera el ráster de acumulación de flujo.

6. Un parámetro importante en la definición de corrientes es el número de celdas que generan el inicio de un cauce, para este análisis hidrológico se tomó el equivalente a 0.5 km^2 como el valor en el cual se genera una corriente. Este valor se obtuvo mediante pruebas de sensibilidad buscando el tamaño adecuado de cuencas que se ajustaba a la escala de trabajo.

7. Considerando el ráster de acumulación de flujo y el número de celdas que generan el inicio de un cauce, se obtuvieron las corrientes hídricas. Posteriormente, se dividen las corrientes teniendo en cuenta que los tramos de las mismas no tengan confluencias con otras corrientes.

8. De acuerdo con los tramos de cauces obtenidos en el paso anterior, se genera la delimitación automática de cuencas.

9. El Ráster generado en el paso anterior se debe trasformar en formato shape para cálculos posteriores.

10. La segmentación de corrientes obtenida en el paso 6, se debe transformar en formato shape para cálculos posteriores.

11. Las cuencas hidrográficas con área aferente acumulada es el resultado final en la delimitación de cuencas del área de estudio.

Para realizar el análisis sólo en las cuencas que se encuentran en el área de estudio y dado que el procedimiento anterior no tiene en cuenta los efectos de la urbanización en la red de drenaje, se deben estimar o corregir las cuencas obtenidas de acuerdo a esta consideración. Para ello se determinan los puntos de cierre de cuencas que dependen del orden de drenaje dentro de la cuenca.
Para la generación de cuencas y delimitar el área de estudio se desarrollan los siguientes 4 pasos.

1. En el primer paso se vinculan los puntos de cierre de cuencas con el ráster de acumulación de flujo generado anteriormente.
2. De acuerdo con el ráster de acumulación de flujo se recortan las cuencas tipo Ráster.
3. Las cuencas del paso anterior se convierten en polígonos
4. El último paso une las cuencas aferentes que puedan quedar separadas al convertir el ráster de cuencas a polígono

El resultado del procedimiento anterior es la generación de cuencas que cubren el área de estudio.

.

Teniendo como entrada el modelo de elevación digital proyectado, se construye en ArcGIS el flujo de trabajo de herramientas a utilizar con el fin de generar las subcuencas hidrográficas del área de estudio. En este flujo de trabajo se desarrollan los mismos 11 pasos que fueron descritos anteriormente.

1. Corrección DEM mediante red de drenaje tipo línea.
2. Corrección DEM mediante red de drenaje tipo polígono.
3. Modelo de Elevación Digital Hidrológicamente Corregido.
4. Dirección de Flujo.
5. Acumulación de Flujo.
6. Red de Drenaje Generada Tipo Ráster.
7. Red de Drenaje Generada Tipo Ráster Vinculada.
8. Cuencas hidrográficas Tipo Ráster.
9. Cuencas hidrográficas Tipo Polígono.
10. Red de Drenaje Generada Tipo Línea.
11. Cuencas hidrográficas Acumuladas Tipo Polígono.

Cabe aclarar que uno de los parámetros importantes para la definición de las subcuencas es el número de celdas que generan el inicio de un cauce, para este análisis hidrológico se tomó el equivalente a 0.5 km^2 como el valor en el cual se genera una corriente, el resultado del este procedimiento fue la generación de las subcuencas que cubren el área del perímetro del centro poblado (Figura 4-45).

Figura 4-45. Cuencas analizadas en el centro poblado Nazareth.

4.4.4.2 Morfometría

Para el análisis de susceptibilidad de una cuenca a un evento torrencial, se llevó a cabo la evaluación de varios parámetros morfométricos, teniendo cuenta que estos parámetros son indicadores de las características de la cuenca relacionadas con el pico de las crecientes y su producción de sedimentos.

A continuación, se describe los parámetros morfométricos calculados y analizados

A Pendiente

Tiene una influencia significativa en la generación de avenidas torrenciales (Smith, 2003). Esta característica controla en buena parte la velocidad con que se da la escorrentía superficial y afecta, por tanto, el tiempo que requiere el agua lluvia para concentrarse en los lechos fluviales que constituyen la red de drenaje de las cuencas.

B Orden de corriente

En orden de corrientes depende del número de afluente que contenga el cauce principal, por lo tanto, los de primer orden son todos aquellos que no tengan afluentes. Cuando se unen dos cauces de primer orden forman un cauce de segundo orden y así sucesivamente.

C Longitud de Flujo

La Longitud de flujo está definida como la distancia horizontal, medida a lo largo del cauce principal, entre el punto de salida de la cuenca y el límite definido para la cuenca.

4.4.4.3 Modelo Lluvia – Escorrentia

La segunda etapa del análisis hidrológico consiste en el cálculo de los hidrogramas a partir del modelo lluvia – escorrentía, este hidrograma servirá de entrada al modelo hidráulico. Para obtener los eventos de precipitación se utilizó la caracterización de tormentas y actualización de curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia IDF desarrolladas por la EAB, para este fin las cuencas se subdividieron en dos grupos, el primero aquellas cuencas cuyo centroide se encontrara a por lo menos una distancia inferior a diez kilómetros de alguna de las estaciones utilizadas en dicho estudio y un segundo grupo en el cual el centroide de las cuencas se encontrara a una distancia superior a diez kilómetros de alguna de las estaciones utilizadas en el estudio de la EAB (

Para el primer grupo de estaciones se utilizó la curva IDF de la estación más cercana al centroide de la cuenca obtenidos mediante el estudio de la EAB. Para el segundo grupo de estaciones se calculó las curvas sintéticas IDF asociadas al centroide de la cuenca, siguiendo el método de Vargas (1998), el cual se encuentra específicamente formulado para Colombia y cuya ecuación se enuncia a continuación:

$$I = a\frac{{T_r}^b}{t^c}M^d N^e PT^f ELEV^g$$

Siendo:
I: Intensidad (mm/h).
T_r: Período de retorno (años).
t : Duración de la precipitación, (horas).
M: Promedio del valor máximo anual de precipitación diaria (mm).
N: Promedio de número de días anuales con precipitación.
PT: Promedio de precipitación media anual (mm).
ELEV: Elevación de la estación meteorológica de medición (msnm).
a, b, c, d, e, f, y g :Son coeficientes propios de la ecuación que varían según la ubicación regional de la estación y de la cantidad de variables disponibles. Para el caso se utilizaron los recomendados por el autor del método.

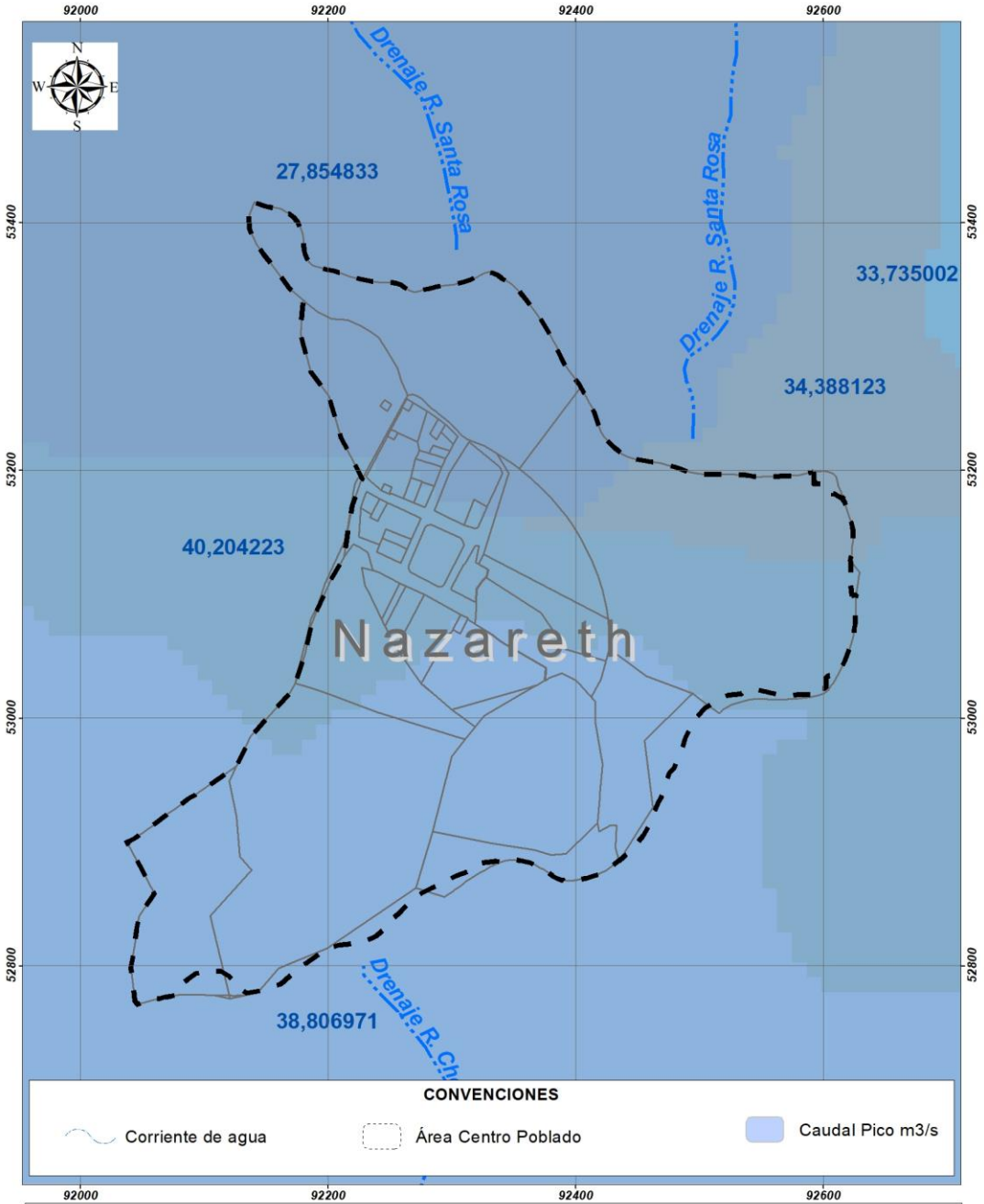
En la siguiente tabla se presentan los valores correspondientes a cada parámetro calibrado para la región Andina de acuerdo con Vargas (1998).

Tabla.36. Parámetros del método de Vargas para la región Andina

a	b	c	d	e	f	g
1,64	0,19	0,65	0,73	-0,13	0,08	-0,01

Las abstracciones de la precipitación fueron calculadas a partir del método de abstracciones del Soil Conservation Service SCS o Método del Número de curva. Para esto se tuvo en cuenta la cartografía disponible suministrada por SDP en cuanto a coberturas de suelo siguiendo la metodología CORINE Land Cover además de la clasificación del grupo hidrológico del suelo, de acuerdo con el mapa geológico de la zona de estudio, definidos por tipo según su capacidad de infiltración.

Con el evento de precipitación obtenido a partir de las curvas IDF utilizando el método de bloque alterno y las abstracciones calculadas con el método de número de curva se obtienen los hidrogramas que servirán de entrada al modelo hidráulico. El Caudal Pico de estos hidrogramas según las cuencas asociadas al área de estudio se presenta en la Figura 4-46



IDIGER
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático

CAUDAL PICO
CENTRO POBLADO NAZARETH
LOCALIDAD SUMAPAZ

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS

Figura 4-46. Caudales Pico Según Cuencas analizadas en el centro poblado Nazareth.

4.4.5 ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

Dentro del centro poblado, las unidades geomorfológicas que se presentan se muestran en la Figura 4-48, el detalle del proceso de contruccción del levantamiento geomorfológico se presenta en el Documento Técnico de Sopórte del Mapa De Amenaza Por Movimientos En Masa En Perspectiva De Cambio Climático Zona Rural.

Gemorfológicamente, el sector corresponde a terrazas aluviales, caracterizado por morfologías alomadas y colinadas con pendientes muy suaves, y donde se emplaza el centro poblado, el cual esta ubicado a una altura mayor que el nivel base de los cauces actuales. La geoforma se caracteriza por presentar una franja de terreno semi plano, de morfología alomada, cubierta en su totalidad por pastos propicios para actividades como la ganadería y la agricultura. Esta unidad geomorfológica, desarrollada sobre materiales recientes, presenta movimientos en masa tipo flujos por la socavación por parte de los cauces presentes en el área.

El polígono de estudio se encuentra delimitado por dos ríos que corresponden a rio Chochal y rio Santa Rosa, los cuales desembocan en el rio Blanco, los cuales presentan amenaza torrencial, y en visita de campo se evidenció transporte de material. Sin embargo, los afluentes se encuentran distantes del centro poblado.

De acuerdo con la geomorfologia a escala 1:2000 y partir de las unidades presentes se realizó en función de la morfogenésis y la morfodinámica, la identificación de la susceptibilidad a avenidas torrenciales, mediante un análisis basado en las morfoestructuras de región, unidad, subunidad y componente, con el fin de realizar la identificación de unidades de origen fluviotorrencial presentes en el área de estudio y determinar zonas susceptibles a la depositación y acumulacion de flujo o generación de sedimentos, previo a la validación mediante el modelo hidráulico, encontrando la siguiente categorización (Tabla 4.37):

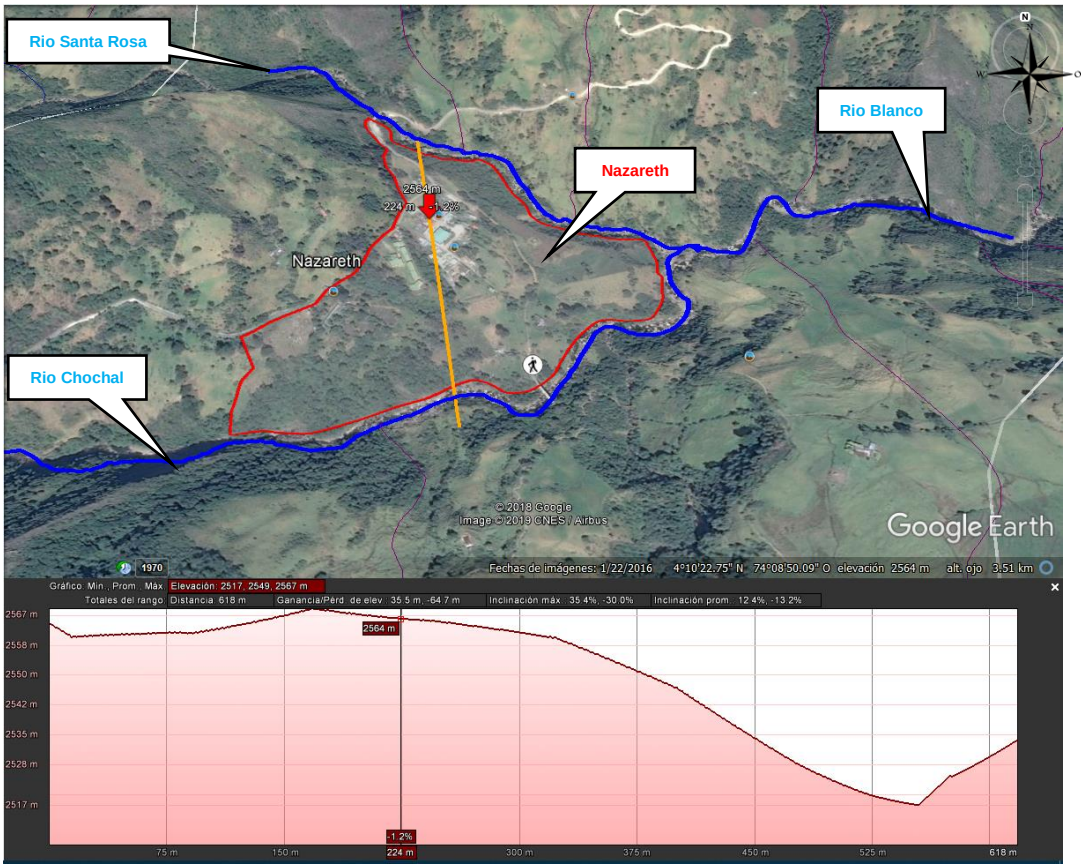


Figura 4-47. Geomorfología y perfil del Centro Poblado Nazareth, Localidad de Sumapaz

El rio Chochal, se encuentra localizado al sur del polígono, a una distancia aproximada de 300 m del límite de este, se evidencia un contraste de relieve, que hace referencia a la diferencia de altitud de la geoforma entre la parte más alta y más baja, encontrándose una diferencia superior a los 47 m. Así mismo, el rio Santa Rosa se encuentra localizado al norte del polígono, a una distancia aproximada de 200 m, con una diferencia de nivel que varía entre 4 m a 41 m.

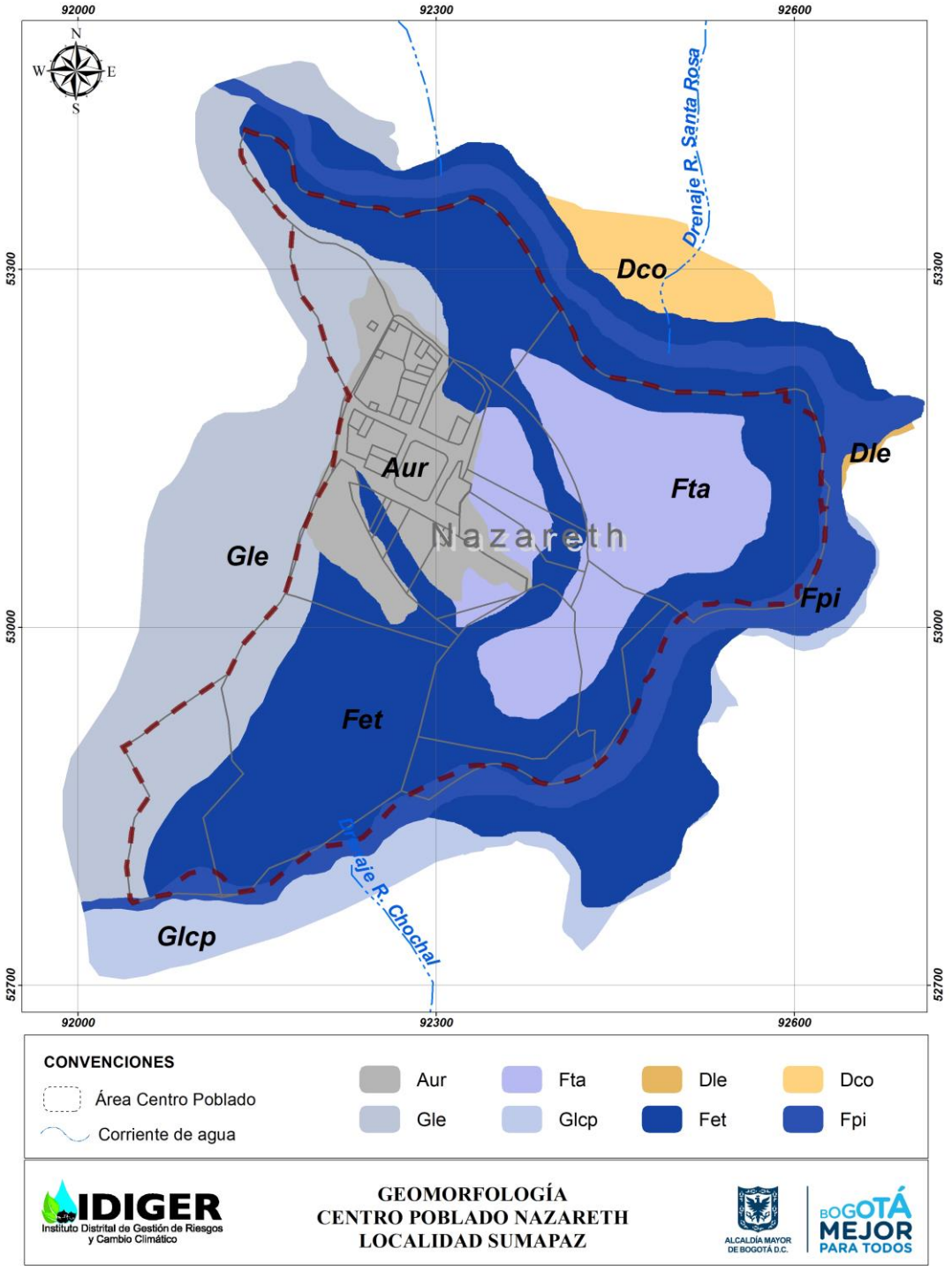


Figura 4-48. Mapa geomorfológico construido para Nazareth.

Tabla 4.37. Susceptibilidad Geomorfológica de las Unidades

REGIÓN	UNIDAD	SUBUNIDAD	COMPONENTE	SÍMBOLO	SUSCEPTIBILIDAD	OBSERVACIONES
ANTROPOGÉNICO			Area Urbanizada	**Aur**	Baja	
ESTRUCTURAL - DENUDATIVO	Planchas Estructurales Denudadas – Espolones Estructurales	Conos y lóbulos Coluviales de Solifluxión	Laderas de Acumulación	**Dco**	Baja	
		Ladera Estructural denudada y residual	Crestas Redondeadas	**Dle**	Baja	
FLUVIAL	Terrazas Fluviales de Acumulación	Fluvial Intermontano, Terraza aluvial	Planicie de Terraza Aluvial	**Fta**	Alta	Alto potencial de acumuación
			Escarpe de Terraza	**Fet**	Media	Alto potencial de aporte de sedimentos
	Planicie Aluvial	Planicies o llanuras de Inundación	Plano de inundacióm	**Fpi**	Alta	Alto potencial de acumuación
GLACIAL Y PERIGLACIAL	Cuesta Estructural Glaciada	Ladera de contrapendiente estructural glaciada	Ladera Ondulada Glaciada	**Glcp**	Baja	
		Ladera estructural glaciada	Ladera Plana Glaciada	**Gle**	Baja	

4.4.5.1 INVENTARIO DE PROCESOS MORFODINÁMICOS

Para poder ajustar a la escala de trabajo el análisis de sedimentos, se verificaron los procesos morfodinámicos. Para lo cual se realizó una revisión de los procesos que pudiesen afectar el área de estudio, evaluando la morfología y los materiales que lo conforman, encontrando que el área de estudio está conformada por terrazas aluviales, donde son cartografiables sus escarpes y el centro poblado se encuentra emplazado en las partes planas de esta terraza.

Una vez realizada verificación en campo, no se evidenció la presencia de procesos morfodinámicos relacionados con movimientos en masa dentro del centro poblado, no obstante, se evidencian procesos morfodinamicos tipo flujos en la terraza baja, debido a la socavación en la pata del talud por la dinámica de los ríos, así como se evidenció procesos erosivos sobre los cortes de las vías de acceso y se evidencian los escarpes de las terrazas.

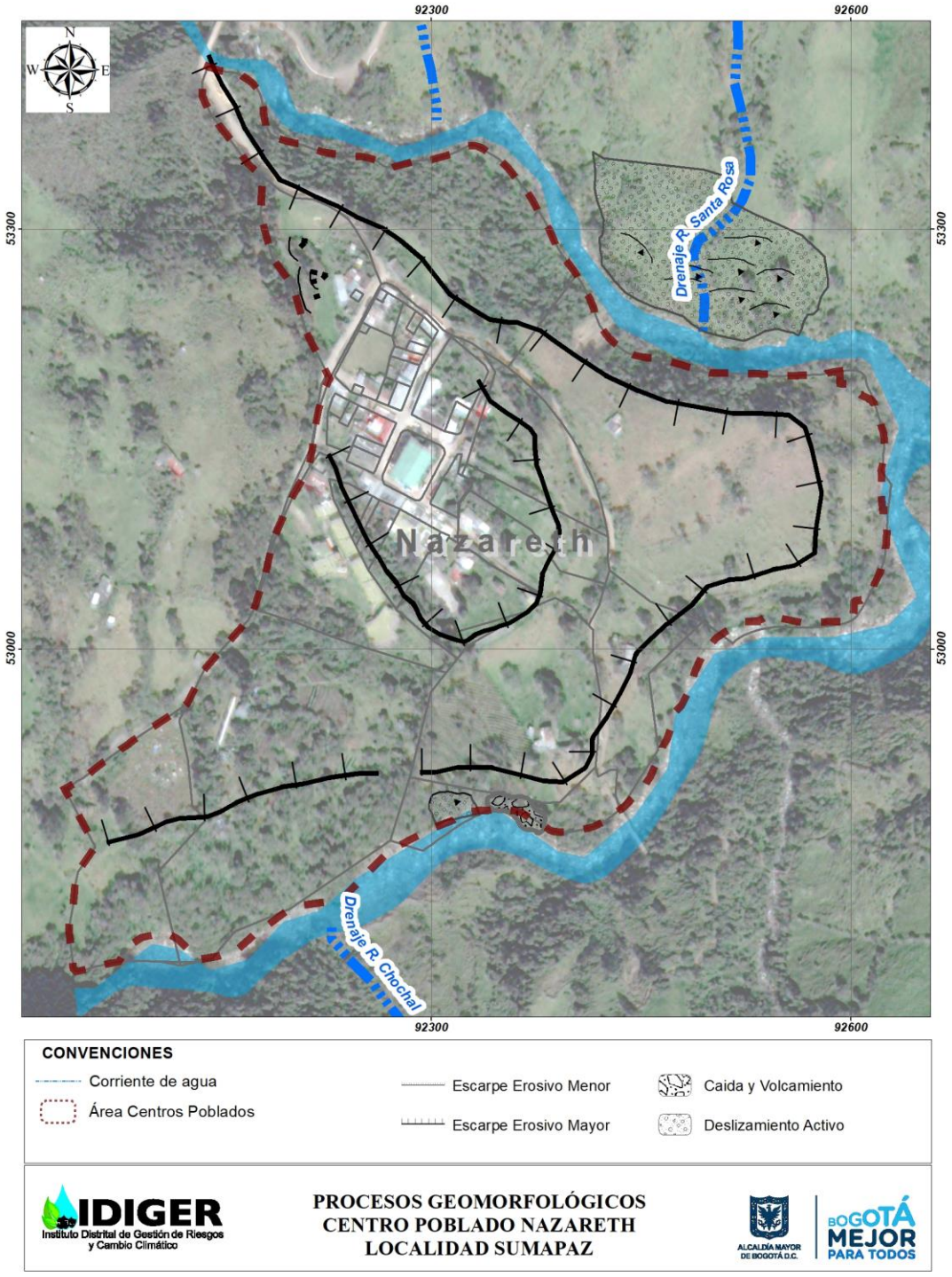
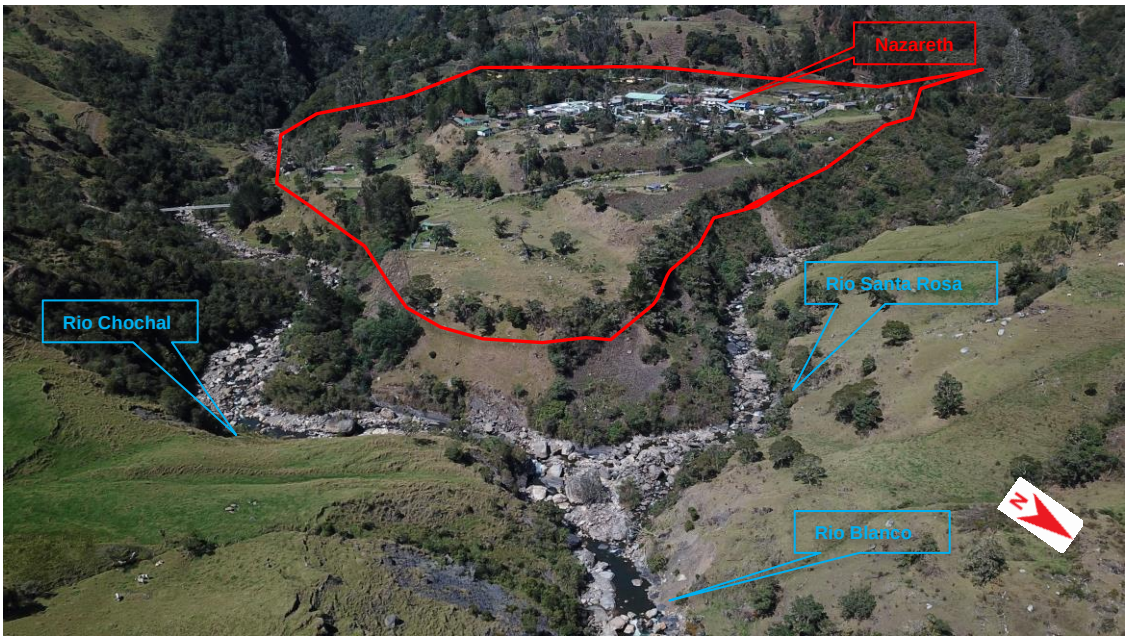


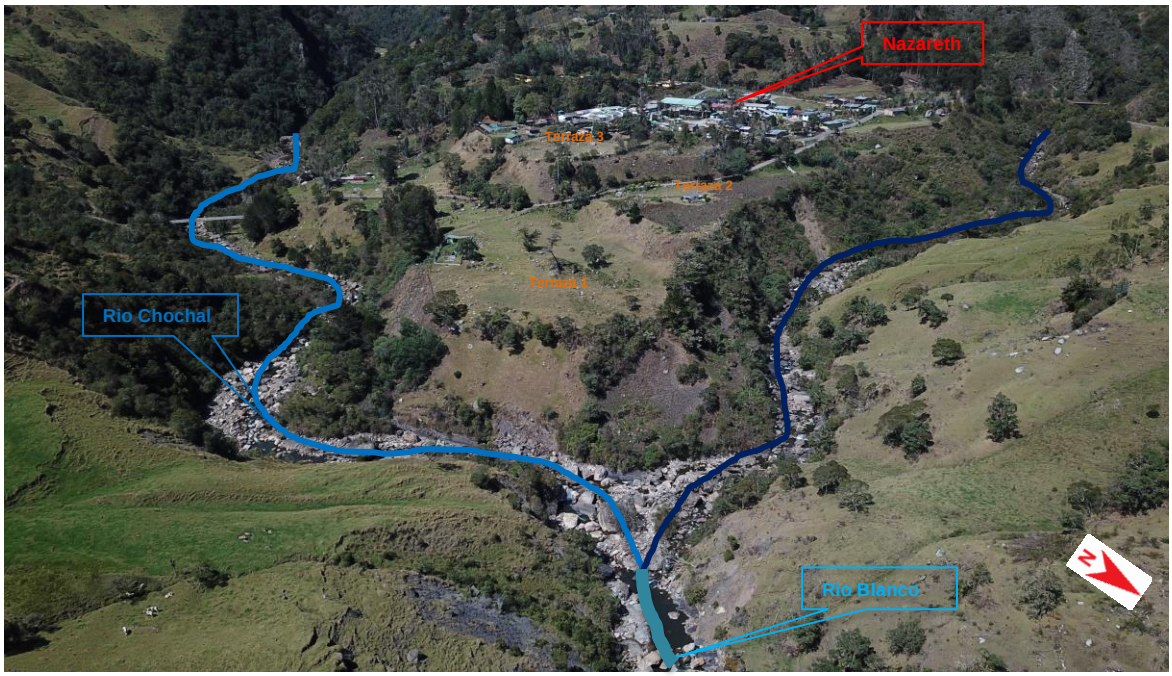
Figura 4-49. Mapa de procesos morfodinámicos construido para Nazareth.

4.4.5.2 VERIFICACIÓN EN CAMPO

Se realizó por parte de la Entidad una visita técnica al centro poblado en estudio, en la cual se hizo un vuelo con Dron para realizar verificar las condiciones de posible amenaza por avenidas torrenciales a la escala especificada. A continuación, se presenta el registro fotográfico del sector.



Fotografía 4-12. Centro Poblado Limite con afluentes



Fotografía 4-13. Centro Poblado implando sobre la geoforma mas alta (Terraza 3).

Fotografía 4-14. Ärea Construida Centro Poblado – Lejanía de los afluentes.

4.4.6 ANÁLISIS DE SEDIMENTOS

Dado que el aporte de sedimentos de algunos procesos de movimientos en masa aferentes a los cuerpos hídricos puede contribuir a la carga de sedimentos elevando los volúmenes transportados por la corriente es importante definir los procesos que pueden generar aporte de sedimentos a la creciente súbita, para esto se utiliza como insumo el inventario de procesos definido con anterioridad para la escala de trabajo. Se caracterizó cada proceso definiendo a partir de la información disponible la formación, depósito o tipo de suelo, su granulometría y su incidencia en el aporte de sedimentos conforme su ubicación frente al cuerpo de agua, trabajando como zonas de aporte directas, las aferentes en una faja paralela (buffer) de 100 m a lado y lado del cuerpo de agua. Esta distancia tenía como objeto incluir la mayor cantidad de procesos, teniendo en cuenta que la mayoría de las quebradas no tienen definida su zona de ronda propiamente dicha sino que se toma la generalidad reglamentada de los 30 m.

Según la caracterización y definición del proceso se pudo obtener el tipo de material aportante al cauce, y por tanto establecer el parámetro de concentración de acuerdo al tipo de flujo a presentarse según criterio de experto teniendo en cuenta lo presentado en la Tabla 4.38 y Tabla 4.39.

Por otra parte, en la Tabla 4.40 se presentan los parámetros reológicos utilizados en las modelaciones, donde se establecen las relaciones disponibles del esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimento de acuerdo con el estado del arte de la zonificación de amenazas por avenidas torrenciales. Para la elección del tipo de relación a utilizar se trató de validar los resultados obtenidos utilizando diferentes reologías con el registro histórico presentado en el estudio detallado de la quebrada Limas "Actualización de la Zonificación de Amenaza de Inundación y Avenidas Torrenciales de la Quebrada Limas. Localidad Ciudad Bolívar" Rogelis (2008). Como resultado de esta validación se concluyó que el mejor ajuste se obtenida al seleccionar la reología de Kang & Zhang (1980), y por tanto se toman para el modelo estos parámetros de esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos.

Tabla 4.38. Comportamiento del flujo de sedimentos como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014)

	Concentración de Sedimento		Características del flujo
	En Volumen	En Peso	
Deslizamiento	0.65 - 0.80	0.83 - 0.91	No fluye; falla por deslizamiento.
	0.55 - 0.65	0.76 - 0.83	Falla por deslizamiento con deformación interna, creep lento anterior a la falla.
Flujo de lodos	0.48 - 0.55	0.72 - 0.76	Flujo evidente, creep lento; deformación plástica bajo el peso propio del material; cohesivo, no se extiende en superficie nivelada.
	0.45 - 0.48	0.69 - 0.72	El flujo se extiende sobre superficie nivelada; flujo cohesivo; algo de mezcla.
Creciente de lodos	0.40 - 0.45	0.65 - 0.69	El flujo se mezcla fácilmente; muestra propiedades de fluido en deformación; se extiende en una superficie horizontal pero mantiene una superficie del fluido inclinada; contiene partículas de tamaño considerable; aparecen ondas pero se disipan rápidamente.
	0.35 - 0.40	0.59 - 0.65	Marcado asentamiento de gravas; se extiende casi completamente en una superficie horizontal; superficie líquida con dos fases del fluido; hay ondas que viajan en la superficie.
	0.30 - 0.35	0.54 - 0.59	Las ondas viajan fácilmente; la mayoría de la arena y grava se mueven como carga de lecho.

	0.20 - 0.30	0.41 - 0.54	Presencia de ondas; superficie fluida; todas las partículas se encuentra en el lecho.
Agua	< 0.20	< 0.41	Creciente de agua con carga en suspensión y de lecho.

Tabla 4.39. Paramentros de concentración de sedimentos en función de los procesos identificados en el búfer de 100m

PROCESOS IDENTIFICADOS	UBICACIÓN EN ZONA DE APORTE DIRECTO	CONCENCENTRACIÓN DE SEDIMIENTOS	
		EN VOLUMEN	EN PESO
Caidad de Rocas	Si	0.8-	0.91
Deslizamiento Activos	Si	0.65	0.83
Escarpe Erosivo Mayor	Si	0.4	0.65
Escarpe Erosivo Menor	Si	0.4	0.65

Tabla 4.40. Esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014)

Yield Stress and Viscosity as a Function of Sediment Concentration				
Source	$\tau_y = \alpha e^{\beta Cv}$		$\eta = \alpha e^{\beta Cv}$	
	α	β	α	β
Field Data				
Aspen Pit 1	0.181	25.7	0.0360	22.1
Aspen Pit 2	2.72	10.4	0.0538	14.5
Aspen Natural Soil	0.152	18.7	0.00136	28.4
Aspen Mine Fill	0.0473	21.1	0.128	12.0
Aspen Watershed	0.0383	19.6	0.000495	27.1
Aspen Mine Source Area	0.291	14.3	0.000201	33.1
Glenwood 1	0.0345	20.1	0.00283	23.0
Glenwood 2	0.0765	16.9	0.0648	6.20
Glenwood 3	0.000707	29.8	0.00632	19.9
Glenwood 4	0.00172	29.5	0.000602	33.1
Relationships Available from the Literature				
Iida (1938)	-	-	0.0000373	36.6
Dai et al. (1980)	2.60	17.48	0.00750	14.39
Kang and Zhang (1980)	1.75	7.82	0.0405	8.29
Qian et al. (1980)	0.00136	21.2	-	-
	0.050	15.48	-	-
Chien and Ma (1958)	0.0588	19.1-32.7	-	-
Fei (1981)	0.166	25.6	-	-
	0.00470	22.2	-	-

4.4.7 ANÁLISIS HIDRAÚLICO

- *MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN*

Para generar el modelo hidráulico bidimensional, es necesario contar con un modelo de elevación digital del terreno con un nivel muy alto de detalle, sobre el cual se hace una corrrección de drenaje.

Teniendo como entrada el DEM se construye en ArcGIS el flujo de trabajo de herramientas a utilizar con el fin de generar el DEM para ingresar el modelo hidráulico. En este flujo de trabajo se desarrollan los siguientes 3 pasos.

1. Buffer de 100 m de la corriente a modelar.
2. Modelo de Elevación Digital Tamaño a partir del modelo de elevación digital de 12 m con corrección red de drenaje extraído con buffer de 100 m corriente a modelar.
3. Modelo de Elevación Digital Tamaño corregido.

El anterior procedimiento se realizó para las cuencas que hacen parte del centro poblado.

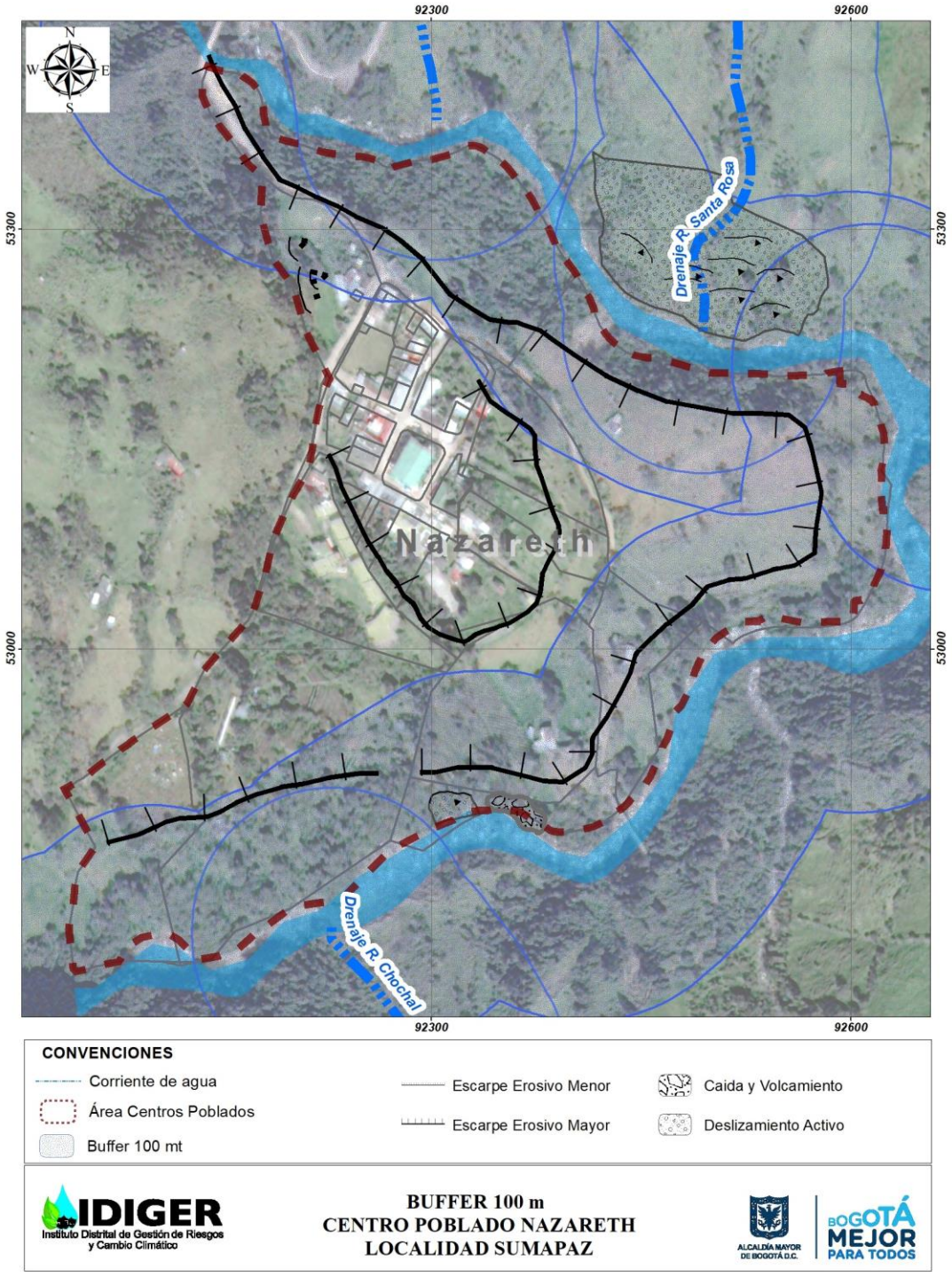


Figura 4-50: Buffer de 100 m Cuerpos de Agua Centro Poblado Nazareth

Para desarrollar el proceso metodológico y obtener el raster que será utilizado para la evaluación hidraulica de cada cuerpo de agua se utilizo la herramienta ModelBuilder de ArcGIS como se muestra en el diagrama de la Figura 4-10 . Este procedimiento inicia con la creación de un buffer por cada drenaje de la zona de estudio y a partir de este, se realiza el corte del DEM y se obtiene el archivo ASCII que permite generar la superficie del modelo hidráulico.

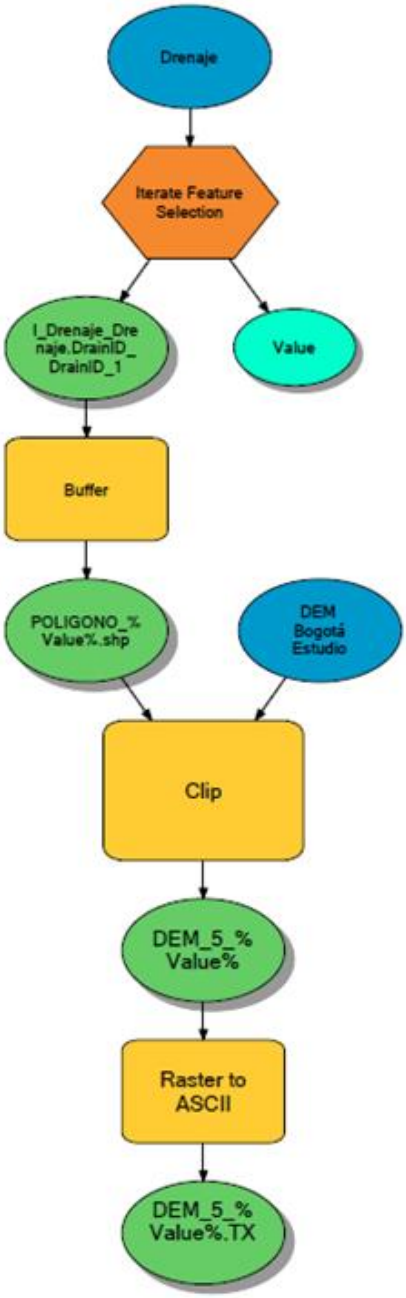


Figura 4-51: Procedimiento en ModelBuilder de ArcGIS para la Extracción Raster modelaciones

4.4.8 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES

- *RESULTADOS DE MODELACIÓN*

Retomando el flujograma metodológico, para la construcción del mapa de amenaza por avenidas torrenciales, partiendo del análisis hidrológico, una vez obtenidos los hidrogramas para las cuencas definidas, estos son incluidos en el modelo hidráulico, el cual es el resultado de la generación de las secciones transversales de cada una de las cuencas delimitadas. Adicionalmente, a partir de la relación Kang & Zhang (1980) se generan los valores del esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos los cuales son incluidos en el modelo hidráulico.

Se inicia el procesamiento en el software de elementos finitos de cada una de las cuencas que cubren el centro poblado, obteniendo alturas y velocidades del flujo para cada pixel junto con los caudales de salida que alimentan los pixeles de la cuenca aguas abajo y van generando la integración del modelo hidráulico. Al final se tiene como resultado un ráster con tamaño de pixel de 1m donde se tiene una profundidad y velocidad del flujo.

A partir de los resultados de altura y velocidades del flujo obtenidos en el modelo hidráulico se realiza la zonificación de la amenaza de acuerdo con la categorización presentada en la Tabla 4.41.

Tabla 4.41. Matriz de amenaza definida por la intensidad del proceso y su probabilidad de ocurrencia. (Matjaž, 2013)

				Probability of occurrence, *P*		
	BUWAL (1997)	Rickenmann (2005b)		High	Medium	Low
Intensity, *I*	h > 1.0 m and v > 1.0 m/s	h > 1.0 m or v > 1.5 m/s	High	**High**	**High**	**Moderate**
	h < 1.0 m or v < 1.0 m/s	h < 1.0 m and 0.4 m/s < v < 1.5 m/s	Medium	**Moderate**	**Moderate**	**Low**
	non existent	h < 0.4 m and v < 0.4 m/s	Low	**Low**	**Low**	**Very Low**
Not affected areas				**Very Low**	**Very Low**	**Very Low**

Posteriormente para la construcción del mapa de amenaza por avenidas torrenciales, una vez obtenidos los resultados de la modelación donde se generaron alturas y velocidades del flujo para cada pixel de 1m, se procedió a identificar las zonas que cumplen con las características descritas en la Tabla 4.42, para definir la categorización de la amenaza en: Alta, Media o Baja.

Tabla 4.42. Matriz para la zonificación de amenaza

ZONIFICACIÓN	DEFINICIÓN
Zonas en amenaza alta	Zona de desborde del cauce delimitada para el caudal del periodo de retorno de 100 años, con una profundidad de flujo superior a 1,0 y/o una velocidad de flujo superior a 1,5 m/s.
Zonas en amenaza media	Zona de desborde del cauce delimitada para el caudal del periodo de retorno de 100 años, con una profundidad de flujo entre 0,4 m y 1,0 m y/o una velocidad de flujo entre 0,4 y 1,5 m/s.
Zonas en amenaza baja	Zona de desborde del cauce delimitada para el caudal del periodo de retorno de 100 años, con una profundidad de flujo igual o mayor que 0 m e inferior a 0,4 m, y/o una velocidad de flujo igual o mayor que 0 m/s e inferior a 0,4 m/s.

De acuerdo con los resultados obtenidos al realizar el análisis matricial, donde se identifica la calificación de amenaza por avenidas torrenciales, se obtuvo el resultado mostrado en la Figura 4-52.

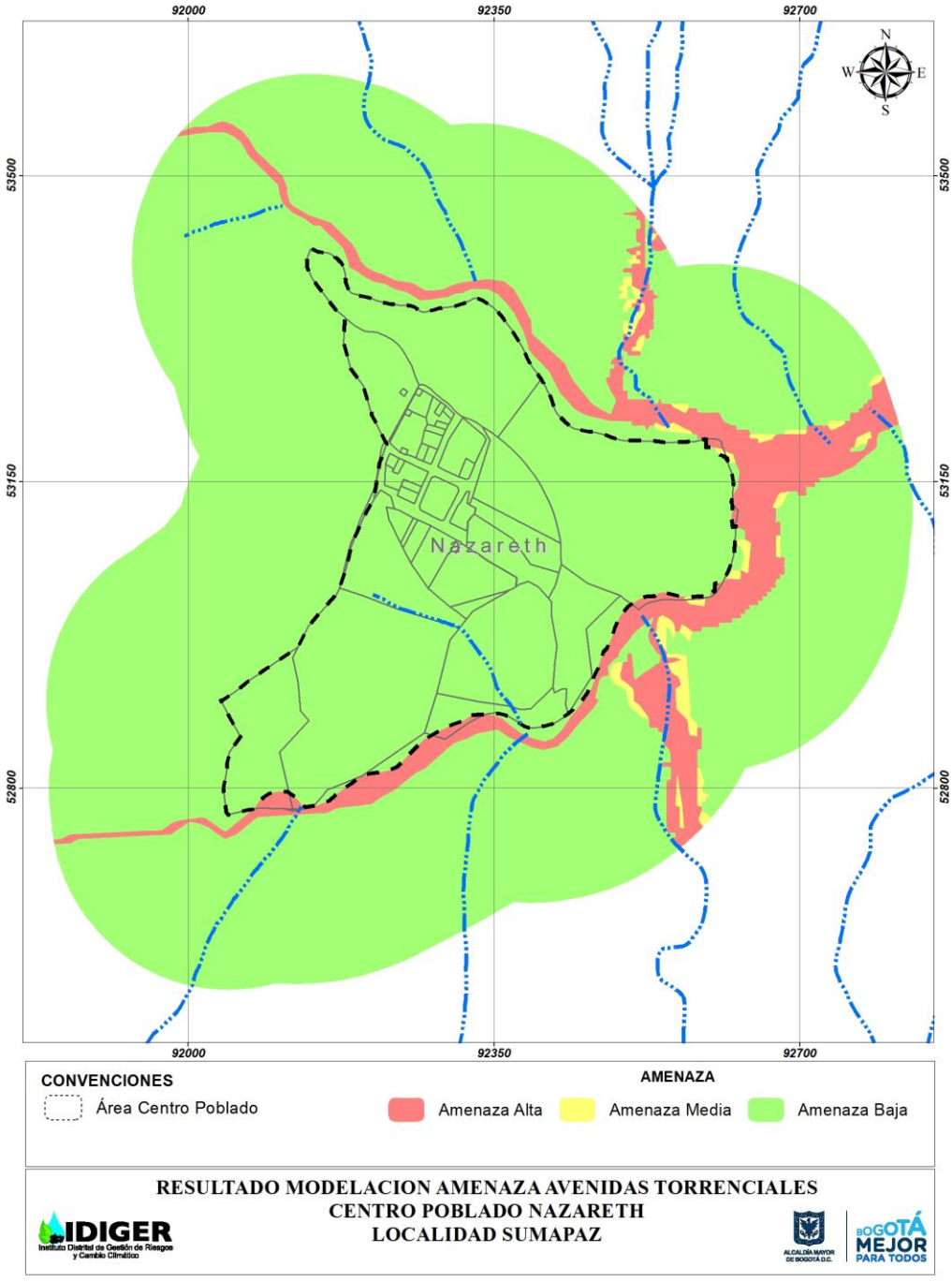


Figura 4-52. Resultado modelación de amenaza por avenidas torrenciales

4.4.9 ZONIFICACIÓN Y MAPA DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO NAZARETH

De acuerdo con los resultados de evaluación se define la amenaza por avenidas torrenciales como el área donde existe una probabilidad de ocurrencia de avenidas torrenciales con un periodo de retorno de 100 años, la intensidad del fenómeno se establece a partir de los resultados del modelo hidráulico de los cauces naturales y/o intervenidos que por sus condiciones presentan avenidas torrenciales. El modelo hidráulico desarrollado implementa los resultados de la modelación hidrológica de las cuencas asociadas a estos cauces naturales y cuya área aferente es mayor a 50 ha y la concentración de sedimentos de fenómenos de movimientos en masa que pueden incorporarse a estos cauces. Las categorías de amenaza por avenidas torrenciales se dividen en tres categorías presentadas en la Tabla 4.42 presentada anteriormente.

Teniendo en cuenta lo anteriormente descrito, se puede concluir que el área de estudio no es susceptible a la acumulación de flujos torrenciales. Se identificaron los cauces que por sus condiciones puedan tener un comportamiento torrencial, los cuales son río Chochal, río Santa Rosa y río Blanco, sin embargo por la ubicación del centro poblado con respecto a estos cuerpos de agua, a una distancia aproximada de 300 m y 200 respectivamente y por la diferencia de nivel, no se evidencia que en caso de presentarse un evento torrencial, haya afectación dentro del perímetro de dicho centro poblado.

Finalmente, teniendo en cuenta el análisis de las condiciones de amenaza por avenidas torrenciales realizado para el centro poblado de Nazareth, se concluye que este presenta un nivel inferior al considerado como bajo, pero se cateriza como amenaza baja como se muestra en la Figura 4-53.

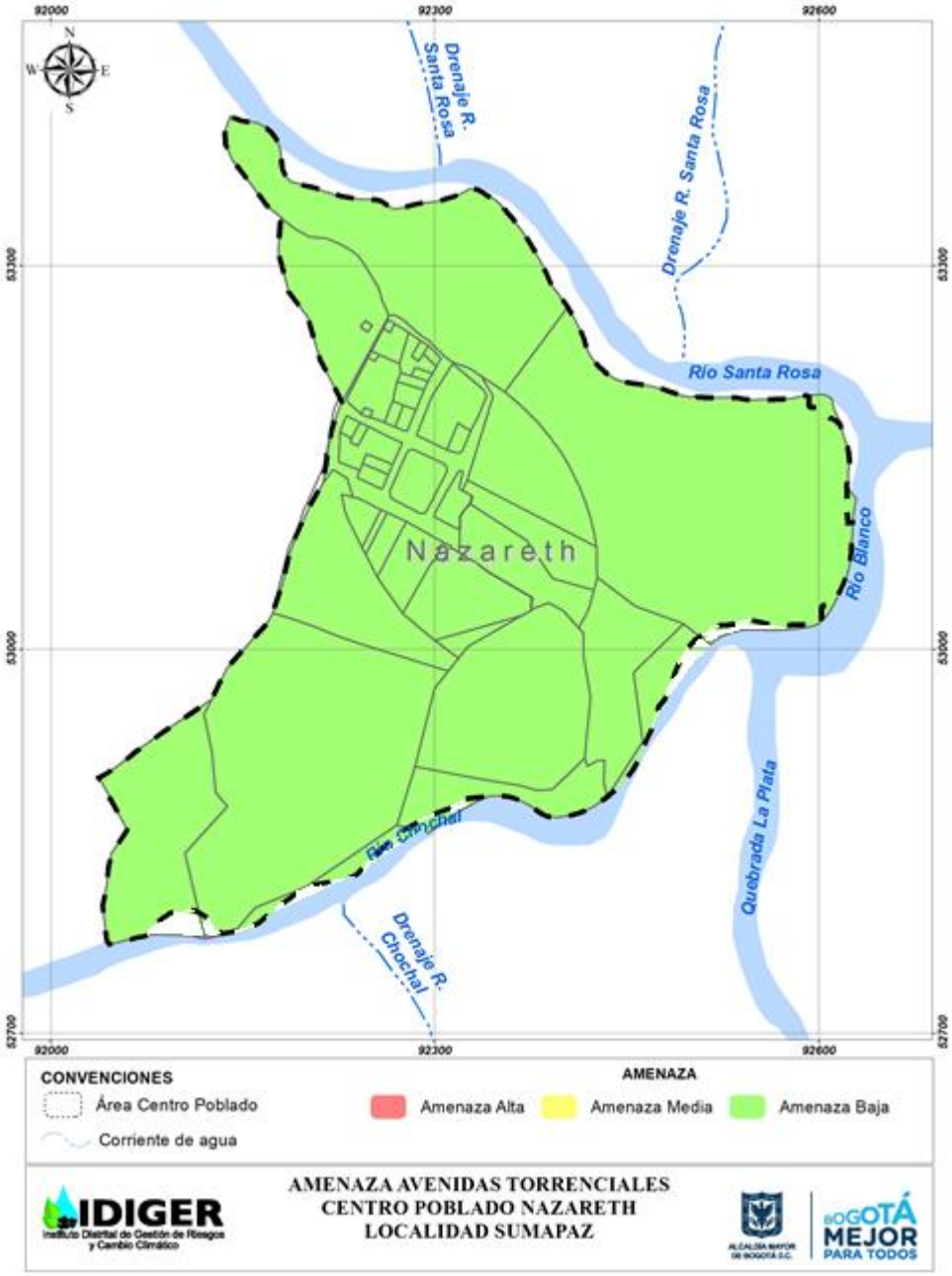


Figura 4-53. Zonificación de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado Nazareth.

Tabla 4.43. Área de amenaza en el centro poblado Nazareth

Centro poblado Nazareth	
Amenaza	**Hectáreas (Ha)**
Baja	17,9

4.4.10 ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO NAZARETH

Según el Art. 3 del Decreto 1807 de 2014, *"…las áreas con condición de amenaza son las zonas o áreas del territorio municipal zonificadas como de amenaza alta y media en las que se establezca en la revisión o expedición de un nuevo POT la necesidad de clasificarlas como suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales para permitir su desarrollo."*. Así mismo, el Art. 11 estipula que la delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza, *"con fundamento en la delimitación y zonificación de amenazas, se delimitan y zonifican aquellas áreas sin ocupar del suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales en las que en la revisión o en la expedición de un nuevo POT se proponga su desarrollo."*

Teniendo en cuenta que para el Centro Poblado Nazareth no existen áreas zonificadas como de amenaza alta y media sin ocupar, en las que en la revisión general del POT se proponga su desarrollo, no hay áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:2.000 (Figura 4-54 y Tabla 4.44).

Tabla 4.44. Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el centro poblado Nazareth

Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el centro poblado Nazareth	
Amenaza	**Hectáreas (Ha)**
Media	0,0
Alta	0,0

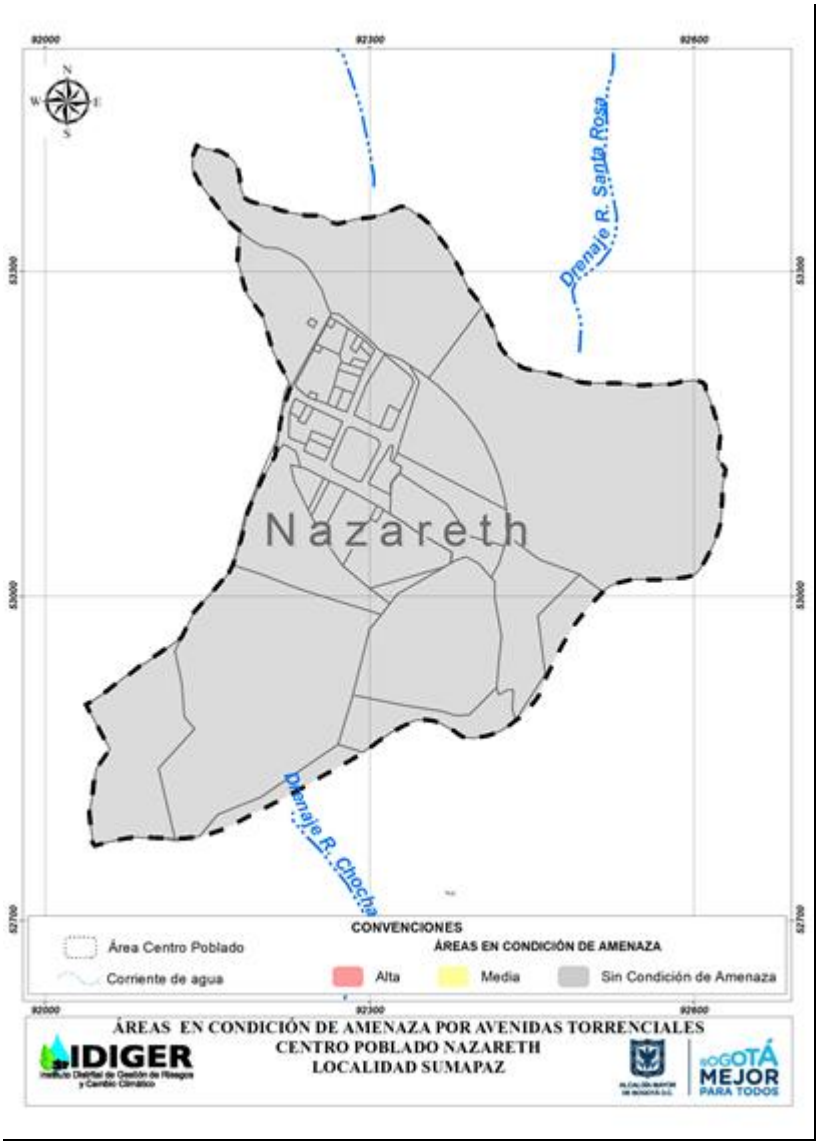


Figura 4-54: Mapa de áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado Nazareth

4.4.10.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de Amenaza en centro poblado Nazareth

No hay condicionamientos o restricciones dado que no hay áreas con condición de amenaza.

4.4.11 ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO NAZARETH

Según el Art. 3 del Decreto 1807 de 2014, las áreas con condición de riesgo *"corresponden a las zonas o áreas del territorio municipal clasificadas como de amenaza alta que estén urbanizadas, ocupadas o edificadas así como en las que se encuentren elementos del sistema vial, equipamientos (salud, educación, otros) e infraestructura de servicios públicos..."*. Indica además en su Art. 12, como se mencionó anteriormente, que para definir estas zonas se deben identificar *"…la existencia de elementos expuestos, de áreas urbanizadas, ocupadas o edificadas así como de aquellas en las que se encuentren edificaciones indispensables y líneas vitales."*

No hay áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado Nazareth, dado que las construcciones, equipamientos e infraestructura no se encuentran en amenaza alta por avenidas torrenciales (Figura 4-55 y Tabla 4.45).

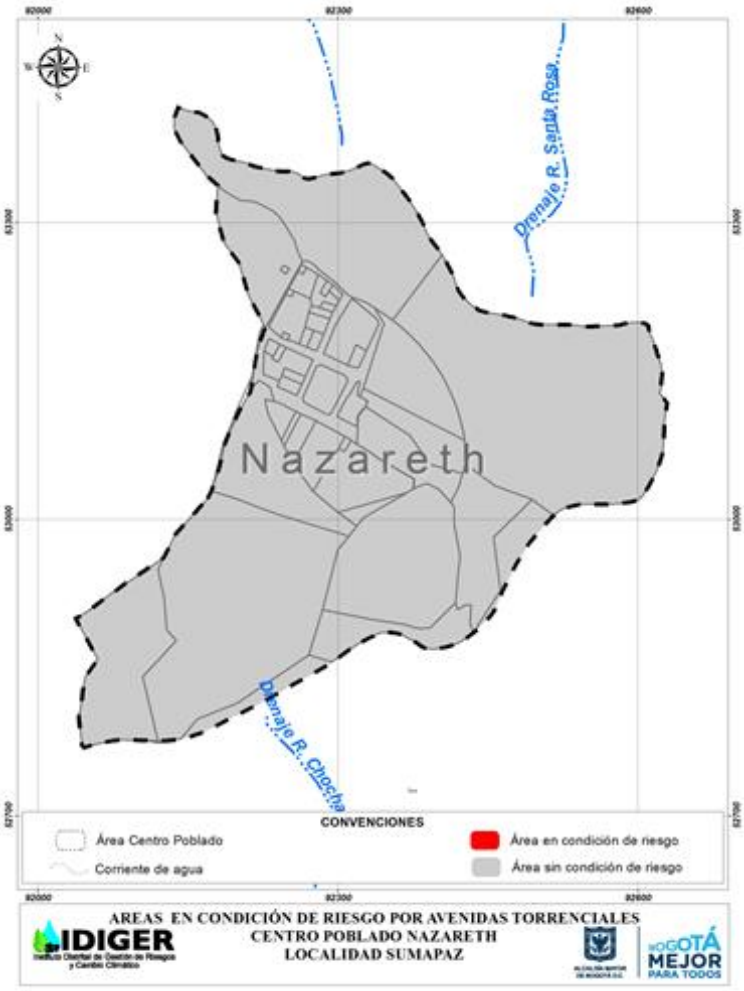


Figura 4-55: Mapa de áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en centro poblado Nazareth.

Tabla 4.45. Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado Nazareth

Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado Nazareth	
Amenaza	**Hectáreas (Ha)**
Alta	0,0

4.4.11.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de Riesgo por avenidas torrenciales en centro poblado Nazareth

No hay condicionamientos o restricciones dado que no hay áreas con condición de riesgo.

4.4.12 ESTUDIOS DETALLADOS DE RIESGO EN ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO NAZARETH

Los estudios detallados de riesgo en sectores aledaños por avenidas torrenciales al centro poblado Nazareth, están contemplados en la priorización de estudios detallados de ríos y quebradas en las áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en en el suelo rural, los cuales se realizarán en el largo plazo, los cuales permitirán conocer en detalle la amenaza y riesgo de los sectores cercanos al centro poblado en amenaza media y alta.

4.5 AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO BETANIA

4.5.1 ÁREA DE ESTUDIO

El centro poblado se encuentra ubicado al nororiente de la Localidad de Sumapaz, en la UPR 4 Rio Blanco, como se ve en la Figura 4-56, se localiza en suelo rural, sobre la vía que conduce al Parque Natural del Sumapaz a aproximadamente 55 Km de Usme. Su perímetro encierra un área de 99.564,5 m² en una ladera de pendiente irregular, ondulada, dedicada especialmente a pastos y cultivos, con algunas construcciones de infraestructura y vivienda.

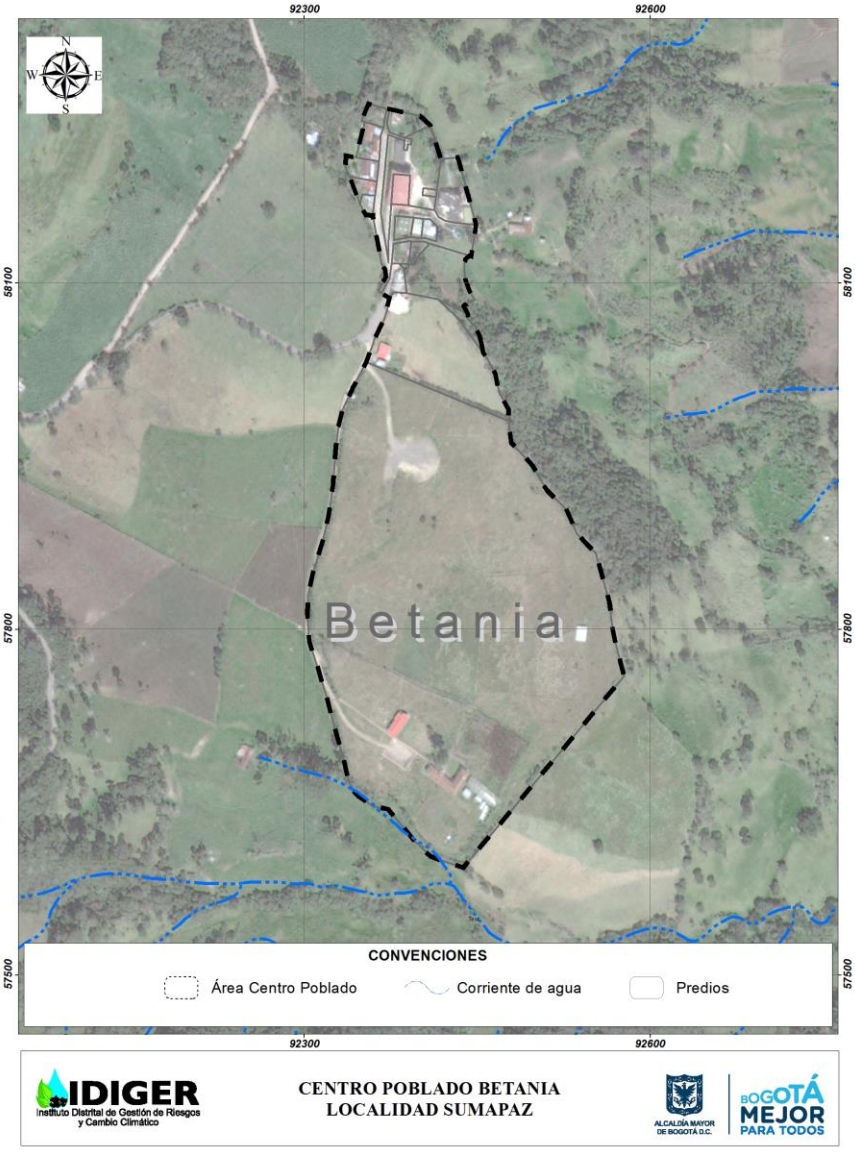


Figura 4-56. Localización general del Centro Poblado Betania, Localidad del Sumapaz.

En la Figura 4-56, se presenta la ubicación del centro poblado Betania y la zonificación de amenaza por avenidas torrenciales en suelo rural, en la cual se observa que no existe influencia de la amenaza por avenidas torrenciales en el perímetro del centro poblado.

4.5.2 INSUMOS

A continuación, se describen los insumos básicos que se tomaron como punto de partida para el desarrollo del análisis de amenaza por avenidas torrenciales, de acuerdo con lo dispuesto en el Art. 10 del Decreto 1807, donde se indica que, para los estudios básicos de amenaza por avenidas torrenciales en centros poblados, se deben realizar a escala 1:2.000.

4.5.2.1 CARTOGRAFÍA BASE

Para la cartografía base utilizada tal como lo establece el Decreto 1807 de 2014 (compilado por el Decreto 1077 de 2015), se verificó que contuviera entre otros: coordenadas, curvas de nivel, drenajes, red vial, infraestructura y equipamientos, asentamientos humanos. A partir de lo anterior para la cartografía se tiene lo siguiente:

A SISTEMAS DE COORDENADAS

Sistema de Coordenadas Proyectadas - Cartesianas: Magna Bogotá
Proyección: Transversal de Mercator
Falso Este: 92324,879
Falso Norte: 109320,965
Longitud Meridiano Central: -74,14659167
Latitud de origen: 4,680486111
Factor de escala: 1
Sistema de Coordenadas Geográfica GCS CarMAGBOG
Meridiano de Greenwich
Datum CGS_CARMAGBOG
Elipsoide: GRS80 Mod
Semieje Mayor: 6380687
Semieje Menor: 6359293,764473119
Achatamiento: 298,257222101

B ESCALA

De acuerdo con el Artículo 10 del Decreto 1807 de 2014 (compilado por el Decreto 1077 de 2015) la base cartográfica que se emplea para la presente zonificación corresponde con una escala 1:2.000.

C GEODATABASE SECRETARÍA DISTRITAL DE PLANEACIÓN SDP

La cartografía base fue tomada de la geodatabase con la información geográfica de la Secretaría Distrital de Planeación.

D LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS DE CENTROS POBLADOS RURALES PRIORIZADOS POR LA SDHT.

Mediante el contrato "*LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS DE CENTROS POBLADOS RURALES PRIORIZADOS POR LA SDHT Y GENERAR LA RESPECTIVA CARTOGRAFÍA ASOCIADA"* (2015) contratado por la SDHT, se generó la topografía detallada de centros poblados cuyo resultado son curvas de nivel cada 0.50m.

Esta información y sus bases de datos fueron insumo para la generación de los estudios realizados a escala 1:2000 para del centro poblado.
.

4.5.2.2 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN

Se utilizó el Modelo Digital de Elevación – DEM generado de 2 x 2 metros, a partir de la información disponible, para realizar la delimitación las cuencas aferentes y el cálculo de algunos parámetros morfométricos de las mismas, los cuales son de gran utilidad para determinar el comportamiento de las cuencas ante eventos de lluvias máximas.

Para esto se realizó la recolección de modelos digitales de Elevación disponibles para el área de estudio, la cual se resume a continuación:

Tabla 4.46. Modelos Digitales de Elevación

Nombre	Fuente	Año	Resumen
Modelo digital de elevación DEM	SDP		1m
	SDHT	2015	0.5m

Los Modelos Digitales de Elevación que se usaron para para la obtención de la amenaza del centro poblado Betania, proviene de la información contenida en el estudio "*LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS DE CENTROS POBLADOS RURALES PRIORIZADOS POR LA SDHT Y GENERAR LA RESPECTIVA CARTOGRAFÍA ASOCIADA.*"

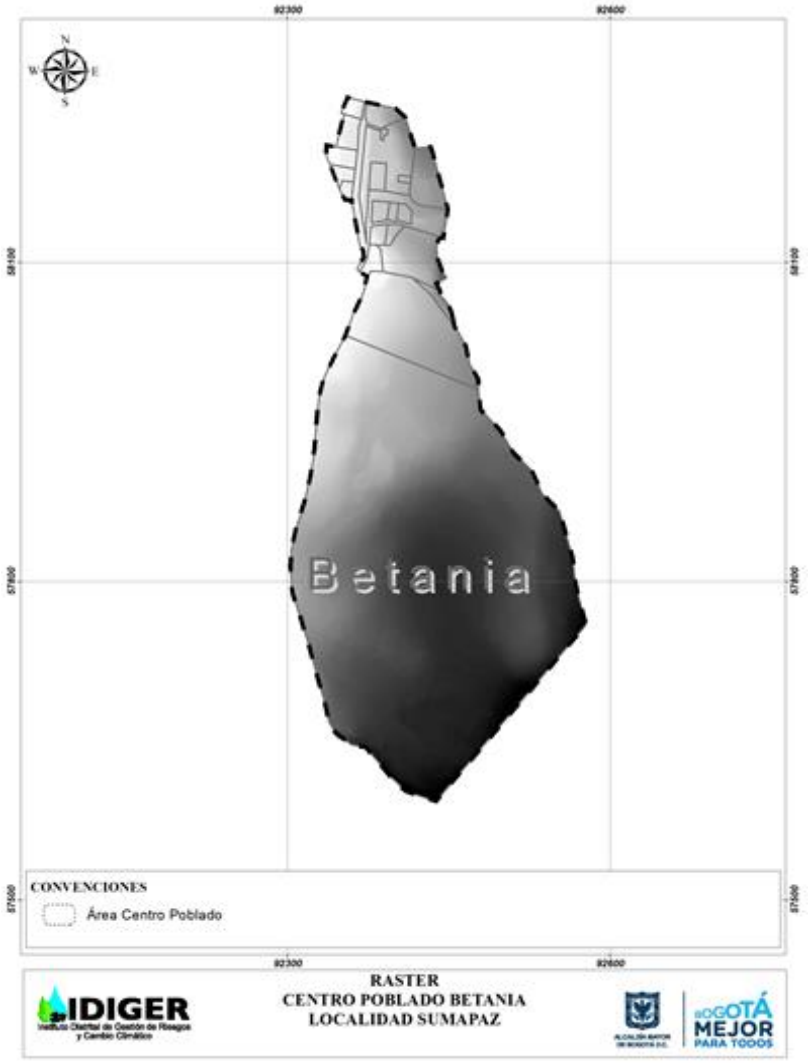


Figura 4-57: Modelo Digital del Elevación del centro poblado Betania

4.5.2.3 GEOMORFOLOGÍA

El estudio geomorfológico permite identificar cuales de las unidades correspondientes al Centro Poblado Betania son susceptibles a la generación de los procesos de avenidas torrenciales los cuales contribuyen a la delimitación de las zonas de estudio y su correspondiente delimitación de amenaza final. La geomorfología es presentada en detalle dentro del análisis geomorfológico.

4.5.3 METODOLOGÍA

Con el fin de construir el esquema metodológico usado en la generación del mapa de amenaza por avenidas torrenciales, se partió de una revisión de las metodologías de evaluación de amenaza enfocado en la armonización tanto en alcance, nivel de información disponible y calidad de los resultados para definir los procedimientos y actividades a ejecutar para lograr un producto cartográfico ajustado a los requerimientos técnicos exigidos en la normatividad vigente (Decreto 1807 de 2014).

4.5.3.1 ESQUEMA METODOLÓGICO

El esquema metodológico se divide en tres análisis principales: (Ver Figura **4-58**)

1. Análisis Geomorfológico
2. Análisis Hidrológico
3. Análisis de Sedimentos
4. Análisis Hidráulico

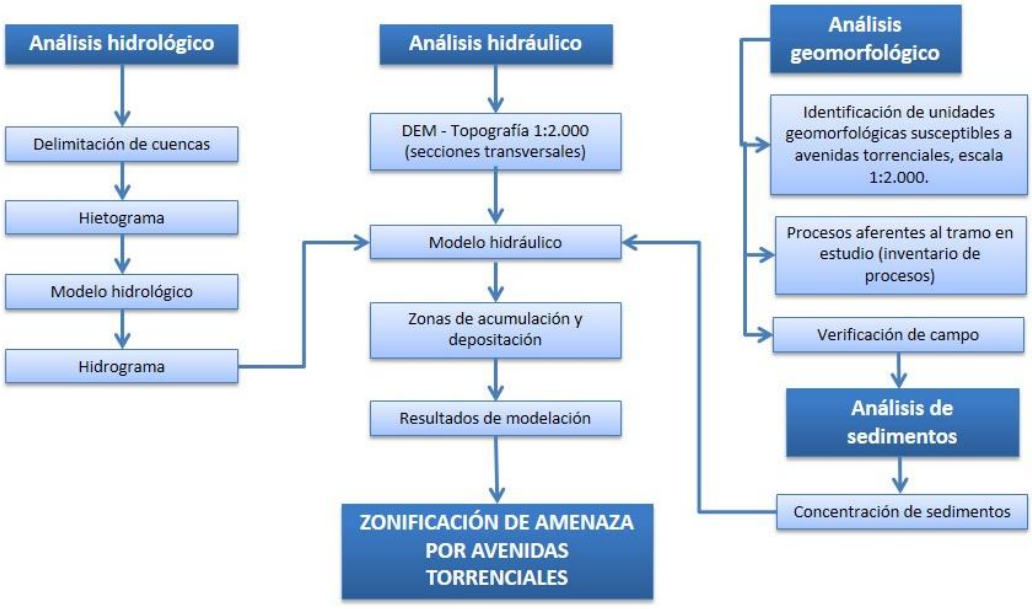


Figura 4-58. Esquema metodológico

El análisis hidrológico inicia con la delimitación de las cuencas aferentes al tramo de río o quebrada que se analiza a partir del modelo de elevación digital de la cuenca, posteriormente se estima el hietograma de precipitación bajo un escenario de periodo de retorno determinado el cual es el insumo de entrada para el modelo hidrológico que proporciona los hidrogramas de entrada del modelo hidráulico.

El análisis geomorfológico consiste en la revisión e identificación de la geomorfolgía a escala 1:2000 de las unidades de potencial acumulación de flujo.

El análisis de sedimentos parte del mapa de procesos geomorfológicos identificados que se encuentran cerca del tramo de rio o quebrada que se analiza, la concentración de sedimentos se determina de acuerdo con la literatura especializada identificada durante la revisión del estado del arte asignando un valor promedio a cada tipo de proceso.

El análisis hidráulico toma como entrada el hidrograma resultado del análisis hidrológico y la concentración de sedimentos del análisis de sedimentos, con estas variables de entrada transita el hidrograma en el modelo de elevación digital del terreno del tramo de rio o quebrada que se analiza, obteniendo como resultado las velocidades y profundidades máximas alcanzadas en cada una de las celdas del modelo de elevación digital del tramo en estudio, estos valores de velocidad y profundidad se categorizan de acuerdo a la condición de amenaza que representan.

4.5.4 ANÁLISIS HIDROLÓGICO

El análisis hidrológico comprende dos etapas, la primera es la delimitación de las cuencas hidrográficas en el área de estudio y la segunda, el modelo lluvia escorrentía que permite la estimación de hidrogramas que serán la entrada del modelo hidráulico. A continuación, se presenta los pasos seguidos en las dos etapas y sus respectivos resultados.

Para obtener la delimitación de cuencas se parte del Modelo de Elevación Digital (DEM) de la zona de estudio, en este caso se cuenta con un DEM proyectado en coordenadas geográficas. Este DEM requiere ser proyectado en coordenadas planas con el fin de tener la geometría plana adecuada para el cálculo de áreas y distancias de las cuencas generadas.

El DEM proyectado cubre un área de mayor extensión que el área de estudio, , con el fin de delimitar solamente las cuencas que drenan a esta área . Este buffer se obtuvo mediante pruebas de sensibilidad con diferentes distancias, con el objetivo de cubrir el área que hidrológicamente tiene algún aporte a las cuencas que se encuentran dentro del perímetro del distrito y que garantiza que éstas drenen completamente en el modelo hidráulico.

Por otra parte, El DEM contiene errores inherentes a este tipo de producto, por tanto se debe corregir con la cartografía adecuada para que el resultado de la delimitación de cuencas se aproxime a la red de drenaje real. Para lograr este objetivo se cuenta con la cartografía del sistema hídrico en coordenadas geográficas, al igual que se realizó con el DEM, se efectuó la proyección del sistema hídrico y se extrae la red hídrica l.

Dado que la corrección del DEM se puede realizar con el shape tipo polígono o tipo línea, se ha optado por convertir los polígonos a líneas y de esta forma modificar solo las riberas de los ríos que en la cartografía son representados mediante polígonos, el resultado de la conversión del sistema hídrico de polígonos a línea.

4.5.4.1 Cuencas Hidrográficas

Teniendo como entrada el DEM y el sistema hídrico ajustados previamente, se construye en ArcGIS el flujo de trabajo de herramientas a utilizar, con el fin de delimitar las cuencas

hidrográficas del área de estudio. En este flujo de trabajo se desarrollan los siguientes 11 pasos.

1. Para poder generar la red de drenaje a partir del DEM es necesario profundizar el DEM en aquellas zonas donde se encuentran ubicados los ríos de acuerdo a la cartografía. En este paso, se realizó la profundización en las zonas donde se encuentran los ríos dibujados como tipo línea.

2. Este paso es similar al anterior, sin embargo, la profundización se realizó en las zonas donde se encuentran los ríos dibujados como tipo polígono, pero solo en las riberas convertidas en líneas.

3. El DEM debe ser hidrológicamente apropiado, es decir, que todas las celdas del DEM drenen a un punto de salida. Para poder generar un DEM hidrológicamente apropiado se deben rellenar los pozos o celdas que no permiten que se genere adecuadamente la red de drenaje.

4. Teniendo en cuenta la pendiente más favorable para el flujo, se genera un valor de dirección de flujo para cada celda del DEM.

5. Teniendo en cuenta la dirección de flujo de cada celda es posible calcular el número de celdas que drenan a determinada zona, con estos valores se genera el ráster de acumulación de flujo.

6. Un parámetro importante en la definición de corrientes es el número de celdas que generan el inicio de un cauce, para este análisis hidrológico se tomó el equivalente a 0.5 km^2 como el valor en el cual se genera una corriente. Este valor se obtuvo mediante pruebas de sensibilidad buscando el tamaño adecuado de cuencas que se ajustaba a la escala de trabajo.

7. Considerando el ráster de acumulación de flujo y el número de celdas que generan el inicio de un cauce, se obtuvieron las corrientes hídricas. Posteriormente, se dividen las corrientes teniendo en cuenta que los tramos de las mismas no tengan confluencias con otras corrientes.

8. De acuerdo con los tramos de cauces obtenidos en el paso anterior, se genera la delimitación automática de cuencas.

9. El Ráster generado en el paso anterior se debe trasformar en formato shape para cálculos posteriores.

10. La segmentación de corrientes obtenida en el paso 6, se debe transformar en formato shape para cálculos posteriores.

11. Las cuencas hidrográficas con área aferente acumulada es el resultado final en la delimitación de cuencas del área de estudio.

Para realizar el análisis sólo en las cuencas que se encuentran en el área de estudio y dado que el procedimiento anterior no tiene en cuenta los efectos de la urbanización en la red de drenaje, se deben estimar o corregir las cuencas obtenidas de acuerdo a esta consideración. Para ello se determinan los puntos de cierre de cuencas que dependen del orden de drenaje dentro de la cuenca.
Para la generación de cuencas y delimitar el área de estudio se desarrollan los siguientes 4 pasos.

1. En el primer paso se vinculan los puntos de cierre de cuencas con el ráster de acumulación de flujo generado anteriormente.
2. De acuerdo con el ráster de acumulación de flujo se recortan las cuencas tipo Ráster.
3. Las cuencas del paso anterior se convierten en polígonos
4. El último paso une las cuencas aferentes que puedan quedar separadas al convertir el ráster de cuencas a polígono

El resultado del procedimiento anterior es la generación de cuencas que cubren el área de estudio.

.

Teniendo como entrada el modelo de elevación digital proyectado, se construye en ArcGIS el flujo de trabajo de herramientas a utilizar con el fin de generar las subcuencas hidrográficas del área de estudio. En este flujo de trabajo se desarrollan los mismos 11 pasos que fueron descritos anteriormente.

1. Corrección DEM mediante red de drenaje tipo línea.
2. Corrección DEM mediante red de drenaje tipo polígono.
3. Modelo de Elevación Digital Hidrológicamente Corregido.
4. Dirección de Flujo.
5. Acumulación de Flujo.
6. Red de Drenaje Generada Tipo Ráster.
7. Red de Drenaje Generada Tipo Ráster Vinculada.
8. Cuencas hidrográficas Tipo Ráster.
9. Cuencas hidrográficas Tipo Polígono.
10. Red de Drenaje Generada Tipo Línea.
11. Cuencas hidrográficas Acumuladas Tipo Polígono.

Cabe aclarar que uno de los parámetros importantes para la definición de las subcuencas es el número de celdas que generan el inicio de un cauce, para este análisis hidrológico se tomó el equivalente a 0.5 km^2 como el valor en el cual se genera una corriente, el resultado del este procedimiento fue la generación de las subcuencas que cubren el área del perímetro del centro poblado (Figura 4-70).

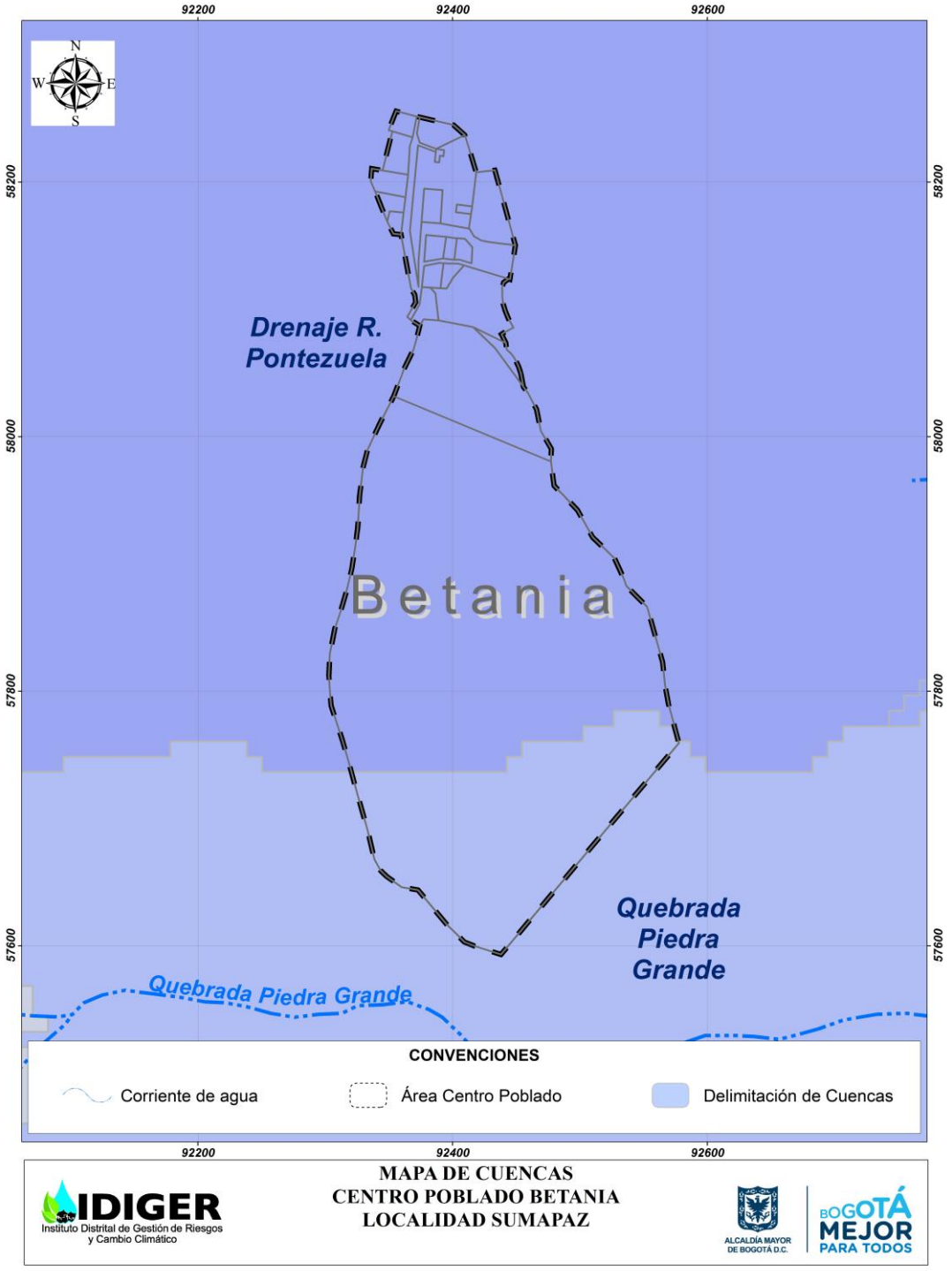


Figura 4-59. Cuencas analizadas en el centro poblado Betania.

4.5.4.2 Morfometría

Para el análisis de susceptibilidad de una cuenca a un evento torrencial, se llevó a cabo la evaluación de varios parámetros morfométricos, teniendo cuenta que estos parámetros son indicadores de las características de la cuenca relacionadas con el pico de las crecientes y su producción de sedimentos.

A continuación, se describe los parámetros morfométricos calculados y analizados

A Pendiente

Tiene una influencia significativa en la generación de avenidas torrenciales (Smith, 2003). Esta característica controla en buena parte la velocidad con que se da la escorrentía superficial y afecta, por tanto, el tiempo que requiere el agua lluvia para concentrarse en los lechos fluviales que constituyen la red de drenaje de las cuencas.

B Orden de corriente

En orden de corrientes depende del número de afluente que contenga el cauce principal, por lo tanto, los de primer orden son todos aquellos que no tengan afluentes. Cuando se unen dos cauces de primer orden forman un cauce de segundo orden y así sucesivamente.

C Longitud de Flujo

La Longitud de flujo está definida como la distancia horizontal, medida a lo largo del cauce principal, entre el punto de salida de la cuenca y el límite definido para la cuenca.

4.5.4.3 Modelo Lluvia – Escorrentia

La segunda etapa del análisis hidrológico consiste en el cálculo de los hidrogramas a partir del modelo lluvia – escorrentía, este hidrograma servirá de entrada al modelo hidráulico. Para obtener los eventos de precipitación se utilizó la caracterización de tormentas y actualización de curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia IDF desarrolladas por la EAB, para este fin las cuencas se subdividieron en dos grupos, el primero aquellas cuencas cuyo centroide se encontrara a por lo menos una distancia inferior a diez kilómetros de alguna de las estaciones utilizadas en dicho estudio y un segundo grupo en el cual el centroide de las cuencas se encontrara a una distancia superior a diez kilómetros de alguna de las estaciones utilizadas en el estudio de la EAB (

Para el primer grupo de estaciones se utilizó la curva IDF de la estación más cercana al centroide de la cuenca obtenidos mediante el estudio de la EAB. Para el segundo grupo de estaciones se calculó las curvas sintéticas IDF asociadas al centroide de la cuenca, siguiendo el método de Vargas (1998), el cual se encuentra específicamente formulado para Colombia y cuya ecuación se enuncia a continuación:

$$I = a\frac{{T_r}^b}{t^c}M^d N^e PT^f ELEV^g$$

Siendo:
I: Intensidad (mm/h).
T_r: Período de retorno (años).
t : Duración de la precipitación, (horas).
M: Promedio del valor máximo anual de precipitación diaria (mm).
N: Promedio de número de días anuales con precipitación.
PT: Promedio de precipitación media anual (mm).
ELEV: Elevación de la estación meteorológica de medición (msnm).
a, b, c, d, e, f, y g :Son coeficientes propios de la ecuación que varían según la ubicación regional de la estación y de la cantidad de variables disponibles. Para el caso se utilizaron los recomendados por el autor del método.

En la siguiente tabla se presentan los valores correspondientes a cada parámetro calibrado para la región Andina de acuerdo con Vargas (1998).

Tabla.47. Parámetros del método de Vargas para la región Andina

a	b	c	d	e	f	g
1,64	0,19	0,65	0,73	-0,13	0,08	-0,01

Las abstracciones de la precipitación fueron calculadas a partir del método de abstracciones del Soil Conservation Service SCS o Método del Número de curva. Para esto se tuvo en cuenta la cartografía disponible suministrada por SDP en cuanto a coberturas de suelo siguiendo la metodología CORINE Land Cover además de la clasificación del grupo hidrológico del suelo, de acuerdo con el mapa geológico de la zona de estudio, definidos por tipo según su capacidad de infiltración.

Con el evento de precipitación obtenido a partir de las curvas IDF utilizando el método de bloque alterno y las abstracciones calculadas con el método de número de curva se obtienen los hidrogramas que servirán de entrada al modelo hidráulico. El Caudal Pico de estos hidrogramas según las cuencas asociadas al área de estudio se presenta en la Figura 4-60.

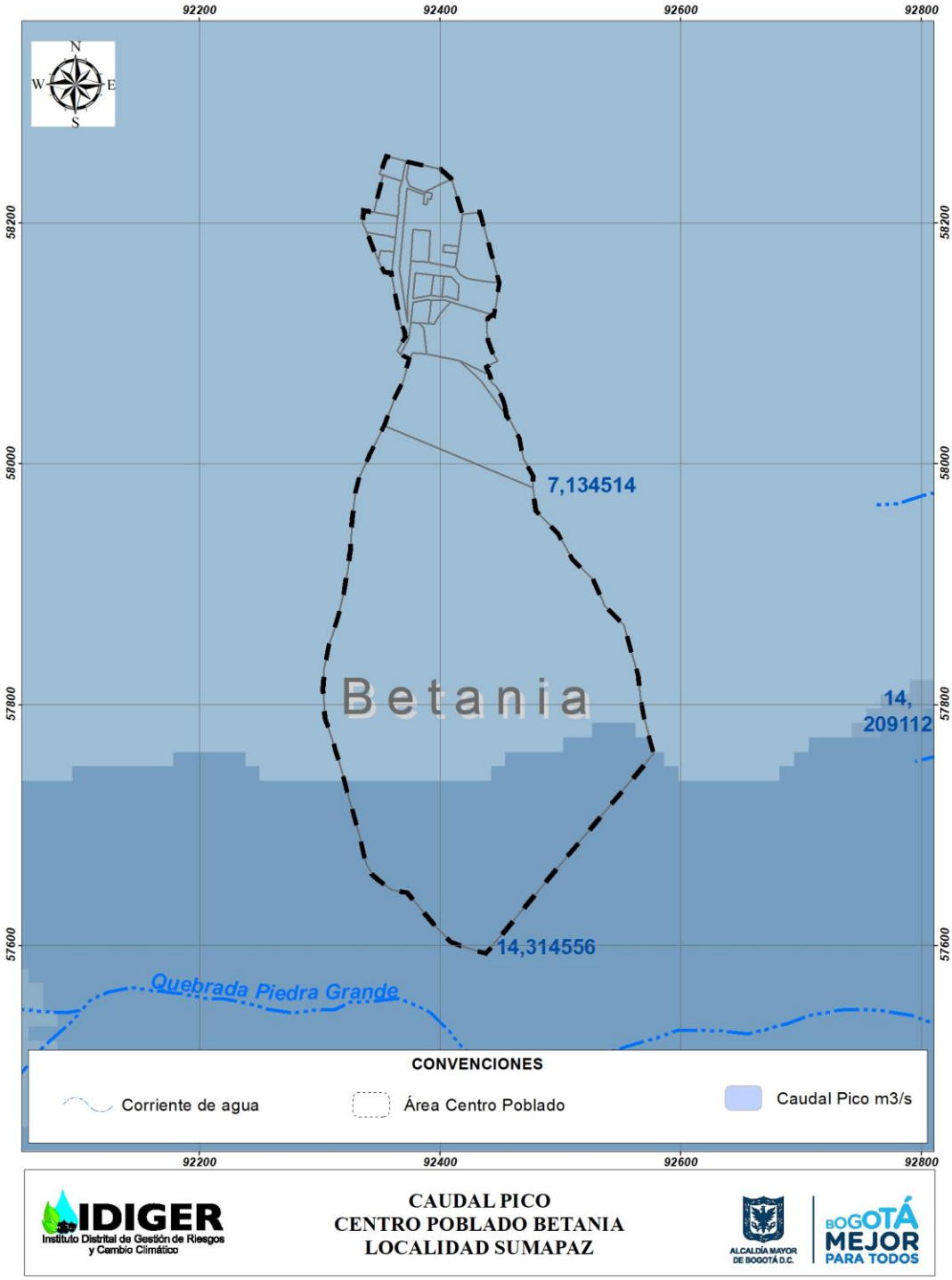

92200
92400
92600
92800
58200
58000
57800
57600
N
W
E
S
7,134514
Betania
14,
209112
14,314556
Quebrada Piedra Grande
CONVENCIONES
Corriente de agua
Área Centro Poblado
Caudal Pico m3/s
IDIGER
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático
CAUDAL PICO
CENTRO POBLADO BETANIA
LOCALIDAD SUMAPAZ
ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS

Figura 4-60. Caudales Pico Según Cuencas analizadas en el centro poblado Betania.

4.5.5 ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

Dentro del centro poblado, las unidades geomorfológicas que se presentan se muestran en la Figura 4-61, el detalle del proceso de contruccción del levantamiento geomorfológico se presenta en el Documento Técnico de Sopórte del Mapa De Amenaza Por Movimientos En Masa En Perspectiva De Cambio Climático Zona Rural.

Gemorfológicamente, el sector corresponde a conos o lóbulos coluviales, y se caracteriza por su morfología lobulada, topografía baja, formas convexas o irregulares, con inclinaciones desde inclinadas a muy abruptas, formadas por procesos de transporte y deposición de materiales sobre las laderas producto de procesos hidrogravitacionales.

Están constituidos por bloques y fragmentos heterogéneos de la Formación Chipaque embebidos en matriz generalmente arcillosa a areno limosa.

El centro poblado se ubica sobre esta geoforma, la cual se encuentra cubierta en su totalidad por pastos propicios para actividades como la ganadería y la agricultura, desarrollando un patrón de drenaje subdendrítico, y presentando movimientos en masa tales como reptación y flujos de detritos entre otros.

El polígono de estudio, limita al sur con la quebrada Piedra Grande, a una distancia aproximada de 600 m, donde se evidencia un contraste de relieve que hace referencia a la diferencia de 33 m de altitud de la geoforma entre la parte más alta y más baja.

De acuerdo con la geomorfologia a escala 1:2000 y partir de las unidades presentes se realizó en función de la morfogenésis y la morfodinámica, la identificación de la susceptibilidad a avenidas torrenciales, mediante un análisis basado en las morfoestructuras de región, unidad, subunidad y componente, con el fin de realizar la identificación de unidades de origen fluviotorrencial presentes en el área de estudio y determinar zonas susceptibles a la depositación y acumulacion de flujo o generación de sedimentos, previo a la validación mediante el modelo hidráulico, encontrando la siguiente categorización (Tabla 4.56):

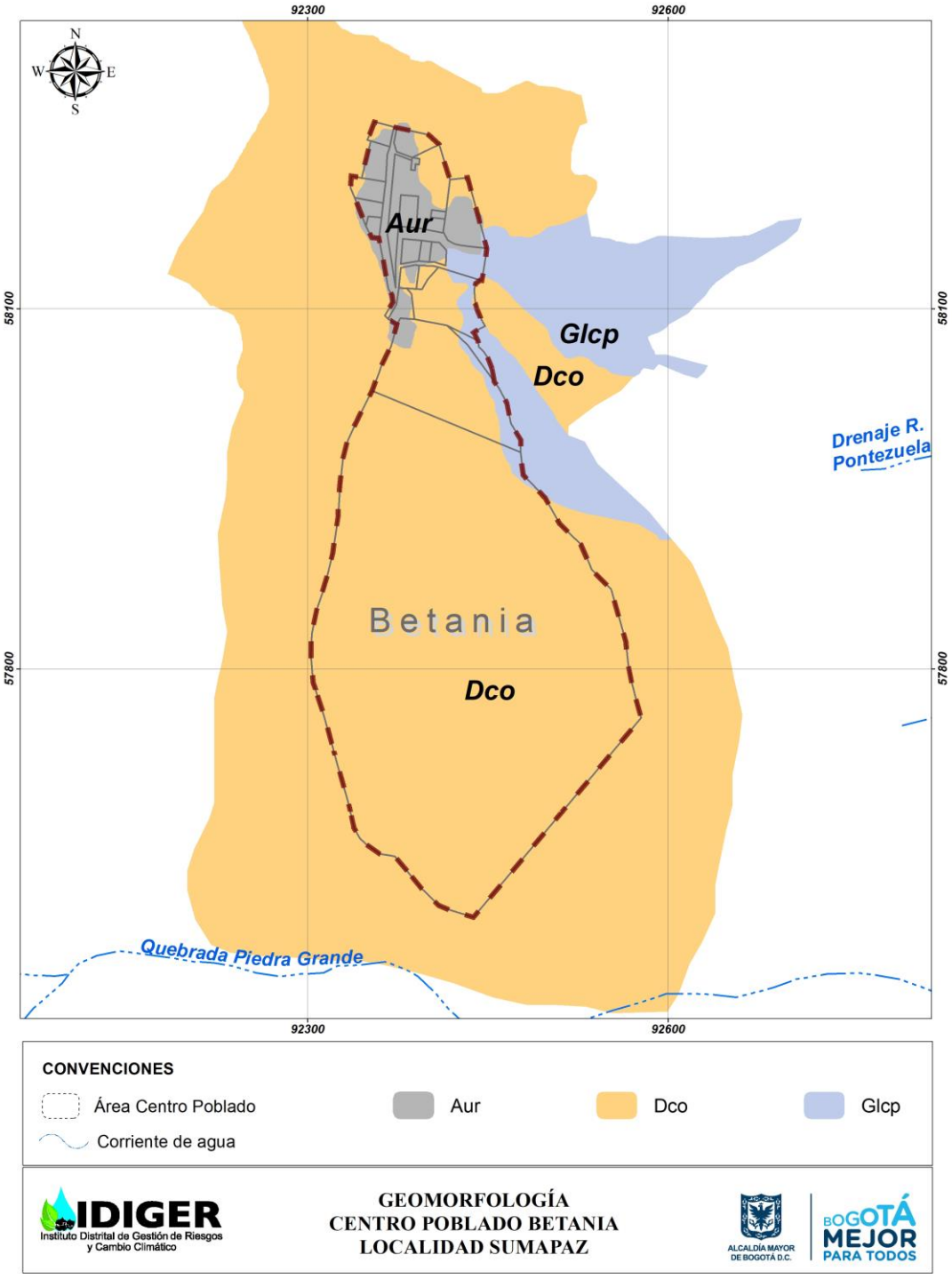


Figura 4-61. Mapa geomorfológico construido para Betania.

Tabla 4.48. Susceptibilidad Geomorfológica de las Unidades

REGIÓN	UNIDAD	SUBUNIDAD	COMPONENTE	SÍMBOLO	SUSCEPTIBILIDAD	OBSERVACIONES
ANTROPOGÉNICO			Area Urbanizada	**Aur**	Baja	
ESTRUCTURAL - DENUDATIVO	Planchas Estructurales Denudadas – Espolones Estructurales	Conos y lóbulos Coluviales y de Solifluxión	Ladera de Acumulación	**Dco**	Baja	
GLACIAL Y PEROGLACIAL	Cuesta Estructural Glaciada	Conos y lóbulosde gelifracción	Ladera ondulada glaciada	**Glcp**	Baja	

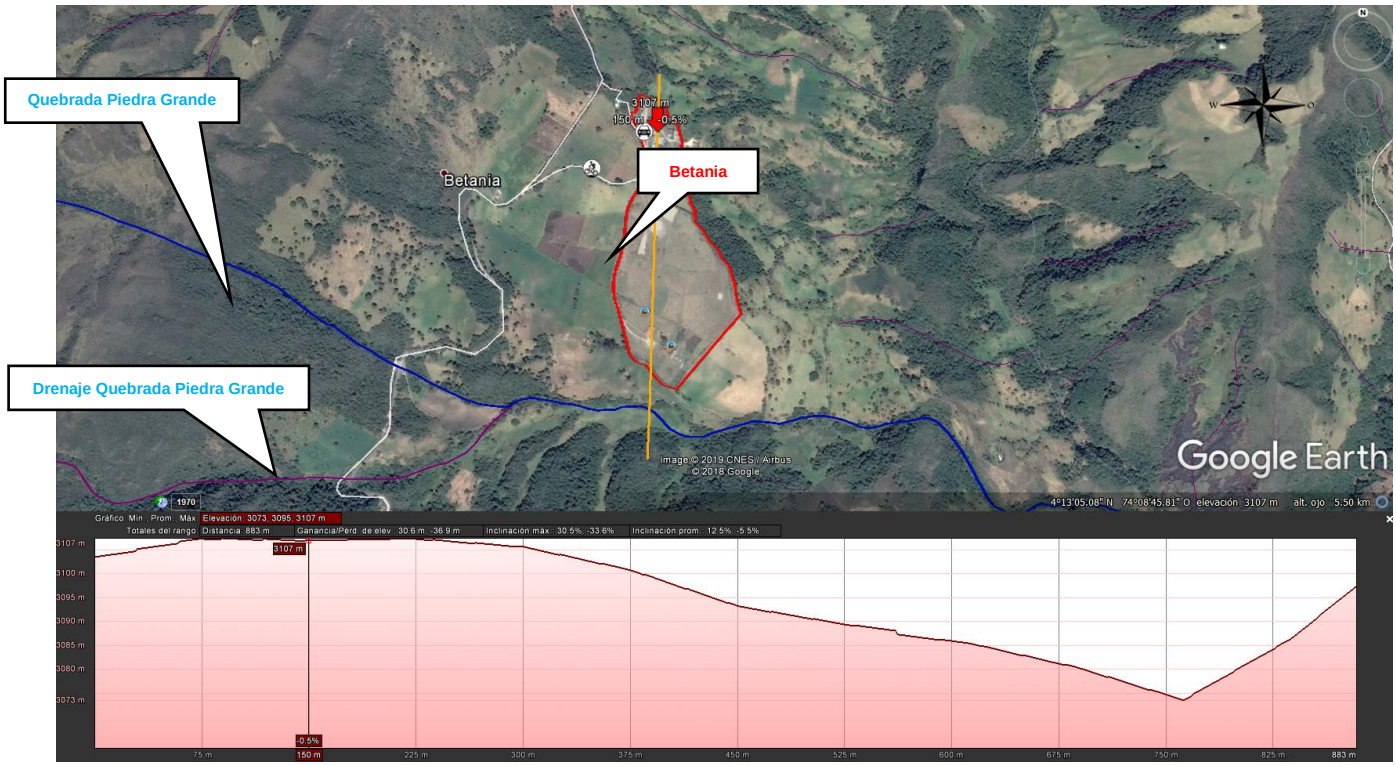


Figura 4-62. Geomorfología y perfil del Centro Poblado Betania, Localidad de Sumapaz

4.5.5.1 INVENTARIO DE PROCESOS MORFODINÁMICOS

Para poder ajustar a la escala de trabajo el análisis de sedimentos, se verificaron los procesos morfodinámicos. Se realizó una revisión de los procesos que pudiesen afectar el área de estudio, evaluando la morfología y los materiales que lo conforman, encontrando

que el área de estudio está conformada por coluviones susceptibles a la infiltración, con pendientes inclinadas, y en algunos sectores presenta taludes de corte producto de la implantación de infraestructura (vías, colegios, viviendas), así mismo, el inadecuado manejo de la escorrentía superficial (aguas servidas y lluvias), las cuales son vertidas al talud, todo estos, son factores que contribuyen a movimientos tipo reptación y flujos, sin embargo son procesos locales.

4.5.5.2 VERIFICACIÓN EN CAMPO

Se realizó por parte de la Entidad una visita técnica al centro poblado en estudio, en la cual se hizo un vuelo con Dron para realizar verificar las condiciones de posible amenaza por avenidas torrenciales a la escala especificada. A continuación, se presenta el registro fotográfico del sector.

Fotografía 4-15. Centro Poblado Betania

Fotografía 4-16. Centro Poblado limite con la Quebrada Piedra Grande

Se revisaron los antecedentes de la zona, correspondientes a diagnósticos técnicos dentro del perímetro y sectores aledaños al centro poblado Betania, y se identificó un (1) diagnóstico técnico correspondiente a un movimiento en masa local, el cual corresponde a un desprendimiento de material que conforma el suelo de cimentación.

Por lo anterior, se concluye que la atención de emergencias en el sector, han sido por deficiencias constructivas e inadecuado manejo de la escorrentía superficial, así como también movimientos en masa locales correspondientes a reptación.

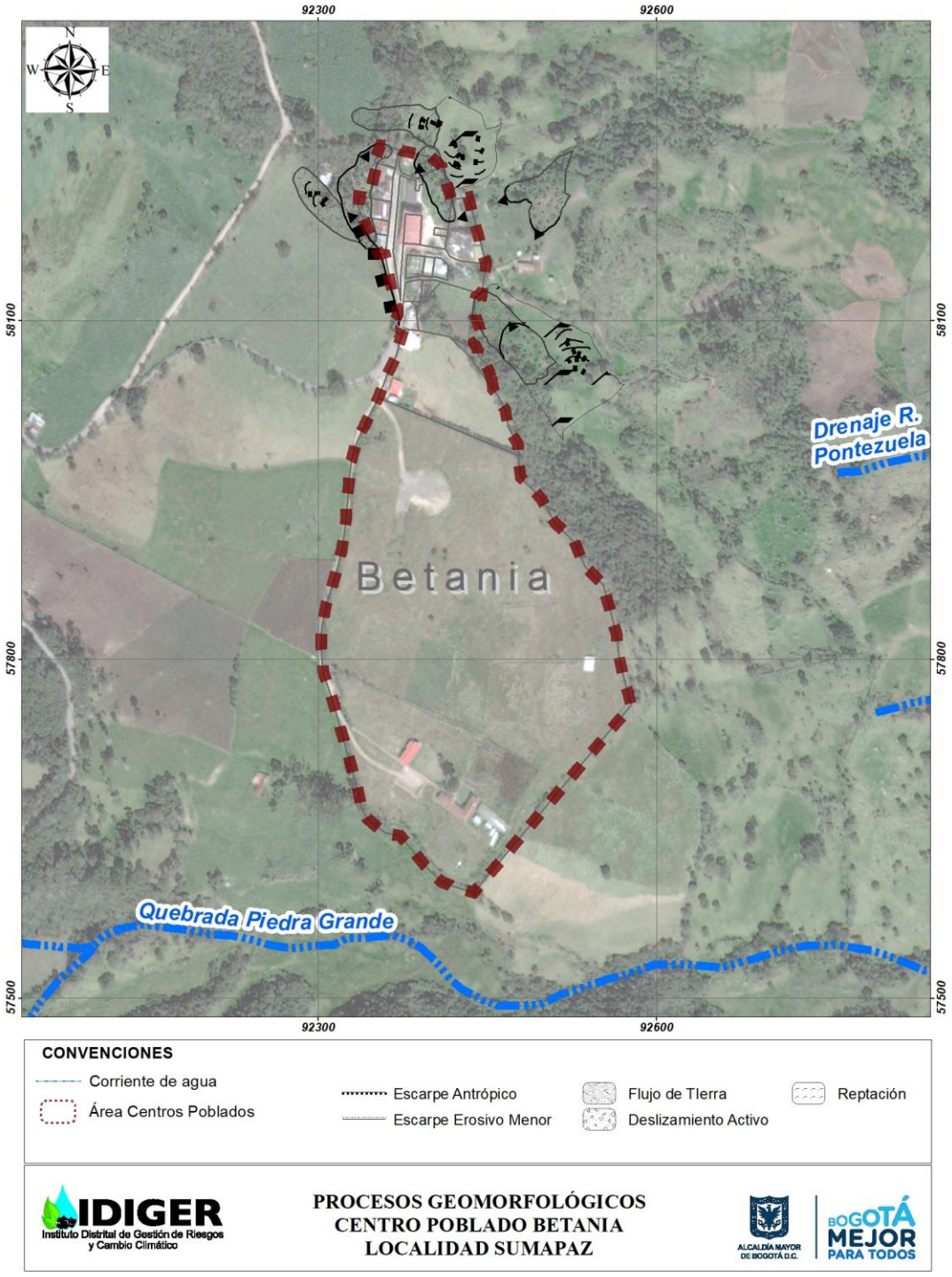


Figura 4-63. Mapa de procesos morfodinámico construido para Betania.

4.5.6 ANÁLISIS DE SEDIMENTOS

Dado que el aporte de sedimentos de algunos procesos de movimientos en masa aferentes a los cuerpos hídricos puede contribuir a la carga de sedimentos elevando los volúmenes transportados por la corriente es importante definir los procesos que pueden generar aporte de sedimentos a la creciente súbita, para esto se utiliza como insumo el inventario de procesos definido con anterioridad para la escala de trabajo. Se caracterizó cada proceso definiendo a partir de la información disponible la formación, depósito o tipo de suelo, su granulometría y su incidencia en el aporte de sedimentos conforme su ubicación frente al cuerpo de agua, trabajando como zonas de aporte directas, las aferentes en una faja paralela (buffer) de 100 m a lado y lado del cuerpo de agua. Esta distancia tenía como objeto incluir la mayor cantidad de procesos, teniendo en cuenta que la mayoría de las quebradas no tienen definida su zona de ronda propiamente dicha, sino que se toma la generalidad reglamentada de los 30 m.

Según la caracterización y definición del proceso se pudo obtener el tipo de material aportante al cauce, y por tanto establecer el parámetro de concentración de acuerdo al tipo de flujo a presentarse según criterio de experto teniendo en cuenta lo presentado en la Tabla 4.49 y Tabla 4.50.

Por otra parte, en la Tabla 4.51 se presentan los parámetros reológicos utilizados en las modelaciones, donde se establecen las relaciones disponibles del esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimento de acuerdo con el estado del arte de la zonificación de amenazas por avenidas torrenciales. Para la elección del tipo de relación a utilizar se trató de validar los resultados obtenidos utilizando diferentes reologías con el registro histórico presentado en el estudio detallado de la quebrada Limas "Actualización de la Zonificación de Amenaza de Inundación y Avenidas Torrenciales de la Quebrada Limas. Localidad Ciudad Bolívar" Rogelis (2008). Como resultado de esta validación se concluyó que el mejor ajuste se obtenida al seleccionar la reología de Kang & Zhang (1980), y por tanto se toman para el modelo estos parámetros de esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos.

Tabla 4.49. Comportamiento del flujo de sedimentos como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014)

	Concentración de Sedimento		Características del flujo
	En Volumen	En Peso	
Deslizamiento	0.65 - 0.80	0.83 - 0.91	No fluye; falla por deslizamiento.
	0.55 - 0.65	0.76 - 0.83	Falla por deslizamiento con deformación interna, creep lento anterior a la falla.
Flujo de lodos	0.48 - 0.55	0.72 - 0.76	Flujo evidente, creep lento; deformación plástica bajo el peso propio del material; cohesivo, no se extiende en superficie nivelada.
	0.45 - 0.48	0.69 - 0.72	El flujo se extiende sobre superficie nivelada; flujo cohesivo; algo de mezcla.

	Concentración de Sedimento		Características del flujo
	En Volumen	En Peso	
Creciente de lodos	0.40 - 0.45	0.65 - 0.69	El flujo se mezcla fácilmente; muestra propiedades de fluido en deformación; se extiende en una superficie horizontal pero mantiene una superficie del fluido inclinada; contiene partículas de tamaño considerable; aparecen ondas pero se disipan rápidamente.
	0.35 - 0.40	0.59 - 0.65	Marcado asentamiento de gravas; se extiende casi completamente en una superficie horizontal; superficie líquida con dos fases del fluido; hay ondas que viajan en la superficie.
	0.30 - 0.35	0.54 - 0.59	Las ondas viajan fácilmente; la mayoría de la arena y grava se mueven como carga de lecho.
	0.20 - 0.30	0.41 - 0.54	Presencia de ondas; superficie fluida; todas las partículas se encuentra en el lecho.
Agua	< 0.20	< 0.41	Creciente de agua con carga en suspensión y de lecho.

Tabla 4.50. Parametros de concentración de sedimentos en función de los procesos identificados en el búfer de 100m

PROCESOS IDENTIFICADOS	UBICACIÓN EN ZONA DE APORTE DIRECTO	CONCENCENTRACIÓN DE SEDIMIENTOS	
		EN VOLUMEN	EN PESO
Flujos de Tierras	No	< 0.20	< 0.41
Reptación	No	< 0.20	< 0.41
Deslizamiento Activo	No	< 0.20	< 0.41
Escarpe Erosivo Menor	No	< 0.20	< 0.41
Escarpe Antrópico	No	< 0.20	< 0.41

Tabla 4.51. Esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014)

Yield Stress and Viscosity as a Function of Sediment Concentration				
Source	$\tau_y = \alpha e^{\beta Cv}$		$\eta = \alpha e^{\beta Cv}$	
	α	β	α	β
Field Data				
Aspen Pit 1	0.181	25.7	0.0360	22.1
Aspen Pit 2	2.72	10.4	0.0538	14.5
Aspen Natural Soil	0.152	18.7	0.00136	28.4
Aspen Mine Fill	0.0473	21.1	0.128	12.0
Aspen Watershed	0.0383	19.6	0.000495	27.1
Aspen Mine Source Area	0.291	14.3	0.000201	33.1
Glenwood 1	0.0345	20.1	0.00283	23.0
Glenwood 2	0.0765	16.9	0.0648	6.20
Glenwood 3	0.000707	29.8	0.00632	19.9
Glenwood 4	0.00172	29.5	0.000602	33.1
Relationships Available from the Literature				
Iida (1938)	-	-	0.0000373	36.6
Dai et al. (1980)	2.60	17.48	0.00750	14.39
Kang and Zhang (1980)	1.75	7.82	0.0405	8.29
Qian et al. (1980)	0.00136	21.2	-	-
	0.050	15.48	-	-
Chien and Ma (1958)	0.0588	19.1-32.7	-	-
Fei (1981)	0.166	25.6	-	-
	0.00470	22.2	-	-

4.5.7 ANÁLISIS HIDRAÚLICO

- *MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN*

Para generar el modelo hidráulico bidimensional, es necesario contar con un modelo de elevación digital del terreno con un nivel muy alto de detalle, sobre el cual se hace una corrrección de drenaje.

Teniendo como entrada el DEM se construye en ArcGIS el flujo de trabajo de herramientas a utilizar con el fin de generar el DEM para ingresar el modelo hidráulico. En este flujo de trabajo se desarrollan los siguientes 3 pasos.

1. Buffer de 100 m de la corriente a modelar.
2. Modelo de Elevación Digital Tamaño a partir del modelo de elevación digital de 12 m con corrección red de drenaje extraído con buffer de 100 m corriente a modelar.
3. Modelo de Elevación Digital Tamaño corregido.

El anterior procedimiento se realizó para las cuencas que hacen parte del centro poblado.

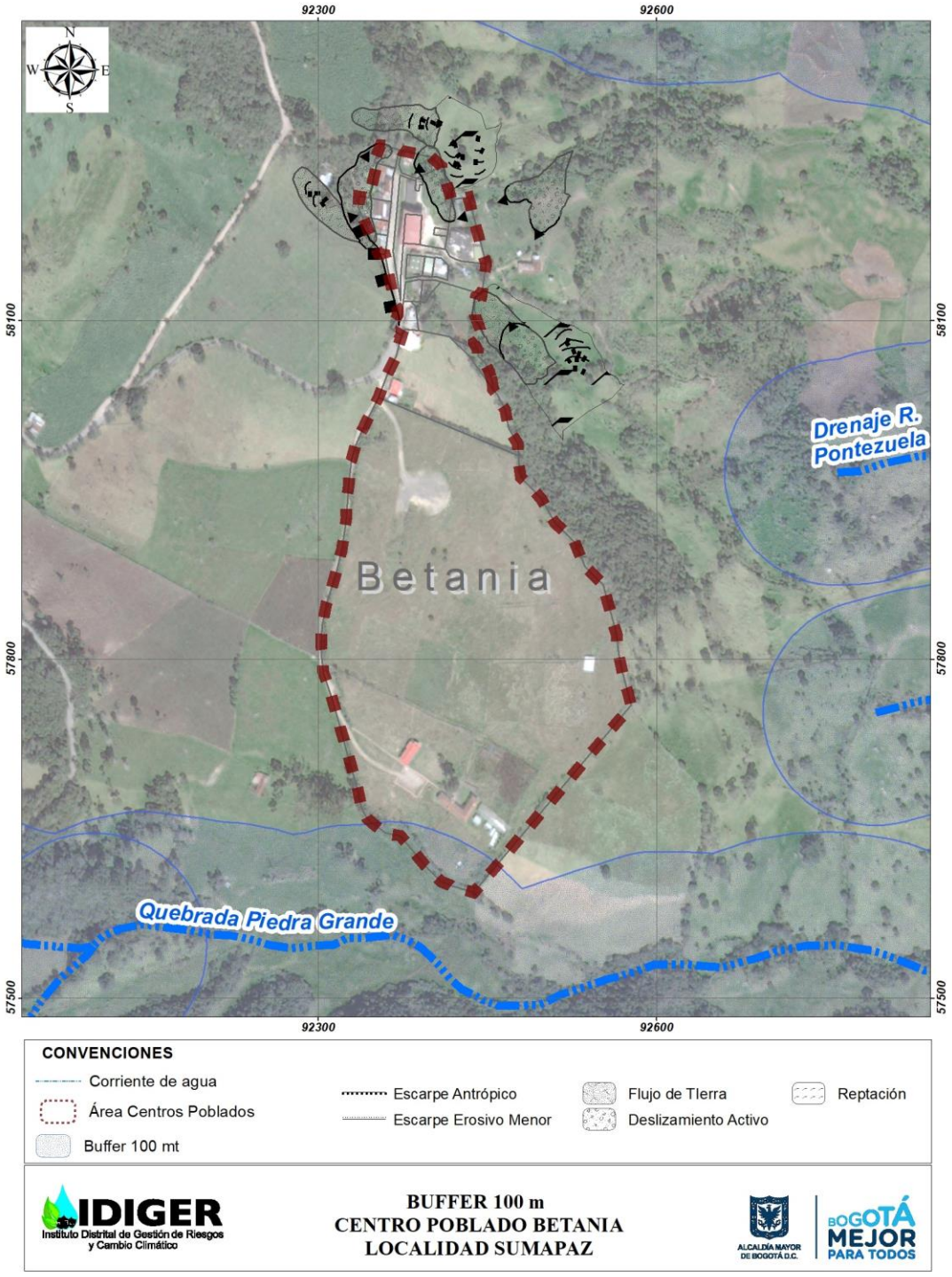


Figura 4-64: Buffer de 100 m Cuerpos de Agua Centro Poblado Betania

Para desarrollar el proceso metodológico y obtener el raster que será utilizado para la evaluación hidraulica de cada cuerpo de agua se utilizo la herramienta ModelBuilder de ArcGIS como se muestra en el diagrama de la Figura 4-10 . Este procedimiento inicia con la creación de un buffer por cada drenaje de la zona de estudio y a partir de este, se realiza el corte del DEM y se obtiene el archivo ASCII que permite generar la superficie del modelo hidráulico.

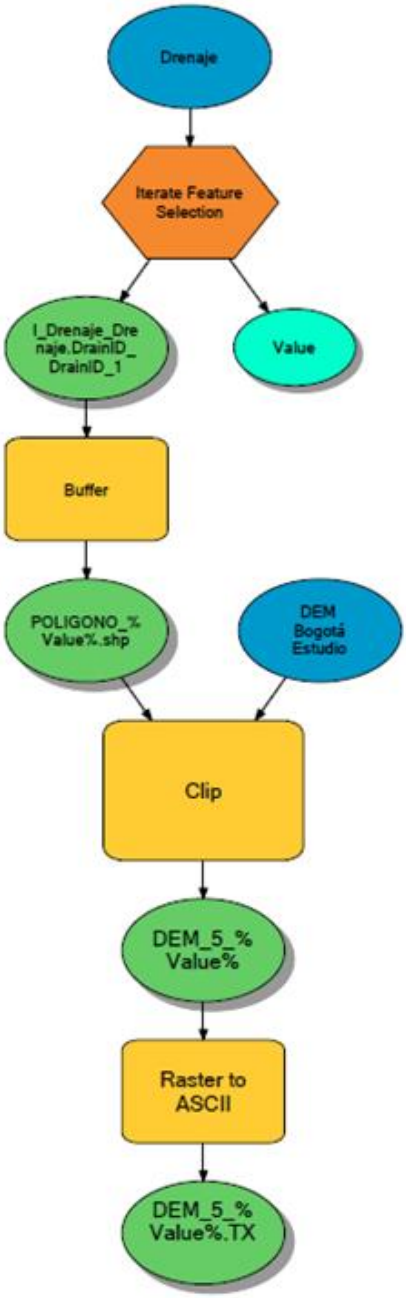


Figura 4-65: Procedimiento en ModelBuilder de ArcGIS para la Extracción Raster modelaciones

4.5.8 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES

- *RESULTADOS DE MODELACIÓN*

Retomando el flujograma metodológico, para la construcción del mapa de amenaza por avenidas torrenciales, partiendo del análisis hidrológico, una vez obtenidos los hidrogramas para las cuencas definidas, estos son incluidos en el modelo hidráulico, el cual es el resultado de la generación de las secciones transversales de cada una de las cuencas delimitadas. Adicionalmente, a partir de la relación Kang & Zhang (1980) se generan los valores del esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos los cuales son incluidos en el modelo hidráulico.

Se inicia el procesamiento en el software de elementos finitos de cada una de las cuencas que cubren el centro poblado, obteniendo alturas y velocidades del flujo para cada pixel junto con los caudales de salida que alimentan los pixeles de la cuenca aguas abajo y van generando la integración del modelo hidráulico. Al final se tiene como resultado un ráster con tamaño de pixel de 1m donde se tiene una profundidad y velocidad del flujo.

A partir de los resultados de altura y velocidades del flujo obtenidos en el modelo hidráulico se realiza la zonificación de la amenaza de acuerdo con la categorización presentada en la Tabla 4.52.

Tabla 4.52. Matriz de amenaza definida por la intensidad del proceso y su probabilidad de ocurrencia. (Matjaž, 2013)

				Probability of occurrence, *P*		
	BUWAL (1997)	Rickenmann (2005b)		High	Medium	Low
Intensity, *I*	h > 1.0 m and v > 1.0 m/s	h > 1.0 m or v > 1.5 m/s	High	**High**	**High**	**Moderate**
	h < 1.0 m or v < 1.0 m/s	h < 1.0 m and 0.4 m/s < v < 1.5 m/s	Medium	**Moderate**	**Moderate**	**Low**
	non existent	h < 0.4 m and v < 0.4 m/s	Low	**Low**	**Low**	**Very Low**
Not affected areas				**Very Low**	**Very Low**	**Very Low**

Posteriormente para la construcción del mapa de amenaza por avenidas torrenciales, una vez obtenidos los resultados de la modelación donde se generaron alturas y velocidades del flujo para cada pixel de 1m, se procedió a identificar las zonas que cumplen con las características descritas en la Tabla 4.53, para definir la categorización de la amenaza en: Alta, Media o Baja.

Tabla 4.53. Matriz para la zonificación de amenaza

ZONIFICACIÓN	DEFINICIÓN
Zonas en amenaza alta	Zona de desborde del cauce delimitada para el caudal del periodo de retorno de 100 años, con una profundidad de flujo superior a 1,0 y/o una velocidad de flujo superior a 1,5 m/s.
Zonas en amenaza media	Zona de desborde del cauce delimitada para el caudal del periodo de retorno de 100 años, con una profundidad de flujo entre 0,4 m y 1,0 m y/o una velocidad de flujo entre 0,4 y 1,5 m/s.
Zonas en amenaza baja	Zona de desborde del cauce delimitada para el caudal del periodo de retorno de 100 años, con una profundidad de flujo igual o mayor que 0 m e inferior a 0,4 m, y/o una velocidad de flujo igual o mayor que 0 m/s e inferior a 0,4 m/s.

De acuerdo con los resultados obtenidos al realizar el análisis matricial, donde se identifica la calificación de amenaza por avenidas torrenciales, se obtuvo el resultado mostrado en la Figura 4-66.

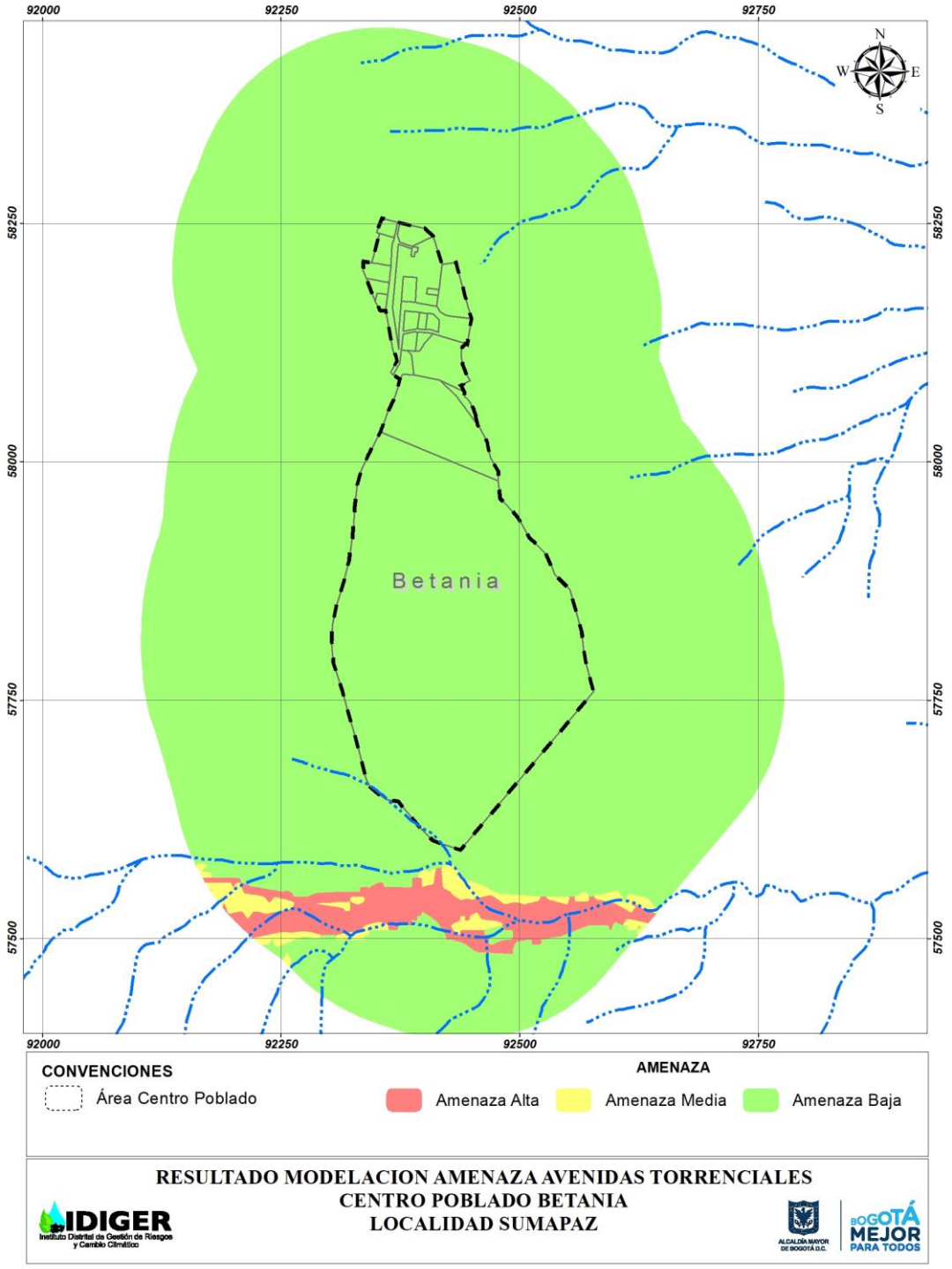

92000
92250
92500
92750
58250
58000
57750
57500
N
W
E
S
Betania
CONVENCIONES
Área Centro Poblado
AMENAZA
Amenaza Alta
Amenaza Media
Amenaza Baja
RESULTADO MODELACION AMENAZA AVENIDAS TORRENCIALES
CENTRO POBLADO BETANIA
LOCALIDAD SUMAPAZ
IDIGER
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático
ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS

Figura 4-66. Resultado modelación de amenaza por avenidas torrenciales

Se observan tramos de drenajes en amenaza baja que, aunque son de carácter torrencial, se aclara presentan una profundidad de flujo igual o mayor que 0 m e inferior a 0,4 m, y/o una velocidad de flujo igual o mayor que 0 m/s e inferior a 0,4 m/s.

4.5.9 ZONIFICACIÓN Y MAPA DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO BETANIA

De acuerdo con los resultados de evaluación se define la amenaza por avenidas torrenciales como el área donde existe una probabilidad de ocurrencia de avenidas torrenciales con un periodo de retorno de 100 años, la intensidad del fenómeno se establece a partir de los resultados del modelo hidráulico de los cauces naturales y/o intervenidos que por sus condiciones presentan avenidas torrenciales. El modelo hidráulico desarrollado implementa los resultados de la modelación hidrológica de las cuencas asociadas a estos cauces naturales y cuya área aferente es mayor a 50 ha y la concentración de sedimentos de fenómenos de movimientos en masa que pueden incorporarse a estos cauces. Las categorías de amenaza por avenidas torrenciales se dividen en tres categorías presentadas en la Tabla 4.53 presentada anteriormente.

Teniendo en cuenta lo anteriormente descrito, se puede concluir que el área de estudio no es susceptible a la acumulación de flujos torrenciales. Se identificaron los cauces que por sus condiciones puedan tener un comportamiento torrencial, que en este caso es la quebrada Piedra Grande, la cual se ubica a una distancia aproximada de 600 m del centro poblado, y estando este último en la parte más alta de la geoforma, por lo anterior, la ubicación geográfica del centro poblado y su infraestructura no es aferente al cuerpo de agua, razón por la cual no presenta amenaza por avenidas torrenciales.

Finalmente teniendo en cuenta el análisis de las condiciones de amenaza por avenidas torrenciales realizado para el centro poblado de Betania, se concluye que este presenta un nivel inferior al considerado como bajo, pero categorizado como amenaza baja como se muestra en la Figura 4-67.

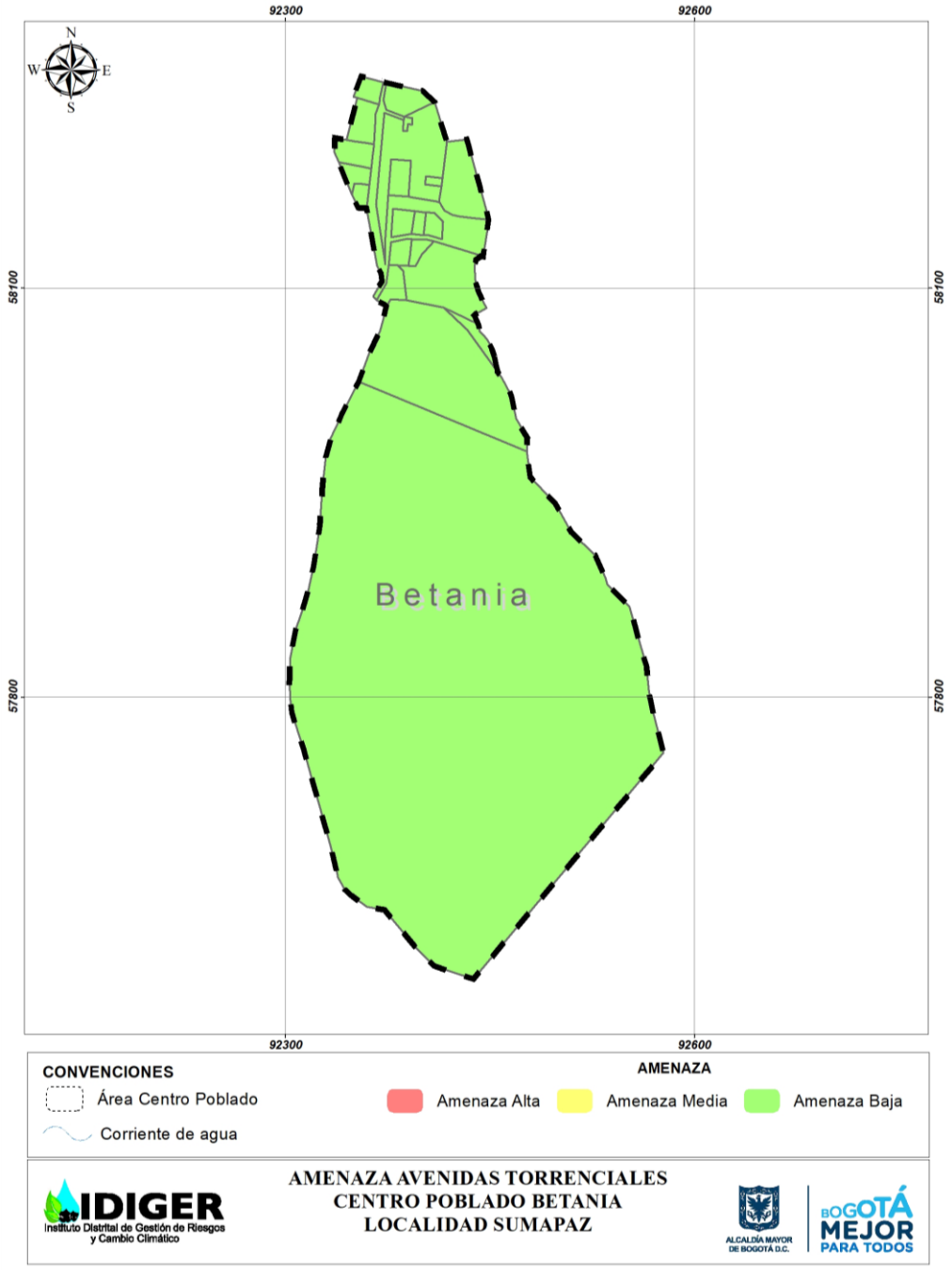


Figura 4-67. Zonificación de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado Betania.

Tabla 4.54. Área de amenaza en el centro poblado Betania

Centro poblado Betania	
Amenaza	**Hectáreas (Ha)**
Media	0,0
Alta	0,0

4.5.10 ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO BETANIA

Según el Art. 3 del Decreto 1807 de 2014, *"…las áreas con condición de amenaza son las zonas o áreas del territorio municipal zonificadas como de amenaza alta y media en las que se establezca en la revisión o expedición de un nuevo POT la necesidad de clasificarlas como suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales para permitir su desarrollo."*. Así mismo, el Art. 11 estipula que la delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza, *"con fundamento en la delimitación y zonificación de amenazas, se delimitan y zonifican aquellas áreas sin ocupar del suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales en las que en la revisión o en la expedición de un nuevo POT se proponga su desarrollo."*

Teniendo en cuenta que para el Centro Poblado Betania no existen áreas zonificadas como de amenaza alta y media sin ocupar, en las que en la revisión general del POT se proponga su desarrollo, no hay áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:2.000 (Figura 4-68 y Tabla 4.55).

Tabla 4.55. Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el centro poblado Betania

Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el centro poblado Betania	
Amenaza	**Hectáreas (Ha)**
Media	0,0
Alta	0,0

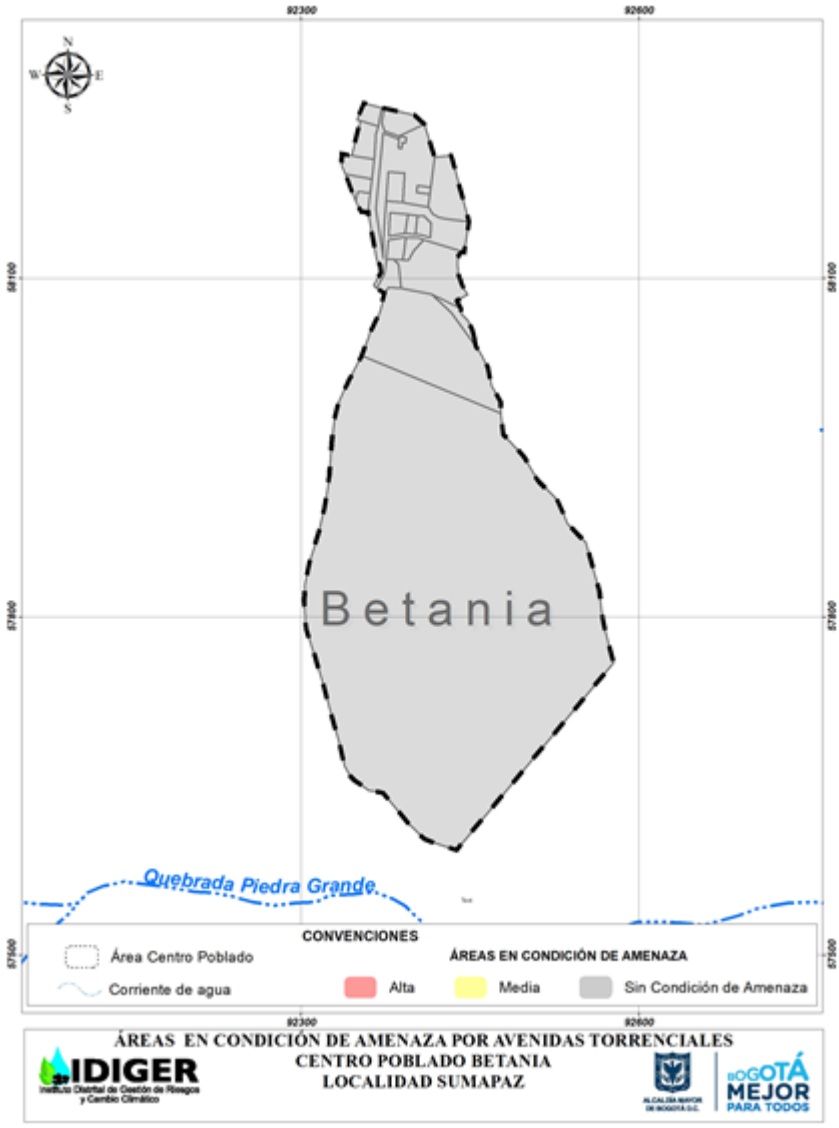


Figura 4-68: Mapa de áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado Betania

4.5.10.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de Amenaza por Avenidas Torrenciales en el centro poblado Betania

No hay condicionamientos o restricciones dado que no hay áreas con condición de amenaza.

4.5.11 ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO BETANIA

Según el Art. 3 del Decreto 1807 de 2014, las áreas con condición de riesgo *"corresponden a las zonas o áreas del territorio municipal clasificadas como de amenaza alta que estén urbanizadas, ocupadas o edificadas así como en las que se encuentren elementos del sistema vial, equipamientos (salud, educación, otros) e infraestructura de servicios públicos..."*. Indica además en su Art. 12, como se mencionó anteriormente, que para definir estas zonas se deben identificar *"…la existencia de elementos expuestos, de áreas urbanizadas, ocupadas o edificadas así como de aquellas en las que se encuentren edificaciones indispensables y líneas vitales."*

No hay áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado Betania, dado que las construcciones, equipamientos e infraestructura no se encuentran en amenaza alta por avenidas torrenciales (Figura 4-69 y Tabla 4.56).

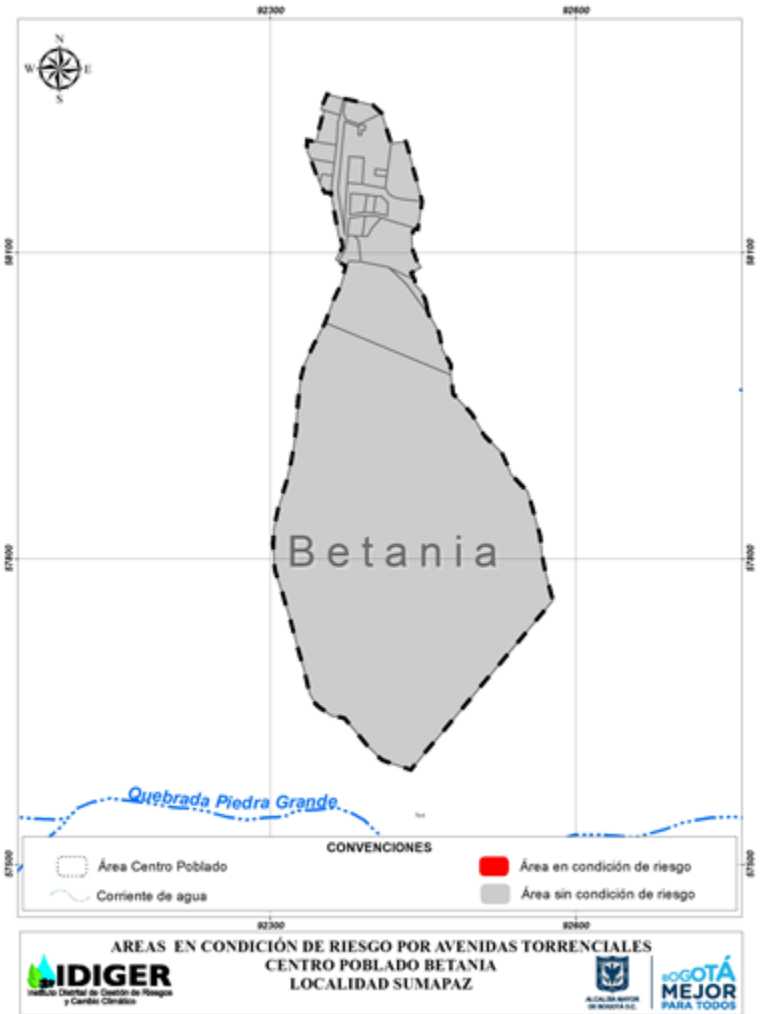


Figura 4-69: Mapa de áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en centro poblado Betania

Tabla 4.56. Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado Betania

Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado Betania	
Amenaza	**Hectáreas (Ha)**
Alta	0,0

4.5.11.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de Riesgo por Avenidas Torrenciales en el Centro Poblado Betania

No hay condicionamientos o restricciones dado que no hay áreas con condición de riesgo.

4.5.12 ESTUDIOS DETALLADOS DE RIESGO EN ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO BETANIA

Los estudios detallados de riesgo en sectores aledaños por avenidas torrenciales al centro poblado Betania, están contemplados en la priorización de estudios detallados de ríos y quebradas en las áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en en el suelo rural, los cuales se realizaran en el largo plazo, los cuales permitirán conocer en detalle la amenaza y riesgo de los sectores cercanos al centro poblado en amenaza media y alta.

4.6 AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO LA UNIÓN

4.6.1 ÁREA DE ESTUDIO

El Centro Poblado se encuentra ubicado al suroccidente de la Localidad de Sumapaz, en la UPR 5 Rio Sumapaz, como se ve en la Figura 4-70, se localiza en suelo rural, sobre la vía que conduce al Parque Natural del Sumapaz a aproximadamente 90 Km de Usme. El perímetro de La Unión encierra un área de 41.243,40 m² en una ladera irregular de pendiente variable desde baja hasta abrupta.

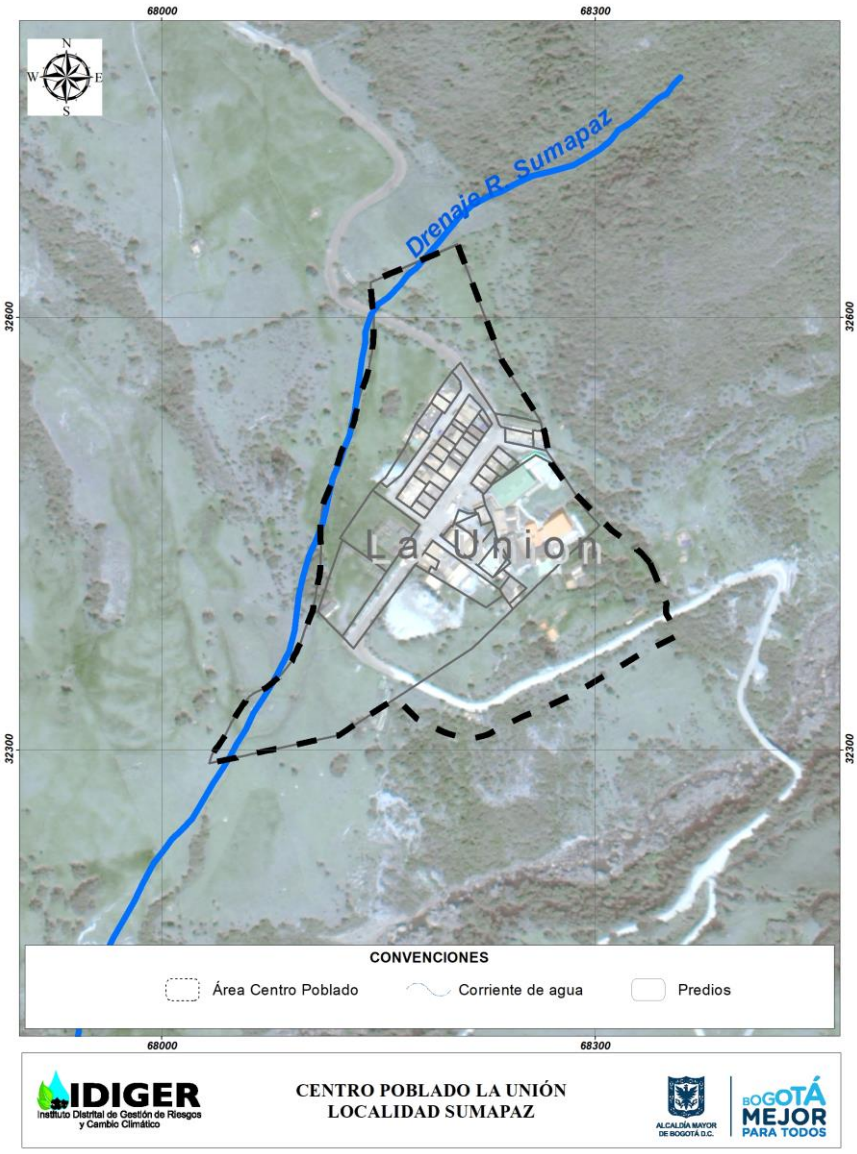


Figura 4-70. Localización general del Centro Poblado La Unión, Localidad del Sumapaz.

En la Figura 4-70, se presenta la ubicación del centro poblado La Unión y la zonificación de amenaza por avenidas torrenciales en suelo rural, en la cual se observa que no existe influencia de la amenaza por avenidas torrenciales en el perímetro del centro poblado.

4.6.2 INSUMOS

A continuación, se describen los insumos básicos que se tomaron como punto de partida para el desarrollo del análisis de amenaza por avenidas torrenciales, de acuerdo con lo dispuesto en el Art. 10 del Decreto 1807, donde se indica que, para los estudios básicos de amenaza por avenidas torrenciales en centros poblados, se deben realizar a escala 1:2.000.

4.6.2.1 CARTOGRAFÍA BASE

Para la cartografía base utilizada tal como lo establece el Decreto 1807 de 2014 (compilado por el Decreto 1077 de 2015), se verificó que contuviera entre otros: coordenadas, curvas de nivel, drenajes, red vial, infraestructura y equipamientos, asentamientos humanos. A partir de lo anterior para la cartografía se tiene lo siguiente:

A SISTEMAS DE COORDENADAS

Sistema de Coordenadas Proyectadas - Cartesianas: Magna Bogotá
Proyección: Transversal de Mercator
Falso Este: 92324,879
Falso Norte: 109320,965
Longitud Meridiano Central: -74,14659167
Latitud de origen: 4,680486111
Factor de escala: 1
Sistema de Coordenadas Geográfica GCS CarMAGBOG
Meridiano de Greenwich
Datum CGS_CARMAGBOG
Elipsoide: GRS80 Mod
Semieje Mayor: 6380687
Semieje Menor: 6359293,764473119
Achatamiento: 298,257222101

B ESCALA

De acuerdo con el Artículo 10 del Decreto 1807 de 2014 (compilado por el Decreto 1077 de 2015) la base cartográfica que se emplea para la presente zonificación corresponde con una escala 1:2.000.

C GEODATABASE SECRETARÍA DISTRITAL DE PLANEACIÓN SDP

La cartografía base fue tomada de la geodatabase con la información geográfica de la Secretaría Distrital de Planeación.

D LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS DE CENTROS POBLADOS RURALES PRIORIZADOS POR LA SDHT.

Mediante el contrato "*LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS DE CENTROS POBLADOS RURALES PRIORIZADOS POR LA SDHT Y GENERAR LA RESPECTIVA CARTOGRAFÍA ASOCIADA"* (2015) contratado por la SDHT, se generó la topografía detallada de centros poblados cuyo resultado son curvas de nivel cada 0.50m.

Esta información y sus bases de datos fueron insumo para la generación de los estudios realizados a escala 1:2000 para del centro poblado.

4.6.2.2 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN

Se utilizó el Modelo Digital de Elevación – DEM generado de 2 x 2 metros, a partir de la información disponible, para realizar la delimitación las cuencas aferentes y el cálculo de algunos parámetros morfométricos de las mismas, los cuales son de gran utilidad para determinar el comportamiento de las cuencas ante eventos de lluvias máximas.

Para esto se realizó la recolección de modelos digitales de elevación disponibles para el área de estudio, la cual se resume a continuación:

Tabla 4.57. Modelos Digitales de Elevación

Nombre	Fuente	Año	Resumen
Modelo digital de elevación DEM	SDP		1m
	SDHT	2015	0.5m

Los Modelos Digitales de Elevación que se usaron para para la obtención de la amenaza del centro poblado La Unión, proviene de la información contenida en el estudio "*LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS DE CENTROS POBLADOS RURALES PRIORIZADOS POR LA SDHT Y GENERAR LA RESPECTIVA CARTOGRAFÍA ASOCIADA.*"

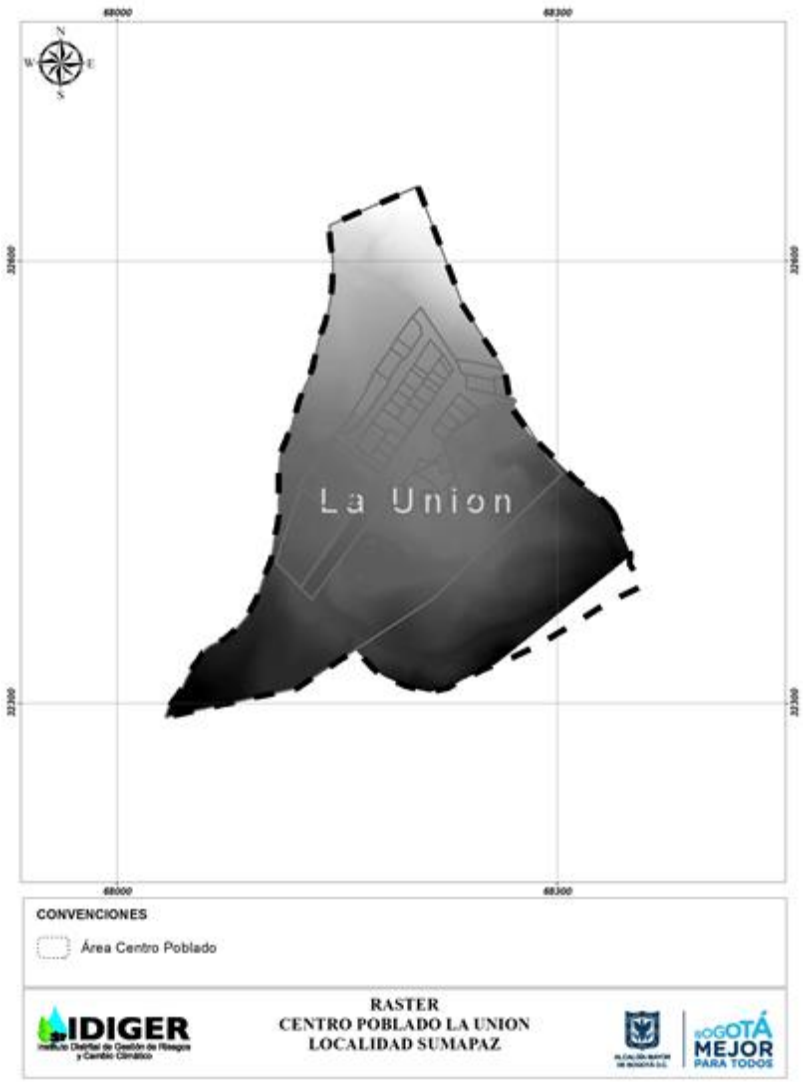


Figura 4-71: Modelo Digital del Elevación del centro poblado La Unión.

4.6.2.3 GEOMORFOLOGÍA

El estudio geomorfológico permite identificar cuales de las unidades correspondientes al Centro Poblado La Unión son susceptibles a la generación de los procesos de avenidas torrenciales los cuales contribuyen a la delimitación de las zonas de estudio y su correspondiente delimitación de amenaza final. La geomorfología es presentada en detalle dentro del análisis geomorfológico.

4.6.3 METODOLOGÍA

Con el fin de construir el esquema metodológico usado en la generación del mapa de amenaza por avenidas torrenciales, se partió de una revisión de las metodologías de evaluación de amenaza enfocado en la armonización tanto en alcance, nivel de información disponible y calidad de los resultados para definir los procedimientos y actividades a ejecutar para lograr un producto cartográfico ajustado a los requerimientos técnicos exigidos en la normatividad vigente (Decreto 1807 de 2014).

4.6.3.1 ESQUEMA METODOLÓGICO

El esquema metodológico se divide en tres análisis principales: (Ver Figura **4-72**)

1. Análisis Geomorfológico
2. Análisis Hidrológico
3. Análisis de Sedimentos
4. Análisis Hidráulico

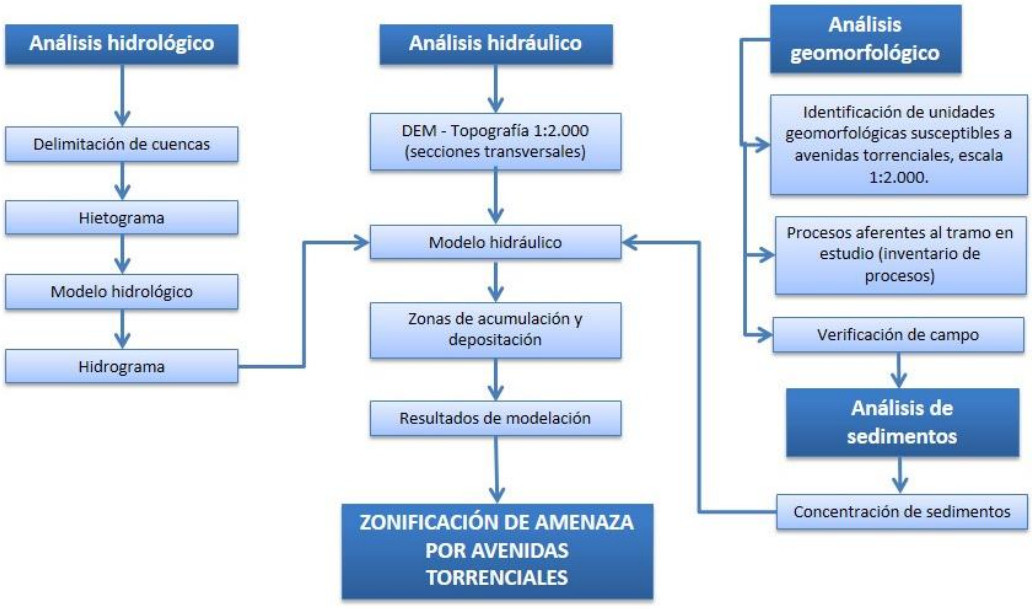


Figura 4-72. Esquema metodológico

El análisis hidrológico inicia con la delimitación de las cuencas aferentes al tramo de río o quebrada que se analiza a partir del modelo de elevación digital de la cuenca, posteriormente se estima el hietograma de precipitación bajo un escenario de periodo de retorno determinado el cual es el insumo de entrada para el modelo hidrológico que proporciona los hidrogramas de entrada del modelo hidráulico.

El análisis geomorfológico consiste en la revisión e identificación de la geomorfolgía a escala 1:2000 de las unidades de potencial acumulación de flujo.

El análisis de sedimentos parte del mapa de procesos geomorfológicos identificados que se encuentran cerca del tramo de rio o quebrada que se analiza, la concentración de sedimentos se determina de acuerdo con la literatura especializada identificada durante la revisión del estado del arte asignando un valor promedio a cada tipo de proceso.

El análisis hidráulico toma como entrada el hidrograma resultado del análisis hidrológico y la concentración de sedimentos del análisis de sedimentos, con estas variables de entrada transita el hidrograma en el modelo de elevación digital del terreno del tramo de rio o quebrada que se analiza, obteniendo como resultado las velocidades y profundidades máximas alcanzadas en cada una de las celdas del modelo de elevación digital del tramo en estudio, estos valores de velocidad y profundidad se categorizan de acuerdo a la condición de amenaza que representan.

4.6.4 ANÁLISIS HIDROLÓGICO

El análisis hidrológico comprende dos etapas, la primera es la delimitación de las cuencas hidrográficas en el área de estudio y la segunda, el modelo lluvia escorrentía que permite la estimación de hidrogramas que serán la entrada del modelo hidráulico. A continuación, se presenta los pasos seguidos en las dos etapas y sus respectivos resultados.

Para obtener la delimitación de cuencas se parte del Modelo de Elevación Digital (DEM) de la zona de estudio, en este caso se cuenta con un DEM proyectado en coordenadas geográficas. Este DEM requiere ser proyectado en coordenadas planas con el fin de tener la geometría plana adecuada para el cálculo de áreas y distancias de las cuencas generadas.

El DEM proyectado cubre un área de mayor extensión que el área de estudio, , con el fin de delimitar solamente las cuencas que drenan a esta área . Este buffer se obtuvo mediante pruebas de sensibilidad con diferentes distancias, con el objetivo de cubrir el área que hidrológicamente tiene algún aporte a las cuencas que se encuentran dentro del perímetro del distrito y que garantiza que éstas drenen completamente en el modelo hidráulico.

Por otra parte, El DEM contiene errores inherentes a este tipo de producto, por tanto se debe corregir con la cartografía adecuada para que el resultado de la delimitación de cuencas se aproxime a la red de drenaje real. Para lograr este objetivo se cuenta con la cartografía del sistema hídrico en coordenadas geográficas, al igual que se realizó con el DEM, se efectuó la proyección del sistema hídrico y se extrae la red hídrica l.

Dado que la corrección del DEM se puede realizar con el shape tipo polígono o tipo línea, se ha optado por convertir los polígonos a líneas y de esta forma modificar solo las riberas de los ríos que en la cartografía son representados mediante polígonos, el resultado de la conversión del sistema hídrico de polígonos a línea.

4.6.4.1 Cuencas Hidrográficas

Teniendo como entrada el DEM y el sistema hídrico ajustados previamente, se construye en ArcGIS el flujo de trabajo de herramientas a utilizar, con el fin de delimitar las cuencas

hidrográficas del área de estudio. En este flujo de trabajo se desarrollan los siguientes 11 pasos.

1. Para poder generar la red de drenaje a partir del DEM es necesario profundizar el DEM en aquellas zonas donde se encuentran ubicados los ríos de acuerdo a la cartografía. En este paso, se realizó la profundización en las zonas donde se encuentran los ríos dibujados como tipo línea.

2. Este paso es similar al anterior, sin embargo, la profundización se realizó en las zonas donde se encuentran los ríos dibujados como tipo polígono, pero solo en las riberas convertidas en líneas.

3. El DEM debe ser hidrológicamente apropiado, es decir, que todas las celdas del DEM drenen a un punto de salida. Para poder generar un DEM hidrológicamente apropiado se deben rellenar los pozos o celdas que no permiten que se genere adecuadamente la red de drenaje.

4. Teniendo en cuenta la pendiente más favorable para el flujo, se genera un valor de dirección de flujo para cada celda del DEM.

5. Teniendo en cuenta la dirección de flujo de cada celda es posible calcular el número de celdas que drenan a determinada zona, con estos valores se genera el ráster de acumulación de flujo.

6. Un parámetro importante en la definición de corrientes es el número de celdas que generan el inicio de un cauce, para este análisis hidrológico se tomó el equivalente a 0.5 km^2 como el valor en el cual se genera una corriente. Este valor se obtuvo mediante pruebas de sensibilidad buscando el tamaño adecuado de cuencas que se ajustaba a la escala de trabajo.

7. Considerando el ráster de acumulación de flujo y el número de celdas que generan el inicio de un cauce, se obtuvieron las corrientes hídricas. Posteriormente, se dividen las corrientes teniendo en cuenta que los tramos de las mismas no tengan confluencias con otras corrientes.

8. De acuerdo con los tramos de cauces obtenidos en el paso anterior, se genera la delimitación automática de cuencas.

9. El Ráster generado en el paso anterior se debe trasformar en formato shape para cálculos posteriores.

10. La segmentación de corrientes obtenida en el paso 6, se debe transformar en formato shape para cálculos posteriores.

11. Las cuencas hidrográficas con área aferente acumulada es el resultado final en la delimitación de cuencas del área de estudio.

Para realizar el análisis sólo en las cuencas que se encuentran en el área de estudio y dado que el procedimiento anterior no tiene en cuenta los efectos de la urbanización en la red de drenaje, se deben estimar o corregir las cuencas obtenidas de acuerdo a esta consideración. Para ello se determinan los puntos de cierre de cuencas que dependen del orden de drenaje dentro de la cuenca.
Para la generación de cuencas y delimitar el área de estudio se desarrollan los siguientes 4 pasos.

1. En el primer paso se vinculan los puntos de cierre de cuencas con el ráster de acumulación de flujo generado anteriormente.
2. De acuerdo con el ráster de acumulación de flujo se recortan las cuencas tipo Ráster.
3. Las cuencas del paso anterior se convierten en polígonos
4. El último paso une las cuencas aferentes que puedan quedar separadas al convertir el ráster de cuencas a polígono

El resultado del procedimiento anterior es la generación de cuencas que cubren el área de estudio.

.

Teniendo como entrada el modelo de elevación digital proyectado, se construye en ArcGIS el flujo de trabajo de herramientas a utilizar con el fin de generar las subcuencas hidrográficas del área de estudio. En este flujo de trabajo se desarrollan los mismos 11 pasos que fueron descritos anteriormente.

1. Corrección DEM mediante red de drenaje tipo línea.
2. Corrección DEM mediante red de drenaje tipo polígono.
3. Modelo de Elevación Digital Hidrológicamente Corregido.
4. Dirección de Flujo.
5. Acumulación de Flujo.
6. Red de Drenaje Generada Tipo Ráster.
7. Red de Drenaje Generada Tipo Ráster Vinculada.
8. Cuencas hidrográficas Tipo Ráster.
9. Cuencas hidrográficas Tipo Polígono.
10. Red de Drenaje Generada Tipo Línea.
11. Cuencas hidrográficas Acumuladas Tipo Polígono.

Cabe aclarar que uno de los parámetros importantes para la definición de las subcuencas es el número de celdas que generan el inicio de un cauce, para este análisis hidrológico se tomó el equivalente a 0.5 km^2 como el valor en el cual se genera una corriente, el resultado del este procedimiento fue la generación de las subcuencas que cubren el área del perímetro del centro poblado (Figura 4-85).

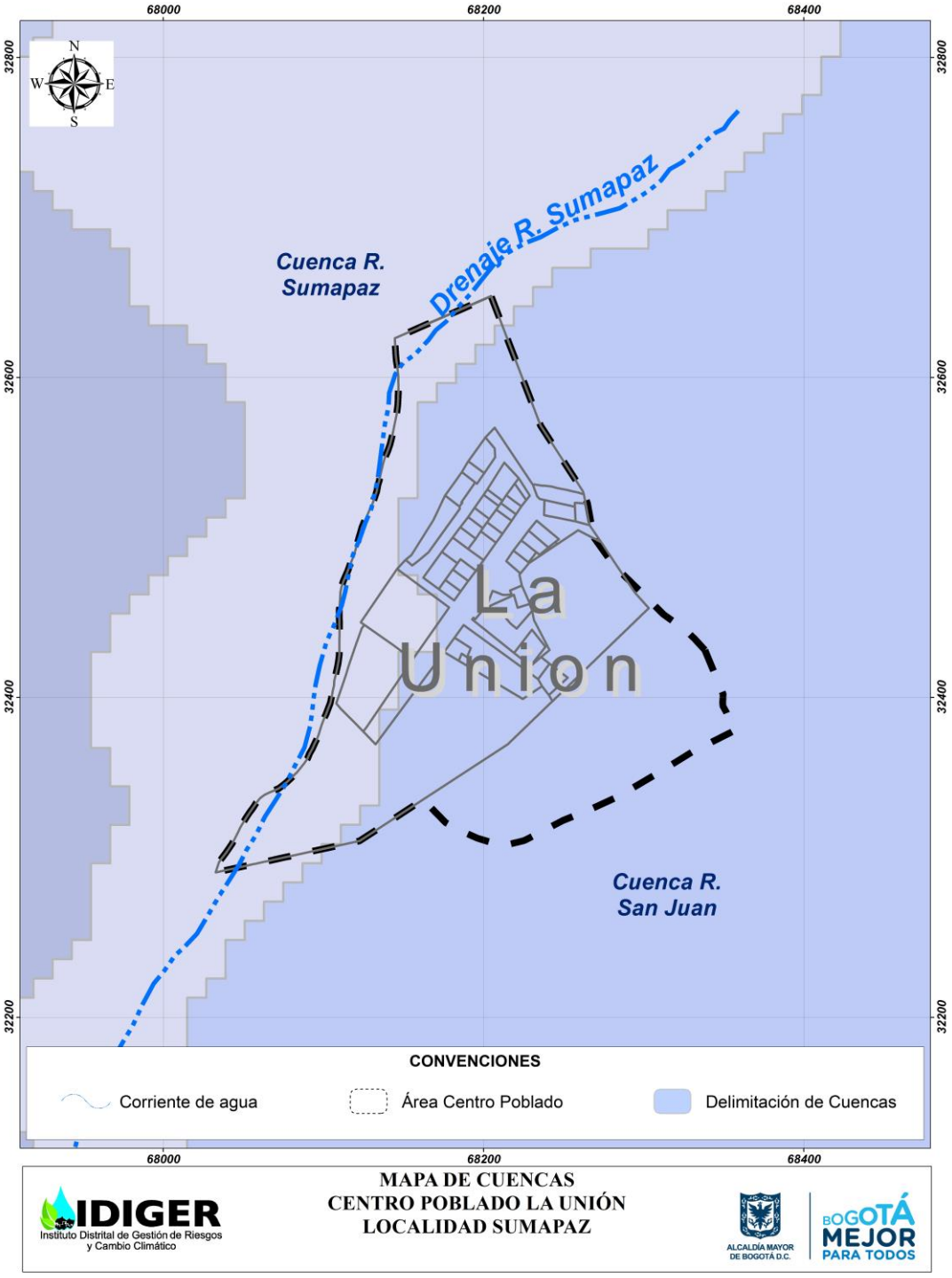

68000
68200
68400
32800
32600
32400
32200
N
W
E
S
Cuenca R. Sumapaz
Drenaje R. Sumapaz
La Unión
Cuenca R. San Juan
CONVENCIONES
Corriente de agua
Área Centro Poblado
Delimitación de Cuencas
IDIGER
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático
MAPA DE CUENCAS
CENTRO POBLADO LA UNIÓN
LOCALIDAD SUMAPAZ
ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS

Figura 4-73. Cuencas analizadas en el centro poblado La Unión.

4.6.4.2 Morfometría

Para el análisis de susceptibilidad de una cuenca a un evento torrencial, se llevó a cabo la evaluación de varios parámetros morfométricos, teniendo cuenta que estos parámetros son indicadores de las características de la cuenca relacionadas con el pico de las crecientes y su producción de sedimentos.

A continuación, se describe los parámetros morfométricos calculados y analizados

A Pendiente

Tiene una influencia significativa en la generación de avenidas torrenciales (Smith, 2003). Esta característica controla en buena parte la velocidad con que se da la escorrentía superficial y afecta, por tanto, el tiempo que requiere el agua lluvia para concentrarse en los lechos fluviales que constituyen la red de drenaje de las cuencas.

B Orden de corriente

En orden de corrientes depende del número de afluente que contenga el cauce principal, por lo tanto, los de primer orden son todos aquellos que no tengan afluentes. Cuando se unen dos cauces de primer orden forman un cauce de segundo orden y así sucesivamente.

C Longitud de Flujo

La Longitud de flujo está definida como la distancia horizontal, medida a lo largo del cauce principal, entre el punto de salida de la cuenca y el límite definido para la cuenca.

4.6.4.3 Modelo Lluvia – Escorrentia

La segunda etapa del análisis hidrológico consiste en el cálculo de los hidrogramas a partir del modelo lluvia – escorrentía, este hidrograma servirá de entrada al modelo hidráulico. Para obtener los eventos de precipitación se utilizó la caracterización de tormentas y actualización de curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia IDF desarrolladas por la EAB, para este fin las cuencas se subdividieron en dos grupos, el primero aquellas cuencas cuyo centroide se encontrara a por lo menos una distancia inferior a diez kilómetros de alguna de las estaciones utilizadas en dicho estudio y un segundo grupo en el cual el centroide de las cuencas se encontrara a una distancia superior a diez kilómetros de alguna de las estaciones utilizadas en el estudio de la EAB (

Para el primer grupo de estaciones se utilizó la curva IDF de la estación más cercana al centroide de la cuenca obtenidos mediante el estudio de la EAB. Para el segundo grupo de estaciones se calculó las curvas sintéticas IDF asociadas al centroide de la cuenca,

siguiendo el método de Vargas (1998), el cual se encuentra específicamente formulado para Colombia y cuya ecuación se enuncia a continuación:

$$I = a\frac{{T_r}^b}{t^c}M^d N^e PT^f ELEV^g$$

Siendo:
I: Intensidad (mm/h).
T_r: Período de retorno (años).
t : Duración de la precipitación, (horas).
M: Promedio del valor máximo anual de precipitación diaria (mm).
N: Promedio de número de días anuales con precipitación.
PT: Promedio de precipitación media anual (mm).
ELEV: Elevación de la estación meteorológica de medición (msnm).
a, b, c, d, e, f, y g: Son coeficientes propios de la ecuación que varían según la ubicación regional de la estación y de la cantidad de variables disponibles. Para el caso se utilizaron los recomendados por el autor del método.

En la siguiente tabla se presentan los valores correspondientes a cada parámetro calibrado para la región Andina de acuerdo con Vargas (1998).

Tabla.58. Parámetros del método de Vargas para la región Andina

a	b	c	d	e	f	g
1,64	0,19	0,65	0,73	-0,13	0,08	-0,01

Las abstracciones de la precipitación fueron calculadas a partir del método de abstracciones del Soil Conservation Service SCS o Método del Número de curva. Para esto se tuvo en cuenta la cartografía disponible suministrada por SDP en cuanto a coberturas de suelo siguiendo la metodología CORINE Land Cover además de la clasificación del grupo hidrológico del suelo, de acuerdo con el mapa geológico de la zona de estudio, definidos por tipo según su capacidad de infiltración.

Con el evento de precipitación obtenido a partir de las curvas IDF utilizando el método de bloque alterno y las abstracciones calculadas con el método de número de curva se obtienen los hidrogramas que servirán de entrada al modelo hidráulico. El Caudal Pico de estos hidrogramas según las cuencas asociadas al área de estudio se presenta en la Figura 4-74

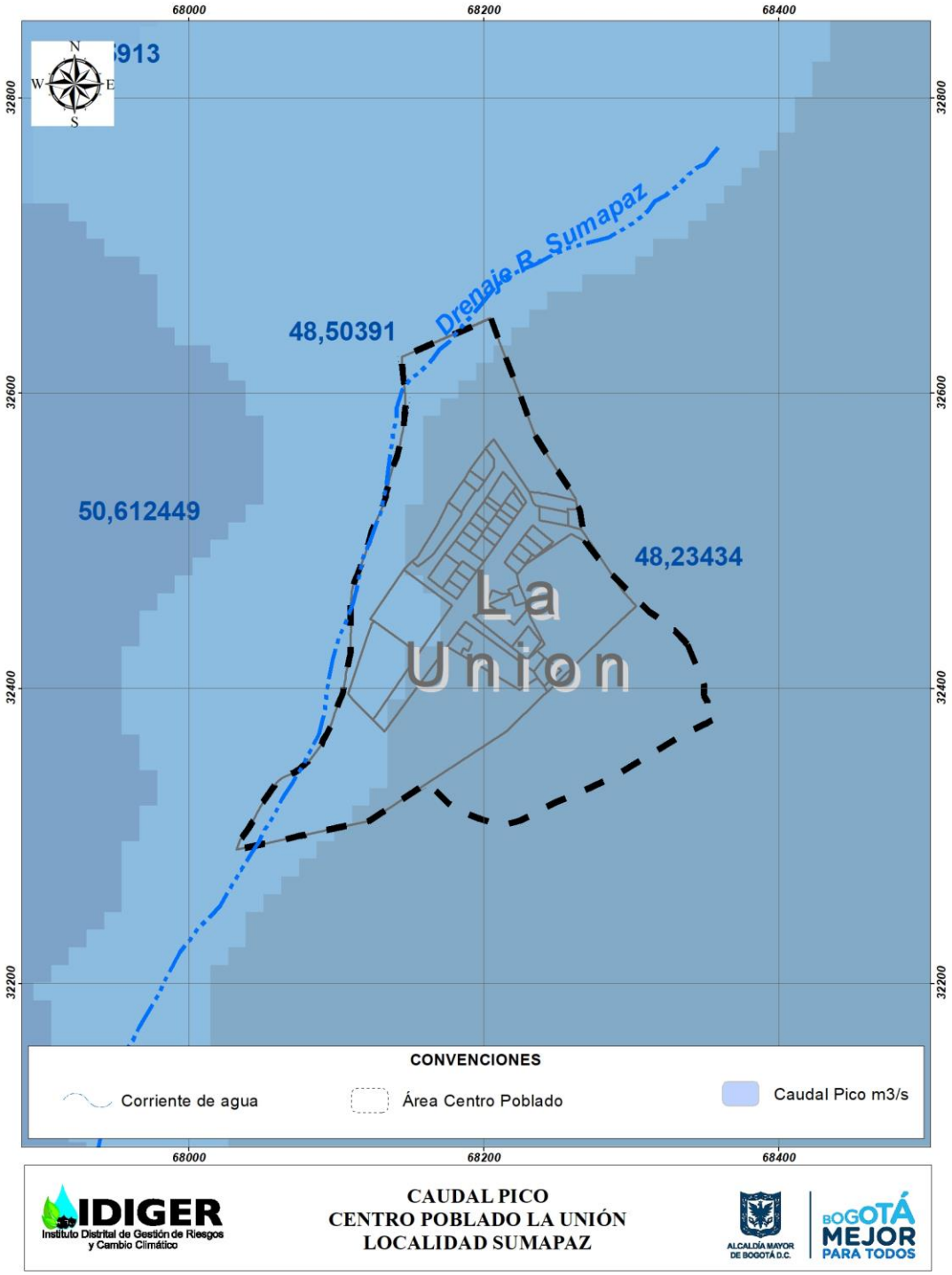


Figura 4-74. Caudales Pico Según Cuencas analizadas en el centro poblado La Unión.

4.6.5 ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

Dentro del centro poblado, las unidades geomorfológicas que se presentan se muestran en la Figura 4-113, el detalle del proceso de contruccción del levantamiento geomorfológico se presenta en el Documento Técnico de Sopórte del Mapa De Amenaza Por Movimientos En Masa En Perspectiva De Cambio Climático Zona Rural.

Gemorfológicamente, el sector corresponde con una cuesta estructural glaciada que se caracteriza por longitudes moderadamente largas, indicador de la homogeneidad del material y conformada por una ladera de pendiente plana a muy plana definida por la inclinación de sus estratos producto del basculamiento suave de capas de la Formación Guaduas.

Sin embargo, en superficie en algunos sectores han sido cubiertos por algunos conos y lóbulos coluviales que se caracteriza por su topografía baja, formas convexas o irregulares, con inclinaciones desde inclinadas a muy abruptas, formadas por procesos de transporte y deposición de materiales sobre las laderas producto de procesos hidrogravitacionales.

El polígono de estudio se encuentra delimitado por dos ríos que corresponden al rio San Juan y rio Sumapaz. El rio San Juan desemboca en el rio Sumapaz, y estos dos (2) afluentes mencionados presentan amenaza torrencial, y en visita de campo se evidenció transporte de material. Sin embargo, los afluentes se encuentran distantes del centro poblado.

El rio San Juan, se encuentra localizado al suroriente del polígono, a una distancia aproximada de 300 m, y se evidencia un contraste de relieve, que hace referencia a la diferencia de altitud de la geoforma entre la parte más alta y más baja de esta, encontrándose una diferencia superior a los 60 m, siendo este afluente el más cercano del centro poblado.

Asimismo, el rio Sumapaz se encuentra localizado al suroccidente del polígono, a una distancia aproximada de 600 m, y donde se evidencia una diferencia de nivel superior a 70 m.

De acuerdo con la geomorfologia a escala 1:2000 y partir de las unidades presentes se realizó en función de la morfogenésis y la morfodinámica, la identificación de la susceptibilidad a avenidas torrenciales, mediante un análisis basado en las morfoestructuras de región, unidad, subunidad y componente, con el fin de realizar la identificación de unidades de origen fluviotorrencial presentes en el área de estudio y determinar zonas susceptibles a la depositación y acumulacion de flujo o generación de sedimentos, previo a la validación mediante el modelo hidráulico, encontrando la siguiente categorización (Tabla 4.3):

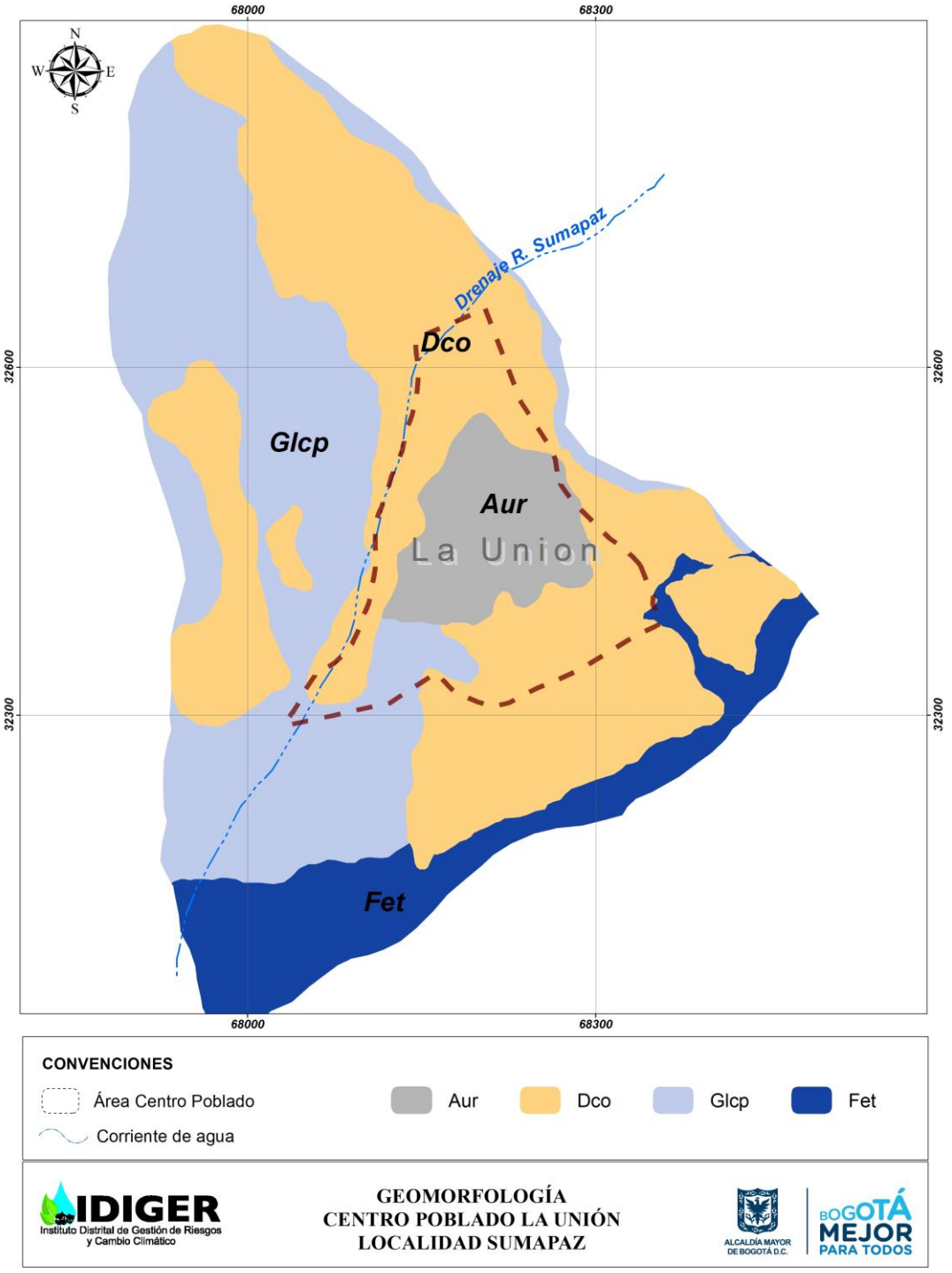


Figura 4-75. Mapa geomorfológico construido para La Unión.

Tabla 4.59. Susceptibilidad Geomorfológica de las Unidades

REGIÓN	UNIDAD	SUBUNIDAD	COMPONENTE	SÍMBOLO	SUSCEPTIBILIDAD	OBSERVACIONES
ANTROPOGÉNICO			Area Urbanizada	**Aur**	Baja	
ESTRUCTURAL - DENUDATIVO	Planchas Estructurales Denudadas – Espolones Estructurales	Conos y lóbulos Coluviales de Solifluxión	Laderas de Acumulación	**Dco**	Baja	
FLUVIAL	Terrazas Fluviales de Acumulación	Fluvial Intermontano, Terraza Aluvial	Escarpe de Terraza	**Fet**	Media	Alto potencial de aporte de sedimentos
GLACIAL Y PERIGLACIAL	Cuesta Estructural Glaciada	Ladera de contrapendiente estructural glaciada	Ladera Ondulada Glaciada	**Glcp**	Baja	

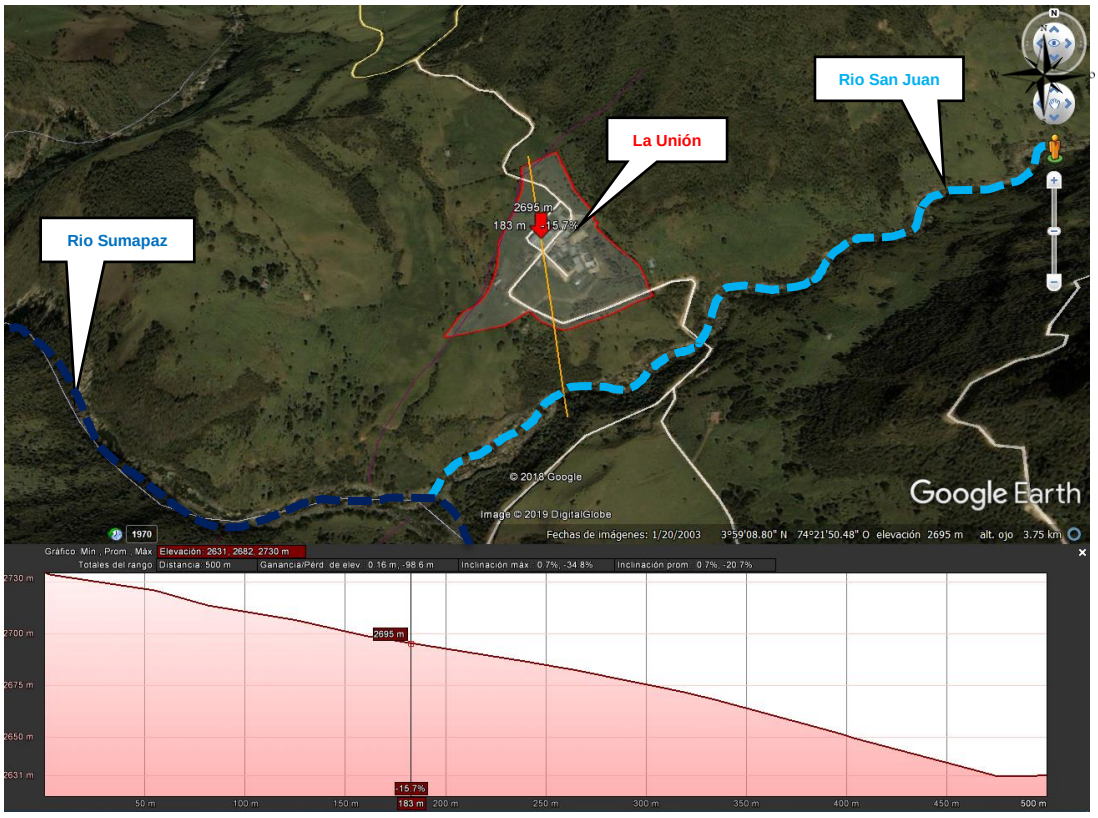


Figura 4-76. Geomorfología y perfil del centro poblado La Unión, Localidad de Sumapaz

4.6.5.1 INVENTARIO DE PROCESOS MORFODINÁMICOS

Para poder ajustar a la escala de trabajo el análisis de sedimentos, se verificaron los procesos morfodinámicos. Se realizó una revisión de los procesos que pudiesen afectar el área de estudio, evaluando la morfología y los materiales que lo conforman, encontrando que el área de estudio está conformada está conformada por coluviones susceptibles a la infiltración, con pendientes inclinadas condiciones que contribuyen a movimientos tipo reptación y flujos.

Fuera del área de estudio colindante con el rio San Juan, una vez realizada la verificación en campo, se evidenció la presencia de procesos morfodinámicos relacionados con movimientos en masa tipo deslizamientos y flujos en la terraza baja, debido a la socavación en la pata del talud por la dinámica del río San Juan.

Se revisaron los antecedentes de la zona, correspondientes a diagnósticos técnicos dentro del perímetro y sectores aledaños, existen en el área del centro poblado cuatro (4) diagnostico técnicos que corresponden a:

- La planta de sacrificio del centro poblado presentó fisuras y grietas por posibles asentamientos diferenciales de la construcción.
- Se identificó un proceso de remoción en masa de carácter general, de tipo compuesto, en ladera natural de aproximadamente 35° de inclinación. Entre las posibles causas se consideró la falta de medidas para el manejo de las aguas de escorrentía superficial y subsuperficial en el sector, socavación lateral del cauce del Río San Juan especialmente hacia su margen derecha, así como el aporte importante de aguas servidas provenientes del pozo séptico del sistema de alcantarillado.
- La vía de acceso al centro Urbano La Unión se ve afectada por un proceso movimientos en masa y reptación en varios puntos de la vía emplazada en una ladera de pendiente suave a moderada
- Corresponde a un movimiento en masa, el cual produce un escalonamiento en la ladera de pendiente moderada, existente entre la vivienda y el río San Juan, Se recomendó Evacuar e incluir con Prioridad Técnica 1 en el Programa de Reasentamiento de Familias Localizadas en Zonas de Alto Riesgo No Mitigable.

Por lo anterior, se concluye que la atención de emergencias ha sido por movimientos en masa, debido a la susceptibilidad de la ladera y al inadecuado manejo de la escorrentía superficial y el vertimiento de aguas servidas, así como también los procesos de socavación del rio San Juan, que han contribuido en desestabilizar la margen derecha del del talud. Sin embargo, no se han presentado procesos por avenidas torrenciales dentro del centro poblado.

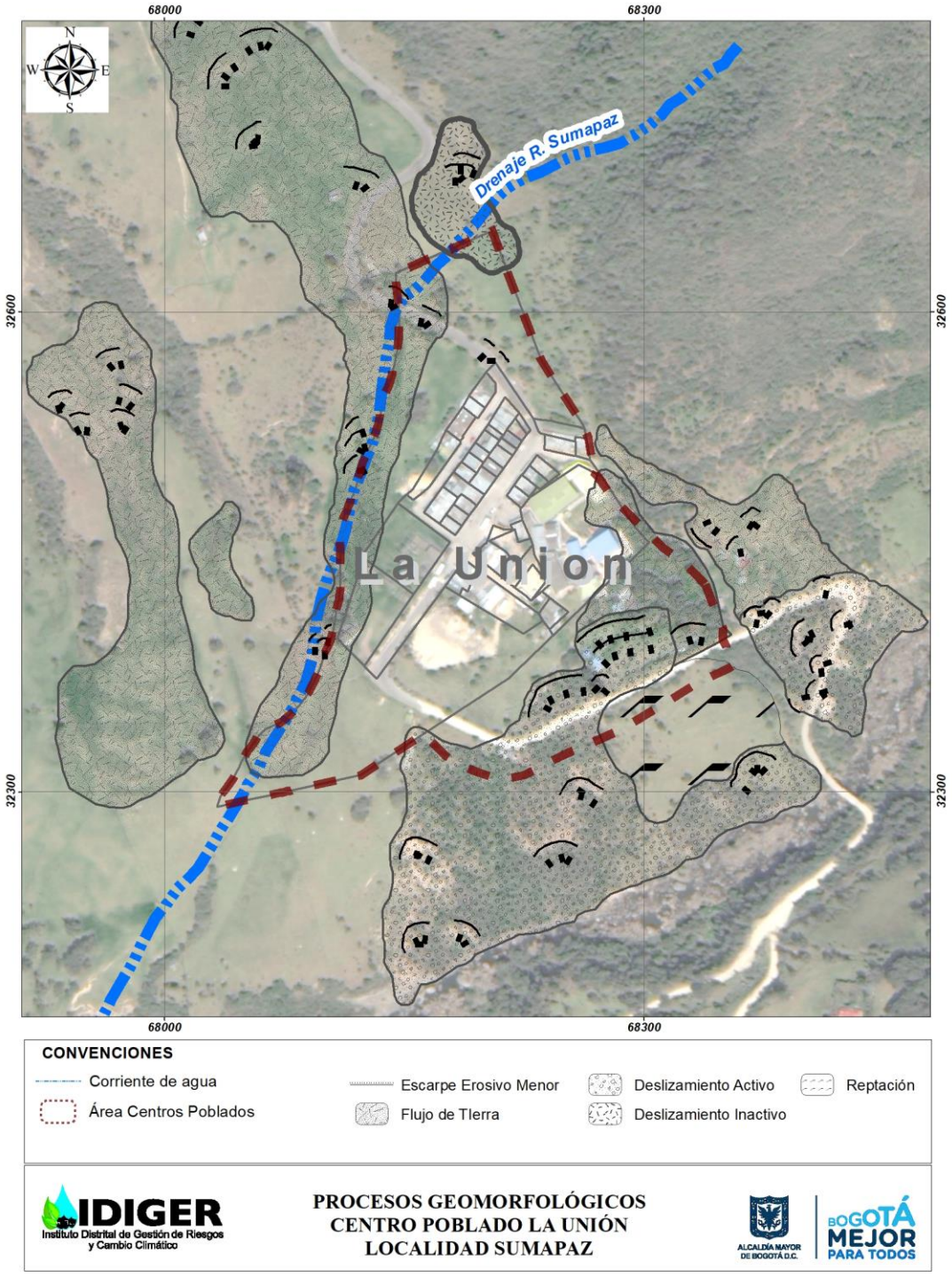
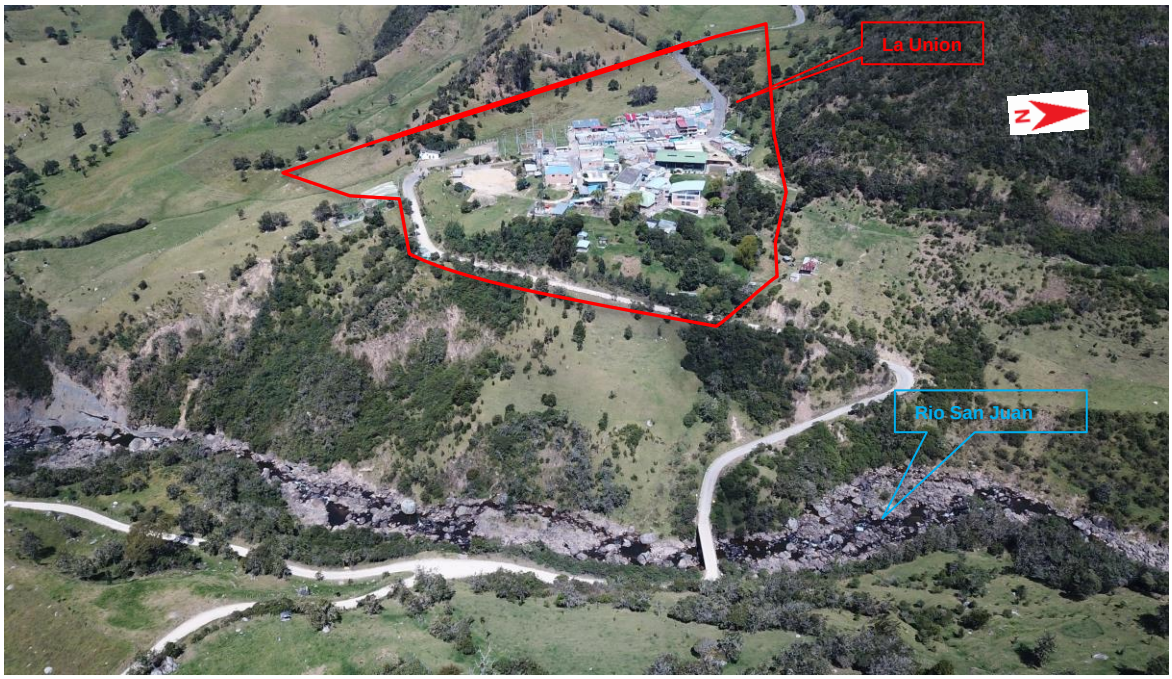


Figura 4-77. Mapa de procesos morfodinámicos construido para La Unión.

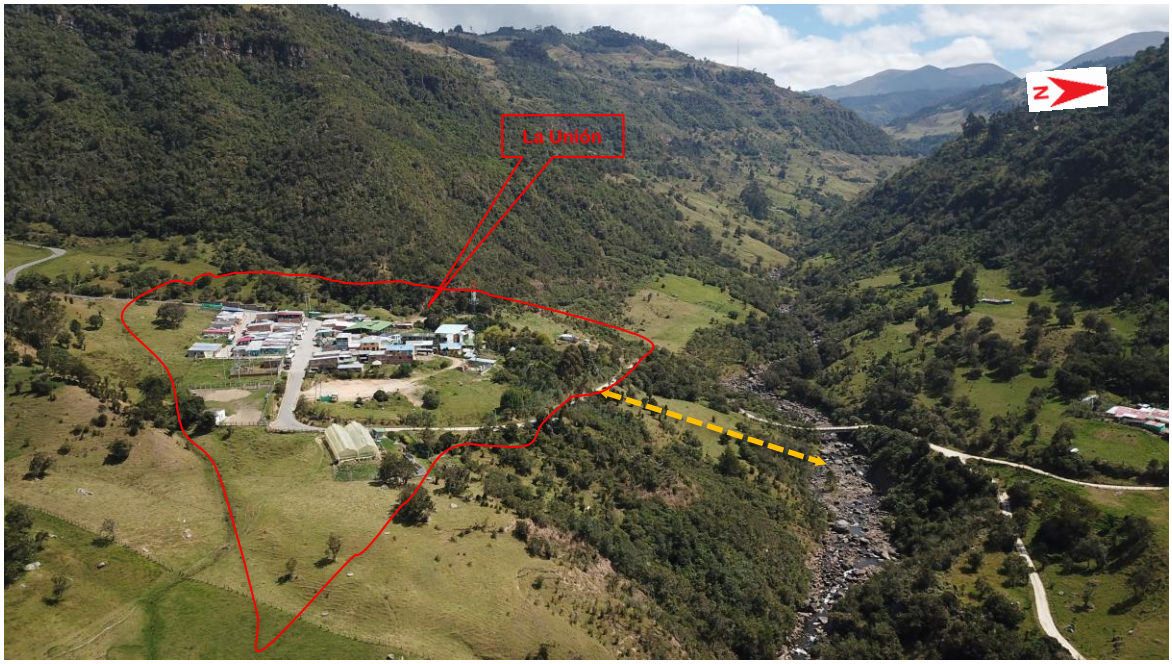
4.6.5.2 VERIFICACIÓN EN CAMPO

Se realizó por parte de la Entidad una visita técnica al centro poblado en estudio, en la cual se hizo un vuelo con Dron para realizar verificar las condiciones de posible amenaza por avenidas torrenciales a la escala especificada. A continuación, se presenta el registro fotográfico del sector.



Fotografía 4-17. Centro Poblado Limite con afluente Rio San Juan

Fotografía 4-18. Centro Poblado La Unión implando sobre la geoforma mas alta (Terraza 3)



Fotografía 4-19. Centro Poblado La Unión – Lejanía del afluente Río San Juan

4.6.6 ANÁLISIS DE SEDIMENTOS

Dado que el aporte de sedimentos de algunos procesos de movimientos en masa aferentes a los cuerpos hídricos puede contribuir a la carga de sedimentos elevando los volúmenes transportados por la corriente es importante definir los procesos que pueden generar aporte de sedimentos a la creciente súbita, para esto se utiliza como insumo el inventario de procesos definido con anterioridad para la escala de trabajo. Se caracterizó cada proceso definiendo a partir de la información disponible la formación, depósito o tipo de suelo, su granulometría y su incidencia en el aporte de sedimentos conforme su ubicación frente al cuerpo de agua, trabajando como zonas de aporte directas, las aferentes en una faja paralela (buffer) de 100 m a lado y lado del cuerpo de agua. Esta distancia tenía como objeto incluir la mayor cantidad de procesos, teniendo en cuenta que la mayoría de las quebradas no tienen definida su zona de ronda propiamente dicha, sino que se toma la generalidad reglamentada de los 30 m.

Según la caracterización y definición del proceso se pudo obtener el tipo de material aportante al cauce, y por tanto establecer el parámetro de concentración de acuerdo al tipo de flujo a presentarse según criterio de experto teniendo en cuenta lo presentado en la Tabla 4.60 y Tabla 4.61

Por otra parte, en la Tabla 4.62 se presentan los parámetros reológicos utilizados en las modelaciones, donde se establecen las relaciones disponibles del esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimento de acuerdo con el estado del arte de la zonificación de amenazas por avenidas torrenciales. Para la elección del tipo de relación a utilizar se trató de validar los resultados obtenidos utilizando diferentes reologías con el registro histórico presentado en el estudio detallado de la quebrada Limas "Actualización de la Zonificación de Amenaza de Inundación y Avenidas Torrenciales de la Quebrada Limas. Localidad Ciudad Bolívar" Rogelis (2008). Como resultado de esta validación se concluyó que el mejor ajuste se obtenida al seleccionar la reología de Kang & Zhang (1980), y por tanto se toman para el modelo estos parámetros de esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos.

Tabla 4.60. Comportamiento del flujo de sedimentos como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014)

	Concentración de Sedimento		Características del flujo
	En Volumen	En Peso	
Deslizamiento	0.65 - 0.80	0.83 - 0.91	No fluye; falla por deslizamiento.
	0.55 - 0.65	0.76 - 0.83	Falla por deslizamiento con deformación interna, creep lento anterior a la falla.
Flujo de lodos	0.48 - 0.55	0.72 - 0.76	Flujo evidente, creep lento; deformación plástica bajo el peso propio del material; cohesivo, no se extiende en superficie nivelada.
	0.45 - 0.48	0.69 - 0.72	El flujo se extiende sobre superficie nivelada; flujo cohesivo; algo de mezcla.
Creciente de lodos	0.40 - 0.45	0.65 - 0.69	El flujo se mezcla fácilmente; muestra propiedades de fluido en deformación; se extiende en una superficie horizontal pero mantiene una superficie del fluido inclinada; contiene partículas de tamaño considerable; aparecen ondas pero se disipan rápidamente.

	Concentración de Sedimento		Características del flujo
	En Volumen	En Peso	
	0.35 - 0.40	0.59 - 0.65	Marcado asentamiento de gravas; se extiende casi completamente en una superficie horizontal; superficie líquida con dos fases del fluido; hay ondas que viajan en la superficie.
	0.30 - 0.35	0.54 - 0.59	Las ondas viajan fácilmente; la mayoría de la arena y grava se mueven como carga de lecho.
	0.20 - 0.30	0.41 - 0.54	Presencia de ondas; superficie fluida; todas las partículas se encuentra en el lecho.
Agua	< 0.20	< 0.41	Creciente de agua con carga en suspensión y de lecho.

Tabla 4.61. Parametros de concentración de sedimentos en función de los procesos identificados en el búfer de 100m

PROCESOS IDENTIFICADOS	UBICACIÓN EN ZONA DE APORTE DIRECTO	CONCENCENTRACIÓN DE SEDIMIENTOS	
		EN VOLUMEN	EN PESO
Flujos de Tierras	SI	0.48-	0.72
Deslizamiento Activo	SI	0.65	0.83
Deslizamiento Inactivo	SI	0.65	0.83
Reptación	No	< 0.20	< 0.41
Escarpe Erosivo Menor	Si	0.4	0.65

Tabla 4.62. Esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014)

Yield Stress and Viscosity as a Function of Sediment Concentration				
Source	$\tau_y = \alpha e^{\beta Cv}$		$\eta = \alpha e^{\beta Cv}$	
	α	β	α	β
Field Data				
Aspen Pit 1	0.181	25.7	0.0360	22.1
Aspen Pit 2	2.72	10.4	0.0538	14.5
Aspen Natural Soil	0.152	18.7	0.00136	28.4
Aspen Mine Fill	0.0473	21.1	0.128	12.0
Aspen Watershed	0.0383	19.6	0.000495	27.1
Aspen Mine Source Area	0.291	14.3	0.000201	33.1
Glenwood 1	0.0345	20.1	0.00283	23.0
Glenwood 2	0.0765	16.9	0.0648	6.20
Glenwood 3	0.000707	29.8	0.00632	19.9
Glenwood 4	0.00172	29.5	0.000602	33.1
Relationships Available from the Literature				
Iida (1938)	-	-	0.0000373	36.6
Dai et al. (1980)	2.60	17.48	0.00750	14.39
Kang and Zhang (1980)	1.75	7.82	0.0405	8.29
Qian et al. (1980)	0.00136	21.2	-	-
	0.050	15.48	-	-
Chien and Ma (1958)	0.0588	19.1-32.7	-	-
Fei (1981)	0.166	25.6	-	-
	0.00470	22.2	-	-

4.6.7 ANÁLISIS HIDRAÚLICO

- *MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN*

Para generar el modelo hidráulico bidimensional, es necesario contar con un modelo de elevación digital del terreno con un nivel muy alto de detalle, sobre el cual se hace una corrrección de drenaje.

Teniendo como entrada el DEM se construye en ArcGIS el flujo de trabajo de herramientas a utilizar con el fin de generar el DEM para ingresar el modelo hidráulico. En este flujo de trabajo se desarrollan los siguientes 3 pasos.

1. Buffer de 100 m de la corriente a modelar.
2. Modelo de Elevación Digital Tamaño a partir del modelo de elevación digital de 12 m con corrección red de drenaje extraído con buffer de 100 m corriente a modelar.
3. Modelo de Elevación Digital Tamaño corregido.

El anterior procedimiento se realizó para las cuencas que hacen parte del centro poblado.

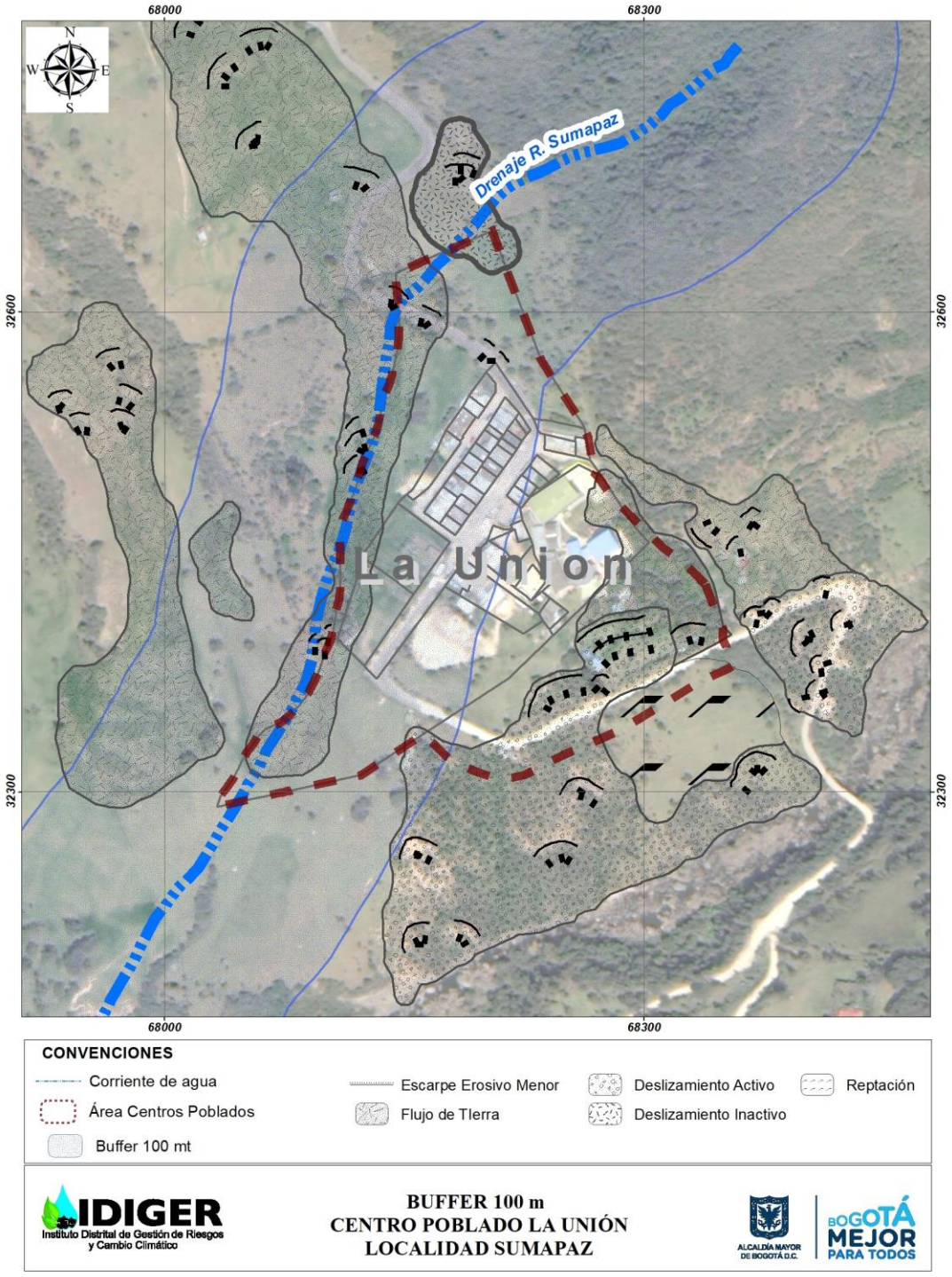


Figura 4-78: Buffer de 100 m Cuerpos de Agua Centro Poblado La Unión

Para desarrollar el proceso metodológico y obtener el raster que será utilizado para la evaluación hidraulica de cada cuerpo de agua se utilizo la herramienta ModelBuilder de ArcGIS como se muestra en el diagrama de la Figura 4-10 . Este procedimiento inicia con la creación de un buffer por cada drenaje de la zona de estudio y a partir de este, se realiza el corte del DEM y se obtiene el archivo ASCII que permite generar la superficie del modelo hidráulico.

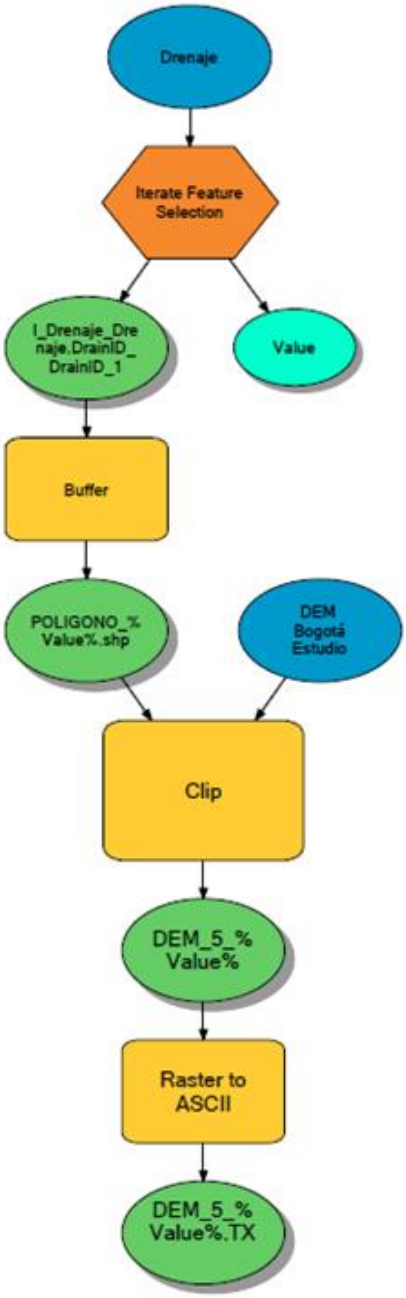


Figura 4-79: Procedimiento en ModelBuilder de ArcGIS para la Extracción Raster modelaciones

4.6.8 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES

- *RESULTADOS DE MODELACIÓN*

Retomando el flujograma metodológico, para la construcción del mapa de amenaza por avenidas torrenciales, partiendo del análisis hidrológico, una vez obtenidos los hidrogramas para las cuencas definidas, estos son incluidos en el modelo hidráulico, el cual es el resultado de la generación de las secciones transversales de cada una de las cuencas delimitadas. Adicionalmente, a partir de la relación Kang & Zhang (1980) se generan los valores del esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos los cuales son incluidos en el modelo hidráulico.

Se inicia el procesamiento en el software de elementos finitos de cada una de las cuencas que cubren el centro poblado, obteniendo alturas y velocidades del flujo para cada pixel junto con los caudales de salida que alimentan los pixeles de la cuenca aguas abajo y van generando la integración del modelo hidráulico. Al final se tiene como resultado un ráster con tamaño de pixel de 1m donde se tiene una profundidad y velocidad del flujo.

A partir de los resultados de altura y velocidades del flujo obtenidos en el modelo hidráulico se realiza la zonificación de la amenaza de acuerdo con la categorización presentada en la Tabla 4.63.

Tabla 4.63. Matriz de amenaza definida por la intensidad del proceso y su probabilidad de ocurrencia. (Matjaž, 2013)

				Probability of occurrence, *P*		
	BUWAL (1997)	Rickenmann (2005b)		High	Medium	Low
Intensity, *I*	h > 1.0 m and v > 1.0 m/s	h > 1.0 m or v > 1.5 m/s	High	**High**	**High**	**Moderate**
	h < 1.0 m or v < 1.0 m/s	h < 1.0 m and 0.4 m/s < v < 1.5 m/s	Medium	**Moderate**	**Moderate**	**Low**
	non existent	h < 0.4 m and v < 0.4 m/s	Low	**Low**	**Low**	**Very Low**
Not affected areas				**Very Low**	**Very Low**	**Very Low**

Posteriormente para la construcción del mapa de amenaza por avenidas torrenciales, una vez obtenidos los resultados de la modelación donde se generaron alturas y velocidades del flujo para cada pixel de 1m, se procedió a identificar las zonas que cumplen con las características descritas en la Tabla 4.64, para definir la categorización de la amenaza en: Alta, Media o Baja.

Tabla 4.64. Matriz para la zonificación de amenaza

ZONIFICACIÓN	DEFINICIÓN
Zonas en amenaza alta	Zona de desborde del cauce delimitada para el caudal del periodo de retorno de 100 años, con una profundidad de flujo superior a 1,0 y/o una velocidad de flujo superior a 1,5 m/s.
Zonas en amenaza media	Zona de desborde del cauce delimitada para el caudal del periodo de retorno de 100 años, con una profundidad de flujo entre 0,4 m y 1,0 m y/o una velocidad de flujo entre 0,4 y 1,5 m/s.
Zonas en amenaza baja	Zona de desborde del cauce delimitada para el caudal del periodo de retorno de 100 años, con una profundidad de flujo igual o mayor que 0 m e inferior a 0,4 m, y/o una velocidad de flujo igual o mayor que 0 m/s e inferior a 0,4 m/s.

De acuerdo con los resultados obtenidos al realizar el análisis matricial, donde se identifica la calificación de amenaza por avenidas torrenciales, se obtuvo el resultado mostrado en la Figura **4-80**

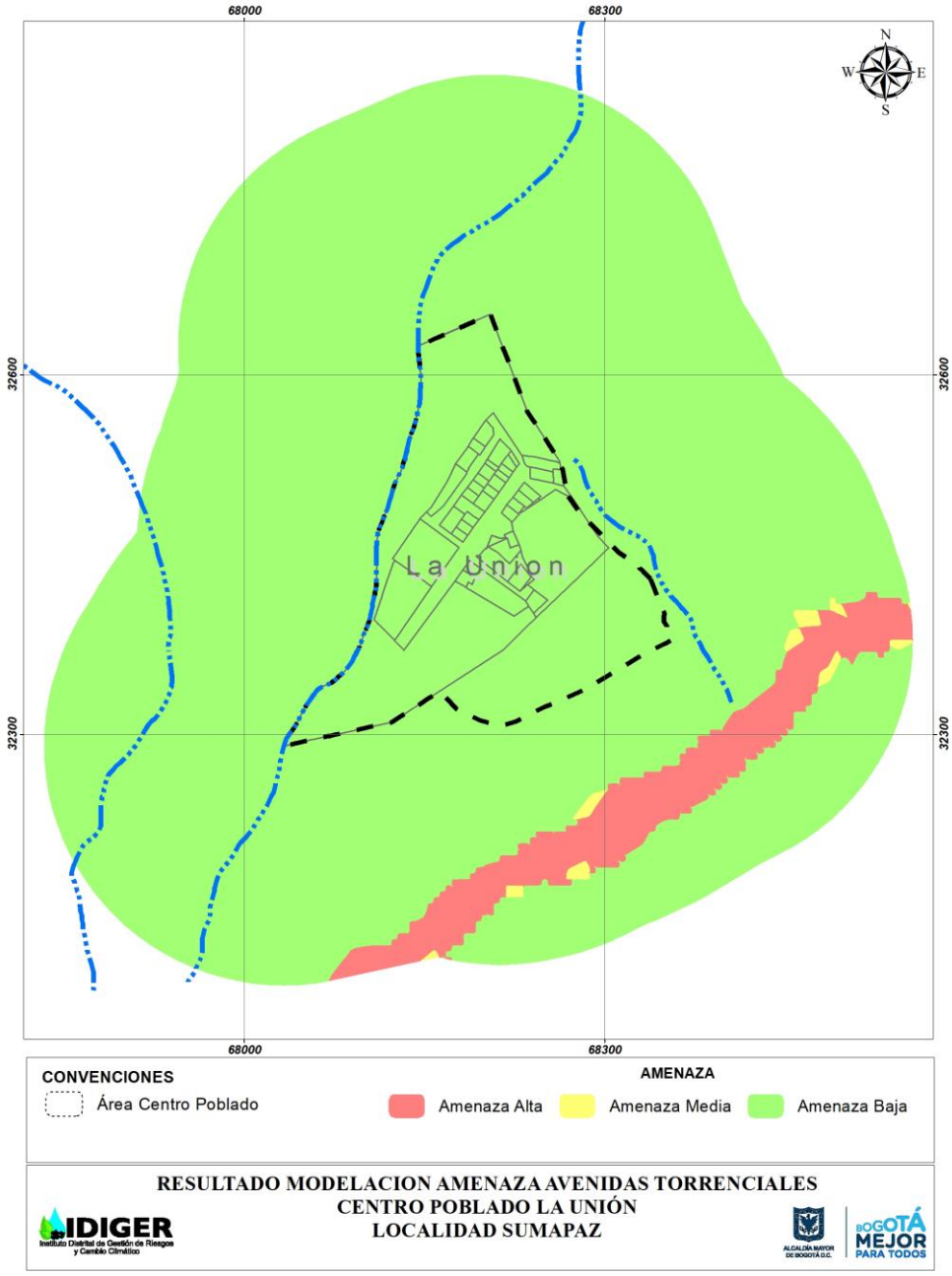


Figura 4-80. Resultado modelación de amenaza por avenidas torrenciales

Se observan tramos de drenajes en amenaza baja que, aunque son de carácter torrencial, se aclara presentan una profundidad de flujo igual o mayor que 0 m e inferior a 0,4 m, y/o una velocidad de flujo igual o mayor que 0 m/s e inferior a 0,4 m/s.

4.6.9 ZONIFICACIÓN Y MAPA DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO LA UNIÓN

De acuerdo con los resultados de evaluación se define la amenaza por avenidas torrenciales como el área donde existe una probabilidad de ocurrencia de avenidas torrenciales con un periodo de retorno de 100 años, la intensidad del fenómeno se establece a partir de los resultados del modelo hidráulico de los cauces naturales y/o intervenidos que por sus condiciones presentan avenidas torrenciales. El modelo hidráulico desarrollado implementa los resultados de la modelación hidrológica de las cuencas asociadas a estos cauces naturales y cuya área aferente es mayor a 50 ha y la concentración de sedimentos de fenómenos de movimientos en masa que pueden incorporarse a estos cauces. Las categorías de amenaza por avenidas torrenciales se dividen en tres categorías presentadas en la Tabla 4.64 presentada anteriormente.

Teniendo en cuenta lo anteriormente descrito, se puede concluir que el área de estudio no es susceptible a la acumulación de flujos torrenciales. Se identificaron los cauces que por sus condiciones puedan tener un comportamiento torrencial que en este caso es el Rio San Juan y Rio Sumapaz, sin embargo, por la lejanía de los tíos al Centro Poblado a una distancia aproximadamente mayor de 300 m y 600 respectivamente y por la diferencia de nivel que se ve reflejado en el contraste del relieve, el centro poblado y su infraestructura no es aferente al cuerpo de agua, razón por la cual no presenta amenaza por avenidas torrenciales.

Sin embargo, de acuerdo a los procesos identificados en las márgenes del río San Juan, se puede presentar a futuro una activación de dichos procesos y generar una desestabilización de las márgenes generando desprendimientos de material de los márgenes y un aporte de sedimentos a estos afluentes que puede tener afectaciones aguas abajo en el rio Sumapaz.

De acuerdo al análisis multitemporal, se evidenció que no se presentaron eventos de emergencia por procesos de avenida torrencial, debido a que las condiciones naturales de los cauces se mantienen.

Finalmente teniendo en cuenta el análisis de las condiciones de amenaza por avenidas torrenciales realizado para el centro poblado de La Unión, se concluye que este presenta un nivel inferior al considerado como bajo como se muestra en la Figura 4-81.

Tabla 4.65. Área de amenaza en el centro poblado La Unión

Centro poblado La Unión	
Amenaza	**Hectáreas (Ha)**
Media	0,0
Alta	0,0

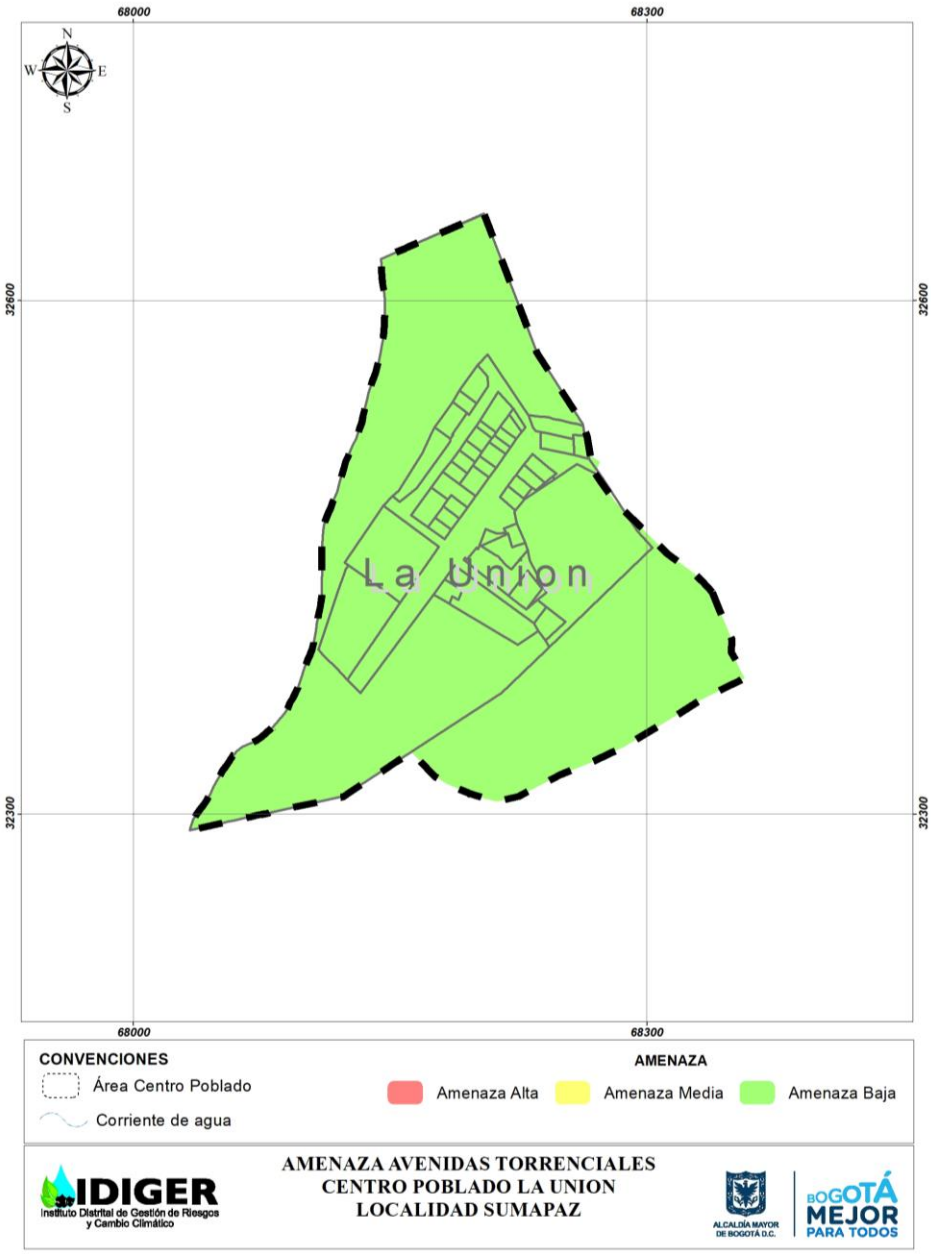


Figura 4-81. Zonificación de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado La Unión.

4.6.10 ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO LA UNIÓN

Según el Art. 3 del Decreto 1807 de 2014, *"…las áreas con condición de amenaza son las zonas o áreas del territorio municipal zonificadas como de amenaza alta y media en las que se establezca en la revisión o expedición de un nuevo POT la necesidad de clasificarlas como suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales para permitir su desarrollo."*. Así mismo, el Art. 11 estipula que la delimitación y zonificación de

las áreas con condición de amenaza, *"con fundamento en la delimitación y zonificación de amenazas, se delimitan y zonifican aquellas áreas sin ocupar del suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales en las que en la revisión o en la expedición de un nuevo POT se proponga su desarrollo."*

Para delimitar áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el centro poblado La Unión, se tuvo en cuenta las zonas no ocupadas que se encuentran en amenaza alta y media por avenidas torrenciales a escala 1:2.000 (Figura 4-82 y Tabla 4.66).

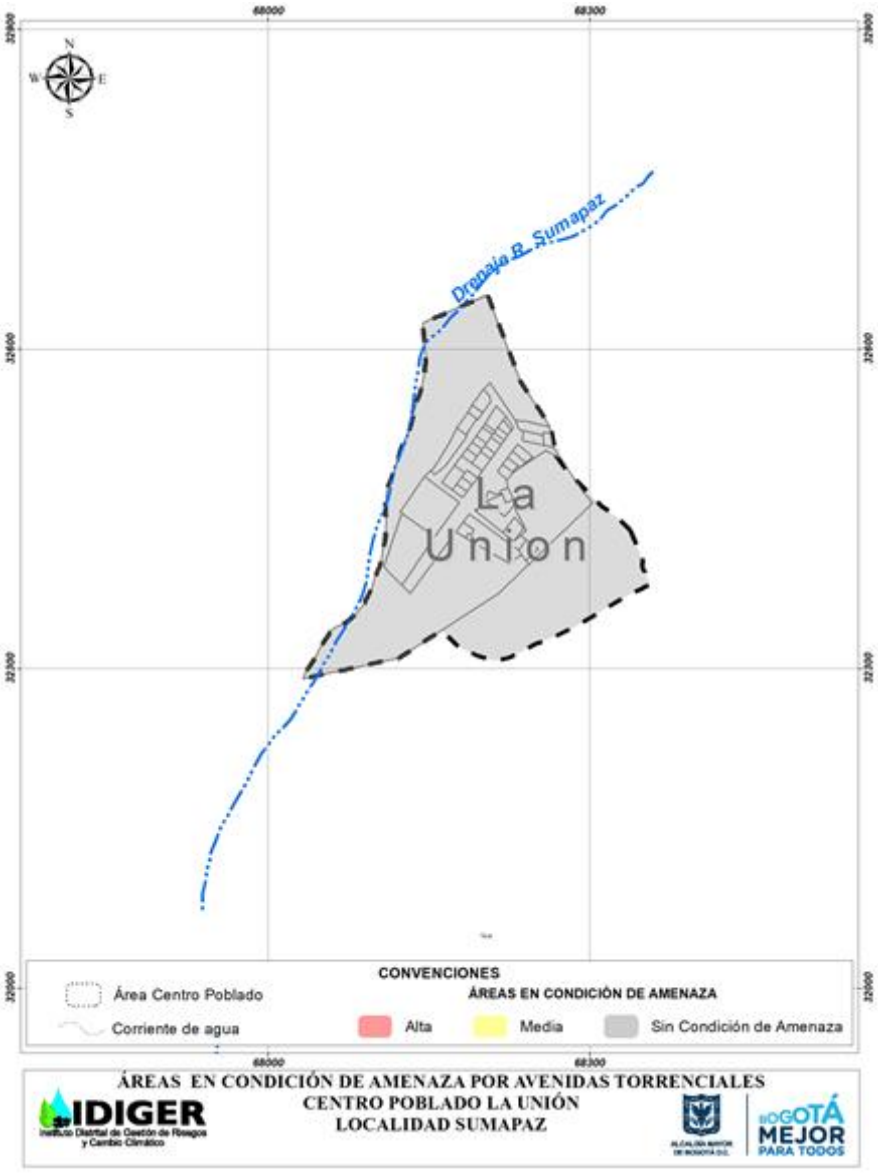


Figura 4-82: Mapa de áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado La Unión

Tabla 4.66. Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el centro poblado La Unión

Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el centro poblado La Unión	
Amenaza	**Hectáreas (Ha)**
Media	0,0
Alta	0,0

4.6.10.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de Amenaza por Avenidas Torrenciales en el Centro Poblado La Unión

No hay condicionamientos o restricciones dado que no hay áreas con condición de amenaza.

4.6.11 ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO LA UNIÓN

Según el Art. 3 del Decreto 1807 de 2014, las áreas con condición de riesgo *"corresponden a las zonas o áreas del territorio municipal clasificadas como de amenaza alta que estén urbanizadas, ocupadas o edificadas así como en las que se encuentren elementos del sistema vial, equipamientos (salud, educación, otros) e infraestructura de servicios públicos..."*. Indica además en su Art. 12, como se mencionó anteriormente, que para definir estas zonas se deben identificar *"…la existencia de elementos expuestos, de áreas urbanizadas, ocupadas o edificadas así como de aquellas en las que se encuentren edificaciones indispensables y líneas vitales."*

Para delimitar áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado La Unión, se tuvo en cuenta las construcciones, equipamientos e infraestructura que se encuentran en amenaza alta por avenidas torrenciales (Figura 4-83 y Tabla 4.67).

Tabla 4.67. Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado La Unión

Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado La Unión	
Amenaza	**Hectáreas (Ha)**
Alta	0,0

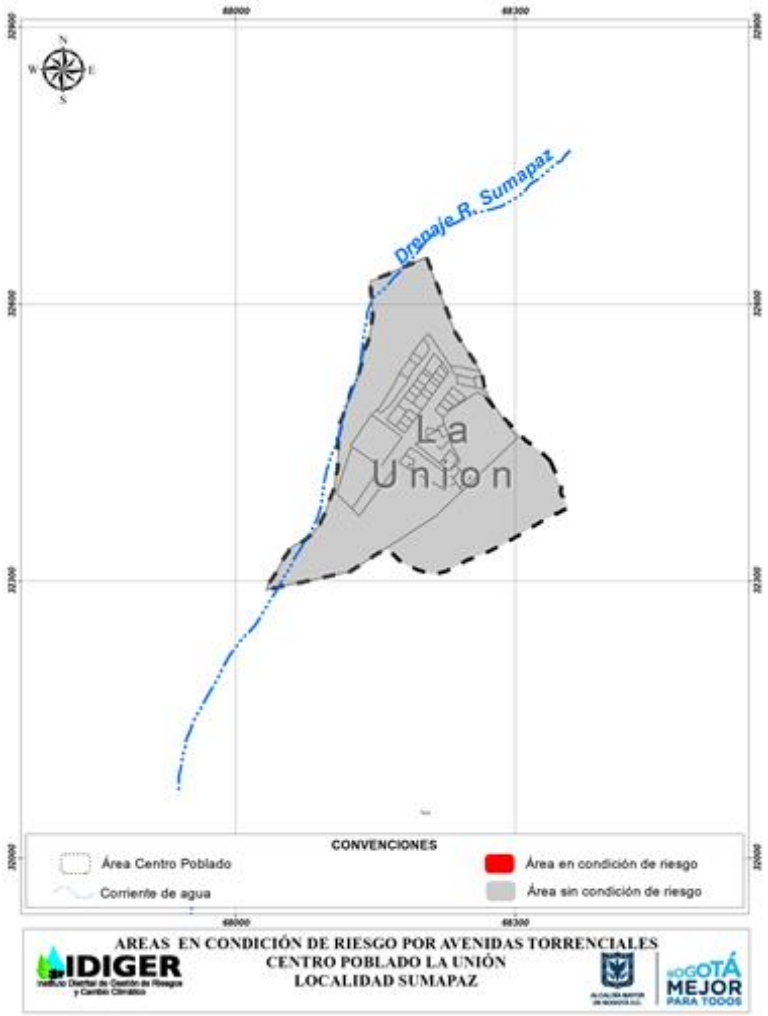


Figura 4-83: Mapa de áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en centro poblado La Unión

4.6.11.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de Riesgo por Avenidas Torrenciales en el Centro poblado La Unión

No hay condicionamientos o restricciones dado que no hay áreas con condición de riesgo.

4.6.12 ESTUDIOS DETALLADOS DE RIESGO EN ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO LA UNIÓN

Los estudios detallados de riesgo en sectores aledaños por avenidas torrenciales al centro poblado La Unión, están contemplados en la priorización de estudios detallados de ríos y quebradas en las áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en en el suelo rural, los cuales se realizarán en el largo plazo, los cuales permitirán conocer en detalle la amenaza y riesgo de los sectores cercanos al centro poblado en amenaza media y alta.

4.7 AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO SAN JUAN

4.7.1 ÁREA DE ESTUDIO

El Centro Poblado San Juan se encuentra ubicado al sur de la Localidad de Sumapaz, en la UPR 5 Rio Sumapaz, como se ve en la Figura 4-84, se localiza en suelo rural, sobre la vía que conduce al Parque Natural del Sumapaz a aproximadamente 75 Km de Usme. Así mismo, se caracteriza por una baja consolidación, de acuerdo a su connotación rural y cuenta con amplias zonas verdes.

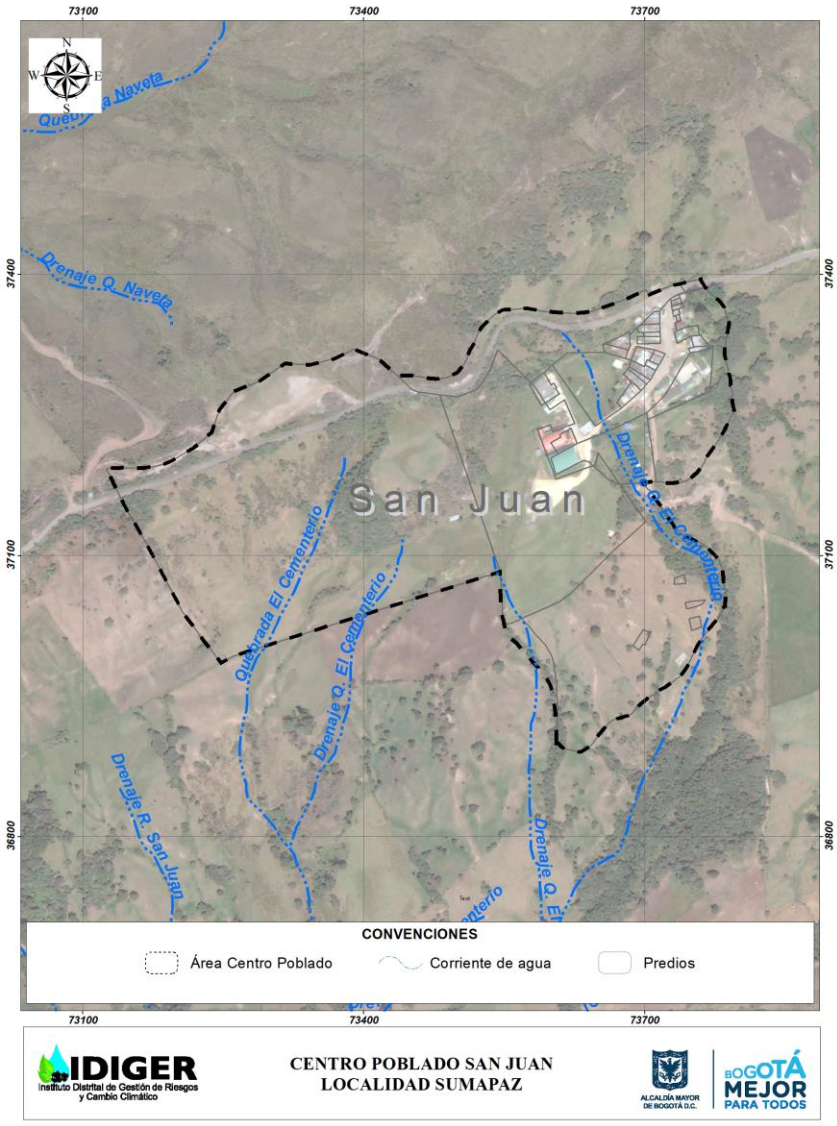


Figura 4-84. Localización general del Centro Poblado San Juan, Localidad del Sumapaz.

En la Figura 4-84, se presenta la ubicación del centro poblado San Juan y la zonificación de amenaza por avenidas torrenciales en suelo rural, en la cual se observa que no existe influencia de la amenaza por avenidas torrenciales en el perímetro del centro poblado.

4.7.2 INSUMOS

A continuación, se describen los insumos básicos que se tomaron como punto de partida para el desarrollo del análisis de amenaza por avenidas torrenciales, de acuerdo con lo dispuesto en el Art. 10 del Decreto 1807, donde se indica que, para los estudios básicos de amenaza por avenidas torrenciales en centros poblados, se deben realizar a escala 1:2.000.

4.7.2.1 CARTOGRAFÍA BASE

Para la cartografía base utilizada tal como lo establece el Decreto 1807 de 2014 (compilado por el Decreto 1077 de 2015), se verificó que contuviera entre otros: coordenadas, curvas de nivel, drenajes, red vial, infraestructura y equipamientos, asentamientos humanos. A partir de lo anterior para la cartografía se tiene lo siguiente:

A SISTEMAS DE COORDENADAS

Sistema de Coordenadas Proyectadas - Cartesianas: Magna Bogotá
Proyección: Transversal de Mercator
Falso Este: 92324,879
Falso Norte: 109320,965
Longitud Meridiano Central: -74,14659167
Latitud de origen: 4,680486111
Factor de escala: 1
Sistema de Coordenadas Geográfica GCS CarMAGBOG
Meridiano de Greenwich
Datum CGS_CARMAGBOG
Elipsoide: GRS80 Mod
Semieje Mayor: 6380687
Semieje Menor: 6359293,764473119
Achatamiento: 298,257222101

B ESCALA

De acuerdo con el Artículo 10 del Decreto 1807 de 2014 (compilado por el Decreto 1077 de 2015) la base cartográfica que se emplea para la presente zonificación corresponde con una escala 1:2.000.

C GEODATABASE SECRETARÍA DISTRITAL DE PLANEACIÓN SDP

La cartografía base fue tomada de la geodatabase con la información geográfica de la Secretaría Distrital de Planeación.

D LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS DE CENTROS POBLADOS RURALES PRIORIZADOS POR LA SDHT.

Mediante el contrato "*LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS DE CENTROS POBLADOS RURALES PRIORIZADOS POR LA SDHT Y GENERAR LA RESPECTIVA CARTOGRAFÍA ASOCIADA"* (2015) contratado por la SDHT, se generó la topografía detallada de centros poblados cuyo resultado son curvas de nivel cada 0.50m.

Esta información y sus bases de datos fueron insumo para la generación de los estudios realizados a escala 1:2000 para del centro poblado.

4.7.2.2 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN

Se utilizó el Modelo Digital del Elevación – DEM generado de 2 x 2 metros, a partir de la información disponible, para realizar la delimitación las cuencas aferentes y el cálculo de algunos parámetros morfométricos de las mismas, los cuales son de gran utilidad para determinar el comportamiento de las cuencas ante eventos de lluvias máximas.

Para esto se realizó la recolección de modelos digitales de Elevación disponibles para el área de estudio, la cual se resume a continuación:

Tabla 4.68. Modelos Digitales de Elevación

Nombre	Fuente	Año	Resumen
Modelo digital de Elevación DEM	SDP		1m
	SDHT	2015	0.5m

Los Modelos Digitales de Elevación que se usaron para para la obtención de la amenaza del centro poblado San Juan, proviene de la información contenida en el estudio "*LEVANTAMIENTOS TOPOGRÁFICOS DE CENTROS POBLADOS RURALES PRIORIZADOS POR LA SDHT Y GENERAR LA RESPECTIVA CARTOGRAFÍA ASOCIADA.*"

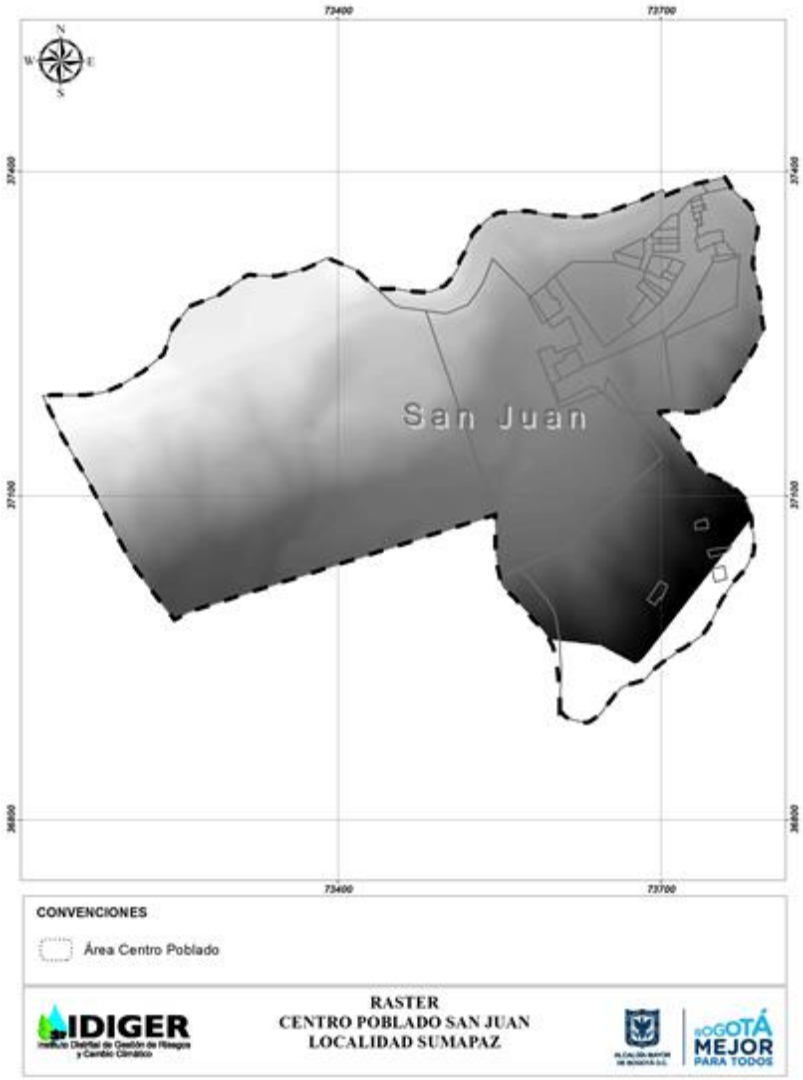


Figura 4-85: Modelo Digital del Elevación del centro poblado San Juan

4.7.2.3 GEOMORFOLOGÍA

El estudio geomorfológico permite identificar cuales de las unidades correspondientes al Centro Poblado San Juan son susceptibles a la generación de los procesos de avenidas torrenciales los cuales contribuyen a la delimitación de las zonas de estudio y su correspondiente delimitación de amenaza final. La geomorfología es presentada en detalle dentro del análisis geomorfológico.

4.7.3 METODOLOGÍA

Con el fin de construir el esquema metodológico usado en la generación del mapa de amenaza por avenidas torrenciales, se partió de una revisión de las metodologías de evaluación de amenaza enfocado en la armonización tanto en alcance, nivel de información disponible y calidad de los resultados para definir los procedimientos y actividades a ejecutar para lograr un producto cartográfico ajustado a los requerimientos técnicos exigidos en la normatividad vigente (Decreto 1807 de 2014).

4.7.3.1 ESQUEMA METODOLÓGICO

El esquema metodológico se divide en tres análisis principales: (Ver Figura **4-86**)

1. Análisis Geomorfológico
2. Análisis Hidrológico
3. Análisis de Sedimentos
4. Análisis Hidráulico

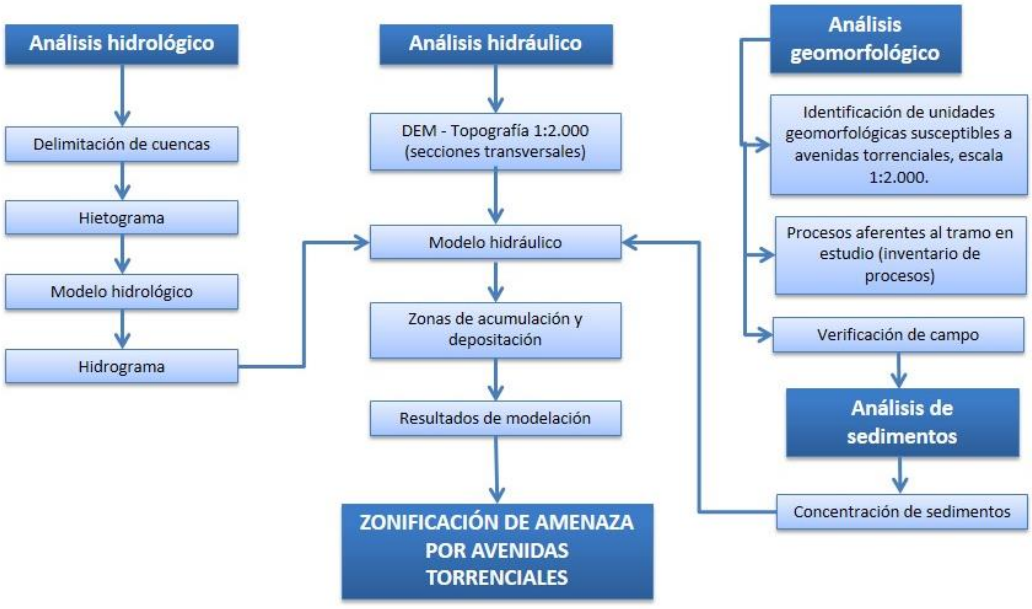


Figura 4-86. Esquema metodológico

El análisis hidrológico inicia con la delimitación de las cuencas aferentes al tramo de río o quebrada que se analiza a partir del modelo de elevación digital de la cuenca, posteriormente se estima el hietograma de precipitación bajo un escenario de periodo de retorno determinado el cual es el insumo de entrada para el modelo hidrológico que proporciona los hidrogramas de entrada del modelo hidráulico.

El análisis geomorfológico consiste en la revisión e identificación de la geomorfolgía a escala 1:2000 de las unidades de potencial acumulación de flujo.

El análisis de sedimentos parte del mapa de procesos geomorfológicos identificados que se encuentran cerca del tramo de rio o quebrada que se analiza, la concentración de sedimentos se determina de acuerdo con la literatura especializada identificada durante la revisión del estado del arte asignando un valor promedio a cada tipo de proceso.

El análisis hidráulico toma como entrada el hidrograma resultado del análisis hidrológico y la concentración de sedimentos del análisis de sedimentos, con estas variables de entrada transita el hidrograma en el modelo de elevación digital del terreno del tramo de rio o quebrada que se analiza, obteniendo como resultado las velocidades y profundidades máximas alcanzadas en cada una de las celdas del modelo de elevación digital del tramo en estudio, estos valores de velocidad y profundidad se categorizan de acuerdo a la condición de amenaza que representan.

4.7.4 ANÁLISIS HIDROLÓGICO

El análisis hidrológico comprende dos etapas, la primera es la delimitación de las cuencas hidrográficas en el área de estudio y la segunda, el modelo lluvia escorrentía que permite la estimación de hidrogramas que serán la entrada del modelo hidráulico. A continuación, se presenta los pasos seguidos en las dos etapas y sus respectivos resultados.

Para obtener la delimitación de cuencas se parte del Modelo de Elevación Digital (DEM) de la zona de estudio, en este caso se cuenta con un DEM proyectado en coordenadas geográficas. Este DEM requiere ser proyectado en coordenadas planas con el fin de tener la geometría plana adecuada para el cálculo de áreas y distancias de las cuencas generadas.

El DEM proyectado cubre un área de mayor extensión que el área de estudio, , con el fin de delimitar solamente las cuencas que drenan a esta área . Este buffer se obtuvo mediante pruebas de sensibilidad con diferentes distancias, con el objetivo de cubrir el área que hidrológicamente tiene algún aporte a las cuencas que se encuentran dentro del perímetro del distrito y que garantiza que éstas drenen completamente en el modelo hidráulico.

Por otra parte, El DEM contiene errores inherentes a este tipo de producto, por tanto se debe corregir con la cartografía adecuada para que el resultado de la delimitación de cuencas se aproxime a la red de drenaje real. Para lograr este objetivo se cuenta con la cartografía del sistema hídrico en coordenadas geográficas, al igual que se realizó con el DEM, se efectuó la proyección del sistema hídrico y se extrae la red hídrica l.

Dado que la corrección del DEM se puede realizar con el shape tipo polígono o tipo línea, se ha optado por convertir los polígonos a líneas y de esta forma modificar solo las riberas de los ríos que en la cartografía son representados mediante polígonos, el resultado de la conversión del sistema hídrico de polígonos a línea.

4.7.4.1 Cuencas Hidrográficas

Teniendo como entrada el DEM y el sistema hídrico ajustados previamente, se construye en ArcGIS el flujo de trabajo de herramientas a utilizar, con el fin de delimitar las cuencas

hidrográficas del área de estudio. En este flujo de trabajo se desarrollan los siguientes 11 pasos.

1. Para poder generar la red de drenaje a partir del DEM es necesario profundizar el DEM en aquellas zonas donde se encuentran ubicados los ríos de acuerdo a la cartografía. En este paso, se realizó la profundización en las zonas donde se encuentran los ríos dibujados como tipo línea.

2. Este paso es similar al anterior, sin embargo, la profundización se realizó en las zonas donde se encuentran los ríos dibujados como tipo polígono, pero solo en las riberas convertidas en líneas.

3. El DEM debe ser hidrológicamente apropiado, es decir, que todas las celdas del DEM drenen a un punto de salida. Para poder generar un DEM hidrológicamente apropiado se deben rellenar los pozos o celdas que no permiten que se genere adecuadamente la red de drenaje.

4. Teniendo en cuenta la pendiente más favorable para el flujo, se genera un valor de dirección de flujo para cada celda del DEM.

5. Teniendo en cuenta la dirección de flujo de cada celda es posible calcular el número de celdas que drenan a determinada zona, con estos valores se genera el ráster de acumulación de flujo.

6. Un parámetro importante en la definición de corrientes es el número de celdas que generan el inicio de un cauce, para este análisis hidrológico se tomó el equivalente a 0.5 km^2 como el valor en el cual se genera una corriente. Este valor se obtuvo mediante pruebas de sensibilidad buscando el tamaño adecuado de cuencas que se ajustaba a la escala de trabajo.

7. Considerando el ráster de acumulación de flujo y el número de celdas que generan el inicio de un cauce, se obtuvieron las corrientes hídricas. Posteriormente, se dividen las corrientes teniendo en cuenta que los tramos de las mismas no tengan confluencias con otras corrientes.

8. De acuerdo con los tramos de cauces obtenidos en el paso anterior, se genera la delimitación automática de cuencas.

9. El Ráster generado en el paso anterior se debe trasformar en formato shape para cálculos posteriores.

10. La segmentación de corrientes obtenida en el paso 6, se debe transformar en formato shape para cálculos posteriores.

11. Las cuencas hidrográficas con área aferente acumulada es el resultado final en la delimitación de cuencas del área de estudio.

Para realizar el análisis sólo en las cuencas que se encuentran en el área de estudio y dado que el procedimiento anterior no tiene en cuenta los efectos de la urbanización en la red de drenaje, se deben estimar o corregir las cuencas obtenidas de acuerdo a esta consideración. Para ello se determinan los puntos de cierre de cuencas que dependen del orden de drenaje dentro de la cuenca.
Para la generación de cuencas y delimitar el área de estudio se desarrollan los siguientes 4 pasos.

1. En el primer paso se vinculan los puntos de cierre de cuencas con el ráster de acumulación de flujo generado anteriormente.
2. De acuerdo con el ráster de acumulación de flujo se recortan las cuencas tipo Ráster.
3. Las cuencas del paso anterior se convierten en polígonos
4. El último paso une las cuencas aferentes que puedan quedar separadas al convertir el ráster de cuencas a polígono

El resultado del procedimiento anterior es la generación de cuencas que cubren el área de estudio.

.

Teniendo como entrada el modelo de elevación digital proyectado, se construye en ArcGIS el flujo de trabajo de herramientas a utilizar con el fin de generar las subcuencas hidrográficas del área de estudio. En este flujo de trabajo se desarrollan los mismos 11 pasos que fueron descritos anteriormente.

1. Corrección DEM mediante red de drenaje tipo línea.
2. Corrección DEM mediante red de drenaje tipo polígono.
3. Modelo de Elevación Digital Hidrológicamente Corregido.
4. Dirección de Flujo.
5. Acumulación de Flujo.
6. Red de Drenaje Generada Tipo Ráster.
7. Red de Drenaje Generada Tipo Ráster Vinculada.
8. Cuencas hidrográficas Tipo Ráster.
9. Cuencas hidrográficas Tipo Polígono.
10. Red de Drenaje Generada Tipo Línea.
11. Cuencas hidrográficas Acumuladas Tipo Polígono.

Cabe aclarar que uno de los parámetros importantes para la definición de las subcuencas es el número de celdas que generan el inicio de un cauce, para este análisis hidrológico se tomó el equivalente a 0.5 km^2 como el valor en el cual se genera una corriente, el resultado del este procedimiento fue la generación de las subcuencas que cubren el área del perímetro del centro poblado (Figura 4-87).

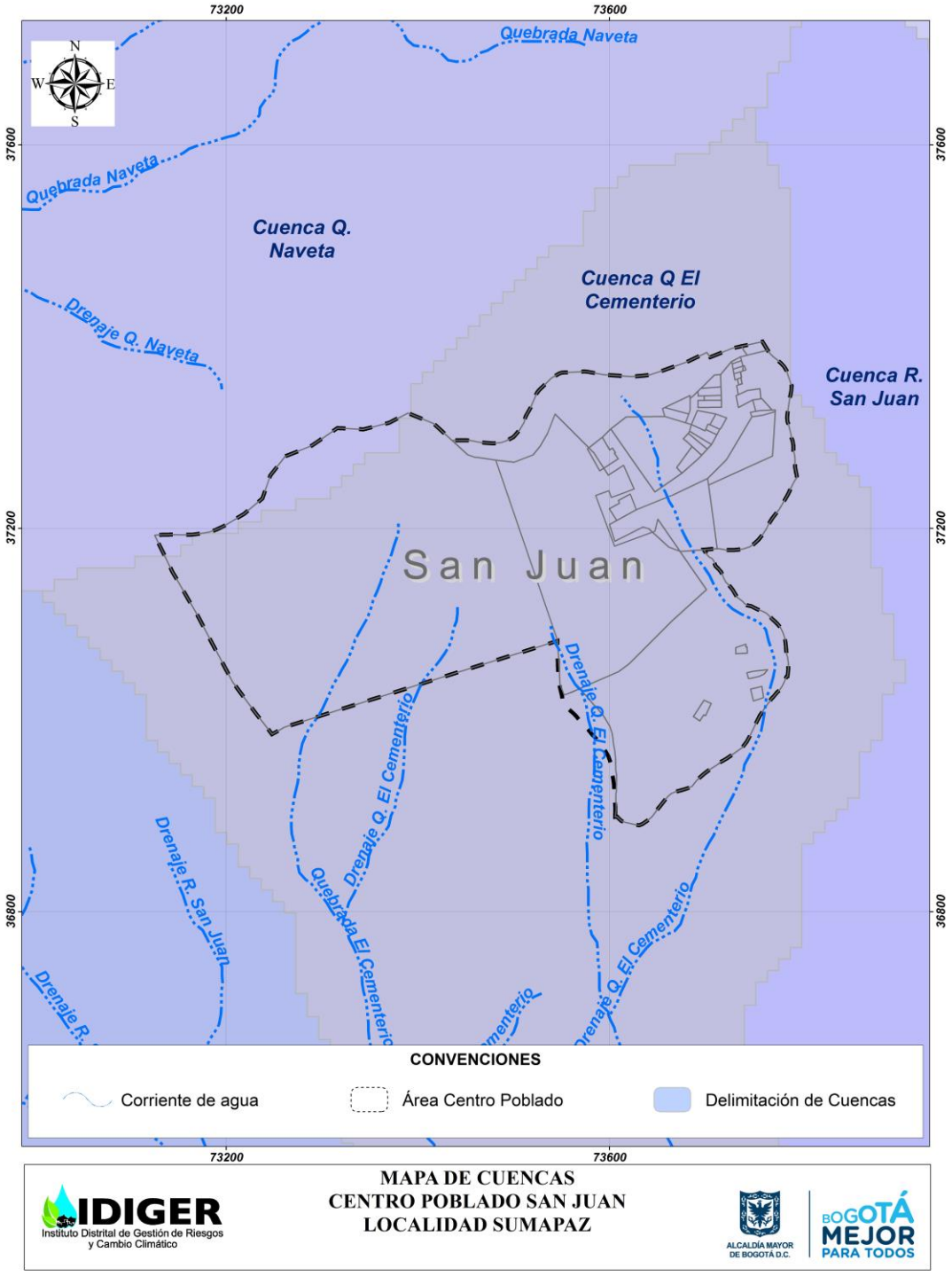


Figura 4-87. Cuencas analizadas en el centro poblado San Juan.

4.7.4.2 Morfometría

Para el análisis de susceptibilidad de una cuenca a un evento torrencial, se llevó a cabo la evaluación de varios parámetros morfométricos, teniendo cuenta que estos parámetros son indicadores de las características de la cuenca relacionadas con el pico de las crecientes y su producción de sedimentos.

A continuación, se describe los parámetros morfométricos calculados y analizados

A Pendiente

Tiene una influencia significativa en la generación de avenidas torrenciales (Smith, 2003). Esta característica controla en buena parte la velocidad con que se da la escorrentía superficial y afecta, por tanto, el tiempo que requiere el agua lluvia para concentrarse en los lechos fluviales que constituyen la red de drenaje de las cuencas.

B Orden de corriente

En orden de corrientes depende del número de afluente que contenga el cauce principal, por lo tanto, los de primer orden son todos aquellos que no tengan afluentes. Cuando se unen dos cauces de primer orden forman un cauce de segundo orden y así sucesivamente.

C Longitud de Flujo

La Longitud de flujo está definida como la distancia horizontal, medida a lo largo del cauce principal, entre el punto de salida de la cuenca y el límite definido para la cuenca.

4.7.4.3 Modelo Lluvia – Escorrentia

La segunda etapa del análisis hidrológico consiste en el cálculo de los hidrogramas a partir del modelo lluvia – escorrentía, este hidrograma servirá de entrada al modelo hidráulico. Para obtener los eventos de precipitación se utilizó la caracterización de tormentas y actualización de curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia IDF desarrolladas por la EAB, para este fin las cuencas se subdividieron en dos grupos, el primero aquellas cuencas cuyo centroide se encontrara a por lo menos una distancia inferior a diez kilómetros de alguna de las estaciones utilizadas en dicho estudio y un segundo grupo en el cual el centroide de las cuencas se encontrara a una distancia superior a diez kilómetros de alguna de las estaciones utilizadas en el estudio de la EAB (

Para el primer grupo de estaciones se utilizó la curva IDF de la estación más cercana al centroide de la cuenca obtenidos mediante el estudio de la EAB. Para el segundo grupo de estaciones se calculó las curvas sintéticas IDF asociadas al centroide de la cuenca, siguiendo el método de Vargas (1998), el cual se encuentra específicamente formulado para Colombia y cuya ecuación se enuncia a continuación:

$$I = a\frac{{T_r}^b}{t^c}M^d N^e PT^f ELEV^g$$

Siendo:
I: Intensidad (mm/h).
T_r: Período de retorno (años).
t : Duración de la precipitación, (horas).
M: Promedio del valor máximo anual de precipitación diaria (mm).
N: Promedio de número de días anuales con precipitación.
PT: Promedio de precipitación media anual (mm).
ELEV: Elevación de la estación meteorológica de medición (msnm).
a, b, c, d, e, f, y g :Son coeficientes propios de la ecuación que varían según la ubicación regional de la estación y de la cantidad de variables disponibles. Para el caso se utilizaron los recomendados por el autor del método.

En la siguiente tabla se presentan los valores correspondientes a cada parámetro calibrado para la región Andina de acuerdo con Vargas (1998).

Tabla.69. Parámetros del método de Vargas para la región Andina

a	b	c	d	e	f	g
1,64	0,19	0,65	0,73	-0,13	0,08	-0,01

Las abstracciones de la precipitación fueron calculadas a partir del método de abstracciones del Soil Conservation Service SCS o Método del Número de curva. Para esto se tuvo en cuenta la cartografía disponible suministrada por SDP en cuanto a coberturas de suelo siguiendo la metodología CORINE Land Cover además de la clasificación del grupo hidrológico del suelo, de acuerdo con el mapa geológico de la zona de estudio, definidos por tipo según su capacidad de infiltración.

Con el evento de precipitación obtenido a partir de las curvas IDF utilizando el método de bloque alterno y las abstracciones calculadas con el método de número de curva se obtienen los hidrogramas que servirán de entrada al modelo hidráulico. El Caudal Pico de estos hidrogramas según las cuencas asociadas al área de estudio se presenta en la Figura 4-88

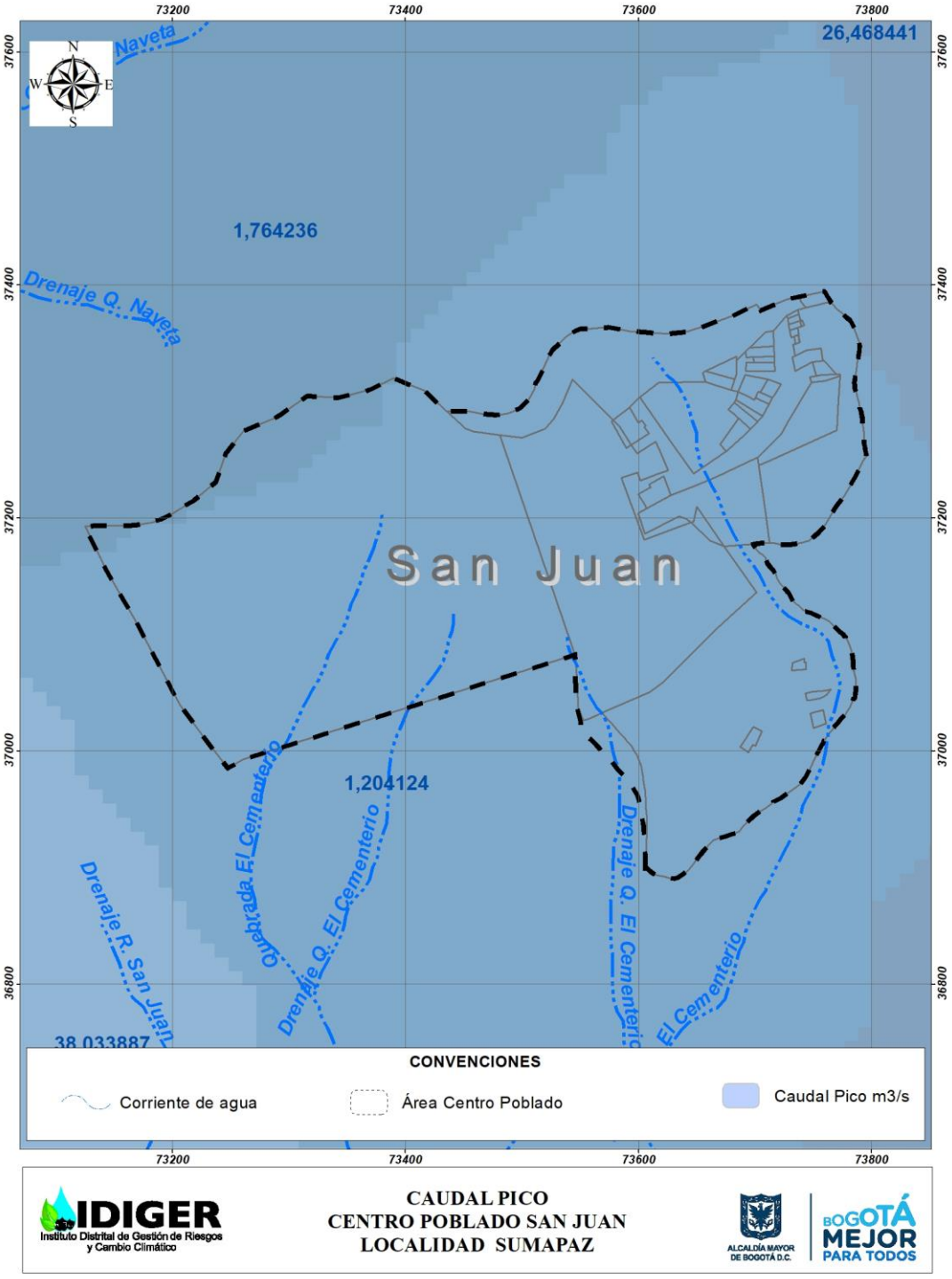


Figura 4-88. Caudales Pico Según Cuencas analizadas en el centro poblado San Juan.

4.7.5 ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

Dentro del centro poblado, las unidades geomorfológicas que se presentan se muestran en la Figura 4-89, el detalle del proceso de contruccción del levantamiento geomorfológico se presenta en el Documento Técnico de Sopórte del Mapa De Amenaza Por Movimientos En Masa En Perspectiva De Cambio Climático Zona Rural.

Gemorfológicamente, el sector corresponde con una cuesta estructural glaciada que se caracteriza por longitudes moderadamente largas, indicador de la homogeneidad del material, conformada por una ladera de pendiente semi plana definida por la inclinación de sus estratos producto del basculamiento suave de capas de la formación Lodolitas de Fusagasugá, conformado principalmente en superficie por suelos residuales de la misma formación.

De acuerdo con la geomorfologia a escala 1:2000 y partir de las unidades presentes se realizó en función de la morfogenésis y la morfodinámica, la identificación de la susceptibilidad a avenidas torrenciales, mediante un análisis basado en las morfoestructuras de región, unidad, subunidad y componente, con el fin de realizar la identificación de unidades de origen fluviotorrencial presentes en el área de estudio y determinar zonas susceptibles a la depositación y acumulacion de flujo o generación de sedimentos, previo a la validación mediante el modelo hidráulico, encontrando la siguiente categorización (Tabla 4.70):

Dentro del área de estudio se evidencia un drenaje dendrítico, que lo conforman los drenajes de la quebrada Cementerio y drenaje del río San Juan, los cuales desembocan al río San Juan que se localiza al suroeste del polígono a una distancia aproximada de 1.5 Km, y se evidencia un contraste de relieve, que hace referencia a la diferencia de altitud de la geoforma entre la parte más alta y más baja de esta, encontrándose una diferencia superior a los 300 m.

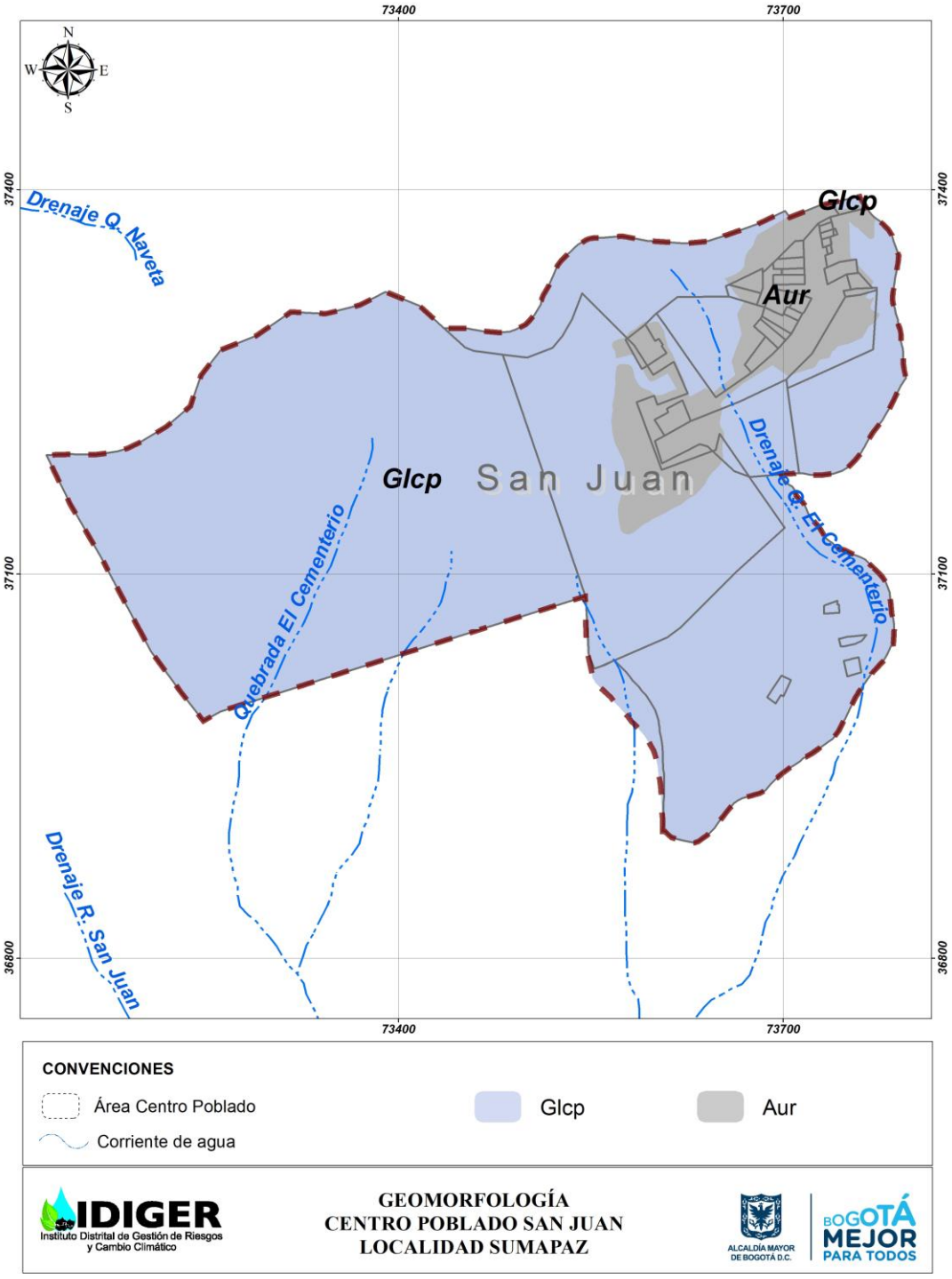


Figura 4-89. Mapa geomorfológico construido para San Juan.

Tabla 4.70. Susceptibilidad Geomorfológica de las Unidades

REGIÓN	UNIDAD	SUBUNIDAD	COMPONENTE	SÍMBOLO	SUSCEPTIBILIDAD	OBSERVACIONES
ANTROPOGÉNICO			Area Urbanizada	**Aur**	Baja	
GLACIAL Y PEROGLACIAL	Cuesta Estructural Glaciada	Conos y lóbulosde gelifracción	Ladera ondulada glaciada	**Glcp**	Baja	

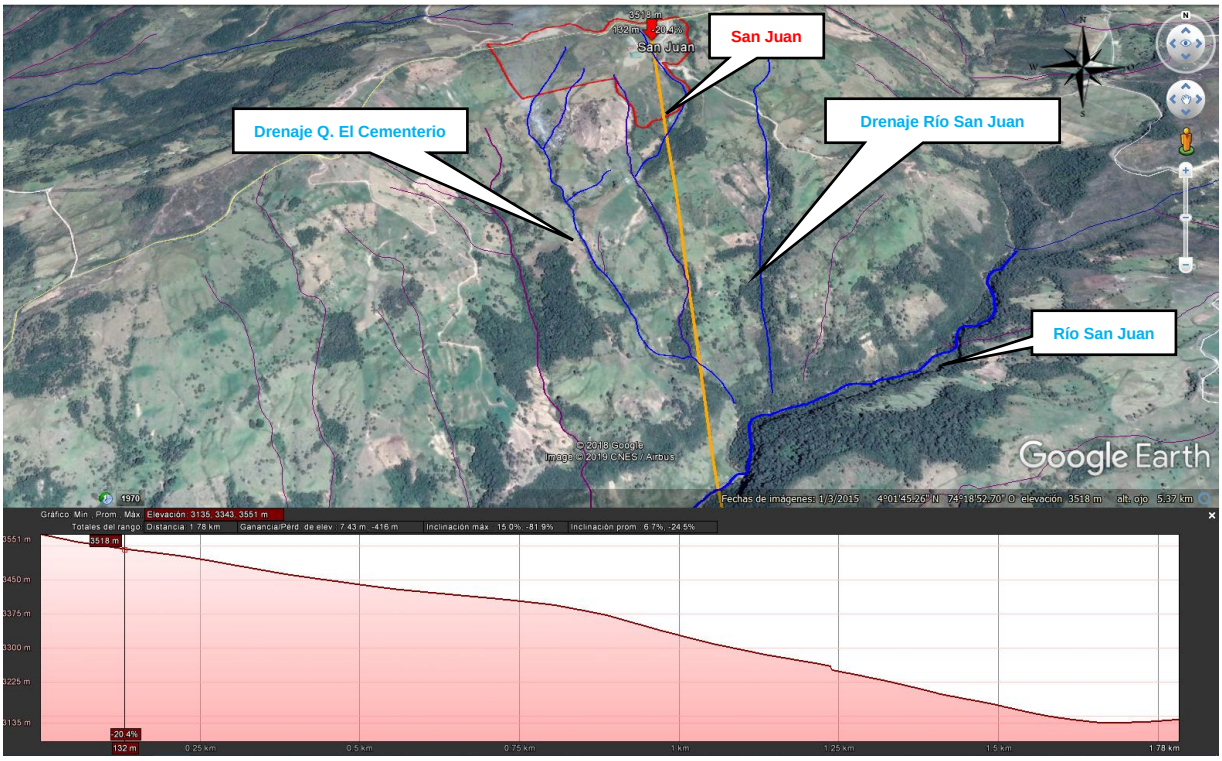


Figura 4-90. Geomorfología y perfil del Centro Poblado San Juan , Localidad de Sumapaz

El rio San Juan, se encuentra localizado al suroriente del polígono, a una distancia aproximadamente mayor de 300 m, se evidencia un contraste de relieve, que hace referencia a la diferencia de altitud de la geoforma entre la parte más alta y más baja de esta, encontrándose una diferencia superior a los 60 m, siendo este afluente el más cercano del centro poblado; así mismo, el rio Sumapaz se encuentra localizado al suroccidente del polígono, a una distancia aproximadamente mayor de 600 m, se evidencia una diferencia de nivel superior a 70 m.

4.7.5.1 INVENTARIO DE PROCESOS MORFODINÁMICOS

Para poder ajustar a la escala de trabajo el análisis de sedimentos, se verificaron los procesos morfodinámicos. Se realizó una revisión de los procesos que pudiesen afectar el área de estudio, evaluando la morfología y los materiales que lo conforman, encontrando que el área de estudio está conformada por suelos residuales de la Formación Fusagasuga con pendientes bajas a medias, sin embargo, presenta una incidencia fuerte en el drenaje superficial natural, el cual discurre desde el centro poblado con pendientes bajas a medias, aumentando su pendiente ladera abajo hasta su entrega al río San Juan, factor que coadyuva a la infiltración y reblandecimiento del material condición que es susceptible a la generación de movimientos en masa.

Una vez realiza la verificación en campo, se evidenció la presencia de procesos tipo reptación y escarpes de antiguos movimientos en masa, así como procesos de erosión laminar.

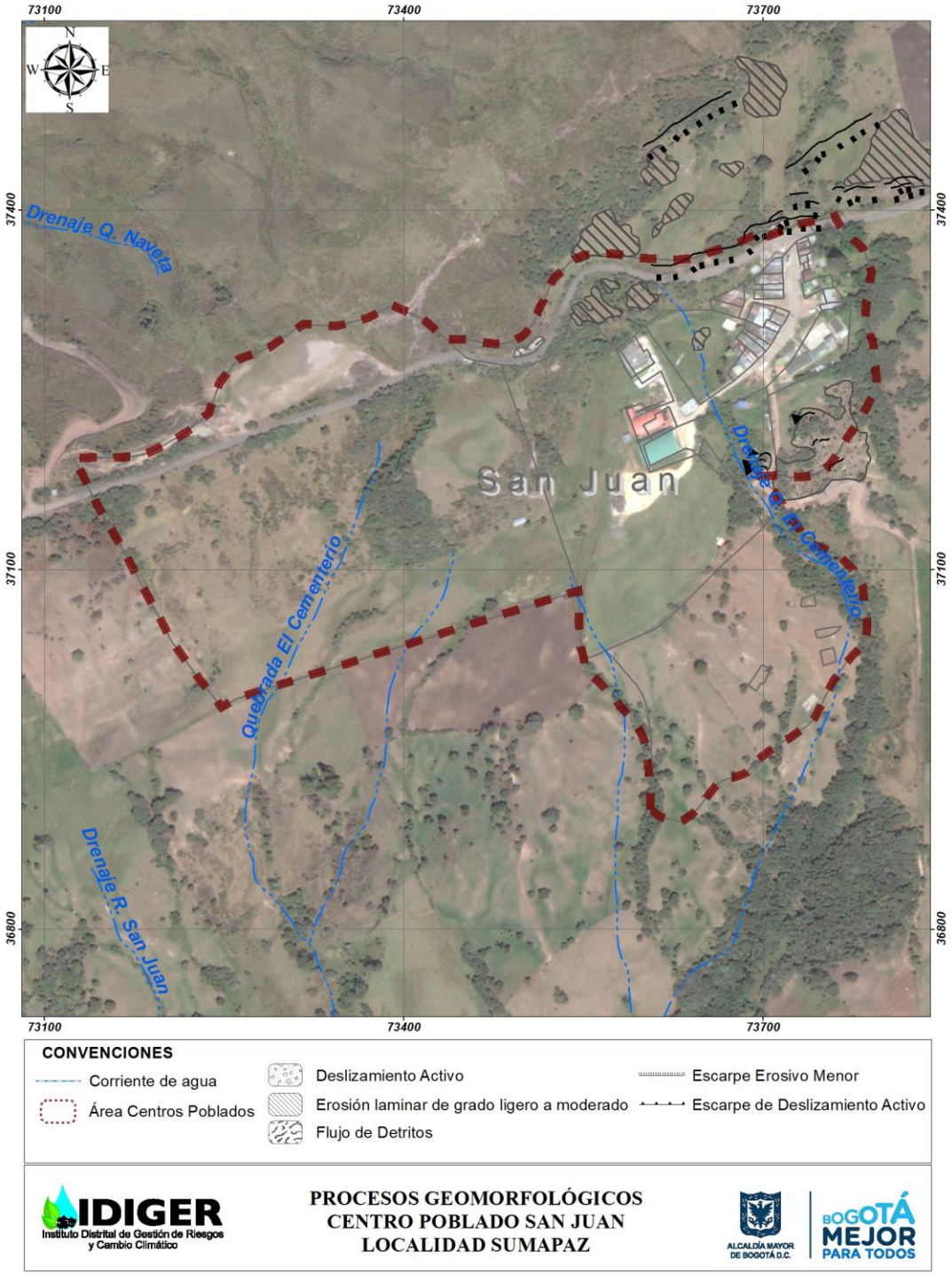
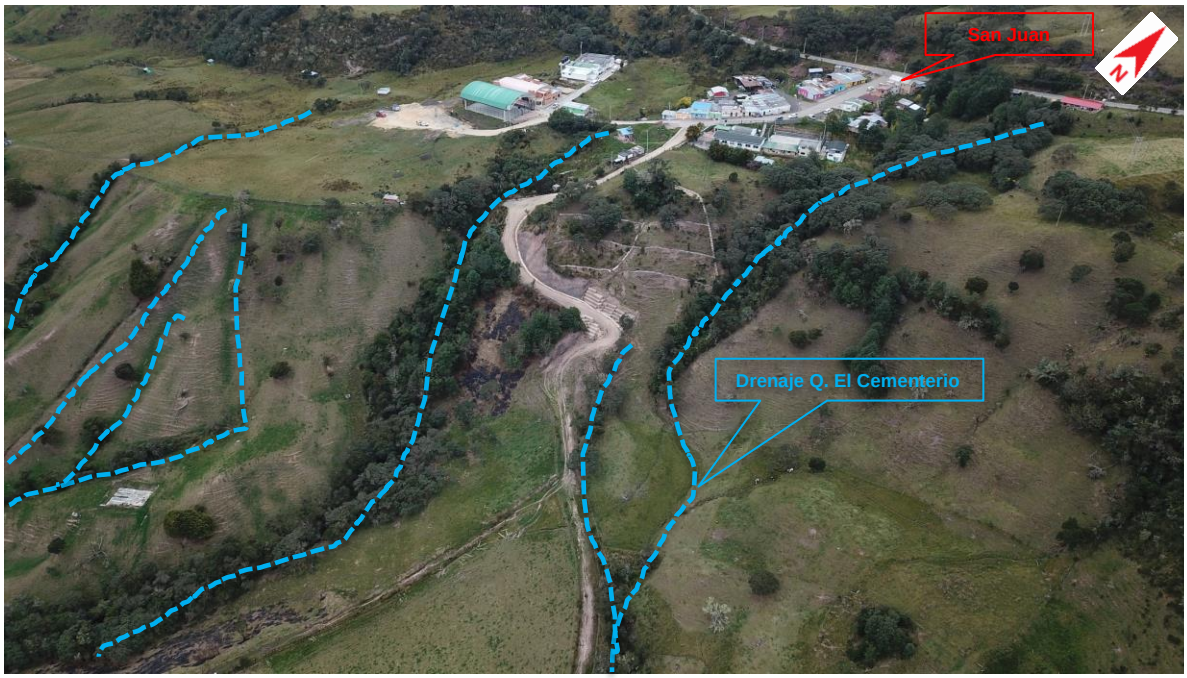


Figura 4-91. Mapa de procesos morfodinámicos construido para San Juan.

4.7.5.2 VERIFICACIÓN EN CAMPO

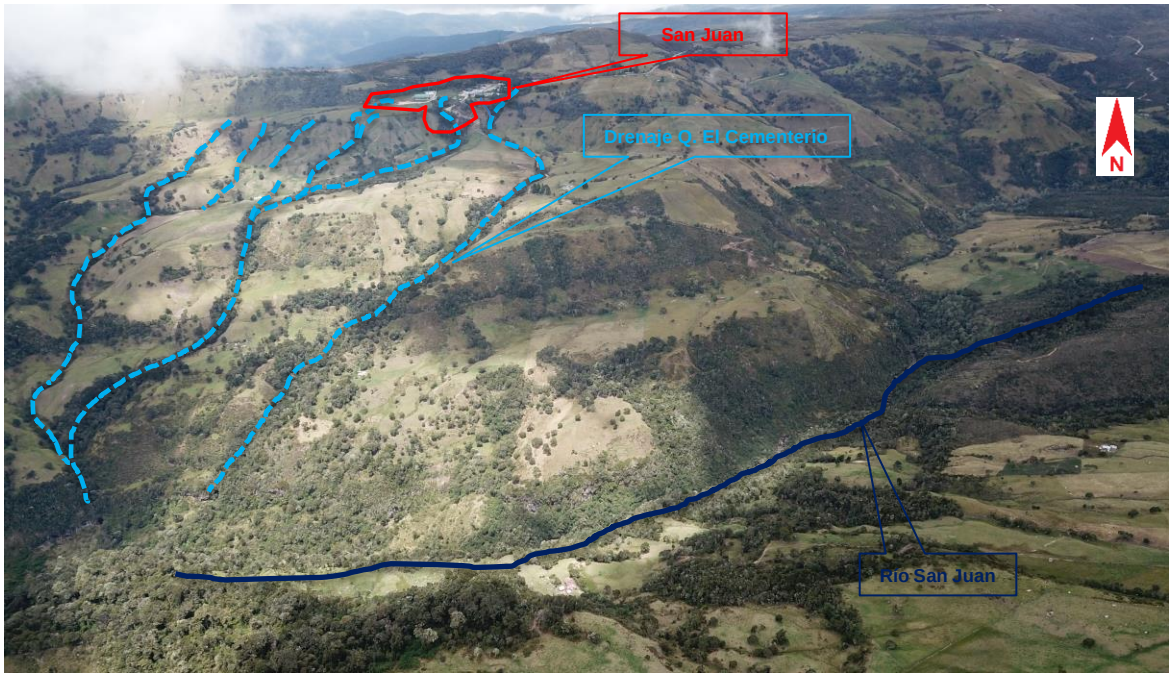
Se realizó por parte de la Entidad una visita técnica al centro poblado en estudio, en la cual se hizo un vuelo con Dron para realizar verificar las condiciones de posible amenaza por avenidas torrenciales a la escala especificada. A continuación, se presenta el registro fotográfico del sector.

Fotografía 4-20 Centro Poblado San Juan – Vista Ortogonal



Fotografía 4-21. Centro Poblado San Juan – Morfologia y Drenaje Supoerficial

Fotografía 4-22. Centro Poblado San Juan – Drenaje Supoerficial. Vista S-E



Fotografía 4-23. Vista N-E Centro Poblado San Juan

4.7.6 ANÁLISIS DE SEDIMENTOS

Dado que el aporte de sedimentos de algunos procesos de movimientos en masa aferentes a los cuerpos hídricos puede contribuir a la carga de sedimentos elevando los volúmenes transportados por la corriente es importante definir los procesos que pueden generar aporte de sedimentos a la creciente súbita, para esto se utiliza como insumo el inventario de procesos definido con anterioridad para la escala de trabajo. Se caracterizó cada proceso definiendo a partir de la información disponible la formación, depósito o tipo de suelo, su granulometría y su incidencia en el aporte de sedimentos conforme su ubicación frente al cuerpo de agua, trabajando como zonas de aporte directas, las aferentes en una faja paralela (buffer) de 100 m a lado y lado del cuerpo de agua. Esta distancia tenía como objeto incluir la mayor cantidad de procesos, teniendo en cuenta que la mayoría de las quebradas no tienen definida su zona de ronda propiamente dicha sino que se toma la generalidad reglamentada de los 30 m.

Según la caracterización y definición del proceso se pudo obtener el tipo de material aportante al cauce, y por tanto establecer el parámetro de concentración de acuerdo al tipo de flujo a presentarse según criterio de experto teniendo en cuenta lo presentado en la Tabla 4.71 t Tabla 4.72.

Por otra parte, en la Tabla 4.73 se presentan los parámetros reológicos utilizados en las modelaciones, donde se establecen las relaciones disponibles del esfuerzo cortante y

viscosidad como función de la concentración de sedimento de acuerdo con el estado del arte de la zonificación de amenazas por avenidas torrenciales. Para la elección del tipo de relación a utilizar se trató de validar los resultados obtenidos utilizando diferentes reologías con el registro histórico presentado en el estudio detallado de la quebrada Limas "Actualización de la Zonificación de Amenaza de Inundación y Avenidas Torrenciales de la Quebrada Limas. Localidad Ciudad Bolívar" Rogelis (2008). Como resultado de esta validación se concluyó que el mejor ajuste se obtenida al seleccionar la reología de Kang & Zhang (1980), y por tanto se toman para el modelo estos parámetros de esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos.

Tabla 4.71. Comportamiento del flujo de sedimentos como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014)

	Concentración de Sedimento		Características del flujo
	En Volumen	En Peso	
Deslizamiento	0.65 - 0.80	0.83 - 0.91	No fluye; falla por deslizamiento.
	0.55 - 0.65	0.76 - 0.83	Falla por deslizamiento con deformación interna, creep lento anterior a la falla.
Flujo de lodos	0.48 - 0.55	0.72 - 0.76	Flujo evidente, creep lento; deformación plástica bajo el peso propio del material; cohesivo, no se extiende en superficie nivelada.
	0.45 - 0.48	0.69 - 0.72	El flujo se extiende sobre superficie nivelada; flujo cohesivo; algo de mezcla.
Creciente de lodos	0.40 - 0.45	0.65 - 0.69	El flujo se mezcla fácilmente; muestra propiedades de fluido en deformación; se extiende en una superficie horizontal pero mantiene una superficie del fluido inclinada; contiene partículas de tamaño considerable; aparecen ondas pero se disipan rápidamente.
	0.35 - 0.40	0.59 - 0.65	Marcado asentamiento de gravas; se extiende casi completamente en una superficie horizontal; superficie líquida con dos fases del fluido; hay ondas que viajan en la superficie.
	0.30 - 0.35	0.54 - 0.59	Las ondas viajan fácilmente; la mayoría de la arena y grava se mueven como carga de lecho.
	0.20 - 0.30	0.41 - 0.54	Presencia de ondas; superficie fluida; todas las partículas se encuentra en el lecho.
Agua	< 0.20	< 0.41	Creciente de agua con carga en suspensión y de lecho.

Tabla 4.72. Parametros de concentración de sedimentos en función de los procesos identificados en el búfer de 100m

PROCESOS IDENTIFICADOS	UBICACIÓN EN ZONA DE APORTE DIRECTO	CONCENCENTRACIÓN DE SEDIMIENTOS	
		EN VOLUMEN	EN PESO
Flujos de Detritos	SI	0.48-	0.72
Deslizamiento Activo	SI	0.65	0.83
Escarpe de deslizamiento Activo	SI	0.65	0.83
Erosion laminar de grado ligero a moderado	SI	0.4	0.65
Escarpe Erosivo Menor	No	< 0.20	< 0.41

Tabla 4.73. Esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014)

Yield Stress and Viscosity as a Function of Sediment Concentration				
Source	$\tau_y = \alpha e^{\beta Cv}$		$\eta = \alpha e^{\beta Cv}$	
	α	β	α	β
Field Data				
Aspen Pit 1	0.181	25.7	0.0360	22.1
Aspen Pit 2	2.72	10.4	0.0538	14.5
Aspen Natural Soil	0.152	18.7	0.00136	28.4
Aspen Mine Fill	0.0473	21.1	0.128	12.0
Aspen Watershed	0.0383	19.6	0.000495	27.1
Aspen Mine Source Area	0.291	14.3	0.000201	33.1
Glenwood 1	0.0345	20.1	0.00283	23.0
Glenwood 2	0.0765	16.9	0.0648	6.20
Glenwood 3	0.000707	29.8	0.00632	19.9
Glenwood 4	0.00172	29.5	0.000602	33.1
Relationships Available from the Literature				
Iida (1938)	-	-	0.0000373	36.6
Dai et al. (1980)	2.60	17.48	0.00750	14.39
Kang and Zhang (1980)	1.75	7.82	0.0405	8.29
Qian et al. (1980)	0.00136	21.2	-	-
	0.050	15.48	-	-
Chien and Ma (1958)	0.0588	19.1-32.7	-	-
Fei (1981)	0.166	25.6	-	-
	0.00470	22.2	-	-

4.7.7 ANÁLISIS HIDRAÚLICO

- *MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN*

Para generar el modelo hidráulico bidimensional, es necesario contar con un modelo de elevación digital del terreno con un nivel muy alto de detalle, sobre el cual se hace una corrrección de drenaje.

Teniendo como entrada el DEM se construye en ArcGIS el flujo de trabajo de herramientas a utilizar con el fin de generar el DEM para ingresar el modelo hidráulico. En este flujo de trabajo se desarrollan los siguientes 3 pasos.

1. Buffer de 100 m de la corriente a modelar.
2. Modelo de Elevación Digital Tamaño a partir del modelo de elevación digital de 12 m con corrección red de drenaje extraído con buffer de 100 m corriente a modelar.
3. Modelo de Elevación Digital Tamaño corregido.

El anterior procedimiento se realizó para las cuencas que hacen parte del centro poblado.

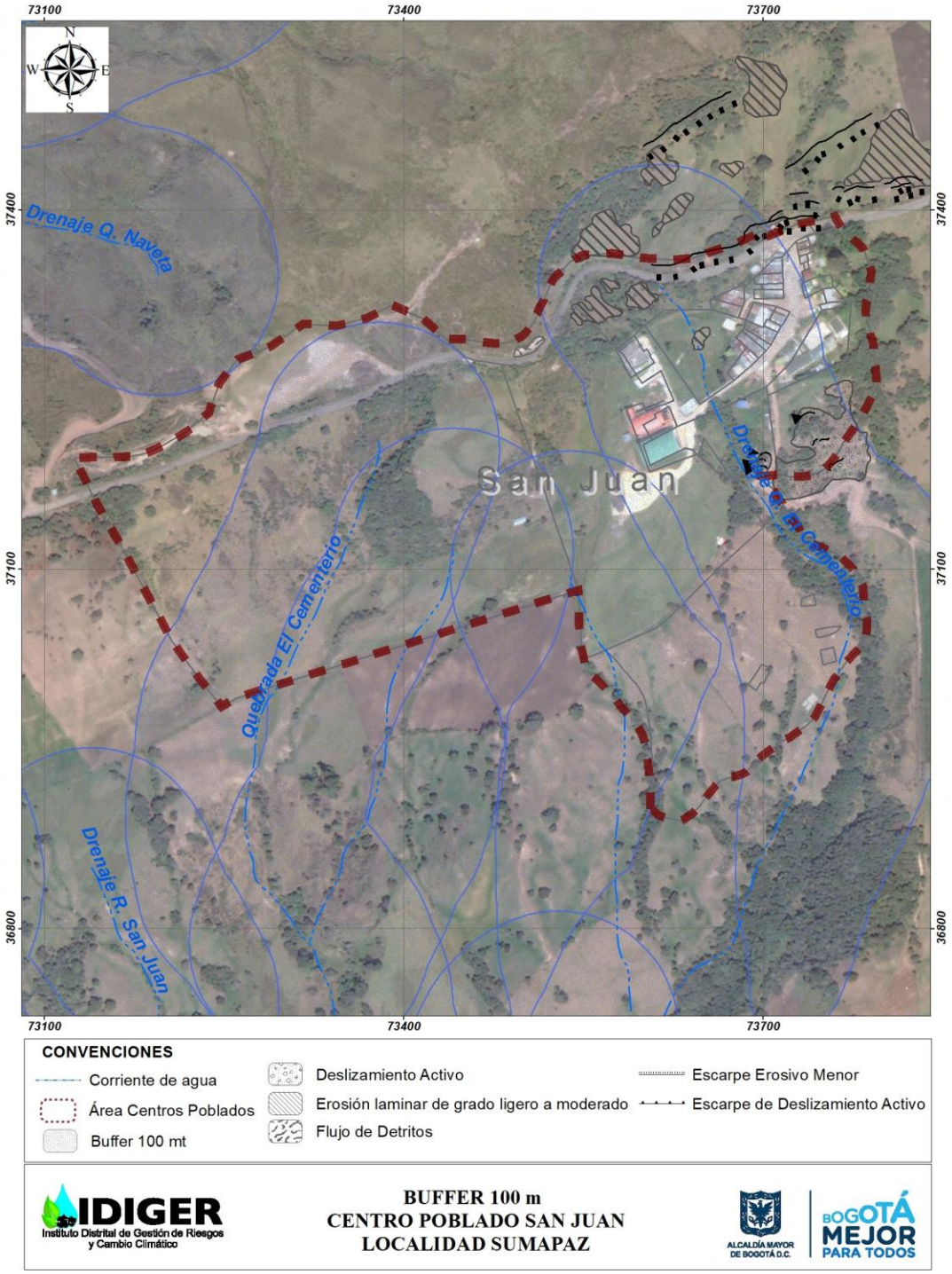


Figura 4-92: Buffer de 100 m Cuerpos de Agua Centro Poblado San Juan

Para desarrollar el proceso metodológico y obtener el raster que será utilizado para la evaluación hidraulica de cada cuerpo de agua se utilizo la herramienta ModelBuilder de ArcGIS como se muestra en el diagrama de la Figura 4-10 . Este procedimiento inicia con la creación de un buffer por cada drenaje de la zona de estudio y a partir de este, se realiza el corte del DEM y se obtiene el archivo ASCII que permite generar la superficie del modelo hidráulico.

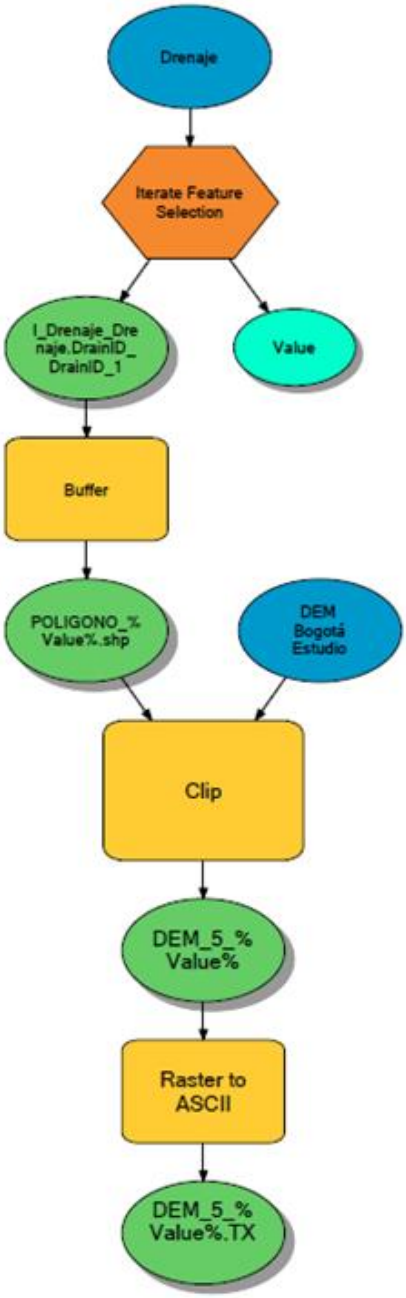


Figura 4-93: Procedimiento en ModelBuilder de ArcGIS para la Extracción Raster modelaciones

4.7.8 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES

- *RESULTADOS DE MODELACIÓN*

Retomando el flujograma metodológico, para la construcción del mapa de amenaza por avenidas torrenciales, partiendo del análisis hidrológico, una vez obtenidos los hidrogramas para las cuencas definidas, estos son incluidos en el modelo hidráulico, el cual es el resultado de la generación de las secciones transversales de cada una de las cuencas delimitadas. Adicionalmente, a partir de la relación Kang & Zhang (1980) se generan los valores del esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos los cuales son incluidos en el modelo hidráulico.

Se inicia el procesamiento en el software de elementos finitos de cada una de las cuencas que cubren el centro poblado, obteniendo alturas y velocidades del flujo para cada pixel junto con los caudales de salida que alimentan los pixeles de la cuenca aguas abajo y van generando la integración del modelo hidráulico. Al final se tiene como resultado un ráster con tamaño de pixel de 1m donde se tiene una profundidad y velocidad del flujo.

A partir de los resultados de altura y velocidades del flujo obtenidos en el modelo hidráulico

Tabla 4.74. Matriz de amenaza definida por la intensidad del proceso y su probabilidad de ocurrencia. (Matjaž, 2013)

				Probability of occurrence, *P*		
	BUWAL (1997)	Rickenmann (2005b)		High	Medium	Low
Intensity, *I*	h > 1.0 m and v > 1.0 m/s	h > 1.0 m or v > 1.5 m/s	High	**High**	**High**	**Moderate**
	h < 1.0 m or v < 1.0 m/s	h < 1.0 m and 0.4 m/s < v < 1.5 m/s	Medium	**Moderate**	**Moderate**	**Low**
	non existent	h < 0.4 m and v < 0.4 m/s	Low	**Low**	**Low**	**Very Low**
Not affected areas				**Very Low**	**Very Low**	**Very Low**

Posteriormente para la construcción del mapa de amenaza por avenidas torrenciales, una vez obtenidos los resultados de la modelación donde se generaron alturas y velocidades del flujo para cada pixel de 1m, se procedió a identificar las zonas que cumplen con las características descritas en la Tabla 4.75, para definir la categorización de la amenaza en: Alta, Media o Baja.

Tabla 4.75. Matriz para la zonificación de amenaza

ZONIFICACIÓN	DEFINICIÓN
Zonas en amenaza alta	Zona de desborde del cauce delimitada para el caudal del periodo de retorno de 100 años, con una profundidad de flujo superior a 1,0 y/o una velocidad de flujo superior a 1,5 m/s.
Zonas en amenaza media	Zona de desborde del cauce delimitada para el caudal del periodo de retorno de 100 años, con una profundidad de flujo entre 0,4 m y 1,0 m y/o una velocidad de flujo entre 0,4 y 1,5 m/s.
Zonas en amenaza baja	Zona de desborde del cauce delimitada para el caudal del periodo de retorno de 100 años, con una profundidad de flujo igual o mayor que 0 m e inferior a 0,4 m, y/o una velocidad de flujo igual o mayor que 0 m/s e inferior a 0,4 m/s.

De acuerdo con los resultados obtenidos al realizar el análisis matricial, donde se identifica la calificación de amenaza por avenidas torrenciales, se obtuvo el resultado mostrado en la Figura 4-94.

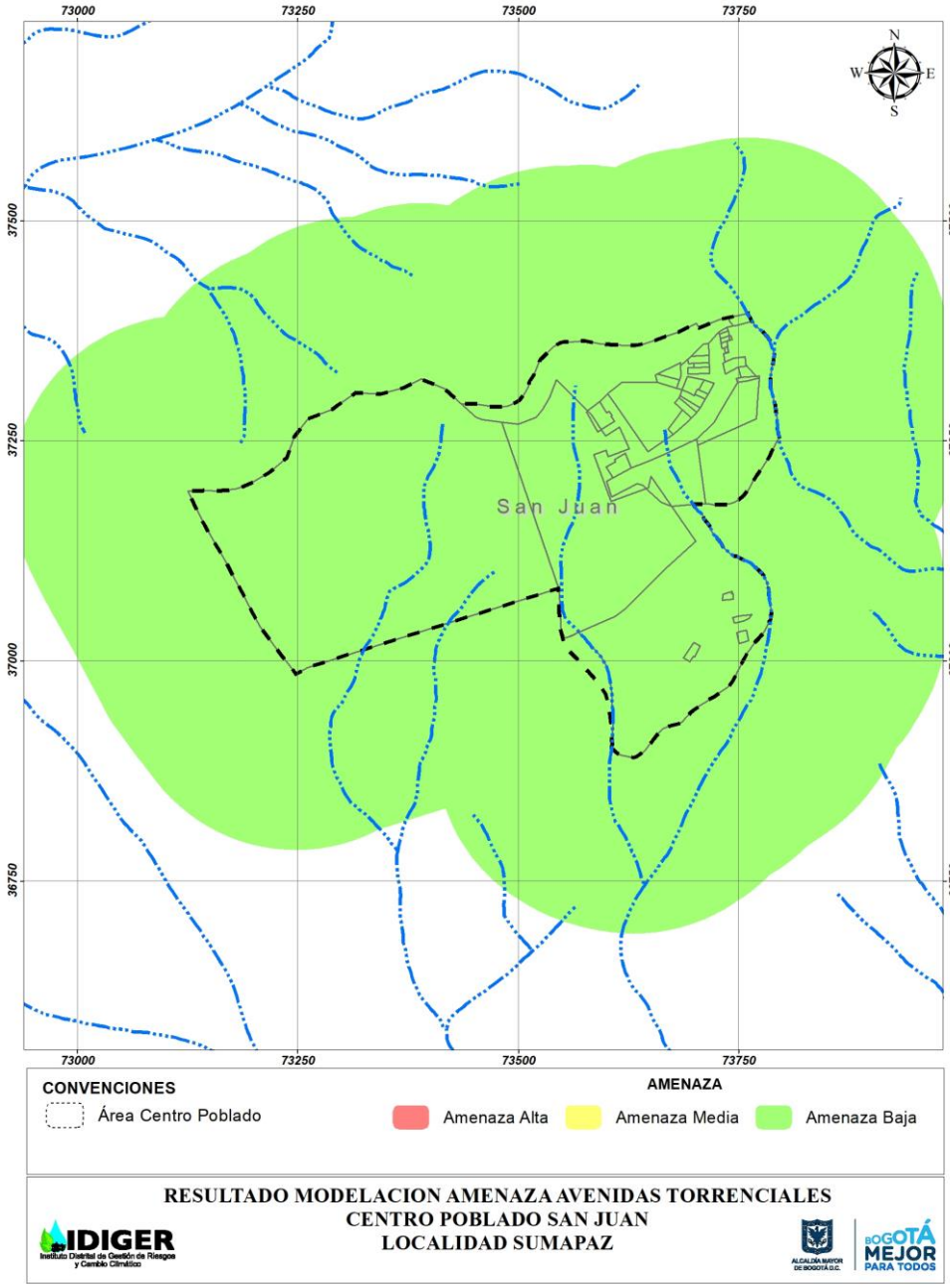


Figura 4-94. Resultado modelación de amenaza por avenidas torrenciales

Se observan tramos de drenajes en amenaza baja que, aunque son de carácter torrencial, se aclara presentan una profundidad de flujo igual o mayor que 0 m e inferior a 0,4 m, y/o una velocidad de flujo igual o mayor que 0 m/s e inferior a 0,4 m/s.

4.7.9 ZONIFICACIÓN Y MAPA DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO SAN JUAN

De acuerdo con los resultados de evaluación se define la amenaza por avenidas torrenciales como el área donde existe una probabilidad de ocurrencia de avenidas torrenciales con un periodo de retorno de 100 años, la intensidad del fenómeno se establece a partir de los resultados del modelo hidráulico de los cauces naturales y/o intervenidos que por sus condiciones presentan avenidas torrenciales. El modelo hidráulico desarrollado implementa los resultados de la modelación hidrológica de las cuencas asociadas a estos cauces naturales y cuya área aferente es mayor a 50 ha y la concentración de sedimentos de fenómenos de movimientos en masa que pueden incorporarse a estos cauces. Las categorías de amenaza por avenidas torrenciales se dividen en tres categorías presentadas en la Tabla 4.75 presentada anteriormente.

Teniendo en cuenta lo anteriormente descrito, se puede concluir que el área de estudio no es susceptible a la acumulación de flujos torrenciales. Se identificaron los cauces que por sus condiciones puedan tener un comportamiento torrencial que en este caso es el rio San Juan, sin embargo, por la ubicación del río San Juan con respecto al centro poblado, aproximadamente a 1.5 Km, y por la diferencia de nivel que se ve reflejado en el contraste del relieve, ubicándose el centro poblado en la parte más alta de la geoforma, no presenta amenaza por avenidas torrenciales.

Finalmente, de acuerdo al análisis multitemporal, se evidenció que no se presentaron eventos de emergencia por procesos de avenida torrencial, debido a que las condiciones naturales se mantienen, dicho en otras palabras, el cauce se mantiene libre sin ocupación antrópica o cambios de cobertura, lo que implica que no existe amenaza de avenida torrencial que pueda afectar la infraestructura del centro Poblado. Así mismo, no se evidenciaron cambios en la morfología del cauce, divagación y arrastre de material.

Teniendo en cuenta el análisis de las condiciones de amenaza por avenidas torrenciales realizado para el centro poblado San Juan, se concluye que éste presenta un nivel inferior al considerado como bajo, gcomo se muestra en la Figura 4-95.

Tabla 4.76. Área de amenaza en el centro poblado San Juan

Centro poblado San Juan	
Amenaza	**Hectáreas (Ha)**
Media	0,0
Alta	0,0

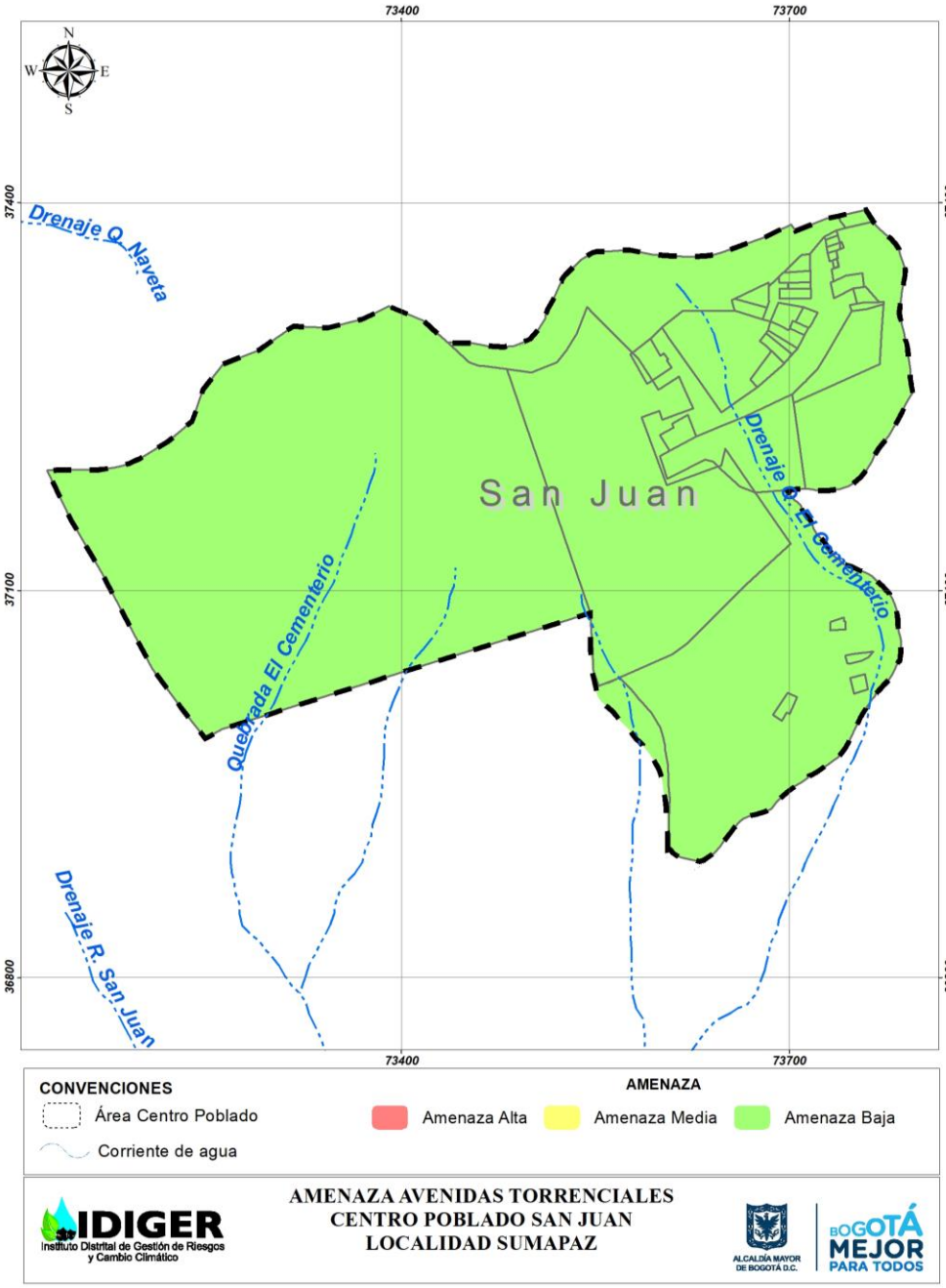


Figura 4-95. Zonificación de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado San Juan

4.7.10 ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO SAN JUAN

Según el Art. 3 del Decreto 1807 de 2014, *"…las áreas con condición de amenaza son las zonas o áreas del territorio municipal zonificadas como de amenaza alta y media en las que*

se establezca en la revisión o expedición de un nuevo POT la necesidad de clasificarlas como suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales para permitir su desarrollo.”. Así mismo, el Art. 11 estipula que la delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza, *“con fundamento en la delimitación y zonificación de amenazas, se delimitan y zonifican aquellas áreas sin ocupar del suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales en las que en la revisión o en la expedición de un nuevo POT se proponga su desarrollo.”*

Teniendo en cuenta que para el Centro Poblado San Juan no existen áreas zonificadas como de amenaza alta y media sin ocupar, en las que en la revisión general del POT se proponga su desarrollo, no hay áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:2.000 (Figura 4-96 y Tabla 4.77).

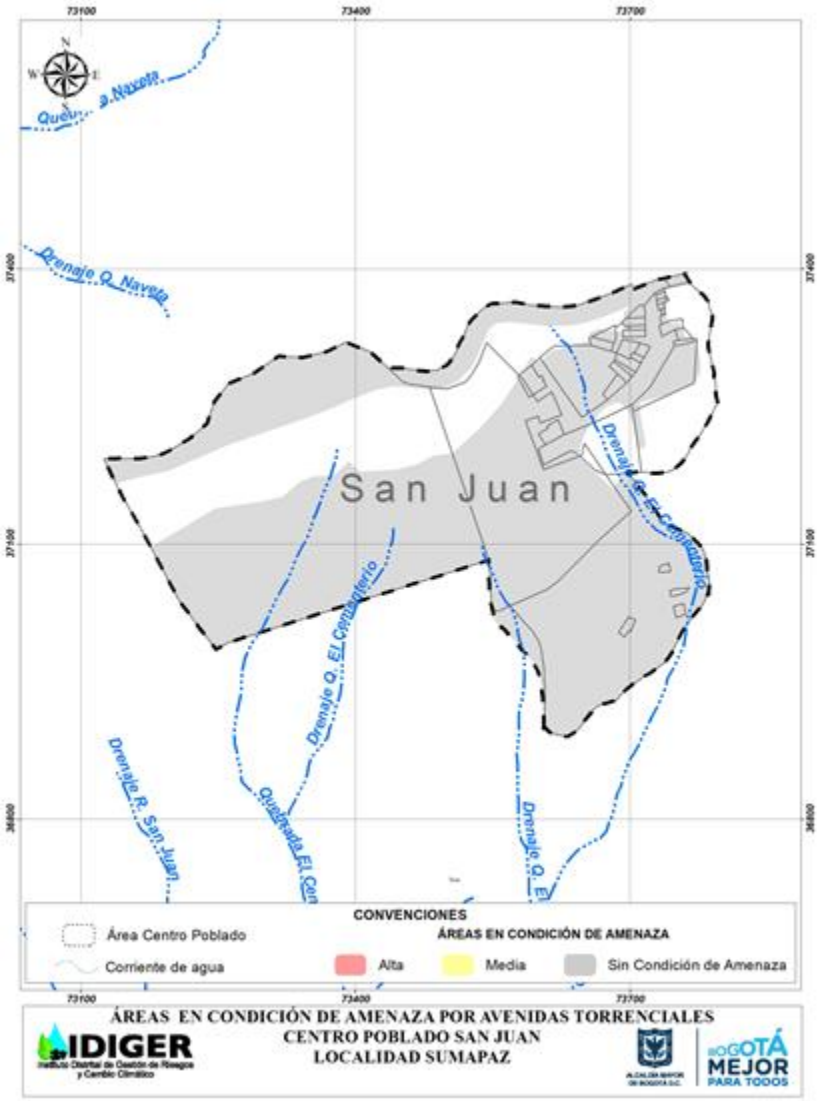


Figura 4-96: Mapa de áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado San Juan

Tabla 4.77. Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el centro poblado San Juan

Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el centro poblado San Juan	
Amenaza	**Hectáreas (Ha)**
Media	0,0
Alta	0,0

4.7.10.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de Amenaza por Avenidas Torrenciales en el Centro Poblado San Juan

No hay condicionamientos o restricciones dado que no hay áreas con condición de amenaza.

4.7.11 ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO SAN JUAN

Según el Art. 3 del Decreto 1807 de 2014, las áreas con condición de riesgo *"corresponden a las zonas o áreas del territorio municipal clasificadas como de amenaza alta que estén urbanizadas, ocupadas o edificadas así como en las que se encuentren elementos del sistema vial, equipamientos (salud, educación, otros) e infraestructura de servicios públicos..."*. Indica además en su Art. 12, como se mencionó anteriormente, que para definir estas zonas se deben identificar *"…la existencia de elementos expuestos, de áreas urbanizadas, ocupadas o edificadas así como de aquellas en las que se encuentren edificaciones indispensables y líneas vitales."*

No hay áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado San Juan, dado que las construcciones, equipamientos e infraestructura no se encuentran en amenaza alta por avenidas torrenciales (Figura 4-97 y Tabla 4.78).

Tabla 4.78. Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado San Juan

Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado San Juan	
Amenaza	**Hectáreas (Ha)**
Alta	0,0

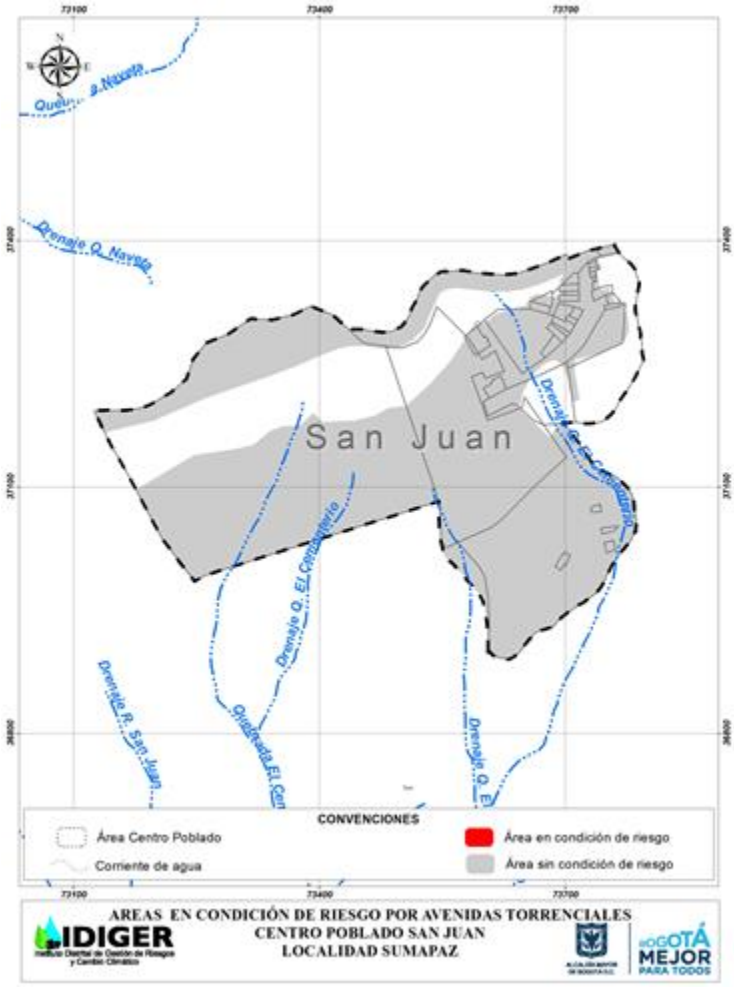


Figura 4-97: Mapa de áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en centro poblado San Juan

4.7.11.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de Riesgo por Avenidas Torrenciales en el centro poblado San Juan

No hay condicionamientos o restricciones dado que no hay áreas con condición de riesgo.

4.7.12 ESTUDIOS DETALLADOS DE RIESGO EN ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO SAN JUAN

Los estudios detallados de riesgo en sectores aledaños por avenidas torrenciales al centro poblado San Juan, están contemplados en la priorización de estudios detallados de ríos y quebradas en las áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en en el suelo

rural, los cuales se realizaran en el largo plazo, los cuales permitirán conocer en detalle la amenaza y riesgo de los sectores cercanos al centro poblado en amenaza media y alta.

4.8 AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO EL DESTINO

4.8.1 ÁREA DE ESTUDIO

El centro poblado El Destino se encuentra ubicado al sur de la Localidad de Usme, en la UPR 3 Río Tunjuelo, como se ve en la Figura 4-98, y se localiza en suelo rural, sobre la vía Usme - Sumapaz, cerca al embalse de la Regadera. Asimismo, se caracteriza por una baja consolidación, de acuerdo a su connotación rural y cuenta con amplias zonas verdes.

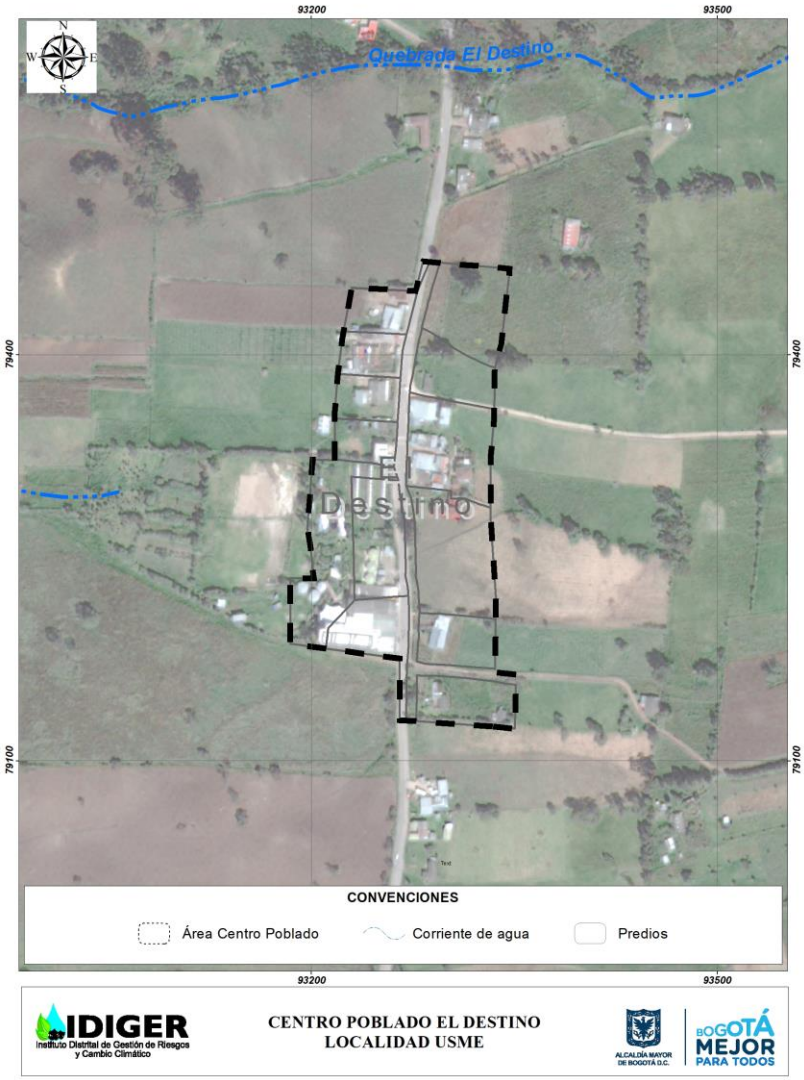


Figura 4-98. Localización general del Centro Poblado El Destino, Localidad de Usme.

En la Figura 4-98 se presenta la ubicación del centro poblado El Destino y la zonificación de amenaza por avenidas torrenciales en suelo rural, en la cual se observa que no existe influencia de la amenaza por avenidas torrenciales en el área de estudio y su cercanía.

4.8.2 INSUMOS

A continuación, se describen los insumos básicos que se tomaron como punto de partida para el desarrollo del análisis de amenaza por avenidas torrenciales, de acuerdo con lo dispuesto en el Art. 10 del Decreto 1807, donde se indica que, para los estudios básicos de amenaza por avenidas torrenciales en centros poblados, se deben realizar a escala 1:2.000.

4.8.2.1 CARTOGRAFÍA BASE

Para la cartografía base utilizada tal como lo establece el Decreto 1807 de 2014 (compilado por el Decreto 1077 de 2015), se verificó que contuviera entre otros: coordenadas, curvas de nivel, drenajes, red vial, infraestructura y equipamientos, asentamientos humanos. A partir de lo anterior para la cartografía se tiene lo siguiente:

A SISTEMAS DE COORDENADAS

Sistema de Coordenadas Proyectadas - Cartesianas: Magna Bogotá
Proyección: Transversal de Mercator
Falso Este: 92324,879
Falso Norte: 109320,965
Longitud Meridiano Central: -74,14659167
Latitud de origen: 4,680486111
Factor de escala: 1
Sistema de Coordenadas Geográfica GCS CarMAGBOG
Meridiano de Greenwich
Datum CGS_CARMAGBOG
Elipsoide: GRS80 Mod
Semieje Mayor: 6380687
Semieje Menor: 6359293,764473119
Achatamiento: 298,257222101

B ESCALA

De acuerdo con el Artículo 10 del Decreto 1807 de 2014 (compilado por el Decreto 1077 de 2015) la base cartográfica que se emplea para la presente zonificación corresponde con una escala 1:2.000.

C GEODATABASE SECRETARÍA DISTRITAL DE PLANEACIÓN SDP

La cartografía base fue tomada de la geodatabase con la información geográfica de la Secretaría Distrital de Planeación.

D INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA.

Para este centro poblado se utilizó las curvas de nivel cada 1m de la base cartográfica de Secretaria Distrital de Planeación.

4.8.2.2 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN

Se utilizó el Modelo Digita de Elevación – DEM generado de 2 x 2 metros, a partir de la información disponible, para realizar la delimitación las cuencas aferentes y el cálculo de algunos parámetros morfométricos de las mismas, los cuales son de gran utilidad para determinar el comportamiento de las cuencas ante eventos de lluvias máximas.

Para esto se realizó la recolección de modelos digitales de Elevación disponibles para el área de estudio, la cual se resume a continuación:

Tabla 4.79. Modelos Digitales de Elevación

Nombre	Fuente	Año	Resumen
Modelo digital de Elevación DEM	IDIGER	2019	1m

El Modelo Digital de Elevación que se usó para la obtención de la amenaza del centro poblado de El Destino proviene de la información de Secretaria Distrital de Planeación.

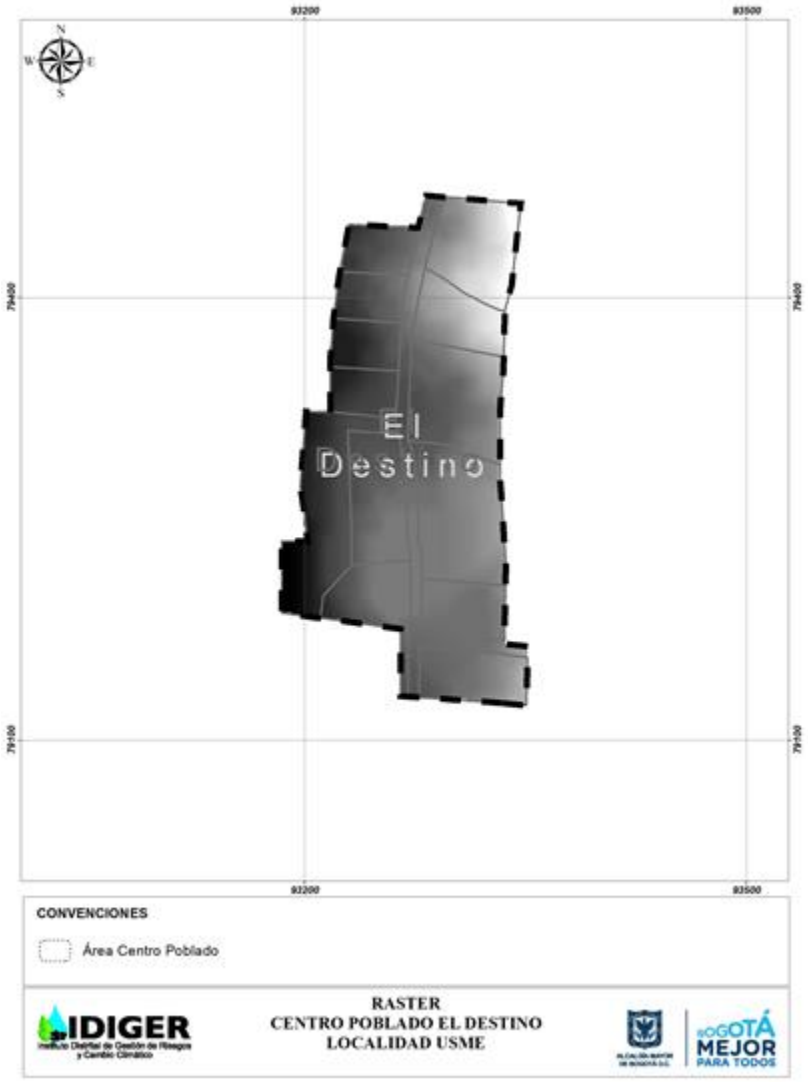


Figura 4-99: Modelo Digital del Elevación del centro poblado El Destino.

4.8.2.3 GEOMORFOLOGÍA

El estudio geomorfológico permite identificar cuales de las unidades correspondientes al Centro Poblado El Destino son susceptibles a la generación de los procesos de avenidas torrenciales los cuales contribuyen a la delimitación de las zonas de estudio y su correspondiente delimitación de amenaza final. La geomorfología es presentada en detalle dentro del análisis geomorfológico.

4.8.3 METODOLOGÍA

Con el fin de construir el esquema metodológico usado en la generación del mapa de amenaza por avenidas torrenciales, se partió de una revisión de las metodologías de evaluación de amenaza enfocado en la armonización tanto en alcance, nivel de información disponible y calidad de los resultados para definir los procedimientos y actividades a ejecutar para lograr un producto cartográfico ajustado a los requerimientos técnicos exigidos en la normatividad vigente (Decreto 1807 de 2014).

4.8.3.1 ESQUEMA METODOLÓGICO

El esquema metodológico se divide en tres análisis principales: (Ver Figura **4-100**)

1. Análisis Geomorfológico
2. Análisis Hidrológico
3. Análisis de Sedimentos
4. Análisis Hidráulico

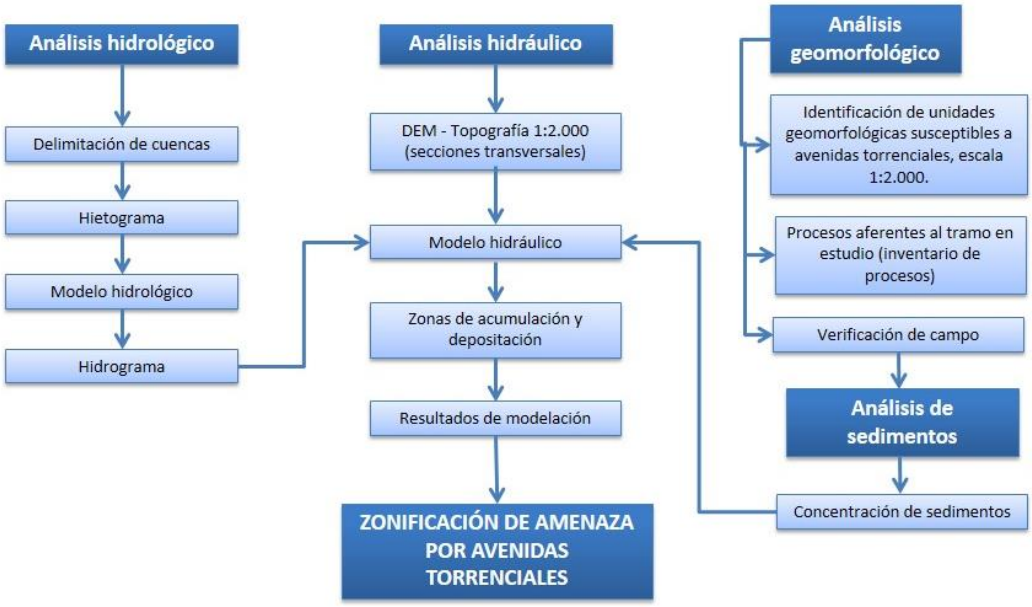


Figura 4-100. Esquema metodológico

El análisis hidrológico inicia con la delimitación de las cuencas aferentes al tramo de río o quebrada que se analiza a partir del modelo de elevación digital de la cuenca, posteriormente se estima el hietograma de precipitación bajo un escenario de periodo de retorno determinado el cual es el insumo de entrada para el modelo hidrológico que proporciona los hidrogramas de entrada del modelo hidráulico.

El análisis geomorfológico consiste en la revisión e identificación de la geomorfolgía a escala 1:2000 de las unidades de potencial acumulación de flujo.

El análisis de sedimentos parte del mapa de procesos geomorfológicos identificados que se encuentran cerca del tramo de rio o quebrada que se analiza, la concentración de sedimentos se determina de acuerdo con la literatura especializada identificada durante la revisión del estado del arte asignando un valor promedio a cada tipo de proceso.

El análisis hidráulico toma como entrada el hidrograma resultado del análisis hidrológico y la concentración de sedimentos del análisis de sedimentos, con estas variables de entrada transita el hidrograma en el modelo de elevación digital del terreno del tramo de rio o quebrada que se analiza, obteniendo como resultado las velocidades y profundidades máximas alcanzadas en cada una de las celdas del modelo de elevación digital del tramo en estudio, estos valores de velocidad y profundidad se categorizan de acuerdo a la condición de amenaza que representan.

4.8.4 ANÁLISIS HIDROLÓGICO

El análisis hidrológico comprende dos etapas, la primera es la delimitación de las cuencas hidrográficas en el área de estudio y la segunda, el modelo lluvia escorrentía que permite la estimación de hidrogramas que serán la entrada del modelo hidráulico. A continuación, se presenta los pasos seguidos en las dos etapas y sus respectivos resultados.

Para obtener la delimitación de cuencas se parte del Modelo de Elevación Digital (DEM) de la zona de estudio, en este caso se cuenta con un DEM proyectado en coordenadas geográficas. Este DEM requiere ser proyectado en coordenadas planas con el fin de tener la geometría plana adecuada para el cálculo de áreas y distancias de las cuencas generadas.

El DEM proyectado cubre un área de mayor extensión que el área de estudio, , con el fin de delimitar solamente las cuencas que drenan a esta área . Este buffer se obtuvo mediante pruebas de sensibilidad con diferentes distancias, con el objetivo de cubrir el área que hidrológicamente tiene algún aporte a las cuencas que se encuentran dentro del perímetro del distrito y que garantiza que éstas drenen completamente en el modelo hidráulico.

Por otra parte, El DEM contiene errores inherentes a este tipo de producto, por tanto se debe corregir con la cartografía adecuada para que el resultado de la delimitación de cuencas se aproxime a la red de drenaje real. Para lograr este objetivo se cuenta con la cartografía del sistema hídrico en coordenadas geográficas, al igual que se realizó con el DEM, se efectuó la proyección del sistema hídrico y se extrae la red hídrica l.

Dado que la corrección del DEM se puede realizar con el shape tipo polígono o tipo línea, se ha optado por convertir los polígonos a líneas y de esta forma modificar solo las riberas de los ríos que en la cartografía son representados mediante polígonos, el resultado de la conversión del sistema hídrico de polígonos a línea.

4.8.4.1 Cuencas Hidrográficas

Teniendo como entrada el DEM y el sistema hídrico ajustados previamente, se construye en ArcGIS el flujo de trabajo de herramientas a utilizar, con el fin de delimitar las cuencas hidrográficas del área de estudio. En este flujo de trabajo se desarrollan los siguientes 11 pasos.

1. Para poder generar la red de drenaje a partir del DEM es necesario profundizar el DEM en aquellas zonas donde se encuentran ubicados los ríos de acuerdo a la cartografía. En este paso, se realizó la profundización en las zonas donde se encuentran los ríos dibujados como tipo línea.

2. Este paso es similar al anterior, sin embargo, la profundización se realizó en las zonas donde se encuentran los ríos dibujados como tipo polígono, pero solo en las riberas convertidas en líneas.

3. El DEM debe ser hidrológicamente apropiado, es decir, que todas las celdas del DEM drenen a un punto de salida. Para poder generar un DEM hidrológicamente apropiado se deben rellenar los pozos o celdas que no permiten que se genere adecuadamente la red de drenaje.

4. Teniendo en cuenta la pendiente más favorable para el flujo, se genera un valor de dirección de flujo para cada celda del DEM.

5. Teniendo en cuenta la dirección de flujo de cada celda es posible calcular el número de celdas que drenan a determinada zona, con estos valores se genera el ráster de acumulación de flujo.

6. Un parámetro importante en la definición de corrientes es el número de celdas que generan el inicio de un cauce, para este análisis hidrológico se tomó el equivalente a 0.5 km^2 como el valor en el cual se genera una corriente. Este valor se obtuvo mediante pruebas de sensibilidad buscando el tamaño adecuado de cuencas que se ajustaba a la escala de trabajo.

7. Considerando el ráster de acumulación de flujo y el número de celdas que generan el inicio de un cauce, se obtuvieron las corrientes hídricas. Posteriormente, se dividen las corrientes teniendo en cuenta que los tramos de las mismas no tengan confluencias con otras corrientes.

8. De acuerdo con los tramos de cauces obtenidos en el paso anterior, se genera la delimitación automática de cuencas.

9. El Ráster generado en el paso anterior se debe trasformar en formato shape para cálculos posteriores.

10. La segmentación de corrientes obtenida en el paso 6, se debe transformar en formato shape para cálculos posteriores.

11. Las cuencas hidrográficas con área aferente acumulada es el resultado final en la delimitación de cuencas del área de estudio.

Para realizar el análisis sólo en las cuencas que se encuentran en el área de estudio y dado que el procedimiento anterior no tiene en cuenta los efectos de la urbanización en la red de drenaje, se deben estimar o corregir las cuencas obtenidas de acuerdo a esta consideración. Para ello se determinan los puntos de cierre de cuencas que dependen del orden de drenaje dentro de la cuenca.
Para la generación de cuencas y delimitar el área de estudio se desarrollan los siguientes 4 pasos.

1. En el primer paso se vinculan los puntos de cierre de cuencas con el ráster de acumulación de flujo generado anteriormente.
2. De acuerdo con el ráster de acumulación de flujo se recortan las cuencas tipo Ráster.
3. Las cuencas del paso anterior se convierten en polígonos
4. El último paso une las cuencas aferentes que puedan quedar separadas al convertir el ráster de cuencas a polígono

El resultado del procedimiento anterior es la generación de cuencas que cubren el área de estudio.

.

Teniendo como entrada el modelo de elevación digital proyectado, se construye en ArcGIS el flujo de trabajo de herramientas a utilizar con el fin de generar las subcuencas hidrográficas del área de estudio. En este flujo de trabajo se desarrollan los mismos 11 pasos que fueron descritos anteriormente.

1. Corrección DEM mediante red de drenaje tipo línea.
2. Corrección DEM mediante red de drenaje tipo polígono.
3. Modelo de Elevación Digital Hidrológicamente Corregido.
4. Dirección de Flujo.
5. Acumulación de Flujo.
6. Red de Drenaje Generada Tipo Ráster.
7. Red de Drenaje Generada Tipo Ráster Vinculada.
8. Cuencas hidrográficas Tipo Ráster.
9. Cuencas hidrográficas Tipo Polígono.
10. Red de Drenaje Generada Tipo Línea.
11. Cuencas hidrográficas Acumuladas Tipo Polígono.

Cabe aclarar que uno de los parámetros importantes para la definición de las subcuencas es el número de celdas que generan el inicio de un cauce, para este análisis hidrológico se tomó el equivalente a 0.5 km^2 como el valor en el cual se genera una corriente, el resultado del este procedimiento fue la generación de las subcuencas que cubren el área del perímetro del centro poblado (Figura 4-101).

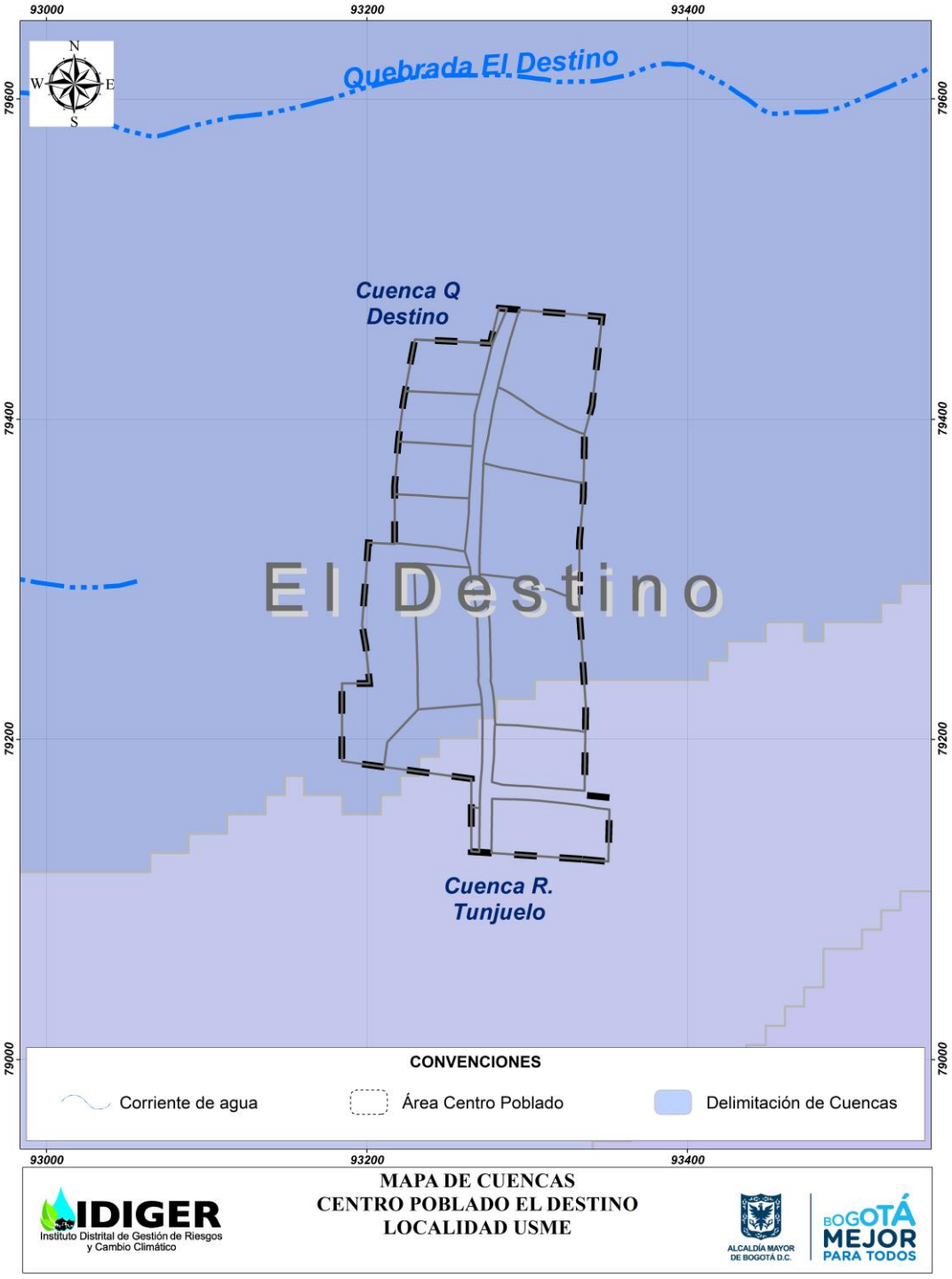


Figura 4-101. Cuencas analizadas en el centro poblado El Destino.

4.8.4.2 Morfometría

Para el análisis de susceptibilidad de una cuenca a un evento torrencial, se llevó a cabo la evaluación de varios parámetros morfométricos, teniendo cuenta que estos parámetros son indicadores de las características de la cuenca relacionadas con el pico de las crecientes y su producción de sedimentos.

A continuación, se describe los parámetros morfométricos calculados y analizados

A Pendiente

Tiene una influencia significativa en la generación de avenidas torrenciales (Smith, 2003). Esta característica controla en buena parte la velocidad con que se da la escorrentía superficial y afecta, por tanto, el tiempo que requiere el agua lluvia para concentrarse en los lechos fluviales que constituyen la red de drenaje de las cuencas.

B Orden de corriente

En orden de corrientes depende del número de afluente que contenga el cauce principal, por lo tanto, los de primer orden son todos aquellos que no tengan afluentes. Cuando se unen dos cauces de primer orden forman un cauce de segundo orden y así sucesivamente.

C Longitud de Flujo

La Longitud de flujo está definida como la distancia horizontal, medida a lo largo del cauce principal, entre el punto de salida de la cuenca y el límite definido para la cuenca.

4.8.4.3 Modelo Lluvia – Escorrentia

La segunda etapa del análisis hidrológico consiste en el cálculo de los hidrogramas a partir del modelo lluvia – escorrentía, este hidrograma servirá de entrada al modelo hidráulico. Para obtener los eventos de precipitación se utilizó la caracterización de tormentas y actualización de curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia IDF desarrolladas por la EAB, para este fin las cuencas se subdividieron en dos grupos, el primero aquellas cuencas cuyo centroide se encontrara a por lo menos una distancia inferior a diez kilómetros de alguna de las estaciones utilizadas en dicho estudio y un segundo grupo en el cual el centroide de las cuencas se encontrara a una distancia superior a diez kilómetros de alguna de las estaciones utilizadas en el estudio de la EAB (

Para el primer grupo de estaciones se utilizó la curva IDF de la estación más cercana al centroide de la cuenca obtenidos mediante el estudio de la EAB. Para el segundo grupo de estaciones se calculó las curvas sintéticas IDF asociadas al centroide de la cuenca, siguiendo el método de Vargas (1998), el cual se encuentra específicamente formulado para Colombia y cuya ecuación se enuncia a continuación:

$$I = a\frac{{T_r}^b}{t^c}M^d N^e PT^f ELEV^g$$

Siendo:
I: Intensidad (mm/h).
T_r: Período de retorno (años).
t : Duración de la precipitación, (horas).
M: Promedio del valor máximo anual de precipitación diaria (mm).
N: Promedio de número de días anuales con precipitación.
PT: Promedio de precipitación media anual (mm).
ELEV: Elevación de la estación meteorológica de medición (msnm).
a, b, c, d, e, f, y g :Son coeficientes propios de la ecuación que varían según la ubicación regional de la estación y de la cantidad de variables disponibles. Para el caso se utilizaron los recomendados por el autor del método.

En la siguiente tabla se presentan los valores correspondientes a cada parámetro calibrado para la región Andina de acuerdo con Vargas (1998).

Tabla.80. Parámetros del método de Vargas para la región Andina

a	b	c	d	e	f	g
1,64	0,19	0,65	0,73	-0,13	0,08	-0,01

Las abstracciones de la precipitación fueron calculadas a partir del método de abstracciones del Soil Conservation Service SCS o Método del Número de curva. Para esto se tuvo en cuenta la cartografía disponible suministrada por SDP en cuanto a coberturas de suelo siguiendo la metodología CORINE Land Cover además de la clasificación del grupo hidrológico del suelo, de acuerdo con el mapa geológico de la zona de estudio, definidos por tipo según su capacidad de infiltración.

Con el evento de precipitación obtenido a partir de las curvas IDF utilizando el método de bloque alterno y las abstracciones calculadas con el método de número de curva se obtienen los hidrogramas que servirán de entrada al modelo hidráulico. El Caudal Pico de estos hidrogramas según las cuencas asociadas al área de estudio se presenta en la Figura 4-102.

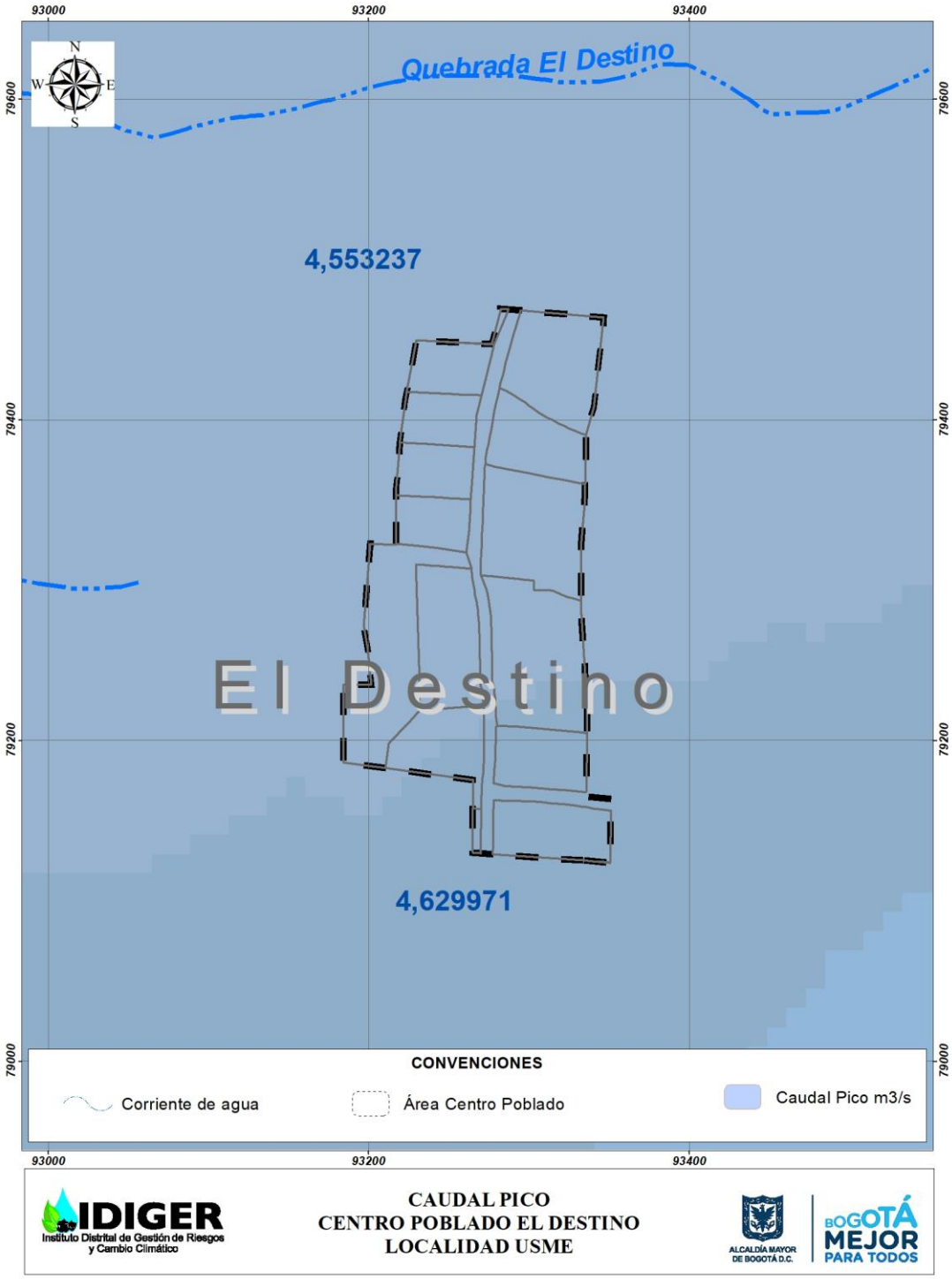


Figura 4-102. Caudales Pico Según Cuencas analizadas en el centro poblado El Destino.

4.8.5 ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

Dentro del centro poblado, las unidades geomorfológicas que se presentan se muestran en la Figura 4-103, el detalle del proceso de contruccción del levantamiento geomorfológico se presenta en el Documento Técnico de Sopórte del Mapa De Amenaza Por Movimientos En Masa En Perspectiva De Cambio Climático Zona Rural.

Geomorfológicamente, el sector corresponde a una cuesta estructural glaciada que se caracteriza por longitudes moderadamente largas, indicador de la homogeneidad del material, y conformada por una ladera de pendiente plana a muy plana definida por la inclinación de sus estratos producto del basculamiento suave de capas de la formación Usme, conformado principalmente en superficie por suelos residuales de la misma formación.

Sin embargo, a una distancia aproximada de 500 m hacia el costado occidental, que limita con el río Tunjuelo, se identificó la diferencia de altitud de la geoforma entre la parte más alta y más baja de esta, encontrándose una diferencia superior a los 123 m.

De acuerdo con la geomorfologia a escala 1:2000 y partir de las unidades presentes se realizó en función de la morfogenésis y la morfodinámica, la identificación de la susceptibilidad a avenidas torrenciales, mediante un análisis basado en las morfoestructuras de región, unidad, subunidad y componente, con el fin de realizar la identificación de unidades de origen fluviotorrencial presentes en el área de estudio y determinar zonas susceptibles a la depositación y acumulacion de flujo o generación de sedimentos, previo a la validación mediante el modelo hidráulico, encontrando la siguiente categorización (Tabla 4.81):

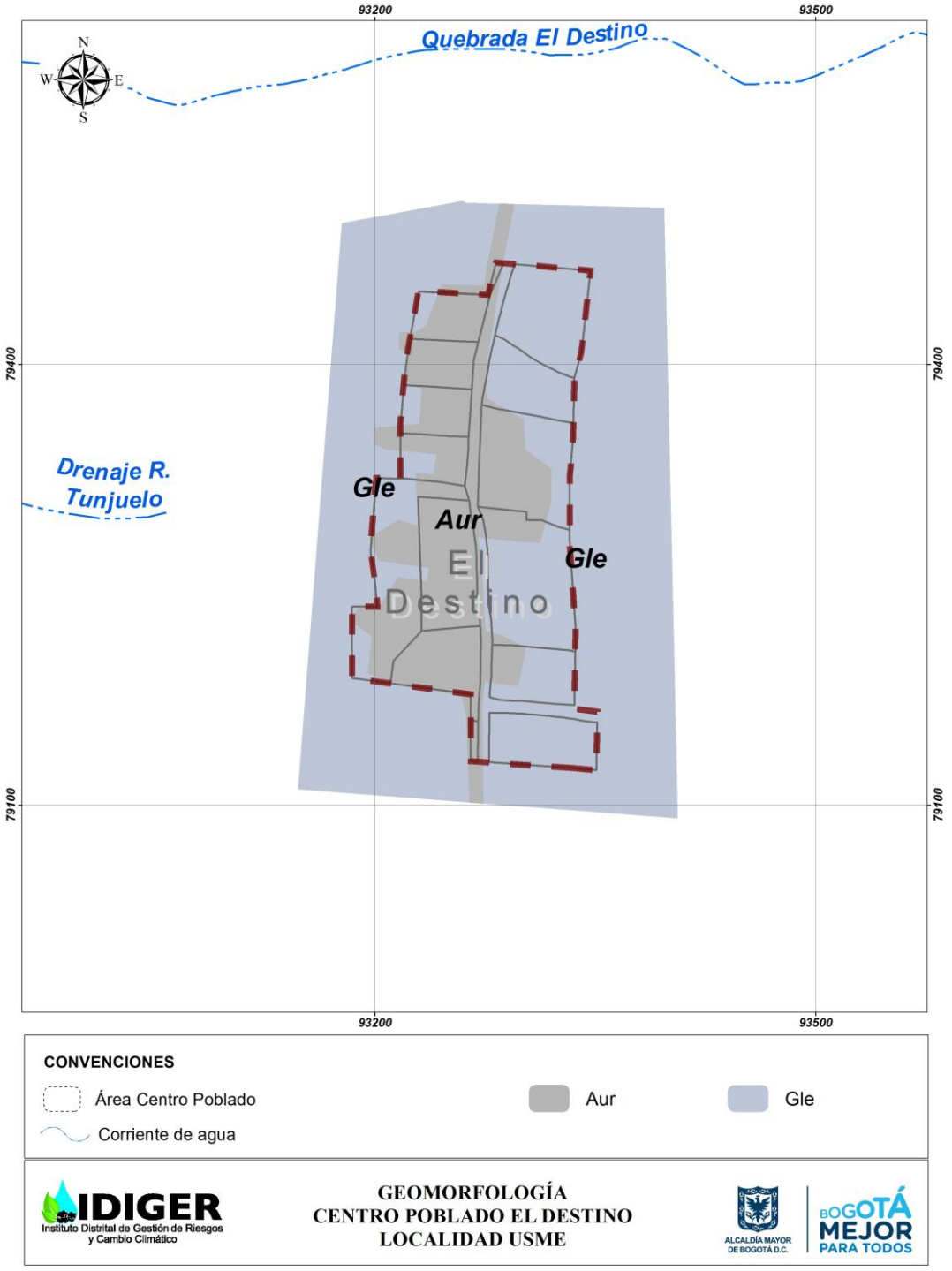


Figura 4-103. Mapa geomorfológico construido para El Destino.

Tabla 4.81. Susceptibilidad Geomorfológica de las Unidades

REGIÓN	UNIDAD	SUBUNIDAD	COMPONENTE	SÍMBOLO	SUSCEPTIBILIDAD	OBSERVACIONES
ANTROPOGÉNICO			Area Urbanizada	**Aur**	Baja	
GLACIAL Y PEROGLACIAL	Cuesta Estructural Glaciada	Ladera Estructural Glaciada	Ladera plana glaciada	**Gle**	Baja	

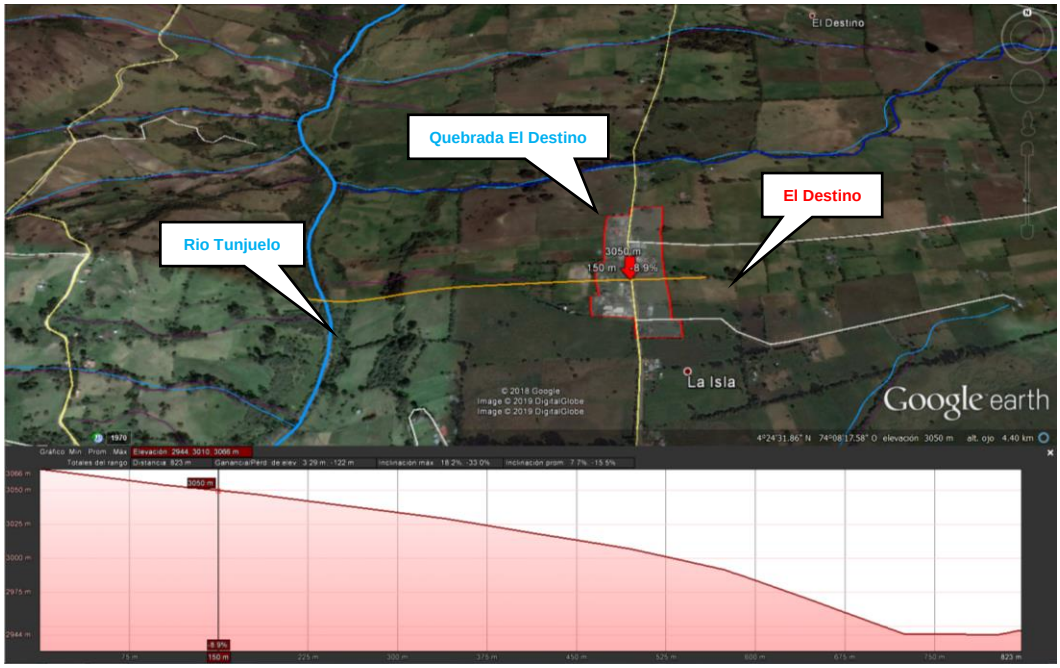


Figura 4-104. Geomorfología y perfil del Centro Poblado El Destino, Localidad de Usme

4.8.5.1 INVENTARIO DE PROCESOS MORFODINÁMICOS

Para poder ajustar a la escala de trabajo el análisis de sedimentos, se verificaron los procesos morfodinámicos. Se revisaron procesos que pudiesen afectar el área de estudio, evaluando la morfología y los materiales que lo conforman, y encontrando que el área de estudio está conformada por depósitos fluvioglaciales con pendientes planas. Teniendo en cuenta este contexto, y realizando verificación en campo, no se evidenció la presencia de procesos morfodinámicos relacionados con movimientos en masa, sin embargo, se evidencia procesos de erosión laminar de forma incipiente.

Se puede concluir, que de acuerdo al análisis geomorfológico, el área de estudio no es susceptible a la acumulación de flujos torrenciales. Se identificaron los cauces, que por sus características, puedan tener un comportamiento torrencial siendo en este caso es el rio Tunjuelo. Sin embargo, por la distancia aproximada de 500 m entre el centro poblado el rio

Tunjuelo y por la diferencia de nivel, no hay afectación por avenidas torrenciales en el centro poblado.

CONVENCIONES

Corriente de agua

Área Centros Poblados

IDIGER
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático

PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS
CENTRO POBLADO EL DESTINO
LOCALIDAD USME

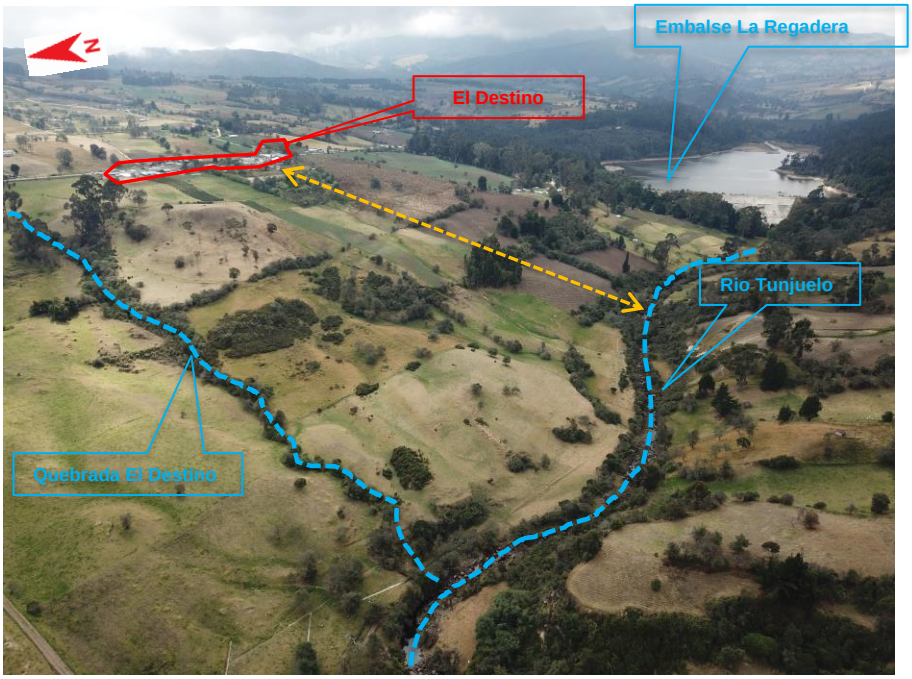
ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS

Figura 4-105. Mapa de procesos morfodinámicos construido para El Destino.

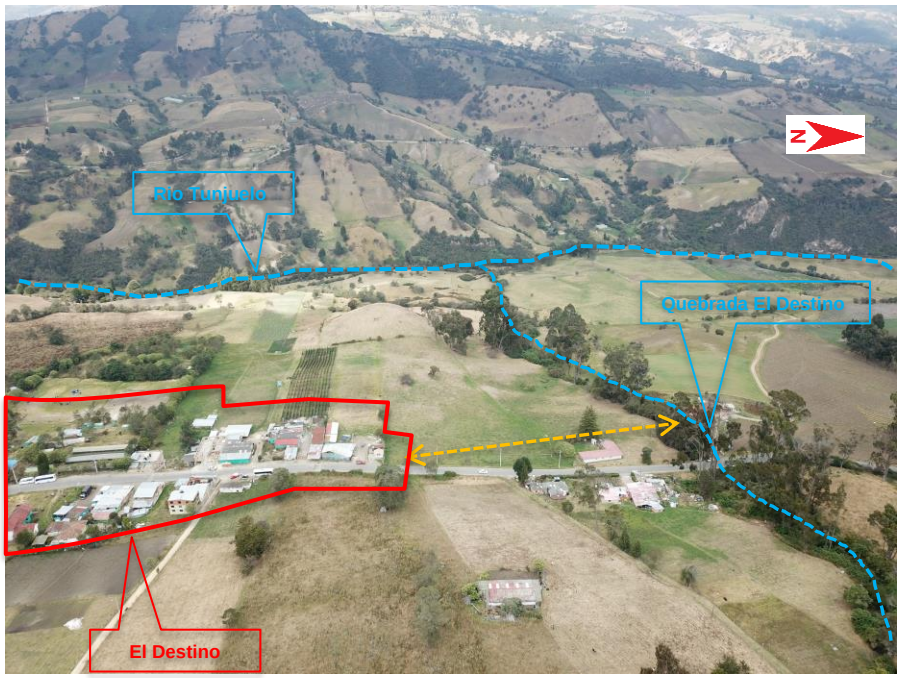
4.8.5.2 VERIFICACIÓN EN CAMPO

Se realizó por parte de la Entidad una visita técnica al centro poblado en estudio, en la cual se hizo un vuelo con Dron para realizar verificar las condiciones de posible amenaza por avenidas torrenciales a la escala especificada. A continuación, se presenta el registro fotográfico del sector (Fotografía **4.24**, Fotografía **4.25** y Fotografía **4.26**).

Fotografía 4.24. Centro Poblado El Destino. Vista S-W.



Fotografía 4.25. Centro Poblado El Destino Limites Río Tunjuelo. Vista N-E



Fotografía 4.26. Centro Poblado El Destino – Limite Quebrada El Destino. Vista S-W

4.8.6 ANÁLISIS DE SEDIMENTOS

Dado que el aporte de sedimentos de algunos procesos de movimientos en masa aferentes a los cuerpos hídricos puede contribuir a la carga de sedimentos elevando los volúmenes transportados por la corriente es importante definir los procesos que pueden generar aporte de sedimentos a la creciente súbita, para esto se utiliza como insumo el inventario de procesos definido con anterioridad para la escala de trabajo. Se caracterizó cada proceso definiendo a partir de la información disponible la formación, depósito o tipo de suelo, su granulometría y su incidencia en el aporte de sedimentos conforme su ubicación frente al cuerpo de agua, trabajando como zonas de aporte directas, las aferentes en una faja paralela (buffer) de 100 m a lado y lado del cuerpo de agua. Esta distancia tenía como objeto incluir la mayor cantidad de procesos, teniendo en cuenta que la mayoría de las quebradas no tienen definida su zona de ronda propiamente dicha sino que se toma la generalidad reglamentada de los 30 m.

Según la caracterización y definición del proceso se pudo obtener el tipo de material aportante al cauce, y por tanto establecer el parámetro de concentración de acuerdo al tipo de flujo a presentarse según criterio de experto teniendo en cuenta lo presentado en la Tabla 4.82. No obstante no se evidenciaron procesos a ser considerados

Por otra parte, en la Tabla 4.83 se presentan los parámetros reológicos utilizados en las modelaciones, donde se establecen las relaciones disponibles del esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimento de acuerdo con el estado del arte de la zonificación de amenazas por avenidas torrenciales. Para la elección del tipo de relación a utilizar se trató de validar los resultados obtenidos utilizando diferentes reologías con el registro histórico presentado en el estudio detallado de la quebrada Limas "Actualización de la Zonificación de Amenaza de Inundación y Avenidas Torrenciales de la Quebrada Limas. Localidad Ciudad Bolívar" Rogelis (2008). Como resultado de esta validación se concluyó que el mejor ajuste se obtenida al seleccionar la reología de Kang & Zhang (1980), y por tanto se toman para el modelo estos parámetros de esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos.

Tabla 4.82. Comportamiento del flujo de sedimentos como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014)

	Concentración de Sedimento		Características del flujo
	En Volumen	En Peso	
Deslizamiento	0.65 - 0.80	0.83 - 0.91	No fluye; falla por deslizamiento.
	0.55 - 0.65	0.76 - 0.83	Falla por deslizamiento con deformación interna, creep lento anterior a la falla.
Flujo de lodos	0.48 - 0.55	0.72 - 0.76	Flujo evidente, creep lento; deformación plástica bajo el peso propio del material; cohesivo, no se extiende en superficie nivelada.
	0.45 - 0.48	0.69 - 0.72	El flujo se extiende sobre superficie nivelada; flujo cohesivo; algo de mezcla.
Creciente de lodos	0.40 - 0.45	0.65 - 0.69	El flujo se mezcla fácilmente; muestra propiedades de fluido en deformación; se extiende en una superficie horizontal pero mantiene una superficie del fluido inclinada; contiene partículas de tamaño considerable; aparecen ondas pero se disipan rápidamente.

	Concentración de Sedimento		Características del flujo
	En Volumen	En Peso	
	0.35 - 0.40	0.59 - 0.65	Marcado asentamiento de gravas; se extiende casi completamente en una superficie horizontal; superficie líquida con dos fases del fluido; hay ondas que viajan en la superficie.
	0.30 - 0.35	0.54 - 0.59	Las ondas viajan fácilmente; la mayoría de la arena y grava se mueven como carga de lecho.
	0.20 - 0.30	0.41 - 0.54	Presencia de ondas; superficie fluida; todas las partículas se encuentra en el lecho.
Agua	< 0.20	< 0.41	Creciente de agua con carga en suspensión y de lecho.

Tabla 4.83. Esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014)

Yield Stress and Viscosity as a Function of Sediment Concentration				
Source	$\tau_y = \alpha e^{\beta Cv}$		$\eta = \alpha e^{\beta Cv}$	
	α	β	α	β
Field Data				
Aspen Pit 1	0.181	25.7	0.0360	22.1
Aspen Pit 2	2.72	10.4	0.0538	14.5
Aspen Natural Soil	0.152	18.7	0.00136	28.4
Aspen Mine Fill	0.0473	21.1	0.128	12.0
Aspen Watershed	0.0383	19.6	0.000495	27.1
Aspen Mine Source Area	0.291	14.3	0.000201	33.1
Glenwood 1	0.0345	20.1	0.00283	23.0
Glenwood 2	0.0765	16.9	0.0648	6.20
Glenwood 3	0.000707	29.8	0.00632	19.9
Glenwood 4	0.00172	29.5	0.000602	33.1
Relationships Available from the Literature				
Iida (1938)	-	-	0.0000373	36.6
Dai et al. (1980)	2.60	17.48	0.00750	14.39
Kang and Zhang (1980)	1.75	7.82	0.0405	8.29
Qian et al. (1980)	0.00136	21.2	-	-
	0.050	15.48	-	-
Chien and Ma (1958)	0.0588	19.1-32.7	-	-
Fei (1981)	0.166	25.6	-	-
	0.00470	22.2	-	-

4.8.7 ANÁLISIS HIDRAÚLICO

- *MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN*

Para generar el modelo hidráulico bidimensional, es necesario contar con un modelo de elevación digital del terreno con un nivel muy alto de detalle, sobre el cual se hace una corrrección de drenaje.

Teniendo como entrada el DEM se construye en ArcGIS el flujo de trabajo de herramientas a utilizar con el fin de generar el DEM para ingresar el modelo hidráulico. En este flujo de trabajo se desarrollan los siguientes 3 pasos.

1. Buffer de 100 m de la corriente a modelar.
2. Modelo de Elevación Digital Tamaño a partir del modelo de elevación digital de 12 m con corrección red de drenaje extraído con buffer de 100 m corriente a modelar.
3. Modelo de Elevación Digital Tamaño corregido.

El anterior procedimiento se realizó para las cuencas que hacen parte del centro poblado.

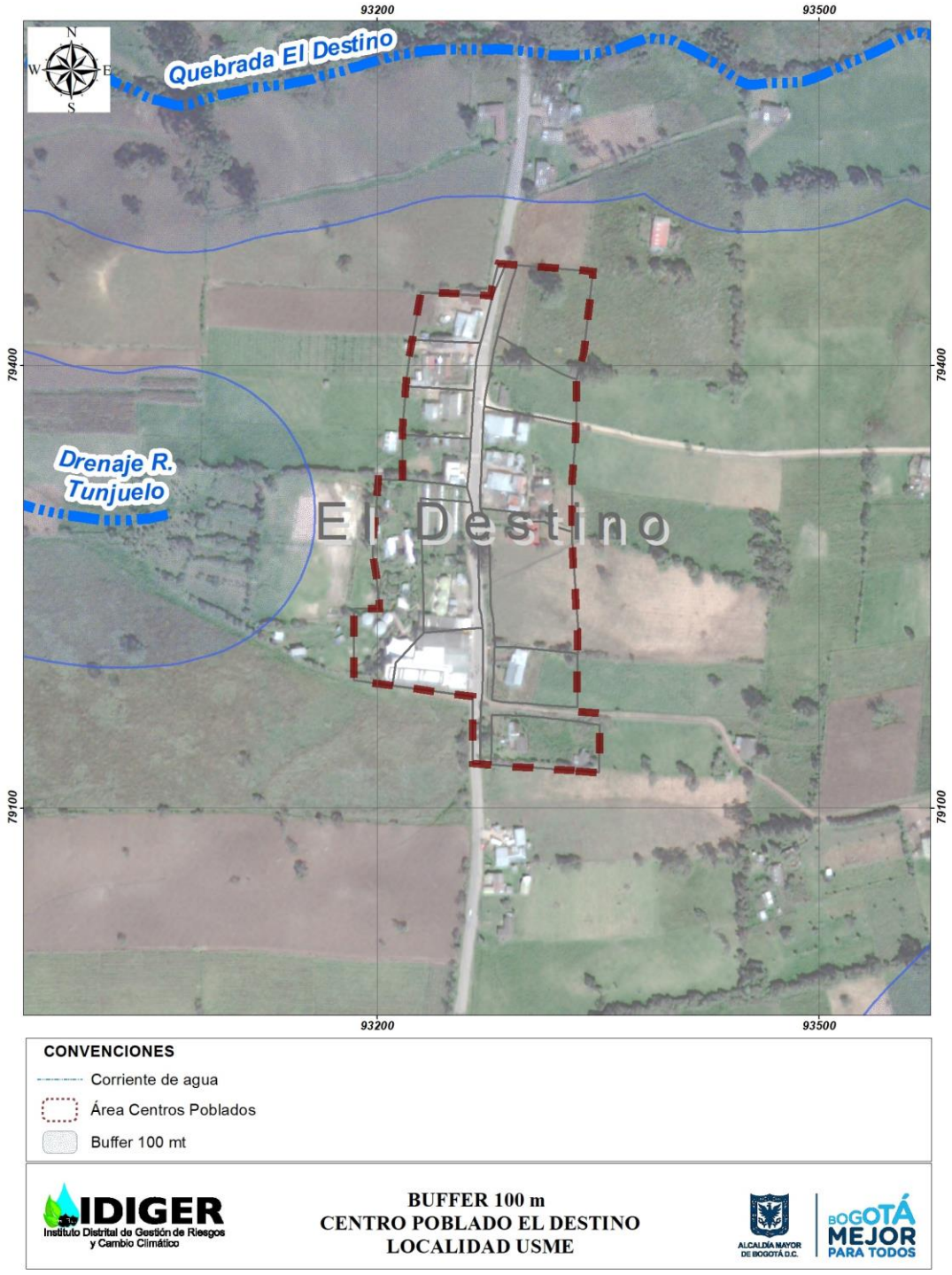


Figura 4-106: Buffer de 100 m Cuerpos de Agua Centro Poblado El Destino

Para desarrollar el proceso metodológico y obtener el raster que será utilizado para la evaluación hidraulica de cada cuerpo de agua se utilizo la herramienta ModelBuilder de ArcGIS como se muestra en el diagrama de la Figura 4-10 . Este procedimiento inicia con la creación de un buffer por cada drenaje de la zona de estudio y a partir de este, se realiza el corte del DEM y se obtiene el archivo ASCII que permite generar la superficie del modelo hidráulico.

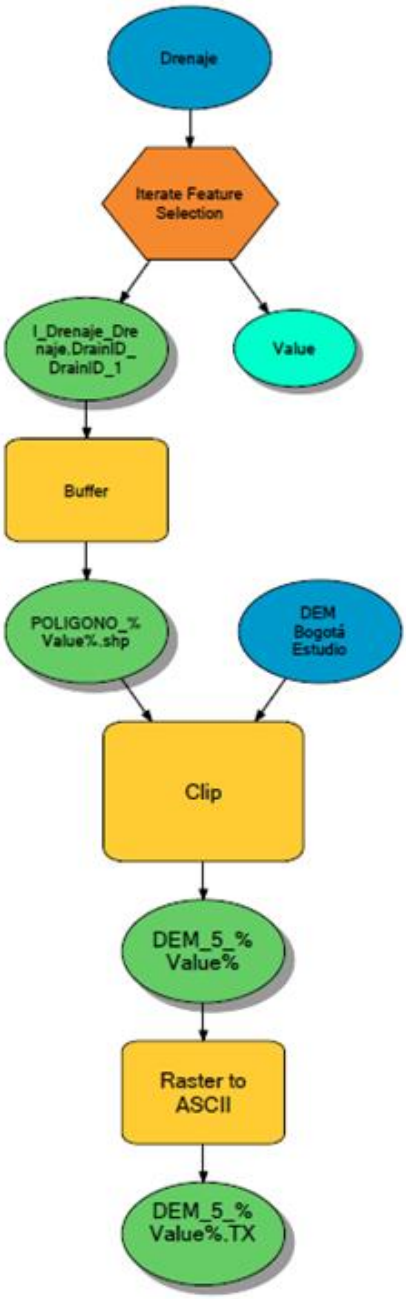


Figura 4-107: Procedimiento en ModelBuilder de ArcGIS para la Extracción Raster modelaciones

4.8.8 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES

- *RESULTADOS DE MODELACIÓN*

Retomando el flujograma metodológico, para la construcción del mapa de amenaza por avenidas torrenciales, partiendo del análisis hidrológico, una vez obtenidos los hidrogramas para las cuencas definidas, estos son incluidos en el modelo hidráulico, el cual es el resultado de la generación de las secciones transversales de cada una de las cuencas delimitadas. Adicionalmente, a partir de la relación Kang & Zhang (1980) se generan los valores del esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos los cuales son incluidos en el modelo hidráulico.

Se inicia el procesamiento en el software de elementos finitos de cada una de las cuencas que cubren el centro poblado, obteniendo alturas y velocidades del flujo para cada pixel junto con los caudales de salida que alimentan los pixeles de la cuenca aguas abajo y van generando la integración del modelo hidráulico. Al final se tiene como resultado un ráster con tamaño de pixel de 1m donde se tiene una profundidad y velocidad del flujo.

A partir de los resultados de altura y velocidades del flujo obtenidos en el modelo hidráulico se realiza la zonificación de la amenaza de acuerdo con la categorización presentada en la Tabla 4.84.

Tabla 4.84. Matriz de amenaza definida por la intensidad del proceso y su probabilidad de ocurrencia. (Matjaž, 2013)

				Probability of occurrence, *P*		
	BUWAL (1997)	Rickenmann (2005b)		High	Medium	Low
Intensity, *I*	h > 1.0 m and v > 1.0 m/s	h > 1.0 m or v > 1.5 m/s	High	**High**	**High**	**Moderate**
	h < 1.0 m or v < 1.0 m/s	h < 1.0 m and 0.4 m/s < v < 1.5 m/s	Medium	**Moderate**	**Moderate**	**Low**
	non existent	h < 0.4 m and v < 0.4 m/s	Low	**Low**	**Low**	**Very Low**
Not affected areas				**Very Low**	**Very Low**	**Very Low**

Posteriormente para la construcción del mapa de amenaza por avenidas torrenciales, una vez obtenidos los resultados de la modelación donde se generaron alturas y velocidades del flujo para cada pixel de 1m, se procedió a identificar las zonas que cumplen con las características descritas en la Tabla 4.85, para definir la categorización de la amenaza en: Alta, Media o Baja.

Tabla 4.85. Matriz para la zonificación de amenaza

ZONIFICACIÓN	DEFINICIÓN
Zonas en amenaza alta	Zona de desborde del cauce delimitada para el caudal del periodo de retorno de 100 años, con una profundidad de flujo superior a 1,0 y/o una velocidad de flujo superior a 1,5 m/s.
Zonas en amenaza media	Zona de desborde del cauce delimitada para el caudal del periodo de retorno de 100 años, con una profundidad de flujo entre 0,4 m y 1,0 m y/o una velocidad de flujo entre 0,4 y 1,5 m/s.
Zonas en amenaza baja	Zona de desborde del cauce delimitada para el caudal del periodo de retorno de 100 años, con una profundidad de flujo igual o mayor que 0 m e inferior a 0,4 m, y/o una velocidad de flujo igual o mayor que 0 m/s e inferior a 0,4 m/s.

De acuerdo con los resultados obtenidos al realizar el análisis matricial, donde se identifica la calificación de amenaza por avenidas torrenciales, se obtuvo el resultado mostrado en la Figura 4-108.

93000
93250
93500
79500
79250
79000
N
W
E
S
El Destino
CONVENCIONES
Área Centro Poblado
AMENAZA
Amenaza Alta
Amenaza Media
Amenaza Baja
RESULTADO MODELACION AMENAZA AVENIDAS TORRENCIALES
CENTRO POBLADO EL DESTINO
LOCALIDAD USME
IDIGER
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático
ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS

Figura 4-108. Resultado modelación de amenaza por avenidas torrenciales

4.8.9 ZONIFICACIÓN Y MAPA DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO EL DESTINO

De acuerdo con los resultados de evaluación se define la amenaza por avenidas torrenciales como el área donde existe una probabilidad de ocurrencia de avenidas torrenciales con un periodo de retorno de 100 años, la intensidad del fenómeno se establece a partir de los resultados del modelo hidráulico de los cauces naturales y/o intervenidos que por sus condiciones presentan avenidas torrenciales. El modelo hidráulico desarrollado implementa los resultados de la modelación hidrológica de las cuencas asociadas a estos cauces naturales y cuya área aferente es mayor a 50 ha y la concentración de sedimentos de fenómenos de movimientos en masa que pueden incorporarse a estos cauces. Las categorías de amenaza por avenidas torrenciales se dividen en tres categorías presentadas en la Tabla 4.85 presentada anteriormente.

Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado que dentro el área de estudio del centro poblado no es susceptible a la acumulación de flujos torrenciales y que se evidenció que no se reportaron eventos de emergencia por avenidas torrenciales junto con que el cauce no ha sido intervenido por la acción antrópica o cambios de cobertura, lo que implica que no existe amenaza de avenida torrencial que pueda afectar el centro poblado.

Finalmente teniendo en cuenta el análisis de las condiciones de amenaza por avenidas torrenciales realizado para el centro poblado de El Destino, se concluye que este presenta un nivel inferior al considerado como bajo como se muestra en la Figura 4-109.

Tabla 4.86. Área de amenaza en el centro poblado El Destino

Centro poblado El Destino	
Amenaza	**Hectáreas (Ha)**
Media	0,0
Alta	0,0

Figura 4-109. Zonificación de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado El Destino

4.8.10 ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO EL DESTINO

Según el Art. 3 del Decreto 1807 de 2014, *"…las áreas con condición de amenaza son las zonas o áreas del territorio municipal zonificadas como de amenaza alta y media en las que se establezca en la revisión o expedición de un nuevo POT la necesidad de clasificarlas*

como suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales para permitir su desarrollo.”. Así mismo, el Art. 11 estipula que la delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza, *“con fundamento en la delimitación y zonificación de amenazas, se delimitan y zonifican aquellas áreas sin ocupar del suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales en las que en la revisión o en la expedición de un nuevo POT se proponga su desarrollo.”*

No hay áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el centro poblado El Destino, dado que las construcciones, equipamientos e infraestructura no se encuentran en amenaza alta por avenidas torrenciales (Figura 4-110 y Tabla 4.87).

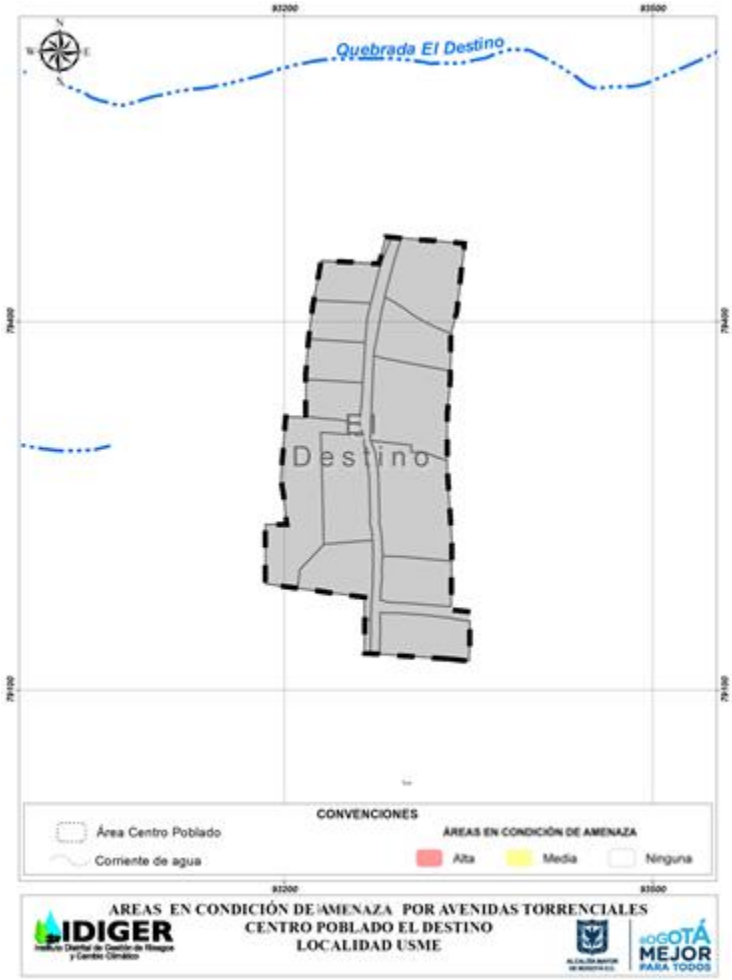


Figura 4-110: Mapa de áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado El Destino

Tabla 4.87. Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el centro poblado El Destino

Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el centro poblado El Destino	
Amenaza	**Hectáreas (Ha)**

Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el centro poblado El Destino	
Media	0,0
Alta	0,0

4.8.10.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de Amenaza por Avenidas Torrenciales en el Centro Poblado El Destino

No hay condicionamientos o restricciones dado que no hay áreas con condición de amenaza.

4.8.11 ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO EL DESTINO

Según el Art. 3 del Decreto 1807 de 2014, las áreas con condición de riesgo *"corresponden a las zonas o áreas del territorio municipal clasificadas como de amenaza alta que estén urbanizadas, ocupadas o edificadas así como en las que se encuentren elementos del sistema vial, equipamientos (salud, educación, otros) e infraestructura de servicios públicos..."*. Indica además en su Art. 12, como se mencionó anteriormente, que para definir estas zonas se deben identificar *"…la existencia de elementos expuestos, de áreas urbanizadas, ocupadas o edificadas así como de aquellas en las que se encuentren edificaciones indispensables y líneas vitales."*

No hay áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado El Destino, dado que las construcciones, equipamientos e infraestructura no se encuentran en amenaza alta por avenidas torrenciales (Figura 4-111 y Tabla 4.88).

Tabla 4.88. Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado El Destino

Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado El Destino	
Amenaza	**Hectáreas (Ha)**
Alta	0,0

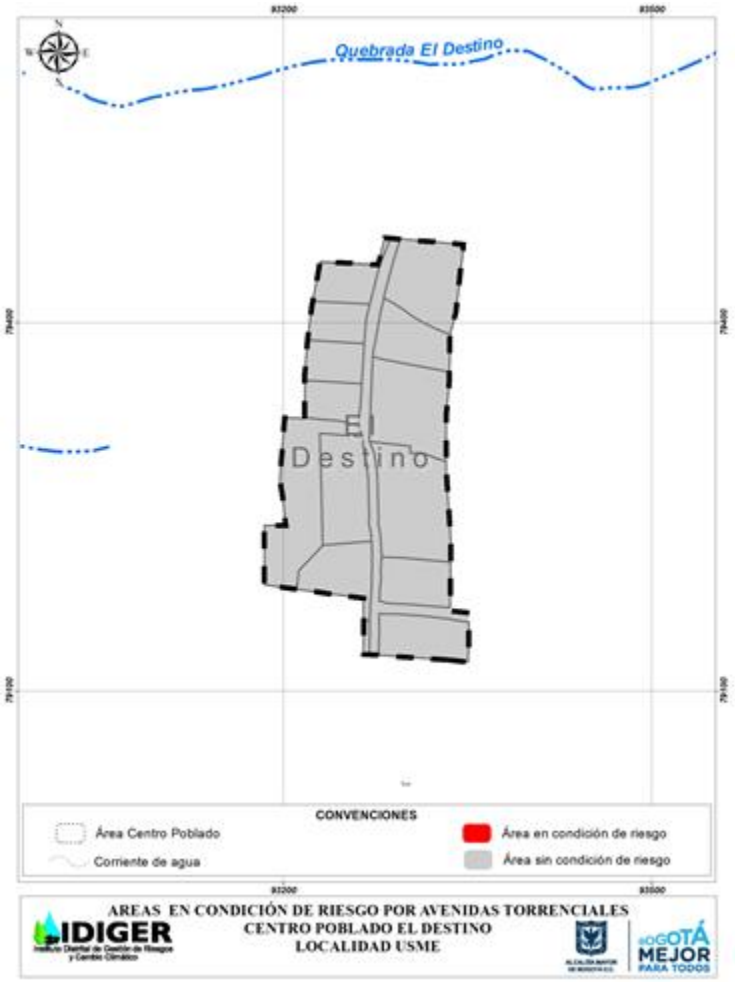


Figura 4-111: Mapa de áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en centro poblado El Destino

4.8.11.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de Riesgo por Avenidas Torrenciales en el Centro Poblado El Destino

No hay condicionamientos o restricciones dado que no hay áreas con condición de riesgo.

4.8.12 ESTUDIOS DETALLADOS DE RIESGO EN ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO EL DESTINO

Los estudios detallados de riesgo en sectores aledaños por avenidas torrenciales al centro poblado Nazareth, están contemplados en la priorización de estudios detallados de ríos y quebradas en las áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en en el suelo rural, los cuales se realizaran en el largo plazo, los cuales permitirán conocer en detalle la amenaza y riesgo de los sectores cercanos al centro poblado en amenaza media y alta.

4.9 AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO MOCHUELO ALTO

4.9.1 ÁREA DE ESTUDIO

El centro poblado se encuentra ubicado al suroccidente de la ciudad de Bogotá en la Localidad de Ciudad Bolívar, en la UPR 3 Rio Tunjuelo, como se ve en la Figura 4-112, se localiza en suelo rural, sobre la vía Camino de Pasquilla. Así mismo, se caracteriza por una baja consolidación, de acuerdo a su connotación rural y cuenta con amplias zonas verdes.

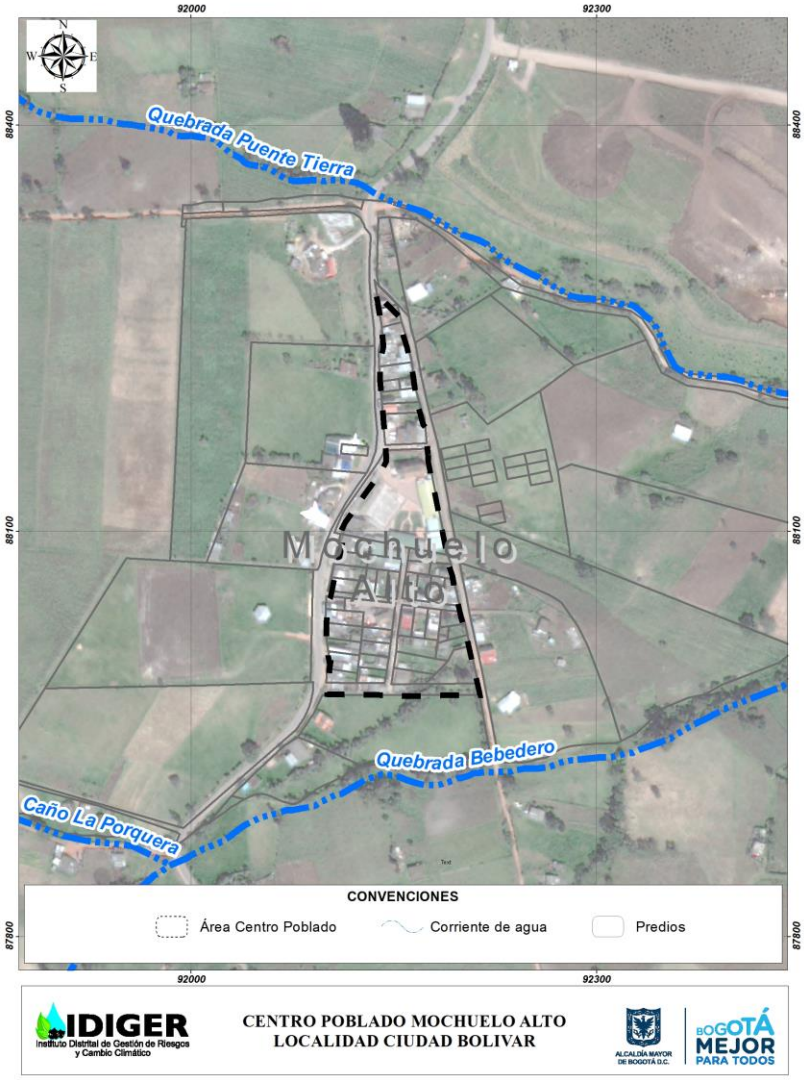


Figura 4-112. Localización general del Centro Poblado Mochuelo Alto, Localidad de Ciudad Bolívar.

En la Figura 4-112, se presenta la ubicación del centro poblado Mochuelo Alto y la zonificación de amenaza por avenidas torrenciales en suelo rural, en la cual se observa que

no existe influencia de la amenaza por avenidas torrenciales en el perímetro del centro poblado.

4.9.2 INSUMOS

A continuación, se describen los insumos básicos que se tomaron como punto de partida para el desarrollo del análisis de amenaza por avenidas torrenciales, de acuerdo con lo dispuesto en el Art. 10 del Decreto 1807, donde se indica que, para los estudios básicos de amenaza por avenidas torrenciales en centros poblados, se deben realizar a escala 1:2.000.

4.9.2.1 CARTOGRAFÍA BASE

Para la cartografía base utilizada tal como lo establece el Decreto 1807 de 2014 (compilado por el Decreto 1077 de 2015), se verificó que contuviera entre otros: coordenadas, curvas de nivel, drenajes, red vial, infraestructura y equipamientos, asentamientos humanos. A partir de lo anterior para la cartografía se tiene lo siguiente:

A SISTEMAS DE COORDENADAS

Sistema de Coordenadas Proyectadas - Cartesianas: Magna Bogotá
Proyección: Transversal de Mercator
Falso Este: 92324,879
Falso Norte: 109320,965
Longitud Meridiano Central: -74,14659167
Latitud de origen: 4,680486111
Factor de escala: 1
Sistema de Coordenadas Geográfica GCS CarMAGBOG
Meridiano de Greenwich
Datum CGS_CARMAGBOG
Elipsoide: GRS80 Mod
Semieje Mayor: 6380687
Semieje Menor: 6359293,764473119
Achatamiento: 298,257222101

B ESCALA

De acuerdo con el Artículo 10 del Decreto 1807 de 2014 (compilado por el Decreto 1077 de 2015) la base cartográfica que se emplea para la presente zonificación corresponde con una escala 1:2.000.

C GEODATABASE SECRETARÍA DISTRITAL DE PLANEACIÓN SDP

La cartografía base fue tomada de la geodatabase con la información geográfica de la Secretaría Distrital de Planeación.

D INFORMACIÓN TOPOGRÁFICA.

Para este centro poblado se utilizó las curvas de nivel cada 1m de la base cartográfica de Secretaria Distrital de Planeación.

4.9.2.2 MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN

Se utilizó el Modelo Digital de Elevación – DEM generado de 2 x 2 metros, a partir de la información disponible, para realizar la delimitación las cuencas aferentes y el cálculo de algunos parámetros morfométricos de las mismas, los cuales son de gran utilidad para determinar el comportamiento de las cuencas ante eventos de lluvias máximas.

Para esto se realizó la recolección de modelos digitales de elevación disponibles para el área de estudio, la cual se resume a continuación:

Tabla 4.89. Modelos Digitales de Elevación

Nombre	Fuente	Año	Resumen
Modelo digital de Elevación DEM	IDIGER	2019	1m

El Modelo Digital de Elevación que se usó para la obtención de la amenaza del centro poblado de Mochuelo Alto proviene de la información de Secretaria Distrital de Planeación.

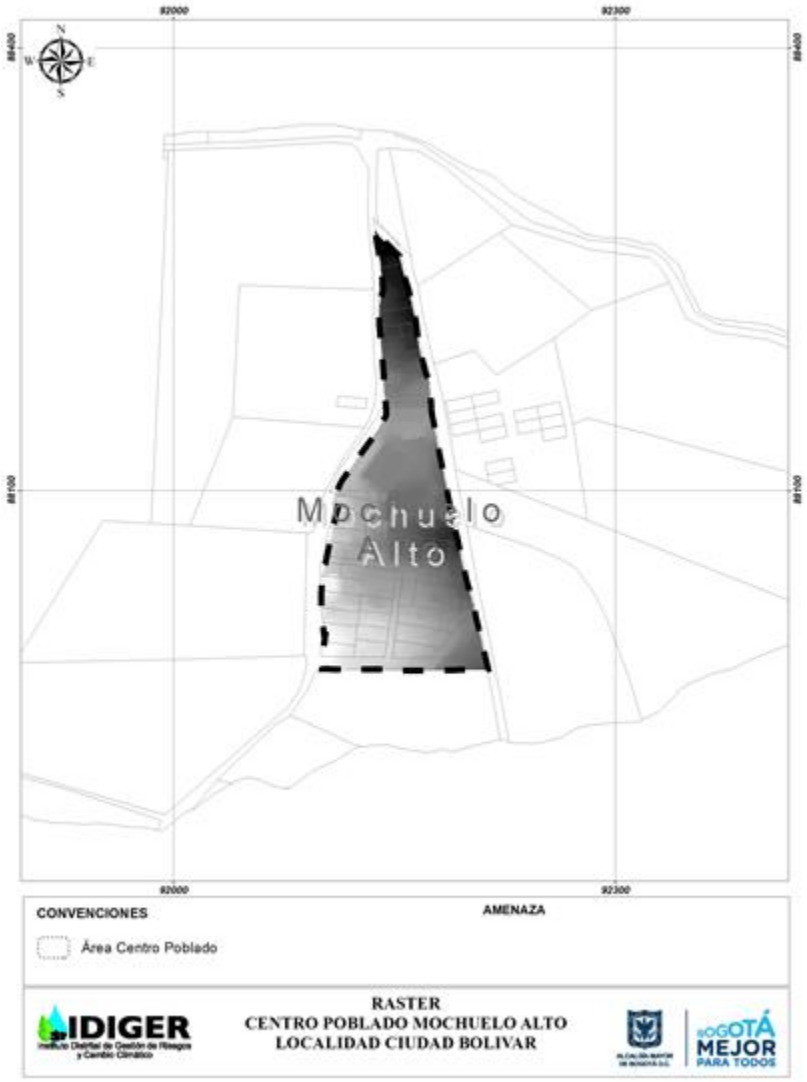


Figura 4-113: Modelo Digital de Elevación del centro poblado Mochuelo Alto.

4.9.2.3 GEOMORFOLOGÍA

El estudio geomorfológico permite identificar cuales de las unidades correspondientes al Centro Poblado Mochuelo Alto son susceptibles a la generación de los procesos de avenidas torrenciales los cuales contribuyen a la delimitación de las zonas de estudio y su correspondiente delimitación de amenaza final. La geomorfología es presentada en detalle dentro del análisis geomorfológico.

4.9.3 METODOLOGÍA

Con el fin de construir el esquema metodológico usado en la generación del mapa de amenaza por avenidas torrenciales, se partió de una revisión de las metodologías de evaluación de amenaza enfocado en la armonización tanto en alcance, nivel de información disponible y calidad de los resultados para definir los procedimientos y actividades a ejecutar para lograr un producto cartográfico ajustado a los requerimientos técnicos exigidos en la normatividad vigente (Decreto 1807 de 2014).

4.9.3.1 ESQUEMA METODOLÓGICO

El esquema metodológico se divide en tres análisis principales: (Ver Figura **4-114**)

1. Análisis Geomorfológico
2. Análisis Hidrológico
3. Análisis de Sedimentos
4. Análisis Hidráulico

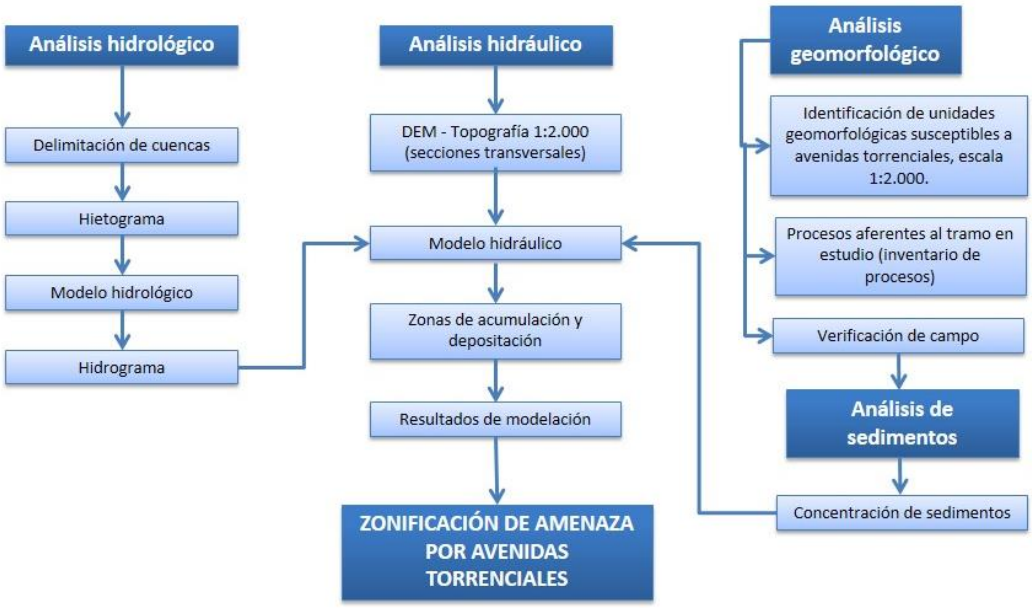


Figura 4-114. Esquema metodológico

El análisis hidrológico inicia con la delimitación de las cuencas aferentes al tramo de río o quebrada que se analiza a partir del modelo de elevación digital de la cuenca, posteriormente se estima el hietograma de precipitación bajo un escenario de periodo de retorno determinado el cual es el insumo de entrada para el modelo hidrológico que proporciona los hidrogramas de entrada del modelo hidráulico.

El análisis geomorfológico consiste en la revisión e identificación de la geomorfolgía a escala 1:2000 de las unidades de potencial acumulación de flujo.

El análisis de sedimentos parte del mapa de procesos geomorfológicos identificados que se encuentran cerca del tramo de rio o quebrada que se analiza, la concentración de sedimentos se determina de acuerdo con la literatura especializada identificada durante la revisión del estado del arte asignando un valor promedio a cada tipo de proceso.

El análisis hidráulico toma como entrada el hidrograma resultado del análisis hidrológico y la concentración de sedimentos del análisis de sedimentos, con estas variables de entrada transita el hidrograma en el modelo de elevación digital del terreno del tramo de rio o quebrada que se analiza, obteniendo como resultado las velocidades y profundidades máximas alcanzadas en cada una de las celdas del modelo de elevación digital del tramo en estudio, estos valores de velocidad y profundidad se categorizan de acuerdo a la condición de amenaza que representan.

4.9.4 ANÁLISIS HIDROLÓGICO

El análisis hidrológico comprende dos etapas, la primera es la delimitación de las cuencas hidrográficas en el área de estudio y la segunda, el modelo lluvia escorrentía que permite la estimación de hidrogramas que serán la entrada del modelo hidráulico. A continuación, se presenta los pasos seguidos en las dos etapas y sus respectivos resultados.

Para obtener la delimitación de cuencas se parte del Modelo de Elevación Digital (DEM) de la zona de estudio, en este caso se cuenta con un DEM proyectado en coordenadas geográficas. Este DEM requiere ser proyectado en coordenadas planas con el fin de tener la geometría plana adecuada para el cálculo de áreas y distancias de las cuencas generadas.

El DEM proyectado cubre un área de mayor extensión que el área de estudio, , con el fin de delimitar solamente las cuencas que drenan a esta área . Este buffer se obtuvo mediante pruebas de sensibilidad con diferentes distancias, con el objetivo de cubrir el área que hidrológicamente tiene algún aporte a las cuencas que se encuentran dentro del perímetro del distrito y que garantiza que éstas drenen completamente en el modelo hidráulico.

Por otra parte, El DEM contiene errores inherentes a este tipo de producto, por tanto se debe corregir con la cartografía adecuada para que el resultado de la delimitación de cuencas se aproxime a la red de drenaje real. Para lograr este objetivo se cuenta con la cartografía del sistema hídrico en coordenadas geográficas, al igual que se realizó con el DEM, se efectuó la proyección del sistema hídrico y se extrae la red hídrica l.

Dado que la corrección del DEM se puede realizar con el shape tipo polígono o tipo línea, se ha optado por convertir los polígonos a líneas y de esta forma modificar solo las riberas de los ríos que en la cartografía son representados mediante polígonos, el resultado de la conversión del sistema hídrico de polígonos a línea.

4.9.4.1 Cuencas Hidrográficas

Teniendo como entrada el DEM y el sistema hídrico ajustados previamente, se construye en ArcGIS el flujo de trabajo de herramientas a utilizar, con el fin de delimitar las cuencas hidrográficas del área de estudio. En este flujo de trabajo se desarrollan los siguientes 11 pasos.

1. Para poder generar la red de drenaje a partir del DEM es necesario profundizar el DEM en aquellas zonas donde se encuentran ubicados los ríos de acuerdo a la cartografía. En este paso, se realizó la profundización en las zonas donde se encuentran los ríos dibujados como tipo línea.

2. Este paso es similar al anterior, sin embargo, la profundización se realizó en las zonas donde se encuentran los ríos dibujados como tipo polígono, pero solo en las riberas convertidas en líneas.

3. El DEM debe ser hidrológicamente apropiado, es decir, que todas las celdas del DEM drenen a un punto de salida. Para poder generar un DEM hidrológicamente apropiado se deben rellenar los pozos o celdas que no permiten que se genere adecuadamente la red de drenaje.

4. Teniendo en cuenta la pendiente más favorable para el flujo, se genera un valor de dirección de flujo para cada celda del DEM.

5. Teniendo en cuenta la dirección de flujo de cada celda es posible calcular el número de celdas que drenan a determinada zona, con estos valores se genera el ráster de acumulación de flujo.

6. Un parámetro importante en la definición de corrientes es el número de celdas que generan el inicio de un cauce, para este análisis hidrológico se tomó el equivalente a 0.5 km^2 como el valor en el cual se genera una corriente. Este valor se obtuvo mediante pruebas de sensibilidad buscando el tamaño adecuado de cuencas que se ajustaba a la escala de trabajo.

7. Considerando el ráster de acumulación de flujo y el número de celdas que generan el inicio de un cauce, se obtuvieron las corrientes hídricas. Posteriormente, se dividen las corrientes teniendo en cuenta que los tramos de las mismas no tengan confluencias con otras corrientes.

8. De acuerdo con los tramos de cauces obtenidos en el paso anterior, se genera la delimitación automática de cuencas.

9. El Ráster generado en el paso anterior se debe trasformar en formato shape para cálculos posteriores.

10. La segmentación de corrientes obtenida en el paso 6, se debe transformar en formato shape para cálculos posteriores.

11. Las cuencas hidrográficas con área aferente acumulada es el resultado final en la delimitación de cuencas del área de estudio.

Para realizar el análisis sólo en las cuencas que se encuentran en el área de estudio y dado que el procedimiento anterior no tiene en cuenta los efectos de la urbanización en la red de drenaje, se deben estimar o corregir las cuencas obtenidas de acuerdo a esta consideración. Para ello se determinan los puntos de cierre de cuencas que dependen del orden de drenaje dentro de la cuenca.
Para la generación de cuencas y delimitar el área de estudio se desarrollan los siguientes 4 pasos.

1. En el primer paso se vinculan los puntos de cierre de cuencas con el ráster de acumulación de flujo generado anteriormente.
2. De acuerdo con el ráster de acumulación de flujo se recortan las cuencas tipo Ráster.
3. Las cuencas del paso anterior se convierten en polígonos
4. El último paso une las cuencas aferentes que puedan quedar separadas al convertir el ráster de cuencas a polígono

El resultado del procedimiento anterior es la generación de cuencas que cubren el área de estudio.

.

Teniendo como entrada el modelo de elevación digital proyectado, se construye en ArcGIS el flujo de trabajo de herramientas a utilizar con el fin de generar las subcuencas hidrográficas del área de estudio. En este flujo de trabajo se desarrollan los mismos 11 pasos que fueron descritos anteriormente.

1. Corrección DEM mediante red de drenaje tipo línea.
2. Corrección DEM mediante red de drenaje tipo polígono.
3. Modelo de Elevación Digital Hidrológicamente Corregido.
4. Dirección de Flujo.
5. Acumulación de Flujo.
6. Red de Drenaje Generada Tipo Ráster.
7. Red de Drenaje Generada Tipo Ráster Vinculada.
8. Cuencas hidrográficas Tipo Ráster.
9. Cuencas hidrográficas Tipo Polígono.
10. Red de Drenaje Generada Tipo Línea.
11. Cuencas hidrográficas Acumuladas Tipo Polígono.

Cabe aclarar que uno de los parámetros importantes para la definición de las subcuencas es el número de celdas que generan el inicio de un cauce, para este análisis hidrológico se tomó el equivalente a 0.5 km^2 como el valor en el cual se genera una corriente, el resultado del este procedimiento fue la generación de las subcuencas que cubren el área del perímetro del centro poblado (Figura 4-115).

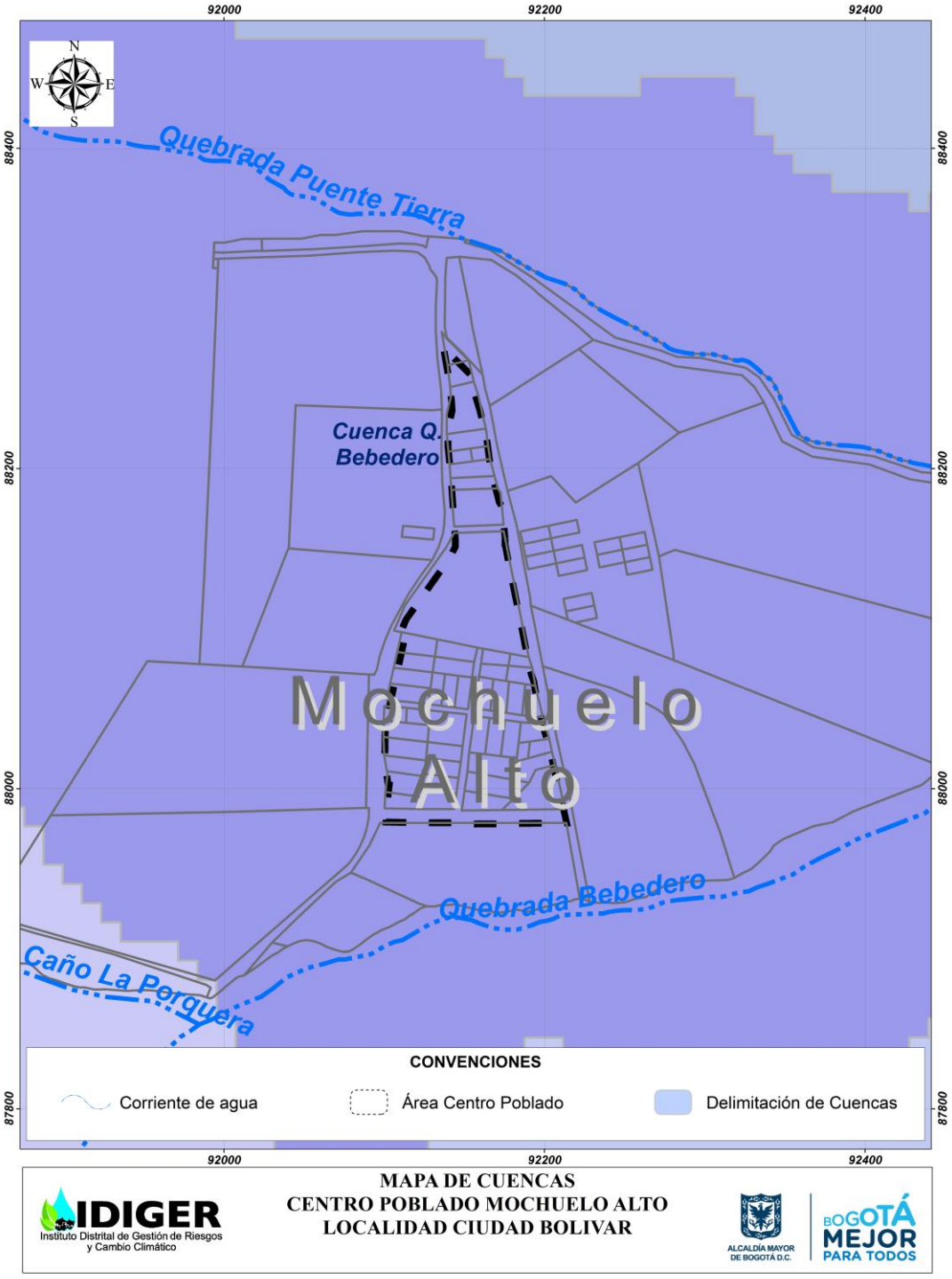


Figura 4-115. Cuencas analizadas en el centro poblado Mochuelo Alto.

4.9.4.2 Morfometría

Para el análisis de susceptibilidad de una cuenca a un evento torrencial, se llevó a cabo la evaluación de varios parámetros morfométricos, teniendo cuenta que estos parámetros son indicadores de las características de la cuenca relacionadas con el pico de las crecientes y su producción de sedimentos.

A continuación, se describe los parámetros morfométricos calculados y analizados

A Pendiente

Tiene una influencia significativa en la generación de avenidas torrenciales (Smith, 2003). Esta característica controla en buena parte la velocidad con que se da la escorrentía superficial y afecta, por tanto, el tiempo que requiere el agua lluvia para concentrarse en los lechos fluviales que constituyen la red de drenaje de las cuencas.

B Orden de corriente

En orden de corrientes depende del número de afluente que contenga el cauce principal, por lo tanto, los de primer orden son todos aquellos que no tengan afluentes. Cuando se unen dos cauces de primer orden forman un cauce de segundo orden y así sucesivamente.

C Longitud de Flujo

La Longitud de flujo está definida como la distancia horizontal, medida a lo largo del cauce principal, entre el punto de salida de la cuenca y el límite definido para la cuenca.

4.9.4.3 Modelo Lluvia – Escorrentia

La segunda etapa del análisis hidrológico consiste en el cálculo de los hidrogramas a partir del modelo lluvia – escorrentía, este hidrograma servirá de entrada al modelo hidráulico. Para obtener los eventos de precipitación se utilizó la caracterización de tormentas y actualización de curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia IDF desarrolladas por la EAB, para este fin las cuencas se subdividieron en dos grupos, el primero aquellas cuencas cuyo centroide se encontrara a por lo menos una distancia inferior a diez kilómetros de alguna de las estaciones utilizadas en dicho estudio y un segundo grupo en el cual el centroide de las cuencas se encontrara a una distancia superior a diez kilómetros de alguna de las estaciones utilizadas en el estudio de la EAB (

Para el primer grupo de estaciones se utilizó la curva IDF de la estación más cercana al centroide de la cuenca obtenidos mediante el estudio de la EAB. Para el segundo grupo de estaciones se calculó las curvas sintéticas IDF asociadas al centroide de la cuenca,

siguiendo el método de Vargas (1998), el cual se encuentra específicamente formulado para Colombia y cuya ecuación se enuncia a continuación:

$$I = a\frac{{T_r}^b}{t^c}M^d N^e PT^f ELEV^g$$

Siendo:
I: Intensidad (mm/h).
T_r: Período de retorno (años).
t : Duración de la precipitación, (horas).
M: Promedio del valor máximo anual de precipitación diaria (mm).
N: Promedio de número de días anuales con precipitación.
PT: Promedio de precipitación media anual (mm).
ELEV: Elevación de la estación meteorológica de medición (msnm).
a, b, c, d, e, f, y g :Son coeficientes propios de la ecuación que varían según la ubicación regional de la estación y de la cantidad de variables disponibles. Para el caso se utilizaron los recomendados por el autor del método.

En la siguiente tabla se presentan los valores correspondientes a cada parámetro calibrado para la región Andina de acuerdo con Vargas (1998).

Tabla.90. Parámetros del método de Vargas para la región Andina

a	b	c	d	e	f	g
1,64	0,19	0,65	0,73	-0,13	0,08	-0,01

Las abstracciones de la precipitación fueron calculadas a partir del método de abstracciones del Soil Conservation Service SCS o Método del Número de curva. Para esto se tuvo en cuenta la cartografía disponible suministrada por SDP en cuanto a coberturas de suelo siguiendo la metodología CORINE Land Cover además de la clasificación del grupo hidrológico del suelo, de acuerdo con el mapa geológico de la zona de estudio, definidos por tipo según su capacidad de infiltración.

Con el evento de precipitación obtenido a partir de las curvas IDF utilizando el método de bloque alterno y las abstracciones calculadas con el método de número de curva se obtienen los hidrogramas que servirán de entrada al modelo hidráulico. El Caudal Pico de estos hidrogramas según las cuencas asociadas al área de estudio se presenta en la Figura 4-116.

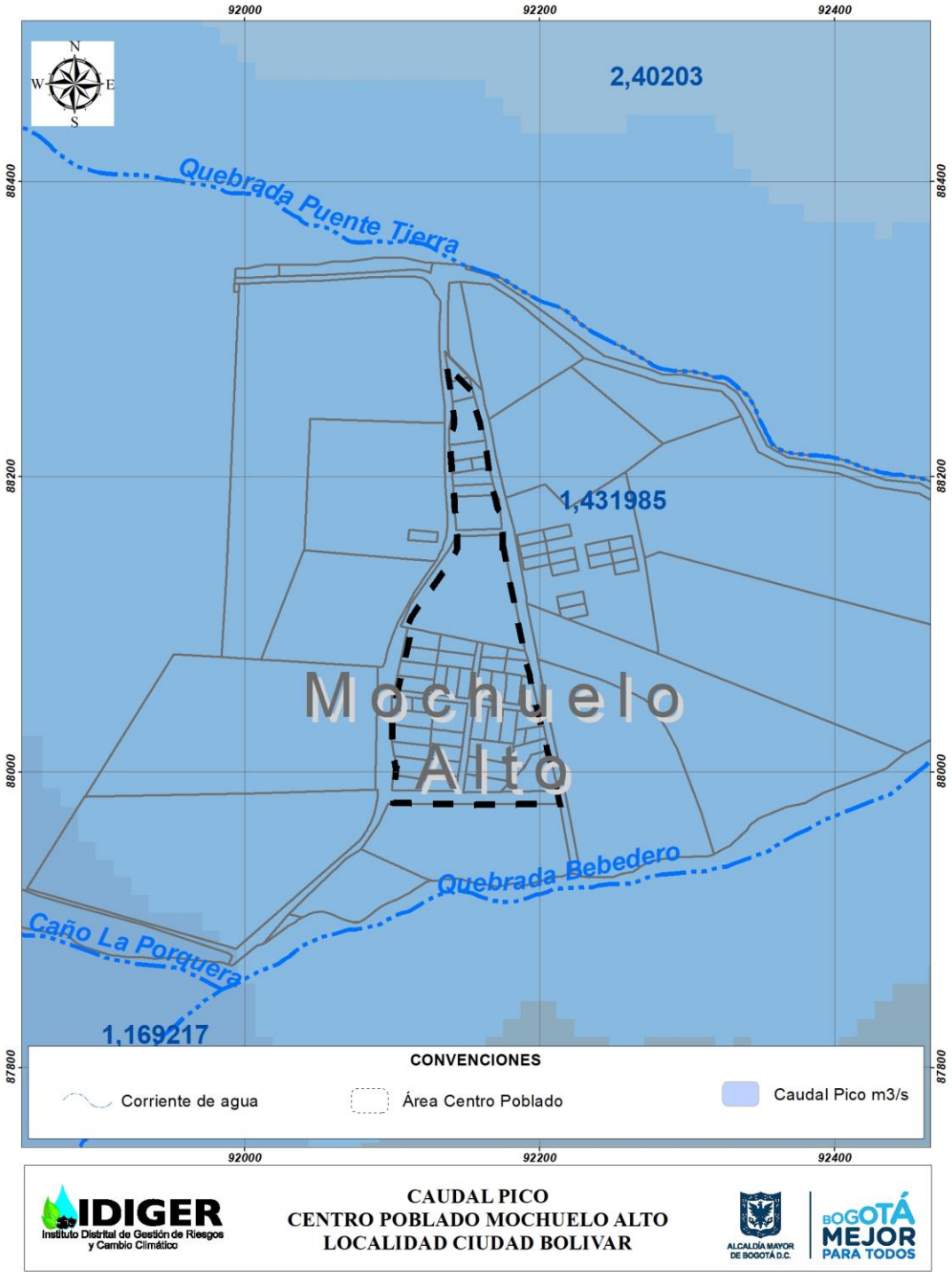


Figura 4-116. Caudales Pico Según Cuencas analizadas en el centro poblado Mochuelo Alto.

4.9.5 ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

Dentro del centro poblado, las unidades geomorfológicas que se presentan se muestran en la Figura 4-117, el detalle del proceso de contruccción del levantamiento geomorfológico se presenta en el Documento Técnico de Sopórte del Mapa De Amenaza Por Movimientos En Masa En Perspectiva De Cambio Climático Zona Rural.

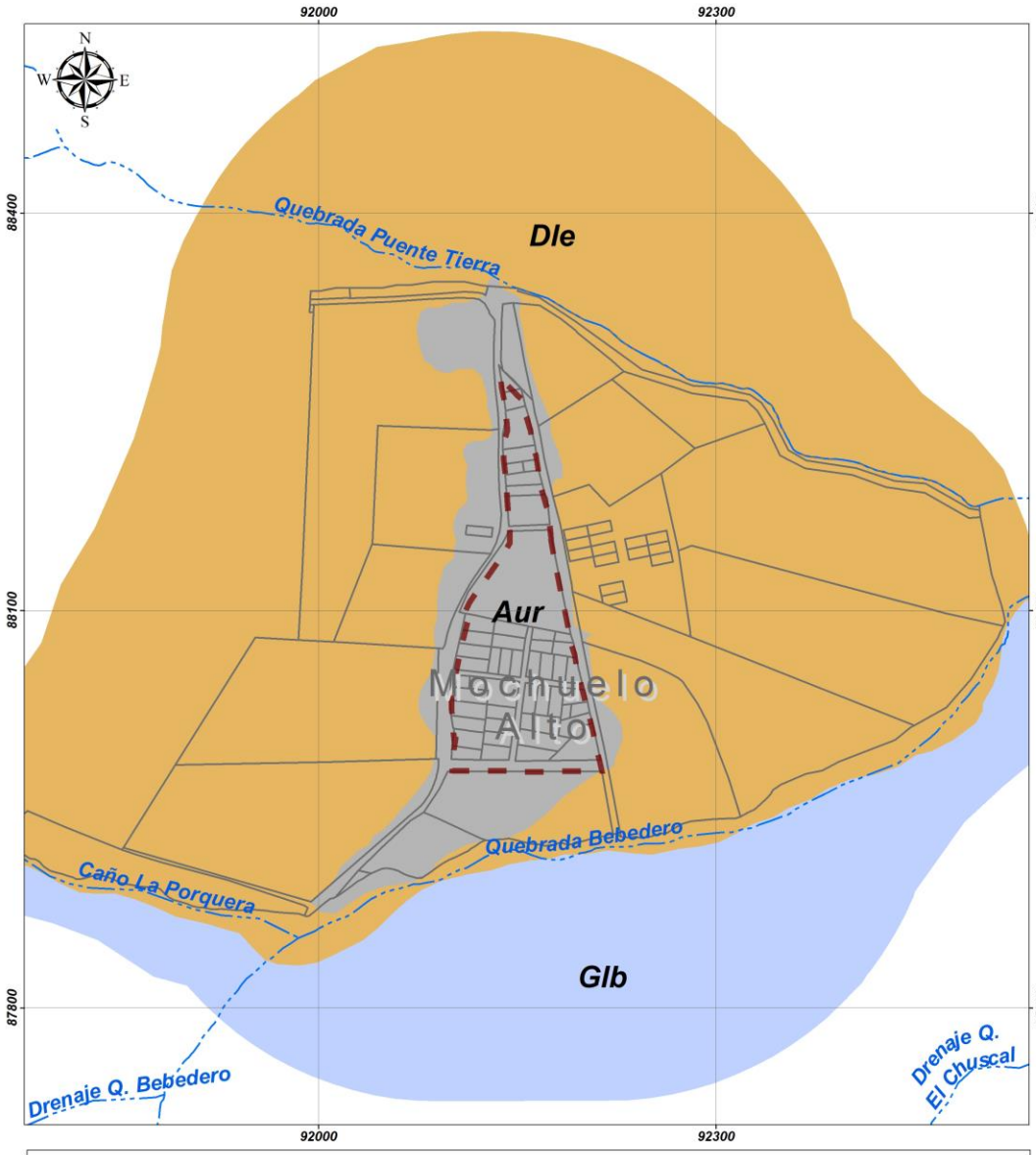
Geomorfológicamente, el sector está asociado a un modelado estructural denudado que corresponde a elevaciones del terreno de forma alargada a redondeada, que exhibe lomos amplios y superficies aterrazadas, condición que facilita las actividades propias de la región (agrícola y ganadera).

En consecuencia, el centro poblado se encuentra localizado en un lomo amplio, con una pendiente muy suave y hacia el costado sur limita con la quebrada Bebedero (estando por fuera del área de estudio), a una distancia aproximada de 100 m, y donde la diferencia de altitud de la geoforma entre la parte más alta y más baja es menor a 1 m.

Al suroccidente, se encuentran el afluente correspondiente al caño La Porquera, el cual desemboca en la quebrada Bebedero, cuya sección hidráulica es de 20 cm x 25 cm; y de acuerdo a las evidencias de desbordamiento hacia la vía rural colindante, se puede inferir que posee insuficiente capacidad hidráulica. Así mismo, se advierte que no hay evidencias de transporte de sedimentos.

En cuanto a la quebrada Bebedero, según la verificación de campo realizada, se evidenció que sus condiciones naturales fueron alteradas por el factor antrópico, y además no se evidenciaron desborbamientos ni transporte de material. Estos dos afluentes se unen y son canalizados mediante una alcantarilla de 36”, como una estructura de paso a nivel de la vía principal (Camino Pasquilla).

De acuerdo con la geomorfologia a escala 1:2000 y partir de las unidades presentes se realizó en función de la morfogenésis y la morfodinámica, la identificación de la susceptibilidad a avenidas torrenciales, mediante un análisis basado en las morfoestructuras de región, unidad, subunidad y componente, con el fin de realizar la identificación de unidades de origen fluviotorrencial presentes en el área de estudio y determinar zonas susceptibles a la depositación y acumulacion de flujo o generación de sedimentos, previo a la validación mediante el modelo hidráulico, encontrando la siguiente categorización (Tabla 4.3):



CONVENCIONES

Área Centro Poblado
Corriente de agua
Aur
Dle
Glb

IDIGER
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático

GEOMORFOLOGÍA
CENTRO POBLADO MOCHUELO ALTO
LOCALIDAD CIUDAD BOLIVAR

ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS

Figura 4-117. Mapa geomorfológico construido para Mochuelo Alto.

Tabla 4.91. Susceptibilidad Geomorfológica de las Unidades

REGIÓN	UNIDAD	SUBUNIDAD	COMPONENTE	SÍMBOLO	SUSCEPTIBILIDAD	OBSERVACIONES
ANTROPOGÉNICO			Area Urbanizada	**Aur**	Baja	
ESTRUCTURAL - DENUDATIVO	Planchas Estructurales Denudadas – Espolones Estructurales	Ladera estructural denudada y residual	Crestas redondeadas	**Dle**	Baja	
GLACIAL Y PEROGLACIAL	Sierra Anticlinal Denudada y Residual	Conos y lóbulosde gelifracción	Flujos Torrenciales	**Glb**	Alta	Torrencialidad asociada al origén

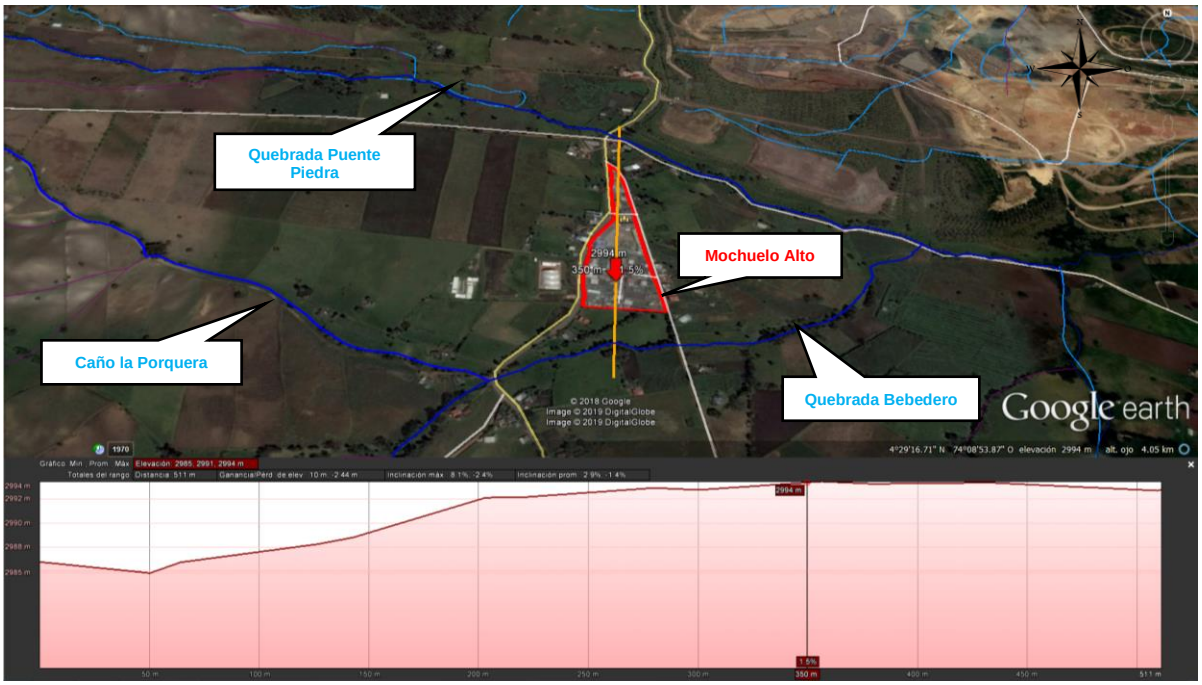
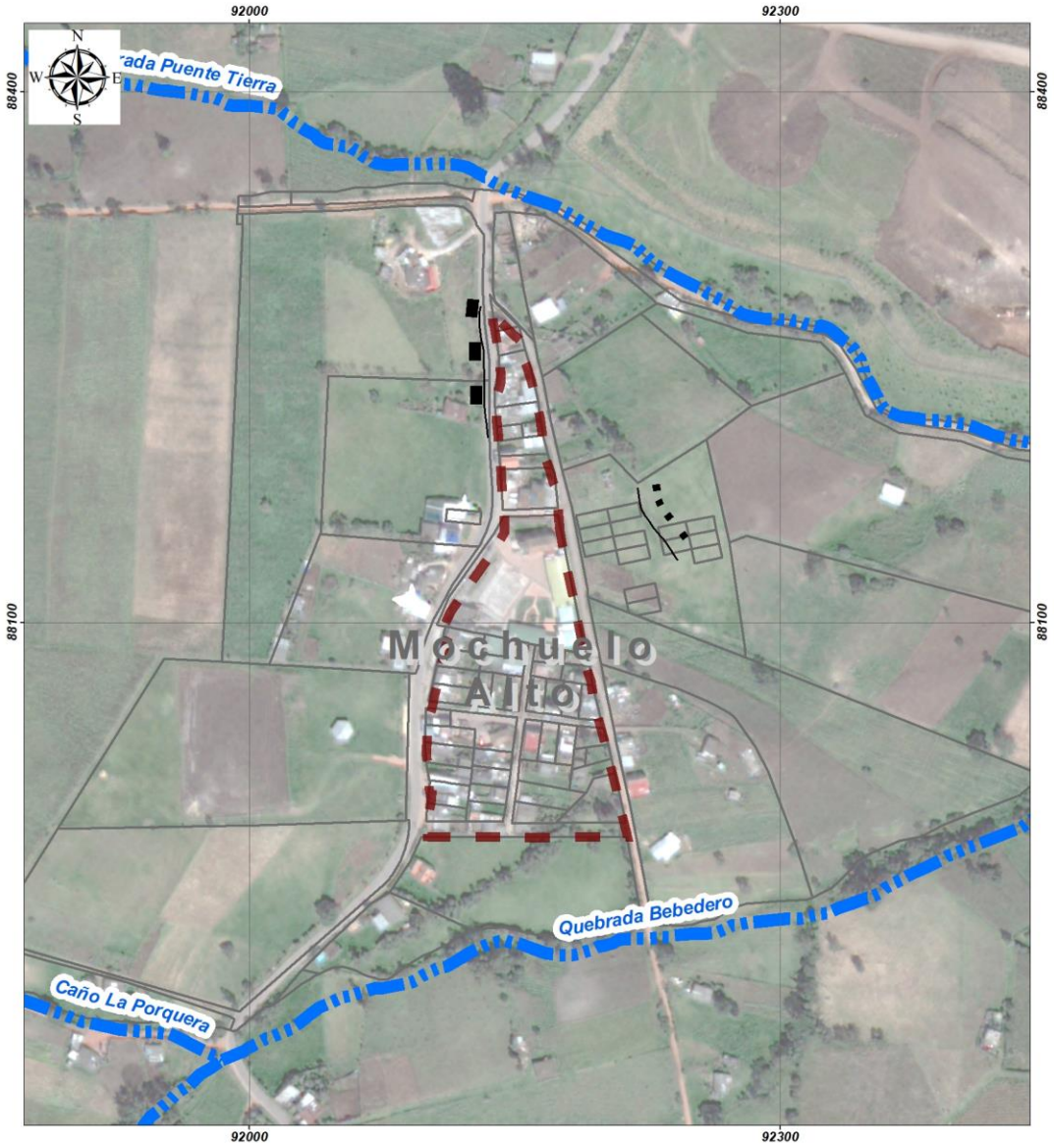


Figura 4-118. Geomorfología y perfil del Centro Poblado Mochuelo Alto, Localidad de Ciudad Bolívar

4.9.5.1 INVENTARIO DE PROCESOS MORFODINÁMICOS

Para poder ajustar a la escala de trabajo el análisis de sedimentos, se verificaron los procesos morfodinámicos. Se realizó una revisión de procesos que pudiesen afectar el área de estudio, evaluando la morfología y los materiales que lo conforman, encontrando que el área de estudio está conformada por arcillas de la Formación Bogotá con pendientes planas. Según la verificación en campo, no se evidenció la presencia de procesos

morfodinámicos relacionados con movimientos en masa, sin embargo, se evidencia procesos de erosión producto de los cortes para la implantación de la vía.



CONVENCIONES

- Corriente de agua
- Área Centros Poblados
- Escarpe Antrópico
- Escarpe Erosivo Menor

IDIGER
Instituto Distrital de Gestión de Riesgos y Cambio Climático

**PROCESOS GEOMORFOLÓGICOS
CENTRO POBLADO MOCHUELO ALTO
LOCALIDAD CIUDAD BOLIVAR**

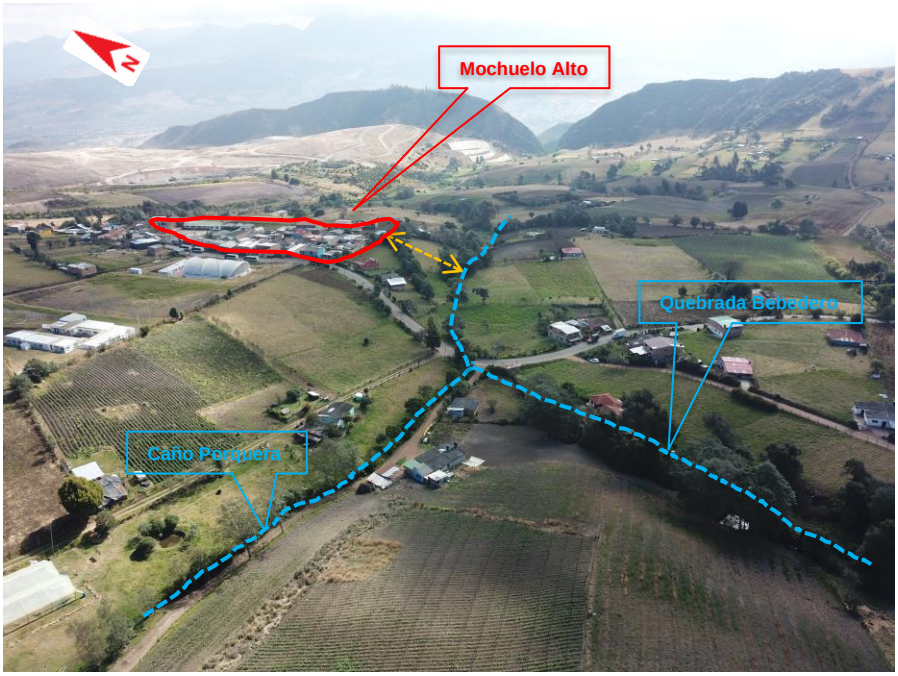
ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ D.C.
BOGOTÁ MEJOR PARA TODOS

Figura 4-119. Mapa de procesos morfodinámico construido para Mochuelo Alto.

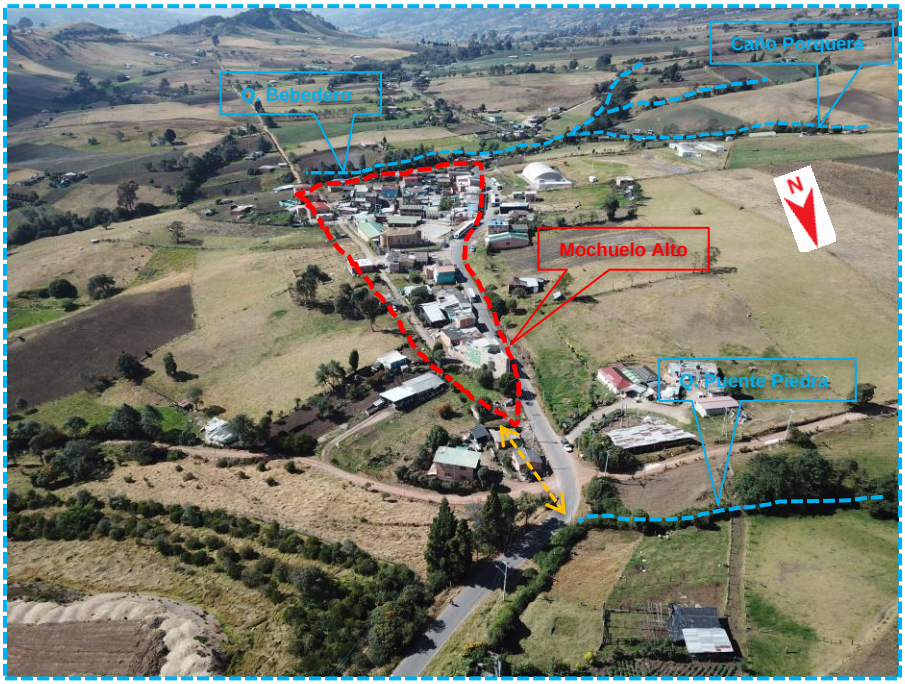
4.9.5.2 VERIFICACIÓN EN CAMPO

Se realizó por parte de la Entidad una visita técnica al centro poblado en estudio, en la cual se hizo un vuelo con Dron para realizar verificar las condiciones de posible amenaza por avenidas torrenciales a la escala especificada. A continuación, se presenta el registro fotográfico del sector.

Fotografía 4-27 Centro Poblado Mochuelo Alto. Vista S-W



Fotografía 4-28. Centro Poblado Mochuelo Alto - Limite Quebrada Bebedero. Vista S-W.



Fotografía 4-29. Centro Poblado Mochuelo Alto - Limite Quebrada Puenbte Piedra
Fotografía No 1. Vista S-W

Fotografía 4.30. . Quebrada Bebedero – sección hidráulica – vegetación espesa

Fotografía 4.31. Caño La Porquera – seccion hidraulica

4.9.6 ANÁLISIS DE SEDIMENTOS

Dado que el aporte de sedimentos de algunos procesos de movimientos en masa aferentes a los cuerpos hídricos puede contribuir a la carga de sedimentos elevando los volúmenes transportados por la corriente es importante definir los procesos que pueden generar aporte de sedimentos a la creciente súbita, para esto se utiliza como insumo el inventario de procesos definido con anterioridad para la escala de trabajo. Se caracterizó cada proceso definiendo a partir de la información disponible la formación, depósito o tipo de suelo, su granulometría y su incidencia en el aporte de sedimentos conforme su ubicación frente al cuerpo de agua, trabajando como zonas de aporte directas, las aferentes en una faja paralela (buffer) de 100 m a lado y lado del cuerpo de agua. Esta distancia tenía como objeto incluir la mayor cantidad de procesos, teniendo en cuenta que la mayoría de las quebradas no tienen definida su zona de ronda propiamente dicha sino que se toma la generalidad reglamentada de los 30 m.

Según la caracterización y definición del proceso se pudo obtener el tipo de material aportante al cauce, y por tanto establecer el parámetro de concentración de acuerdo al tipo de flujo a presentarse según criterio de experto teniendo en cuenta lo presentado en la Tabla 4.92 y Tabla 4.93.

Por otra parte, en la Tabla 4.94 se presentan los parámetros reológicos utilizados en las modelaciones, donde se establecen las relaciones disponibles del esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimento de acuerdo con el estado del arte de la zonificación de amenazas por avenidas torrenciales. Para la elección del tipo de relación a utilizar se trató de validar los resultados obtenidos utilizando diferentes reologías con el registro histórico presentado en el estudio detallado de la quebrada Limas “Actualización de la Zonificación de Amenaza de Inundación y Avenidas Torrenciales de la Quebrada Limas. Localidad Ciudad Bolívar” Rogelis (2008). Como resultado de esta validación se concluyó que el mejor ajuste se obtenida al seleccionar la reología de Kang & Zhang (1980), y por tanto se toman para el modelo estos parámetros de esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos.

Tabla 4.92. Comportamiento del flujo de sedimentos como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014)

	Concentración de Sedimento		Características del flujo
	En Volumen	En Peso	
Deslizamiento	0.65 - 0.80	0.83 - 0.91	No fluye; falla por deslizamiento.
	0.55 - 0.65	0.76 - 0.83	Falla por deslizamiento con deformación interna, creep lento anterior a la falla.
Flujo de lodos	0.48 - 0.55	0.72 - 0.76	Flujo evidente, creep lento; deformación plástica bajo el peso propio del material; cohesivo, no se extiende en superficie nivelada.
	0.45 - 0.48	0.69 - 0.72	El flujo se extiende sobre superficie nivelada; flujo cohesivo; algo de mezcla.
Creciente de lodos	0.40 - 0.45	0.65 - 0.69	El flujo se mezcla fácilmente; muestra propiedades de fluido en deformación; se extiende en una superficie horizontal pero mantiene una superficie del fluido inclinada; contiene partículas de tamaño considerable; aparecen ondas pero se disipan rápidamente.
	0.35 - 0.40	0.59 - 0.65	Marcado asentamiento de gravas; se extiende casi completamente en una superficie horizontal; superficie líquida con dos fases del fluido; hay ondas que viajan en la superficie.
	0.30 - 0.35	0.54 - 0.59	Las ondas viajan fácilmente; la mayoría de la arena y grava se mueven como carga de lecho.
	0.20 - 0.30	0.41 - 0.54	Presencia de ondas; superficie fluida; todas las partículas se encuentra en el lecho.
Agua	< 0.20	< 0.41	Creciente de agua con carga en suspensión y de lecho.

Tabla 4.93. Paramentros de concentración de sedimentos en función de los procesos identificados en el búfer de 100m

PROCESOS IDENTIFICADOS	UBICACIÓN EN ZONA DE APORTE DIRECTO	CONCENCENTRACIÓN DE SEDIMIENTOS	
		EN VOLUMEN	EN PESO
Escarpe Antrópico	No	< 0.20	< 0.41
Escrpe Erosivo Menor	No	< 0.20	< 0.41

Tabla 4.94. Esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos (O'Brien, 2014)

Yield Stress and Viscosity as a Function of Sediment Concentration				
Source	$\tau_y = \alpha e^{\beta Cv}$		$\eta = \alpha e^{\beta Cv}$	
	α	β	α	β
Field Data				
Aspen Pit 1	0.181	25.7	0.0360	22.1
Aspen Pit 2	2.72	10.4	0.0538	14.5
Aspen Natural Soil	0.152	18.7	0.00136	28.4
Aspen Mine Fill	0.0473	21.1	0.128	12.0
Aspen Watershed	0.0383	19.6	0.000495	27.1
Aspen Mine Source Area	0.291	14.3	0.000201	33.1
Glenwood 1	0.0345	20.1	0.00283	23.0
Glenwood 2	0.0765	16.9	0.0648	6.20
Glenwood 3	0.000707	29.8	0.00632	19.9
Glenwood 4	0.00172	29.5	0.000602	33.1
Relationships Available from the Literature				
Iida (1938)	-	-	0.0000373	36.6
Dai et al. (1980)	2.60	17.48	0.00750	14.39
Kang and Zhang (1980)	1.75	7.82	0.0405	8.29
Qian et al. (1980)	0.00136	21.2	-	-
	0.050	15.48	-	-
Chien and Ma (1958)	0.0588	19.1-32.7	-	-
Fei (1981)	0.166	25.6	-	-
	0.00470	22.2	-	-

4.9.7 ANÁLISIS HIDRAÚLICO

- *MODELO DIGITAL DE ELEVACIÓN*

Para generar el modelo hidráulico bidimensional, es necesario contar con un modelo de elevación digital del terreno con un nivel muy alto de detalle, sobre el cual se hace una corrrección de drenaje.

Teniendo como entrada el DEM se construye en ArcGIS el flujo de trabajo de herramientas a utilizar con el fin de generar el DEM para ingresar el modelo hidráulico. En este flujo de trabajo se desarrollan los siguientes 3 pasos.

1. Buffer de 100 m de la corriente a modelar.
2. Modelo de Elevación Digital Tamaño a partir del modelo de elevación digital de 12 m con corrección red de drenaje extraído con buffer de 100 m corriente a modelar.
3. Modelo de Elevación Digital Tamaño corregido.

El anterior procedimiento se realizó para las cuencas que hacen parte del centro poblado.

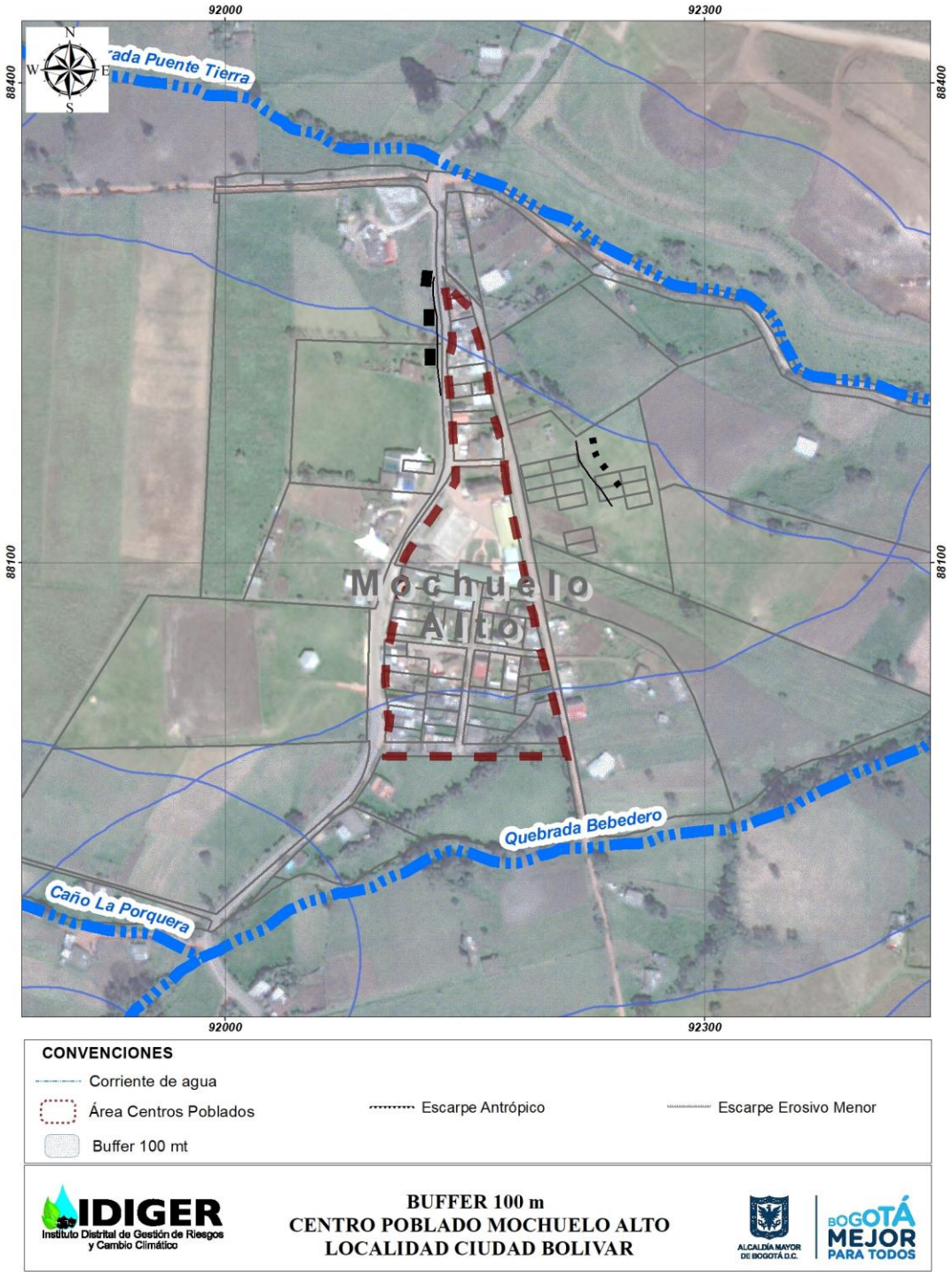


Figura 4-120: Buffer de 100 m Cuerpos de Agua Centro Poblado Mochuelo Alto

Para desarrollar el proceso metodológico y obtener el raster que será utilizado para la evaluación hidraulica de cada cuerpo de agua se utilizo la herramienta ModelBuilder de ArcGIS como se muestra en el diagrama de la Figura 4-10 . Este procedimiento inicia con la creación de un buffer por cada drenaje de la zona de estudio y a partir de este, se realiza el corte del DEM y se obtiene el archivo ASCII que permite generar la superficie del modelo hidráulico.

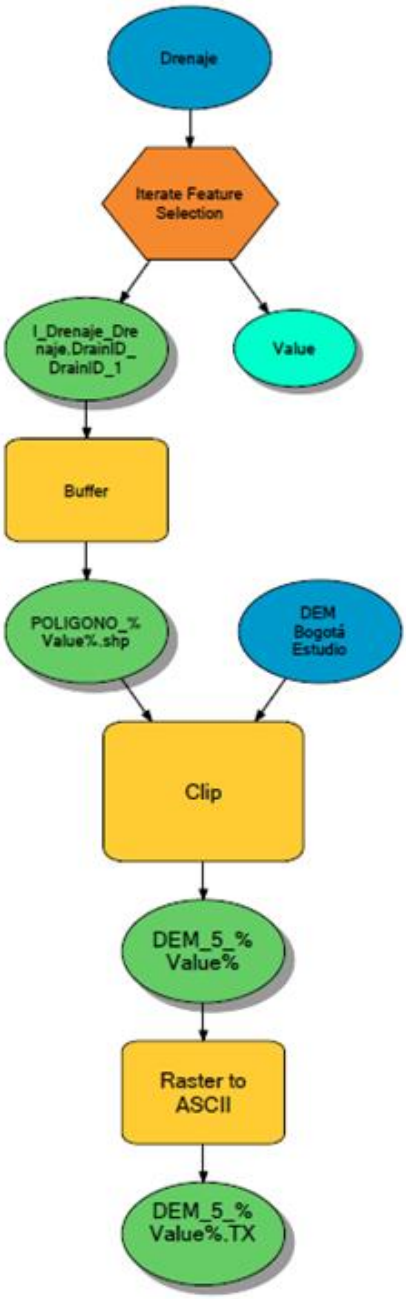


Figura 4-121: Procedimiento en ModelBuilder de ArcGIS para la Extracción Raster modelaciones

4.9.8 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES

- *RESULTADOS DE MODELACIÓN*

Retomando el flujograma metodológico, para la construcción del mapa de amenaza por avenidas torrenciales, partiendo del análisis hidrológico, una vez obtenidos los hidrogramas para las cuencas definidas, estos son incluidos en el modelo hidráulico, el cual es el resultado de la generación de las secciones transversales de cada una de las cuencas delimitadas. Adicionalmente, a partir de la relación Kang & Zhang (1980) se generan los valores del esfuerzo cortante y viscosidad como función de la concentración de sedimentos los cuales son incluidos en el modelo hidráulico.

Se inicia el procesamiento en el software de elementos finitos de cada una de las cuencas que cubren el centro poblado, obteniendo alturas y velocidades del flujo para cada pixel junto con los caudales de salida que alimentan los pixeles de la cuenca aguas abajo y van generando la integración del modelo hidráulico. Al final se tiene como resultado un ráster con tamaño de pixel de 1m donde se tiene una profundidad y velocidad del flujo.

A partir de los resultados de altura y velocidades del flujo obtenidos en el modelo hidráulico

Tabla 4.95. Matriz de amenaza definida por la intensidad del proceso y su probabilidad de ocurrencia. (Matjaž, 2013)

				Probability of occurrence, *P*		
	BUWAL (1997)	Rickenmann (2005b)		High	Medium	Low
Intensity, *I*	h > 1.0 m and v > 1.0 m/s	h > 1.0 m or v > 1.5 m/s	High	**High**	**High**	**Moderate**
	h < 1.0 m or v < 1.0 m/s	h < 1.0 m and 0.4 m/s < v < 1.5 m/s	Medium	**Moderate**	**Moderate**	**Low**
	non existent	h < 0.4 m and v < 0.4 m/s	Low	**Low**	**Low**	**Very Low**
Not affected areas				**Very Low**	**Very Low**	**Very Low**

Posteriormente para la construcción del mapa de amenaza por avenidas torrenciales, una vez obtenidos los resultados de la modelación donde se generaron alturas y velocidades del flujo para cada pixel de 1m, se procedió a identificar las zonas que cumplen con las características descritas en la Tabla 4.96, para definir la categorización de la amenaza en: Alta, Media o Baja.

Tabla 4.96. Matriz para la zonificación de amenaza

ZONIFICACIÓN	DEFINICIÓN
Zonas en amenaza alta	Zona de desborde del cauce delimitada para el caudal del periodo de retorno de 100 años, con una profundidad de flujo superior a 1,0 y/o una velocidad de flujo superior a 1,5 m/s.
Zonas en amenaza media	Zona de desborde del cauce delimitada para el caudal del periodo de retorno de 100 años, con una profundidad de flujo entre 0,4 m y 1,0 m y/o una velocidad de flujo entre 0,4 y 1,5 m/s.
Zonas en amenaza baja	Zona de desborde del cauce delimitada para el caudal del periodo de retorno de 100 años, con una profundidad de flujo igual o mayor que 0 m e inferior a 0,4 m, y/o una velocidad de flujo igual o mayor que 0 m/s e inferior a 0,4 m/s.

De acuerdo con los resultados obtenidos al realizar el análisis matricial, donde se identifica la calificación de amenaza por avenidas torrenciales, se obtuvo el resultado mostrado en la Figura 4-122.

Figura 4-122. Resultado modelación de amenaza por avenidas torrenciales

4.9.9 ZONIFICACIÓN Y MAPA DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO MOCHUELO ALTO

De acuerdo con los resultados de evaluación se define la amenaza por avenidas torrenciales como el área donde existe una probabilidad de ocurrencia de avenidas torrenciales con un periodo de retorno de 100 años, la intensidad del fenómeno se establece a partir de los resultados del modelo hidráulico de los cauces naturales y/o intervenidos que por sus condiciones presentan avenidas torrenciales. El modelo hidráulico desarrollado implementa los resultados de la modelación hidrológica de las cuencas asociadas a estos cauces naturales y cuya área aferente es mayor a 50 ha y la concentración de sedimentos de fenómenos de movimientos en masa que pueden incorporarse a estos cauces. Las categorías de amenaza por avenidas torrenciales se dividen en tres categorías presentadas en la Tabla 4.96 presentada anteriormente.

Teniendo en cuenta lo anteriormente descrito, se puede concluir que el área de estudio no es susceptible a la acumulación de flujos torrenciales. Así mismo, se identificaron los cauces, que por sus condiciones puedan tener un comportamiento torrencial, siendo en este caso la quebrada Bebedero, sin embargo por la ubicación del centro poblado con respecto a dicho cuerpo de agua, no se evidencia que en caso de presentarte un evento torrencial, haya afectación dentro del perímetro de dicho centro poblado.

Finalmente teniendo en cuenta el análisis de las condiciones de amenaza por avenidas torrenciales realizado para el centro poblado de Mochuelo Alto, se concluye que este presenta un nivel inferior al considerado como bajo como se muestra en la Figura 4-123.

Tabla 4.97. Área de amenaza en el centro poblado Mochuelo Alto

Centro poblado Mochuelo Alto	
Amenaza	**Hectáreas (Ha)**
Media	0,0
Alta	0,0

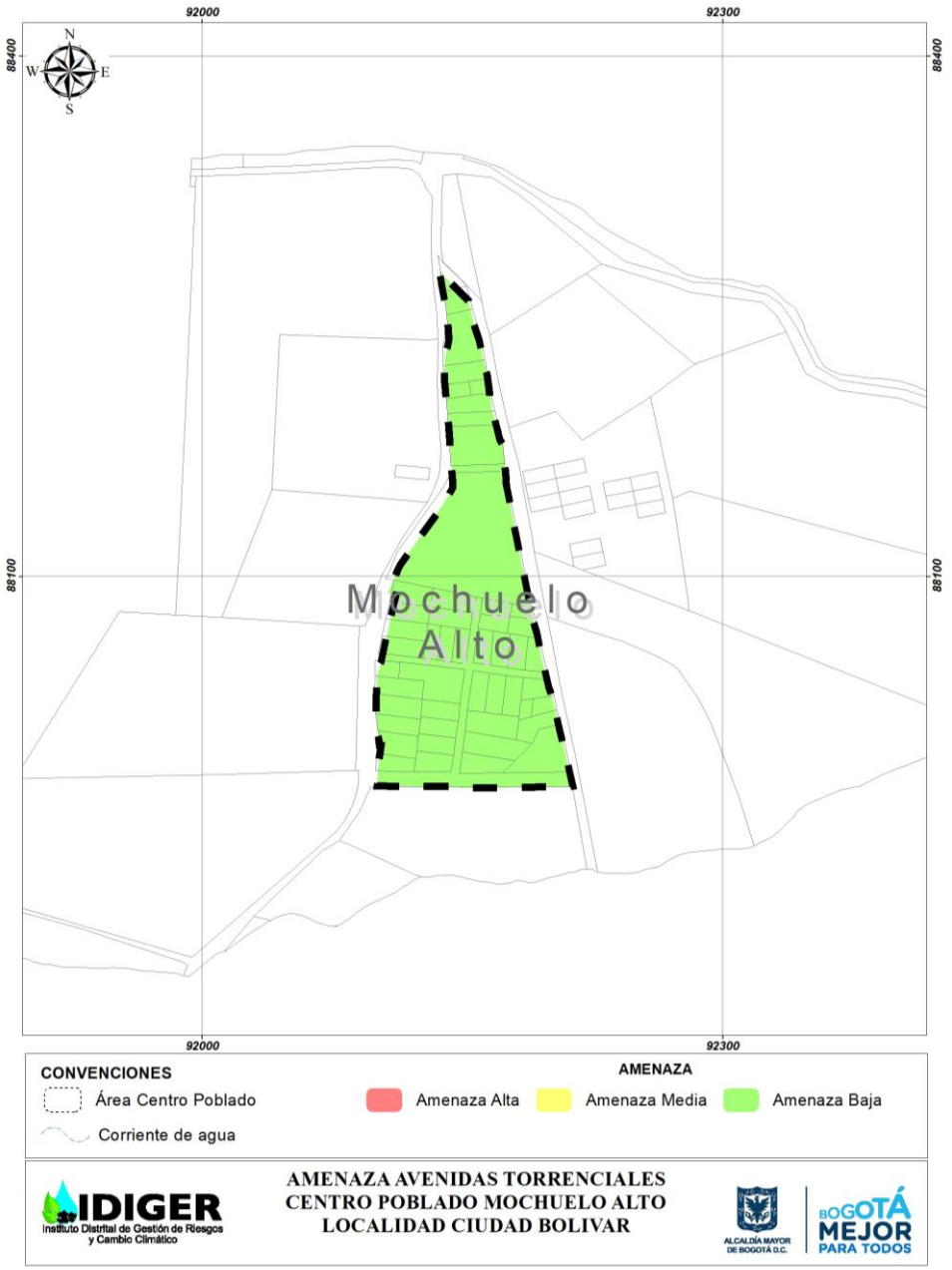


Figura 4-123. Zonificación de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado Mochuelo Alto

4.9.10 ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO MOCHUELO ALTO

Según el Art. 3 del Decreto 1807 de 2014, *"…las áreas con condición de amenaza son las zonas o áreas del territorio municipal zonificadas como de amenaza alta y media en las que se establezca en la revisión o expedición de un nuevo POT la necesidad de clasificarlas*

como suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales para permitir su desarrollo.”. Así mismo, el Art. 11 estipula que la delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza, *“con fundamento en la delimitación y zonificación de amenazas, se delimitan y zonifican aquellas áreas sin ocupar del suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales en las que en la revisión o en la expedición de un nuevo POT se proponga su desarrollo.”*

Teniendo en cuenta que para el Centro Poblado Mochuelo Alto no existen áreas zonificadas como de amenaza alta y media sin ocupar, en las que en la revisión general del POT se proponga su desarrollo, no hay áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:2.000 (Figura 4-124 y Tabla 4.98).

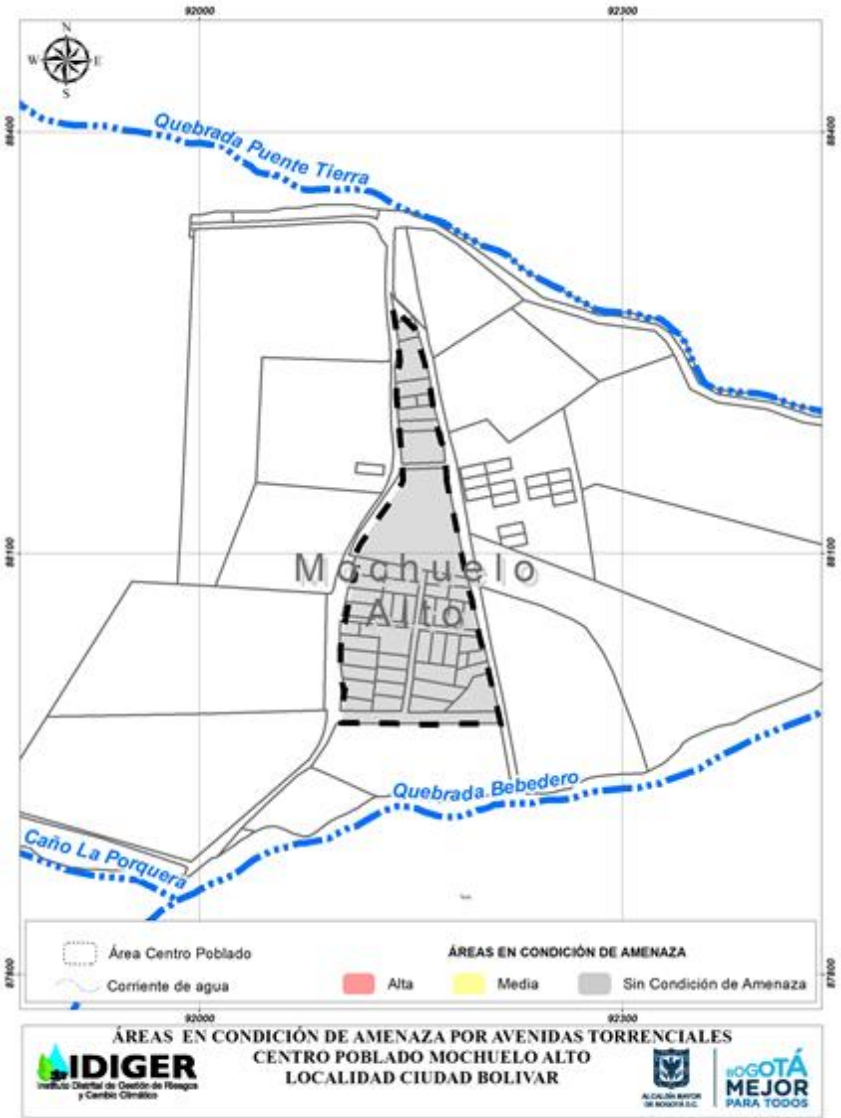


Figura 4-124: Mapa de áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en centro poblado Mochuelo Alto

Tabla 4.98. Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el centro poblado Mochuelo Alto

Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el centro poblado Mochuelo Alto	
Amenaza	**Hectáreas (Ha)**
Media	0,0
Alta	0,0

4.9.10.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de Amenaza por Avenidas Torrenciales en el Centro Poblado Mochuelo Alto

No hay condicionamientos o restricciones dado que no hay áreas con condición de amenaza.

4.9.11 ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO MOCHUELO ALTO

Según el Art. 3 del Decreto 1807 de 2014, las áreas con condición de riesgo *"corresponden a las zonas o áreas del territorio municipal clasificadas como de amenaza alta que estén urbanizadas, ocupadas o edificadas así como en las que se encuentren elementos del sistema vial, equipamientos (salud, educación, otros) e infraestructura de servicios públicos..."*. Indica además en su Art. 12, como se mencionó anteriormente, que para definir estas zonas se deben identificar *"…la existencia de elementos expuestos, de áreas urbanizadas, ocupadas o edificadas así como de aquellas en las que se encuentren edificaciones indispensables y líneas vitales."*

No hay áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado Mochuelo Alto, dado que las construcciones, equipamientos e infraestructura no se encuentran en amenaza alta por avenidas torrenciales (Figura 4-125 y Tabla 4.99).

Tabla 4.99. Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado Mochuelo Alto

Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el centro poblado Mochuelo Alto	
Amenaza	**Hectáreas (Ha)**
Alta	0,0

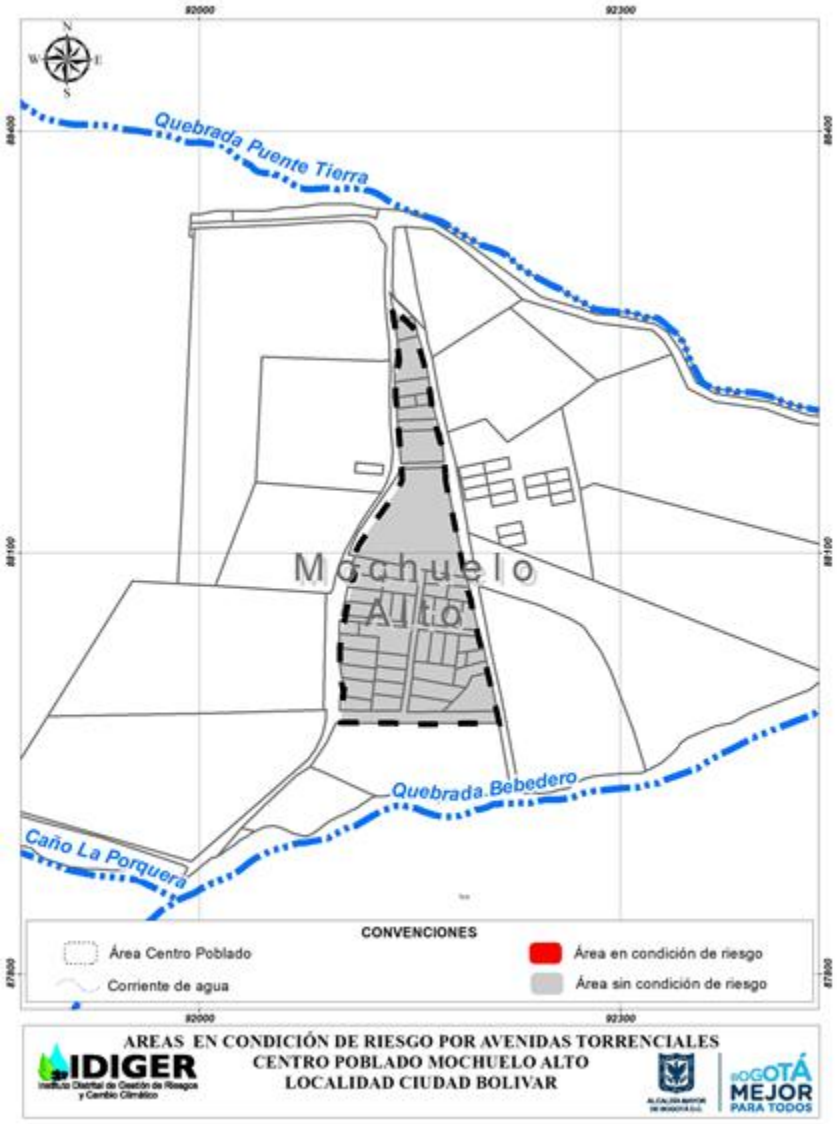


Figura 4-125: Mapa de áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en centro poblado Mochuelo Alto

4.9.11.1 Determinación de Medidas Orientadas a Establecer Restricciones y Condicionamientos Mediante la Determinación de Normas Urbanísticas para las Áreas con Condición de Riesgo por Avenidas Torrenciales en el Centro Poblado Mochuelo Alto

No hay condicionamientos o restricciones dado que no hay áreas con condición de riesgo.

4.9.12 ESTUDIOS DETALLADOS DE RIESGO EN ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR AVENIDAS TORRENCIALES EN CENTRO POBLADO MOCHUELO ALTO

Los estudios detallados de riesgo en sectores aledaños por avenidas torrenciales al centro poblado Nazareth, están contemplados en la priorización de estudios detallados de ríos y quebradas en las áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en en el suelo rural, los cuales se realizarán en el largo plazo, los cuales permitirán conocer en detalle la amenaza y riesgo de los sectores cercanos al centro poblado en amenaza media y alta.

BIBLIOGRAFÍA

Bajabaa, S., Masoud, M., & Al-Amri, N. (2014). Flash flood hazard mapping based on quantitative hydrology, geomorphology and GIS techniques (case study of Wadi Al Lith, Saudi Arabia). *Arabian Journal of Geosciences*, *7*(6), 2469–2481. https://doi.org/10.1007/s12517-013-0941-2

Farhan, Y., & Anaba, O. (2016). Flash Flood Risk Estimation of Wadi Yutum (Southern Jordan) Watershed Using GIS Based Morphometric Analysis and Remote Sensing Techniques, (April), 79–100. https://doi.org/10.9734/IJPSS/2016/25321

Gemma, G. (2007). Movimientos en Masa en la Región Andina: Una guía para la evaluación de amenazas. *Publicación Geológica Multinacional*, *4*(0717–3733), 432. Retrieved from http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Movimientos+en+Masa+en+la+Regi?n+Andina:+Una+gu?a+para+la+evaluaci?n+de+amenazas#5

Koshak, N., & Dawod, G. (2011). A GIS morphometric analysis of hydrological catchments within Makkah Metropolitan area , Saudi Arabia. *Journal Of Geomatics*, *2*(2), 544–554.

Matjaž, M. (2013). Risk Management and Mountain Natural, (September 2013).

O'Brien, J. (2014). FLO-2D Webinar Hyperconcentrated Sediment Flows - Mud and Debris Flows. FLO-2D Software, Inc.

WMO, W. M. O., & UNESCO, U. N. E. and S. O. (1998). *International Glossary of Hydrology*. *IHP/OHP-Berichte*. Retrieved from http://www.wmo.int/pages/prog/hwrp/publications/international_glossary/385_IGH_2012.pdf

5 ANEXOS

5.1 TABLA INFORMACIÓN DISPONIBLE

5.2 INVENTARIO DE CUENCAS

5.3 PRIORIZACIÓN DE CUENCAS

5.4 ESTACIONES IDF