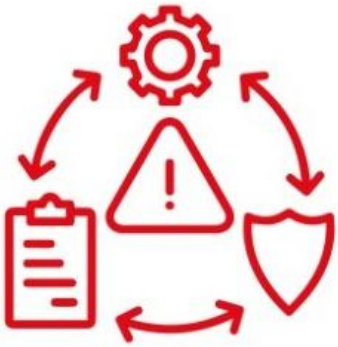


Estudios básicos de Gestión del Riesgo

ALCALDE MUNICIPAL.
Víctor Julián Sánchez Acosta

SECRETARIA DE PLANEACIÓN Y ORDENAMIENTO TERRITORIAL
SANDRA CRISTINA PEDRAZA CALIXTO

DIRECTOR DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL
LEANDRO CORTÉS RODRÍGUEZ

SECRETARIO DE GOBIERNO.
CARLOS HUMBERTO ROJAS PABÓN

SECRETARIA DE HACIENDA.
JOHANNA CAROLINA TAVERA RUIZ

SECRETARIO DE MOVILIDAD. (E)
EDINSON JAIR VELÁSQUEZ ACOSTA

SECRETARIA DE SALUD.
NUBIA ANGÉLICA LUGO

SECRETARIA DE DESARROLLO SOCIAL
LUZ CATHERINE MEDELLÍN SALAZAR

SECRETARIO GENERAL.
CARLOS ANDRÉS TOBÓN ESCOBAR

SECRETARIO DE EDUCACIÓN.
JOSÉ JHOAN ALFONSO HERNÁNDEZ

SECRETARIO DE CULTURA Y TURISMO.
MARIO ALBERTO FONSECA DIAZ

SECRETARIA DE INFRAESTRUCTURA.
ANDREA LUNA RIVERA

SECRETARIO DE AMBIENTE, MINAS, DESARROLLO RURAL Y PROTECCIÓN ANIMAL
SEBASTIÁN ANDRÉS SOSA ACOSTA

PROFESIONALES GRUPO POT DE LA SECRETARIA DE PLANEACIÓN Y O.T.
DUVÁN CRUZ AMAYA – GEÓGRAFO ESPECIALISTA

EQUIPO POT – SIGLO XXII SAS
INGENIERO CIVIL MAGÍSTER - SERGIO ARTURO PIÑEROS BOTERO – GERENTE GENERAL
INGENIERO CATASTRAL Y GEODESTA ESPECIALISTA - DIEGO PULIDO CASTILLO – DIRECTOR DE PROYECTOS

TABLA DE CONTENIDO

1. ESTUDIOS BÁSICOS DE REMOCIÓN EN MASA 54

1.1. OBJETIVOS Y ALCANCE 55

1.2. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZA POR FEÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA 56

1.2.1. GEOLOGÍA Y UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES 58

1.2.2. GEOMORFOLOGÍA DEL MUNICIPIO 59

1.2.2.1. ACTIVIDADES DESARROLLADAS EN LA ELABORACIÓN DEL MAPA GEOMORFOLÓGICO 61

1.2.3. LEVANTAMIENTO DE LA COBERTURA Y USO ACTUAL DEL SUELO (RURAL) 63

1.2.4. INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA EN EL MUNICIPIO 66

1.2.5. HIDROLOGÍA (RURAL) 68

1.2.6. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO Y ENSAYOS DE LABORATORIO 69

1.2.7. ANÁLISIS DE CALIDAD DE MACIZO ROCOSO (URBANO Y EXPANSIÓN) 71

1.2.8. EVALUACIÓN DE DRENAJES NATURALES Y REDES DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO (URBANO Y EXPANSIÓN) 71

1.2.9. ZONIFICACIÓN GEOMECÁNICA 72

1.3. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA 74

1.4. ZONAS DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA - ZONA URBANA Y DE EXPANSIÓN URBANA 77

1.4.1. ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA 82

1.4.2. ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO 85

1.5. ZONAS DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA – ZONA RURAL 87

1.5.1. FENÓMENO DE MOVIMIENTOS EN MASA EN CENTROS POBLADOS 97

1.5.1.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO 97
1.5.1.2. OBJETIVOS 98
1.5.1.2.1. OBJETIVO GENERAL 98
1.5.1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 98
1.5.1.3. AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA 99
1.5.1.3.1. ÁREA DE ESTUDIO 100
1.5.1.3.2. INSUMOS 102
1.5.1.3.3. ALCANCE 103
1.5.1.3.4. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA 103
1.5.1.3.5. INSUMOS GENERALES 104
1.5.1.3.5.1. MODELO DIGITAL DE TERRENO (DTM) 104
1.5.1.3.5.2. PENDIENTE DEL TERRENO 107
1.5.1.3.5.3. ESPESOR DEL SUELO Y PARÁMETROS GEOTÉCNICOS 109
1.5.1.3.5.4. UNIDADES GEOLÓGICAS PARA INGENIERÍA – UGI 113
1.5.1.3.6. DETONANTES DE LA AMENAZA 116
1.5.1.3.6.1. PROFUNDIDAD DE LA TABLA DE AGUA 116
1.5.1.3.6.2. ACELERACIÓN SÍSMICA 118
1.5.1.3.6.2.1. COEFICIENTE DE ACELERACIÓN HORIZONTAL PICO EFECTIVA (AA) 119
1.5.1.3.6.2.2. DEFINICIÓN DEL TIPO DE PERFIL DEL SUELO 119
1.5.1.3.6.2.3. COEFICIENTE DE AMPLIFICACIÓN (FA) 121
1.5.1.3.6.2.4. COEFICIENTE DE IMPORTANCIA (I) 122
1.5.1.3.7. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA 124

1.5.1.3.7.1. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA PARA EL CPR ALTO DE LA CRUZ 125

1.5.1.3.7.2. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA PARA EL CPR EL CHARQUITO 126

1.5.1.3.7.3. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA PARA EL CPR CHACUA CABRERA..... 127

1.5.1.3.7.4. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA PARA EL AHR ALTOS DE LA FLORIDA 128

1.5.1.3.8. ÁREAS CON CONDICIÓN 129

1.5.1.3.8.1. ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA 129

1.5.1.3.8.2. ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO 132

1.5.1.3.9. MEDIDAS DE INTERVENCIÓN 134

1.5.1.3.9.1. MEDIDAS NO ESTRUCTURALES 134

1.5.1.3.9.2. MEDIDAS ESTRUCTURALES 135

2. ESTUDIOS BÁSICOS DE INUNDACIÓN 135

2.1. OBJETIVOS 136

2.2. ALCANCE 136

2.3. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZA POR INUNDACIÓN 137

2.3.1. ANÁLISIS DEL RÉGIMEN HIDROLÓGICO 137

2.3.1.1. ESTACIONES IDENTIFICADAS Y UTILIZADAS EN EL ESTADIO 138

2.3.1.2. INFORMACIÓN DISPONIBLE 145

2.3.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO, PROBABILÍSTICO O DETERMINÍSTICO..... 146

2.3.2.1. SELECCIÓN PERIODO DE ESTUDIO 147

2.3.3. ZONIFICACIÓN DE NIVEL DE AMENAZA 148

2.3.4. GENERACIÓN DEL MODELO DIGITAL DEL TERRENO 152

2.4. DESARROLLO DEL ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZA POR INUNDACIONES EN EL MUNICIPIO DE SOACHA – CUNDINAMARCA 154
2.4.1. ÁREA DE ESTUDIO 154
2.4.2. GEOMORFOLOGÍA DEL MUNICIPIO DE SOACHA 155
2.4.2.1. GEOMORFOLOGÍA RURAL DEL MUNICIPIO DE SOACHA 156
2.4.2.2. GEOMORFOLOGÍA URBANA Y DE EXPANSIÓN 160
2.4.2.3. ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL RÍO SOACHA 164
2.4.3. DESCRIPCIÓN CLIMATOLÓGICA E HIDROLÓGICA DEL MUNICIPIO DE SOACHA 167
2.4.3.1. CARACTERIZACIÓN CLIMATOLÓGICA 167
2.4.3.2. CARACTERIZACIÓN DE PRECIPITACIÓN 172
2.4.3.3. CAUDALES Y CRECIENTES 187
2.4.4. RESULTADOS ESTUDIO HIDROLÓGICO DEL MUNICIPIO DE SOACHA 188
2.4.4.1. HIDROGRAFÍA 189
2.4.4.2. MORFOMETRÍA CUANTITATIVA 189
2.4.4.3. IDENTIFICACIÓN DE LA RED DE MONITOREO HIDROLÓGICO 196
2.4.4.4. TRATAMIENTO DE LAS SERIES DE CAUDALES 198
2.4.4.4.1. ANÁLISIS VISUAL DE LAS SERIES DE DATOS 198
2.4.4.4.2. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS 199
2.4.4.4.3. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS 200
2.4.4.4.4. SELECCIÓN DEL PERIODO DE ESTUDIO 201
2.4.4.4.5. ELIMINACIÓN DE VALORES ATÍPICOS 201
2.4.4.4.6. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA 202
2.4.4.5. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DEL MUNICIPIO 202
2.4.4.5.1. COBERTURA VEGETAL 203

2.4.4.5.2. SUELOS 204
2.4.4.5.3. DETERMINACIÓN DE LA CURVA NÚMERO 206
2.4.4.6. CAUDALES MEDIOS 207
2.4.4.7. ANÁLISIS DE CAUDALES MÁXIMOS 208
2.4.4.8. ESTIMACIÓN DE CAUDALES MEDIOS 209
2.4.4.8.1. CÁLCULO DEL ÍNDICE IVET 211
2.4.4.8.2. ÍNDICE DE VARIABILIDAD (IV) 212
2.4.4.9. ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS 213
2.4.4.10. MODELO HIDROLÓGICO IMPLEMENTADO PARA LA ESTIMACIÓN DE CAUSALES MÁXIMOS 214
2.4.4.10.1. TOPOLOGÍA DEL MODELO 214
2.4.4.10.2. MORFOMETRÍA DE CUENCAS Y TIEMPO DE REZAGO 215
2.4.4.10.3. DETERMINACIÓN DE LA LLUVIA DE DISEÑO 220
2.4.4.10.4. CURVA NÚMERO 225
2.4.4.10.5. CALIBRACIÓN DEL MODELO CON CAUDALES REALES 228
2.4.4.10.6. DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS 231
2.4.5. RESULTADOS ESTUDIO HIDRÁULICO DEL MUNICIPIO DE SOACHA 235
2.4.5.1. RESULTADOS DEL MODELO DIGITAL DEL TERRENO 236
2.4.5.1.1. PROCESAMIENTO DE DATOS LIDAR 236
2.4.5.1.2. CLASIFICACIÓN DE PUNTOS 236
2.4.5.1.3. IMPORTACIÓN DE DATOS BATIMÉTRICOS 237
2.4.5.1.4. UNIÓN DE DATOS LIDAR E INFORMACIÓN BATIMÉTRICA 238
2.4.5.1.5. CORRECCIÓN DE ERRORES 238
2.4.5.1.6. GENERACIÓN DEL MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL (DEM) 239

2.4.5.1.7. DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, RONDA HIDRÁULICA Y ANÁLISIS CATASTRAL 240

2.4.5.1.8. RESULTADOS DE LAS MODELACIONES HIDRÁULICAS 243

2.4.5.1.9. DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, RONDA HIDRÁULICA Y ANÁLISIS CATASTRAL 245

2.4.6. INVENTARIO DE EVENTOS DE INUNDACIÓN EN EL MUNICIPIO DE SOACHA 246

2.4.6.1. HUMEDALES 246

2.4.6.1.1. HUMEDAL TIERRA BLANCA 250

2.4.6.1.2. HUMEDAL NEUTA 254

2.4.6.2. CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ 257

2.4.6.3. INUNDACIONES SOACHA 267

2.5. ZONIFICACIÓN DE AMENAZA Y RIESGO POR INUNDACION EN EL MUNICIPIO DE SOACHA 277

2.6. ZONAS DE AMENAZA POR INUNDACIÓN - ZONA URBANA Y DE EXPANSIÓN URBANA .. 281

2.6.1. ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA 284

2.6.2. ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO 286

2.7. ZONAS DE AMENAZA POR INUNDACIÓN - ZONA RURAL 288

2.7.1. FENÓMENO DE INUNDACIÓN EN CENTROS POBLADOS 289

2.7.1.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA 290

2.7.1.2. OBJETIVOS 291

2.7.1.2.1. OBJETIVO GENERAL 291

2.7.1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 292

2.7.1.3. AMENAZA POR INUNDACIÓN 292

2.7.1.3.1. FENÓMENO DE INUNDACIÓN (AMENAZA) 292

2.7.1.3.2. EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR INUNDACIÓN 293

2.7.1.3.2.1. ANÁLISIS DE EVENTOS HISTÓRICOS 294

2.7.1.3.2.2. MODELO DIGITAL DE TERRENO (DTM) 300

2.7.1.3.2.3. ANÁLISIS DE GEOFORMAS ASOCIADAS A PROCESOS DE INUNDACIÓN 302

2.7.1.3.2.3.1. MAPAS DE ELEMENTOS GEOMORFOLÓGICOS 307

2.7.1.3.2.4. ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR INUNDACIÓN 310

2.7.1.3.3. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR INUNDACIÓN 312

2.7.1.3.3.1. ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE IMÁGENES SATELITALES DISPONIBLES 313

2.7.1.3.3.2. ANÁLISIS HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO 314

2.7.1.3.3.2.1. IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS 316

2.7.1.3.3.2.2. ESTIMACIÓN DE PROBABILIDADES DE OCURRENCIA DE LOS EVENTOS 317

2.7.1.3.3.2.3. METODOLOGÍA 318

2.7.1.3.3.2.3.1. SELECCIÓN DE CAUCES PARA EL ANÁLISIS 318

2.7.1.3.3.2.3.2. ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS E INFORMACIÓN DISPONIBLE 318

2.7.1.3.3.2.4. HIDROLOGÍA 333

2.7.1.3.3.2.4.1. NÚMERO DE CURVA 335

2.7.1.3.3.2.4.2. CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA (IDF) 336

2.7.1.3.3.2.4.3. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS 339

2.7.1.3.3.2.4.4. HIETOGRAMAS 345

2.7.1.3.3.2.4.5. HIDROGRAMAS DE DISEÑO 347

2.7.1.3.3.2.5. HIDRÁULICA 353

2.7.1.3.3.2.5.1. MODELO HIDRÁULICO HEC RAS 354

2.7.1.3.3.2.5.2. RESULTADOS DE LA MODELACIÓN HIDRÁULICA..... 356

2.7.1.3.3.3. ZONIFICACIÓN DE LA DE AMENAZA POR INUNDACIONES 356

2.7.1.3.3.3.1. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR INUNDACIONES PARA EL CRP ALTO DE LA CRUZ..... 357

2.7.1.3.3.3.2. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR INUNDACIONES PARA EL CPR EL CHARQUITO..... 358

2.7.1.3.3.3.3. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR INUNDACIONES PARA EL CPR CHACUA –CABRERA 359

2.7.1.3.3.3.4. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR INUNDACIONES PARA EL AHR ALTOS DE LA FLORIDA 360

2.7.1.3.3.4. CRITERIOS DE ACTUACIÓN 361

2.7.1.3.3.5. ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA EN LOS CENTROS POBLADOS DEL MUNICIPIO DE SOACHA..... 362

2.7.1.3.3.6. ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO EN LOS CENTROS POBLADOS DEL MUNICIPIO DE SOACHA..... 364

2.7.1.3.3.7. MEDIDAS DE INTERVENCIÓN POR INUNDACIÓN EN LOS CENTROS POBLADOS DEL MUNICIPIO DE SOACHA..... 366

2.7.1.3.3.7.1. MEDIDAS NO ESTRUCTURALES POR INUNDACIÓN EN LOS CENTROS POBLADOS DEL MUNICIPIO DE SOACHA..... 366

2.7.1.3.3.7.2. MEDIDAS ESTRUCTURALES POR INUNDACIÓN EN LOS CENTROS POBLADOS DEL MUNICIPIO DE SOACHA..... 367

3. ESTUDIOS BÁSICOS DE AVENIDAS TORRENCIALES..... 367

3.1. OBJETIVOS..... 368

3.1.1. OBJETIVO GENERAL DE ESTUDIO 368

3.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 368

3.2. CLASIFICACIÓN DE LAS AVENIDAS TORRENCIALES..... 368

3.3. ZONAS DE UNA AVENIDA TORRENCIAL 371

3.3.1. ZONA DE INICIO DEL MOVIMIENTO O RUPTURA 372

3.3.2. ZONA DE TRANSPORTE 373

3.3.3. ZONA DE DEPÓSITO 374

3.4. MECANISMOS DETONANTES DE AVENIDAS TORRENCIALES 375

3.5. PROPAGACIÓN DE AVENIDAS TORRENCIALES (FLUJOS DETRÍTICOS) 376

3.5.1. MODELO DE VOELLMY 378

3.6. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES 378

3.7. ANTECEDENTES HISTÓRICOS 379

3.7.1. SUSCEPTIBILIDAD A AVENIDAS TORRENCIALES A NIVEL NACIONAL 379

3.7.2. ANÁLISIS DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES DETERMINADA EN EL POMCA DEL RÍO BOGOTÁ 380

3.7.2.1. SUSCEPTIBILIDAD A EVENTOS TORRENCIALES 381

3.7.2.2. AMENAZA A AVENIDAS TORRENCIALES ACORDE AL POMCA DEL RÍO BOGOTÁ 382

3.7.3. COMPILACIÓN DE EVENTOS HISTÓRICOS 383

3.7.3.1. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN MUNICIPAL 383

3.7.3.2. EVENTOS HISTÓRICOS REPORTADOS EN EL POMCA DEL RÍO BOGOTÁ Y DESINVENTAR 385

3.8. ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD Y AMENAZA A AVENIDAS TORRENCIALES 386

3.8.1. EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS 386

3.8.1.1. ÍNDICE DE COMPACIDAD (KC) 387

3.8.1.2. ALINEAMIENTO 388

3.8.1.3. DENSIDAD DE DRENAJE 389

3.8.1.4. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD A EVENTOS TORRENCIALES 389

3.8.2. EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES TORRENCIALES 390
3.8.2.1. ANÁLISIS DE LAS ZONAS DE INICIO 390
3.8.2.2. ANÁLISIS DE LAS ZONAS DE TRANSPORTE 419
3.8.2.2.1. CÁLCULO DEL VOLUMEN REMOVIDO EN LA LADERA SUSCEPTIBLE AL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS 421
3.8.2.2.2. MÉTODO DE DETENCIÓN DEL FLUJO POR VELOCIDAD 422
3.8.2.3. ANÁLISIS DE LAS ZONAS DE DEPÓSITO 427
3.8.3. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA A AVENIDAS TORRENCIALES A ESCALA 1:25.000446
3.9. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO PARA EL ANÁLISIS A ESCALA 1:2.000 451
3.9.1. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO 455
3.9.2. ANÁLISIS HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO 465
3.9.2.1. IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS 467
3.9.2.1.1. ESTIMACIÓN DE PROBABILIDADES DE OCURRENCIA DE LOS EVENTOS ... 468
3.9.2.1.2. SELECCIÓN DE CAUCES PARA EL ANÁLISIS 469
3.9.2.1.3. ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS E INFORMACIÓN DISPONIBLE 471
3.9.2.2. HIDROLOGÍA 491
3.9.2.2.1. NÚMERO DE CURVA 492
3.9.2.2.2. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS 493
3.9.2.2.3. CURVAS DE INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA 499
3.9.2.2.4. HIETOGRAMAS 502
3.9.2.2.5. HIDROGRAMAS DE DISEÑO 506
3.9.2.3. HIDRÁULICA 509
3.9.2.3.1. MODELACIÓN HIDRÁULICA CON HEC RAS 511
3.9.2.3.2. PARÁMETROS RELATIVOS AL RELIEVE 512

3.9.2.3.3. CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS UTILIZANDO EL MÉTODO RACIONAL.. 513
3.9.2.3.3.1. COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO 513
3.9.2.3.3.2. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN 515
3.9.2.3.3.3. CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS 519
3.9.2.3.3.4. CICLO DE SEDIMENTOS 520
3.9.2.3.3.4.1. SEDIMENTOS, FLUJOS Y AUMENTO DE VOLUMEN 521
3.9.2.3.3.4.2. CLASIFICACIÓN DE SEDIMENTO / FLUJO DE AGUA 522
3.9.2.4. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES A ESCALA 1:2.000 525
3.9.2.4.1. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES PARA EL SUELO URBANO DE SOACHA A ESCALA 1:2.000 526
3.9.2.4.2. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES CPR ALTO DE LA CRUZ 527
3.9.2.4.3. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES CPR EL CHARQUITO A ESCALA 1:2.000 528
3.9.2.4.4. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES CPR CHACUA CABRERA A ESCALA 1:2.000 529
3.9.2.4.5. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES AHR ALTOS DE LA FLORIDA A ESCALA 1:2.000..... 530
3.9.2.5. ÁREAS CON CONDICIÓN..... 531
3.9.2.5.1. ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA 531
3.9.2.5.2. ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO 534
3.9.2.6. MEDIDAS DE INTERVENCIÓN 537
3.9.2.6.1. MEDIDAS NO ESTRUCTURALES..... 537
3.9.2.6.2. MEDIDAS ESTRUCTURALES 537
4. ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZA POR INCENDIOS FORESTALES 538

4.1. INTRODUCCIÓN 538

4.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO 539

4.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS 539

4.4. ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS Y RIESGOS A INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL PARA EL MUNICIPIO DE SOACHA – CUNDINAMARCA 540

4.4.1. ASPECTOS GENERALES 540

4.4.1.1. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO 546

4.4.1.1.1. ÁREA DE ESTUDIO: MUNICIPIO DE SOACHA – CUNDINAMARCA 546

4.4.1.1.2. DEMOGRAFÍA 549

4.4.1.1.2.1. DISTRIBUCIÓN DE LAS VIVIENDAS RURALES EN EL MUNICIPIO DE SOACHA 550

4.4.1.1.3. SISTEMA VIAL 553

4.4.1.1.4. TOPOGRAFÍA Y RELIEVE 555

4.4.1.1.4.1. PENDIENTES TOPOGRÁFICAS 556

4.4.1.1.5. CONDICIONES ATMOSFÉRICAS 558

4.4.1.1.5.1. PRECIPITACIÓN 558

4.4.1.1.5.2. TEMPERATURA 560

4.4.1.1.5.3. VIENTOS 562

4.4.1.1.5.4. BRILLO SOLAR (RADIACIÓN SOLAR) 564

4.4.1.1.6. ESTRUCTURA ECOLÓGICA PRINCIPAL 567

4.4.1.1.7. COBERTURAS DE LA TIERA: METODOLOGÍA CORINE LAND COVER 568

4.4.1.1.7.1. VALIDACIÓN DE COBERTURAS MEDIANTE TRABAJO DE CAMPO 575

4.4.1.1.8. PATRIMONIO HISTÓRICO Y CULTURAL DEL MUNICIPIO DE SOACHA 581

4.4.1.1.9. REGISTRO DE EVENTOS HISTÓRICOS RELACIONADOS CON INCENDIOS FORESTALES EN EL MUNICPIO DE SOACHA 586

4.4.1.2. DETERMINACIÓN DE LA ESCALA DE TRABAJO Y FICHA TÉCNICA DE LA INFORMACIÓN BASE 589

4.4.2. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO PARA LA ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA Y EL RIESGO POR INCENDIOS FORESTALES 595

4.4.2.1. MARCO METODOLÓGICO 595

4.4.2.2. CONTROL DE LA CALIDAD DE LA INFORMACIÓN 597

4.4.2.3. NORMALIZACIÓN, CLASIFICACIÓN CALIFICACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE LOS FACTORES DE SUCEPTIBILIDAD, AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO 600

4.4.2.3.1. NORMALIZACIÓN DE VARIABLES Y FACTORES 601

4.4.2.3.2. ESTANDARIZACIÓN DE DATOS 601

4.4.2.3.3. PONDERACIÓN DE LAS VARIABLES (PESOS) 603

4.4.3. SUSCEPTIBILIDAD DE LAS COBERTURAS A INCENDIOS FORESTALES 604

4.4.3.1. SUSCEPTIBILIDAD POR TIPO DE COMBUSTIBLE 605

4.4.3.2. SUSCEPTIBILIDAD POR CARGA DE COMBUSTIBLE 610

4.4.3.3. SUSCEPTIBILIDAD POR DURACIÓN DEL COMBUSTIBLE 614

4.4.3.4. SUSCEPTIBILIDAD TOTAL DE LA VEGETACIÓN A INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL 618

4.4.4. AMENAZA POR INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL 623

4.4.4.1. FACTORES CLIMÁTICOS 625

4.4.4.1.1. AMENAZA POR PRECIPITACIÓN 625

4.4.4.1.2. AMENAZA POR TEMPERATURA 627

4.4.4.1.3. AMENAZA POR BRILLO SOLAR 631

4.4.4.2. FACTORES FÍSICOS 632

4.4.4.2.1. AMENAZA POR PENDIENTES TOPOGRÁFICAS 633

4.4.4.3. FACTOR ACCESIBILIDAD 635

4.4.4.3.1. AMENAZAPOR ACCESIBILIDAD 635

4.4.4.4. FACTOR HISTÓRICO (FRECUENCIA) 638

4.4.4.4.1. AMENAZA POR FRECUENCIA DE INCENDIOS FORESTALES 638

4.4.4.5. SUSCEPTIBILIDAD DE LA VEGETACIÓN 641

4.4.4.6. AMENAZA TOTAL DE LA VEGETACIÓN A INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL 641

4.4.5. ARTICULACIÓN DE LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR INCENDIOS FORESTALES CON EL ORDENAMIENTO DEL TERRITORIO..... 646

4.4.5.1. ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA POR INCENDIOS FORESTALES..... 648

4.4.5.2. ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR INCENDIOS FORESTALES 649

4.4.6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... 651

4.4.7. ANEXOS 654

4.4.7.1. ANEXO 1: VULNERABILIDAD Y RIESGO POR INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL..... 654

4.4.7.1.1. VULNERABILIDAD ANTE LA OCURRENCIA DE INCENDIOS DE LACOBERTURA VEGETAL 656

4.4.7.1.2. VULNERABILIDAD POBLACIONAL 657

4.4.7.1.2.1. VULNERABILIDAD ECONÓMICA..... 661

4.4.7.1.2.2. VULNERABILIDAD DE LA INFRAESTRUCTURA..... 663

4.4.7.1.2.3. VULNERABILIDAD INSTITUCIONAL..... 666

4.4.7.1.2.4. VULNERABILIDAD PATRIMONIAL..... 671

4.4.7.1.2.5. VULNERABILIDAD TERRITORIAL 674

4.4.7.1.2.5.1. VULNERABILIDAD FÍSICA..... 674

4.4.7.1.2.5.2. VULNERABILIDAD ECOLÓGICA..... 677

4.4.7.1.2.5.3. VULNERABILIDAD TERRITORIAL TOTAL..... 679

4.4.7.1.2.6. VULNERABILIDAD TOTAL DELA VEGETACIÓN A INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL 682

4.4.7.1.3. RIESGOS ANTE LA OCURRENCIA DE INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL 687

4.4.7.1.3.1. ANEXO 2: ZONIFICACIÓN DE RIESGOS A INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL 688

5. MEDIGAS DE MITIGACIÓN 691

5.1. MEDIDAS DE MITIGACIÓN URBANAS 692

5.1.1. MEDIDAS DE MITIGACIÓN NO ESTRUCTURALES, RESTRICCIONES O CONDICIONAMIENTOS Y NORMAS URBANISTICAS 692

5.1.2. MEDIDAS DE MITIGACIÓN ESTRUCTURALES 695

5.2. MEDIDAS DE MITIGACIÓN RURALES 726

5.2.1. MEDIDAS DE MITIGACIÓN NO ESTRUCTURALES, RESTRICCIONES O CONDICIONAMIENTOS Y NORMAS URBANISTICAS 726

5.2.2. MEDIDAS DE MITIGACIÓN ESTRUCTURALES 729

5.2.3. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y DE MITIGACIÓN ANTE LA OCURRENCIA DE UN FENÓMENO DE INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL. 743

5.3. MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN CENTROS POBLADOS RURALES 748

5.3.1. MOVIMIENTOS EN MASA 748

5.3.1.1. MEDIDAS DE INTERVENCIÓN PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA PARA LOS CPR ALTO DE LA CRUZ, EL CHARQUITO, CHACUA CABRERA Y AHR ALTOS DE LA FLORIDA 748

5.3.1.2. MEDIDAS NO ESTRUCTURALES PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA PARA LOS CPR ALTO DE LA CRUZ, EL CHARQUITO, CHACUA CABRERA Y AHR ALTOS DE LA FLORIDA 748

5.3.1.3. MEDIDAS ESTRUCTURALES PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA PARA LOS CPR ALTO DE LA CRUZ, EL CHARQUITO, CHACUA CABRERA Y ALTOS DE LA FLORIDA 749

5.3.2. INUNDACIONES 749

5.3.2.1. MEDIDAS DE INTERVENCIÓN POR INUNDACIÓN PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIONES PARA LOS CPR ALTO DE LA CRUZ, EL CHARQUITO, CHACUA CABRERA Y AHR ALTOS DE LA FLORIDA 750

5.3.2.2. MEDIDAS NO ESTRUCTURALES POR INUNDACIÓN PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIONES PARA LOS CPR ALTO DE LA CRUZ, EL CHARQUITO, CHACUA CABRERA Y AHR ALTOS DE LA FLORIDA 750

5.3.2.3. MEDIDAS ESTRUCTURALES PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIONES PARA LOS CPR ALTO DE LA CRUZ, EL CHARQUITO, CHACUA CABRERA Y ALTOS DE LA FLORIDA 751

5.3.3. AVENIDAS TORRENCIALES 751

5.3.3.1. MEDIDAS DE INTERVENCIÓN PARA LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN LOS CENTROS POBLADOS RURALES 751

5.3.3.2. MEDIDAS NO ESTRUCTURALES PARA LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN LOS CENTROS POBLADOS RURALES 751

5.3.3.3. MEDIDAS ESTRUCTURALES PARA LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN LOS CENTROS POBLADOS RURALES 752

6. BIBLIOGRAFÍA 752

Plan de Ordenamiento Territorial

TABLA DE FIGURAS

Figura 1. Identificación de elementos expuestos. 52

Figura 2. Esquema metodológico general utilizado para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa. 56

Figura 3. Mapa resultado de Unidades Geológicas superficiales del municipio de Soacha. 59

Figura 4. Metodología general para la elaboración del mapa geomorfológico. 62

Figura 5. Mapa resultado de unidades geomorfológicas del municipio de Soacha. 63

Figura 6. Etapas preliminares asociadas a resultados finales del proyecto 64

Figura 7. Diagrama de procedimientos y actividades generales realizadas en el levantamiento de cobertura y uso del suelo 65

Figura 8. ArcMap mostrando las unidades de suelos del municipio de Soacha. 66

Figura 9. Metodología aplicada para la realización del inventario de movimientos en masa 67

Figura 10. Isoyetas de la precipitación máxima diaria para un periodo de retorno de 25 años. . 69

Figura 11. Localización de puntos de exploración. 70

Figura 12. Metodología de zonificación geomecánica. 73

Figura 13. Mapa Final de zonificación geomecánica. 73

Figura 14. Zonificación de la amenaza por remoción en masa 76

Figura 15. Mapa de amenaza por remoción en masa, 93,65% amenaza baja, 2,32% amenaza media, 4,03% amenaza alta. 82

Figura 16. Mapa de áreas con condición de amenaza por remoción en masa en el perímetro urbano y de expansión. 84

Figura 17. Mapa de áreas con condición de riesgo por fenómenos de remoción en masa en el perímetro urbano y de expansión. 87

Figura 18. Mapa de amenaza por remoción en masa, 57,93% amenaza baja, 10,35% amenaza media, 31,72% amenaza alta en el área rural. Fuente: Servicio Geológico Colombiano 96

Figura 19. Localización geográfica de las áreas de estudio 97

Figura 20. Localización geográfica de las áreas de estudio 98

Figura 21. Localización de las áreas de estudio – CPR Alto de la Cruz, El Charquito y Chacua – Cabrera 100

Figura 22. Localización de las áreas de estudio AHR Altos de La Florida 101

Figura 23. Fotografías del área de estudio donde se evidencia alta susceptibilidad a procesos de movimientos en masa – AHR ALTOS DE LA FLORIDA 102

Figura 24. DTM CPR Alto de la Cruz 105

Figura 25. DTM CPR El Charquito 105

Figura 26. DTM CPR Chacua – Cabrera 106

Figura 27. DTM AHR ALTOS DE LA FLORIDA 106

Figura 28. Mapa de pendientes para el CPR Alto de la Cruz 107

Figura 29. Mapa de pendientes para el CPR El Charquito 107

Figura 30. Mapa de pendientes para el CPR Chacua Cabrera 108

Figura 31. Mapa de pendientes para el AHR ALTOS DE LA FLORIDA 108

Figura 32. Puntos de muestreo de suelos CPR Alto de La Cruz 109

Figura 33. Puntos de muestreo de suelos CPR El Charquito 110

Figura 34. Puntos de muestreo de suelos CPR Chacua Cabrera 110

Figura 35. Puntos de muestreo de suelos AHR ALTOS DE LA FLORIDA 111

Figura 36. Unidades Geológicas para Ingeniería (UGI) CPR Alto de la Cruz 114

Figura 37. Unidades Geológicas para Ingeniería (UGI) CPR El Charquito 114

Figura 38. Unidades Geológicas para Ingeniería (UGI) CPR Chacua Cabrera 115

Figura 39. Unidades Geológicas para Ingeniería (UGI) del asentamiento humano rural Altos de Florida 115

Figura 40. Profundidad de la tabla de agua CPR Alto de La Cruz 116

Figura 41. Profundidad de la tabla de agua CPR El Charquito 117

Figura 42. Profundidad de la tabla de agua CPR Alto de Chacua Cabrera 117

Figura 43. Profundidad de la tabla de agua AHR ALTOS DE LA FLORIDA 118

Figura 44. Aceleración sísmica en el CPR Alto de La Cruz..... 122

Figura 45. Aceleración sísmica en el CPR El Charquito..... 123

Figura 46. Aceleración sísmica en el CPR Chacua Cabrera..... 123

Figura 47. Aceleración sísmica en el AHR ALTOS DE LA FLORIDA 124

Figura 48. Zonificación de la amenaza por movimientos en masa para el CPR Alto de la Cruz 125

Figura 49. Zonificación de la amenaza por movimientos en masa para el CPR El Charquito.... 126

Figura 50. Zonificación de la amenaza por movimientos en masa para el CPR Chacua Cabrera 127

Figura 51. Zonificación de la amenaza por movimientos en masa para el asentamiento humano rural Altos de Florida 128

Figura 52. Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en el CPR Alto de La Cruz 130

Figura 53. Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en el CPR El Charquito 130

Figura 54. Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en el CPR Chacua Cabrera 131

Figura 55. Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa 131

Figura 56. Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en el CPR Alto de la Cruz 132

Figura 57. Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en el CPR El Charquito ... 133

Figura 58. Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en el CPR Chacua Cabrera 133

Figura 59. Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa 134

Figura 60. Componentes generales para la realización de estudios básicos de amenaza por inundación. 137

Figura 61. Metodología para el análisis del régimen hidrológico. 138

Figura 62. Estaciones disponibles en el municipio de Soacha 143

Figura 63. Metodología análisis estadísticas descriptivas, análisis exploratorio de datos y probabilísticos..... 147

Figura 64. Metodología para la zonificación por niveles de amenaza de inundación 149

Figura 65. Metodología para la modelación hidrológica en HEC-HMS. 149

Figura 66. Descripción de los criterios empleados en la modelación hidrológica HEC-HMS..... 150

Figura 67. Metodología modelación hidráulica en HEC-RAS 151

Figura 68. Descripción de los criterios empleados en la modelación hidráulica HEC-RAS. 151

Figura 69. Metodología para la generación del DEM. 153

Figura 70. Principales cuerpos de agua en Soacha - zona urbana. 154

Figura 71. Principales cuerpos de agua en Soacha - zona rural. 155

Figura 72. Mapa geomorfológico de la zona rural del municipio de Soacha. 159

Figura 73. Mapa geomorfológico de la zona urbana y de expansión urbana del municipio de Soacha. 163

Figura 74. Localización de zonas con meandros de aproximadamente 90° en el Rio Soacha... 164

Figura 75. Galería de imágenes satelitales y fotografías aéreas. 165

Figura 76. Localización del Rio Soacha sobre la plancha geológica 246 Fusagasugá. 166

Figura 77. Fotografías de campo Rio Soacha. (a) Fotografía panorámica del Río Soacha cerca al barrio El Carmen (b) Estado del canal y comportamiento brusco con meandros de aproximadamente 90°. 167

Figura 78. Variación temporal de la temperatura media mensual promedio multianual [°C]... 168

Figura 79. Variación temporal de la temperatura máxima mensual promedio multianual [°C]. 169

Figura 80. Variación temporal del brillo solar mensual [horas/día]. 169

Figura 81. Variación temporal de la evaporación [mm/mes]. 170

Figura 82. Variación temporal de la humedad relativa [%]. 171

Figura 83. Variación temporal interanual de la precipitación total mensual promedio multianual [mm] (1985-2015)..... 173

Figura 84. Boxplot de los registros de precipitación anual..... 173

Figura 85. Número de días con lluvia 175

Figura 86. Variación temporal de la precipitación máxima en 24 horas [mm/día]. 176

Figura 87. Ubicación de las estaciones de curvas IDF en el municipio de Soacha. 178

Figura 88. Curvas Intensidad Frecuencia Duración: estación Apostólica..... 179

Figura 89. Curvas Intensidad Frecuencia Duración: estación guaraní 180

Figura 90. Curvas Intensidad Frecuencia Duración: estación El Fute. 181

Figura 91. Curvas Intensidad Frecuencia Duración: estación San Jorge. 182

Figura 92. Curvas Intensidad Frecuencia Duración: estación Represa Muña. 183

Figura 93. Curvas Intensidad Frecuencia Duración: estación Granja San Jorge..... 184

Figura 94. Curvas Intensidad Frecuencia Duración: estación Casablanca. 185

Figura 95. Curvas Intensidad Frecuencia Duración: estación La Meseta. 186

Figura 96. Curvas Intensidad Frecuencia Duración: estación Las Huertas. 187

Figura 97. Variación temporal de los caudales medios mensuales multianuales Rio Soacha.... 188

Figura 98. Perfiles longitudinales de algunas microcuencas. 195

Figura 99. Curvas Hipsométricas microcuencas en el municipio de Soacha 195

Figura 100. Curvas Hipsométricas microcuencas en el municipio de Soacha..... 196

Figura 101. Localización de estaciones de hidrométricas. 197

Figura 102. Periodo de registro de estaciones 198
Figura 103. Análisis visual de la información de la estación Granja San Jorge. 199
Figura 104. Análisis visual de la información de la estación Granja San Jorge. 200
Figura 105. Periodo de registro de estaciones disponibles..... 201
Figura 106. Eliminación de valores atípicos..... 201
Figura 107. Curva de masa de caudales diarios estación Granja San Jorge 202
Figura 108. Cobertura vegetal del municipio de Soacha. 204
Figura 109. Textura de suelos en el municipio de Soacha. 205
Figura 110. Clasificación según CN del área del municipio de Soacha 206
Figura 111. Variación temporal de los caudales medios estación Granja San Jorge. 207
Figura 112. Variación temporal Interanual..... 208
Figura 113. Serie anual de caudales máximos estación San Jorge. 208
Figura 114. Bondad de ajuste de caudales máximos anuales. 209
Figura 115. Modelo topológico obtenido en HEC-GeoHMS para la modelación hidrológica de tipo evento. 215
Figura 116. Isoyetas sobre el municipio de Soacha. 222
Figura 117. Curvas IDF estación Granja San Jorge 223
Figura 118. Hietograma usado para diferentes periodos de retorno. 224
Figura 119. Curva número (Condición hidrológica II) estimada para el municipio de Soacha. . 227
Figura 120. Mapa de pendientes y áreas aferentes estimadas para el municipio de Soacha.... 228
Figura 121. Serie anual de caudales máximos estación San Jorge. 229
Figura 122. Modelo hidrológico estación Granja San Jorge 230
Figura 123. Localización de secciones transversales disponibles 235

Figura 124. Visualización de datos en formato binario. 236
Figura 125. Clasificación de datos LIDAR del Rio Soacha 237
Figura 126. Interpolación de datos batimétricos en áreas sin información LIDAR. Río Soacha. 238
Figura 127. DEM Rio Soacha y Quebrada Tibanica en formato TIN. 239
Figura 128. Secciones transversales estimadas en la Quebrada Tibanica y Río Soacha 240
Figura 129. Perfil Hidráulico del Río Soacha 241
Figura 130. Perfil hidráulico Quebrada Tibanica. 242
Figura 131. Sección transversal Río Soacha. 242
Figura 132. Sección transversal en la Quebrada Tibanica. 243
Figura 133. Sección transversal en la Quebrada Tibanica 244
Figura 134. Ubicación de humedales en el municipio de Soacha. 248
Figura 135. Fotografías del humedal Tierra Blanca..... 250
Figura 136. Ronda hidráulica humedal Tierra Blanca. 253
Figura 137. Línea de tiempo humedales Tierra blanca y Neuta. 254
Figura 138. Fotografías del humedal Neuta..... 255
Figura 139. Ronda hidráulica del humedal Neuta 257
Figura 140. Inundación del Río Bogotá en Soacha. 258
Figura 141. Registro de inundaciones sobre el municipio de Soacha..... 277
Figura 142. Frecuencia de inundaciones discriminadas por unidad geomorfológica..... 280
Figura 143. Zonificación de la amenaza por inundación. Universidad Nacional, grupo de investigación Biogestión..... 281
Figura 144. Mapa de amenaza por inundación, 82,16% amenaza baja, 4,15% amenaza media, 13,71% amenaza alta..... 283

Figura 145. Mapa de áreas con condición de amenaza por inundación en el perímetro urbano y de expansión. 285

Figura 146. Mapa de áreas con condición de riesgo por inundación en el perímetro urbano y de expansión. 288

Figura 147. Mapa de amenaza por inundación, 90,10 % amenaza baja, 55,47% amenaza media, 4,43% amenaza alta en el área rural. 289

Figura 148. Localización geográfica de las áreas de estudio – Centros poblados rurales Altos de La Cruz, El Charquito, Chacua - Cabrera y Altos de La Florida en Soacha– Cundinamarca Fuente: SIGLO XXII SAS..... 290

Figura 149. Localización geográfica de las áreas de estudio – Centros poblados rurales Altos de La Cruz, El Charquito, Chacua - Cabrera y Altos de La Florida en Soacha– Cundinamarca 291

Figura 150. Metodología empleada para la evaluación y zonificación de la susceptibilidad por inundación 294

Figura 151. Mapa de eventos históricos por inundación para los centros poblados Alto de la Cruz, El Charquito y Chacua Cabrera 295

Figura 152. Mapa de eventos históricos por inundación para el centro poblado Altos de La Florida 295

Figura 153. DTM CPR Alto de la Cruz 300

Figura 154. DTM CPR El Charquito..... 301

Figura 155. DTM CPR Chacua Cabrera..... 301

Figura 156. DTM AHR ALTOS DE LA FLORIDA 302

Figura 157. Mapa de elementos geomorfológicos en el CPR Altos de la Cruz 308

Figura 158. Mapa de elementos geomorfológicos en el CPR El Charquito 308

Figura 159. Mapa de elementos geomorfológicos en el CPR Chacua – Cabrera 309

Figura 160. Mapa de elementos geomorfológicos en AHR ALTOS DE LA FLORIDA 309

Figura 161. Mapa de susceptibilidad por inundación en el CPR Alto de la Cruz. 310

Figura 162. Mapa de susceptibilidad por inundación en el CPR El Charquito 311

Figura 163. Mapa de susceptibilidad por inundación en el CPR Chacua -Cabrera 311

Figura 164. Mapa de susceptibilidad por inundación en AHR ALTOS DE LA FLORIDA 312

Figura 165. Análisis multitemporal para el AHR Altos de La Florida Imágenes satelitales de los años 2010 – 2020. 314

Figura 166. Análisis Hidrológico 315

Figura 167. Análisis Hidráulico 316

Figura 168. Estaciones del POMCA del río Bogotá con influencia en el área de estudio para los centros poblados Alto de La Cruz, El Charquito y Chacua Cabrera 319

Figura 169. Estaciones del POMCA del río Bogotá con influencia en la zona de estudio – Centro poblado Altos de La Florida 319

Figura 170. Curva IDF para los 3 drenajes innominados en el CPR Chacua – Cabrera 338

Figura 171. Curva IDF para el drenaje innominado en el CPR El Charquito 339

Figura 172. Curva IDF para la estación El Mua para el centro poblado Altos de La Florida 339

Figura 173. Hietogramas de diseño para el Drenaje innominado en el CPR El Charquito – Periodos de retorno de 2, 50 y 100 años 346

Figura 174. Hietogramas de diseño para Río Soacha – Periodos de retorno de 2, 50 y 100 años 346

Figura 175. Hietogramas de diseño para Drenaje innominado – Periodos de retorno de 2, 50 y 100 años 347

Figura 176. Hidrogramas de diseño para el Drenaje innominado en el CPR El Charquito- Periodos de retorno de 2, 50 y 100 años 348

Figura 177. Hidrogramas de diseño para el Río Soacha – AHR Altos de La Florida - Periodos de retorno de 2, 50 y 100 años 349

Figura 178. Hidrogramas de diseño para el Drenaje innominado – AHR Altos de La Florida - Periodos de retorno de 2, 50 y 100 años 350

Figura 179. Hidrogramas de diseño para el río Bogotá - Periodos de retorno de 2, 50 y 100 años 351

Figura 180. Hidrogramas de diseño para el Drenaje innominado 1 – en el CPR Chacua – Cabrera. Periodos de retorno de 2, 50 y 100 años 351

Figura 181. Hidrogramas de diseño para el Drenaje innominado 2 – en el CPR Chacua – Cabrera. Periodos de retorno de 2, 50 y 100 años 352

Figura 182. Hidrogramas de diseño para el Drenaje innominado 3 – en el CPR Chacua – Cabrera. Periodos de retorno de 2, 50 y 100 años 352

Figura 183. Imágenes del proceso de modelación en HEC RAS 356

Figura 184. Mapa de amenaza por inundación en el CPR Altos de la Cruz 358

Figura 185. Mapa de amenaza por inundación en el CPR El Charquito 359

Figura 186. Mapa de amenaza por inundación en el CPR Chacua – Cabrera 360

Figura 187. Mapa de amenaza por inundación en AHR ALTOS DE LA FLORIDA 361

Figura 188. Áreas con condición de amenaza por inundaciones en el CRP El Charquito 362

Figura 189. Áreas con condición de amenaza por inundaciones en el CRP Chacua – Cabrera .. 363

Figura 190. Áreas con condición de amenaza por inundaciones en el AHR Altos de La Florida. 363

Figura 191. Áreas con condición de riesgo por inundaciones en el CRP El Charquito. 364

Figura 192. Áreas con condición de riesgo por inundaciones en masa en el CRP Chacua – Cabrera 365

Figura 193. Áreas con condición de riesgo por inundaciones en masa en el AHR Altos de La Florida 365

Figura 194. Clasificación reológica de los flujos acorde con Coussot y Meunier (1996). 369

Figura 195. Clasificación de los flujos según la distancia recorrida 370

Figura 196. Comparativa entre flujos denominados como avenidas torrenciales 371

Figura 197. Configuración de una avenida torrencial 372

Figura 198. Perfil esquemático que define H y L del transporte de la avenida torrencial. H y L están definidos por las líneas que conectan la zona de inicio y el depósito 373

Figura 199. Pendientes de las zonas de canales de flujo de detritos en grados y porcentaje... 374

Figura 200. Modelo conceptual de flujos de detritos detonados por lluvias y los tres mecanismos de iniciación típicos de estos: erosión del lecho, transformación desde un deslizamiento (enjambre de deslizamientos) y rotura de presas..... 375

Figura 201. Clasificación simplificada basada en la curva reológica del fluido. 377

Figura 202. Metodología para la zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales 379

Figura 203. Mapa de susceptibilidad a avenidas torrenciales a escala 1:500.000 para Colombia. 380

Figura 204. Susceptibilidad a avenidas torrenciales acorde al POMCA del río Bogotá para el municipio de Soacha..... 381

Figura 205. Amenaza por avenidas torrenciales para el municipio de Soacha acorde a lo definido en el POMCA del río Bogotá. 382

Figura 206. Aumento de la densidad de construcciones sobre ladera y cerros remanentes a la actividad minera en donde no se realizado un plan de abandono ambiental y geotécnico. 383

Figura 207. Canteras ubicadas sobre el Río Soacha 384

Figura 208. Erosión Severa – Tipo Cárcava y Surco. Entrada al casco urbano del Municipio de Soacha, Vía Granada – Soacha. 384

Figura 209. Erosión Severa – Tipo Cárcava y Surco. Entrada al casco urbano del Municipio de Soacha, Vía Granada – Soacha 384

Figura 210. Depósitos Fluvio –glaciales y de ladera al sur del Municipio de Soacha. 385

Figura 211. Subcuencas hidrográficas en el municipio de Soacha. 387

Figura 212. Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales en el municipio de Soacha..... 390

Figura 214. Zonificación geomecánica del municipio de Soacha..... 393

Figura 215. Espesor de suelo promedio en el municipio de Soacha 416

Figura 216. Zonificación de la amenaza por movimientos en masa empleado para la obtención de la susceptibilidad por zonas de inicio 417

Figura 217. Susceptibilidad a inicio de flujo de detritos en el municipio de Soacha..... 418

Figura 218. Distribución porcentual de la categorización a inicio de flujo de detritos 419

Figura 219. Diagrama de proceso de identificación del ángulo de alcance (Reach angle). 420

Figura 220. Susceptibilidad al transporte de flujos de detritos o flujos canalizados 424

Figura 221.Distribución porcentual de la distribución de las categorías 425

Figura 222. Zonificación de la amenaza por movimientos en masa empleado para la obtención de la susceptibilidad por zonas de transporte 426

Figura 223. Susceptibilidad al transporte de flujo de detritos – Zoom en área urbana. 427

Figura 224. Subunidades geomorfológicas para el municipio de Soacha. 428

Figura 225. Susceptibilidad al depósito de flujos de detritos. 446

Figura 226. Metodología para la construcción del mapa de avenidas torrenciales 447

Figura 227. Amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:25.000 449

Figura 228. Distribución porcentual de la amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:25.000. 450

Figura 229. Amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:25.000. Zoom al sur del suelo urbano de Soacha, se priorizan áreas para estudio de avenidas torrenciales a escala 1:2.000 452

Figura 230. Amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:25.000. Zoom al suelo de expansión urbana de Soacha, no se priorizan áreas para estudio de avenidas torrenciales a escala 1:2.000 452

Figura 231. Amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:25.000. Zoom al suelo suburbano de Soacha, no se priorizan áreas para estudio de avenidas torrenciales a escala 1:2.000 453

Figura 232. Amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:25.000. Zoom al centro poblado rural Alto de La Cruz. Para este CPR no se priorizan áreas para estudio de avenidas torrenciales a escala 1:2.000 453

Figura 233. Amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:25.000. Zoom al centro poblado rural El Charquito. Se priorizan para la evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:2.000 dentro y hacia los alrededores del CPR 454

Figura 234. Amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:25.000. Zoom al centro poblado rural Chacua Cabrera. Se priorizan para la evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:2.000 dentro y hacia los alrededores del CPR 454

Figura 235. Amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:25.000. Zoom al centro poblado rural Altos de La Florida. Se priorizan para la evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:2.000 dentro y hacia los alrededores del CPR..... 455

Figura 236. Elementos geomorfológicos en el suelo urbano y de expansión urbana 463

Figura 237. Elementos geomorfológicos CPR El Charquito..... 464

Figura 238. Elementos geomorfológicos CPR Chacua Cabrera 464

Figura 239. Elementos geomorfológicos AHR ALTOS DE LA FLORIDA 465

Figura 240. Análisis Hidrológico 466

Figura 241. Análisis Hidráulico 466

Figura 242. Cauces seleccionados para en análisis hidrológico en el suelo urbano de Soacha . 469

Figura 243. Cauces seleccionados para en análisis hidrológico con sus respectivas cuencas hidrográficas en el centro poblado rural Chacua Cabrera 470

Figura 244. Cauces seleccionados para en análisis hidrológico con sus respectivas cuencas hidrográficas en el centro poblado El Charquito..... 470

Figura 245. Cauces seleccionados para en análisis hidrológico con sus respectivas cuencas hidrográficas en el centro poblado Altos de La Florida 471

Figura 246. Estaciones climatológicas seleccionadas para realizar el análisis hidrológico en el área sur del suelo urbano. 472

Figura 247. Estaciones del POMCA del río Bogotá para realizar el análisis hidrológico en los centros poblados rurales El Charquito, Chacua Cabrera y Altos de La Florida..... 472

Figura 248. Estaciones analizadas en el POMCA del río Bogotá para realizar el análisis hidrológico en el centro poblado Altos de La Florida 473

Figura 249. Curva IDF para la estación El Mua 500

Figura 250. Curva IDF para la estación GJA San Jorge 500

Figura 251. Curva IDF para la estación Ponderada..... 501

Figura 252. Curva IDF para los 3 drenajes innominados en el CPR Chacua – Cabrera..... 502

Figura 253. Curva IDF para el drenaje innominado en el CPR El Charquito..... 502

Figura 254. Hietogramas de diseño para Río Soacha – Periodos de retorno de 2, 50 y 100 años 504

Figura 255. Hietogramas de diseño para el Drenaje innominado en el CPR El Charquito – Periodos de retorno de 2, 50 y 100 años..... 505

Figura 256. Hietogramas de diseño para Drenaje innominado en el CPR Alto de La Florida – Periodos de retorno de 2, 50 y 100 años..... 506

Figura 257. Hidrogramas de diseño para el Río Soacha -- Periodos de retorno de 2, 50 y 100 años 506

Figura 258. Hidrogramas de diseño para el Drenaje innominado en el CPR El Charquito- Periodos de retorno de 2, 50 y 100 años..... 508

Figura 259. Hidrogramas de diseño para el Drenaje innominado – AHR Altos de La Florida - Periodos de retorno de 2, 50 y 100 años..... 509

Figura 260. Imágenes del proceso de modelación en HEC RAS..... 512

Figura 261. Ciclo sedimentario en una cuenca hidrográfica..... 520

Figura 262. Hidrograma y sedimentograma, b. Relación lineal entre caudal sólido y líquido. .. 521

Figura 263. Clasificación de flujos realizada por varios autores..... 523

Figura 264. Clasificación de flujos por concentración de sedimentos..... 523

Figura 265. Zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales en el suelo urbano de Soacha 526

Figura 266. Zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales en el suelo urbano de Soacha. Zoom al sur del perímetro urbano. 527

Figura 267. Zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales CPR Alto de La Cruz..... 528

Figura 268. Zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales CPR El Charquito..... 528

Figura 269. Zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales CPR Chacua Cabrera 529

Figura 270. Zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales para el asentamiento humano rural Altos de Florida 530

Figura 271. Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el suelo urbano de Soacha 532

Figura 272. Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales CPR El Charquito 533

Figura 273. Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales CPR Chacua Cabrera . 533

Figura 274. Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales 534

Figura 275. Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el suelo urbano del municipio de Soacha 535

Figura 276. Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales CPR El Charquito 536

Figura 277. Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales CPR Chacua Cabrera 536

Figura 278. Localización general del municipio de Soacha, Cundinamarca 546

Figura 279. Clasificación del municipio de Soacha en suelo urbano y rural 547

Figura 280. División político – administrativa del municipio de Soacha 549

Figura 281. Huella urbana municipio de Soacha 550

Figura 282. Distribución espacial de las construcciones rurales en el Municipio de Soacha 551

Figura 283. Sup. Izquierda cultivos confinados en la vereda Canoas; Sup. Derecha zona industrial en la vereda Panamá; Inf. Izquierda: Zonas habitables en la vereda Panamá; Inf. Derecha: Otras Construcciones (No Habitables) en la vereda Canoas. 553

Figura 284. Detalle de la escala a la que fueron restituidas las vías rurales, urbanas arteriales y conectoras urbano – rurales 554

Figura 285. Sistema vial del municipio de Soacha 554

Figura 286. Relieve municipio de Soacha; Fuente: Municipio de Soacha & ALOS PALSAR 555

Figura 287. Pendientes topográficas para el municipio de Soacha 557

Figura 288. Precipitación municipio de Soacha 558

Figura 289. Temperatura municipio de Soacha 561

Figura 290. Velocidad de los vientos municipio de Soacha 563

Figura 291. Radiación solar municipio de Soacha 566

Figura 292. Estructura ecológica principal del municipio de Soacha 567

Figura 293. Categorías que conforman la Leyenda Nacional de Coberturas de La Tierra 569

Figura 294. Coberturas de la Tierra (Corine Land Cover) municipio de Soacha 573

Figura 295. Área superficial por tipo de cobertura en el municipio de Soacha. 574

Figura 296. Comparación de coberturas observadas en un ortomosaico de alta resolución (izquierda) y en campo (Derecha) 575

Figura 297. Zonas visitadas en campo para validación de coberturas 576

Figura 298. Vegetación de páramo en la vereda Romeral 578

Figura 299. Vegetación subxerofítica en la vereda Canoas 579

Figura 300. Vegetación arbustiva/herbácea en la vereda El Charquito 579

Figura 301.Deforestación por expansión de la frontera agrícola en la vereda Alto del Cabra ... 580

Figura 302. Vegetación boscosa en límites entre los municipios de Soacha y San Antonio del Tequendama 580

Figura 303. Patrimonio histórico y cultural municipio de Soacha 581

Figura 304. Distribución espacial de los incendios forestales ocurridos entre el 2009 y el 2020 en el Municipio de Soacha 588

Figura 305. Factores para el cálculo de la Susceptibilidad por incendios de la cobertura vegetal; Fuente: (IDEAM, 2015) 605

Figura 306. Susceptibilidad por tipo de combustible 609

Figura 307. Susceptibilidad por carga del combustible 613

Figura 308. Susceptibilidad por duración del combustible 617

Figura 309. Susceptibilidad total de la vegetación 621

Figura 310. Diagrama de barras de la distribución de la susceptibilidad por vereda en el Municipio de Soacha. 623

Figura 311. Factores implementados para el cálculo de la Amenaza por incendios de la cobertura vegetal 624

Figura 312. Amenaza por precipitación 626

Figura 313. Amenaza por temperatura 628

Figura 314. Amenaza por Vientos 630

Figura 315. Amenaza por Radiación Solar 632

Figura 316. Amenaza por pendientes topográficas 634

Figura 317. Amenaza por Accesibilidad 637

Figura 318. Amenaza por frecuencia 640

Figura 319. Amenaza Total 643

Figura 320. Procedimiento a seguir luego de la obtención de la zonificación total 647

Figura 321. Esquema para el cálculo de las condiciones de amenaza y riesgo según lo establece el Decreto 1077 de 2015. 648

Figura 322. Zonas expuestas a condición de amenaza por incendios de la cobertura vegetal. 649

Figura 323. Zonas expuestas a condición de riesgo por incendios de la cobertura vegetal. 650

Figura 324. Factores implementados para el cálculo de la vulnerabilidad por incendios de la cobertura vegetal 656

Figura 325. Vulnerabilidad poblacional 660

Figura 326. Vulnerabilidad Económica 662

Figura 327. Vulnerabilidad de las infraestructuras 665

Figura 328. Vulnerabilidad institucional 670

Figura 329. Vulnerabilidad patrimonial 673

Figura 330. Vulnerabilidad física 676

Figura 331. Vulnerabilidad ecológica 679

Figura 332. Vulnerabilidad Territorial 681

Figura 333. Vulnerabilidad total 684

Figura 334. Diagrama de barras de la distribución de la vulnerabilidad por vereda en el Municipio de Soacha. 686

Figura 335. Factores implementados para el cálculo del riesgo por incendios de la cobertura vegetal 687

Figura 336. Riesgo total 689

Figura 337. Diagrama de barras de la distribución del riesgo por vereda en el Municipio de Soacha. 691

Plan de Ordenamiento Territorial

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Clasificación unidades geomorfológicas según origen (Verstappen y Van Zuidam, 1968) 60

Tabla 2. Acciones en áreas con condición de amenaza por fenómenos naturales 83

Tabla 3. Acciones en áreas con condición de riesgo por fenómenos naturales. 85

Tabla 4. Parámetros determinados para el cálculo del factor de seguridad CPR Alto de la Cruz 111

Tabla 5. Parámetros determinados para el cálculo del factor de seguridad CPR El Charquito .. 112

Tabla 6. Parámetros determinados para el cálculo del factor de seguridad CPR Chacua Cabrera 112

Tabla 7. Parámetros geotécnicos para el cálculo del factor de seguridad AHR ALTOS DE LA FLORIDA 112

Tabla 8. Valores de Aa, Av, Ae y Ad para el municipio de Soacha 119

Tabla 9. Definición del tipo de perfil de suelo 119

Tabla 10. Definición del tipo de perfil para cada una de las UGI definidas para el CPR Alto de La Cruz 120

Tabla 11. Definición del tipo de perfil para cada una de las UGI definidas para el CPR El Charquito 120

Tabla 12. Definición del tipo de perfil para cada una de las UGI definidas para el CPR Chacua Cabrera 121

Tabla 13. Definición del tipo de perfil para cada una de las UGI definidas para el AHR ALTOS DE LA FLORIDA..... 121

Tabla 14. Valores propuestos coeficiente Fa-NSR-10..... 121

Tabla 15. Valores del coeficiente de importancia I 122

Tabla 16. Grados de estabilidad según los resultados del factor de seguridad 124

Tabla 17. Zonificación de la amenaza por movimientos en masa para el CPR Alto de La Cruz. 125

Tabla 18. Zonificación de la amenaza por movimientos en masa para el CPR El Charquito 126

Tabla 19. Zonificación de la amenaza por movimientos en masa para el CPR Chacua Cabrera 127

Tabla 20. Zonificación de la amenaza por movimientos en masa para el asentamiento humano rural Altos de Florida 128

Tabla 21. Estaciones identificadas como potenciales para ser usadas en el estudio. (*CO: Climatológica ordinaria; CP: Climatológica principal; PG: Pluviográfica; PM: Pluviométrica). ... 139

Tabla 22. Estaciones disponibles del IDEAM y la CAR. (CO: Climatológica principal; CP: Climatológica principal; PG: Pluviográfica; PM: Pluviométrica.)..... 144

Tabla 23. Información útil en las estaciones disponibles del IDEAM..... 145

Tabla 24. Periodo de estudio homogéneo seleccionado. Fuente: UNAL 147

Tabla 25. Temperatura media promedio multianual [°C]. 168

Tabla 26. Temperatura máxima promedio multianual [°C]. 168

Tabla 27. Temperatura máxima promedio multimultianual [°C]. 168

Tabla 28. Brillo Solar total mensual promedio multianual [horas/mes]. 169

Tabla 29. Evaporación total mensual promedio multianual [mm/mes]..... 170

Tabla 30. Humedad relativa media mensual promedio multianual [%]. 171

Tabla 31. Precipitación total media mensual multianual [mm/mes]..... 172

Tabla 32. Número de días con lluvia. 174

Tabla 33. Precipitación Máxima en 24 horas promedio multianual [mm/día]. 175

Tabla 34. Resultados de las curvas IDF [mm/h]: Estación Apostólica. 179

Tabla 35. Resultados de las curvas IDF [mm/h]: Estación Guaraní. 180

Tabla 36. Resultados de las curvas IDF [mm/h]: Estación El Fute..... 181

Tabla 37. Resultados de las curvas IDF [mm/h]: Estación San Jorge 181

Tabla 38. Resultados de las curvas IDF [mm/h]: Estación Represa Muña 182

Tabla 39. Resultados de las curvas IDF [mm/h]: Estación Granja San Jorge. 183

Tabla 40. Resultados de las curvas IDF [mm/h]: Estación Casablanca. 184
Tabla 41. Resultados de las curvas IDF [mm/h]: Estación La Meseta. 185
Tabla 42. Resultados de las curvas IDF [mm/h]: Estación La Meseta. 186
Tabla 43. Caudal medio promedio multianual [m3/s]. 187
Tabla 44. Metodología adoptada para el cálculo de los parámetros morfométricos. 189
Tabla 45. Clasificación para obtención de Índice morfométrico de torrencialidad. 190
Tabla 46. Clasificación Índice morfométrico. 191
Tabla 47. Calificación de Índice Morfométrico 192
Tabla 48. Principales índices morfométricos de las microcuencas identificadas. 192
Tabla 49. Índices morfométricos de las microcuencas identificadas..... 193
Tabla 50. Estaciones hidrométricas disponibles 196
Tabla 51. Estaciones hidrométricas disponibles 197
Tabla 52. Coberturas vegetales presentes en el municipio de Soacha..... 203
Tabla 53. Textura de suelos presentes en el municipio de Soacha. 205
Tabla 54. Clasificación de suelos según textura..... 206
Tabla 55. Caudales medios mensuales multianuales [m3/s]. 207
Tabla 56. Caudales máximos [m3/s] para diferentes periodos de retorno 209
Tabla 57. Caudales medios mensuales multianuales [m3/s]. 211
Tabla 58. Clasificación del índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales. 212
Tabla 59. Clasificación del Índice de Variabilidad 213
Tabla 60. Resultados de cálculo de índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales. 213
Tabla 61. Índices morfométricos para cada área aferente..... 216
Tabla 62. Parámetros de Ecuación IDF estación Granja San Jorge 223

Tabla 63. Intensidad de precipitación estación Granja San Jorge [mm/h]. 223

Tabla 64. Índices morfométricos para cada área aferente. 230

Tabla 65. Índices morfométricos para cada área aferente. 231

Tabla 66. Caudales para diferentes periodos de retorno [m3/s]. 231

Tabla 67. Categorías datos LIDAR del Rio Soacha y la Quebrada Tibanica. 237

Tabla 68. Número de secciones transversales y puntos de batimetrías realizadas previamente en el Rio Soacha y la Quebrada Tibanica. 238

Tabla 69. Nivel de amenaza utilizada en el documento. 246

Tabla 70. Listado de humedales del municipio de Soacha. 247

Tabla 71. Listado de predios con influencia de inundaciones del humedal Neuta 256

Tabla 72. Listado de eventos de inundación del río Bogotá en el municipio de Soacha. 259

Tabla 73. Fuente: Subdirección de Desarrollo Ambiental Sostenible, Gestión del Riesgo. 267

Tabla 74. Inventario de eventos de inundación del municipio de Soacha (B). 276

Tabla 75. Unidades geomorfológicas 278

Tabla 76. Barrios afectados amenaza inundación. 282

Tabla 77. Acciones en áreas con condición de amenaza por fenómenos naturales. 284

Tabla 78. Acciones en áreas con condición de riesgo por fenómenos naturales. 286

Tabla 79. Eventos históricos de inundación en cercanías a los centros poblados Alto de la Cruz, El Charquito y Chacua Cabrera 296

Tabla 80. Eventos históricos de inundación en cercanías al centro poblado Altos de La Florida 299

Tabla 81. Clasificación de elementos geomorfológicos según su nivel de susceptibilidad ante procesos de inundación en el CPR Alto de la Cruz 303

Tabla 82. Clasificación de elementos geomorfológicos según su nivel de susceptibilidad ante procesos de inundación en el CPR El Charquito 304

Tabla 83. Clasificación de elementos geomorfológicos según su nivel de susceptibilidad ante procesos de inundación en el CPR Chacua – Cabrera 305

Tabla 84. Clasificación de elementos geomorfológicos según su nivel de susceptibilidad ante procesos de inundación en el AHR ALTOS DE LA FLORIDA 306

Tabla 85. Identificación de amenazas. 316

Tabla 86. Datos de Caudales máximos instantáneos de la estación La Isla para un periodo de (1991 – 2014) – POMCA del río Bogotá 320

Tabla 87. Datos de Precipitación máxima en 24 horas de la estación El Mua para un periodo de (1967 – 2002) – POMCA del río Bogotá 321

Tabla 88. Datos de Precipitación máxima en 24 horas de la estación Sibat Apostlica para un periodo de (1971 – 2004) – POMCA del río Bogotá 323

Tabla 89. Datos de Precipitación máxima en 24 horas de la estación GJA San Jorge para un periodo de (1961 – 2005) – POMCA del río Bogotá 325

Tabla 90. Datos de Precipitación máxima en 24 horas de la estación La Unión para un periodo de (1985 – 2015) – POMCA del río Bogotá 327

Tabla 91. Datos de Precipitación máxima en 24 horas de la estación El Mua para un periodo de (1967 – 2002) – POMCA del río Bogotá 328

Tabla 92. Datos de Precipitación máxima en 24 horas de la estación GJA San Jorge para un periodo de (1961 – 2005) – POMCA del río Bogotá 329

Tabla 93. Datos de Precipitación máxima en 24 horas de la estación Pasquilla para un periodo de (1982 – 2015) – POMCA del río Bogotá 332

Tabla 94. Parámetros morfométricos del Río Bogotá, 3 Drenajes innominados del CPR Chacua - Cabrera y 1 Drenaje innominado del CPR El Charquito 343

Tabla 95. Tiempo de concentración para el Río Bogotá, 3 Drenajes innominados del área Chacua -Cabrera y 1 Drenaje innominado del área El Charquito 344

Tabla 96. Parámetros morfométricos del Río Soacha y el Drenaje innominado en el AHR ALTOS DE LA FLORIDA..... 344

Tabla 97. 345

Tabla 98. Zonificación de amenaza por inundación. 357

Tabla 99. Zonificación de la amenaza por inundaciones en el CPR Altos de la Cruz 358

Tabla 100. Zonificación de la amenaza por inundaciones en el CRP El Charquito..... 358

Tabla 101. Zonificación de la amenaza por inundaciones en el CPR Chacua – Cabrera..... 360

Tabla 102. Zonificación de la amenaza por inundaciones en el AHR Altos de La Florida 361

Tabla 103. Catálogo de eventos históricos relacionados con eventos torrenciales para el municipio de Soacha. 385

Tabla 104. Índices de compacidad para la definición de la forma. 388

Tabla 105. Categorización del alineamiento. 388

Tabla 106. Categorías de clasificación de la densidad de drenaje..... 389

Tabla 107. Categorización del IVET acorde con el índice de variabilidad y el índice morfométrico. 389

Tabla 108. Categorización de la susceptibilidad a inicio de flujo de detritos..... 392

Tabla 109. Matriz de criterios para la definición de la categoría de susceptibilidad a inicio de avenidas torrenciales. 392

Tabla 110. Parámetros geotécnicos empleados en el análisis de avenidas torrenciales 394

Tabla 111. Distribución de área de la categorización a inicio de flujo de detritos..... 419

Tabla 112. Cálculo del ángulo de alcance para el modelamiento realizado en el municipio de Soacha. 421

Tabla 113. Valores máximos de velocidad (m/s) y probabilidad de trayectoria (invadir una celda). 422

Tabla 114. Categorización de la intensidad de eventos de avenidas torrenciales..... 423

Tabla 115. Categorización de susceptibilidad a transporte de avenidas torrenciales en el municipio de Soacha. 424

Tabla 116. Distribución en área y porcentual de la categorización de la susceptibilidad al transporte de flujos de detritos. 425

Tabla 117. Calificación de las subunidades geomorfológicas como zonas de depósitos de avenidas torrenciales. 429

Tabla 118. Matriz de caracterización de la amenaza por avenidas torrenciales para el municipio de Soacha. 447

Tabla 119. Caracterización de las categorías de la amenaza por avenidas torrenciales. 448

Tabla 120. Descripción y clasificación de elementos geomorfológicos según la zona a la que pertenecen en caso de la materialización de una avenida torrencial para el suelo urbano de Soacha 456

Tabla 121. Descripción y clasificación de elementos geomorfológicos según la zona a la que pertenecen en caso de la materialización de una avenida torrencial para los centros poblados rurales El Charquito, Chacua Cabera y Altos de La Florida 460

Tabla 122. Identificación de amenazas..... 467

Tabla 123. Datos de Precipitación máxima en 24 horas de la estación El Mua para un periodo de (1967 – 2002). 473

Tabla 124. Datos de Precipitación máxima en 24 horas de la estación GJA San Jorge para un periodo de (1961 – 2005). 475

Tabla 125. Datos de Caudales máximos instantáneos de la estación La Isla para un periodo de (1991 – 2014) – POMCA del río Bogotá 477

Tabla 126. Datos de Precipitación máxima en 24 horas de la estación El Mua para un periodo de (1967 – 2002) – POMCA del río Bogotá 478

Tabla 127. Datos de Precipitación máxima en 24 horas de la estación Sibat Apostlica para un periodo de (1971 – 2004) 480

Tabla 128. Datos de Precipitación máxima en 24 horas de la estación GJA San Jorge para un periodo de (1961 – 2005) 482

Tabla 129. Datos de Precipitación máxima en 24 horas de la estación La Unión para un periodo de (1985 – 2015) – POMCA del río Bogotá 484

Tabla 130. Datos de Precipitación máxima en 24 horas de la estación El Mua para un periodo de (1967 – 2002) – POMCA del río Bogotá 485

Tabla 131. Datos de Precipitación máxima en 24 horas de la estación GJA San Jorge para un periodo de (1961 – 2005) – POMCA del río Bogotá 487

Tabla 132. Datos de Precipitación máxima en 24 horas de la estación Pasquilla para un periodo de (1982 – 2015) – POMCA del río Bogotá 489

Tabla 133. Número de curva para los cauces seleccionados en el área de estudio. 493

Tabla 134. Parámetros morfométricos para los cauces seleccionados en el suelo urbano de Soacha 497

Tabla 135. Parámetros morfométricos del Río Bogotá, 3 Drenajes innominados del CPR Chacua - Cabrera y 1 Drenaje innominado del CPR El Charquito 498

Tabla 136. Parámetros morfométricos del Drenaje Innominado del centro poblado rural 499

Tabla 137. Datos para la obtención de los Hietogramas de diseño 503

Tabla 138. Clasificación de pendientes 512

Tabla 139. Valores de número de curva para diferentes grupos hidrológicos y de usos del suelo 514

Tabla 140. Tiempo de concentración y tiempo de retardo para los cauces seleccionados en el suelo urbano de Soacha 517

Tabla 141. Tiempo de concentración para el Río Bogotá, 3 Drenajes innominados del área Chacua -Cabrera y 1 Drenaje innominado del área El Charquito 518

Tabla 142. Tiempo de concentración para el Drenaje Innominado en el AHR ALTOS DE LA FLORIDA 518

Tabla 143. Caudales máximos instantáneos para diferentes periodos de retorno para los drenajes del suelo urbano de Soacha 519

Tabla 144. Caudales máximos instantáneos para diferentes periodos de retorno Río Bogotá en el CPR El Charquito 519

Tabla 145. Caudales máximos instantáneos para diferentes periodos de retorno drenajes CPR Chacua Cabrera 520

Tabla 146. Caudales máximos instantáneos para diferentes periodos de retorno para el Drenaje Innominado en el AHR ALTOS DE LA FLORIDA 520

Tabla 147. Caudales máximos instantáneos ajustados con el factor de Bulking para diferentes periodos de retorno para los drenajes del suelo urbano de Soacha 524

Tabla 148. Caudales máximos instantáneos ajustados con el factor de Bulking para diferentes periodos de retorno Río Bogotá en el CPR El Charquito 524

Tabla 149. Caudales máximos instantáneos ajustados con el factor de Bulking para diferentes periodos de retorno drenajes CPR Chacua Cabrera 525

Tabla 150. Caudales máximos instantáneos ajustados con el factor de Bulking para diferentes periodos de retorno para el Drenaje Innominado en el AHR ALTOS DE LA FLORIDA 525

Tabla 151. Zonificación y descripción de la amenaza por avenidas torrenciales 525

Tabla 152. Zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales en el suelo urbano y de expansión urbana..... 527

Tabla 153. Zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales en el CPR Charquito..... 529

Tabla 154. Zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales en el CPR Charquito..... 530

Tabla 155. Marco Normativo – Incendios Forestales 540

Tabla 156. División política – veredal y extensión superficial por vereda 548

Tabla 157. Distribución espacial de las construcciones en suelo rural 551

Tabla 158. Categorización por rangos para las pendientes topográficas; Fuente: (IDEAM & CAR, 2014) 556

Tabla 159. Pendientes topográficas para el municipio de Soacha 557

Tabla 160. Estaciones implementadas para la elaboración del mapa de precipitación. 559

Tabla 161. Estaciones implementadas para la elaboración del mapa de temperatura. 560

Tabla 162. Estaciones implementadas para la elaboración del mapa de velocidad de los vientos. 562

Tabla 163. Nube de puntos implementada para el cálculo del brillo solar. 565

Tabla 164. Categorías asociadas a los territorios artificializados en el municipio de Soacha.... 570

Tabla 165. Categorías asociadas a los territorios agrícolas en el municipio de Soacha. 570

Tabla 166. Categorías asociadas a los bosques y áreas seminaturales en el municipio de Soacha. 571

Tabla 167. Categorías asociadas a las áreas húmedas en el municipio de Soacha. 572

Tabla 168. Categorías asociadas a las superficies de agua en el municipio de Soacha. 572

Tabla 169. Zonas visitadas en campo para validación de coberturas 577

Tabla 170. Patrimonio histórico del municipio de Soacha. 582

Tabla 171. Patrimonio cultural del municipio de Soacha. 583

Tabla 172. Localización de eventos asociados con incendios de la cobertura vegetal. 587

Tabla 173. Escalas de trabajo según el Decreto 1077 de 2015 589

Tabla 174. Insumos y ficha técnica de la información implementada para la elaboración de la zonificación de amenazas y riesgos por incendios forestales 590

Tabla 175. Zonificación de susceptibilidad y amenaza por incendios forestales 595

Tabla 176. Control de calidad Temático durante el desarrollo del proyecto 598

Tabla 177. Control de calidad Cartográfico durante el desarrollo del proyecto 599

Tabla 178. Estandarización de datos según metodología IDEAM (2011) 602

Tabla 179. Estandarización de datos según metodología IDEAM – CAR (2014) 602

Tabla 180. Estandarización de datos propuesta por Siglo XXII SAS 603

Tabla 181. Categorización de la susceptibilidad por tipo de combustible según metodología. . 606

Tabla 182. Calificación y categorización por tipo de combustible para el municipio de Soacha. 606

Tabla 183. Definición de categorías y puntajes para la susceptibilidad por tipo de combustible 608

Tabla 184. Categorización de la susceptibilidad por carga de combustible según metodología. 610

Tabla 185. Calificación y categorización por carga de combustible para el municipio de Soacha. 611

Tabla 186. Definición de categorías y puntajes para la susceptibilidad por carga de combustible 613

Tabla 187. Categorización de la susceptibilidad por duración del combustible según metodología. 614

Tabla 188. Calificación y categorización por duración del combustible para el municipio de Soacha. 615

Tabla 189. Definición de categorías y puntajes para la susceptibilidad por duración de combustible 618

Tabla 190. Pesos definidos para el cálculo de susceptibilidad total 618

Tabla 191. Rangos y puntajes y categoría para la susceptibilidad total. 619

Tabla 192. Áreas y porcentajes susceptibilidad total en el municipio de Soacha. 620

Tabla 193. Distribución de la susceptibilidad en el municipio de Soacha 622

Tabla 194. Definición de rangos y puntajes – Amenaza por Precipitación 625

Tabla 195. Definición de rangos y puntajes para la amenaza por temperatura. 627

Tabla 196. Definición de rangos y puntajes para la amenaza por vientos. 629

Tabla 197. Definición de rangos y puntajes para la amenaza por radiación solar 631

Tabla 198. Definición de rangos y puntajes para la amenaza por pendientes topográficas. 633

Tabla 199. Definición de rangos y puntajes para la amenaza por accesibilidad de vías rurales. 635

Tabla 200. Definición de rangos y puntajes para la amenaza por accesibilidad de vías conectoras urbano-rurales. 636

Tabla 201. Definición de rangos y puntajes para la amenaza por frecuencia de incendios 639

Tabla 202. Pesos definidos para el cálculo de la amenaza total 642

Tabla 203. Categorización y calificación de variables para la amenaza total. 642

Tabla 204. Áreas y porcentajes por amenaza total en el municipio de Soacha. 644

Tabla 205. Leyenda de amenaza por incendios de la cobertura vegetal Municipio de Soacha.. 645

Tabla 206. Listado de Anexos. 654

Tabla 207. Ecuaciones y pesos para el cálculo de la vulnerabilidad y el riesgo según metodología. 655

Tabla 208. Categorización vulnerabilidad poblacional según metodología 657

Tabla 209. Clasificación, calificación y categorización propuesta para la vulnerabilidad poblacional. 657

Tabla 210. Estimación del promedio de habitantes/km2 para el municipio de Soacha 658

Tabla 211. Vulnerabilidad poblacional para el municipio de Soacha 659

Tabla 212. Calificación y categorización por vereda para la vulnerabilidad poblacional. 660

Tabla 213. Definición de rangos y puntajes – Vulnerabilidad económica 661

Tabla 214. Áreas y porcentajes obtenidos para la vulnerabilidad económica. 663

Tabla 215. Definición de rangos y puntajes – Vulnerabilidad de la infraestructura 664

Tabla 216. Áreas y porcentajes obtenidos para la vulnerabilidad de la infraestructura. 664

Tabla 217. Listado de infraestructuras para la atención de riesgos y desastres en el municipio de Soacha. 666

Tabla 218. Velocidad media de desplazamiento propuesta para un vehículo que se desplaza hacia determinada zona 668

Tabla 219. Definición de categorías frente a la respuesta en tiempo de organismos de atención de riesgos y desastres 669

Tabla 220. Definición de rangos y puntajes – Vulnerabilidad Institucional 669

Tabla 221. Áreas y porcentajes obtenidas para la vulnerabilidad institucional 671

Tabla 222. Definición de rangos y puntajes – Vulnerabilidad Patrimonial 672

Tabla 223. Áreas y porcentajes obtenidas para la vulnerabilidad patrimonial. 674

Tabla 224. Definición de rangos y puntajes para la vulnerabilidad física 675

Tabla 225. Definición de áreas y porcentajes para la vulnerabilidad física. 675

Tabla 226. Definición de rangos y puntajes para la vulnerabilidad ecológica 677

Tabla 227. Definición de áreas y porcentajes para la vulnerabilidad ecológica. 678

Tabla 228. Definición de rangos y puntajes para la vulnerabilidad ecológica 680

Tabla 229. Definición de áreas y porcentajes para la vulnerabilidad territorial. 680

Tabla 230. Pesos definidos para el cálculo de la vulnerabilidad total 682

Tabla 231. Categorización y calificación de variables para la vulnerabilidad total. 683

Tabla 232. Áreas y porcentajes vulnerabilidad total en el municipio de Soacha. 685

Tabla 233. Distribución de la vulnerabilidad en el municipio de Soacha 685

Tabla 234. Áreas y porcentajes vulnerabilidad total en el municipio de Soacha. 688

Tabla 235. Distribución del riesgo en el municipio de Soacha 690

Tabla 236. Medidas de mitigación no estructurales, restricciones o condicionamientos y normas urbanísticas componente urbano 692

Tabla 237. Medidas de mitigación estructurales componente urbano 695

Tabla 238. Medidas de mitigación estructurales componente rural 729

Tabla 239. Líneas de atención de emergencia municipio de Soacha 745

I. INTRODUCCIÓN

El ordenamiento territorial tiene como fin establecer la aptitud de localización de actividades en el suelo de acuerdo a las oportunidades que ofrezca el territorio. Este ordenamiento debe además garantizar la calidad de vida de los habitantes, así como mejorar la seguridad de los asentamientos humanos ante los riesgos naturales.

De esta manera, es deber del ordenamiento territorial identificar y zonificar las áreas que presenten riesgos por amenazas naturales para la localización de asentamientos humanos. De esta forma, las políticas, directrices y regulaciones sobre prevención de amenazas y riesgos naturales, el señalamiento y localización de las áreas de riesgo para asentamientos humanos, así como las estrategias de manejo de zonas expuestas a amenazas y riesgos naturales son una determinante del ordenamiento territorial.[1]

La incorporación de la gestión del riesgo dentro de los planes de ordenamiento territorial está fundamentada en el desarrollo e inclusión de estudios básicos de amenaza por los fenómenos naturales de movimientos en masa, inundación y avenidas torrenciales. Estos estudios constituirán una valiosa herramienta que permite determinar las áreas en condición de amenaza y riesgo, así como hace posible la formulación de medidas de mitigación estructurales y no estructurales que mejoran la calidad de vida y seguridad de la población afectada o en el área de influencia.

Los estudios desarrollados en el presente documento dan cumplimiento a lo estipulado en el decreto 1077 de 2015 del ministerio de vivienda, el cual en su sección 3 otorga los lineamientos para la inclusión de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial.

II. OBJETIVOS

a. Orientar las acciones de la administración municipal y del municipio de Soacha en cuanto al conocimiento del riesgo, la reducción del riesgo y el manejo de desastres en cumplimiento de las Políticas de Gestión del Riesgo, que contribuyan a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y el desarrollo sostenible del municipio.

---

[1] MINAMBIENTE: http://www.minambiente.gov.co/index.php/gestion-del-riesgo-de-desastres/la-incorporacion-de-riesgo-en-el-ordenamiento-territorial

b. Reducción de la población asentada en áreas de riesgo no mitigable.

c. Imposibilitar el desarrollo de áreas con condición de amenaza alta no mitigable.

III. ESTRATEGIAS

a. Condicionamiento de áreas no desarrolladas con niveles medios o altos de amenaza a estudios de detalle para determinar su potencial de uso y necesidades de mitigación del riego.
b. Establecer las áreas de amenaza con condiciones de riesgo no mitigable como áreas de protección incorporándolas a la estructura ecológica principal del municipio.

IV. EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

Para evaluar la vulnerabilidad en el municipio, se ha tenido en cuenta la ocupación general del mismo por parte de sus habitantes, identificando de esta manera los elementos expuestos siendo estos las construcciones e infraestructuras que permiten el desarrollo de las actividades humanas en el territorio tal como lo menciona el decreto 1077 de 2015 en su artículo 2.2.2.1.3.2.2.4.

De acuerdo a lo anterior, se identifica para el municipio de Soacha que cuenta con una población mayoritariamente concentrada en su perímetro urbano, siendo esta el 99,3% del total municipal. En la conformación de su huella urbana, se presentan construcciones dentro de las rondas hidráulicas de los cuerpos hídricos allí presentes, y la ocupación histórica de terrenos que antes conformaban humedales; la ocupación de topografía abrupta también ha sido un comportamiento usual en sus habitantes, por lo que sus construcciones están expuestas a la inestabilidad de los terrenos.

En cuanto al área rural del municipio, hay una gran dispersión en las construcciones, habiendo aglomeraciones en los centros poblados de El Charquito y Chacua. El municipio en su área rural cuenta con el tránsito de varias vías regionales y nacionales importantes que hacen parte de la infraestructura vital regional.

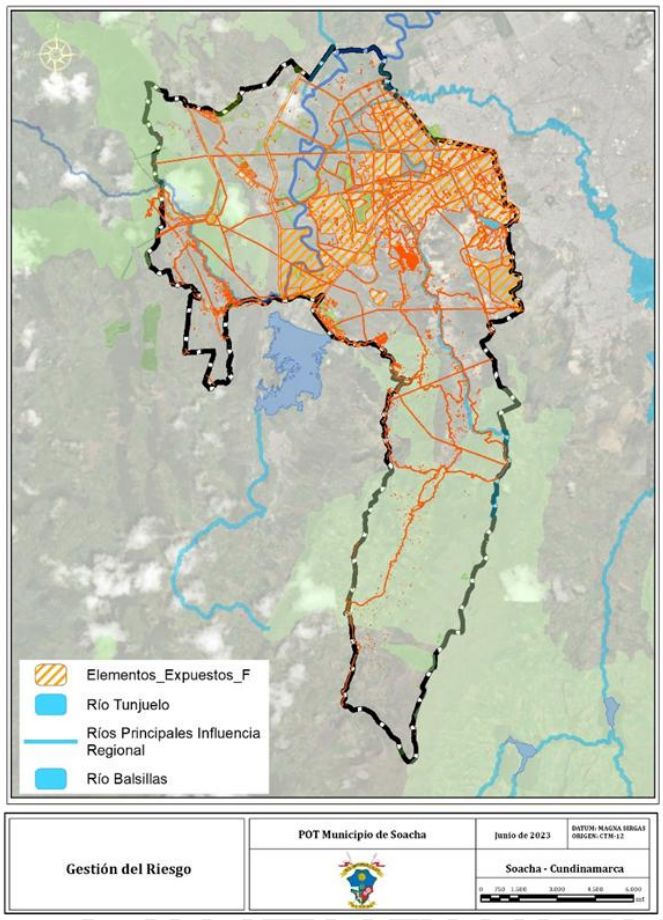


Figura 1. Identificación de elementos expuestos.
Secretaría de Planeación y Ordenamiento Territorial

V. CRITERIOS DE ACTUACIÓN

La aptitud del suelo en áreas propensas a eventos naturales peligrosos está supeditada a la condición de mitigabilidad o posibilidad de reducción del nivel de amenaza y riesgo que exista en la respectiva área.

Lo anterior se puede definir una vez se realicen los estudios detallados y especificados de acuerdo con las exigencias y términos base para las áreas identificadas por el municipio como de amenaza media y alta y riesgo alto (Decreto 1077 de 2015, art. 2.2.2.1.3.1.4), según lo determinan los estudios básicos disponibles y la zonificación realizada por parte del municipio con este propósito.

Así, una vez realizados los estudios detallados y definida su situación de mitigabilidad y por lo tanto la posibilidad o no de disminuir la condición de amenaza o riesgo, se determinará si estos

suelos podrían ser utilizados o si, por otro lado, serán suelos de protección y por lo tanto tengan que ser restringidos.

Inicialmente el municipio no catalogará ningún suelo como de protección por amenaza o riesgo alto no mitigable hasta tanto no se determine que las áreas con las anteriores condiciones puedan ser intervenidas (Decreto 1077 de 2015, art. 2.2.2.1.3.3.2); es decir, si es factible cambiar el nivel o grado de amenaza o riesgo en el sitio.

La delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza y riesgo de las que tratan los artículos 2.2.2.1.3.2.1.4 y 2.2.2.1.3.2.1.5 del Decreto 1077 de 2015, en cuanto a los fenómenos de remoción en masa, avenidas torrenciales e inundación, tienen como insumo los estudios básicos ya mencionados y se determinan de la siguiente manera:

VI. ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA

La delimitación de estos suelos propone una gestión prospectiva del territorio, dado que su objetivo principal es el de prevenir la aparición de nuevas condiciones de riesgo en estos limitando, condicionando o restringiendo el desarrollo de los terrenos afectados.

Los terrenos enmarcados con esta categoría tendrán su desarrollo condicionado, y estarán sujetos a la mitigabilidad de la amenaza existente en el sitio. En otras palabras, el suelo de desarrollo condicionado corresponde a un área restringida de ocupación hasta que se decida la factibilidad de reducir la amenaza y/o riesgo.

Las áreas o zonas del territorio municipal que se clasificaran con condición de amenaza, se limitaran al suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales tal como lo describe el artículo 2.2.2.1.3.1.3 del Decreto 1077 de 2015.

VII. ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO

La delimitación de las áreas con condición de riesgo está enmarcada en la gestión correctiva del territorio en tanto se hace la valoración de aquellas zonas ya desarrolladas en el municipio que se encuentran dentro de áreas consideradas con amenaza, luego estas zonas han de ser evaluadas mediante estudios detallados con el fin de determinar la mitigabilidad o no mitigabilidad a través de intervenciones físicas que reduzcan o eviten el incremento de la amenaza o vulnerabilidad.

La mitigabilidad de las zonas en riesgo dependerán de su viabilidad de ejecución desde el punto de vista técnico, financiero y urbanístico tal como lo indica el artículo 2.2.2.1.3.2.2.5 del Decreto 1077 de 2015. Bajo esta evaluación se obtendrá la definición del riesgo alto mitigable o riesgo alto no mitigable.

VIII. DELIMITACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LAS ÁREAS DE AMENAZA POR FENÓMENOS NATURALES EN EL MUNICIPIO

Con el fin de realizar una adecuada gestión del riesgo de desastres, el municipio contrató la realización de estudios básicos de amenaza para el territorio municipal de conformidad con lo estipulado en los artículos 2.2.2.1.3.2.1.1, 2.2.2.1.3.2.1.2 y 2.2.2.1.3.2.1.3 del decreto 1077 de 2015, los cuales hacen parte integral del presente documento, y se enmarcan bajo los siguientes contratos:

a. ZONIFICACIÓN GEOMECÁNICA Y DE AMENAZAS POR MOVIMIENTO EN MASA EN EL MUNICIPIO DE SOACHA CUNDINAMARCA ZONA URBANA Y DE EXPANSIÓN URBANA ESCALA 1:5000 (Para zonas urbanas, de expansión urbana y centros poblados) de fecha MARZO DE 2012, Y ZONIFICACIÓN GEOMECÁNICA Y AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL MUNICIPIO DE SOACHA – CUNDINAMARCA ESCALA 1:25000 (Para zona rural) de fecha FEBRERO DE 2013, desarrollados por el SERVICIO GEOLOGICO COLOMBIANO.
b. ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZA POR INUNDACIÓN EN EL MUNICIPIO DE SOACHA– CUNDINAMARCA, desarrollados en el año 2017, por parte de la UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA – Grupo de Investigación Biogestión, en marco del contrato interadministrativo 1201-2016.
c. ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES PARA EL MUNICIPIO DE SOACHA – CUNDINAMARCA, desarrollados en el año 2017, por parte de la UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA – Grupo de Investigación Biogestión, en marco del contrato interadministrativo 1201-2016.
d. ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZA POR INCENDIOS FORESTALES PARA EL MUNICIPIO DE SOACHA – CUNDINAMARCA, desarrollado en el año 2020, por parte de la empresa SIGLO XXII, bajo supervisión de ProBogotá.
e. MEDIDAS DE ADAPTACIÓN FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO PARA INCORPORAR EN EL PLAN DE ORDENAMIENTO DEL MUNICIPIO DE SOACHA, elaborado por la ingeniera Fernanda Montenegro Diez, parte del equipo formulador del Plan de Ordenamiento Territorial de Soacha.

A partir de los anteriores estudios se determinó que el municipio cuenta con **11039,06 Hectáreas** de su extensión con algún tipo de amenaza de nivel medio o alto, de las cuales **6865,27 Hectáreas** corresponden a **niveles altos de amenaza**, lo cual corresponde al **37,23%** de la extensión total del municipio.

1. ESTUDIOS BÁSICOS DE REMOCIÓN EN MASA

Para integrar adecuadamente la gestión del riesgo por fenómenos de remoción en masa en el presente plan, se desarrolló el estudio de zonificación geomecánica y de amenazas por movimiento en masa en el municipio de Soacha Cundinamarca para la zona urbana y de expansión urbana escala 1:5000 y la rural escala 1:25000, el cual estuvo a cargo del Servicio Geológico Colombiano

(en adelante SGC), antiguo INGEOMINAS en el año 2012. Posteriormente se realizó la actualización del estudio para los centros poblados de El Charquito y Chacua por parte de la Secretaría de Planeación y Ordenamiento Territorial en el documento "Apéndice - zonificación geomecánica y de amenazas por movimientos en masa en los centros poblados El Charquito y Chacua, municipio de Soacha Cundinamarca escala 1:5000", teniendo como base los anteriores estudios con el fin de obtener el nivel de detalle requerido para estas zonas.

1.1. OBJETIVOS Y ALCANCE

El objeto es elaborar la zonificación geomecánica y de amenaza por movimientos en masa del municipio de Soacha en el Departamento de Cundinamarca a partir de la caracterización de los materiales de superficie y su interrelación con diversos detonantes de tipo natural y antrópico en un área aproximada de 18.447 hectáreas a una escala 1:25.000 y a nivel urbano, áreas de expansión y centros poblados en un área aproximada de 3200 Ha. a una escala 1:5000 que permita su uso para la toma de decisiones aplicado al POT del municipio. El alcance del estudio de acuerdo a lo establecido en el convenio, está dado por las siguientes consideraciones:

a. Caracterizar la zona urbana y rural del municipio de Soacha desde el punto de vista geológico y geomorfológico.
b. Realizar exploración directa e indirecta para la obtención de información geotécnica.
c. Realizar la zonificación geomecánica del municipio.
d. Identificar los procesos denudacionales más relevantes en las zonas de estudio, y los principales detonantes de los mismos (lluvia, sismo, factores antrópicos, actividad minera, etc.).
e. Efectuar una zonificación geomecánica a escala 1: 25.000 del municipio y 1:5000 del área urbana, expansión y centros poblados con el fin de determinar las zonas con comportamientos geomecánicos especiales, así como las propiedades geomecánicas de los materiales geológicos de superficie de la zona de estudio.
f. Con los datos recopilados desarrollar una zonificación de amenaza por movimientos en masa del municipio a escala 1:25.000.
g. Con los datos recopilados desarrollar una zonificación por movimientos en masa del casco urbano del municipio a escala 1:5.000.
h. Identificar los sitios que presentan los problemas más críticos en la zona de estudio con el fin de recomendar estudios específicos
i. Identificar los factores que contribuyen a la estabilidad de dichos sectores. Identificar los usos recomendados para estas zonas.

1.2. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZA POR FEÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA

Teniendo en cuenta las exigencias de la alcaldía, la cual requiere herramientas técnicas para la toma de decisiones en especial en la zona urbana, área en la cual se presentan la mayoría de los problemas críticos, y debido a la escala de trabajo y al nivel de detalle que se requiere se realizó un método que permitió disminuir la subjetividad de las valoraciones e introducir un manejo más sistemático de la información, usando las siguientes metodologías para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa:

a. Inventario de deslizamientos.
b. Evaluación determinística.

Con base en esta definición, se programó la ejecución de las actividades de las diferentes temáticas que alimentarían los métodos a aplicar, de manera que durante los trabajos de campo y obtención de parámetros se capturara toda la información necesaria para su correcta aplicación.

Figura 2. Esquema metodológico general utilizado para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa.

Fuente: SGC2012

La información existente de origen secundario recolectada para el estudio es la siguiente:

a. Estudio básico para la conformación de un parque minero industrial para el ordenamiento y desarrollo de la actividad extractiva y transformadora de minerales arcillosos con fines a la desmarginalización de barrios en el distrito capital.

b. Mapa de amenazas geológicas por remoción en masa y erosión del departamento de Cundinamarca Fase II.

c. Pre diagnóstico para la formulación del plan parcial de renovación urbana integral para Cazucá y altos de Cazucá, en el municipio de Soacha (Cundinamarca).

d. Estudio técnico, ambiental, económico y empresarial para la integración de áreas mineras de materiales de construcción en el municipio de Soacha - Cundinamarca.

e. Estudio geotécnico Cazucá sector la Capilla.

f. Deslizamiento en el barrio Villa Esperanza, municipio de Soacha, Cundinamarca.

g. Informe técnico sobre la visita de emergencia al barrio Villa Esperanza del municipio de Soacha – Cundinamarca.

h. Consultoría para el estudio de amenaza y riesgo por fenómenos de remoción en masa para el proyecto de vivienda y obras de acueducto y alcantarillado del barrio el Oasis, ubicado en los altos de Cazucá que pertenece a la comuna IV del municipio de Soacha, Cundinamarca.

i. Plan de ordenamiento territorial, 2000. Planeación Municipal Soacha – Cundinamarca.

j. Evaluación de Amenaza Geológica en 8 municipios alrededor de Bogotá, JICA y Dirección de Atención y Prevención de Emergencias de Bogotá, 2001.

k. Estudio de riesgo, estabilización y recuperación del sector de la Represa de Terreros, Ingeniería y Geotecnia Ltda. y Oficina de Planeación de Soacha, 1997.

l. Estudio de zonas de alto riesgo (Alcaldía Municipal de Soacha, 1992)

m. Análisis y consolidación de amenazas, riesgos y vulnerabilidad para el casco urbano y zonas aledañas en el municipio de Soacha (Tesis Universidad Distrital F.J.C, 2005).

n. Plan económico para la competitividad de Soacha (Cámara de Comercio de Bogotá, 2005).
o. Zonificación Geomecánica de la Sabana de Bogotá. INGEOMINAS. 2005.

p. Zonificación de amenaza por movimientos en masa de tres Sectores del Municipio de Soacha. Fase I. INGEOMINAS. 2005.

q. Se verificó la información existente a nivel de fotografías aéreas e imágenes satelitales con que cuenta el municipio u otras entidades, así como información de tipo hidrológico e hidrogeológico que se requiera para efectuar los trabajos.

1.2.1. GEOLOGÍA Y UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES

Como insumo fundamental para la elaboración del producto final, el SGC realizó el mapa de geología, el cual fue desarrollado bajo las siguientes actividades:

a. Recopilación de la información temática, donde se consultaron las entidades del orden oficial y privado para recolectar la información disponible en cuanto a cartografía geológica, topografía, imágenes de satélite y fotografías aéreas.

b. Revisión de imágenes de satélite y fotografías aéreas del área de estudio, realizándose una interpretación preliminar para determinar las Unidades Geológicas Superficiales (unidades de roca, suelos residuales y transportados) y geoformas asociadas a éstas, procesos morfodinámicos y rasgos estructurales, entre otros.

c. Reconocimiento, verificación, ajuste y complementación de la información de Unidades Geológicas Superficiales, mediante trabajo de campo, donde se describieron y cartografiaron las geoformas asociadas a las unidades geológicas, además de caracterizar los elementos estructurales tales como fallas, pliegues, lineamientos y discontinuidades menores.

d. Levantamiento detallado de discontinuidades.

e. Evaluación y procesamiento de la información de campo, elaboración de mapas preliminares de Unidades Geológicas Superficiales, unidades geomorfológicas y de las bases de datos geomorfológicos.

f. Posteriormente el mapa de UGS se cruzó con los datos producto de la exploración geotécnica lo cual permitió elaborar el mapa de geología para ingeniería con una caracterización y clasificación de macizos rocosos de acuerdo a su comportamiento en ingeniería, mapa que fue posteriormente usado para el desarrollo de la zonificación geomecánica para la caracterización geomecánica de los materiales geológicos presentes.

g. Digitalización de mapas

h. Elaboración de la memoria técnica explicativa.

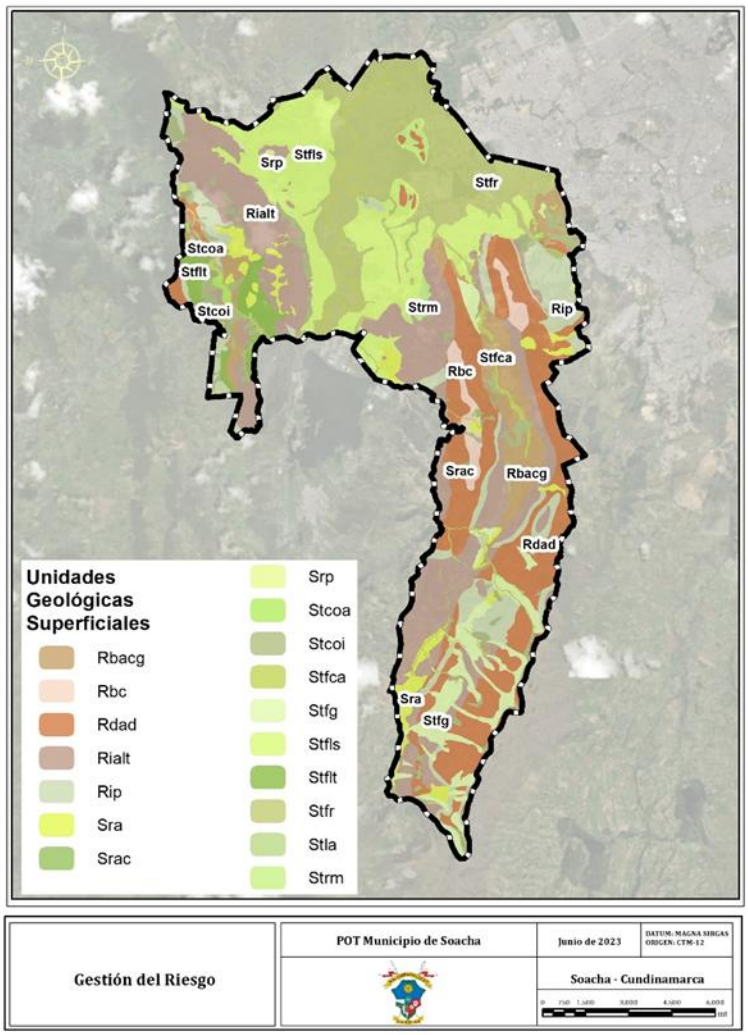


Figura 3. Mapa resultado de Unidades Geológicas superficiales del municipio de Soacha.

Fuente: SGC

1.2.2. GEOMORFOLOGÍA DEL MUNICIPIO

Al igual que el componente geológico, la geomorfología hace parte integral de los insumos que el SGC desarrolló como parte del estudio de amenaza. El estudio de la geomorfología en el municipio de Soacha está enfocado hacia la clasificación de las formas del terreno y su origen, mediante la agrupación de rocas y suelos, dentro de categorías con base en características como: composición mineralógica y litológica; disposición estructural, procesos activos y distribución geométrica de los

cuerpos rocosos o de los depósitos de suelo. En ese sentido la información geomorfológica básica y temática, se constituye en el documento de integración de las variables mencionadas, además de la información particularmente morfométrica, las cuales dan la posibilidad de definir zonas con características geomecánicas homogéneas.

La cartografía geomorfológica descrita en el estudio fue elaborada con base en la metodología presentada en el documento "Propuesta metodológica para la cartografía geomorfológica aplicada a Geomecánica" desarrollada por INGEOMINAS" (2005). Esta a su vez está basada en los principios desarrollados en el "Sistema del ITC de Holanda para levantamientos geomorfológicos" (Verstappen y van Zuidam, 1968, Verstappen 1975, Van Westen K. y van Zuidam et. al., 1979, 1982, 1993).

En la Tabla n° 1 se enumeran las geoformas del terreno clasificadas de acuerdo con su origen, siguiendo la metodología del ITC. En algunas ocasiones surgen problemas cuando se trata de clasificar una unidad de terreno en términos geomorfológicos de acuerdo con su origen, ya que se superponen geoformas originadas por procesos diferentes, o la geoforma ha evolucionado y/o ha sido erosionada posteriormente a su formación, como es el caso de los orígenes estructural y denudacional. En dicho caso se opta por unir los dos principales orígenes en una clase única: formas de origen estructural/denudacional; así mismo pueden existir superposiciones entre origen denudacional y fluvial tomándose una clase única denudacional/fluvial.

Tabla 1. Clasificación unidades geomorfológicas según origen (Verstappen y Van Zuidam, 1968)

ORIGEN PRINCIPAL	EJEMPLOS DE FORMAS CON UN ORIGEN ESPECIFICO
FLUVIAL **Erosión fluvial y sedimentación**	Geoformas de acumulación y complejas planicies aluviales, transicionales y erosiónales.
LACUSTRE **Erosión lagunar y sedimentación**	Geoformas producto de niveles de agua alta (terrazas), fondos de lagos (Evaporitas/playa, no evaporadas)
MARINO **Erosión marina y sedimentación**	Geoformas de ambientes de alta energía (materiales de grano grueso); de ambientes de baja energía (materiales de grano fino) y asociadas a complejos levantamientos.
VOLCANICO **Actividad volcánica**	Geoformas de conos, cráteres, escarpes volcánicos, flujos de lava y labradas en materiales piroclásticos.
DENUDACIONAL **Meteorización, desgaste de masa, erosión linear**	Geoformas asociadas a desgastes, efectos litológicos no mayores. Geoformas influenciadas por la litología y erosión fluvial linear y asociadas con procesos denudativos específicos (desgaste de masas)

ORIGEN PRINCIPAL	EJEMPLOS DE FORMAS CON UN ORIGEN ESPECIFICO
ESTRUCTURAL Fallamientos	Geoformas asociadas con las capas de roca estratificadas o estructuralmente controladas, relacionadas con plegamientos, fallamientos y levantamiento.
ESTRUCTURAL-DENUDACIONAL	Acciones denudacionales y estructurales.
KARSTICO Solución y redepositación	Geoformas positivas (colinas), negativas (depresiones), estructurales y otras (complejos)
EOLICO Erosión por el viento y sedimentación	Geoformas de acumulación (activas/no activas) y de deflación.
GLACIAL Erosión y sedimentación	Geoformas erosionales dominantemente de glaciación continentales, glaciación de montañas y de acumulación (dominantemente morrenas, hielo y lomos)
ANTROPOGÉNICO	Aquellas formas del relieve que son producto de modificaciones causadas por la intervención del hombre.

1.2.2.1. ACTIVIDADES DESARROLLADAS EN LA ELABORACIÓN DEL MAPA GEOMORFOLÓGICO

a. Recopilación de la información temática. Se consultaron las entidades del orden oficial y privado para colectar la información disponible en cuanto a cartografía geológica, geomorfología, topografía, imágenes de satélite y fotografías aéreas.

b. Revisión de imágenes de satélite y fotografías aéreas del área de estudio. Se realizó una interpretación preliminar para determinar las geoformas asociadas a las Formaciones geológicas, unidades de roca, suelos residuales y transportados, procesos morfodinámicos y rasgos estructurales, entre otros.

- Para el componente rural, teniendo en cuenta la escala de trabajo 1:25000, se trabajó a nivel de unidades y subunidades geomorfológicas, definidas éstas por la expresión morfológica y morfométrica del terreno y su relación con los cambios litológicos o sedimentológicos de los materiales.

c. Reconocimiento, verificación, ajuste y complementación de la información geomorfológica:

- Para el nivel urbano, mediante trabajo de campo, descripción y cartografía, se identificaron las subunidades y elementos geomorfológicos del área a escala 1:2.000,

asociándolas a procesos sobre unidades geológicas superficiales, elementos estructurales como fallas, pliegues, lineamientos, discontinuidades menores y procesos antrópicos sobre el territorio.

- A nivel rural mediante trabajo de campo, descripción y cartografía de las geoformas asociadas a las unidades geológicas superficiales.

d. Evaluación y procesamiento de la información de campo: Esta actividad incluyó, la elaboración un primer borrador de planchas de unidades geomorfológicas, el cual se escaneó y digitalizó para luego generar el mapa de subunidades geomorfológicas. Además, se generó la base de datos geomorfológicos.

e. Digitalización de mapas: Escaneo y digitalización de los mapas con la información obtenida en campo para generar los mapas digitales.

f. Elaboración de la memoria técnica explicativa: Esta contiene la descripción de la metodología, procedimientos y descripción de las subunidades y unidades geomorfológicas cartografiadas.

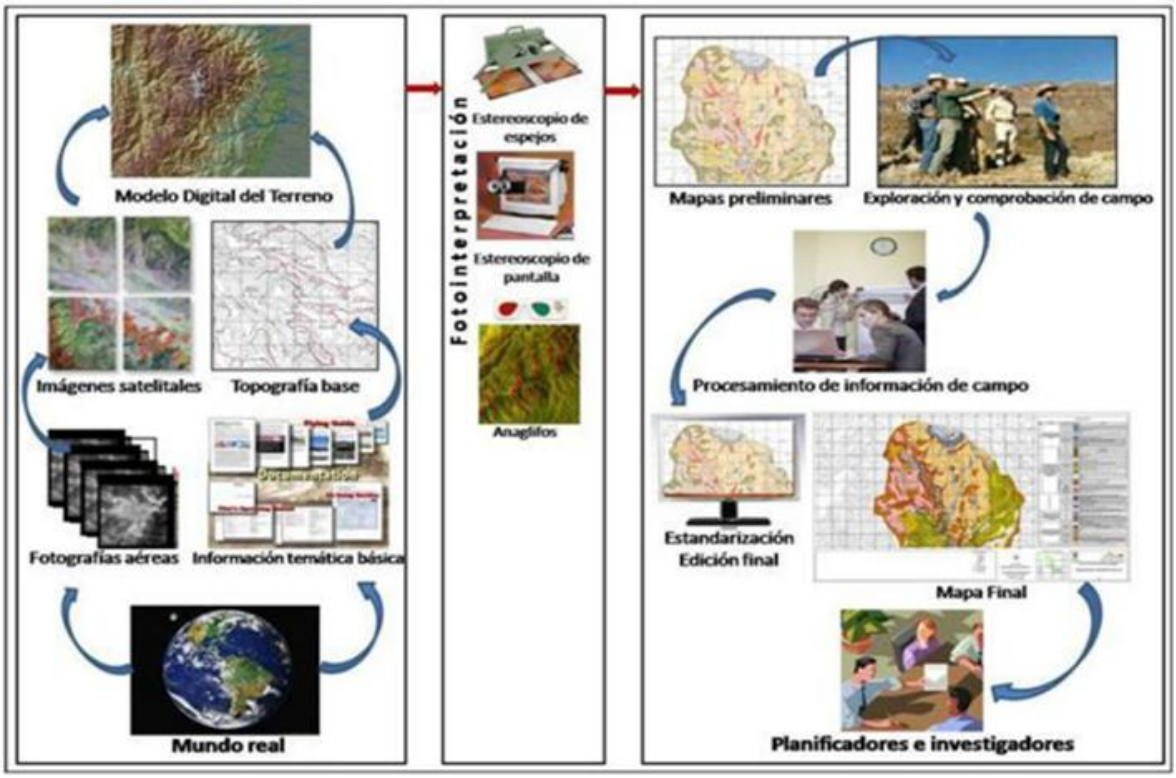


Figura 4. Metodología general para la elaboración del mapa geomorfológico.

Fuente: SGC, 2012.

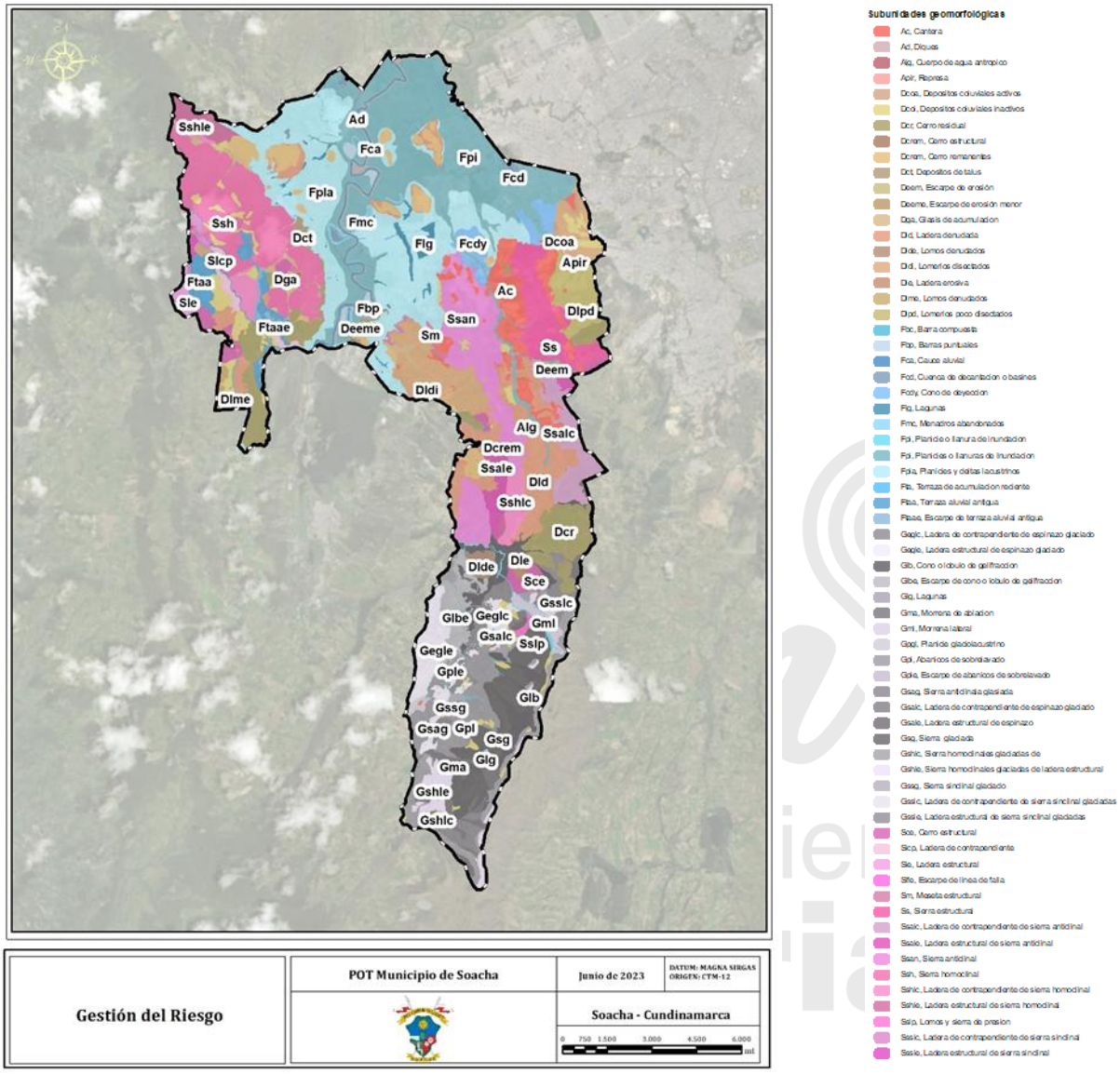


Figura 5. Mapa resultado de unidades geomorfológicas del municipio de Soacha.

Fuente: SGC.

1.2.3. LEVANTAMIENTO DE LA COBERTURA Y USO ACTUAL DEL SUELO (RURAL)

El levantamiento de las coberturas se realizó utilizando técnicas de preparación e interpretación de imágenes de sensores remotos tipo fotografías aéreas e imágenes de satélite, comprobaciones

de campo, procesamiento de información den ArcGIS 9.3.1, análisis de áreas y coberturas encontradas relacionándolas con otros elementos y componentes del medio natural para su aplicación en los estudios de susceptibilidad de los terrenos a movimientos en masa.

La metodología se puede visualizar y expresar integrando dos diagramas (Imagen n° 6 e Imagen n° 7). La primera indica como etapas preliminares son integradas a aquellas que finalizan con productos como obtención de unidades de cobertura y uso del suelo, zonificación de las mismas orientadas hacia la susceptibilidad por movimientos en masa (uno de los productos del proyecto general). La segunda muestra un flujo de actividades técnicas desde el conocimiento de antecedentes, preparación de imágenes de sensores remotos, fotointerpretación hasta llegar a producto finales.

El aspecto común de los dos diagramas son los productos finales y se complementan cuando se socializa y discute los alcances del estudio (actividades preliminares) y se plantean procesos y procedimientos técnicos.

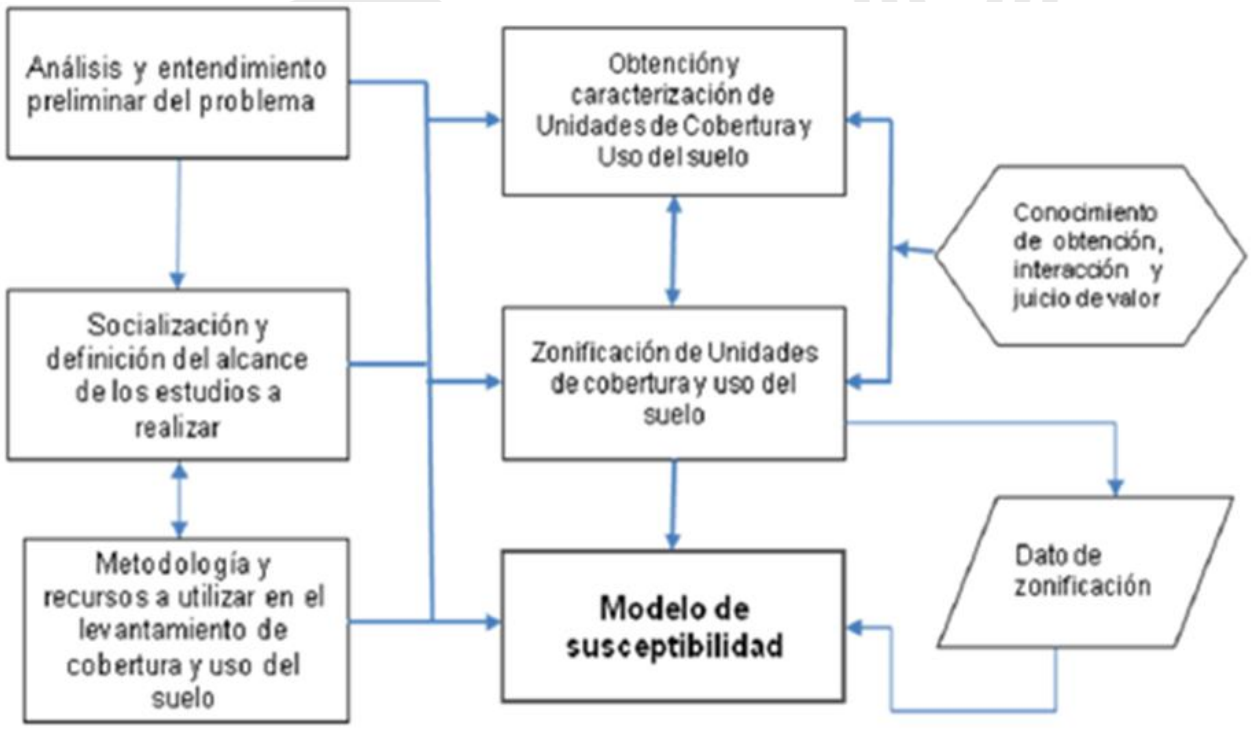


Figura 6. Etapas preliminares asociadas a resultados finales del proyecto

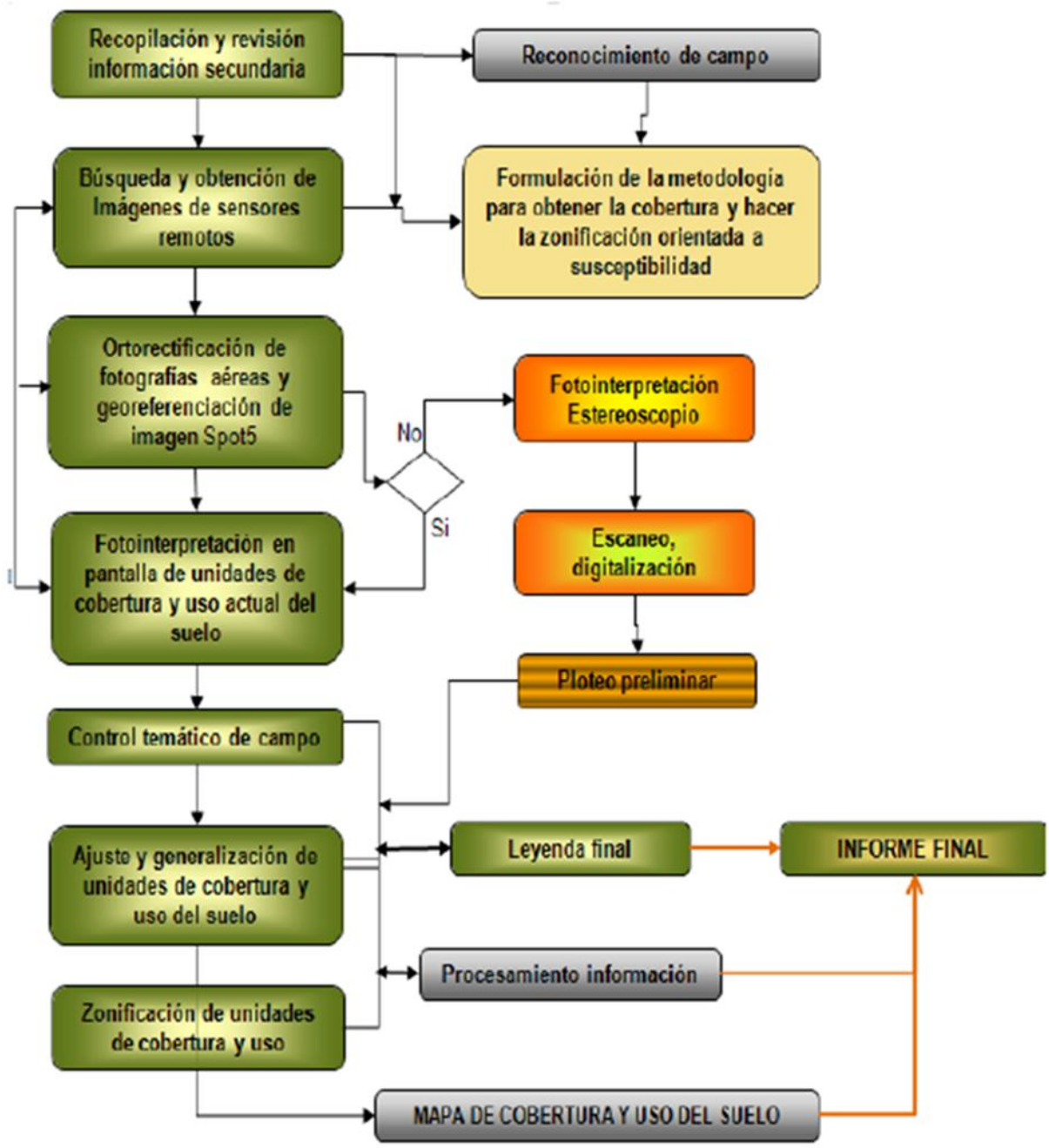


Figura 7. Diagrama de procedimientos y actividades generales realizadas en el levantamiento de cobertura y uso del suelo

En la se muestran los resultados del análisis de unidades de suelos del municipio.

Figura 8. ArcMap mostrando las unidades de suelos del municipio de Soacha.

Fuente: SGC

1.2.4. INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA EN EL MUNICIPIO

Como parte de las actividades desarrolladas en el marco del Proyecto de Zonificación de Amenazas por Movimientos en Masa en el Municipio de Soacha, se levantó un Inventario de Procesos Morfodinámicos, insumos básicos para los estudios de zonificación de amenaza, permitiendo tipificar y establecer indicadores de las condiciones bajo las cuales ocurren los procesos de inestabilidad del terreno. Los estudios de morfodinámica permiten, además, identificar aquellas zonas con mayor susceptibilidad a presentar movimientos en masa, especialmente bajo solicitaciones extremas como lluvias fuertes o sismos.

La recopilación de información geológica y geomorfológica consiste en la búsqueda y análisis de información existente alrededor de los procesos morfodinámicos que se han presentado en la zona de estudio. Dentro de esta actividad también se contempla la consecución de información básica como aerofotografías e imágenes de satélite, así como la revisión y elaboración de formatos para el levantamiento y caracterización de los procesos.

El levantamiento de los procesos se llevó a cabo en dos etapas de campo, realizadas posteriormente a las campañas de cartografía geológica y geomorfológica, por medio de cuatro grupos de trabajo conformados cada uno por un geólogo y un geotecnista. El trabajo de campo consistió en la cartografía de los procesos activos e identificación litológica, rasgos geomorfológicos y parámetros morfométricos. La caracterización de los procesos se realizó utilizando un formato de captura de datos de campo, el cual contiene información básica como localización, tipo de proceso, material involucrado, datos morfométricos y observaciones sobre las causas, factores contribuyentes y daños. Una vez recolectada toda la información de campo, se elaboró una base de datos en Excel. Por último, se estructuró dicha información sobre ArcGIS y se generó el mapa respectivo.

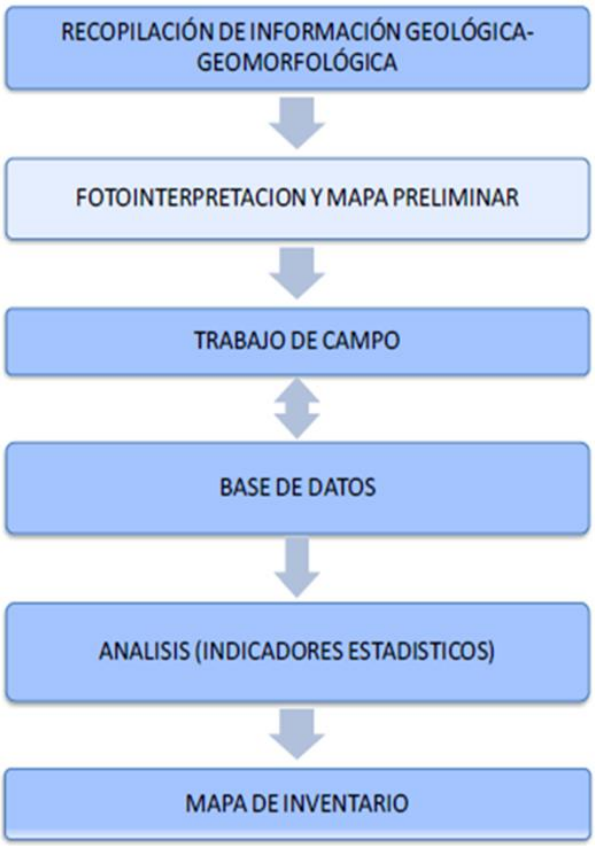


Figura 9. Metodología aplicada para la realización del inventario de movimientos en masa
Fuente: (INGEOMINAS, 2006)

1.2.5. HIDROLOGÍA (RURAL)

Se realiza el análisis estadístico a los registros de precipitación total diaria necesario para evaluar el comportamiento temporal y espacial de ésta dentro del área del proyecto, para lo cual se consideraron las siguientes estaciones: El Pinar, Australia, Preventorio Infantil, La Unión, Pasquilla, Sede IDEAM Kra 10, Alto San Miguel, Granja San Jorge, Hacienda Las Vegas y Acapulco. Se obtuvieron distribuciones espaciales de la precipitación media anual y de las precipitaciones máximas diarias para diferentes periodos de retorno.

Posteriormente, se hace un análisis del comportamiento temporal y espacial de la temperatura y la humedad relativa con base en los registros mensuales multianuales existentes de los últimos 27 años en 5 estaciones localizadas dentro y fuera del área de estudio: Acapulco, Granja San Jorge, Hacienda Las Vegas, Vivero Venado y Universidad Nacional.

Se realizaron las siguientes actividades:

a. Información recopilada y evaluación de la base de datos existentes, Se recopiló inicialmente la información disponible en el IDEAM y se generó la respectiva base de datos. De acuerdo con el análisis de consistencia de la base de datos de los registros de precipitación total diaria, se realizó la selección de las estaciones y datos a tener en cuenta.
b. Histogramas de precipitación media mensual multianual y media anual multianual, Con el fin de caracterizar la lluvia en el área de estudio, se realizó un análisis del comportamiento temporal a partir de histogramas de precipitación media mensual multianual y media anual multianual.
c. Análisis de frecuencias, A partir de los registros diarios máximos anuales de precipitación en las estaciones vecinas al área de estudio se buscó la distribución de mejor ajuste entre Gumbel, Pearson tipo III y Log Pearson Tipo III dado que han demostrado poseer una buena capacidad de ajuste tanto en registros máximos tanto de caudal como de precipitación.
d. Prueba de bondad de ajuste, Para determinar la aplicación de la distribución de Gumbel a los registros de precipitación máxima anual se utilizó la prueba de bondad de ajuste de Kolmogorov-Smirnov y el coeficiente de correlación.
e. Construcción de isoyetas para diferentes periodos de retorno, Se construyeron isoyetas de precipitación media anual y de precipitaciones máximas diarias con periodos de retorno de 10, 25 y 50 años.
f. Análisis de la precipitación máxima diaria, Se analizó el comportamiento espacial de la precipitación máxima diaria debido a la importancia que representa como factor detonante de movimientos en masa.
g. Histogramas de temperatura y humedad relativa, Con el fin de identificar el comportamiento general de la temperatura y la humedad relativa en la zona de estudio se elaboraron los histogramas de agregación mensual. Parámetros como brillo solar y evaporación no se analizaron debido a la carencia de datos en la zona de estudio.

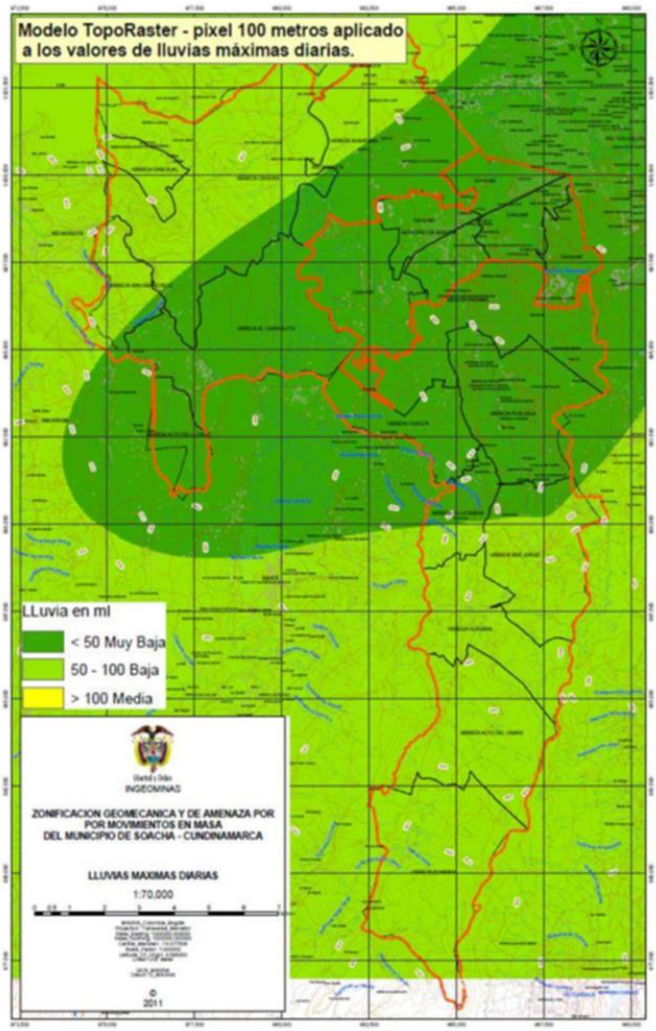


Figura 10. Isoyetas de la precipitación máxima diaria para un periodo de retorno de 25 años.

Fuente: SGC

1.2.6. EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO Y ENSAYOS DE LABORATORIO

Se realizó la exploración del subsuelo con el objeto de obtener la caracterización tanto espacial como en profundidad del material aflorante en la zona de estudio. Para llevar a cabo esta actividad, Se adelantó la exploración geotécnica directa de campo y la exploración geofísica, donde se obtuvo un reconocimiento de las características intrínsecas del subsuelo desde el punto de vista geomecánico y geodinámico de los materiales presentes en el municipio de Soacha, tanto en la zona urbana como la zona rural.

Como resultado de esta actividad se obtuvieron parámetros geomecánicos de los materiales presentes en el municipio de Soacha, mediante la realización de ensayos de laboratorio a las muestras obtenidas que permitieron determinar las propiedades de resistencia estática y dinámica, compresibilidad y propiedades físico-mecánicas, entre otras, del subsuelo del municipio de Soacha. Los resultados de esta actividad se utilizaron como insumo necesario para la evaluación de la Amenaza por Movimientos en Masa y la calificación de los macizos rocosos de la zona de estudio.

A las muestras de las perforaciones se practicaron ensayos de clasificación y propiedades básicas, ensayos estáticos de resistencia al corte de los suelos; ensayos estáticos en muestras de roca, ensayos de compresibilidad y ensayos dinámicos.

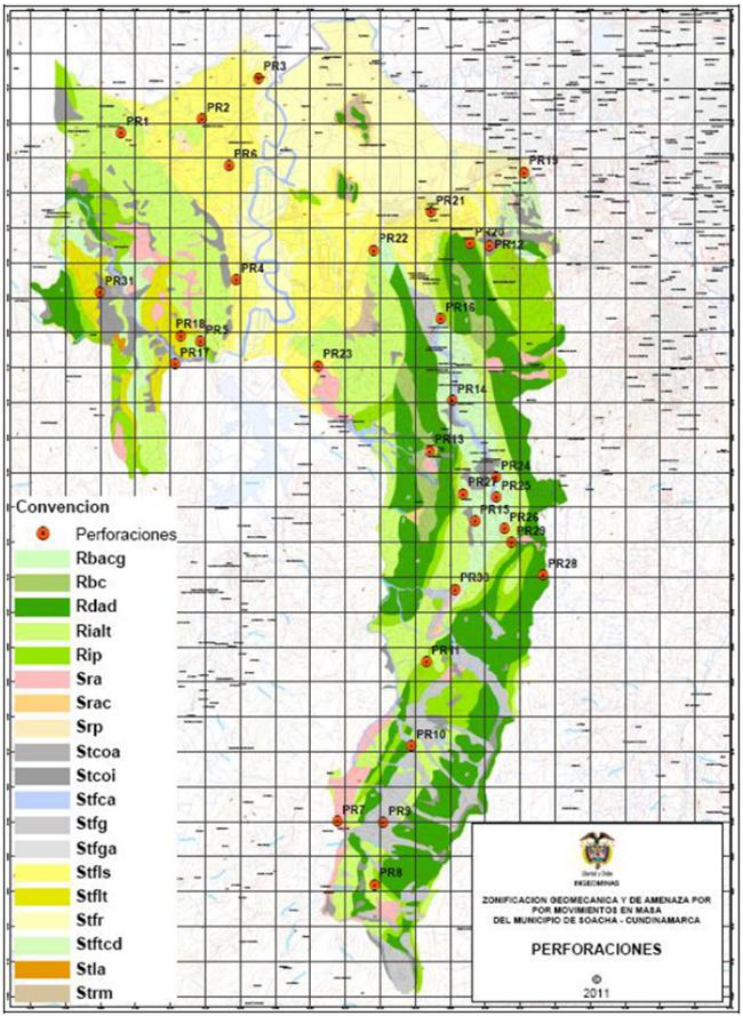


Figura 11. Localización de puntos de exploración.

Fuente: SGC

1.2.7. ANÁLISIS DE CALIDAD DE MACIZO ROCOSO (URBANO Y EXPANSIÓN)

Este análisis se realizó con el objetivo de determinar la calidad de los macizos Rocosos presentes en el municipio de Soacha Cundinamarca a partir de su caracterización geológico estructural y mediante la toma de datos en campo y la exploración Geotécnica directa, con el uso de los métodos de calidad de macizo rocoso propuestos por Deere y Barton. Entre otros objetivos del análisis se encuentran:

a. Análisis de la geología estructural a partir de toma de datos de campo y del mapa de UGS.
b. Toma de datos de discontinuidades en la zona urbana del municipio de Soacha mediante la observación en afloramientos, basado en el formato de caracterización de macizo rocoso INGEOMINAS 2011 y las recomendaciones de la Sociedad Internacional de Mecánica de Rocas (ISRM 1981).
c. Análisis geomecánicos de muestras de roca intacta a partir de la exploración geotécnica.
d. Definición de parámetros básicos para la evaluación de calidad a partir de diferentes métodos.
e. Aplicación de los métodos de Deere y Barton.
f. Realización de los mapas de los diferentes métodos en el SIG institucional.

1.2.8. EVALUACIÓN DE DRENAJES NATURALES Y REDES DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO (URBANO Y EXPANSIÓN)

El buen funcionamiento de las redes de alcantarillado depende del adecuado diseño, el cumplimiento de las especificaciones de construcción y el mantenimiento que se realice a las mismas. En el reconocimiento de las redes pueden identificarse problemas como obstrucciones, pérdida de capacidad y roturas.

Las causas más frecuentes de las obstrucciones son grasas, trapos, plásticos, vidrios, raíces, arena, piedras y general todo tipo de basura que en algunos sitios se acostumbra a disponer en los pozos o redes de alcantarillado.

La pérdida de la capacidad también se produce por la formación de una capa de sedimentos en la tubería que se da con mayor incidencia en aquellos tramos de sedimentos en la tubería o en tramos de baja velocidad del flujo por bajo caudal de aguas servidas.

Las roturas y fallas que se presentan en las redes de alcantarillado pueden ser resultado del soporte inapropiado del tubo por falta de perfilamiento y nivelación del fondo, de las cargas vivas por inapropiado recubrimiento y del movimiento del terreno en laderas inestables.

El objetivo general de este estudio fue realizar una zonificación de los puntos críticos por saturación del suelo debido a la ausencia o mal estado en la red de acueducto y alcantarillado y falta de manejo de agua en las canteras.

Algunos objetivos específicos son los siguientes:

a. Reconocer en campo el funcionamiento de las redes de acueducto y alcantarillado y el manejo de las aguas lluvias en sitios de explotación de materiales pétreos.
b. Definir las áreas críticas por saturación del suelo debido a la ausencia o mal estado en la red de acueducto y alcantarillado.
c. Identificar las estructuras para el manejo de agua en las canteras.
d. Establecer la incidencia de la saturación del suelo en los procesos de movimientos en masa.

1.2.9. ZONIFICACIÓN GEOMECÁNICA

La "Zonificación geomecánica" se define como una representación de áreas individuales sobre un mapa con características aproximadamente homogéneas, en términos del comportamiento de los materiales representados a nivel físico, y mecánico. Comportamiento que depende de ciertas condiciones básicas que se convierten en las variables temáticas involucradas en la evaluación. El detalle y grado de homogeneidad de cada unidad dependerá de la escala y propósito del mapa. Es decir, para el desarrollo de zonificaciones a escala pequeña los criterios deben ser generales y con más detalle que para escalas grandes.

De acuerdo con los análisis efectuados por diversos especialistas en diferentes casos, los principales factores que intervienen en el comportamiento de los materiales superficiales son: las condiciones que presentan suelos y rocas (condiciones físicas - mecánicas), el agua, y las condiciones geológicas y geomorfológicas (incluyen origen, formas y procesos geodinámicos), entre otros. De la forma en que se agrupen estas variables dependerá el modelo de evaluación que se desarrolle.

La Zonificación geomecánica busca a partir del análisis de los componentes de la geología ambiental, y algunos otros elementos tales como la edafología, definir zonas que presentan materiales con comportamientos geomecánicos similares y que se pueden agrupar en zonas homogéneas.

En la Imagen n° 12 se muestra un esquema del proceso general para el desarrollo de una zonificación geomecánica, su evaluación se puede lograr a partir del conocimiento de algunos factores que han definido su actual comportamiento tales como: Factores Geomorfológicos, Factores geológicos, Factores hidrogeológicos, Climáticos, Hidrológicos e Hidrogeológicos, Factores edáficos, Caracterización geotécnica y Geofísica.

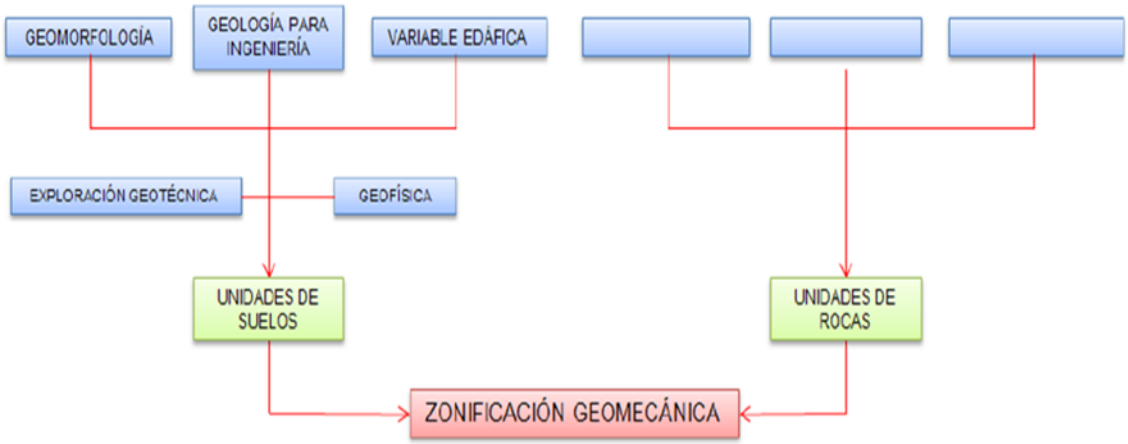


Figura 12. Metodología de zonificación geomecánica.
Fuente: SGC

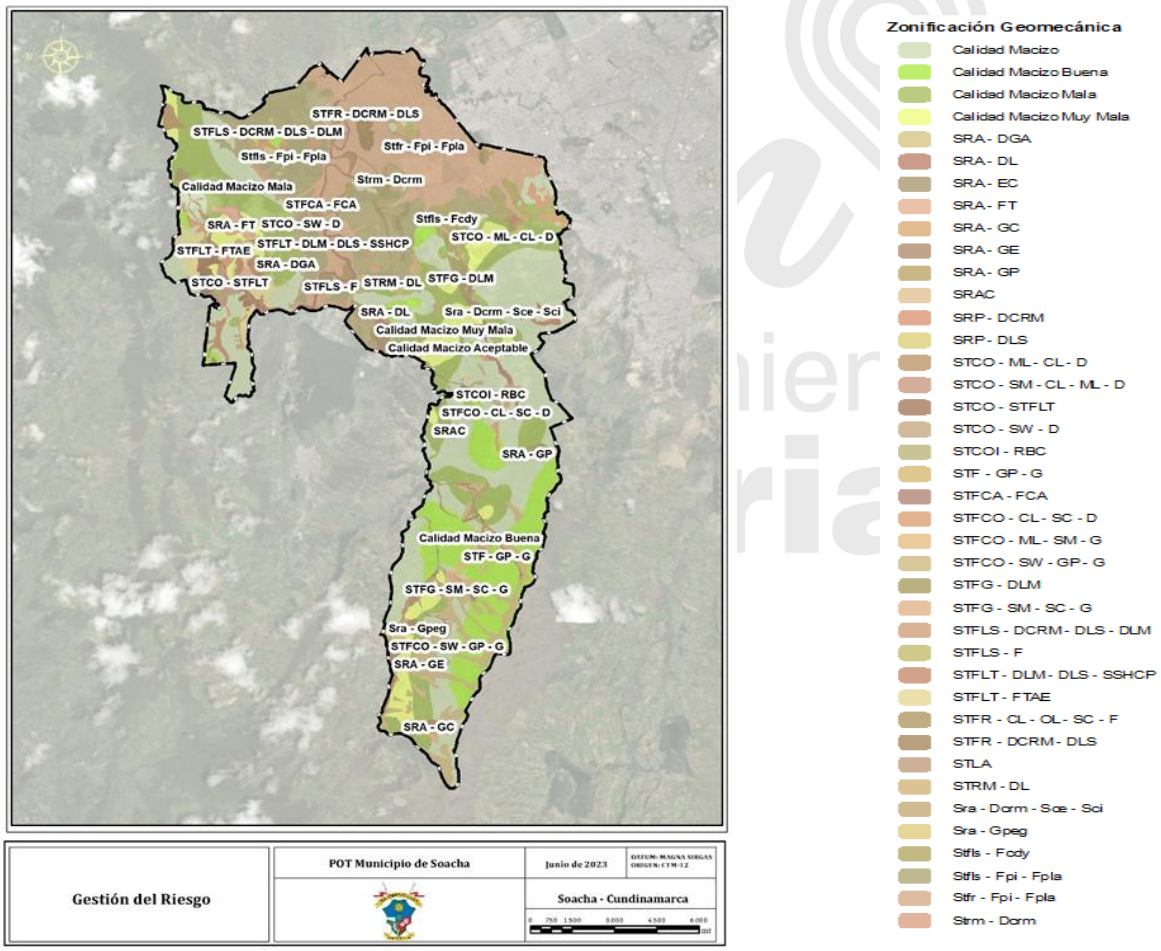


Figura 13. Mapa Final de zonificación geomecánica.
Fuente: SGC

1.3. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA

La zonificación de amenaza por movimientos en masa considerando mecanismos de falla distintos a caída, se realizó mediante la evaluación determinística de factores de seguridad, tomando como base los mecanismos de falla traslacional para suelos y planar para roca, así como rotacional para suelos y rocas.

La integración de todos los factores involucrados en los análisis de equilibrio límite, así como, la zonificación de factores de seguridad para los dos mecanismos evaluados se realiza sobre plataforma ArcGIS.

De acuerdo con el inventario de movimientos en masa y los resultados del análisis cinemático, los movimientos con componentes de falla tipo planar (deslizamiento traslacional, flujo, reptación) son muy frecuentes, por lo que se generalizó este mecanismo de falla para toda la zona de estudio. Los factores de seguridad en este caso fueron calculados mediante el uso del modelo de talud infinito, programando la formulación en SIG. Así mismo, se escogieron algunas zonas con posibilidad de ocurrencia de falla rotacional, en las que se evaluaron los factores de seguridad utilizando métodos convencionales de análisis de falla circular. Estas secciones fueron definidas de acuerdo con el conocimiento del área de estudio y el inventario de movimientos en masa. Seguidamente, tales factores de seguridad fueron asignados a un área de influencia a la sección analizada, por medio de criterio geomorfológico. De esta forma, estos factores de seguridad fueron integrados al sistema SIG, con el fin de generar la cobertura respectiva utilizando los valores mínimos calculados.

Es importante aclarar que el espesor y las características geomecánicas del suelo potencialmente inestable, se definieron con base en los datos producto de la caracterización geomecánica de los materiales que incluye calidad de macizo rocoso, los resultados de las investigaciones geológicas y geotécnicas realizadas en el área de estudio.

Los factores de seguridad se calcularon para diferentes escenarios de análisis, en los que se consideraron variaciones de la condición de saturación y la presencia o ausencia del detonante sismo. Es de aclarar que debido a las condiciones que se presentan en la zona de estudio, los modelos se corrieron bajo una condición básica de saturación, de acuerdo a lo obtenido en el análisis hidrológico.

Como resultado final del proceso de zonificación, se definieron cuatro niveles de amenaza por movimientos en masa. Para efectos prácticos del estudio, los niveles establecidos como altos y muy altos en el estudio original fueron agrupados en uno solo, el cual se determinó como alta. A continuación, se presenta la descripción de cada uno de estos.

a. **Amenaza Baja:** Zona donde existe una probabilidad baja de ocurrencia de movimientos en masa, tipo traslacional y/o planar, con factores de seguridad mayores a 1.5, ya sea por causas naturales o antrópicas con evidencia de deslizamientos activos, en donde los materiales se encuentran parcialmente saturados durante todo el año, debido a factores tales como ruptura de redes y drenajes inadecuados. Debido a la calidad de los materiales rocosos se pueden presentar ocasionalmente y en forma localizada procesos tipo caídas, volcamientos y desprendimientos en diferentes sectores de la zona. En general se asocian a zonas con pendientes bajas y de morfología suave con rangos de pendiente entre 0 y 3 º.
b. **Amenaza Media:** Zona donde existe una probabilidad media de ocurrencia de movimientos en masa, tipo traslacional y/o planar, con factores de seguridad mayores a 1.2 y menores a 1.5, ya sea por causas naturales o antrópicas con evidencia de deslizamientos activos, en donde los materiales se encuentran parcialmente saturados durante todo el año, debido a factores tales como ruptura de redes y drenajes inadecuados. Debido a la calidad de los materiales rocosos se pueden presentar de forma esporádica procesos tipo caídas, volcamientos y desprendimientos en diferentes sectores de la zona. Se asocian a sectores con macizos rocosos de calidad media principalmente, calidad que ha sido determinada por la presencia de discontinuidades que han afectado su resistencia. En su mayoría se asocian a pendientes con rangos entre 11 y 45º.

c. **Amenaza Alta:** Zonas donde existe una probabilidad alta de ocurrencia de movimientos en masa de tipo traslacional y/o planar, con factores de seguridad menores o iguales a 1.2, ya sea por causas naturales o antrópicas con evidencia de deslizamientos activos, en donde los materiales se encuentran saturados y/o parcialmente saturados durante todo el año, debido a factores tales como ruptura de redes y drenajes inadecuados. Debido a la calidad de los materiales rocosos se presentan de forma localizada procesos tipo caídas, volcamientos y desprendimientos en diferentes sectores de la zona. Se asocian a sectores

con macizos rocosos de calidad mala a muy mala principalmente, calidad que ha sido determinada por la presencia de discontinuidades que han afectado su resistencia. La profundidad de la afectación de estos macizos puede superar los 10 a 20 metros, siendo detonados los movimientos principalmente por esfuerzos producto del agua. En general se presentan en pendientes con rangos mayores a 19º.

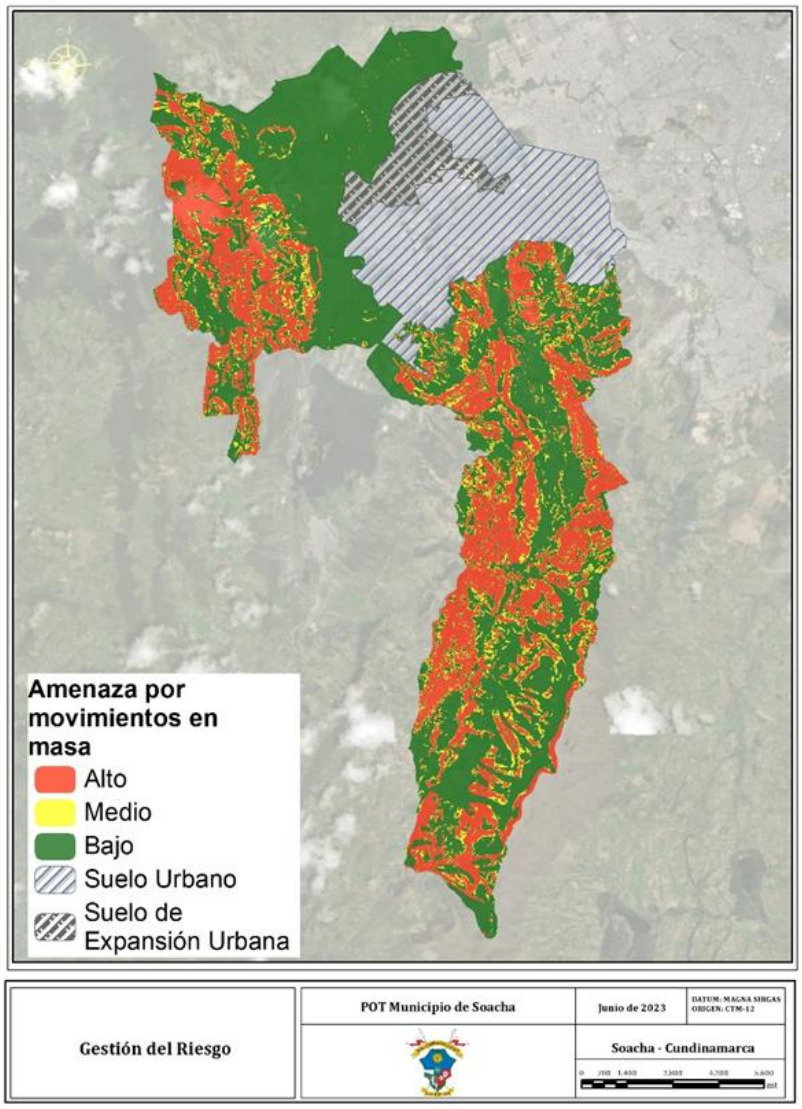


Figura 14. Zonificación de la amenaza por remoción en masa

Fuente: Servicio Geológico Colombiano – Secretaría de Planeación y Ordenamiento Territorial

1.4. ZONAS DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA - ZONA URBANA Y DE EXPANSIÓN URBANA

La amenaza por movimientos en masa de una ladera, entendida como un evento natural, humano o combinado, potencialmente destructivo de vidas, bienes, economía y/o cultura de una comunidad (INGEOMINAS, 2006), involucra en su evaluación, el conocimiento claro del tipo de movimiento en masa amenazante activo o potencial, así como estimativos de su magnitud, recurrencia y localización geográfica. Esta es una actividad compleja que, de acuerdo con el nivel de escala a la cual se esté realizando, requiere una gran cantidad de información de aspectos como: topografía, cobertura y usos del suelo, geología (geología para ingeniería, estratigrafía, geología estructural) geomorfología, clima, hidrología, hidráulica, hidrogeología (niveles piezométricos y su variación en el tiempo), parámetros geomecánicos de materiales e intensidad y probabilidad de ocurrencia de factores detonantes tales como lluvias y sismos, todos y cada uno de acuerdo a la metodología de evaluación planteada.

En la zona de estudio se presentan dos mecanismos de falla principales con más del 80% de los procesos inventariados: los movimientos en masa tipo caída y los movimientos tipo flujo y deslizamiento traslacional; involucrando principalmente detritos y rocas.

Para la evaluación de amenaza por falla de taludes en roca (tipo caída: falla planar, en cuña y por volcamiento) se utilizó la clasificación geomecánica de Barton y el análisis cinemático de macizos a nivel de afloramiento. Por su parte, la evaluación de amenaza por mecanismos tipo flujo y deslizamiento traslacional, fue evaluada mediante herramienta SIG asumiendo falla planar con el método determinístico de factores de seguridad obtenidos a partir de análisis de estabilidad generalizados para toda el área de estudio. Los mecanismos de falla tipo rotacional fueron evaluados para tres sitios específicos escogidos a partir del conocimiento de la zona de estudio con métodos de equilibrio límite.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

a. El municipio de Soacha se ha visto últimamente afectado drásticamente por fenómenos de remoción en masa que se han venido produciendo por la ola invernal y cambios climáticos que producen los agentes detonantes que activan estos fenómenos que desestabilizan los taludes y laderas, fenómenos que ocurren sin previo aviso causando desastres y arrastrando todo lo que encuentran a su paso disminuyendo la calidad de vida y colocando en riesgo la vida de los habitantes.

b. Los productos de la zonificación de la amenaza por movimientos en masa, pretenden constituirse en una herramienta de conocimiento técnico y científico para el apoyo en los procesos de planificación y ordenamiento del territorio en cuestión, así como en los diferentes planes y procesos de gestión integral de los riesgos a que están expuestas las comunidades. Esta herramienta busca apoyar, tanto a las autoridades municipales como a

la comunidad y demás actores usuarios del territorio, para mejorar las condiciones de riesgo y propender por una mejora integral de la calidad de vida de sus habitantes en general.

c. Dados los alcances a escala 1:5.000, la información aquí consignada permitirá contrastar con las condiciones de vulnerabilidad de los distintos sectores (y/o barrios) y establecer zonas críticas de riesgo, trabajo que se efectuará en forma separada. Lo anterior contribuye a direccionar y priorizar acciones concretas para dar solución a los problemas relacionados con las amenazas geológicas existentes.

d. La descripción y clasificación física y mecánica de un macizo rocoso es de gran importancia debido a la gran cantidad de obras que sobre estos se desarrollan, el análisis de calidad de macizo rocoso permite conocer las características del material sobre el cual se planea la obra de ingeniería.

Aspectos geológicos y geomorfológicos

a. En el municipio de Soacha afloran rocas sedimentarias Cretácicas y Terciarias de las formaciones Arenisca Dura, Plaeners, Labor Tierna y Guaduas y depósitos poco consolidados a no consolidados del Cuaternario. De acuerdo a la composición litológica predominan las rocas de grano medio a fino (areniscas).
b. La actividad tectónica generada sobre los macizos rocosos ha producido intenso fracturamiento que ha acelerado los procesos de meteorización y la formación de depósitos coluviales asociados principalmente a zonas de escarpe.
c. Las rocas aflorantes en la zona de estudio, se clasificaron en unidades de roca y unidades de suelos de acuerdo a sus características ingenieriles. Dentro de éstas tenemos las siguientes clases: Rocas duras, intermedias y blandas. Las unidades de suelos se clasificaron teniendo en cuenta principalmente su origen y características ingenieriles, dividiéndolos en suelos residuales y transportados.
d. Para la clasificación de las Unidades Geológicas Superficiales se utilizaron parámetros como litología, textura, dureza, grado de fracturamiento, grado de meteorización y forma de granos, los cuales dan a cada unidad características ingenieriles específicas. Entre las unidades rocosas que presentan un mayor grado de fracturamiento se tienen las rocas de composición principalmente silícea, de granulometría fina, de consistencia dura y de estratificación media a muy delgada, las cuales corresponden a las Formaciones Lidita Superior y Plaeners.
e. En la zona de estudio se destacan dos clases de morfologías, una de sectores montañosos con predominio de pendientes altas donde afloran rocas del Cretáceo pertenecientes al Grupo Guadalupe y rocas del Terciario, pertenecientes a la Formación Guaduas principalmente y zonas suavemente inclinadas a planas donde se tienen depósitos Cuaternarios de distinto origen.

f. Las rocas antiguas (Cretácicas y terciarias) han sido sometidas a tres fases deformativas que han afectado las secuencias estratigráficas aflorantes en la zona, tal como lo sugiere el modelo geológico estructural que involucra. Una primera compresiva, de plegamiento y acortamiento intenso, con levantamiento de las secuencias, generando repetición de las mismas (fallas de cabalgamiento) y plegamiento asociado, dando como resultado geoformas de tipo montañoso; una segunda de rompimiento y desplazamiento predominantemente lateral que genera geoformas tales como cuencas, lomos de presión, escarpes de falla y facetas triangulares; y una tercera fase de tipo distensional, acompañada de diaclasamiento y fracturamiento intenso de la roca.
g. La actividad tectónica así descrita, da origen a geoformas de tipo estructural, con macizos rocosos intensamente fracturados. Geoformas tales como laderas de contrapendiente media (Scpm), laderas estructurales escarpadas (Scpe), Facetas Triangulares (Sft), escarpes de falla (Sef), laderas estructurales de pendiente media (Slm) y lomos de presión (Slp) son muy susceptibles a desarrollar procesos movimientos en masa (caídas de rocas y deslizamientos). Estos son acelerados por los procesos de meteorización y de actividad antrópica (minería, urbanización, agricultura y ganadería, etc). Aunque el porcentaje de este tipo de geoformas en la zona de estudio es relativamente bajo (0,86), se localizan principalmente en los cerros orientales, los cuales se encuentran densamente poblados y/o con industrias mineras abandonadas o activas. La unidad Sls, es tal vez una de las más estables, dado que es casi plana y constituida por roca. Su distribución es apenas del 0,31%.
h. Los procesos de meteorización a través del tiempo han modelado un paisaje específico, dadas las características de los macizos rocosos ya descritas y las condiciones climáticas del territorio, dando lugar a geoformas de tipo denudacional. Algunas de ellas por sus condiciones de pendiente, compactación y cementación, pueden desarrollar procesos de movimientos en masa (laderas escarpadas, depósitos de coluvión y de talus, etc.). El porcentaje de geoformas de origen denudacional es de 23% y ocupan los cerros orientales y cerros residuales.
i. La dinámica de las corrientes que desembocan y corren en la zona plana, modelaron geoformas específicas y perfectamente diferenciadas de origen fluviolacustre. La mayor parte de la zona está ocupada por geoformas cuyo origen está relacionado con la dinámica de inundación y retroceso de las aguas de los ríos que surcan la zona (Soacha, Bogotá y Tunjuelo). El porcentaje de geoformas de origen fluviolacustre es de 60,09%.
j. Finalmente, la adecuación y uso del territorio realizado por el hombre en las diferentes épocas (minería, agricultura, ganadería, urbanización, etc.), han modelado dicho territorio en forma muy notoria, generando geoformas específicas, que en muchos de los casos han acentuado la susceptibilidad natural de geoformas de origen estructural, denudativo y fluviolacustre. Geoformas como laderas escarpadas, escarpes de cantera, lagunas de cantera y botaderos, dador su origen, pendiente, consolidación y textura, son altamente susceptibles a generar caídas de rocas, deslizamientos hundimiento, contaminación etc. El porcentaje de geoformas de origen antrópico es de 11,37%

Aspectos hidrológicos

a. Una vez realizada la evaluación de aéreas de drenaje sobre el área de estudio en escala 1:5.000 del municipio de Soacha, se detectaron un sin número de redes de acueducto y alcantarillado en inadecuadas condiciones de funcionamiento que aportan un caudal constante sobre los taludes y laderas conllevando a la saturación de los materiales, acelerando los procesos de inestabilidad.
b. De igual manera, la ausencia de redes sanitarias (acueducto y alcantarillado) en un gran porcentaje del área de estudio, o en su defecto su construidos por la comunidad, no cumplen con las especificaciones mínimas requeridas para su adecuado funcionamiento dando lugar a la misma situación de afectación sobre las laderas.
c. En el sector sur de la Laguna Terreros se identificaron cinco drenajes principales, caracterizados por ser cauces estables debido al material que los conforma, pero que manejan altos volúmenes de agua en época invernal, por lo cual provocan inundaciones en la zona plana, cerca al sector de la Laguna en donde desembocan.
d. En el sector norte de la Laguna Terreros, barrios La Isla y El Progreso los cauces son menos definidos por lo cual los taludes tienden a saturarse con mayor facilidad. Las Subcuencas que desembocan hacia la zona norte del área de estudio, cuentan con drenajes naturales mejor definidos que permiten un menor tiempo de concentración de los caudales, lo cual favorece el drenaje de los taludes, pero la inadecuada disposición de las aguas servidas genera su saturación en zonas aledañas a los cauces e inestabilidad en las laderas hacia aguas abajo, es decir en donde se realiza su descarga.
e. En general, las entregas domiciliarias a los drenajes se realizan sobre los taludes sin ningún tipo de estructuras que permitan una adecuada disposición de dichos caudales.
f. Los barrios El Progreso y Altos de la Florida tienen redes de acueducto construidas por la comunidad y se encuentra en muy mal estado, las fugas producen saturación acelerando el proceso de inestabilidad de las laderas, aunado con la ausencia de red alcantarillado y el periodo invernal.
g. La falta de sistemas de drenajes y manejo de escorrentías en las canteras abandonadas se asocia a la inestabilidad activa en un gran porcentaje de ellas.
h. En el drenaje natural que descarga las aguas de los barrios Santo Domingo, Luis Carlos Galán y Villa Mercedes se asientan viviendas sobre el cauce que se inundan cuando se producen crecientes. Igual situación se presenta sobre las zonas planas adyacentes a cauce de los ríos Bogotá y Tunjuelito y quebrada Tibanica, donde se identificaron áreas propensas a las inundaciones directas y por vasos comunicantes en los sitios donde hay descargas directas por tubería a las corrientes de agua.

Aspectos geotécnicos

a. En general en la zona, aunque se encuentra roca intacta de alta resistencia, el intenso fracturamiento y diaclasamiento producto de una alta actividad tectónica

en la zona ha generado macizos de calidad desde aceptable hasta muy mala, no encontrándose macizos de muy buena calidad.

b. Las zonas que presentan macizos de calidad muy mala y mala en el mayor porcentaje de área son el sector de la Comuna IV y la zona alta de la Comuna VI en especial Altos de la Florida.

c. El sector de Divino Niño y la Cristalina, aunque presenta algunas pequeñas zonas con presencia de macizos de calidad mala en el mayor porcentaje del área los macizos rocosos son de calidad aceptable y algunos buena.

d. Las zonas bajas y planas hacia el área de expansión urbana en la zona norte presentan materiales arcillosos con alto potencial expansivo, lo que genera la probabilidad de fallas por deformación en las edificaciones si no se plantean medidas de control de asentamientos anteriores a la construcción y se solicitan estudios específicos de deformación y resistencia especiales para suelos con comportamientos especiales.

e. Los espesores del material arcilloso en la zona central pueden llegar hasta 130 metros en la zona central (de la Formación Sabana) disminuyendo un poco en los límites.

f. Los tipos de procesos más usuales que afectan los macizos rocosos son 28,30% falla en cuña, 15,10% falla por volcamiento, 6,25% falla planar, 21,50% falla planar y en cuña, 2% falla planar y por volcamiento, y un 2% falla en cuña y por volcamiento.

g. Sin embargo, la mayor parte de los procesos de inestabilidad en la zona están asociados al tipo de materiales presentes y su afectación estructural, así como a las pendientes y al cambio de uso de los suelos que ha llevado al aumento de procesos erosivos y de meteorización de los materiales por entrada de agua a los niveles inferiores de suelos y rocas.

h. Algunos procesos están asociados a coluviones reactivados producto de presiones de agua debido a inexistencia de drenajes y manejo de aguas en gran parte de los casos.

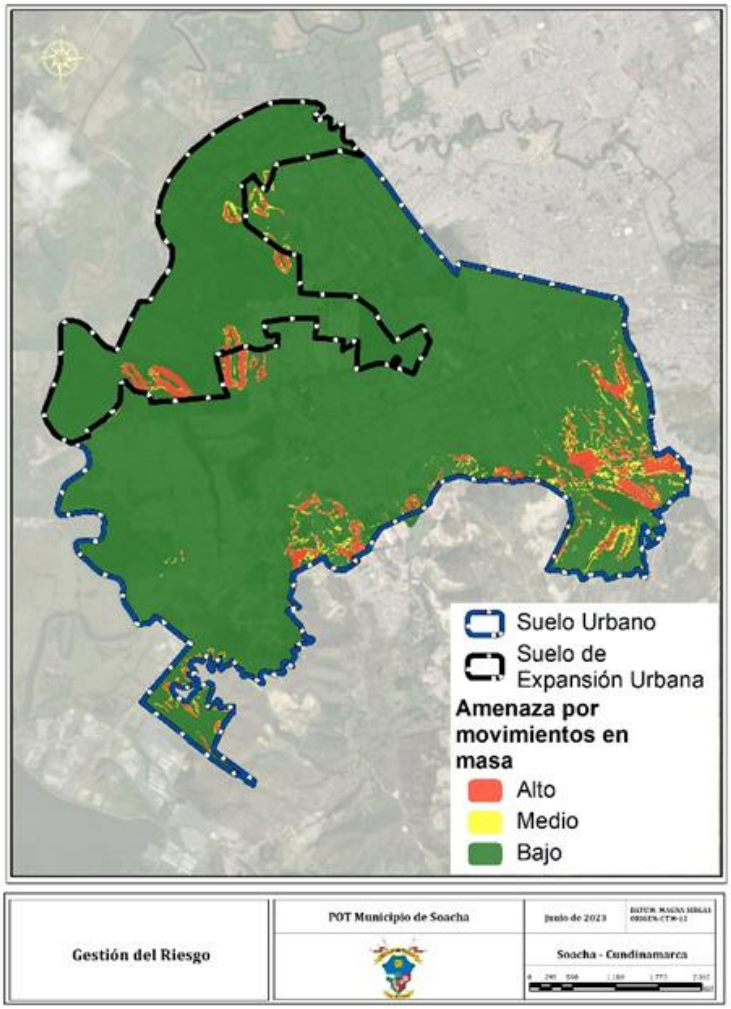


Figura 15. Mapa de amenaza por remoción en masa, 93,65% amenaza baja, 2,32% amenaza media, 4,03% amenaza alta.

Fuente: Servicio Geológico Colombiano – Secretaría de Planeación y Ordenamiento Territorial

1.4.1. ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA

El desarrollo del suelo con áreas expuestas a fenómenos naturales potencialmente dañinos está sujeta a la posibilidad de reducir el nivel de amenaza que exista en este. Por lo tanto, estas áreas podrán definir su condición de desarrollo una vez se realicen los estudios detallados que permitan determinar la mitigabilidad o no de la(s) amenaza(s) que posea. La determinación de realizar los estudios a detalle está relacionada con los estudios básicos y zonificaciones disponibles realizadas por el municipio con este propósito.

De acuerdo con lo anterior, el régimen de usos y tratamientos, normas de densidades, ocupación y edificabilidad del suelo según los ámbitos normativos vigentes, estarán condicionados a los resultados de los estudios detallados (Decreto 1077 de 2015, art. 2.2.2.1.3.3.3) para determinar la posibilidad de que las áreas en cuestión puedan ser urbanizadas y utilizadas para el desarrollo de vivienda, comercio o para el sector institucional, entre otros.

Los estudios detallados que establezcan la mitigabilidad de la amenaza y del riesgo en un área definida tendrán que cumplir las especificaciones técnicas metodológicas determinadas para el efecto y de conformidad con lo establecido para el trámite de licencias urbanísticas contempladas en los Decretos 1077 y 2218 de 2015 (art. 2.2.6.1.2.1.8) y las disposiciones relacionadas en los artículos 2.2.2.1.3.2.2.1, 2.2.2.1.3.2.2.2, 2.2.2.1.3.2.2.3, 2.2.2.1.3.2.2.4, 2.2.2.1.3.2.2.5, 2.2.2.1.3.2.2.6 y 2.2.2.1.3.2.2.7 del decreto 1077 de 2015.

Las áreas calificadas con condición de amenaza media y alta que en el momento no cuenten con ningún desarrollo, serán catalogadas en el presente plan como suelo de desarrollo condicionado desde la perspectiva prospectiva, dando lugar a la necesidad de realizar los estudios detallados referenciados en el anterior párrafo, los cuales definirán la viabilidad de la disminución de la amenaza.

En concordancia a los elementos expuestos anteriormente, la siguiente tabla resume las acciones determinadas en el presente plan para las áreas con condición de amenaza en el perímetro urbano y áreas de expansión:

Tabla 2. Acciones en áreas con condición de amenaza por fenómenos naturales

NIVEL DE AMENAZA	ACCIÓN PROSPECTIVA	AMENAZA ASOCIADA
Alta	• Estudios detallados de amenaza a suelos de desarrollo condicionado. (Los estudios 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.) Decreto 1077 de 2015. • Prohibición de asentamientos e infraestructura en suelos de desarrollo condicionado hasta aprobación de estudios por parte de la Secretaría de Planeación y Ordenamiento Territorial. • Obras de mitigación/reducción de la amenaza + sistema de alerta. • Valoración de la norma urbanística aplicable conforme a resultados de estudios detallados y posibles obras de mitigación. • Inclusión de las áreas con amenazas NO mitigables en la estructura ecológica principal como suelo de protección.	- Fenómenos de remoción en masa - Inundación - Avenida Torrencial

NIVEL DE AMENAZA	ACCIÓN PROSPECTIVA	AMENAZA ASOCIADA
Media	• Estudios detallados de amenaza a suelos de desarrollo condicionado. • Obras de control de la amenaza.	
Baja	• Obras de control de la amenaza.	
Sin amenaza	• Sin acciones	

Fuente: SPOT

La condición de amenaza dada por la amenaza por fenómenos de remoción en masa para el perímetro urbano es de 141,08 Ha, siendo el 4,46% de esta. En cuanto a la condición de amenaza en las áreas de expansión, 28,15 Ha se encuentran susceptibles a movimientos en masa, siendo el 3,6% de estas.

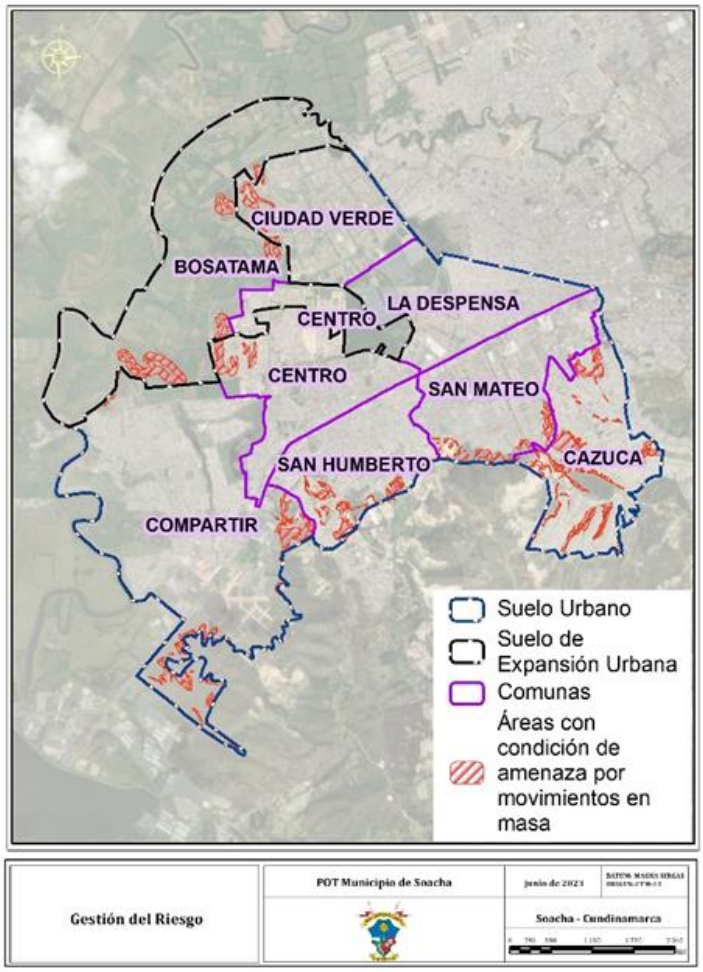


Figura 16. Mapa de áreas con condición de amenaza por remoción en masa en el perímetro urbano y de expansión.
Fuente: Secretaría de Planeación y Ordenamiento Territorial

1.4.2. ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO

La tipificación de las áreas de condición de riesgo para el municipio de Soacha, se determinó al identificar las zonas en las cuales hay elementos o infraestructura expuestos ante la acción de los fenómenos de remoción en masa, avenida torrencial e inundación. Esta clasificación se enmarca en el tratamiento de gestión correctiva, puesto que con la identificación del riesgo se pretende corregir los hábitos de asentamiento de la población, ya sea mediante acciones estructurales (obras de mitigación) o no estructurales (normatividad o reglamentación de uso).

Al igual que con las áreas con condición de amenaza, las áreas con condición de riesgo alto o muy alto no se clasifican como no mitigable en tanto no se realice el estudio a detalle que determine la viabilidad de mitigación o reducción del riesgo.

La imposibilidad de disminuir el riesgo clasifica las áreas como no mitigables, por lo tanto, se priorizarán las acciones de reubicación de la población establecida en la zona y se procederá a clasificar el suelo recuperado como área de protección, entrando a hacer parte de la estructura ecológica principal.

Una vez determinadas las zonas donde no se puede mitigar la amenaza y el riesgo, se entrará a realizar censo de viviendas en riesgo, y posteriormente se dará aplicación a los Decretos Nacionales que hacen mención a dichas zonas de riesgo tales como:

a. Decreto Nacional 0900 de 2012, en su artículo 15 establece que no eligen proyectos para otorgar subsidios para la Vivienda VIS Rural, cuando están localizadas en zonas de alto riesgo no mitigable, en el suelo rural.
b. El Decreto Nacional 2742 de 2008, que reglamenta la Ley 1183 de 2008, para poder otorgar títulos de propiedad a los poseedores de vivienda de interés social, en el artículo 2, no se puede otorgar título cuando está en zona de riesgo no mitigable.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, las acciones correctivas según el nivel de amenaza se configurarían de la siguiente manera:

Tabla 3. Acciones en áreas con condición de riesgo por fenómenos naturales.

NIVEL DE AMENAZA	ACCIÓN CORRECTIVA	AMENAZA ASOCIADA
Alta	• Estudios detallados de amenaza a terrenos en condición de riesgo. • Reubicación de asentamientos e infraestructura áreas de riesgo alto no mitigable bajo concepto de la Secretaría de Planeación y Ordenamiento Territorial.	• Fenómenos de remoción en masa • Inundación • Avenida Torrencial

NIVEL DE AMENAZA	ACCIÓN CORRECTIVA	AMENAZA ASOCIADA
	• Obras de mitigación/reducción de la amenaza (si es viable según estudios detallados) + sistema de alerta. • Prohibición del asentamiento en áreas con riesgo alto no mitigable. • Inclusión de las áreas sujetas a reubicación por concepto de riesgo alto NO mitigable en la estructura ecológica principal como suelo de protección.	
Media	• Estudios detallados de amenaza a terrenos en condición de riesgo. • Obras de control y protección del área.	
Baja	• No permitir aumento de amenaza.	

Fuente: SPOT

La zonificación de las áreas con condición de riesgo por fenómenos de remoción en masa dentro del perímetro urbano arroja un resultado de 41,42 Ha con este estado, correspondiendo al 1,31% del área total urbana.

Los sectores con alta prioridad de estudios a detalle debido a la condición de riesgo que presentan se resumen en los siguientes barrios:

Comuna 2: La Veredita, San Isidro, La Primavera, El Mirador.

Comuna 4: El Barreno, La Esperanza, San Rafael, El Arroyo, La Nueva Unión, Luis Carlos Galán I, Luis Carlos Galán II, Luis Carlos Galán III, Altos del Pino, Los Balcanes, Casaloma, Lomalinda, Minuto de Dios, Carlos Pizarro, Julio Rincón II, La Capilla, Villa Mercedes I, Villa Mercedes II, Terranova, Santo Domingo, El Paraíso de Corinto, El mirador de Corinto, El Oasis, Los Robles, La Isla, El Progreso, Villa Nueva Alta, Buenos Aires, Los Pinos, Villas de Casaloma, Rincón del Lago, Bella Vista, La Meseta, Bahía del Oeste, Las Margaritas.

Comuna 6: Altos de la Florida El Retiro, La Florida I, Altos de la Florida I, Altos de la Florida II, Divino Niño I, Parques de San José.

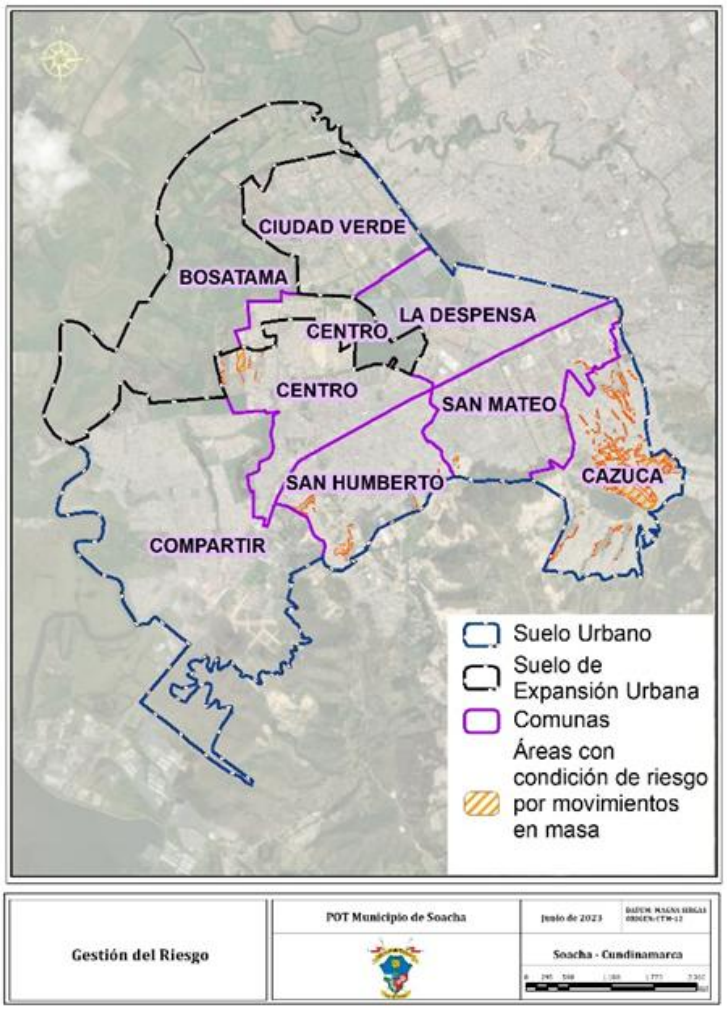


Figura 17. Mapa de áreas con condición de riesgo por fenómenos de remoción en masa en el perímetro urbano y de expansión.

Fuente: Secretaría de Planeación y Ordenamiento Territorial

1.5. ZONAS DE AMENAZA POR REMOCIÓN EN MASA – ZONA RURAL

La zonificación de amenaza por movimientos en masa considerando mecanismos de falla distintos a caída, se realizó mediante la evaluación determinística de factores de seguridad, tomando como base los mecanismos de falla traslacional para suelos y planar para roca, así como rotacional para suelos y rocas.

La integración de todos los factores involucrados en los análisis de equilibrio límite, así como, la zonificación de factores de seguridad para los dos mecanismos evaluados se realiza sobre plataforma ArcGIS.

De acuerdo con el inventario de movimientos en masa y los resultados del análisis cinemático, los movimientos con componentes de falla tipo planar (deslizamiento traslacional, flujo, reptación) son muy frecuentes, por lo que se generalizó este mecanismo de falla para toda la zona de estudio. Los factores de seguridad en este caso fueron calculados mediante el uso del modelo de talud infinito, programando la formulación en SIG. Así mismo, se escogieron algunas zonas con posibilidad de ocurrencia de falla rotacional, en las que se evaluaron los factores de seguridad utilizando métodos convencionales de análisis de falla circular. Estas secciones fueron definidas de acuerdo con el conocimiento del área de estudio y el inventario de movimientos en masa. Seguidamente, tales factores de seguridad fueron asignados a un área de influencia a la sección analizada, por medio de criterio geomorfológico. De esta forma, estos factores de seguridad fueron integrados al sistema SIG, con el fin de generar la cobertura respectiva utilizando los valores mínimos calculados.

Es importante aclarar que el espesor y las características geomecánicas del suelo potencialmente inestable, se definieron con base en los datos producto de la caracterización geomecánica de los materiales que incluye calidad de macizo rocoso los resultados de las investigaciones y geotécnicas realizadas en el área de estudio. Es de aclarar que debido a las condiciones que se presentan en la zona de estudio, los modelos se corrieron bajo una condición básica de saturación, de acuerdo a lo obtenido en el análisis hidrológico.

CONCLUSIONES

a. El municipio de Soacha se ha visto últimamente afectado drásticamente por fenómenos de remoción en masa que se han venido produciendo por la ola invernal y cambios climáticos que producen los agentes detonantes que activan estos fenómenos que desestabilizan los taludes y laderas, fenómenos que ocurren sin previo aviso causando desastres y arrastrando todo lo que encuentran a su paso disminuyendo la calidad de vida y colocando en riesgo la vida de los habitantes.
b. Los productos de la zonificación de la amenaza por movimientos en masa, pretenden constituirse en una herramienta de conocimiento técnico y científico para el apoyo en los procesos de planificación y ordenamiento del territorio en cuestión, así como en los diferentes planes y procesos de gestión integral de los riesgos a que están expuestas las comunidades. Esta herramienta busca apoyar, tanto a las autoridades municipales como a la comunidad y demás actores usuarios del territorio, para mejorar las condiciones de riesgo y propender por una mejora integral de la calidad de vida de sus habitantes en general.
c. Dados los alcances a escala 1:25.000, la información aquí consignada permitirá generar herramientas en apoyo con el plan de ordenamiento del municipio con el fin de establecer

zonas de evaluación detallada prioritaria con el fin de direccionar y priorizar acciones concretas para dar solución a los problemas relacionados con las amenazas geológicas existentes.

d. Otra herramienta básica de planificación la constituye el mapa de zonificación geomecánica, el cual presenta la descripción y clasificación física y mecánica de los materiales geológicos presentes en superficie en el municipio y la cartografía resultado de este trabajo permitirá al municipio definir con mayor grado de exactitud los requerimientos mínimos para el desarrollo de estudios específicos para obras de infraestructura importantes tales como metrocable, incluyendo los planes de vivienda masiva que son prioritarios para un municipio con una muy alta densidad poblacional.

Enseguida se efectúa un breve resumen de los aspectos prioritarios que se desarrollaron a lo largo del estudio y que permiten establecer conclusiones y lineamientos generales.

Aspectos geológicos

a. En el municipio de Soacha afloran rocas sedimentarias Cretácicas y Terciarias de las formaciones Arenisca Dura, Plaeners, Labor Tierna y Guaduas y depósitos poco consolidados a no consolidados del Cuaternario. De acuerdo a la composición litológica predominan las rocas de grano medio a fino (areniscas).
b. La actividad tectónica generada sobre los macizos rocosos ha producido intenso fracturamiento que ha acelerado los procesos de meteorización y la formación de depósitos coluviales asociados principalmente a zonas de escarpe.
c. Las rocas aflorantes en la zona de estudio, se clasificaron en unidades de roca y unidades de suelos de acuerdo a sus características ingenieriles. Dentro de éstas tenemos las siguientes clases: Rocas duras, intermedias y blandas. Las unidades de suelos se clasificaron teniendo en cuenta principalmente su origen y características ingenieriles, dividiéndolos en suelos residuales y transportados.
d. Para la clasificación de las Unidades Geológicas Superficiales se utilizaron parámetros como litología, textura, dureza, grado de fracturamiento, grado de meteorización y forma de granos, los cuales dan a cada unidad características ingenieriles específicas.
e. Entre las unidades rocosas que presentan un mayor grado de fracturamiento se tienen las rocas de composición principalmente silícea, de granulometría fina, de consistencia dura y de estratificación media a muy delgada, las cuales corresponden a las Formaciones Lidita Superior y Plaeners.
f. Las Unidades Geológicas Superficiales de mayor distribución en el municipio de Soacha son las rocas intermedias de la Formación Arenisca Labor-Tierna (Rialt) que ocupan 3536 Ha (19%), se encuentra en una gran extensión del territorio de Soacha, en esta unidad predominan las explotaciones de arena de peña y los movimientos en masa asociados a esta unidad corresponden a caída de bloques y desprendimiento de material en las zonas de canteras.

g. La unidad de roca dura de Arenisca Dura (Rdad) ocupa 3194 Ha (17%), aflora en gran parte del territorio del municipio de Soacha, en especial hacia el sector sur del área urbana. La Susceptibilidad de estas rocas a los movimientos en masa es muy baja, debido a sus condiciones geomecánicas y espesor, sin embargo, existen movimientos en masa puntuales tipo caída de rocas asociados a esta unidad.
h. Las unidades de roca blanda que prevalece es la roca blanda de la Formación Guaduas (Rbacg) ocupa 1080 Ha (6%), se encuentra en una gran franja a lado y lado del rio Soacha, en las veredas Fusunga, Panamá y San Jorge. Esta unidad es la fuente de explotación de arcillas para las diferentes empresas mineras del sector. Esta unidad es la fuente de origen de grandes deslizamientos como el del Barreno en cercanías a la represa de Terreros, los de la comuna IV y los movimientos en masa y procesos erosivos que afectan el valle de la quebrada Fusunga (vereda Fusunga).
i. Las unidades de suelo transportado fluviolacustre que prevalecen en la zona son los Suelos recientes de origen fluvial (Stfr) ocupan 2857 Ha (15%) y los Suelos fluviolacustres de la Formación Sabana (Stfls) ocupan 2651 Ha (14%). Estas unidades de suelos se presentan al Nororiente en zonas planas y la presencia de movimientos en masa es casi nula, se asocian más con eventos de inundaciones y la presencia de llenos entrópicos, en muchas ocasiones sin condiciones técnicas.
j. Los suelos transportados por gravedad o suelos coluviales que predominan son los Suelos coluviales inactivos (Stcoi) ocupan 820 Ha (4%). Los Suelos coluviales activos (Stcoi) ocupan 78 Ha (<1%), son los que presentan una mayor susceptibilidad a los movimientos en masa y se encuentran distribuidos a lo largo de toda la zona de estudio, generándose a partir de éstos los movimientos en masa que afectan los sectores de El Charquito y algunas viviendas localizadas en la vereda San Francisco y la vía Soacha-Mesitas en cercanías al Salto del Tequendama.
k. En el municipio de Soacha afloran rocas sedimentarias Cretácicas y Terciarias de las formaciones Arenisca Dura, Plaeners, Labor Tierna y Guaduas y depósitos poco consolidados a no consolidados del Cuaternario. De acuerdo a la composición litológica predominan las rocas de grano medio a fino (areniscas).
l. La actividad tectónica generada sobre los macizos rocosos ha producido intenso fracturamiento que ha acelerado los procesos de meteorización y la formación de depósitos coluviales asociados principalmente a zonas de escarpe.
m. Las rocas aflorantes en la zona de estudio, se clasificaron en unidades de roca y unidades de suelos de acuerdo a sus características ingenieriles. Dentro de éstas tenemos las siguientes clases: Rocas duras, intermedias y blandas. Las unidades de suelos se clasificaron teniendo en cuenta principalmente su origen y características ingenieriles, dividiéndolos en suelos residuales y transportados.
n. Para la clasificación de las Unidades Geológicas Superficiales se utilizaron parámetros como litología, textura, dureza, grado de fracturamiento, grado de meteorización y forma de granos, los cuales dan a cada unidad características ingenieriles específicas.
o. Entre las unidades rocosas que presentan un mayor grado de fracturamiento se tienen las rocas de composición principalmente silícea, de granulometría fina, de consistencia dura y

de estratificación media a muy delgada, las cuales corresponden a las Formaciones Lidita Superior y Plaeners.

Aspectos geomorfológicos

a. El municipio de Soacha hace parte de la provincia geomorfológica de la Cordillera Oriental, cuya historia está asociada con eventos de acumulación de sedimentos en cuencas inicialmente distensivas y subsidentes, afectadas luego por eventos compresivos y distensivos como consecuencia del levantamiento de la cordillera. Como resultado de estos esfuerzos se generaron pliegues anticlinales y sinclinales en dirección Noreste, apretados y localmente tumbados, acompañados de fallas inversas, de desgarre y de rumbo dirección noroeste – sureste facilitando el desarrollo de sierras homoclinales con diferentes grados de plegamiento.
b. La geomorfología desarrollada sobre el municipio de Soacha está relacionada con procesos morfogenéticos de varios tipos entre los que sobresalen: 1). Origen Fluvial, como producto del transporte y acumulación de materiales en corrientes y cuerpos de agua. 2). Origen Glaciar y Periglaciar, como producto del transporte y acumulación de grandes masas de material por descongelamiento de glaciares. 3). Origen Denudativo, como producto de la acción de los procesos erosivos sobre las rocas preexistentes. 4). Origen Estructural – Denudativo, como resultado de procesos tectónicos que levantaron, plegaron y fracturaron grandes cuerpos de roca. 5). Origen Antrópico, relacionado con la transformación rápida del paisaje por el hombre, como producto de los procesos de ocupación del suelo (deforestación, agricultura, ganadería, minería y urbanización informal, entre otras).
c. En el municipio de Soacha se distinguen tres regiones morfológicas: 1). La zona montañosa del sur del municipio, de altas pendientes, donde predominan los procesos glaciares y periglaciares. 2). La zona central, donde predominan geoformas montañosas colinadas y procesos tectónico- estructurales. 3). La zona centro norte de geomorfología semiplana a plana donde predominan los procesos fluviolacustres.
d. Los procesos glaciares fueron intensos en la zona del páramo, generando extensos depósitos de morrenas sobre las cuales se desarrollan suelos residuales espesos en zonas planas, siendo estables y con ausencia de procesos de remoción en masa. La erosión glaciar también generó grandes escarpes a partir de los cuales se generaron caídas de roca y volcamientos.
e. Existe un control estructural muy marcado en cuanto a la orientación alargada de los cerros que desarrollan sierras (homoclinales, sinclinales y anticlinales), escarpes de falla, cerros aislados, etc., los cuales, a pesar de estar compuestos por rocas de resistencia relativamente alta, se encuentran afectados por fracturamiento, que, junto con la alta inclinación de las pendientes, hacen de la zona naturalmente inestables y susceptible a la generación de MM.
f. Dadas las características morfológicas del municipio de Soacha, este cuenta con paisajes diversos de sur a norte, que dentro de un enfoque de planeación y ordenamiento territorial pueden convertirse en una gran potencialidad para sus procesos de desarrollo. Lo contrario

podría potenciar el desarrollo de zonas de alto riesgo teniendo en cuenta que a su vez el territorio posee susceptibilidades a desarrollar amenazas por movimientos en masa.

g. Grandes procesos morfodinámicos se encuentran asociados a laderas de pendiente escarpada (Del) que se combinan con geoformas antrópicas (Acn) que dan como resultados procesos como los que ocurren en la Comuna IV y desembocadura de la Quebrada Fusunga, que en muchos de los casos se encuentra asociada a rocas duras muy fracturadas por procesos tectónicos o rocas blandas muy meteorizadas.
h. En la zona del Charquito, los depósitos coluviales (Dcoa), a lo largo de la vía, conforman en la actualidad grandes movimientos que amenazan con la estabilidad de los terrenos y de la vía misma. Los Dcoi, aunque son procesos inactivos, al ser depósitos de baja cohesión, deben ser tratados con cautela, pues una vez que se saturan pueden volverse a reactivar.
i. Las geoformas de origen aluvial tales (Fbp, Fca, Fcd, Fcdy, Fet, Fmc, Fpi, Fpla, Fta y Ftas), al estar compuestos por sedimentos recientes, no tienen la suficiente cohesión y compactación por lo cual deben recibir un tratamiento cauteloso en las evaluaciones geotécnicas, aun cuando estos se encuentren en zonas planas a semiplanas como sucede con las unidades Fpi, Fpla y Fcdy.
j. Las geoformas de origen fluvial y lagunar, de mayor distribución en el municipio de Soacha son las Planicies o llanuras de inundación (Fpi) que ocupan 2513 Ha (13%) y las Planicies y deltas lacustrinos (Fpla) que ocupa 2243 Ha (12%), siendo las zonas con menor ocurrencia de movimientos en masa, pero las más afectadas por inundaciones en época de fuerte invierno.
k. Las geoformas de origen estructural, de mayor distribución son las Laderas homoclinales de sierra denudada (Sshle) que ocupan 1429 Ha (8%) y las Laderas de contrapendientes de sierra homoclinal denudada (Sshcp) que ocupan 1320 Ha (7%). En zonas asociadas a estas geoformas, intervenidas por canteras, donde no se han desarrollado procesos extractivos y planes de recuperación adecuados, se presentan movimientos en masa relacionados con volcamiento, caída y desprendimiento de material rocoso, como se puede observar en las veredas Panamá y Fusunga. También se presentan movimientos en masa en el sector del Salto del Tequendama (veredas San Francisco y el Charquito) relacionados con procesos de deforestación, uso silvo pastoril y cortes de vías.
l. Las geoformas de origen denudacional, de mayor distribución son las Planchas estructurales denudadas (Dlpd) que ocupan 1243 Ha (7%), Ladera denudacional moderada a suave (Dlm) que ocupan 1075 Ha (6%), Cerros remanentes (Dcrm) que ocupan 871 Ha (5%) y Depósitos coluviales inactivos (Dcoi) que ocupan el 4,23. La mayor parte de movimientos en masa asociados a estas geoformas se relacionan con los Depósitos coluviales inactivos (Dcoi), ya que a partir de éstos se generan movimientos en masa por sobresaturación en épocas de fuerte invierno y por acción antrópica que tiene que ver con la deforestación, apertura de vías y construcción de viviendas, como los observados en los sectores de El Charquito que afectan algunas viviendas localizadas en la vereda San Francisco y la vía Soacha-Mesitas en cercanías al Salto del Tequendama.

Cobertura y uso del suelo

a. El 51% del área del municipio presenta cobertura y uso actual del suelo en pastos y 32% del mismo territorio está cubierto por pastos que se consideran manejados ubicados principalmente en planicie y afectados en algunos sectores por inundaciones del río Bogotá, evidenciado al finalizar el año 2010.
b. Tipos de pastos naturales o sin manejo y en afloramientos rocosos que alcanzan 18,7% del área de estudio y ubicados en paisaje de montaña, aunque no se observó asociados fenómenos de movimientos en masa recientes ni efectos significativos por erosión, si se considera, que la superficie no tiene un uso claramente definido y ni el más apropiado ambiental y económico, dado que no contribuye a mejorar la regulación hídrica del área sin favorecer el suministro de agua en las partes bajas y disminuir efectos por inundaciones o flujos de lodo.
c. Lo observado en campo permite inferir que los fenómenos de movimientos en masa e inundaciones ocurridos en el municipio, obedecen a los cambios de uso que se dieron desde hace décadas, el ejemplo visto es la eliminación la cobertura vegetal original en buena parte del área, luego la implementación de pastos y en algunos sitios siguió el establecimiento de canteras y núcleos urbanos.
d. Se debe proteger, conservar y ampliar la base genética y de biodiversidad vegetal que aún queda en el municipio dada la vulnerabilidad y amenaza que ella enfrenta, hacia mediano y largo plazo, ello contribuiría a disminuir efectos de movimientos en masa, inundaciones, mejorar e incrementar servicios ambientales.
e. Para el logro sugerido en la conclusión anterior, sería importante que, en el ordenamiento del territorio, se promueva estudios y planes de manejo para el manejo tanto del sector agropecuario como de los bosques.

Aspectos hidrológicos

a. En general el área de estudio se encuentra localizada bajo un régimen bimodal con precipitaciones medias mensuales altas en los meses de abril, mayo, octubre y noviembre y bajas en los meses de enero, febrero, julio y agosto, y meses de transición en marzo, junio, septiembre y diciembre. La época de lluvias más intensa se presenta en el segundo semestre del año.

b. En la zona de estudio la precipitación varía entre 600 mm y 1200 mm siendo valores bajos comparados con el resto del país, no obstante, las precipitaciones máximas diarias oscilan entre 50 mm y 100 mm las cuales pueden considerarse altas como detonantes de movimientos en masa.

c. El área con menor precipitación media anual se localiza en la zona media aumentando su valor hacia el norte y hacia el sur del área de estudio, conservando la misma tendencia la temperatura y la humedad relativa, siendo esta última la de menor variabilidad en el área.

d. La temperatura promedio registrada en cinco estaciones vecinas al área de estudio no supera los 15.2 °C, medida en la estación UNAL, mientras que el mínimo valor promedio se registró en la estación San Jorge con un valor de 10.5°C.

e. La humedad relativa promedio registrada en cinco estaciones vecinas al área de estudio no supera el 93 %, medida en la estación Acapulco, mientras que el mínimo valor promedio se registró en la estación UNAL con un valor de 74.5%.

Aspectos geomecánicos

a. El mapa de Geomecánica aporta información para aplicaciones en los campos de la ingeniería, como planificación Regional y Urbana.

b. El producto entregado de geomecánica Esc 1:25.000 no reemplaza los estudios de detalle requeridos para el diseño y desarrollo de obras de mitigación o de infraestructura.

c. Las descripciones de cada unidad comprenden los factores necesarios para identificar los problemas superficialmente del Municipio, del mismo modo se dan a conocer las restricciones asociadas a los materiales presentes y se dan las respectivas recomendaciones antes de iniciar un proyecto de infraestructura.

d. Las áreas cubiertas por suelo en el municipio representan el 51% del total y las área cubiertas por materiales rocosos en el municipio restante 49% Igualmente el 26% de este 51% corresponde a materiales arcillosos que presentan alta deformabilidad y pueden ser potencialmente expansivos, los cuales están representados en las unidades de suelos 38 y 39 localizados al norte del municipio, La unidad 38 correspondiente a CL-CH – SC que ocupa un 11.88% del área y la unidad 39 correspondiente a CH- CL y que ocupa un 13.9% del área y que cubren la mayor parte del área plana al norte del municipio presentan en profundidad valores que indican potencial de expansión y disminución de la resistencia en profundidad, por lo tanto se requiere de estudios adicionales para estos materiales si se van a desarrollar diseños específicos para obras de infraestructura, en especial pensando que esta zona es la que se tiene planteada como de expansión urbana para el municipio. Esto debido a que las obras que se desarrollen sobre estos materiales pueden verse sometidas a deformaciones diferenciales que pueden afectar la estabilidad general de las estructuras que soporten.

e. En general en la zona se encuentra roca intacta de alta resistencia encontrándose que del 51% de material rocoso existente el 30% de ellos es de calidad buena y aceptable y el restante 20% es de calidad mala y muy mala.

f. Las zonas que presentan macizos de calidad muy mala y mala se ubican en el límite noroccidental del municipio y en algunos escasos sectores al sur del mismo.

g. En la zona urbana en el sector de Divino Niño y la Cristalina, aunque presenta algunas pequeñas zonas con presencia de macizos de calidad mala en el mayor porcentaje del área los macizos rocosos son de calidad aceptable y algunos buena.

h. Las zonas bajas y planas hacia el área de expansión urbana en la zona norte presentan materiales arcillosos con alto potencial expansivo, lo que genera la probabilidad de fallas por deformación en las edificaciones si no se plantean medidas de control de asentamientos anteriores a la construcción y se solicitan estudios específicos de deformación y resistencia especiales para suelos con comportamientos especiales, tal como se planteó en párrafos anteriores.

i. Los espesores del material arcilloso en la zona central pueden llegar hasta 130 metros en la zona central (de la Formación Sabana) disminuyendo un poco en los límites.

j. Los tipos de procesos más usuales que afectan los macizos rocosos son 28,30% falla en cuña, 15,10% falla por volcamiento, 6,25% falla planar, 21,50% falla planar y en cuña, 2% falla planar y por volcamiento, y un 2% falla en cuña y por volcamiento.

k. Sin embargo, la mayor parte de los procesos de inestabilidad en la zona están asociados al tipo de materiales presentes y su afectación estructural, así como a las pendientes y al cambio de uso de los suelos que ha llevado al aumento de procesos erosivos y de meteorización de los materiales por entrada de agua a los niveles inferiores de suelos y rocas.

l. Algunos procesos están asociados a coluviones reactivados producto de presiones de agua debido a inexistencia de drenajes y manejo de aguas en gran parte de los casos.

m. En muchos de los casos de zonas inestables en el área urbana los sitios se localizan en antiguas zonas de canteras de minería informal abandonadas y que han sido ocupadas por barrios no legalizados y por ocupación por sectores sociales producto del desplazamiento.

Amenaza por Movimientos en Masa

a. El porcentaje de amenaza baja se presenta en una gran parte del territorio (57,53%) correspondiendo solo el 32,32% a amenaza alta en esta condición.

b. La mayoría de los procesos (MM) inventariados se localizan en zona de amenaza alta, especialmente los relacionados con caídas, flujos y reptación. Las zonas de amenaza baja se extienden en su mayoría en la zona plana al norte del municipio y en gran parte de las rocas duras ubicadas al oriente y sur oriente del mismo.

c. Los histogramas muestran que la mayor parte de los procesos inventariados se asocian a caídas y flujos en las cuatro zonas; en las zonas II y III se presentan también procesos de tipo rotacional y traslacional o plano. Estos resultados atienden el hecho de que la modelación se realizó sobre un modelo de falla plano en todos los materiales y solo en casos específicos con un modelo circular.

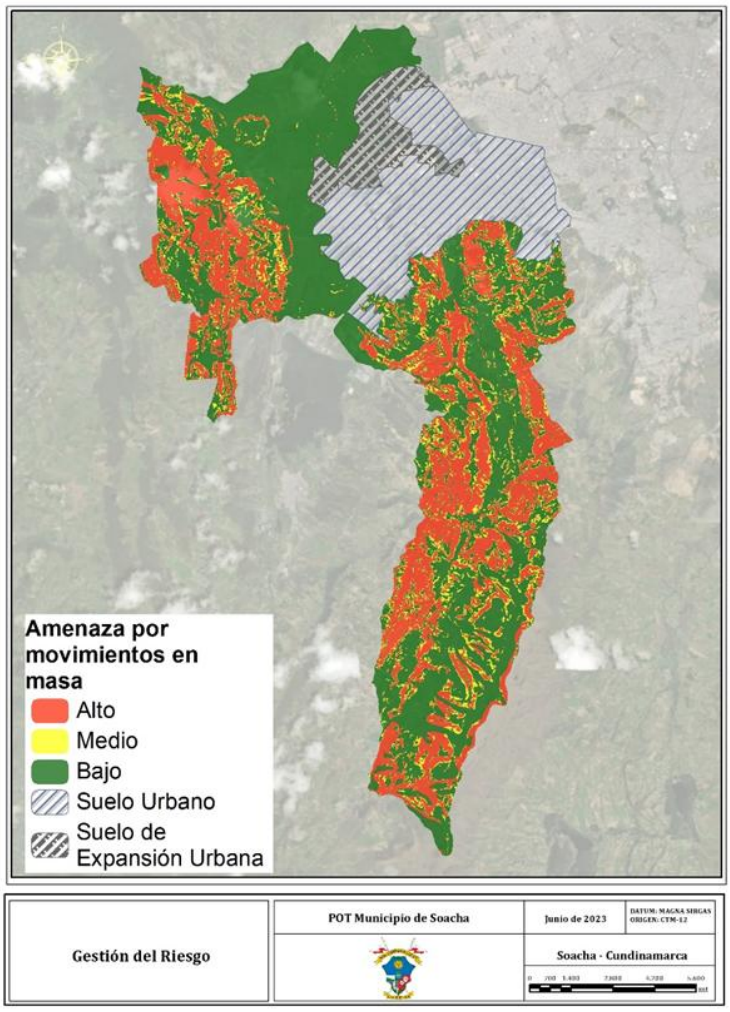


Figura 18. Mapa de amenaza por remoción en masa, 57,93% amenaza baja, 10,35% amenaza media, 31,72% amenaza alta en el área rural. Fuente: Servicio Geológico Colombiano

Fuente: Servicio Geológico Colombiano – Secretaría de Planeación y Ordenamiento Territorial

1.5.1. FENÓMENO DE MOVIMIENTOS EN MASA EN CENTROS POBLADOS

1.5.1.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ÁREAS DE ESTUDIO

El área de estudio corresponde a los centros poblados rurales (CPR) –El Charquito, Chacua – Cabrera y Alto de la Cruz ubicado en la en las veredas del Charquito, Chacua y Alto de la Cruz del Municipio de Soacha y el Asentamiento Humano Rural poblado rural (AHR) – Altos de La Florida, ubicado en la Comuna IV al sur occidente del Municipio de Soacha, departamento de Cundinamarca departamento de Cundinamarca, como se observa en la siguiente figura.

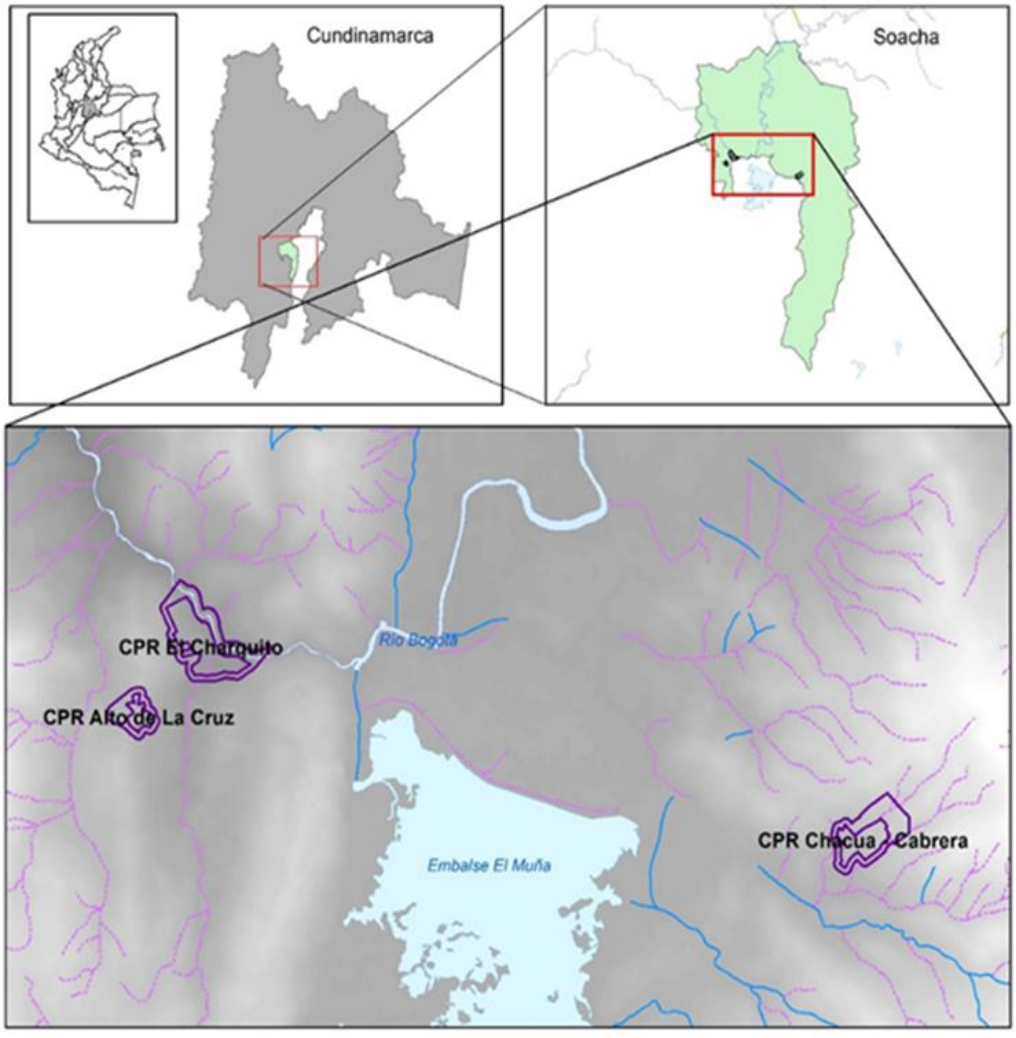


Figura 19. Localización geográfica de las áreas de estudio

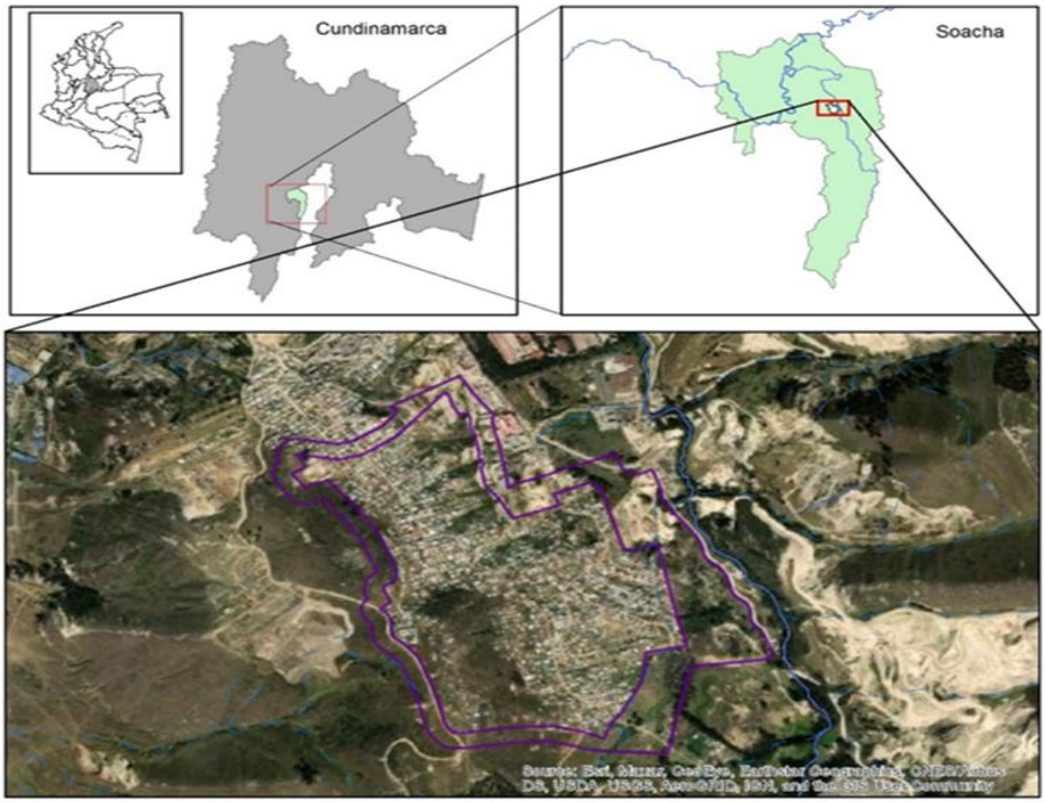


Figura 20. Localización geográfica de las áreas de estudio

1.5.1.2. OBJETIVOS

1.5.1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la amenaza por movimientos en masa a partir de la integración de información geológica con parámetros geotécnicos, de aceleración sísmica y precipitaciones empleando la metodología del talud infinito.

1.5.1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a. Determinar las Unidades Geológicas para Ingeniería (UGI) con parámetros geotécnicos para las áreas de estudio
b. Analizar los detonantes de la amenaza por movimientos en masa
c. Zonificar la amenaza por movimientos en masa para las áreas de estudio
d. Determinar las áreas en condición de amenaza y riesgo por movimientos en masa para las áreas de estudio

e. Formular medidas de intervención de tipo estructural y no estructural para el fenómeno natural de movimientos en masa

1.5.1.3. AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

La evaluación de la amenaza parte de la susceptibilidad, la cual inicia por definir la distribución de movimientos en masa en ladera y procesos de vertientes generadores de desequilibrio morfogenético, tomando en consideración el enfoque geomorfológico, cuyo objetivo es determinar la variación espacial de la inestabilidad de las laderas y su representación cartográfica mediante el mapa de susceptibilidad.

La evaluación de la susceptibilidad se fundamenta en el análisis y espacialización de factores ambientales, que inciden en la estabilidad de las vertientes. Estos factores son evaluados independientemente bajo un sistema único de calificación, para luego ser integrados y así obtener una visión general del área.

A continuación, se presentan los conceptos básicos para la compresión de la metodología aplicada:

a. **Procesos de movimientos en masa:** Son aquellos que involucran el movimiento de materiales formadores del terreno bajo la influencia de la gravedad (por lo cual también se les conoce como procesos gravitacionales). Existen diferentes tipos, que se clasifican en función del material implicado, de la clase de movimiento exhibido y de la velocidad del. De tal forma que incluye la caída o desprendimiento de materiales, los vuelcos, deslizamientos, expansiones laterales, flujos y los movimientos complejos, este último resultado de la combinación de dos o más de los anteriores tipos (SGS, 2012).
b. **Susceptibilidad:** Expresa la facilidad con que un fenómeno puede ocurrir sobre la base de las condiciones locales del terreno. La susceptibilidad es una propiedad del terreno que indica qué tan favorables o desfavorables son las condiciones de éste, para que puedan ocurrir deslizamientos. Es por ello, que el mapa de susceptibilidad clasifica la estabilidad relativa de un área, en categorías que van de estable a inestable. El mapa de susceptibilidad muestra donde hay o no, condiciones para que puedan ocurrir deslizamientos. (Suarez Diaz ,1998). Para el presente documento, el término susceptibilidad aplicado a los procesos de remoción en masa entendidos como el grado de propensión de un terreno o espacio a sufrir dicha clase de fenómenos en función de la correlación de variables condicionantes de la inestabilidad.
c. **Amenaza:** Probabilidad de ocurrencia de un evento, o de la materialización de una fuente, en un sitio específico durante un periodo de tiempo determinado (Portilla M., 2012). Una evaluación de una amenaza incluye un estudio previo de la susceptibilidad y de la posibilidad de que ocurra uno o varios eventos detonantes que materialice la fuente.
d. **Zonificación**: El término zonificación, se refiere de algún modo al concepto de mapa, el cual es definido como una representación gráfica, plana y a escala, de una porción o de la totalidad de la superficie terrestre o de cualquier cuerpo celeste (Flores, 2010). Es la

representación cartográfica de áreas con características homogéneas. Debe realizarse mediante el sistema de coordenadas oficial definido por la autoridad cartográfica nacional y su precisión estará dada en función de la escala de trabajo. (Decreto 1077 de 2015 Art.2.2.2.1.3.1.3. Parágrafo 1).

e. **Delimitación:** Consiste en la identificación del límite de un área determinada, mediante un polígono. Debe realizarse bajo el sistema de coordenadas oficial definido por la autoridad cartográfica nacional y su precisión estará dada en función de la escala de trabajo. (Decreto 1077 de 2015 Art.2.2.2.1.3.1.3. Parágrafo 1).

1.5.1.3.1. ÁREA DE ESTUDIO

De acuerdo a lo estipulado en el Artículo 2.2.2.1.3.2.1.1 del Decreto 1077 de 2015, el área de estudio para la elaboración de estudios básicos de amenazas por movimientos en masa se adelantará en todas las zonas de relieve escarpado, montañoso y ondulado, con pendientes iguales o superiores a 5 grados más los taludes marginales de cauces, así como las zonas planas que puedan recibir los efectos de los movimientos en masa.

Las áreas a zonificar con la amenaza por movimientos en masa presentan las características mencionadas, por ende, se procede a realizar el estudio en la totalidad de su área a escala 1:5.000 tal y como indica la norma para suelos urbanos, de expansión urbana y centros poblados, a continuación, se presenta su distribución espacial.

Figura 21. Localización de las áreas de estudio – CPR Alto de la Cruz, El Charquito y Chacua –Cabrera
Fuente: Siglo XXII SAS

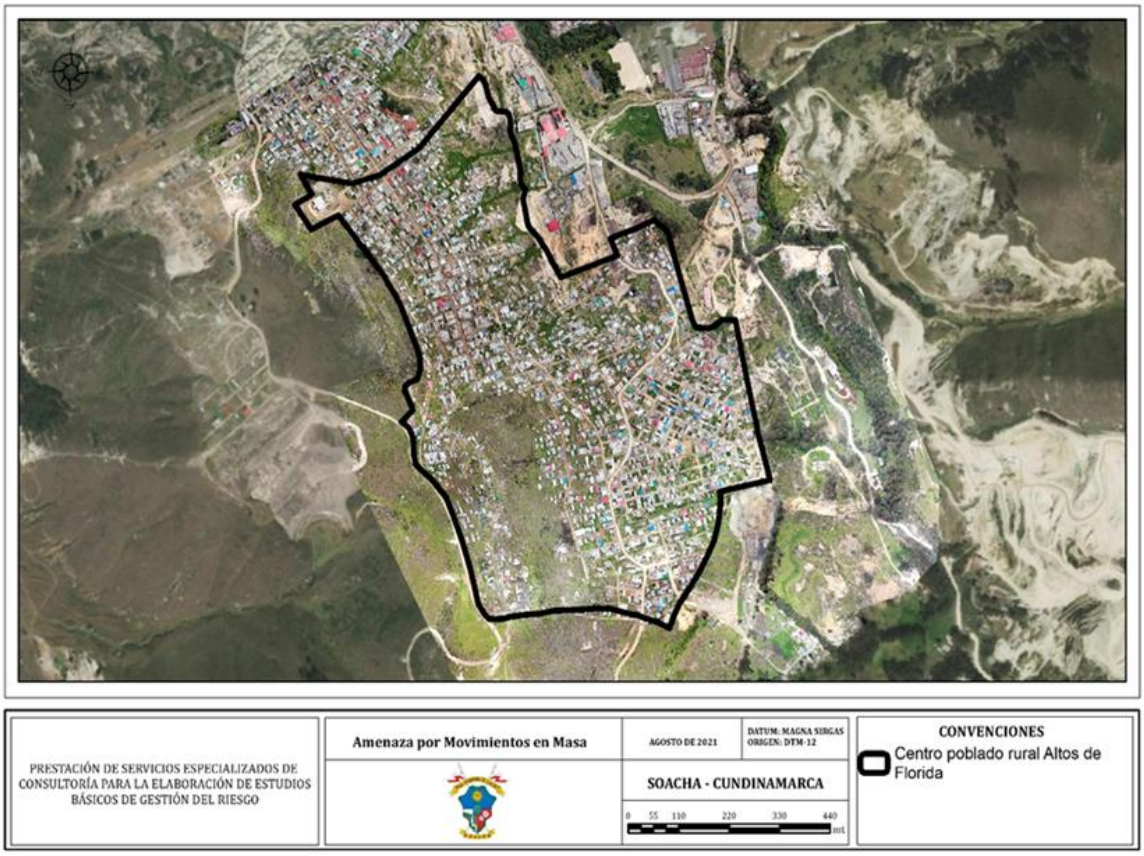


Figura 22. Localización de las áreas de estudio AHR Altos de La Florida

Fuente: Siglo XXII SAS

Figura 23. Fotografías del área de estudio donde se evidencia alta susceptibilidad a procesos de movimientos en masa – AHR ALTOS DE LA FLORIDA

Fuente: Siglo XXII SAS

1.5.1.3.2. INSUMOS

Los insumos empleados fueron los siguientes:

a. Cartografía base escala 1:1.000 superior a la requerida (1:5.000) a partir de ortofotomosaicos generados mediante plataforma aérea no tripulada tipo Drone, están amarrados con puntos de fotocontrol generados con estaciones satelitales. Con coordenadas, curvas de nivel, drenajes, red vial infraestructura y equipamientos, y asentamientos humanos.

b. Mapa de Unidades Geológicas para Ingeniería (UGI)

c. Mapa de geomorfología a nivel de elementos geomorfológicos

d. Mapa de coberturas.

e. Mapa de pendientes

1.5.1.3.3. ALCANCE

a. Recopilación y análisis de documentación de orden geológico-geotécnico para caracterizar el material de la zona.

b. Aplicación de la metodología para determinar la zonificación de amenazas por movimientos en masa

c. Escogencia de los factores y parámetros a utilizar y ordenación para su uso en el mapa y en el programa

d. Implementar el uso de la información como un medio de obtención de resultados.

e. Generar el mapa de zonificación de amenaza por movimientos en masa.

f. Generar el mapa para las áreas con condición de amenaza por movimientos en masa

g. Generar el mapa para las áreas con condición de riesgo por movimientos en masa

1.5.1.3.4. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA

Para determinar la amenaza por Movimientos en Masa en suelo urbano, de expansión urbana y centro poblados, se tomó como referencia la metodología de talud infinito, la cual corresponde a la ocurrencia de un deslizamiento por desprendimiento a través de un plano de falla horizontal a la pendiente del talud; que se da cuando se excede el Factor de Seguridad (Fs).

El Factor de Seguridad es usado para calcular cuál es el coeficiente de amenaza para que el talud falle en las peores condiciones de comportamiento para el cual se diseña, (Fellenius, 1927) presentó el factor de seguridad como la relación entre la resistencia al corte real, calculada del material en el talud y los esfuerzos de corte críticos que tratan de producir la falla, a lo largo de una superficie supuesta de posible falla.

Si la longitud relativa del deslizamiento es muy grande en relación con su espesor, la contribución de la resistencia en la cabeza y el pie del deslizamiento, es menor comparada con la resistencia del resto de la superficie de falla. En las condiciones ideales, se presenta una falla paralela a la superficie del talud, a una profundidad somera y la longitud de la falla es mayor comparada con su espesor. Este tipo de deslizamiento se puede analizar suponiendo un talud infinito.

Este método es un sistema para calcular el factor de seguridad de un talud, suponiendo un talud infinitamente extenso con una capa delgada de suelo, en el cual, cualquier tamaño de columna de suelo es representativo de todo el talud. Este asume que el suelo es isotrópico y homogéneo, el talud es infinitamente largo y la superficie de falla es paralela al talud.

De acuerdo a la guía metodológica del Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2015) la fórmula para obtener el factor de seguridad es la siguiente:

$$FS = \frac{(c`bseca + (ybhcosa - kybhsena - y_w\, h_w cos^2\, a)tan\emptyset)`}{ybh\ sena + kybhcosa}$$

Donde:

- c’ = intercepto de cohesión
- ∅`= ángulo de fricción
- y = peso unitario de la capa de suelo
- α = inclinación del terreno (superficie de falla)
- k = coeficiente de aceleración horizontal
- h = espesor de la capa de suelo
- hw = altura de la lámina de agua
- yw = peso unitario del agua

1.5.1.3.5. INSUMOS GENERALES

Para el modelamiento de la amenaza por movimientos en masa mediante el método de factor de seguridad, se establecieron como insumos generales todas aquellas variables que se involucran dentro de la fórmula.

1.5.1.3.5.1. MODELO DIGITAL DE TERRENO (DTM)

Para la elaboración del modelo digital de terreno, se implementaron métodos de captura de información directos, es decir, en campo fueron tomados puntos de fotocontrol con los cuales se georreferenciaron las imágenes de alta resolución obtenidas mediante la implementación de plataformas aéreas no tripuladas -Drone; como resultado se obtuvo un insumo georreferenciado con tamaño de pixel menor a 0,5 x 0,5 m.

A partir de este insumo y teniendo en cuenta el método de captura de información permite obtener datos del relieve (ejes X, Y, Z) fue generado en un modelo digital de terreno de alta resolución a

partir del cual se obtuvo la información relativa a la topografía con un alto nivel de detalle y con errores de desfases inferiores a 25 cm.

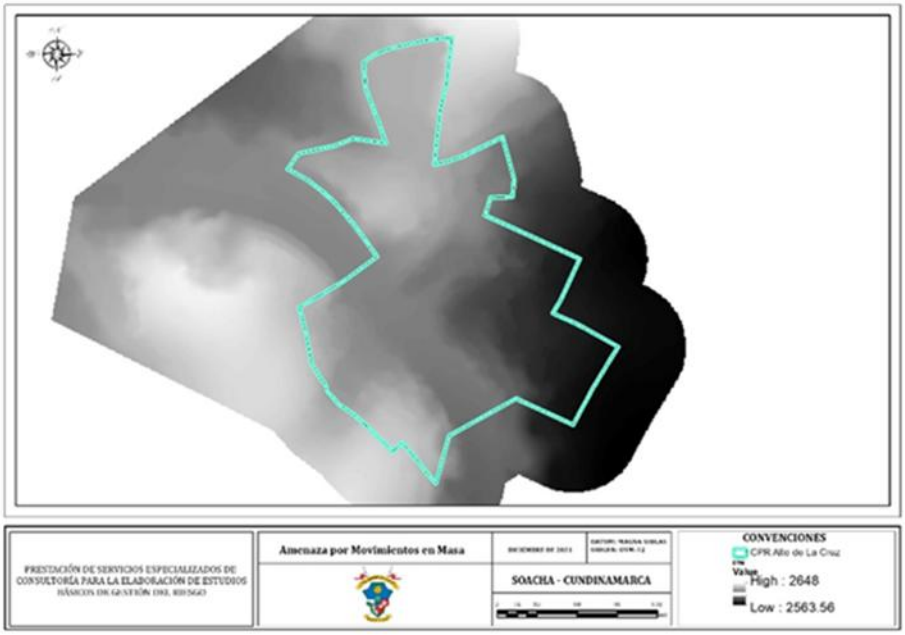


Figura 24. DTM CPR Alto de la Cruz

Fuente: Siglo XXII SAS

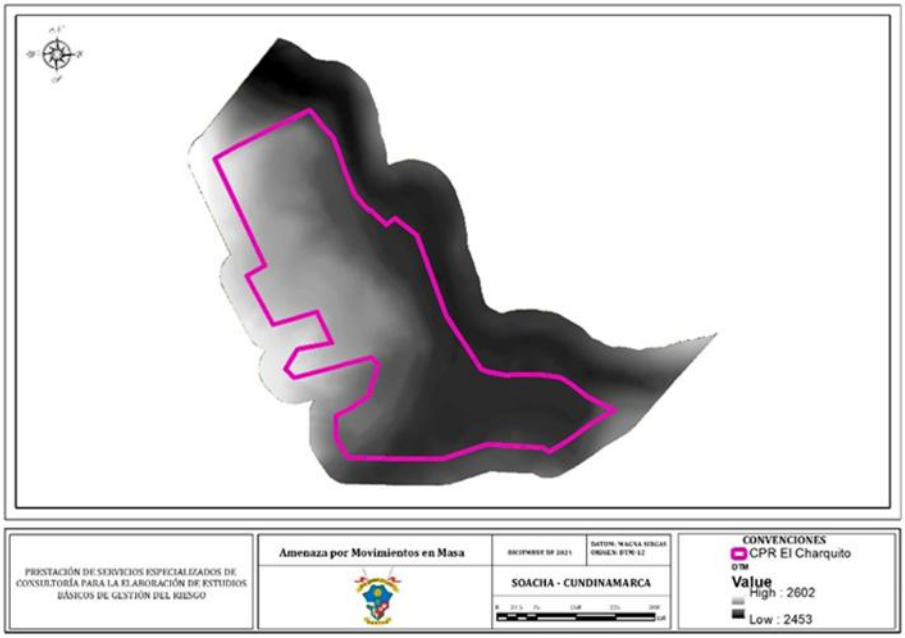


Figura 25. DTM CPR El Charquito
Fuente: Siglo XXII SAS

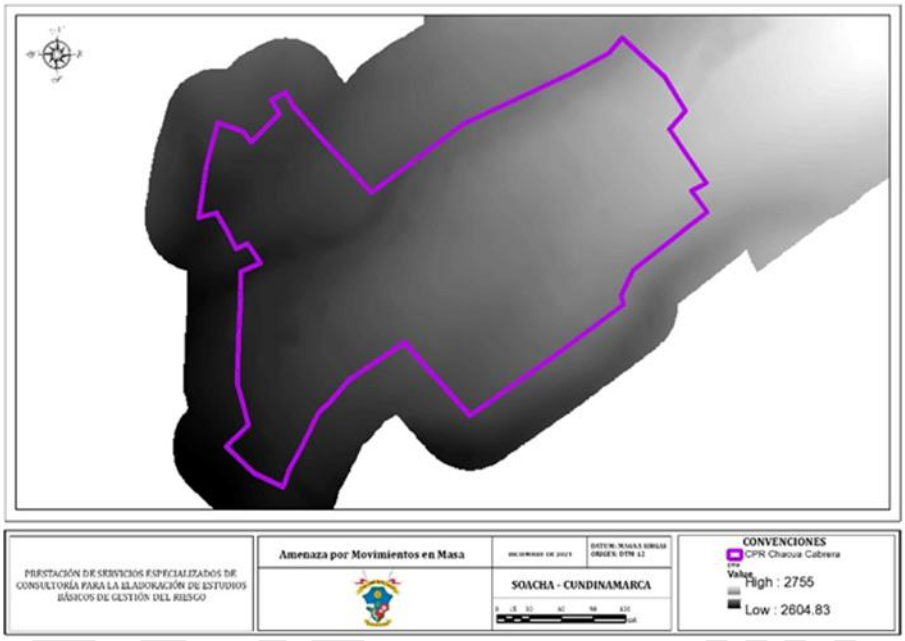


Figura 26. DTM CPR Chacua – Cabrera

Fuente: Siglo XXII SAS

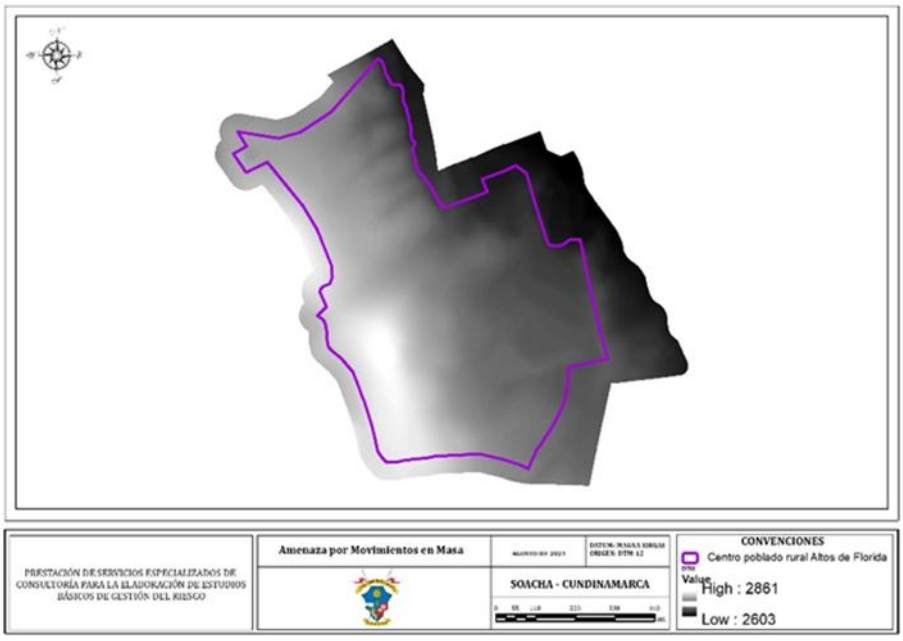


Figura 27. DTM AHR ALTOS DE LA FLORIDA

Fuente: Siglo XXII SAS

1.5.1.3.5.2. PENDIENTE DEL TERRENO

A partir del modelo de elevación digital se obtiene la capa correspondiente al mapa de pendientes, del cual se obtiene el ángulo de inclinación para cada una de las celdas del área de estudio, este insumo se emplea como indicador de la inclinación del área de estudio.

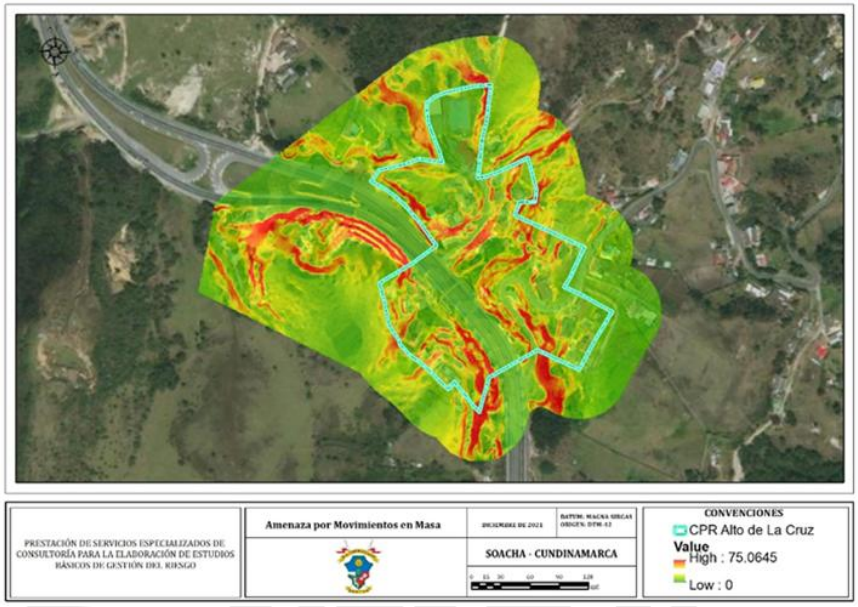


Figura 28. Mapa de pendientes para el CPR Alto de la Cruz Siglo XXII SAS

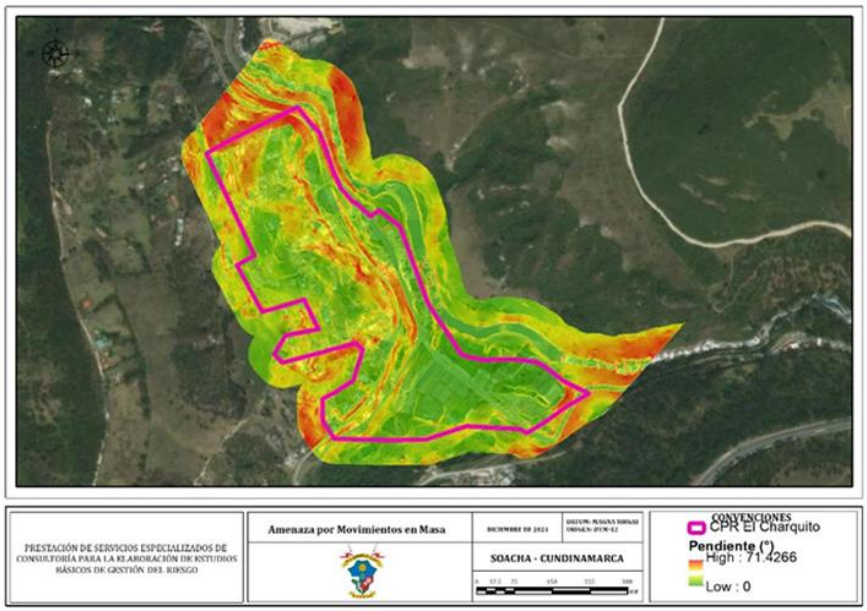


Figura 29. Mapa de pendientes para el CPR El Charquito Siglo XXII SAS

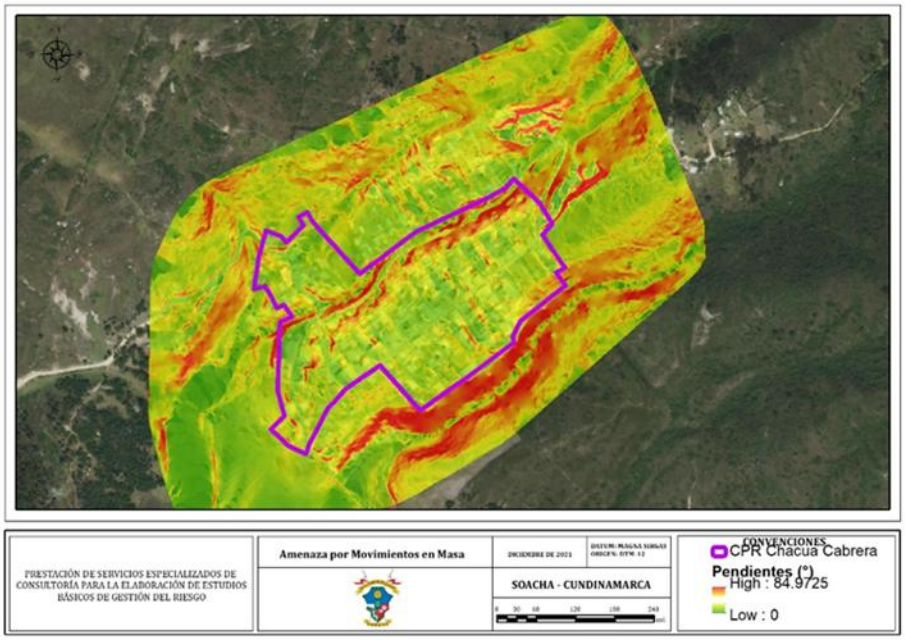


Figura 30. Mapa de pendientes para el CPR Chacua Cabrera

Siglo XXII SAS

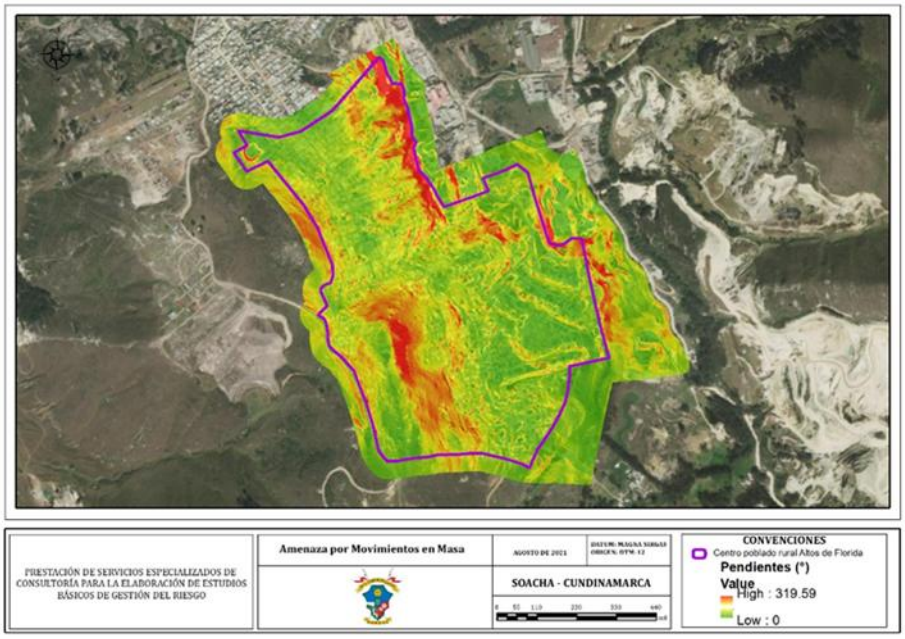


Figura 31. Mapa de pendientes para el AHR ALTOS DE LA FLORIDA

Siglo XXII SAS

1.5.1.3.5.3. ESPESOR DEL SUELO Y PARÁMETROS GEOTÉCNICOS

Tomando como referencia las unidades geológicas del área urbana y de expansión urbana, se pudo realizar la determinación de zonas inestables que, junto a la disponibilidad de información secundaria, permitieron definir los puntos más convenientes para la elaboración de los apiques, del mismo modo se obtuvo el rango de espesor de cada unidad de suelo, pues desacuerdo al método del talud infinito, se asume que la ocurrencia de una falla se materializa en función del espesor total del suelo.

Para las cinco áreas priorizadas para el desarrollo del estudio básico de amenaza por movimientos en masa, se realizaron apiques para determinar algunas propiedades geomecánicas de los suelos. Mediante ensayos de corte directo, se pueden obtuvieron criterios y respuestas de los suelos frente a los esfuerzos como lo son el ángulo de fricción, la cohesión y el peso unitario. Dichos parámetros se incorporan al modelo de factor de seguridad, para calcular la estabilidad del talud. La variación de estos parámetros condiciona la capacidad de desprendimiento y falta de adhesión interna de los suelos.

A continuación, se presenta la distribución espacial de los puntos de muestreo para la caracterización geomecánica de las unidades geológicas para ingeniería (UGI) definidas para las áreas de estudio.

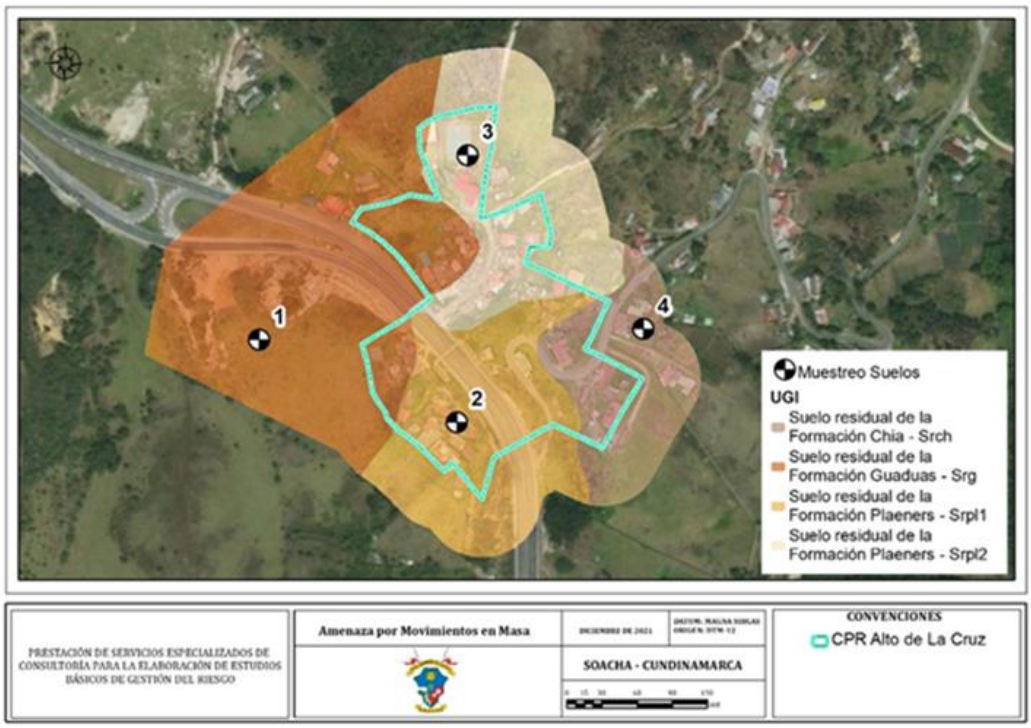


Figura 32. Puntos de muestreo de suelos CPR Alto de La Cruz Siglo XXII SAS

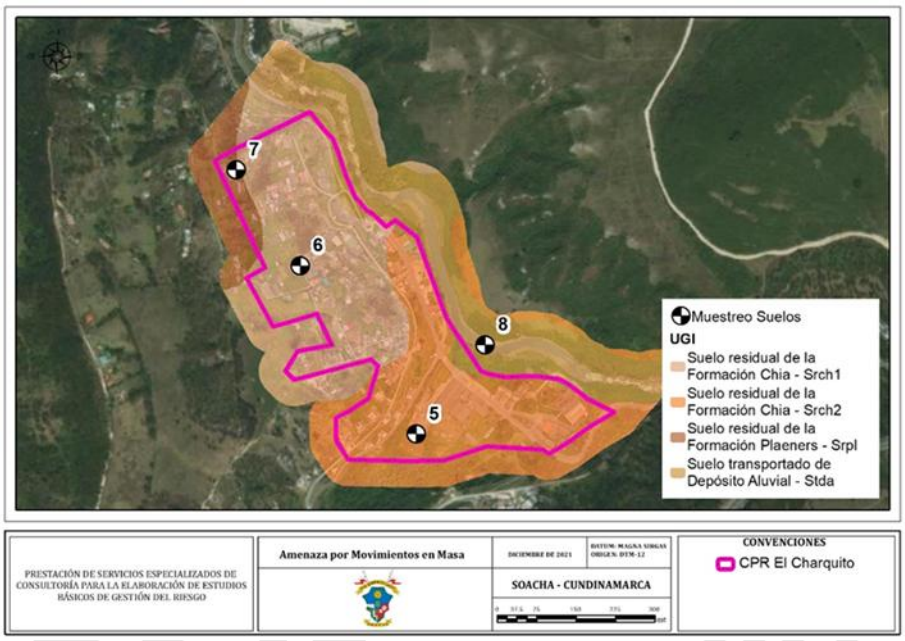


Figura 33. Puntos de muestreo de suelos CPR El Charquito

Siglo XXII SAS

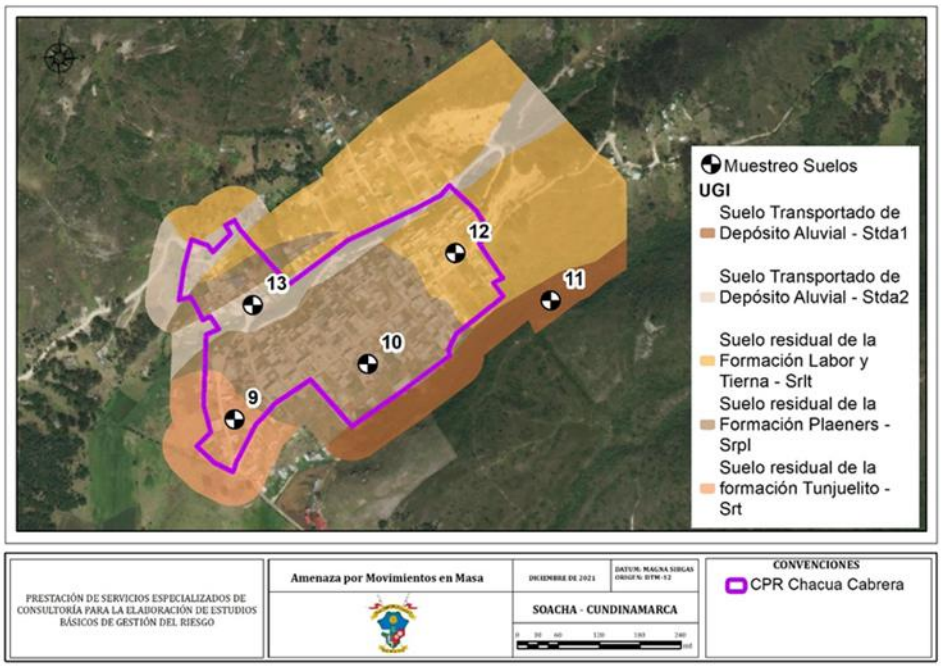


Figura 34. Puntos de muestreo de suelos CPR Chacua Cabrera

Siglo XXII SAS

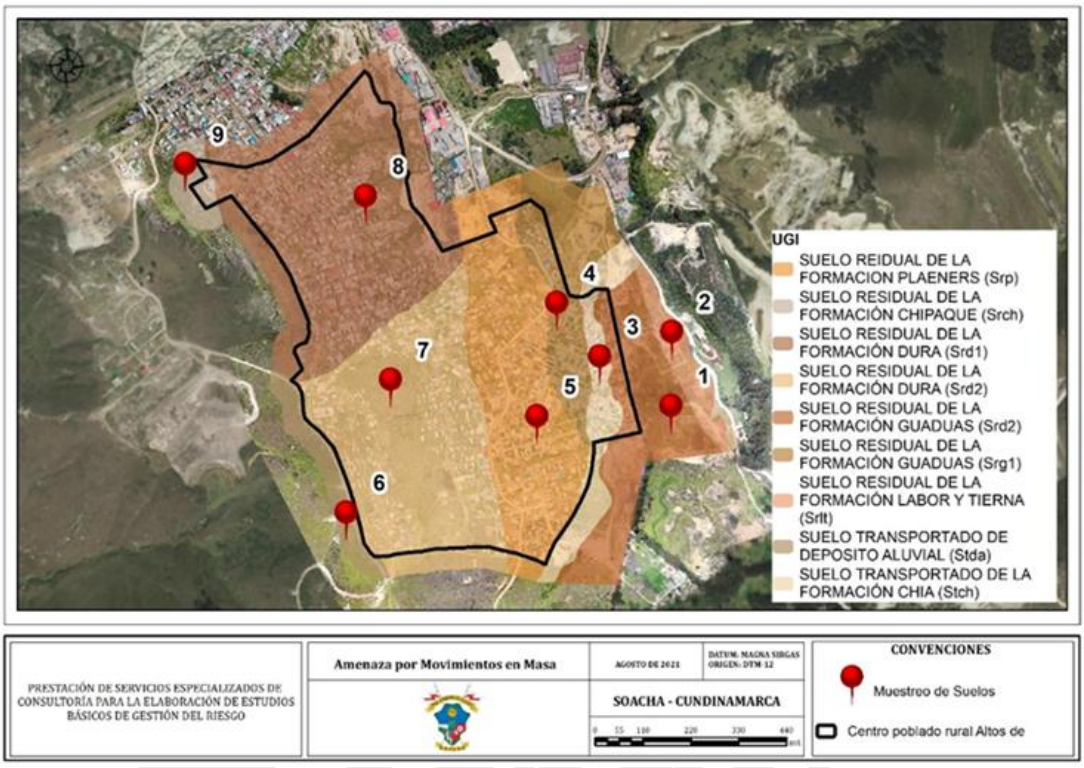


Figura 35. Puntos de muestreo de suelos AHR ALTOS DE LA FLORIDA

Fuente: Siglo XXII SAS

Tabla 4. Parámetros determinados para el cálculo del factor de seguridad CPR Alto de la Cruz

UGI	Densidad (g/cm3)	Cohesión (Kg/cm2)	Fricción (°)	Punto Muestreo	Profundidad (m)
Suelo residual de la Formación Guaduas - Srg	2,02	0.43	31	1	1.5
Suelo residual de la Formación Plaeners - Srpl1	1,78	0.38	28	2	1.5
Suelo residual de la Formación Plaeners - Srpl2	1,78	0.35	32	3	1.5
Suelo residual de la Formación Chía - Srch	2,19	0.26	26	4	1.5

Fuente: Siglo XXII SAS

Tabla 5. Parámetros determinados para el cálculo del factor de seguridad CPR El Charquito

UGI	Densidad (g/cm3)	Cohesión (Kg/cm2)	Fricción (°)	Punto Muestreo	Profundidad (m)
Suelo residual de la Formación Chía - Srch2	2,03	0.37	33	5	1.5
Suelo residual de la Formación Chía - Srch1	1,87	0.27	33	6	1.5
Suelo residual de la Formación Plaeners - Srpl	1,93	0.07	32	7	1.5
Suelo transportado de Depósito Aluvial - Stda	1,86	0.57	31	8	1.5

Fuente: Siglo XXII SAS

Tabla 6. Parámetros determinados para el cálculo del factor de seguridad CPR Chacua Cabrera

UGI	Densidad (g/cm3)	Cohesión (Kg/cm2)	Fricción (°)	Punto Muestreo	Profundidad (m)
Suelo residual de la formación Tunjuelito - Srt	1,95	0.43	31	9	1.5
Suelo residual de la Formación Plaeners - Srpl	1,84	0.47	33	10	1.5
Suelo Transportado de Depósito Aluvial - Stda1	1,81	0.68	34	11	1.5
Suelo residual de la Formación Labor y Tierna - Srlt	2,15	0.3	32	12	1.5
Suelo Transportado de Depósito Aluvial - Stda2	2,08	0.08	33	13	1.5

Fuente: Siglo XXII SAS

Tabla 7. Parámetros geotécnicos para el cálculo del factor de seguridad AHR ALTOS DE LA FLORIDA

UGI	Densidad (g/cm3)	Cohesión (Kg/cm2)	Fricción (°)	Punto Muestreo	Profundidad (m)
Suelo residual de la Formación Guaduas (Srd2)	1,60	0,53	30	1	1.5

UGI	Densidad (g/cm3)	Cohesión (Kg/cm2)	Fricción (°)	Punto Muestreo	Profundidad (m)
Suelo residual de la Formación Labor y Tierna (Srlt)	1,71	0,61	25	2	1.5
Suelo transportado de la Formación Chía (Stch)	1,40	1,07	30	3	1.2
Suelo residual de la Formación Guaduas (Srg1)	1,76	0,28	33	4	1.5
Suelo residual de la Formación Plaeners (Srp)	1,32	0,85	32	5	1.5
Suelo transportado de Deposito Aluvial (Stda)	1,56	0,32	19	6	1.7
Suelo residual de la Formación Dura (Srd2)	1,71	0,22	19	7	1.5
Suelo residual de la Formación Dura (Srd1)	1,34	1,12	18	8	1.5
Suelo residual de la Formación Chipaque (Srch)	1,58	0,31	32	9	1.2

Fuente: Siglo XXII SAS

1.5.1.3.5.4. UNIDADES GEOLÓGICAS PARA INGENIERÍA – UGI

A partir de la información geológica y de elementos geomorfológicos se pudieron establecer zonas geotécnicamente homogéneas y así determinar los puntos más convenientes para la elaboración de los apiques, del mismo modo se obtuvo el rango de espesor de cada unidad de suelo, ya que la cantidad de suelo que exista en un talud, se convierte en factor fundamental dentro del modelo de talud infinito; ya que, en dicho método, se asume que la ocurrencia de una falla se materializa en función del espesor total del suelo.

Los apiques se realizaron teniendo en cuenta los lineamientos técnicos de la norma ASTMD3080, con el fin de obtener una muestra de suelo no alterada de aquellas unidades en las que no se registraba información. Posteriormente las muestras de suelo fueron sometidas a ensayos de corte directo donde se obtuvieron los parámetros expuestos en las tablas anteriores. Mediante ensayos de corte directo, se pueden obtener criterios y respuestas de los suelos frente a los esfuerzos como lo son el ángulo de fricción, la cohesión y el peso unitario. Dichos parámetros se incorporan al modelo de factor de seguridad, para calcular la estabilidad del talud. La variación de estos parámetros condiciona la capacidad de desprendimiento y falta de adhesión interna de los suelos. A continuación, se presentan las Unidades Geológicas para Ingeniería (UGI) definidas para cada zona de estudio.

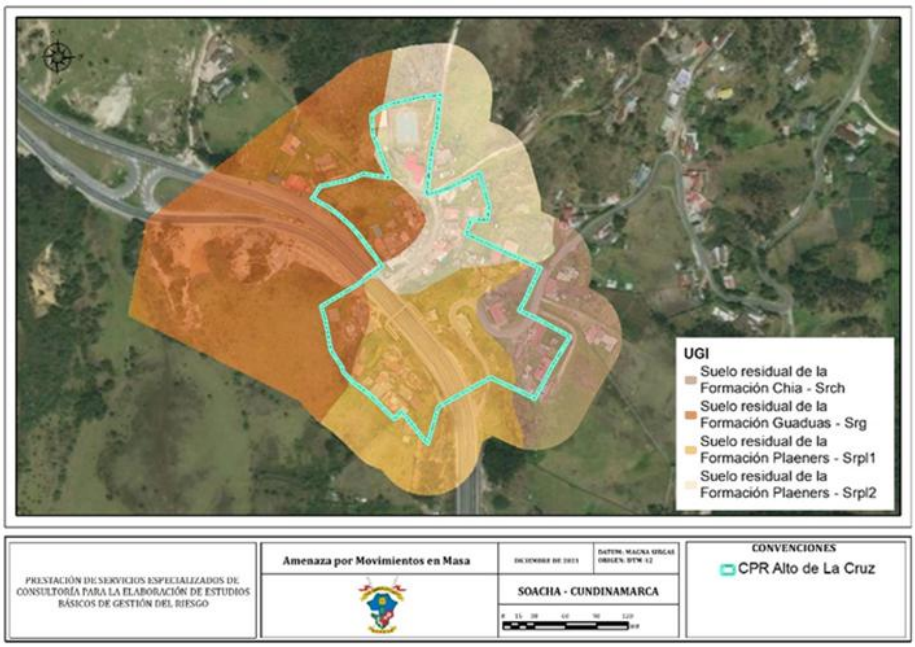


Figura 36. Unidades Geológicas para Ingeniería (UGI) CPR Alto de la Cruz
Fuente: Siglo XXII SAS

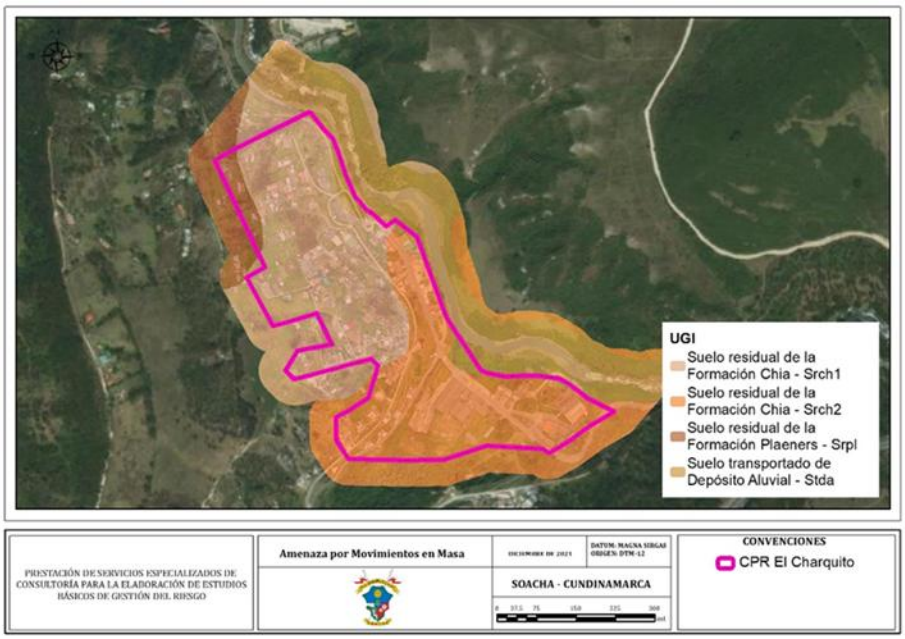


Figura 37. Unidades Geológicas para Ingeniería (UGI) CPR El Charquito
Fuente: Siglo XXII SAS

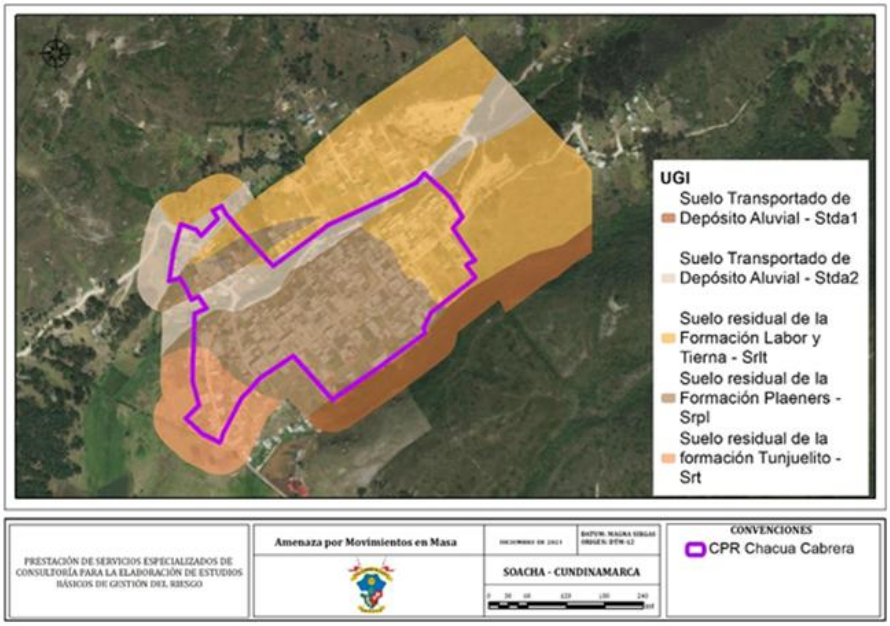


Figura 38. Unidades Geológicas para Ingeniería (UGI) CPR Chacua Cabrera

Fuente: Siglo XXII SAS

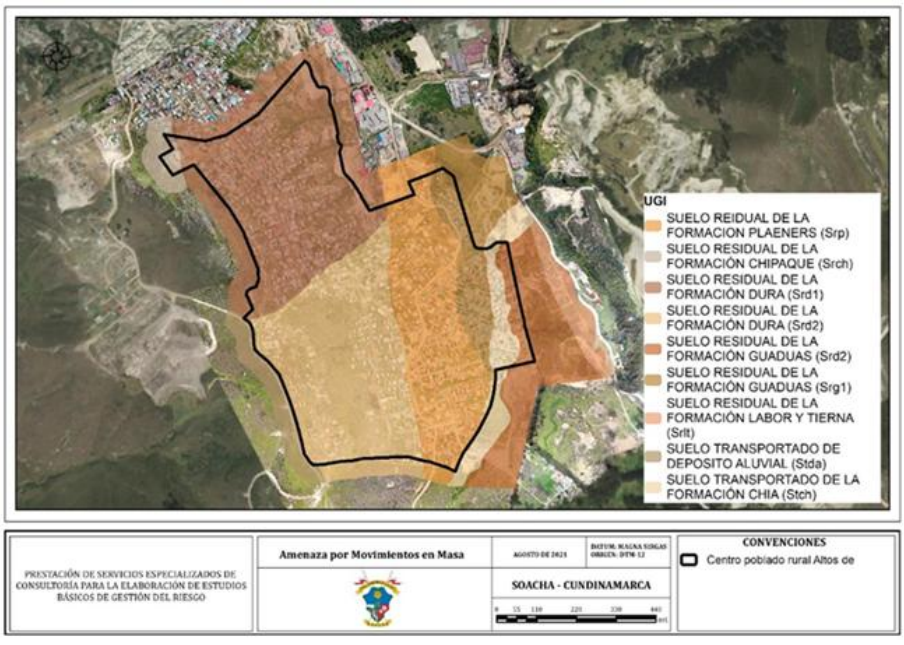


Figura 39. Unidades Geológicas para Ingeniería (UGI) del asentamiento humano rural Altos de Florida

Fuente: Siglo XXII SAS

1.5.1.3.6. DETONANTES DE LA AMENAZA

Adicionalmente se debe tener en cuenta dentro del cálculo de factor de seguridad los factores detonantes determinados para este tipo de amenaza como lo son: la ocurrencia de sismos y el detonante por lluvias.

1.5.1.3.6.1. PROFUNDIDAD DE LA TABLA DE AGUA

Para el detonante de las lluvias, se debe tener en cuenta la profundidad de la tabla de agua y su incidencia en el desprendimiento de la masa deslizante. Para el caso de estudio se decidió evaluar los escenarios más críticos en cuanto a saturación de agua en las unidades de suelo, esto a partir de la evaluación de las características propias de cada unidad edafológica y la estimación cualitativa de la retención de agua para diferentes periodos de retorno de lluvia, para el presente estudio 20 años fue el periodo de retorno a evaluar tal como lo indica la Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC, 2015).

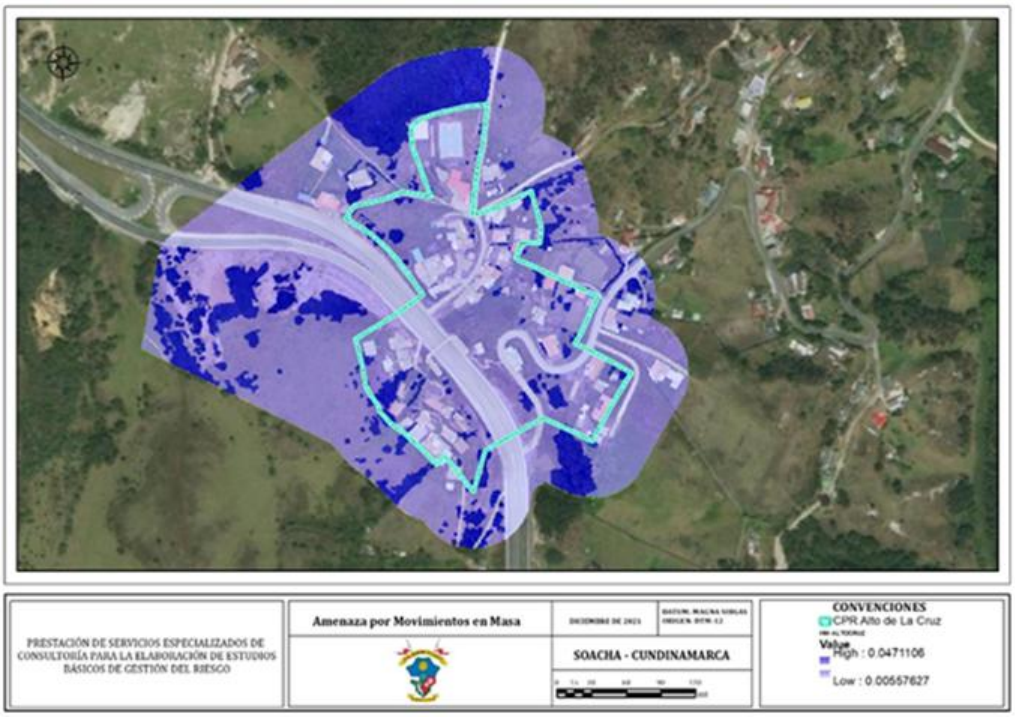


Figura 40. Profundidad de la tabla de agua CPR Alto de La Cruz

Fuente: Siglo XXII SAS

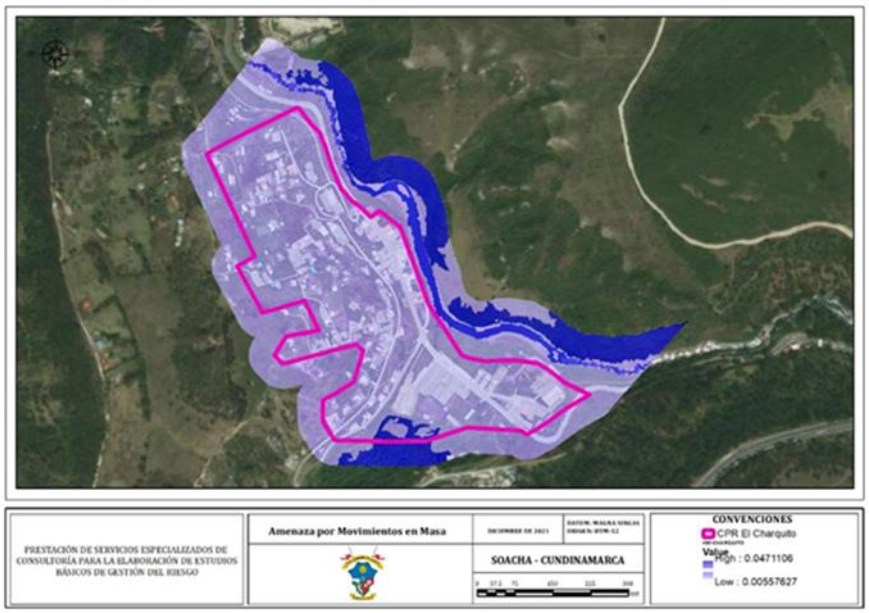


Figura 41. Profundidad de la tabla de agua CPR El Charquito

Fuente: Siglo XXII SAS

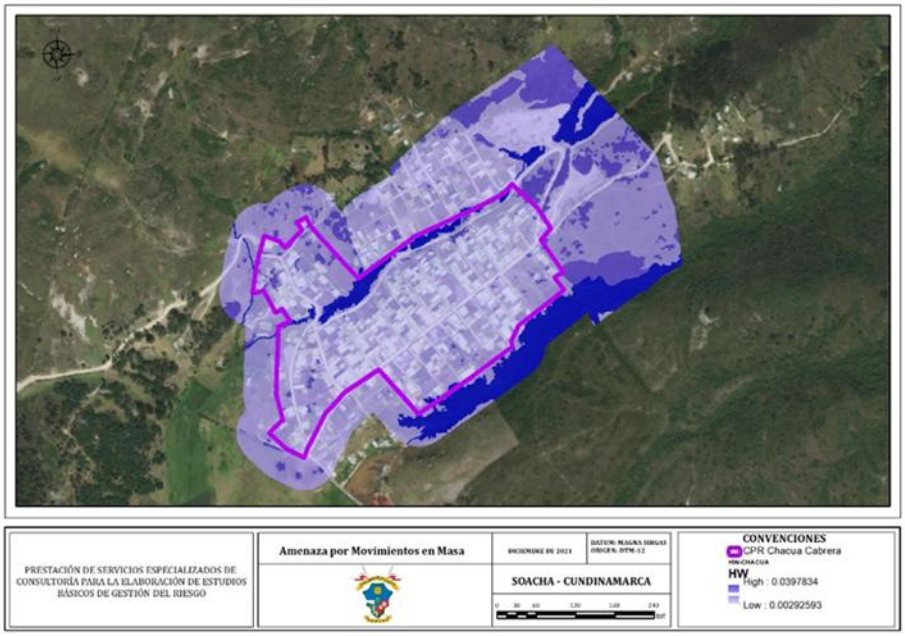


Figura 42. Profundidad de la tabla de agua CPR Alto de Chacua Cabrera

Fuente: Siglo XXII SAS

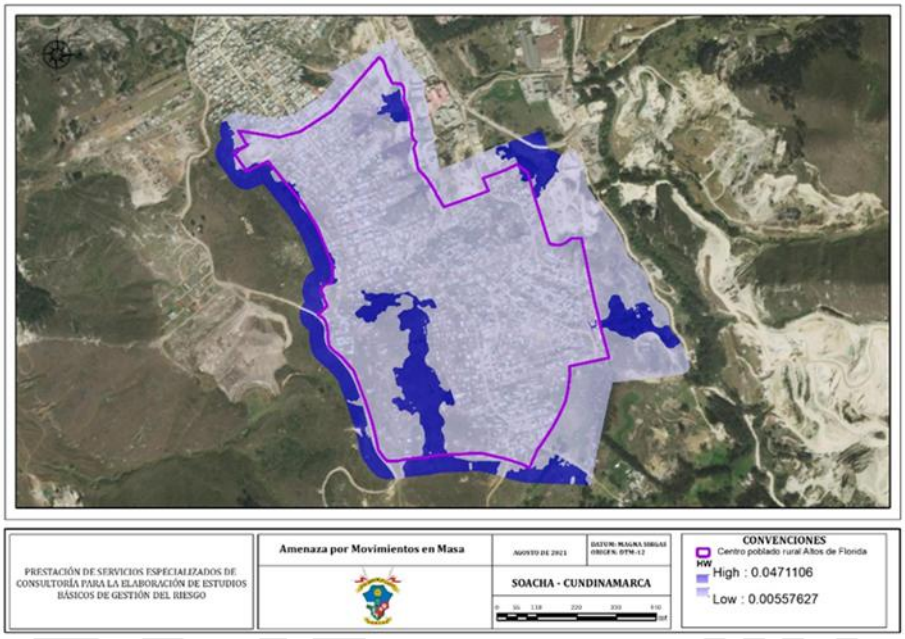


Figura 43. Profundidad de la tabla de agua AHR ALTOS DE LA FLORIDA

Fuente: Siglo XXII SAS

1.5.1.3.6.2. ACELERACIÓN SÍSMICA

El detonante por sismo es involucrado en el cálculo de factor de seguridad mediante el coeficiente de aceleración sísmica, que condiciona la estabilidad del terreno en el eje horizontal dada la ocurrencia de un evento de aceleración tectónica de la corteza.

Los coeficientes de aceleración sísmica, corresponden a la determinación de la intensidad de un evento sísmico, en función de las características del terreno. La aceleración máxima del suelo medida en (PGA) está relacionada con la fuerza de un terremoto en un sitio determinado. Entre mayor es este valor, mayor es la probabilidad de ocurrencia de un evento de movimiento en masa con un detonante sísmico.

La aplicación de una fuerza sísmica horizontal sobre los materiales potencialmente inestables de una ladera puede potenciar la ocurrencia de deslizamientos al aumentar el esfuerzo cortante, disminuir la resistencia por aumento de la presión de poros y por las deformaciones asociadas por la onda sísmica, llegando a la falla por esfuerzo cortante (Alzate, 2012).

La determinación de la aceleración sísmica estuvo basada en datos generados por la norma Sismo Resistente NSR-10 y demás lineamientos que esta norma contempla. La expresión empleada para su determinación es la que sigue:

$$Sa = 2.5 * Aa * Fa * I$$

Donde:

- Aa: Coeficiente de aceleración horizontal pico efectiva
- Fa: Coeficiente de amplificación
- I: Coeficiente de importancia

1.5.1.3.6.2.1. COEFICIENTE DE ACELERACIÓN HORIZONTAL PICO EFECTIVA (AA)

El municipio de Soacha de acuerdo con la NSR-10, tiene un Coeficiente de Aceleración Horizontal Pico Efectiva Aa igual a 0.15.

Tabla 8. Valores de Aa, Av, Ae y Ad para el municipio de Soacha

Aa	Av	Zonificación de amenaza sísmica	Ae	Ad
0.15	0.20	Intermedia	0.09	0.05

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10

1.5.1.3.6.2.2. DEFINICIÓN DEL TIPO DE PERFIL DEL SUELO

El tipo de perfil de suelo se definió siguiendo la clasificación presentada en la tabla A.2.4-1 de la NSR-10.

Tabla 9. Definición del tipo de perfil de suelo

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	v ≥ 1500 m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s > s v ≥ 760 m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	760 m/s> s v ≥ 360 m/s
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	N ≥ 50, o us ≥ 100 kPa (≈1 kgf/cm²)
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 m/s > s v ≥ 180 m/s
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	50 > N ≥ 15, o 100 kPa (≈1 kgf/cm²) > us ≥ 50 kPa (≈0.5 kgf/cm²)

Tipo de perfil	Descripción	Definición
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	180 m/s > s v
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	IP > 20 w ≥ 40% 50 kPa (≈0.50 kgf/cm²) > u
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: F1 - Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. F2 - Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). F3 - Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con Índice de Plasticidad IP > 75) F4 - Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 36 m)	

Fuente: Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10

Atendiendo a lo presentado en la tabla anterior, se determinó el tipo de perfil de suelo para las Unidades Geológica para Ingeniería (UGI) para los centros poblados rurales Alto de La Cruz, El Charquito, Chacua – Cabrera y Altos de La Florida.

Tabla 10. Definición del tipo de perfil para cada una de las UGI definidas para el CPR Alto de La Cruz

UGI	Tipo de perfil de suelo
Suelo residual de la Formación Guaduas - Srg	C
Suelo residual de la Formación Plaeners - Srpl1	C
Suelo residual de la Formación Plaeners - Srpl2	C
Suelo residual de la Formación Chía - Srch	C

Fuente: Siglo XXII SAS

Tabla 11. Definición del tipo de perfil para cada una de las UGI definidas para el CPR El Charquito

UGI	Tipo de perfil de suelo
Suelo residual de la Formación Chía - Srch2	C
Suelo residual de la Formación Chía - Srch1	C
Suelo residual de la Formación Plaeners - Srpl	C
Suelo transportado de Depósito Aluvial - Stda	C

Fuente: Siglo XXII SAS

Tabla 12. Definición del tipo de perfil para cada una de las UGI definidas para el CPR Chacua Cabrera

UGI	Tipo de perfil de suelo
Suelo residual de la formación Tunjuelito - Srt	C
Suelo residual de la Formación Plaeners - Srpl	C
Suelo Transportado de Depósito Aluvial - Stda1	C
Suelo residual de la Formación Labor y Tierna - Srlt	C
Suelo Transportado de Depósito Aluvial - Stda2	C

Fuente: Siglo XXII SAS

Tabla 13. Definición del tipo de perfil para cada una de las UGI definidas para el AHR ALTOS DE LA FLORIDA

UGI	Tipo de perfil de suelo
Suelo residual de la Formación Guaduas (Srd2)	1,60
Suelo residual de la Formación Labor y Tierna (Srlt)	1,71
Suelo transportado de la Formación Chía (Stch)	1,40
Suelo residual de la Formación Guaduas (Srg1)	1,76
Suelo residual de la Formación Plaeners (Srp)	1,32
Suelo transportado de Deposito Aluvial (Stda)	1,56
Suelo residual de la Formación Dura (Srd2)	1,71
Suelo residual de la Formación Dura (Srd1)	1,34
Suelo residual de la Formación Chipaque (Srch)	1,58

Fuente: Siglo XXII SAS

1.5.1.3.6.2.3. COEFICIENTE DE AMPLIFICACIÓN (FA)

Los valores de Fa están consignados en la siguiente tabla, coeficiente que se encuentra en función de Aa y del tipo de perfil previamente definido. Para valores intermedios de Aa se permite interpolar entre los valores del mismo tipo de perfil. Para el área de estudio el coeficiente de amplificación es de 1.2 tal y como se presenta en la siguiente tabla.

Tabla 14. Valores propuestos coeficiente Fa-NSR-10.

Tipo de perfil	Intensidad de movimientos sísmicos				
	Aa ≤ 0.1	Aa = 0.2	Aa = 0.3	Aa = 0.4	Aa ≥ 0.5
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota	véase nota	véase nota	véase nota	véase nota

Fuente: Siglo XXII SAS

Nota: Para el perfil tipo F debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10.

1.5.1.3.6.2.4. COEFICIENTE DE IMPORTANCIA (I)

El Coeficiente de Importancia I, modifica el espectro, y con ello las fuerzas de diseño, de acuerdo con el grupo de uso a que esté asignada la edificación para tomar en cuenta que para edificaciones de los grupos II, III y IV deben considerarse valores de aceleración con una probabilidad menor de ser excedidos que aquella del diez por ciento en un lapso de cincuenta años. Para el área de estudio el coeficiente de importancia es de 1 tal y como se presenta en la siguiente tabla

Tabla 15. Valores del coeficiente de importancia I

Grupo de Uso	Coeficiente de importancia, I
IV	1.50
III	1.25
II	1.10
I	1

Fuente: Siglo XXII SAS con base en Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10

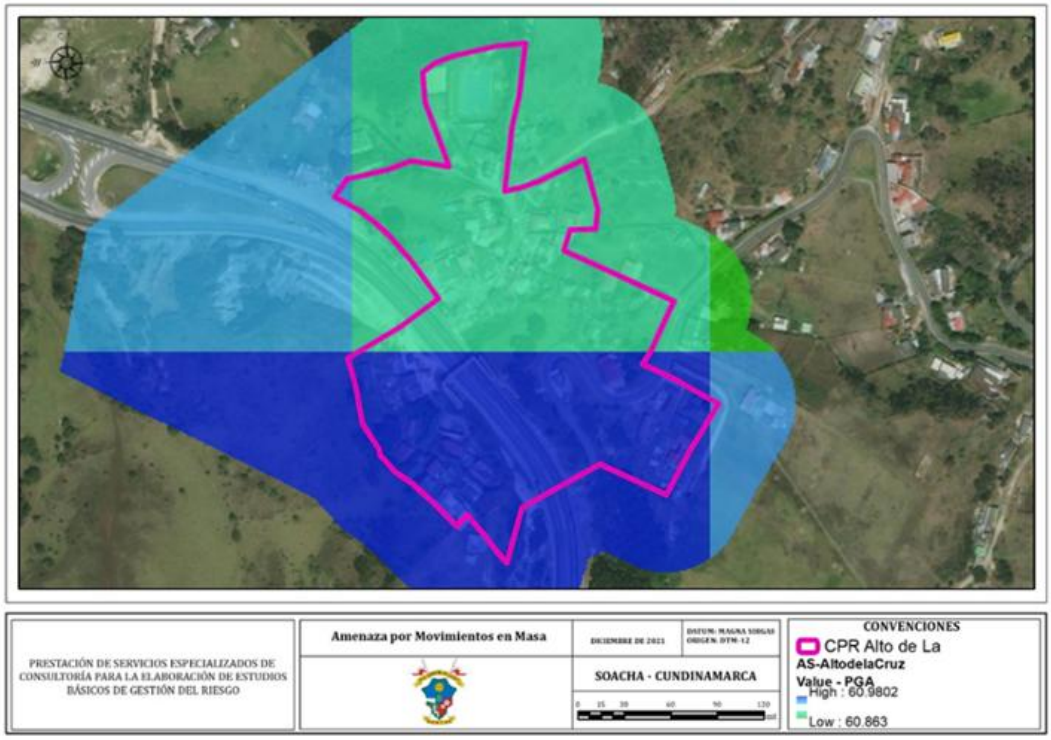


Figura 44. Aceleración sísmica en el CPR Alto de La Cruz

Fuente: Siglo XXII SAS

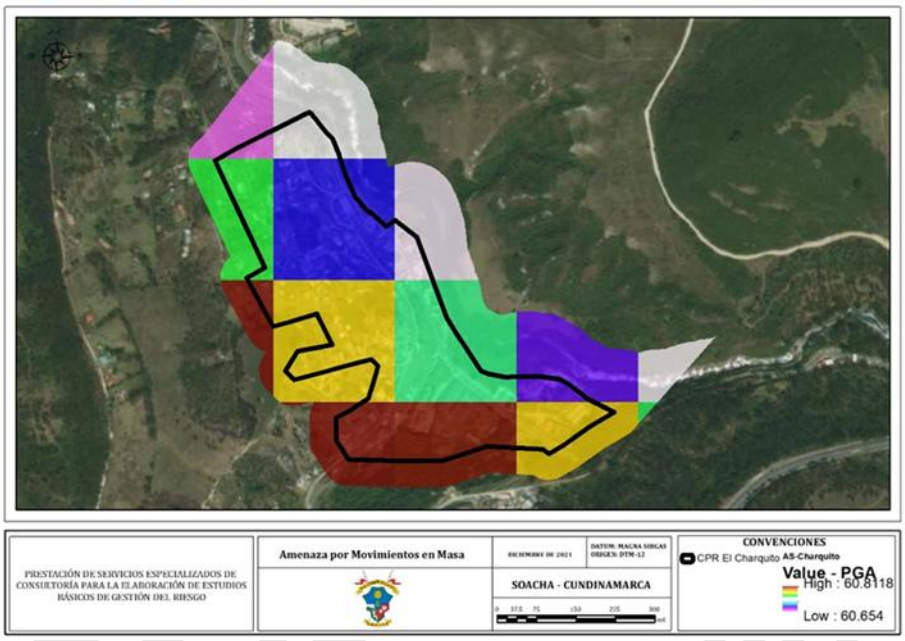


Figura 45. Aceleración sísmica en el CPR El Charquito

Fuente: Siglo XXII SAS

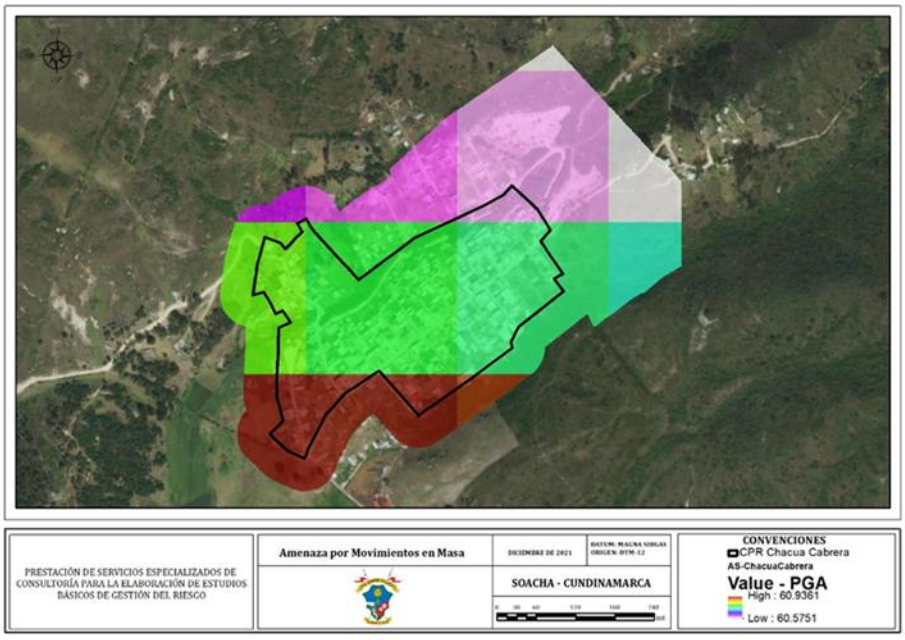


Figura 46. Aceleración sísmica en el CPR Chacua Cabrera

Fuente: Siglo XXII SAS

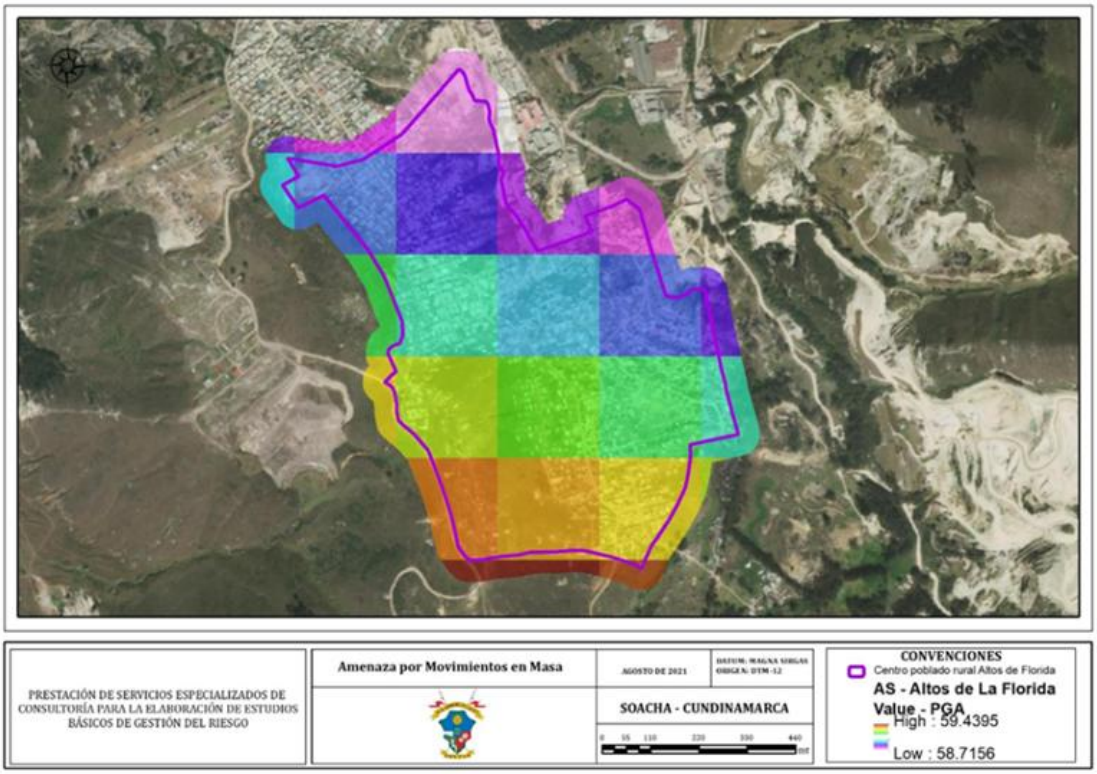


Figura 47. Aceleración sísmica en el AHR ALTOS DE LA FLORIDA

Fuente: Siglo XXII SAS

1.5.1.3.7. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

Una vez recopilados la totalidad de insumos anteriormente mencionados, se utilizó la herramienta SIG para generar el cálculo del factor de seguridad para cada una de las celdas establecidas en el área de trabajo. Los rangos de factor de seguridad fueron agrupados en tres (3) categorías diferentes en función del grado de amenaza, tal como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 16. Grados de estabilidad según los resultados del factor de seguridad

RANGO FACTOR DE SEGURIDAD	CATEGORÍZACIÓN DE LA AMENAZA	CALIFICACIÓN
>1.5	Baja	1
1.1 – 1.5	Media	2
<1.1	Alta	3

Fuente: (SGC, 2015)

1.5.1.3.7.1. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA PARA EL CPR ALTO DE LA CRUZ

En el área que conforma el CPR Alto de La Cruz se presenta la zonificación de amenaza por movimientos en masa de tipo alta, media y baja, tal y como se presenta en las siguientes tabla y figura.

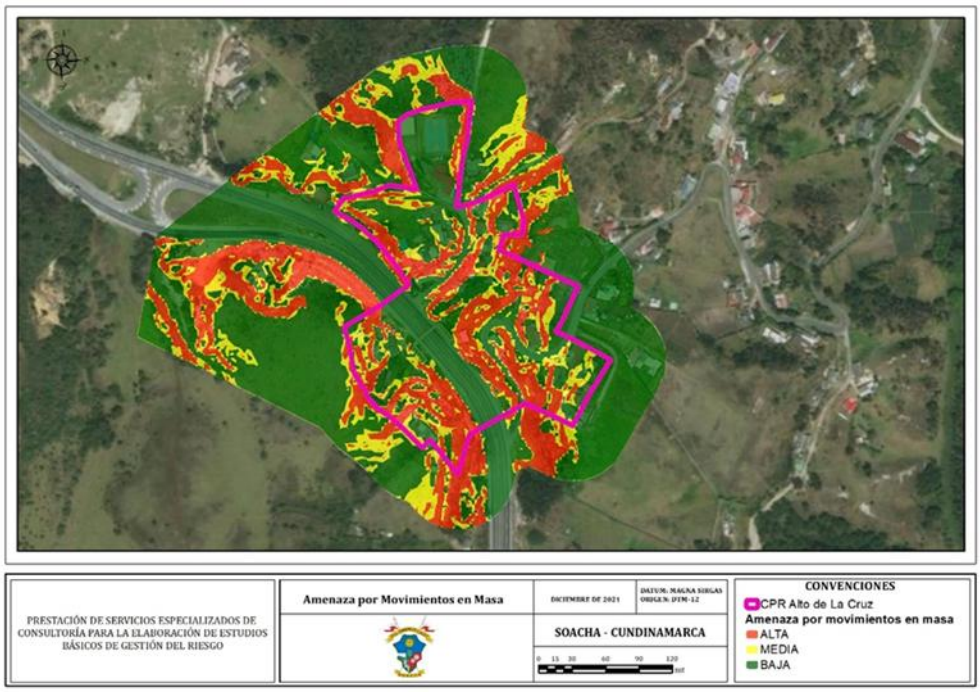


Figura 48. Zonificación de la amenaza por movimientos en masa para el CPR Alto de la Cruz

Fuente: Siglo XXII SAS

Tabla 17. Zonificación de la amenaza por movimientos en masa para el CPR Alto de La Cruz

Categorización Amenaza	Área (Ha)	(%)
Alta	1.24	30.79
Media	0.66	16.37
Baja	2.13	52.84
Total	4.03	100

Fuente: Siglo XXII SAS

1.5.1.3.7.2. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA PARA EL CPR EL CHARQUITO

En el área que conforma el CPR El Charquito se presenta la zonificación de amenaza por movimientos en masa de tipo alta, media y baja, tal y como se presenta en las siguientes tabla y figura.

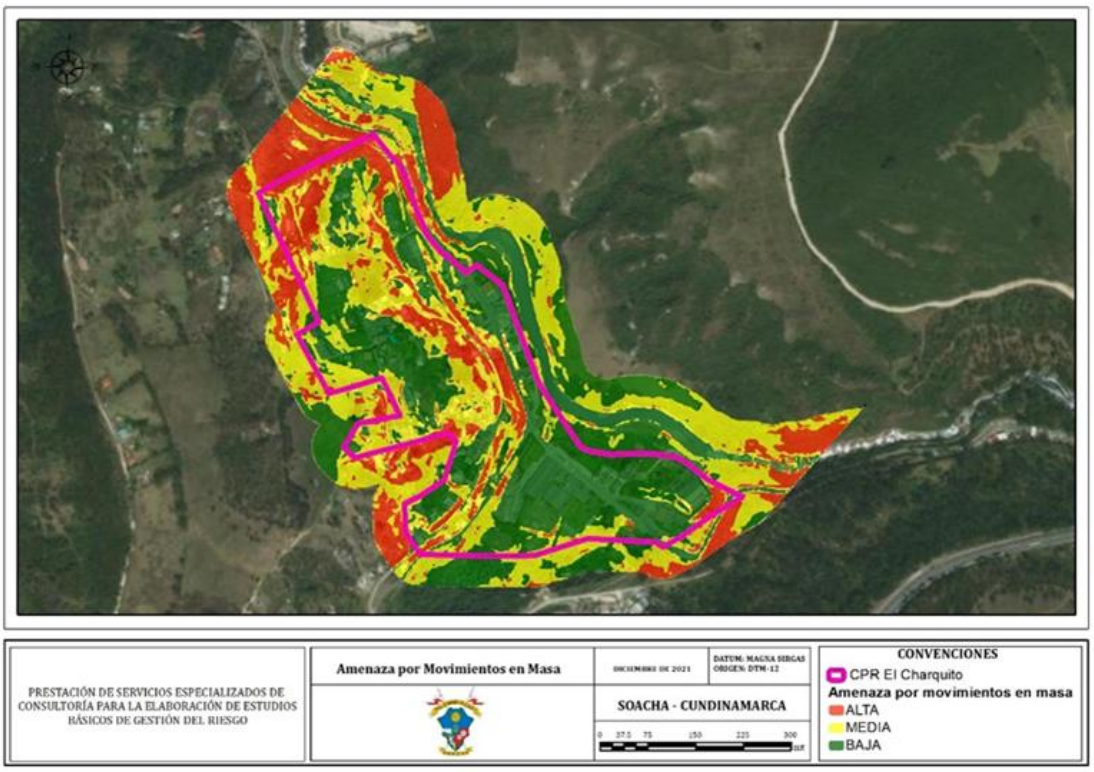


Figura 49. Zonificación de la amenaza por movimientos en masa para el CPR El Charquito

Fuente: Siglo XXII SAS

Tabla 18. Zonificación de la amenaza por movimientos en masa para el CPR El Charquito

Categorización Amenaza	Área (Ha)	(%)
Alta	3.25	16.56
Media	6.02	30.71
Baja	10.34	52.73
Total	19.61	100

Fuente: Siglo XXII SAS

1.5.1.3.7.3. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA PARA EL CPR CHACUA CABRERA

En el área que conforma el CPR Chacua Cabrera se presenta la zonificación de amenaza por movimientos en masa de tipo alta, media y baja, tal y como se presenta en las siguientes tabla y figura.

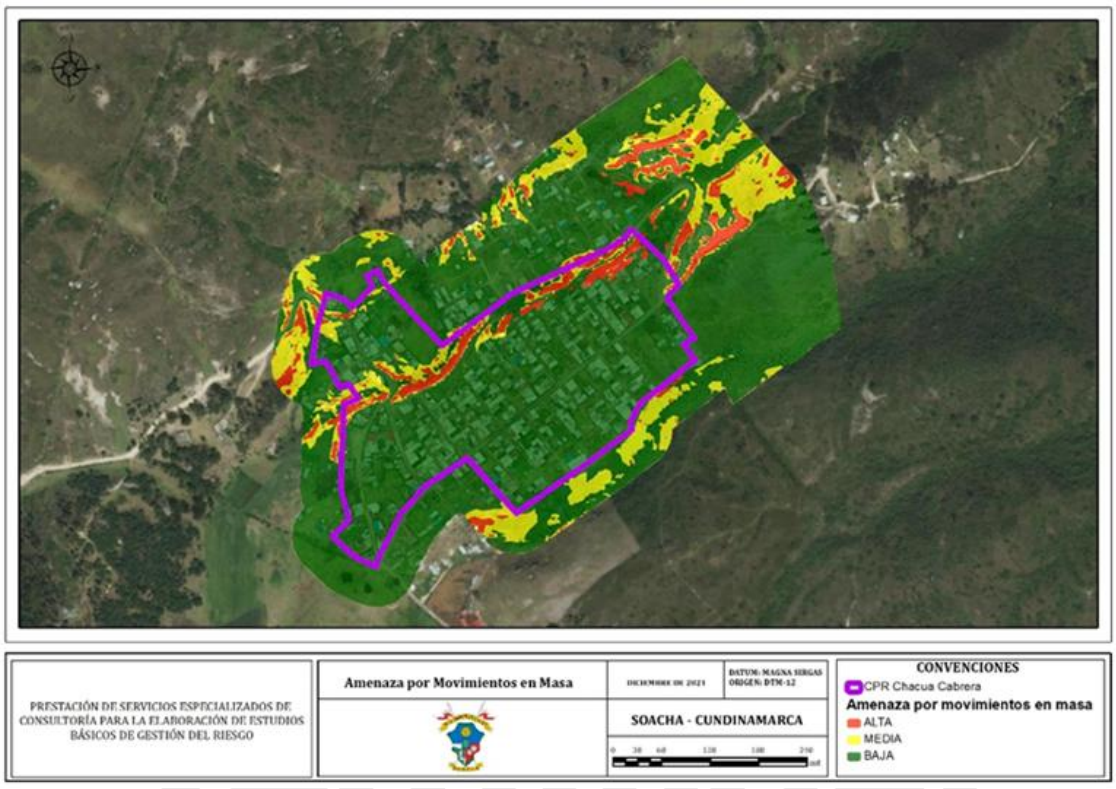


Figura 50. Zonificación de la amenaza por movimientos en masa para el CPR Chacua Cabrera

Fuente: Siglo XXII SAS

Tabla 19. Zonificación de la amenaza por movimientos en masa para el CPR Chacua Cabrera

Categorización Amenaza	Área (Ha)	(%)
Alta	0.55	5.43
Media	0.46	4.55
Baja	9.17	90.02
Total	10.19	100

Fuente: Siglo XXII SAS

1.5.1.3.7.4. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA PARA EL AHR ALTOS DE LA FLORIDA

En el área que conforma el asentamiento humano rural Altos de Florida se presenta la zonificación de amenaza por movimientos en masa de tipo baja, media y alta, siendo la amenaza de tipo media la más representativa en el área de estudio tal y como se presenta en las siguientes tabla y figura.

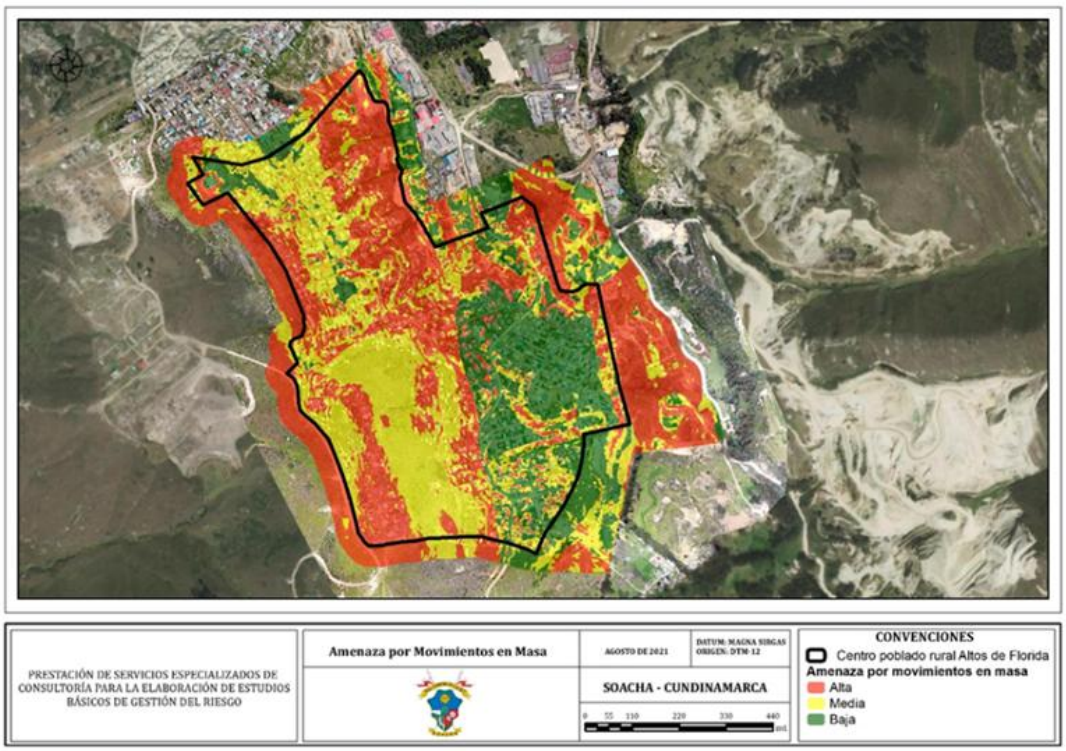


Figura 51. Zonificación de la amenaza por movimientos en masa para el asentamiento humano rural Altos de Florida

Fuente: Siglo XXII SAS

Tabla 20. Zonificación de la amenaza por movimientos en masa para el asentamiento humano rural Altos de Florida

Categorización Amenaza	Área (Ha)	(%)
Alta	21.59	37.18
Media	23.11	39.79
Baja	13.37	23.03
Total	58.07	100

Fuente: Siglo XXII SAS

1.5.1.3.8. ÁREAS CON CONDICIÓN

Según lo establecido en el Articulo 2.2.2.1.3.1.3 del Decreto 1077 DE 2015 indica que lo Estudios básicos para la revisión o expedición de Planes de Ordenamiento Territorial (POT). De conformidad con lo dispuesto en el artículo anterior para la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los planes de ordenamiento territorial o la expedición de nuevos planes, se deben elaborar estudios en los suelos urbanos, de expansión urbana y rural para los fenómenos de inundación, avenidas torrenciales y movimientos en masa, que contienen:

a. La delimitación y zonificación de las áreas de amenaza.

b. La delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza en las que se requiere adelantar los estudios detallados a que se refiere el siguiente artículo.

c. La delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo en las que se requiere adelantar los estudios detallados a que se refiere el siguiente artículo.

d. La determinación de las medidas de intervención, orientadas a establecer restricciones y condicionamientos mediante la determinación de normas urbanísticas.

1.5.1.3.8.1. 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. La identificación de estas áreas se realizará a partir del análisis de las áreas zonificadas como de amenaza media y alta sin ocupar en los estudios básicos con aquellas que se consideren como objeto de desarrollo.”

Dadas las definiciones normativas, a continuación, se presentan las áreas con condición de amenaza identificadas en las áreas de estudio.

En el CPR Alto de La Cruz, se identificaron un total de 1.50 Ha con condición de amenaza por movimientos en masa.

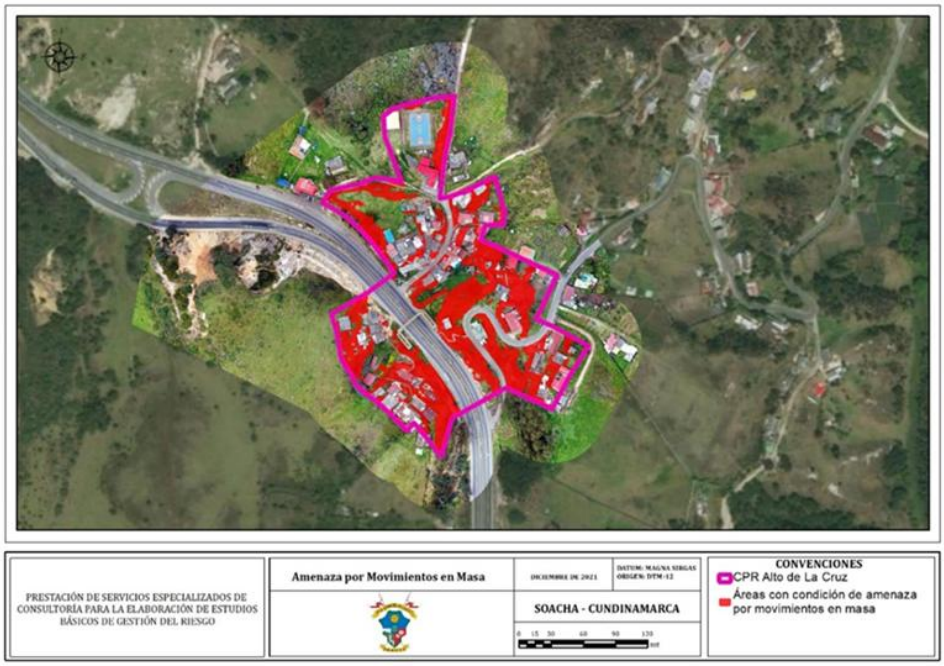


Figura 52. Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en el CPR Alto de La Cruz
Fuente: Siglo XXII SAS

En el CPR El Charquito, se identificaron un total de 7.28 Ha con condición de amenaza por movimientos en masa.

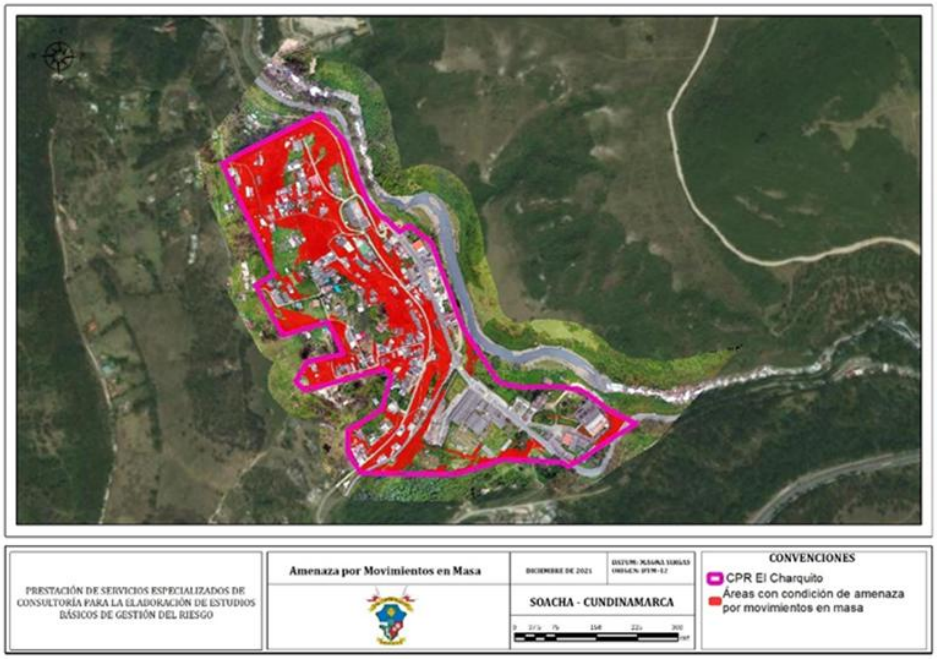


Figura 53. Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en el CPR El Charquito
Fuente: Siglo XXII SAS

En el CPR Chacua Cabrera, se identificaron un total de 0.93 Ha con condición de amenaza por movimientos en masa.

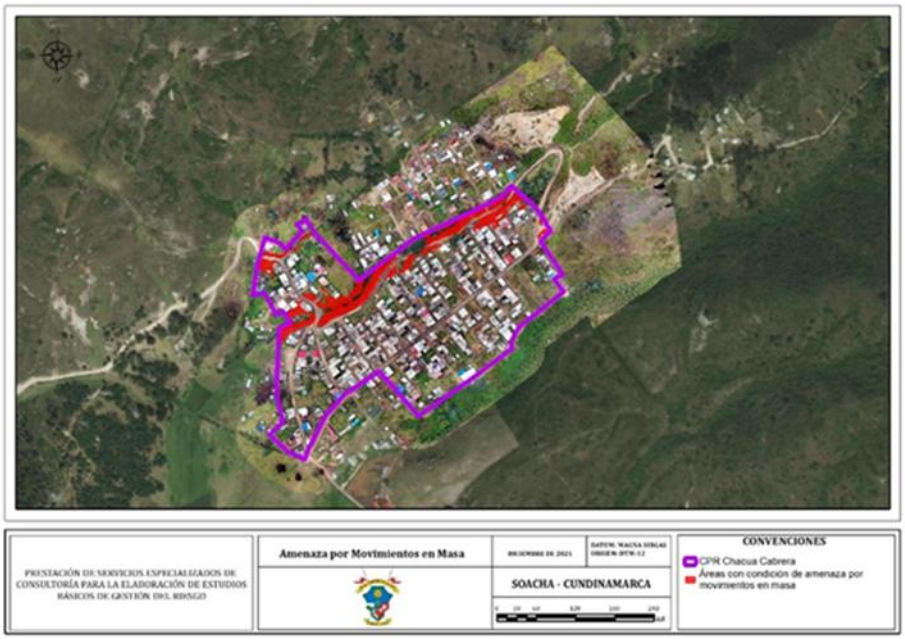


Figura 54. Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en el CPR Chacua Cabrera
Fuente: Siglo XXII SAS

En el AHR ALTOS DE LA FLORIDA se presentan 29.44 Ha con condición de amenaza en el centro poblado Altos de Florida, dichas áreas se presentan en la siguiente figura.

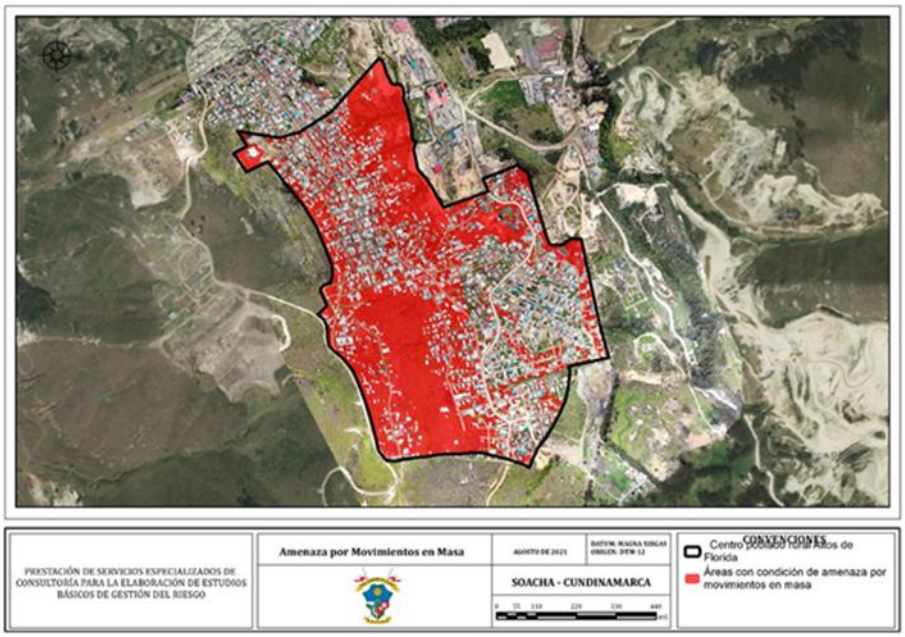


Figura 55. Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa
Fuente: Siglo XXII SAS

1.5.1.3.8.2. ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO

La identificación de las áreas con condición de riesgo se realizará a partir del análisis de las áreas zonificadas como de amenaza alta en los estudios básicos, con la información cartográfica (predial o catastral, entre otras) disponible que permita 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".

Dadas las definiciones normativas, a continuación, se presentan las áreas con condición de riesgo identificadas en las áreas de estudio.

En el CPR Alto de La Cruz, se identificaron un total de 0.22 Ha con condición de riesgo por movimientos en masa.

Figura 56. Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en el CPR Alto de la Cruz

Fuente: Siglo XXII SAS

En el CPR el Charquito, se identificaron un total de 0.33 Ha con condición de riesgo por movimientos en masa.

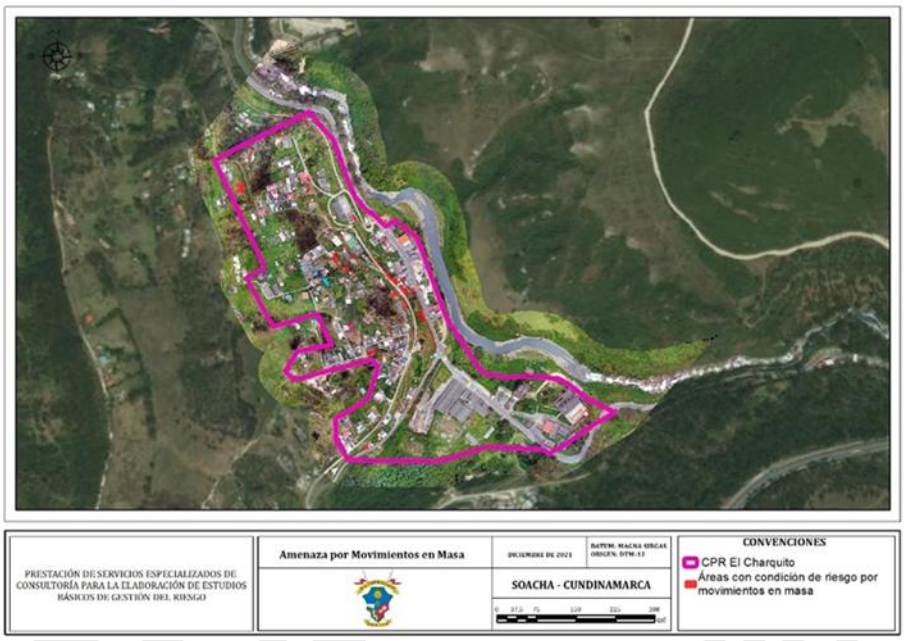


Figura 57. Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en el CPR El Charquito

Fuente: Siglo XXII SAS

En el CPR Chacua Cabrera, se identificaron un total de 0.027 Ha con condición de riesgo por movimientos en masa.

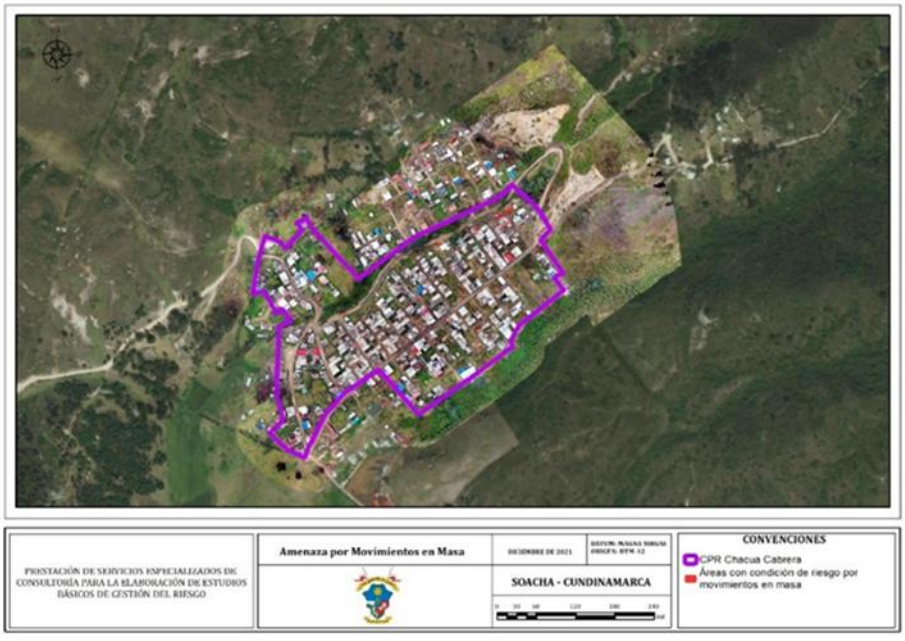


Figura 58. Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en el CPR Chacua Cabrera

Fuente: Siglo XXII SAS

En el AHR ALTOS DE LA FLORIDA se presentan 6.78 Ha con condición de riesgo en el centro poblado Altos de Florida, dichas áreas se presentan en la siguiente figura.

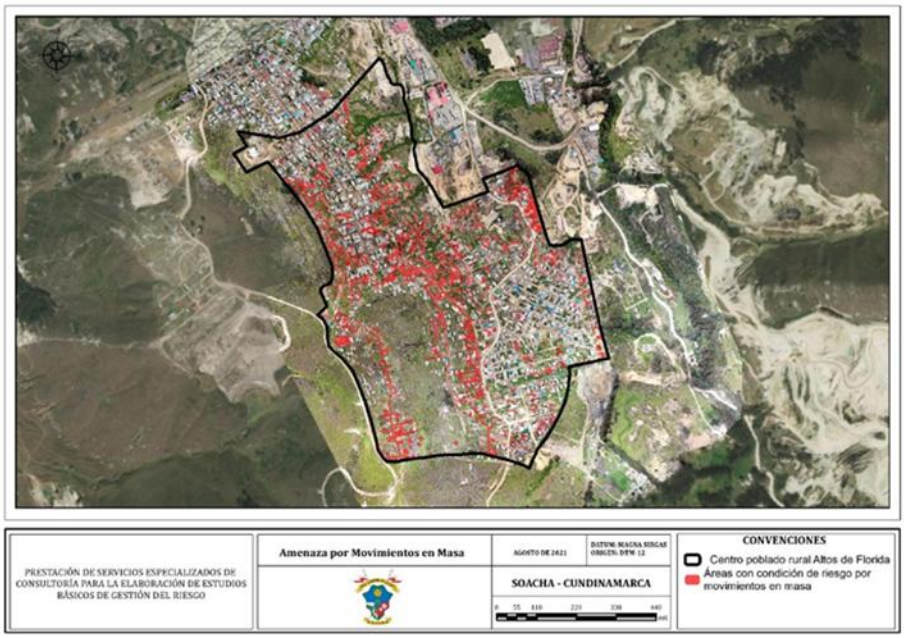


Figura 59. Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa

Fuente: Siglo XXII SAS

1.5.1.3.9. MEDIDAS DE INTERVENCIÓN

Las medidas de intervención, orientadas a establecer restricciones y condicionamientos mediante la determinación de normas urbanísticas para las áreas con condición de amenazas identificadas se presentan en los ítems de medidas no estructurales y estructurales

1.5.1.3.9.1. MEDIDAS NO ESTRUCTURALES

a. Para las áreas zonificadas con condición de amenaza y condición de riesgo por movimientos en masa se deberán realizar estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo teniendo en cuenta lo establecido en el Artículo 2.2.2.1.3.1.4. Estudios detallados del Decreto 1077 de 2015 teniendo en cuenta que dichos están orientados a determinar la categorización del riesgo y establecer las medidas de mitigación correspondientes.

b. El Concejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (PMGRD), deberá prepararse y actualizar el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres.

c. Diseñar e implementar campañas de educación ambiental enfocadas a la gestión del riesgo por parte de las comunidades y sus representantes en apoyo con las autoridades competentes.

d. Diseñar, implementar y mantener una base de datos documental y cartográfica con el inventario de eventos desastrosos producto de movimientos en masa.

e. A partir de las etapas de desarrollo y de los productos obtenidos en la evaluación y zonificación de la amenaza por eventos de movimientos en masa, se observó la falta o necesidad de información que puede ser de gran relevancia para precisar las zonas identificadas como amenaza media y alta en el municipio y tener así una mejor caracterización de estos sectores con un mejor detalle.

f. Adquirir imágenes satelitales de alta resolución en diferentes periodos de tiempo para identificar con mayor precisión las geoformas asociadas a este tipo de eventos en zonas con alto índice de relieve.

g. Implementar un sistema de registro completo de los eventos amenazantes por movimientos en masa que puedan dar información técnica de las causas de los eventos, como localización, origen del evento (antrópico como intervenciones a taludes para el desarrollo de viviendas y otros, diques o natural como aumento de las precipitaciones), procesos desencadenantes, zonas afectadas, duración. Este tipo de trabajos se deben desarrollar por las autoridades municipales y departamentales encargadas de atender este tipo de eventos.

1.5.1.3.9.2. MEDIDAS ESTRUCTURALES

La administración municipal, en base a los sectores críticos identificados en el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres y del estudio detallado en áreas con condición de riesgo, gestará la conformación de un programa de mitigación del riesgo, bajo el cual se diseñarán y construirán las medidas estructurales a implementar en las áreas de riesgo mitigable determinadas en los estudios detallados.

2. ESTUDIOS BÁSICOS DE INUNDACIÓN

Para integrar adecuadamente la gestión del riesgo por inundaciones en el presente plan, se desarrolló el estudio básico de amenaza por inundaciones en el municipio de Soacha – Cundinamarca, el cual se enmarco en el contrato interadministrativo 1201 de 2016, suscrito entre la universidad Nacional de Colombia y la Alcaldía de Soacha – Cundinamarca.

2.1. OBJETIVOS

a. Objetivo General
   - Establecer la delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza y riesgo, por inundación, del municipio de Soacha.

b. Objetivos específicos

   - Realizar el estudio de las estaciones climatológicas localizadas en el municipio de Soacha usando las series históricas disponibles, realizar el correspondiente análisis de consistencia de información, homogeneidad, así como llenar datos faltantes.

   - Realizar la caracterización espacio-temporal de las variables climatológicas previamente analizadas.

   - Estimar los caudales de las principales corrientes, en especial aquellas que presenten historial de inundación en el municipio.

   - Modelar la capacidad hidráulica de los principales cauces de afectación dentro del municipio según los diferentes periodos de retorno.

2.2. ALCANCE

A partir de los lineamientos establecidos en el contrato interadministrativo No. 1201 de 2016 suscrito entre la Universidad Nacional de Colombia y la Alcaldía del municipio de Soacha, el presente estudio está sujeto a lo establecido por el decreto 1807 de 2014 en lo definido como "Estudio básico de amenaza por inundaciones", el cual constituye uno de los componentes para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial.

En este orden, la identificación de la amenaza se realiza desde tres categorías específicas como lo son: i) alta, ii) media, iii) baja teniendo en cuenta diversos insumos de información, entre ellos el registro de eventos históricos de inundaciones y su recurrencia, el análisis del régimen hidrológico del municipio entre otros específicos de tipo hidráulico y geomorfológico del área de estudio, los cuales se describen en el componente metodológico del presente documento.

Como estudio básico de inundaciones, su análisis se halla en función de la disponibilidad y calidad de la información existente, teniendo en cuenta la escala de trabajo de 1:25.000 para el área rural y 1:5.000 para el sector urbano y centros poblados.

2.3. METODOLOGÍA DEL ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZA POR INUNDACIÓN

Los estudios básicos de amenaza por inundación que determina variables climáticas usadas en la evaluación de amenazas de avenidas torrenciales, tuvieron cuatro pasos generales, como se presenta en la Imagen n° 55 así:

a. Recopilación de la información hidro-climatológica disponible
b. Caracterización y análisis de la información hidrológica,
c. Estudios estadísticos(probabilísticos) y determinísticos y
d. Zonificación de niveles de amenaza.

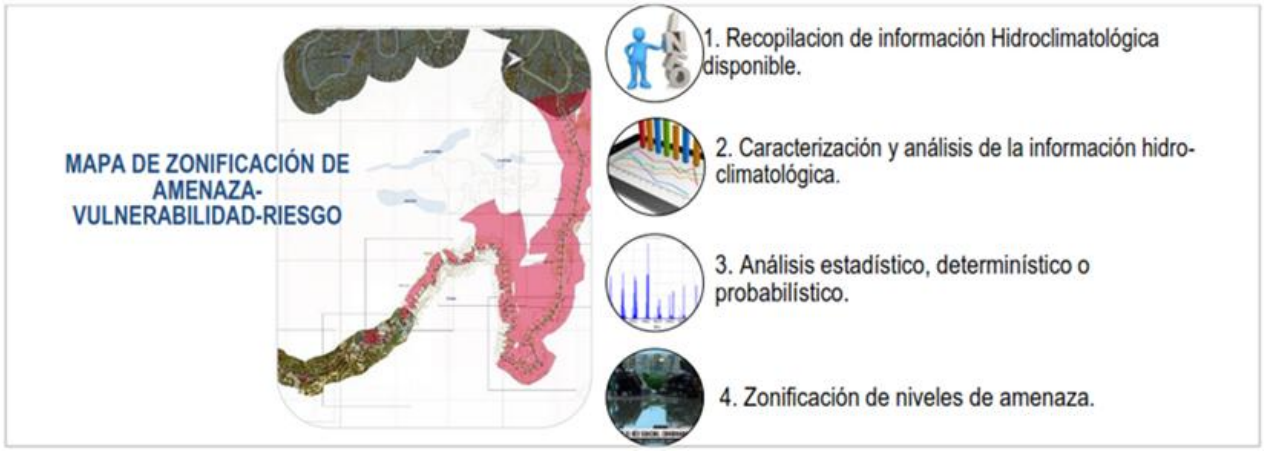


Figura 60. Componentes generales para la realización de estudios básicos de amenaza por inundación.

Fuente: Universidad Nacional, grupo de investigación Biogestión

2.3.1. ANÁLISIS DEL RÉGIMEN HIDROLÓGICO

En general este tipo de análisis constituye un proceso que inicia con el inventario de la información disponible, la depuración de la misma, la selección del período de estudio y la estimación de datos que falten en la serie estudiada (Eslava, Parra y Villalba, 1985). Se realizó una revisión del catálogo de estaciones hidro-climatológicas disponibles. Para las estaciones climatológicas se partió de un principio que establecía que el análisis se realizaría para aquellas estaciones que cubran un radio de acción de 5 Km desde los límites exteriores del municipio de Soacha. Se diferencian las estaciones hidroclimatológicas operadas por el IDEAM, la CAR, la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá (EAAB), la Empresa de Energía de Bogotá (EEB) y de la Federación Nacional de Cafeteros. Se buscó que las series disponibles fueran lo más extensas y representativas posibles. Las estaciones hidrométricas disponibles instaladas en los drenajes principales del municipio, fueron igualmente analizadas. El análisis estadístico preliminar se realiza

para garantizar la confiablidad y si hiciese falta realizar una extensión de los datos suministrados por los operadores de la red hidro-meteorológica. De esta forma se evita incluir datos que generen ruidos. Igualmente, este análisis de confiabilidad permite realizar una apropiada selección de las estaciones que finalmente van a ser utilizadas en el estudio.

El estudio hidro-climatológico, que se presenta en la Imagen n° 56; tuvo como objetivo identificar la variación de la información de precipitación y de caudales, así como otras variables climatológicas. Permitiendo definir qué tipo análisis de precipitación y de caudales sería apropiado para el municipio. Con ello se determinaron áreas susceptibles a inundaciones para diferentes periodos de retorno.

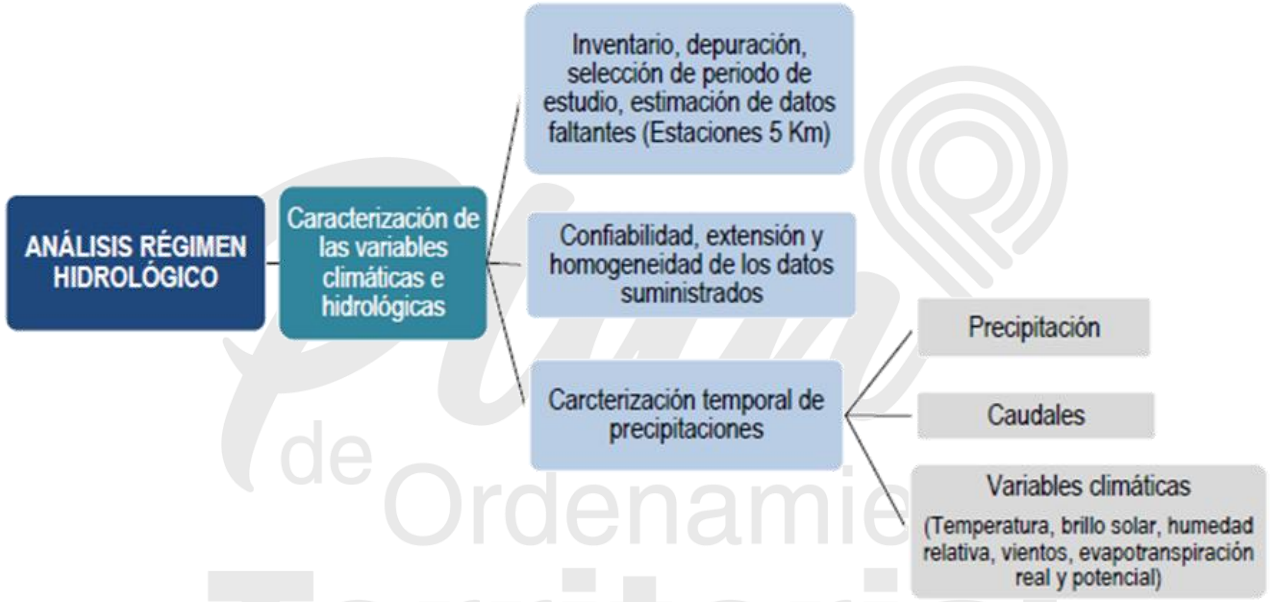


Figura 61. Metodología para el análisis del régimen hidrológico.

Fuente: Universidad Nacional de Colombia

2.3.1.1. ESTACIONES IDENTIFICADAS Y UTILIZADAS EN EL ESTADIO

Después de la revisión del catálogo de las estaciones hidro-climatológicas emplazadas por las diferentes entidades, anteriormente mencionadas, se seleccionaron las estaciones activas que se encuentren dentro de un radio de 5 km alrededor del municipio, identificando 52 estaciones dentro y en los alrededores del municipio.

*Tabla 21. Estaciones identificadas como potenciales para ser usadas en el estudio. (*CO: Climatológica ordinaria; CP: Climatológica principal; PG: Pluviográfica; PM: Pluviométrica).*

CÓDIGO	CAT	NOMBRE	CORRIENTE	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ALTITUD	NOM_ENT_OP	FECHA_INST	LONGITUD	LATITUD
2120701	LG	PTE BOSA	TUNJUELO	BOGOTA D.C.	BOGOTA	2550	CAR	15-07-26	-74.20	4.60
2120020	PM	HATO EL	CHISACA	BOGOTA D.C.	BOGOTA	3150	EAAB	15-06-28	-74.18	4.38
2120712	LM	ALICACHIN-EL SALTO	BOGOTA	CUNDINAMARCA	SIBATE	2538	EEEB	15-09-33	-74.27	4.55
2120820	LM	ESTACION SAN FCO	BOGOTA	CUNDINAMARCA	SOACHA	2620	EEEB	15-09-33	-74.28	4.57
2120723	LM	REP MUNA-AFLUENCIA	MUNA	CUNDINAMARCA	SIBATE	2640	EEEB	15-05-44	-74.25	4.53
2120740	LM	REP EL MUNA-BOMBEO	BOGOTA	CUNDINAMARCA	SIBATE	2660	EEEB	15-10-49	-74.25	4.53
2120126	PM	PORVENIR EL	BOGOTA	CUNDINAMARCA	EL COLEGIO	1350	FED.NAL.CAF	15-02-52	-74.32	4.55
2120749	LM	ZARAGOZA	SOACHA	CUNDINAMARCA	SOACHA	2700	EAAB	15-04-56	-74.22	4.55
2120051	PG	SIBATE APOSTOLICA	MUNA	CUNDINAMARCA	SIBATE	2618	CAR	15-05-56	-74.25	4.52
2120059	PM	TUNAL EL CANDELARI	TUNJUELO	BOGOTA D.C.	BOGOTA	2599	EAAB	15-04-57	-74.15	4.57
2120653	CO	BOSA	BOSA	BOGOTA D.C.	BOGOTA	2640	EAAB	15-05-57	-74.20	4.60
2120760	LM	BOGOTA SIN MUNA	BOGOTA	CUNDINAMARCA	SIBATE	2655	EEEB	15-08-57	-74.25	4.53

CÓDIGO	CAT	NOMBRE	CORRIENTE	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ALTITUD	NOM_ENT_OP	FECHA_INST	LONGITUD	LATITUD
2120829	LM	PTE CANOAS	BOGOTA	CUNDINAMARCA	SOACHA	2550	CAR	15-09-58	-74.25	4.52
2120840	LM	SANTANDERCITO	BOGOTA	CUNDINAMARCA	SAN ANTONIO DEL TEQUENDA	2615	EAAB	15-02-59	-74.35	4.60
2120166	PG	FUTE	BOGOTA	CUNDINAMARCA	SOACHA	2607	CAR	15-09-59	-74.28	4.60
2120039	PM	BELLO HORIZONTE	BOGOTA	CUNDINAMARCA	TENA	1380	FED.NAL.CA	15-01-60	-74.35	4.62
2120755	LM	SAN JORGE GJA	SOACHA	CUNDINAMARCA	SOACHA	2952	CAR	15-04-60	-74.18	4.50
2120172	PG	SAN JORGE GJA	SOACHA	CUNDINAMARCA	SOACHA	2890	CAR	15-04-60	-74.20	4.52
2120572	CO	SAN JORGE GJA	SOACHA	CUNDINAMARCA	SOACHA	2900	IDEAM	15-04-60	-74.19	4.51
2120534	CO	ACDTO BOSA	TUNJUELO	BOGOTA D.C.	BOGOTA	2585	EAAB	15-01-61	-74.18	4.62
2120209	PM	ISLA LA	BOGOTA	BOGOTA D.C.	BOGOTA	2537	EAAB	15-10-65	-74.22	4.63
2120802	LG	ISLA LA	BOGOTA	BOGOTA D.C.	BOGOTA	2537	EAAB	15-10-65	-74.22	4.63
2120561	CP	MUNA	BOGOTA	CUNDINAMARCA	SIBATE	2565	CAR	15-07-66	-74.25	4.55
2120099	PM	CANOAS	BOGOTA	CUNDINAMARCA	SOACHA	2670	EEEB	15-09-67	-74.30	4.57
2120915	LM	SAN FRANCISCO	BOGOTA	CUNDINAMARCA	SOACHA	2500	CAR	15-01-68	-74.30	4.57

CÓDIGO	CAT	NOMBRE	CORRIENTE	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ALTITUD	NOM_ENT_OP	FECHA_INST	LONGITUD	LATITUD
2120211	PG	HUERTAS LAS	BOGOTA	CUNDINAMARCA	SOACHA	2572	EAAB	15-11-68	-74.23	4.58
2120806	LG	HUERTAS LAS	BOGOTA	CUNDINAMARCA	SOACHA	2572	EAAB	15-11-68	-74.23	4.58
2120102	PM	ALTO CHARCO	BOGOTA	CUNDINAMARCA	SIBATE	2728	EEEB	15-04-70	-74.28	4.55
2120197	PM	CASABLANCA	TUNJUELO	BOGOTA D.C.	BOGOTA	2665	EAAB	15-05-76	-74.17	4.57
2120607	CO	MISIONES	BOGOTA	CUNDINAMARCA	EL COLEGIO	1540	FED.NAL.CAF.	15-02-77	-74.30	4.57
2120156	PG	PICOTA LA	TUNJUELITO	BOGOTA D.C.	BOGOTA	2580	CAR	15-06-80	-74.13	4.57
2120158	PM	PASQUILLA	TUNJUELITO	BOGOTA D.C.	BOGOTA	3000	IDEAM	15-11-81	-74.15	4.45
2120131	PM	PREVENTORIO INFANT	BOGOTA	CUNDINAMARCA	SIBATE	2650	IDEAM	15-03-85	-74.27	4.47
2120132	PM	UNION LA	EMB MUNA	CUNDINAMARCA	SIBATE	2640	IDEAM	15-03-85	-74.27	4.51
2120943	LM	COMPUERTA 1	TUNJUELO	BOGOTA D.C.	BOGOTA	2600	EAAB	15-03-86	-74.22	4.62
2120175	PM	CHARQUITO	BALSILLAS	CUNDINAMARCA	SOACHA	2550	CAR	15-01-88	-74.28	4.55
2120630	CP	DONA JUANA	TUNJUELO	BOGOTA D.C.	BOGOTA	2700	CAR	15-03-89	-74.17	4.50
2120205	PG	QUIBA	BOGOTA	BOGOTA D.C.	BOGOTA	3000	EAAB	15-01-90	-74.17	4.53

CÓDIGO	CAT	NOMBRE	CORRIENTE	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ALTITUD	NOM_ENT_OP	FECHA_INST	LONGITUD	LATITUD
2120628	CO	ACAPULCO	BOGOTA	CUNDINAMARCA	BOJACA	2650	IDEAM	15-02-90	-74.33	4.65
2120203	PG	MESETA LA	BOGOTA	BOGOTA D.C.	BOGOTA	2718	EAAB	15-09-90	-74.22	4.52
2120662	CO	E-DURAN DUSSAN	BOGOTA	BOGOTA D.C.	BOGOTA	2562	IDEAM	15-11-01	-74.18	4.64
2120666	CO	INEM SANTIAGO PERE	TUNJUELITO	BOGOTA D.C.	BOGOTA	2565	IDEAM	15-11-01	-74.13	4.58
2120673	CP	GIBRALTAR	RÍO BOGOTÁ	CUNDINAMARCA	BOGOTA	0	IDEAM	06-11-03	74.19	4.65
2120674	CP	DESCARGA GIBRALTAR	E. BOMBEO GIBRALT	CUNDINAMARCA	BOGOTA	0	IDEAM	06-11-03	74.19	4.65
2120675	CP	SAN BERNARDINO	RÍO BOGOTÁ	CUNDINAMARCA	BOGOTA	0	IDEAM	06-11-03	74.22	4.63
2120676	CP	CIERRE	RÍO BOGOTÁ	CUNDINAMARCA	BOGOTA	0	IDEAM	06-11-03	74.23	4.63
2120677	CP	PONTÓN SAN JOSÉ (LA ISLA)	RÍO TUNJUELO	CUNDINAMARCA	BOGOTA	0	IDEAM	06-11-03	74.22	4.62
2120678	CP	LA INDEPENDENCIA	RÍO TUNJUELO	CUNDINAMARCA	BOGOTA	0	IDEAM	06-11-03	74.20	4.62
2120679	CP	CRA 86	RÍO TUNJUELO	CUNDINAMARCA	BOGOTA	0	IDEAM	06-11-03	74.18	4.62
2120680	CP	MAKRO	RÍO TUNJUELO	CUNDINAMARCA	BOGOTA	0	IDEAM	06-11-03	74.16	4.60

CÓDIGO	CAT	NOMBRE	CORRIENTE	DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	ALTITUD	NOM_ENT_OP	FECHA_INST	LONGITUD	LATITUD
2120681	CP	SAN BENITO	RÍO TUNJUELO	CUNDINAMARCA	BOGOTA	0	IDEAM	06-11-03	74.14	4.57
2120682	CP	BARRIO MÉJICO	RÍO TUNJUELO	CUNDINAMARCA	BOGOTA	0	IDEAM	06-11-03	74.14	4.56

Fuente: UNAL

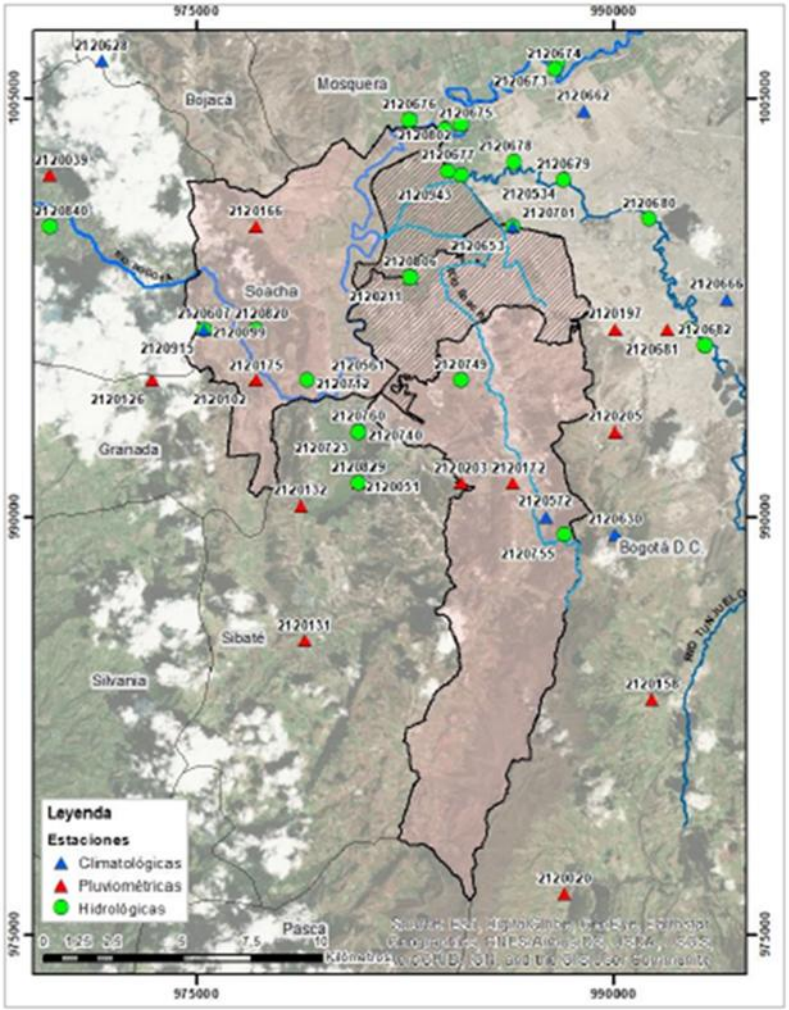


Figura 62. Estaciones disponibles en el municipio de Soacha

Fuente: UNAL

Una vez realizada la consulta en el IDEAM y la CAR, únicamente se contó con la información de las estaciones que se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 22. Estaciones disponibles del IDEAM y la CAR. (CO: Climatológica principal; CP: Climatológica principal; PG: Pluviogáfica; PM: Pluviométrica.).

CODIGO	CAT	NOMBRE	CORRIENTE	DEP/TO	MUNICIPIO
2120701	LG	PTE BOSA	TUNJUELO	BOGOTA D.C.	BOGOTA
2120020	PM	HATO EL	CHISACA	BOGOTA D.C.	BOGOTA
2120126	PM	PORVENIR EL	BOGOTA	C/MARCA	EL COLEGIO
2120542	AM	TIBAITATA	BALSILLAS	C/MARCA	MOSQUERA
2120051	PG	SIBATE APOSTOLICA	MUNA	C/MARCA	SIBATE
2120059	PM	TUNAL EL CANDELARI	TUNJUELO	BOGOTA D.C.	BOGOTA
2120060	PG	GUARANI	BOGOTA	C/MARCA	SIBATE
2120166	PG	FUTE	BOGOTA	C/MARCA	SOACHA
2120039	PM	BELLO HORIZONTE	BOGOTA	C/MARCA	TENA
2120755	LM	SAN JORGE GJA	SOACHA	C/MARCA	SOACHA
2120172	PG	SAN JORGE GJA	SOACHA	C/MARCA	SOACHA
2120572	CO	SAN JORGE GJA	SOACHA	C/MARCA	SOACHA
2120534	CO	ACDTO BOSA	TUNJUELO	BOGOTA D.C.	BOGOTA
2120802	LG	ISLA LA	BOGOTA	BOGOTA D.C.	BOGOTA
2120561	CP	MUNA	BOGOTA	C/MARCA	SIBATE
2120099	PM	CANOAS	BOGOTA	C/MARCA	SOACHA
2120211	PG	HUERTAS LAS	BOGOTA	C/MARCA	SOACHA
2120806	LG	HUERTAS LAS	BOGOTA	C/MARCA	SOACHA
2120634	ME	PARAISO PERDIDO	MUNA	C/MARCA	SIBATE
2120630	CP	DONA JUANA	TUNJUELO	BOGOTA D.C.	BOGOTA
2120661	CO	EFRAIN CAÑAVERAL	SAN FRANCISCO	BOGOTA D.C.	BOGOTA

Fuente: UNAL

2.3.1.2. INFORMACIÓN DISPONIBLE

Una vez revisados los registros que se recibieron de cada estación, a la fecha de las consultas a las entidades. La Tabla n° 8 presenta el resumen de la información disponible para el estudio en cada una de las estaciones de acuerdo a la información suministrada por el IDEAM y la CAR

Tabla 23. Información útil en las estaciones disponibles del IDEAM.

COD IDEAM	TIPO	TIPO DE VARIABLE									TOTAL SERES
		BS	EV	HR	PT	QL	RD	RS	TS	VR	
21197460	MEDIOS					X					1
21200200	TOTALES				X						1
21200390	TOTALES				X						1
21200510	TOTALES				X						1
21200590	TOTALES				X						1
21200600	TOTALES				X						1
21200990	TOTALES				X						1
21201260	TOTALES				X						1
21201660	TOTALES				X						1
21201720	TOTALES				X						1
21202110	TOTALES				X						1
21205340	TOTALES				X						1
21205420	MEDIOS			X					X		2
	TOTALES				X		X				2
21205610	MEDIOS			X					X		2
	MÁXIMOS								X		1
	TOTALES	X	X		X			X			4
	MÍNIMOS								X		1
21205720	MEDIOS			X					X		2
	MÁXIMOS								X		1
	TOTALES	X			X					X	3
	MÍNIMOS								X		1
21206300	MEDIOS			X					X		2
	MÁXIMOS								X		1
	TOTALES	X	X		X		X				4
	MÍNIMOS								X		1
21206340	TOTALES		X		X						2
21206610	MEDIOS			X					X		2
	MÁXIMOS								X		1
	TOTALES	X	X		X						3
	MÍNIMOS								X		1

COD IDEAM	TIPO	TIPO DE VARIABLE									TOTAL SERES
		BS	EV	HR	PT	QL	RD	RS	TS	VR	
21207010	MEDIOS					X					1
21207150	MEDIOS					X					1

Fuente: UNAL

En total se tienen 21 estaciones con información de al menos una variable climatológica o de caudales para un total de 55 series con registros diarios.

La base de datos se conformó por las tablas de cada serie. La nomenclatura usada para cada tabla está relacionada con la que tiene el IDEAM para la identificación de la serie de datos y para el presente estudio se adecuó de la siguiente forma:

HR12403525050

Los dos primeros caracteres corresponden al tipo de parámetro (ej. HR: humedad relativa, PT: precipitación, EV: Evaporación), el siguiente digito corresponde al tipo de dato (ej. 1 promedio; 2 máximo; 4: total, 8: mínimo). Los siguientes 8 dígitos corresponden al código de la estación asignado por el IDEAM, el penúltimo dígito corresponde a si es un serie diaria o mensual (5: diaria; 8 Mensual). El último digitó indica el tipo de tratamiento que tiene la serie (0: Serie Cruda, 1: Serie Periodo Estudio, 2: Datos Atípicos Eliminados, 3: Datos Completos).

2.3.2. ANÁLISIS ESTADÍSTICO, PROBABILÍSTICO O DETERMINÍSTICO

Como insumo para definir el grado de amenaza, se establecieron las precipitaciones máximas en 24 horas en diferentes periodos de retorno (3, 5, 10, 25, 50 y 100 años), además se realizó el análisis de frecuencia empleando las distribuciones de probabilidad General de Valores Extremos Tipo 3 (EV3), General de Valores Extremos Tipo I (EV1) o Gumbel, Log Normal, Log Pearson, Pearson y Normal. Se seleccionó la distribución que mejor se ajustó a los registros de cada estación, definiéndola a partir del análisis de bondad de ajuste por estación. Además, con la base de datos de las estaciones disponibles se realizó un análisis exploratorio de los datos, mediante elaboración de graficas de las series de tiempo completas y diagramas de caja (boxplot) de promedios o totales mensuales de la información cruda; esto para identificar datos faltantes, consistencia, valores atípicos y tendencias en las series de manera preliminar, determinadas por pruebas de aleatoriedad, homogeneidad y tendencia. Hecho lo anterior, se generaron los campos de variación espacial a nivel mensual y anual de la precipitación y otras variables.

A su vez, se realizó un análisis exploratorio de los datos (EDA) por medio gráfico con el fin de comprobar visualmente tendencias y cambios en las series de tiempo. Este análisis es considerado como el primer paso por realizar antes de cualquier análisis confirmatorio (cuantitativo) y, debe realizarse, antes de utilizar la información hidro-climatológica para usarla en los diferentes

modelos y simulaciones. Se utilizaron tanto las gráficas de series de tiempo como el diagrama de cajas o boxplot. La Imagen n° 58, muestra el proceso realizado en el análisis exploratorio de datos como las curvas IFD disponibles y las finalmente usadas correspondiente a las realizadas por INGETEC (2014).

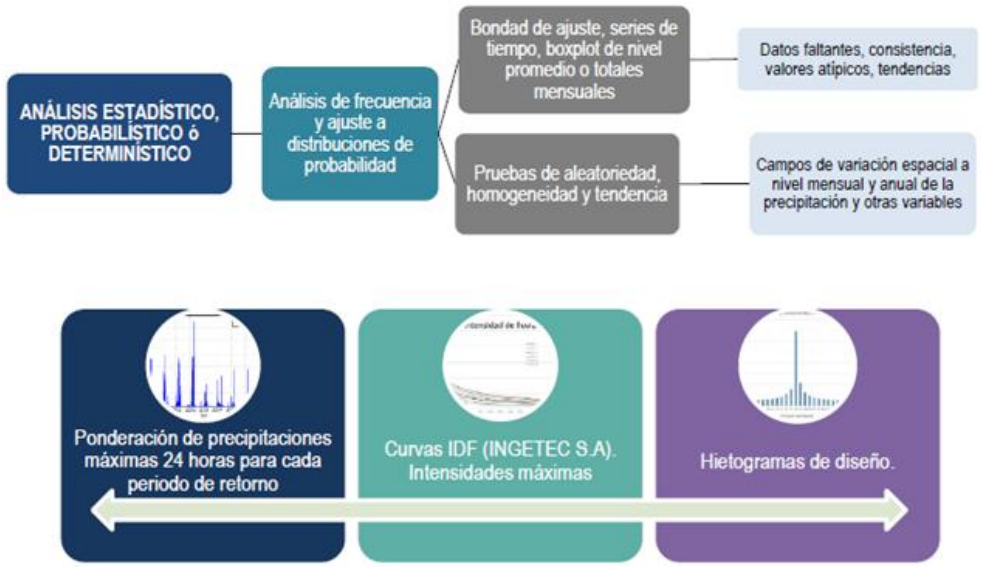


Figura 63. Metodología análisis estadísticas descriptivas, análisis exploratorio de datos y probabilísticos

Fuente: UNAL

2.3.2.1. SELECCIÓN PERIODO DE ESTUDIO

Para cada variable climática disponible, se seleccionó el periodo de tiempo homogéneo más reciente, en el cual las estaciones tuvieran la mayor cantidad de datos.

En la Tabla n° 24 se presenta el periodo homogéneo seleccionado para cada variable.

Tabla 24. Periodo de estudio homogéneo seleccionado. Fuente: UNAL

VARIABLE	SIGLAS	TR	AÑO INICIO	AÑO FINAL	TOTAL AÑOS
Brillo Solar	BS	TOTAL	1995	2005	10
Evaporación	EV	TOTAL	1995	2005	10
Humedad Relativa	HR	MEDIOS	1995	2015	10

VARIABLE	SIGLAS	TR	AÑO INICIO	AÑO FINAL	TOTAL AÑOS
Precipitación	PT	TOTAL	1985	2015	20
Temperatura	TS	MEDIOS	1995	2015	10
		MÁXIMOS	1995	2015	10
		MÍNIMOS	1995	2015	10
Recorrido del viento	VR	TOTAL	1996	2014	8
Caudal	QL	MEDIO	1995	2015	20
Radiación Solar	RD	TOTAL	2000	2015	16

Fuente: UNAL

2.3.3. ZONIFICACIÓN DE NIVEL DE AMENAZA

A partir de los histogramas de diseño, la delimitación de las cuencas y la caracterización de los suelos, se simula el proceso de precipitación-escurrimiento en cuencas, empleando el software del centro de ingeniería hidrológica de los Estados Unidos perteneciente al cuerpo de la armada de los EE.UU. (HEC-HMS). El primer paso consiste en la delimitación y definición de las microcuencas determinadas por las redes de drenaje y las red de alcantarillado pluvial de Soacha, elaborado con base en los estudios para la definición a nivel de factibilidad en el Plan Maestro de Alcantarillado y la realización diseños para construcción de redes de alcantarillados en diversos sectores del municipio de Soacha, desarrollado en el 2001 por las consultora Estudios Técnicos S.A en el contrato 1-02-4100-814-1999 para la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá E.S.P.

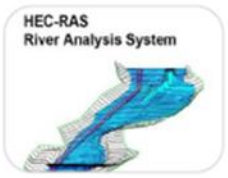
Luego de este proceso, se determinan las características fisiográficas de la cuenca como las áreas, tiempo de concentración y curvas número; parámetros de entrada en el modelo hidrológico junto con los histogramas de diseño calculados de un análisis de intensidades máximas. A continuación, se presenta el esquema metodológico desarrollado en HEC-HMS para la modelación de los principales cauces de análisis frente la amenaza por inundación en el municipio de Soacha.

Delimitación de microcuencas y obtencion de caracteristicas fisiográficas

(Área, longitud de los cauces, tiempo de concentración, Curva Número).

Modelación de eventos mediante el modelo HEC-HMS.

Para este modelo previamente se delimitaron las cuencas de las respectivas zonas de estudio de donde se tienen los siguiente parámetros de entrada: caracteristicas fisiográficas y hietogramas.



Generación de secciones transversales de cauces: información topobatrimétrica e imágenes LIDAR.

Modelación hidráulica con HEC-RAS: zonas de inundación a los periodos de retorno establecidos.

Figura 64. Metodología para la zonificación por niveles de amenaza de inundación

Fuente: UNAL

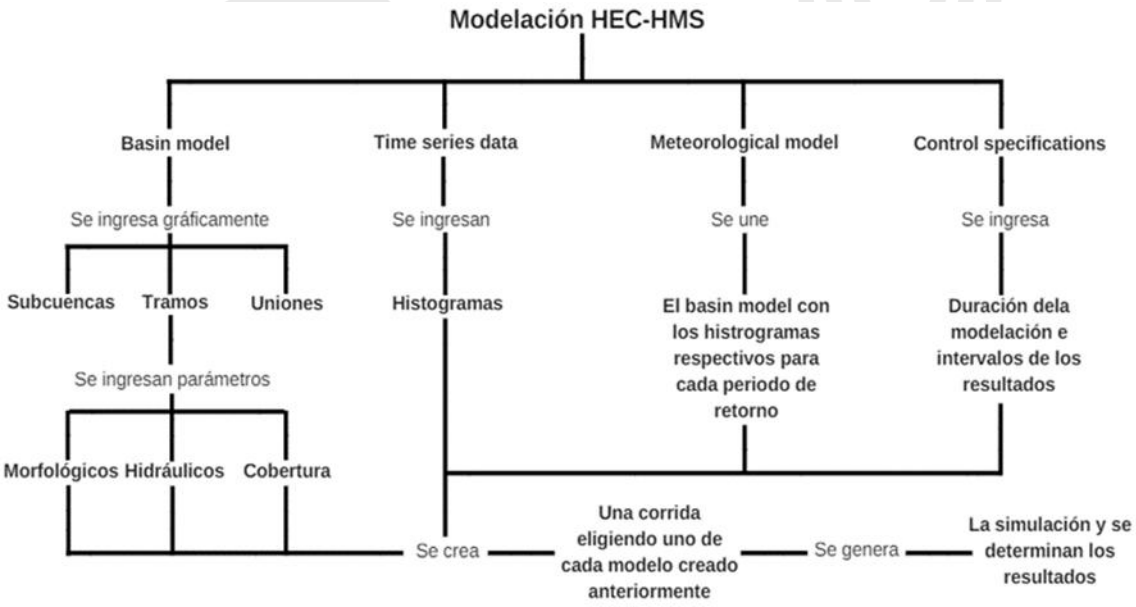


Figura 65. Metodología para la modelación hidrológica en HEC-HMS.

Fuente: UNAL

El modelo parte de una simulación hidrológica de tipo evento, lineal y semidistribuido, desarrollado para obtener los caudales máximos y tiempos pico de salida en una cuenca o varias Subcuencas según la implementación del modelo hidrológico a partir de condiciones extremas de lluvias, aplicando para para ello diversos métodos en la perdida por infiltración, flujo base, hietogramas de diseño y conversión de lluvia en escorrentía superficial.

Figura 66. Descripción de los criterios empleados en la modelación hidrológica HEC-HMS

Fuente: UNAL

Luego de correr el modelo se obtienen los caudales de diseño para diferentes periodos de retorno donde junto con la información hidráulica del levantamiento LIDAR de la quebrada Tibanica y Río Soacha de la CAR en el 2009, se cuenta con los parámetros topobatimétricos, fundamentales en determinan las áreas de amenaza con diferentes niveles de probabilidad de ocurrencia.

Para realizar la modelación hidráulica se emplea el modelo del mismo US Army Corps (Cuerpo de Ingenieros de la Armada de los EE. UU) HEC-RAS (Hydrologic Engineering Center- River Analisys Sistem HEC-RAS), programa informático de modelación hidráulica de flujo de agua de los ríos naturales o de canales artificiales, el cual simula el nivel del agua de los cauces de estudio, permitiendo determinar las zonas y localización de las áreas de inundación en función del caudal (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Por su parte, en la **¡Error! No se**

encuentra el origen de la referencia. se representan las variables que se consideran en la caracterización de los principales cauces de la zona de estudio y las condiciones de la modelación para obtener los niveles de inundación.

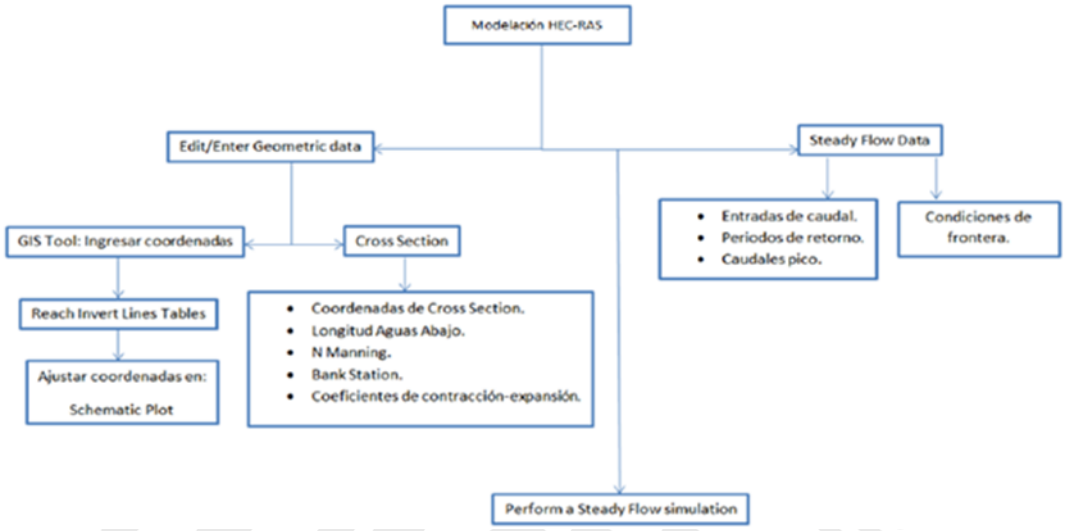


Figura 67. Metodología modelación hidráulica en HEC-RAS

Fuente: UNAL

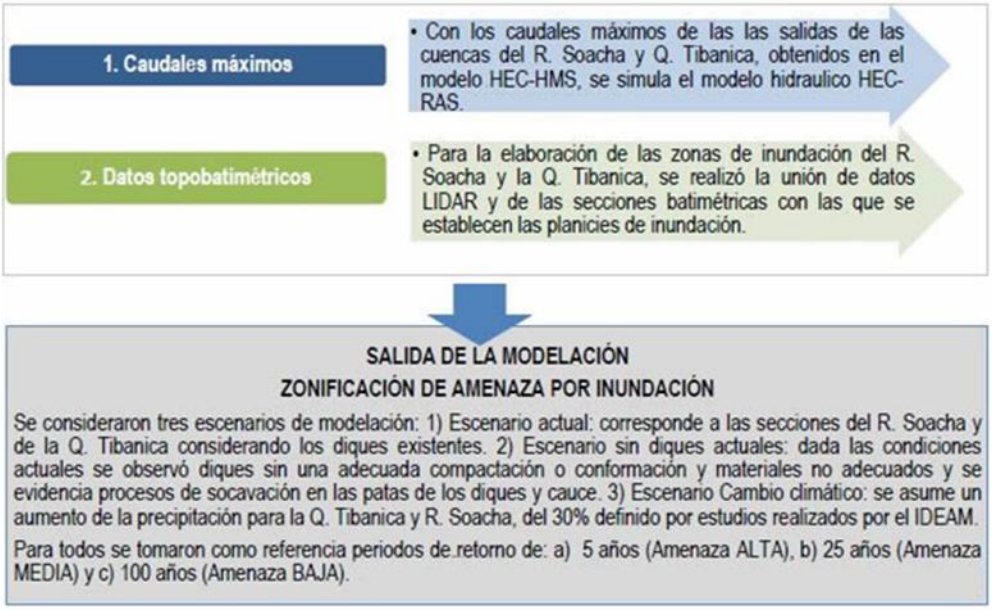


Figura 68. Descripción de los criterios empleados en la modelación hidráulica HEC-RAS.

Fuente: UNAL

2.3.4. GENERACIÓN DEL MODELO DIGITAL DEL TERRENO

El modelo de elevación digital - DEM por sus siglas en inglés Digital Elevation Model, es una representación de una variable continua correspondiente a la altitud sobre la superficie terrestre, referenciado a un sistema de coordenadas en común. En general, el modelo de elevación digital puede definirse como una representación de las características topográficas de un lugar determinado, que sirve para el análisis visual y matemático de los datos de altura aplicado a procesos de modelamiento geomorfológicos, hidrológicos, erosión del suelo, amenazas, análisis de cuencas, entre otros (Roa Lobo y Kamp, 2006).

Existen dos formas de representar estructuralmente estos modelos; la primera es a través de un archivo en formato raster, el cual se caracteriza por ser una matriz de celdas cuadradas que recibe un valor único de información que se considera representativo para toda la superficie que ocupa dicha celda, y la segunda es mediante representaciones vectoriales tales como los modelos de redes de triángulo irregulares - TIN, (Triangular Irregular Networks). Estos modelos corresponden a una forma de datos geográficos construidos en un proceso de triangulación de entidades vectoriales tales como puntos o líneas, en donde se genera una serie de vértices unidos a través de aristas que forman una red de triángulos que capturan la posición de dichas entidades.

Actualmente, la elaboración de estos modelos es realizada a partir de información altitudinal obtenida de mapas topográficos, fotografías aéreas, datos de radar, sistemas láser, imágenes estereoscópicas o mediciones directas realizadas en campo a través de equipos especializados.

Los datos LIDAR (Light detección and ranging), corresponden a un registro de elevaciones realizadas mediante un sensor activo, que se caracteriza por generar su propia energía para la captura de información a través de tecnología láser. El sensor permite obtener una densa red de puntos de elevación georreferenciados que pueden ser administrados, visualizados y compartidos mediante diferentes programas de sistemas de información geográfica (SIG). Esta nube de puntos comúnmente es almacenada en un archivo –LAS- y se caracteriza por poseer atributos tales como intensidad, códigos de clase y valores de color –RGB-

Los códigos de clase corresponden a una clasificación asignada que aportan información sobre el tipo de objeto sobre el cual el sensor refleja el pulso láser; de acuerdo a esta información, cada punto es clasificado en diferentes categorías tales como suelo, infraestructura, agua, líneas de tendido eléctrico, vegetación alta, media o baja, o puntos sin clasificar relacionados con la presencia de pájaros u otros objetos en suspensión. La capacidad del sensor para obtener información bajo la cubierta vegetal junto con la precisión en centímetros y su alta resolución, permite el desarrollo de modelos digitales de elevación a través de la selección de una nube de puntos clasificada, correspondiente a la información altitudinal de la superficie del suelo (San José Albacete, 2011).

Los datos LIDAR constituyeron información base para la elaboración de modelos digitales junto con los elementos planteados en la modelación hidráulica. Este procedimiento permite el estudio de amenazas por inundación y avenidas torrenciales; sin embargo, para ello es necesario contar con datos de sensores habilitados para la captura de información de las profundidades de los lechos fluviales (Magdaleno y Martínez, 2006). Este procedimiento es conocido en topografía como batimetría y consiste en el levantamiento del relieve de superficies subacuáticas para la determinación de las coordenadas x, y, z, del fondo de ríos, canales, embalses, entro otros.

Para la elaboración del modelo digital de elevación del Rio Soacha y la Quebrada Tibanica, se utilizaron datos LIDAR para la obtención de información topográfica junto con mediciones recolectadas en campo, resultado del levantamiento batimétrico realizados a lo largo de cada uno de los cauces; esta información permitió complementar la información obtenida del sensor para la generación de un DEM más ajustado a la realidad (Ver Imagen n° 64).

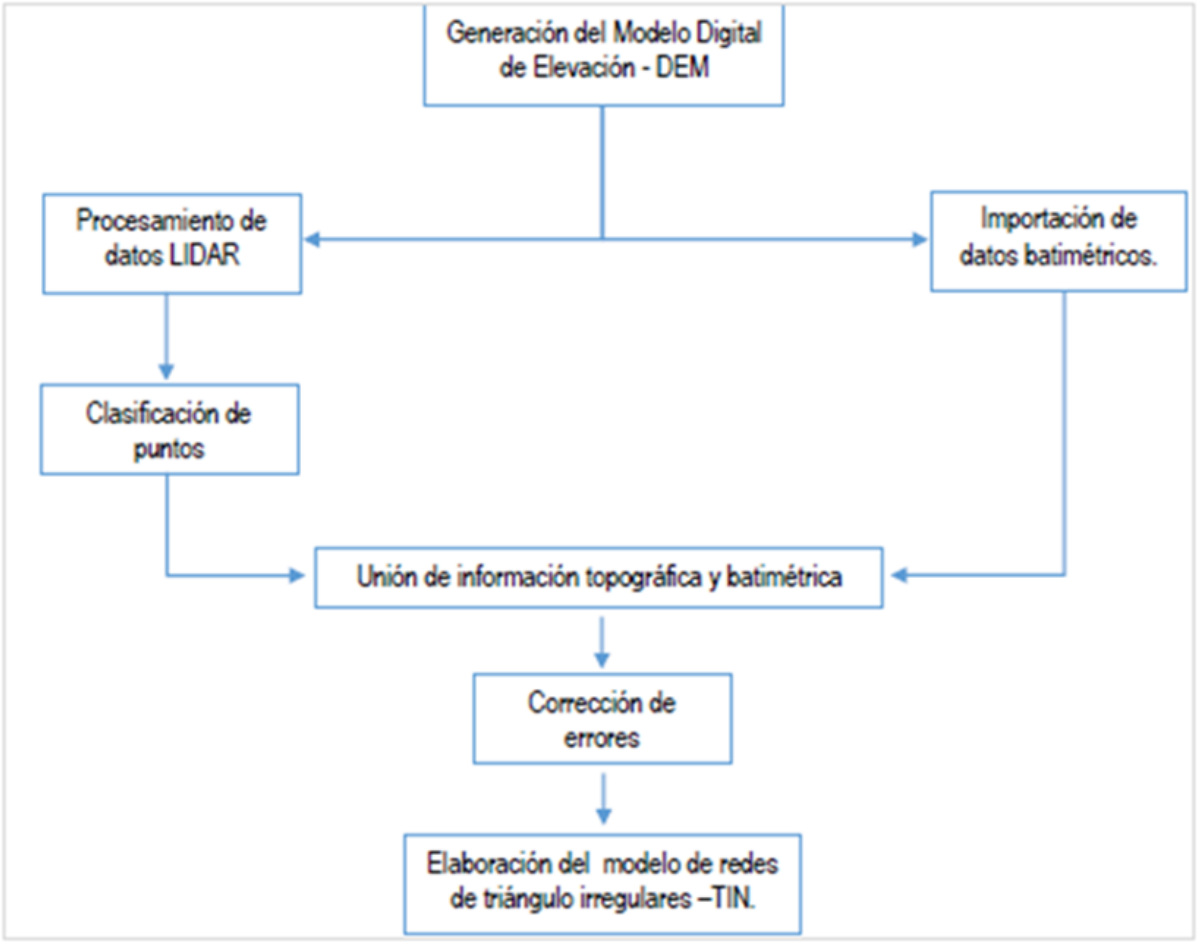


Figura 69. Metodología para la generación del DEM.

Fuente: UNAL

2.4. DESARROLLO DEL ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZA POR INUNDACIONES EN EL MUNICIPIO DE SOACHA – CUNDINAMARCA

2.4.1. ÁREA DE ESTUDIO

Los principales cuerpos de agua identificados en el presente estudio se representan en la Imagen n° 65 para el sector urbano, destacando el rio Soacha y Quebrada Tibanica como los principales cauces de amenaza de inundación en gran parte del municipio de Soacha. Además de los humedales de Tibanica, Neuta, Tierra Blanca, Maiporé, Puyana y Represa Terreros fundamentales en el control de las inundaciones, ya que cumplen la función de amortiguar crecientes producidas por fuertes precipitaciones, reduciendo la velocidad de circulación de las mismas.

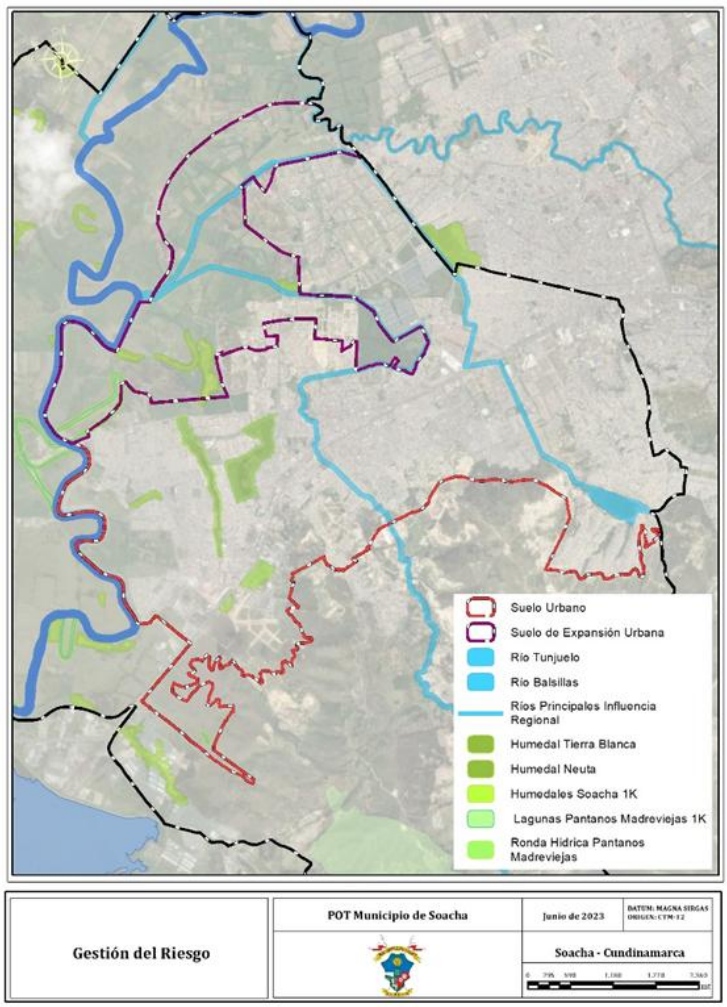


Figura 70. Principales cuerpos de agua en Soacha - zona urbana.

La composición de los efluentes en el sector rural se presenta en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** identificando a las quebradas de Chacua, Encenillo, Aguas Claras, Las Mirlas, Honda y Grande ubicadas en la zona alta del municipio entre las veredas de Romeral, Alto de la Cabra, Hungría, Chacua y Villa Nueva. Por otra parte, el Río Soacha en el sector rural se ubica entre las veredas de San Jorge, Fusungá y Panamá.

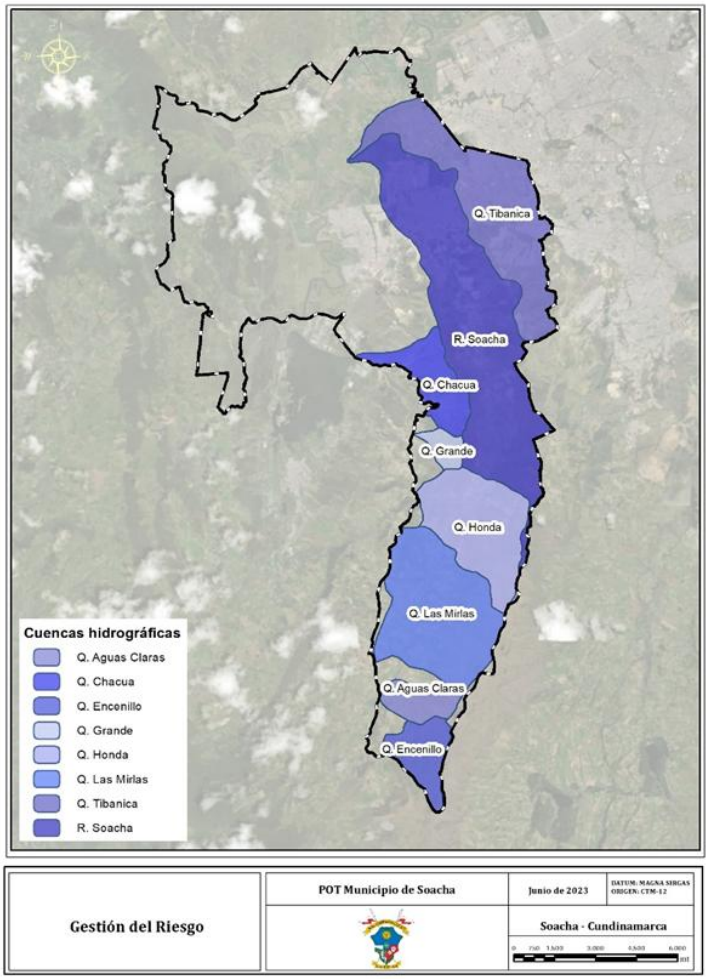


Figura 71. Principales cuerpos de agua en Soacha - zona rural.

2.4.2. GEOMORFOLOGÍA DEL MUNICIPIO DE SOACHA

La información recopilada para la descripción geomorfológica, contó con el estudio realizado por parte del Servicio Geológico Colombiano en el marco de los estudios de Zonificación geomecánica y de amenaza por movimiento en masa en el municipio de Soacha Cundinamarca 1:25.000 y Zonificación geomecánica y de amenaza por movimiento en masa en el municipio de Soacha - Cundinamarca zona urbana y de

expansión urbana. 1:5.000, presentados con anterioridad en este documento, integrándose además con el estudio de Zonificación geomecánica básica de la sabana de Bogotá - mapa geomorfológico de la sabana de Bogotá (Servicio Geológico Colombiano, 2004). Esta información fue complementada y actualizada con inspecciones en campo y con mosaico del año 2015, insumo brindado por el municipio.

2.4.2.1. GEOMORFOLOGÍA RURAL DEL MUNICIPIO DE SOACHA

El presente análisis define las características geomorfológicas para el área rural del municipio de Soacha con el fin de determinar geoformas susceptibles a la ocurrencia de inundaciones, ya que estas dejan registros o secuelas mediante la disposición y tipología de las formas de terreno. Dichas unidades pueden ayudar a determinar en el marco de la dinámica natural de la corriente fluvial, la frecuencia e incluso inferir ordenes de magnitud de parámetros como profundidad, velocidad de la corriente o carga solida transportada, que ayudan a modelar el fenómeno de inundación al complementarse con otras técnicas. Se realizó con información proveniente del estudio de zonificación geomecánica y de amenaza por movimiento en masa en el municipio de Soacha – Cundinamarca, zonificación geomorfológica de la sabana de Bogotá (INGEOMINAS, 2006), imagen del año 2015 así como a partir de lo evidenciado en campo.

El municipio de Soacha se encuentra en la provincia fisiográfica de la cordillera oriental con alturas que varían desde los 1360 m hasta 3920 m, más exactamente en la vertiente occidental de los cerros de la parte sur de la Sabana de Bogotá, la cual se caracteriza por la presencia de eventos de tipo compresivo y distensivo, que han originado unidades estructurales, con un relieve montañoso, irregular y capas deformadas como evidencia del levantamiento de la Cordillera oriental y actualmente se conserva en la parte central de la zona de estudio. Posteriormente procesos asociados a épocas de glaciación esculpieron el paisaje sobre la zona de alta montaña (al sur del municipio), mientras que en la parte central se presentaba procesos denudacionales (erosión y movimientos de masa), donde los depósitos generados eran transportados hasta llegar al sector del ambiente fluviolacustrino (norte del área de estudio), finalmente el sector del ambiente lentico es colmatado y actualmente solo quedan sus depósitos y algunos cuerpos remantes, mientras que la dinámica fluvial de los actuales ríos han transformado gran parte de estos depósitos y han dado la configuración actual del relieve. Con la aparición del hombre, se crean nuevas unidades morfogenéticas como resultado de la interacción con el medio, transformando el paisaje como se evidencia sobre las veredas Fusungá y Panamá.

En general, las geoformas presentes en el municipio de Soacha, están relacionadas con procesos morfogenéticos de tipo estructural, denudacional, fluvioglaciar, fluviolacustre y antropogénico producto de la intensa actividad geológica desde cretácico hasta la actualidad, de la interacción con la atmosfera y con el hombre, dando como resultado las siguientes subunidades morfogenéticas. Como se observa en la Imagen n° 67 se destacan 5 ambientes morfogenéticos distribuidos así: 23.1% del área de la cuenca es ambiente estructural (4226,7 Ha), el 21,9% denudacional (4011,13 Ha), 33,4% fluvio – lacustre (6112,72 Ha), 17,5% fluvio – glacial (17,5 Ha) y 4,1% antrópico (751,66 Ha). Cada ambiente esta subdividido por geoformas o subunidades geomorfológicas las cuales se describen a continuación:

Al occidente y parte central del municipio en las veredas Cascajal, Canoas, el Charquito, Panamá, Chacua, Fusungá, Villanueva y San Jorge afloran rocas sedimentarias del Cretácico pertenecientes principalmente a la Formación Conejo, al grupo Guadalupe y Guadas conformando una tendencia estructural NNE, las cuales por tectonismo regional ha sido plegadas, fracturas, diaclasadas y falladas, dando expresiones morfológicas montañosas a colinadas, con pendientes abruptas y escarpadas que conforman parte del sistema montañoso de la Cordillera Oriental. Como producto del levantamiento y de las deformaciones de las rocas sedimentarias se da origen a las unidades: sierra homoclinal (Ssh), ladera estructural de sierra homoclinal (Sshle) o ladera de contrapendiente de sierra homoclinal (Sshcp), sierra anticlinal (Ssan), ladera estructural de sierra anticlinal (Ssanl), ladera de contrapendiente de sierra anticlinal (Ssale), sierra sinclinal (Sss), ladera de pendiente estructural y de contrapendiente de sierra sinclinal (Sssle) (Ssslc), ladera de contrapendiente (Sle) y pendiente estructural (Slcp), meseta estructural (Sm). La unidad escarpe de línea de falla (Slfe), cerro estructural (Sce) y sierra estructural (Ss) son expresiones de la actividad de fallas locales tipo inversas.

La interacción de la roca con los actores denudacionales ha generado procesos moderados a intensos de meteorización, erosión y transporte de origen pluvial, gravitacional y glacial que remodelaron el paisaje y dejaron remantes de las unidades pre-existentes; y, a su vez, crearon nuevas geoformas de sedimentos. Entre estas geoformas relictas se encuentran: laderas denudadas (Dld), laderas escarpadas (Deem), escarpes de erosión menor (Deeme), lomos denudados (Dlme), lomeríos poco disectados (Dlpd), cerros residuales (Dcr), cerros remanentes (Dcrem) y como depósitos que evidencian los procesos denudacionales recientes se hallan: depósitos coluviales activo (Dcoa), depósitos coluviales inactivo (Dcoi), conos de talud (Dct) y glacis de acumulación (Dga).

Al noroccidente del municipio sobre las zonas topográficas más bajas y con pendientes planas a suavemente inclinadas, se presentan depósitos cuaternarios de ambiente fluvio – lacustre, asociada a la actividad de las antiguas lagunas que ocuparon la Sabana de Bogotá y de la actual actividad de los ríos que atraviesan el municipio de Soacha.

Después de la orogénesis andina se crearon depósitos derivados de la sedimentación del antiguo lago que cubrió los terrenos de la Sabana de Bogotá, los cuales están constituidos por arcillas de color gris, amarillo pálido y naranja, con intercalaciones de arcilla orgánica, turba, arcillas arenosas y puntalmente gravas y arenas, su consistencia es blanda y puede presentar un espesor aproximado de 300 metros hacia el centro de la cuenca de sedimentación y va disminuyendo hacia los bordes (Van der Hammen, 1995), conformando las geoformas planicies y deltas lacustrinos (Fpla)y lagunas relictas (Flg).

Subsiguientemente, estos depósitos fueron removidos, transportados y nuevamente depositados por la dinámica principalmente de los cauces de los ríos Bogotá, Soacha y Tunjuelito (Fca), por las condiciones topográficas y geológicas estos cauces que a traviesan el municipio presentan una extensa llanura de inundación (Fpi), la cual se caracteriza por estar compuesta de materiales aluviales y se encuentra sujeta a inundaciones recurrentes considerándose una amenaza para los procesos de la planificación.

La evolución fluvial hacia el noroccidente del municipio (veredas Canoas, El Charquito y San Francisco) ha generado que las corrientes llenen sus valles con los sedimentos transportados y luego esta misma labren los depósitos dejando el cauce a un nivel subyacente, dando paso a unidades de terrazas fluviales de acumulación antigua (Ftaa) y subreciente (Fta) con sus respectivos escarpes (Faae). Como parte de la decantación de la cuenca dentro de su proceso natural existen zonas pantanosas, parcialmente vegetadas, pobremente drenadas y conformado por materiales arcillosos donde abunda la materia orgánica, estas unidades se denominan cuencas de decantación (Fcd) y se encuentran delimitadas por los meandros abandonados (Fmc), ambas unidades son relictos del curso del Río Bogotá debido a la migración lateral generada por su carácter sinuoso y por los ecosistemas lénticos del sector, dentro de este grupo también se generan la subunidades de barras puntuales (Fbp)y compuestas (Fbc). Las condiciones topográficas, litológicas y morfogenéticas de las unidades Fmc, Fcd y Fbp denotan procesos activos y periódicos dentro del fenómeno de inundación, los cuales deben tenerse en cuenta dentro del ordenamiento territorial. Por último, los depósitos producto de la erosión y transporte de las zonas de alta pendiente (montañosas) a bajas pendiente (zonas de descargue) conforman la unidad de conos o abanicos de deyección (Fcdy), son

unidades que dejan registro de las crecientes subiditas de las quebradas Fusungá y Terreros.

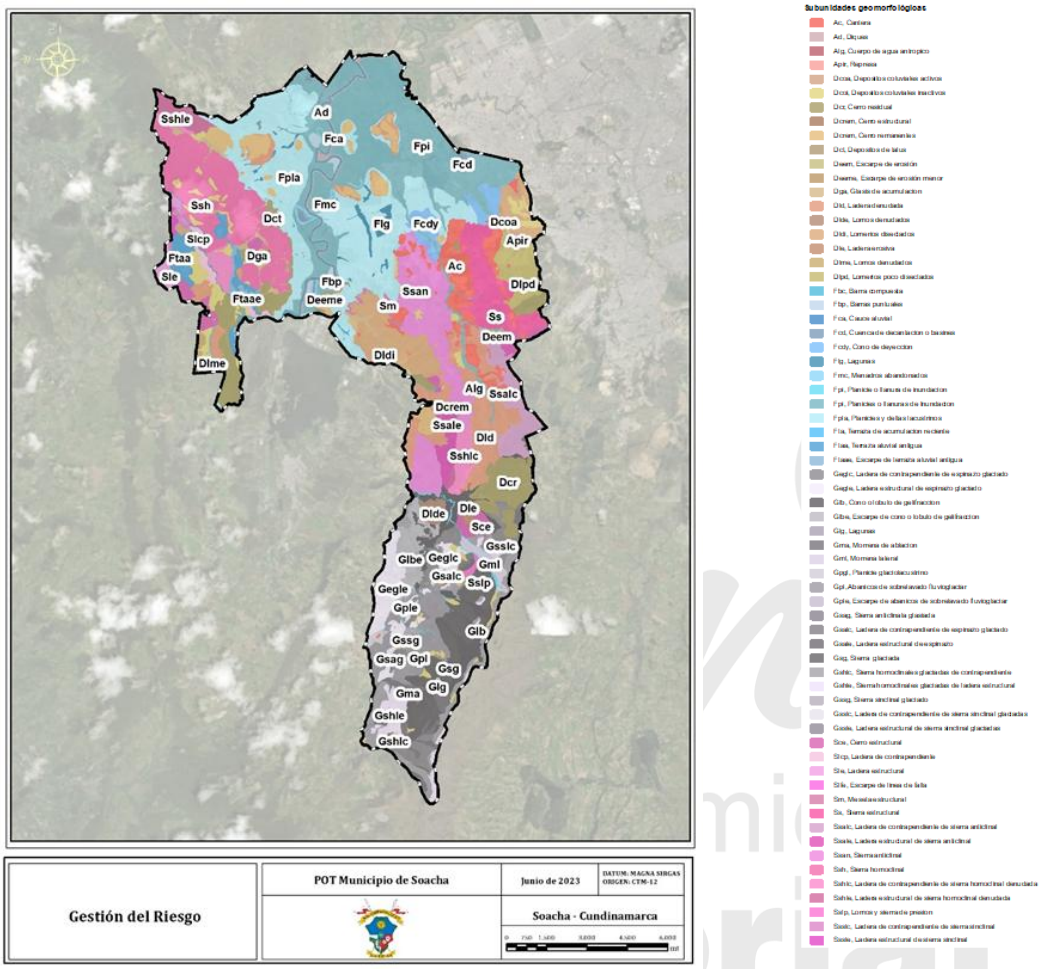


Figura 72. Mapa geomorfológico de la zona rural del municipio de Soacha.
Fuente: Tomado y actualizado del estudio de zonificación geotécnica y amenaza por movimientos en masa en el municipio de Soacha Cundinamarca zona rural escala 1:25.000.

Hacia el sur de Soacha, sobre las veredas Romeral, Alto de la Cabra y Hungría (zonas de alta montaña) los procesos de disección y erosión intensa ocasionadas por el movimiento de las masas de hielo durante la última época glacial, han modelado el sustrato rocoso sedimentario que se ha mantenido hasta el presente, dando lugar a las unidades: sierra glaciada (Gsg), ladera estructural (Gssle) y de contrapendiente (Gsslc) de sierra sinclinal glaciada (Gssg), ladera estructural (Gssag) y de contrapendiente (Gsalc) de sierra anticlinal, ladera estructural (Gshle) y contrapendiente (Gshcp) de sierra homoclinal, ladera estructural (Geleg) y contrapendiente (Geglc) de espinazo estructural glaciado caracterizados por ser deformaciones continuas y por la alternancia de la competencia de las capas sedimentarias y de su buzamiento que oscila entre los 15° a 30°. La actividad Glacio - fluvial ha generado grandes cantidades de sedimento que fueron acumulados

en las laderas adyacentes dejando unidades como morrenas de ablación (Gma) y laterales (Gml), conos y lóbulos de gelifracción (Glb), planicies y abanicos de sobrelavado glaciar (Gpl), como producto de la disección y erosión fluvial se presentan actualmente escarpes sobre estas unidades (Glbe – Gple).

En la actualidad el relieve de Soacha ha presentado modificaciones que no son propias de la naturaleza, sino que es el resultado de la interacción del hombre con la naturaleza, dentro de su proceso de adaptación y aprovechamiento del territorio es evidente encontrar geoformas especificas producto de la explotación de recursos mineros, especialmente de materiales de construcción (Ac) y la creación o intervención de los cuerpos de agua lénticos (Apir) y (Alg).

2.4.2.2. GEOMORFOLOGÍA URBANA Y DE EXPANSIÓN

El presente análisis define las características geomorfológicas del casco urbano del municipio de Soacha con el fin de determinar geoformas susceptibles a la ocurrencia de inundaciones, ya que estas dejan registros o secuelas mediante la disposición y tipología de las formas de terreno, dichas unidades puede ayudar a determinar dentro del marco de la dinámica natural de la corriente fluvial, frecuencia e incluso inferir ordenes de magnitud de parámetros como profundidad, velocidad de la corriente o carga solida transportada, que ayudan a modelar el fenómeno de inundación al complementarse con otras técnicas. Este análisis se realiza con información proveniente del estudio de zonificación geomecánica y de amenaza por movimiento en masa en el municipio de Soacha – Cundinamarca, zonificación geomorfológica de la sabana de Bogotá (INGEOMINAS, 2006), imagen del año 2015 y lo evidenciado en campo.

El casco urbano del municipio de Soacha se encuentra en la provincia fisiográfica de la cordillera oriental con alturas que varían desde 2535 a 3120 m, más exactamente en la vertiente occidental de los cerros de la parte Sur de la Sabana de Bogotá, la cual se caracteriza por la presencia de eventos de tipo compresivo y distensivos, que han originado unidades estructurales, con un relieve montañoso e irregular y que quedan como evidencia del levantamiento de la Cordillera oriental iniciada hace aproximadamente 4 millones de años, y que se preserva al este de la zona de estudio.

Posteriormente, para la Era Cuaternaria los agentes externos modificadores del relieve rebajaron el relieve, disminuyeron la resistividad de la roca mediante procesos erosivos y movimientos en masa, los cuales contribuyeron al actual relieve presente para el casco urbano de Soacha. Durante este proceso se generaron geoformas con génesis denudativas y agradacionales, con depositación lenta y súbita, por la acción libre o conjunta de los agentes de transporte y la gravedad (INGEOMINAS; 2006). La parte plana originada como consecuencia del rebajamiento de las zonas montañosas y depositación en las zonas más bajas como proceso que tienden a nivelar la superficie ocurrió procesos de erosión pluvial y depositación de flujos lacustres, dando el rasgo característico al 85% del área de estudio.

Finalmente, la fuerte interacción del hombre en la naturaleza, especialmente por las actividades mineras y urbanización acelerada han generado un gran impacto sobre el territorio modificando de forma sustancial la morfología del paisaje, dando origen nuevas geoformas. Aunque estás ocupan alrededor de un 10% de la zona de estudio su impacto es tan fuerte que muchas veces se convierten en zonas de amenaza para los residentes.

Como se mencionó en la zona de estudio se presentan geoformas asociadas a procesos morfogenéticos de tipo estructural, denudativos, fluvial y antropogénicos producto de una intensa actividad geológica desde el Cretácico Superior (Campaniano) hasta la actualidad, como resultado se presenta el siguiente mapa morfológico para el casco urbano del Municipio de Soacha.

Como se observa en la Imagen n° 68 se destacan 4 ambientes morfogenéticos distribuidos así: los sectores montañoso con predominio de pendientes altas ubicados hacia el Oriente y algunos cerros asilados al occidente se caracterizan por aflorar principalmente rocas sedimentarias del Cretácico y del Cenozoico, pertenecientes al grupo Guadalupe y a la Formación Guadas respectivamente y conforman sierras homoclinales con tendencia de buzamiento hacia el NE, aunque puede presentar variaciones locales producto de la tectónica regional. Esta gran unidad conforman subunidades como: ladera de contrapendiente de cuesta (Sclp), cuesta estructural suavemente inclinada (Sls), laderas estructurales escarpadas (Sle), laderas de contrapendiente moderada (Slcpm) y laderas de contrapendiente escarpadas mostrando el carácter estructural dada por la diferencia de la competencia de las capas sedimentarias que conforman las geoformas y por su buzamientos; las unidades lomos de presión (Slp), faceta de falla (Sft) y escarpe de línea de falla (Sef) muestran rasgo que evidencian actividad tectónica compresiva local.

Sobre el mismo sector se expone geoformas con morfogénesis denudacional producto de la acción del agua y el viento que ha degradado el terreno montañoso, generando topografías más suaves y con menor relieve relativo. Entre estas geoformas tenemos: cerros remanente (Dcm) evidenciando actividad de exhumación y de procesos de erosión diferencial; lomos anchos (Dla), lomos subhorizontales o suaves (Dls), laderas moderadamente inclinadas (Dlm), laderas muy inclinadas a escapadas (Del), las cuales han desarrollado suelos residuales gruesos que se han visto afectado por procesos erosivos de tipo laminar, surcos y cárcavas, especialmente sobre rocas arcillosas donde hay poco desarrollo de cobertura vegetal como se evidencia al sur del casco urbano del Municipio de Soacha; los depósito coluviales activos e inactivos (Dcoa e Dcoi) y de talud (Dta) corresponde a geoformas producto del material transportado por gravedad pendiente abajo.

Hacia las zonas con topográficas más bajas y con pendientes planas a suavemente inclinadas, se presentan depósitos cuaternarios de ambiente fluvio – lacustre, asociada a la actividad de las antiguas lagunas que ocuparon la Sabana de Bogotá y de la actual actividad del Río Soacha y Bogotá principalmente, dicho depósito se presenta en el centro del casco urbano y es el ambiente que predomina en el área de estudio.

Los depósitos formados por la sedimentación del antiguo lago que cubrió los terrenos de la Sabana de Bogotá, esta constituidos por arcillas de color gris, amarillo pálido y naranja, con intercalaciones de arcilla orgánica, turba, arcillas arenosas y puntalmente gravas y arenas, su consistencia es blanda y puede presentar un espesor aproximado de 300 metros hacia el centro de la cuenca de sedimentación y va disminuyendo hacia los bordes (Van der Hammen, 1995), conformas las geoformas planicies y deltas lacustrinos (Fpla) y se localizan al sur y centro del casco urbano de Soacha.

Posteriormente estos depósitos fueron modificados por la dinámica de los drenajes principales (Cauce o lecho aluvial activo (Fca)) que actualmente atraviesan el municipio de Soacha, ya que han transportado y depositado material fluvial especialmente en épocas de altas precipitaciones que generan desbordes de dichos cauces sobre su llanura de inundación (Fpi), este material se caracteriza por ser arcillas color gris claro, oscuras y amarillas, con limos, arenas y localmente arcillas orgánicas, de consistencia blanda y con espesores aproximadamente 5 metros. De igual manera, el cauce ha socavado sus propios depósitos generando niveles de terraza bajos (Ftb) como parte de la morfodinámica del sector, dichas subunidades se caracterizan por ser morfologías planas a ligeramente inclinadas, limitas por el escape generado por la acción de la socavación del cauce activo, son de bajas alturas y están ligadamente asociados a los eventos fluviotorrenciales (Fft) recientes que fueron ocupando zonas ensanchadas o con una extensa llanura de inundación de las quebradas que desembocan en el Embalse Terreros. Los escarpes de estas unidades suelen estar acompañadas de procesos de erosión, así como de socavación.

Otros depósitos que han modificado el paisaje son los conos o abanicos de deyección (Fcdy), los cuales han sido arrastrados por el agua desde las parte montañosas y son depositadas cuando se pierde la energía de transporte al disminuir la pendiente, se caracterizan por presentar suelos areno arcillosos, de color rojizo, con espesores que pueden sobrepasar los 10 cm, de guijos gradados e inclinados y capas de arcillas rojizas, desarrollados en áreas donde hay un cambio de pendiente de moderada a suave. Estos conos se observan especialmente en el piedemonte Oriental de la zona en el barrio El Bosque, Sector de Cagua, en la desembocadura de la quebrada Fusunga, en la Ciudadela Colsubsidio donde presentan coalescencia y en predios de la Empresa Minera el Vínculo, en las inmediaciones de la represa Terreros proveniente de la ciudadela Sucre, gran parte de estas unidades presentan intervención antrópica debido a la actividad minera.

Cuerpos de agua artificiales como la represa Terreros han generado una influencia sobre el relieve, ya que presenta depósitos que actualmente están colmatados, el cual está compuesto por arenas finas, limos y arcillas transportados por las corrientes que alimentan el embalse. Estos sedimentos presentan abundante contenido de materia orgánica medianamente compacta y forma la subunidad represa con pantanos (Frp), tiene una longitud aproximada de 690 metros y 240 metros de ancho, fue construida hace 40 años, con el fin de abastecer de agua de riego la hacienda Terreros, pero en la actualidad se encuentra totalmente eutrofizada y contaminada, ya que sirve como receptora de aguas servidas provenientes de los barrios aledaños (INGEOMINAS, 2006) causando erosión generalizada, evidenciado en surcos y cárcavas.

Otro efecto sobre las unidades de planicie lagunares o fluviales antiguas han sido el proceso de disección, dejando amplias llanuras las cuales son inundadas fácilmente por los cuerpos de agua lenticos adyacentes y su poca capacidad de infiltración de agua por la fina granulometría de la cual se componen sus suelos. Adicionalmente se ha visto modificado por la actividad antrópica y son factores que contribuyen a la ocurrencia de inundación como son; los cultivos, la ampliación del casco urbano, la contaminación y la minería del sector. En muchos barrios se presenta la acumulación de basura o escombros cerca a los cauces siendo un factor que contribuye a la ocurrencia del fenómeno y en las zonas montañosas a movimientos en masa ya disminuye el ancho del canal y ocasiona problemas con la evacuación de las aguas lluvias o servidas, generando deficiencias en el sistema de acueducto y alcantarillado. La deforestación disminuye la capacidad de infiltración del suelo y las explotaciones mineras actuales con manejo inadecuado y aquellas que fueron abandonadas y que no tuvieron recuperación paisajista, ni geomorfológica facilita los procesos denudacionales y con ello la erosión, aumentando la carga de sedimentación del cauce activo contribuyendo en la ocurrencia este fenómeno.

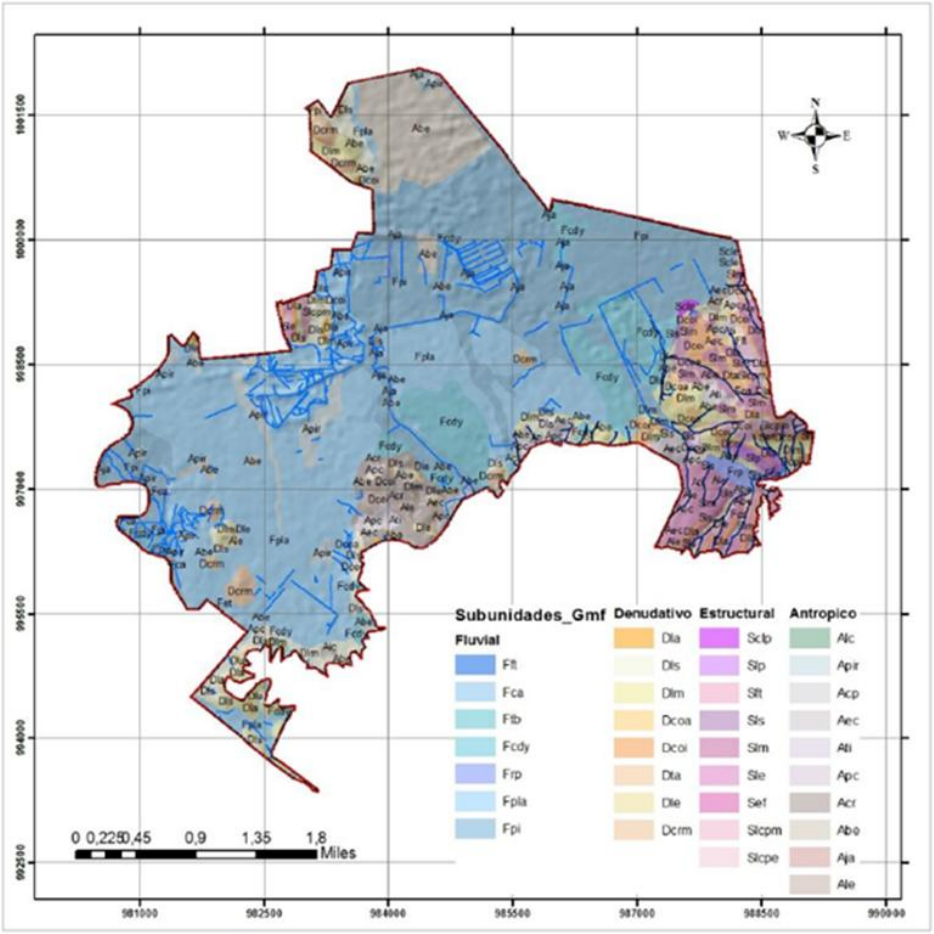


Figura 73. Mapa geomorfológico de la zona urbana y de expansión urbana del municipio de Soacha. Fuente: Tomado y actualizado del estudio de zonificación geotécnica y amenaza por movimientos en masa en el municipio de Soacha Cundinamarca zona urbana y de expansión urbana escala 1:5.000.

El casco urbano de Soacha se caracteriza por tener una fuerte intervención antrópica que ha modificado de manera influyente en el paisaje con botaderos de escombros (Abe), por medio de actividades de explotación minera generando subunidades como planicies o explotaciones de cantera (Acp), escarpe de cantera (Aec), taludes inclinados a escarpados de cantera (Ati), lagunas de canteras (Alc) y cerro remanente de minería (Acr); mediante la construcción de jarillones (Aja) a lo largo de ríos para evitar desbordamientos en épocas de crecientes y encauzar el agua; explanando laderas (Ale) para adecuar el terreno para construcción de vivienda principalmente; creando o modificando represa o lagunas artificiales (Apir) que comúnmente son naturales pero han tenido alta intervención en algunos casos para recuperación de la misma y en otros casos para invasión mediante el relleno del cuerpo de agua, estos cuerpos lénticos son reguladores hídricos principalmente del río Bogotá, Soacha y Tunjuelo, además de ser importantes lugares de paso de aves migratorias (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

2.4.2.3. ANÁLISIS MULTITEMPORAL DEL RÍO SOACHA

Como análisis multitemporal se realizó la identificación del comportamiento natural de un tramo del Río Soacha a través de una revisión de la información disponible del área de estudio, que buscó identificar cambios en el trayecto del rio. El área de interés se encontró cerca al barrio el Carmen ubicado al noreste del municipio tal como se presenta en la Imagen n° 69.

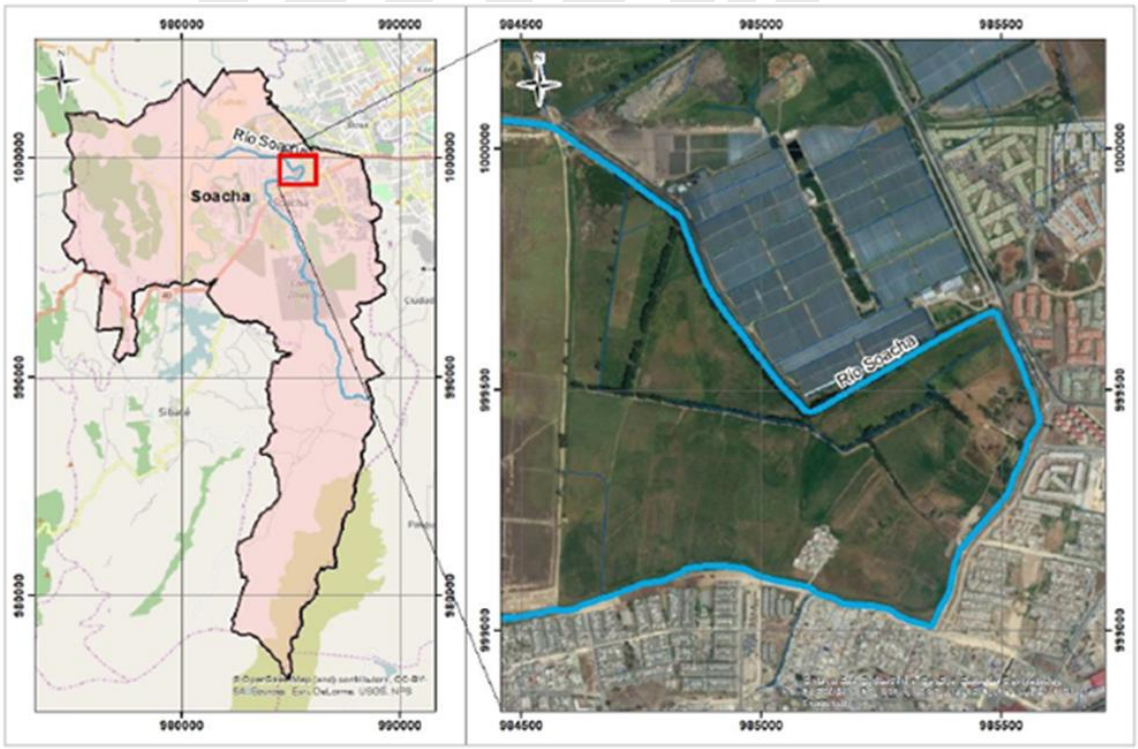


Figura 74. Localización de zonas con meandros de aproximadamente 90° en el Rio Soacha. Fuente: UNAL

La adquisición de la información se realizó a través del proceso de consulta del software libre S.A.S Planet, caracterizado por permitir la captura de imágenes de diferentes plataformas como Google Maps, Bing Maps, Digital Globe, Yahoo Maps, OpenStreetMaps, eAtlas, ESRI entre otros; programas informáticos como Google Earth y a través de la información disponible en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Como resultado se recolectó una fotografía área del año de 1956 y 6 imágenes de satélite de los años 2006, 2010, 2014, y de los meses de enero y diciembre del 2016 (ver imagen 75).

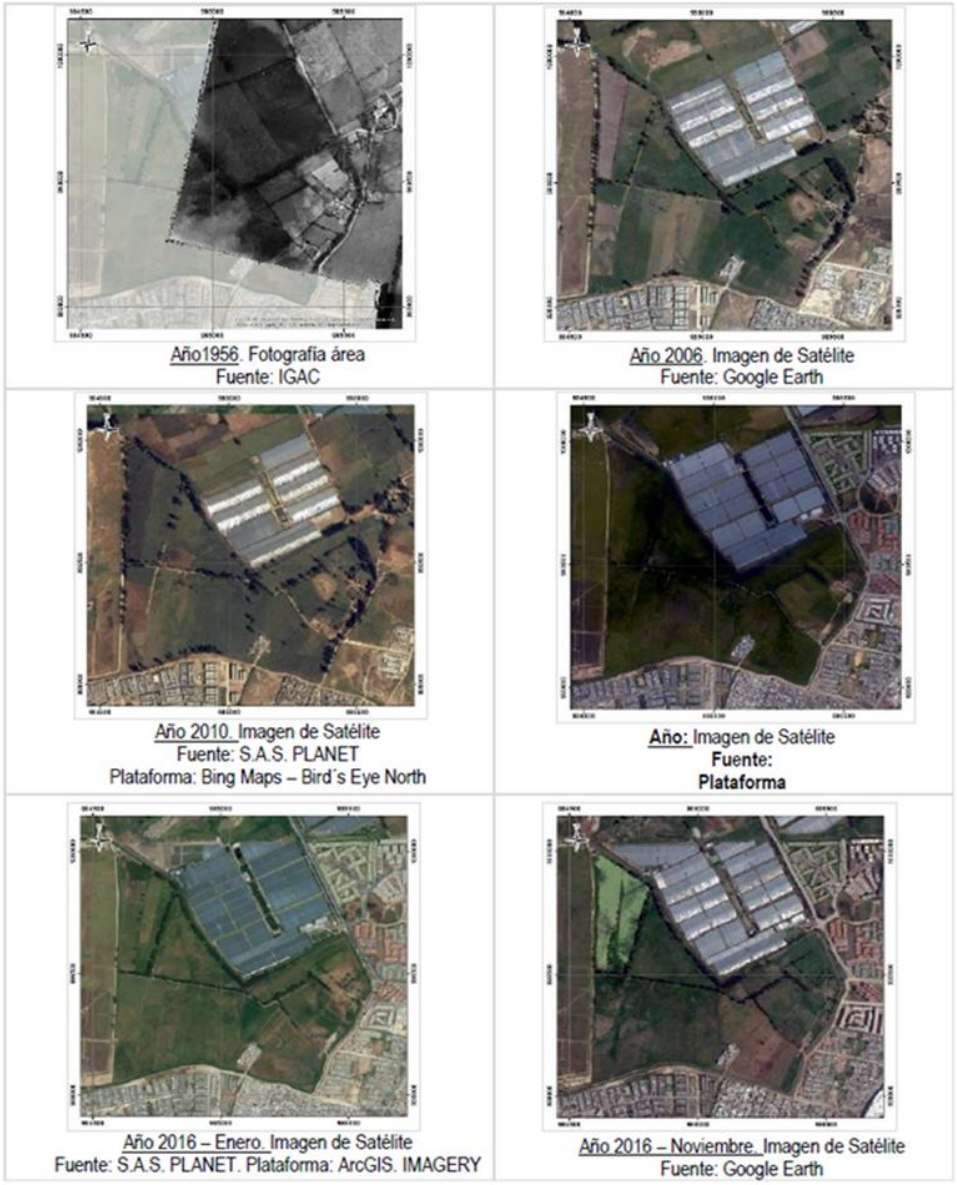


Figura 75. Galería de imágenes satelitales y fotografías aéreas.
Fuente: UNAL

De la recolección de esta información se permite concluir que desde el año de 1956 el cauce presenta la misma configuración que la actual, la cual se encuentra asociado a la vegetación riparia propia de ecosistemas fluviales, en donde su estructura y abundancia depende del régimen del caudal que circula por él.

El cauce del Río Soacha se encuentra ubicado sobre depósitos cuaternario de aluviones recientes (Qal) (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), el cual concuerda con lo observado en las imágenes tomadas en campo (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** A y B); en ellas se logra identificar la presencia material no consolidados de tamaño arena, el cual está siendo diseccionado por el cuerpo de agua, se evidencia procesos leves de socavación lateral. Según la litología, el patrón de drenaje característico de estos depósitos cuaternarios de pendiente plana, son cauces meandrico o meandriformes, por tal razón se puede inferir que el drenaje en esta zona fue canalizado ya que presenta un patrón rectangular.

Además, según los registros históricos, el municipio de Soacha se caracterizó por la presencia de extensas áreas con vocación agropecuaria y silvopastoril relacionada a la baja densidad poblacional del municipio; según cifras del censo de 1973 el municipio de Soacha contaba con apenas 28.000 habitantes. Dado ahora su uso, cobertura y su actual población se confirma que el río fue desviado de su cauce natural, sin embargo, la temporalidad de dicha acción solo se puede inferir que fue realizada antes de 1956, su canalización tuvo como objetivo el de transportar agua a los diferentes predios de la zona para suplir las necesidades básicas de reses y cultivos, sin que su trayecto atravesará predios privados.

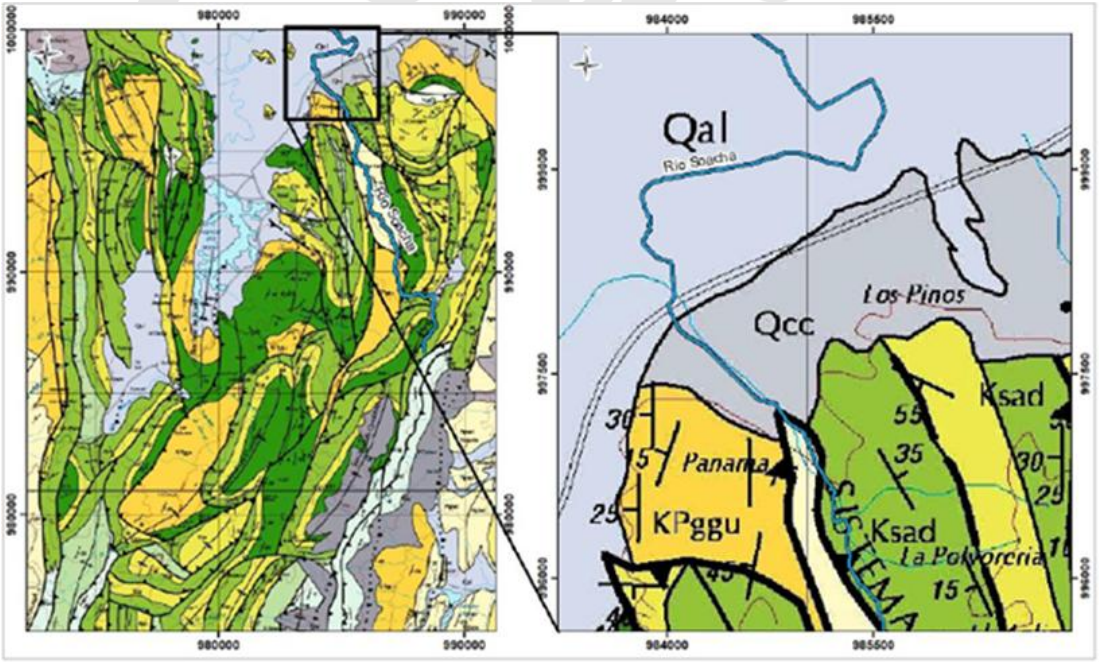


Figura 76. Localización del Rio Soacha sobre la plancha geológica 246 Fusagasugá. Fuente: INGEOMINAS

Figura 77. Fotografías de campo Rio Soacha. (a) Fotografía panorámica del Río Soacha cerca al barrio El Carmen (b) Estado del canal y comportamiento brusco con meandros de aproximadamente 90°.

Fuente: UNAL

A la fecha no se cuenta con información disponible que permita confirmar la ejecución de la obra sobre el Río Soacha, sin embargo, el análisis es realizado a partir de la información general recolectada y observada a través de las fotografías área e imágenes de satélite que permiten desarrollar procesos básicos de interpretación.

2.4.3. DESCRIPCIÓN CLIMATOLÓGICA E HIDROLÓGICA DEL MUNICIPIO DE SOACHA

La evaluación hidrológica es determinante en el estudio de amenaza por desbordamiento natural dentro del cual se encuentran las variables climatológicas como el clima (temperatura, humedad relativa, brillo solar y evaporación total mensual), precipitación y caudales, que permitirán modelar escenarios a diferentes periodos de retorno, además de establecer las condiciones de vulnerabilidad y riesgo del municipio de Soacha.

2.4.3.1. CARACTERIZACIÓN CLIMATOLÓGICA

La temperatura es un parámetro importante a considerar para el entendimiento y manejo de los ecosistemas presentes en el área de estudio. A continuación, se presenta el análisis de la temperatura media, máxima y mínima de las dos estaciones disponibles en el periodo 1995 a 2015. En las Tabla n° 25, Tabla n° 26 y Tabla n° 27 se presentan los valores de temperaturas mensuales medias, máximas y mínimas promedio multianual reportados por las estaciones analizadas y la variación temporal interanual se presenta en la Imagen n° 73 e Imagen n° 74.

abla 25. Temperatura media promedio multianual [°C].

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
SAN JORGE GJA (2120572)	11.8	11.9	12.0	12.1	12.1	11.8	11.5	11.6	11.8	11.7	11.8	11.8	11.8
DONA JUANA (2120630)	12.4	12.5	12.7	12.7	12.4	12.9	11.5	11.7	12.2	12.4	12.6	12.4	12.4

Fuente: UNAL

Tabla 26. Temperatura máxima promedio multianual [°C].

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
SAN JORGE GJA (2120572)	18.7	19.4	19.0	18.7	18.4	17.8	17.5	18.1	18.2	18.1	18.3	18.4	19.4
DONA JUANA (2120630)	20.7	21.0	26.6	20.8	19.5	18.6	18.3	18.8	19.8	20.1	20.1	20.5	26.6

Fuente: UNAL

Tabla 27. Temperatura máxima promedio multimultianual [°C].

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
SAN JORGE GJA (2120572)	3.4	3.9	4.8	5.8	5.7	5.2	4.8	5.1	4.7	4.6	5.1	4.5	3.4
DONA JUANA (2120630)	5.0	5.3	6.1	7.1	7.4	7.4	7.1	7.1	6.5	6.2	6.5	5.9	5.0

Fuente: UNAL

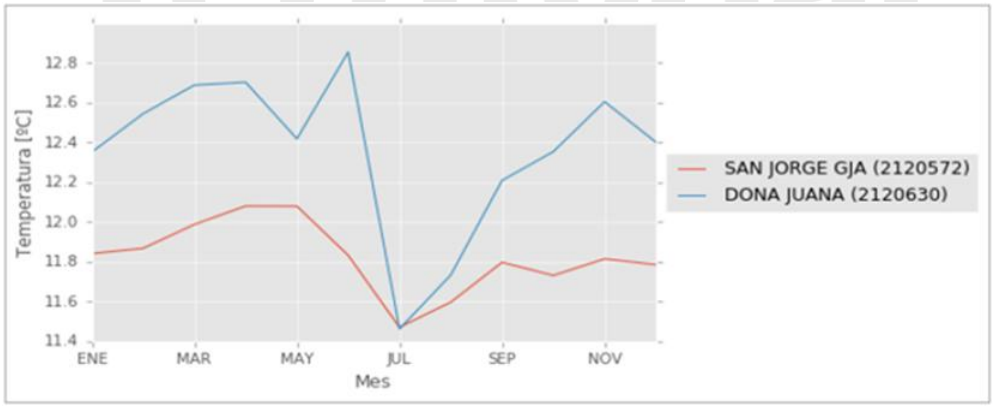


Figura 78. Variación temporal de la temperatura media mensual promedio multianual [°C].

Fuente: UNAL

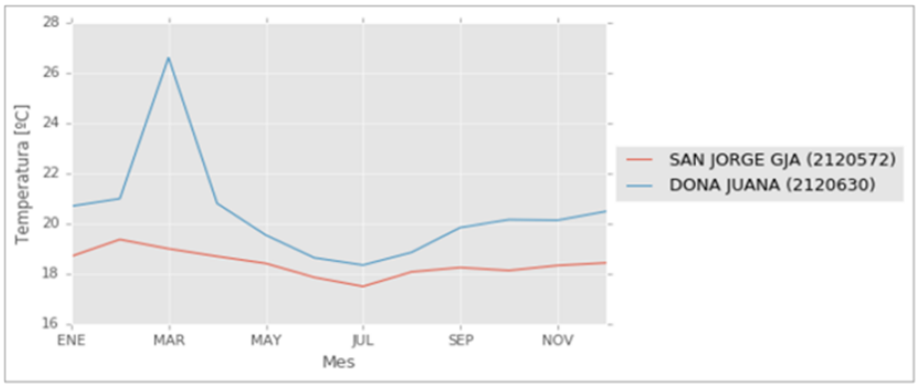


Figura 79. Variación temporal de la temperatura máxima mensual promedio multianual [°C].
Fuente: UNAL

Debido a la posición de Colombia cercana al ecuador geográfico, los días presentan un equinoccio relativamente permanente, es decir, las duraciones de los días son casi iguales a las noches y con iluminación uniforme durante todo el año. Mediante el brillo solar se establece el número de horas hubo brillo solar. Para evaluar este parámetro se utilizó la información de dos (2) estaciones que lo registran. En la 28 se presenta el brillo solar registrado por las estaciones analizadas (Ver imagen 80).

Tabla 28. Brillo Solar total mensual promedio multianual [horas/mes].

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
SAN JORGE GJA (2120572)	156.0	129.1	122.4	105.4	125.2	129.0	146.4	155.3	139.1	117.0	114.0	140.8	1579.7
DONA JUANA (2120630)	199.6	159.0	146.6	121.7	137.1	149.7	142.1	152.2	159.8	141.7	139.8	178.5	1827.7

Fuente: UNAL

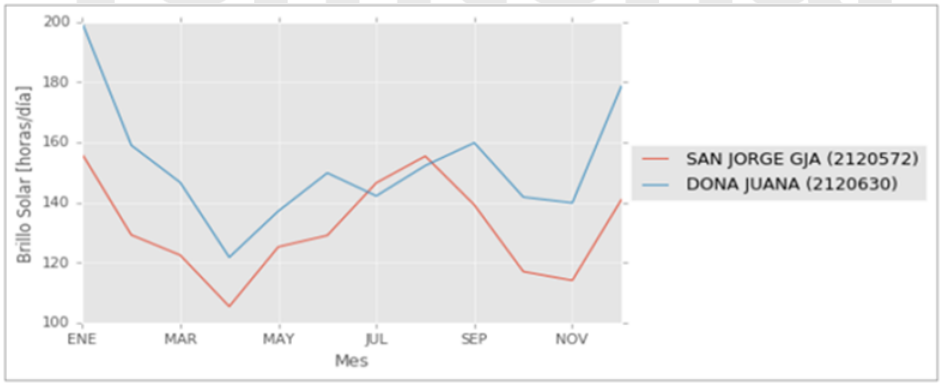


Figura 80. Variación temporal del brillo solar mensual [horas/día].
Fuente: UNAL

La evaporación es la medida de la cantidad de agua que pasa del estado líquido a gaseoso y pasa a la atmósfera como vapor de agua, representando un indicador natural del balance hídrico. Permite estimar las deficiencias o excesos de humedad en el suelo cuando está a capacidad de campo.

En el área de estudio se contó con dos estaciones cuyos valores medios mensuales se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, la evaporación presenta un régimen de tipo bimodal similar a la temperatura (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) a lo largo del año, observándose los valores más altos en los meses de enero, febrero y marzo. Los valores más bajos se presentan en los meses de octubre a noviembre.

Tabla 29. Evaporación total mensual promedio multianual [mm/mes].

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
SAN JORGE GJA (2120572)	97.8	90.2	92.3	85.0	88.5	93.7	78.5	76.9	86.0	89.0	81.3	85.6	1034.8
DONA JUANA (2120630)	72.0	62.6	66.6	59.6	59.4	59.6	63.8	66.2	60.3	61.1	57.8	64.3	753.3

Fuente: UNAL

La humedad es la cantidad de vapor de agua que contiene una masa de aire, en relación con la máxima humedad absoluta que podría admitir, sin producirse condensación, conservando las mismas condiciones de temperatura y presión atmosférica y posee una relación inversamente proporcional a la temperatura, es decir, a mayor temperatura menor humedad y viceversa.

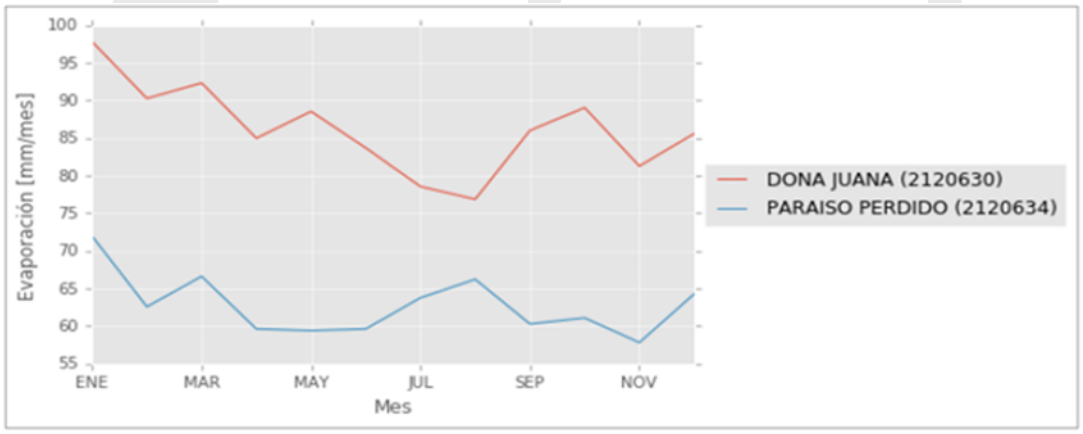


Figura 81. Variación temporal de la evaporación [mm/mes].

Fuente: UNAL

La humedad relativa está asociada a la distribución temporal de la precipitación, así el período entre enero a abril debido a la disminución de las lluvias y a la influencia de los vientos alisios y la posición extrema en el sur del país de la ZCIT (Zona de Convergencia Intertropical), la humedad relativa comienza a disminuir hasta alcanzar su mínimo valor en marzo. Lo cual coincide con los valores máximos de temperatura. En el mes de abril la humedad relativa del aire nuevamente comienza a aumentar; hasta alcanzar su máximo en los meses de abril a octubre, debido al desplazamiento de la ZCIT hasta la zona de estudio. Para el análisis de este parámetro, se analizó los datos de las dos (2) estaciones. Este parámetro tiene un comportamiento bimodal (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** e **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), donde los menores registros se presentan en los meses de bajas precipitaciones correspondientes a los meses de enero, febrero y marzo. Los valores más altos se registran en los meses de altas precipitaciones.

Tabla 30. Humedad relativa media mensual promedio multianual [%].

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
SAN JORGE GJA (2120572)	82.4	82.5	84.0	84.6	84.3	83.8	83.5	83.0	81.9	83.9	84.7	83.5	83.5
DONA JUANA (2120630)	65.8	67.9	70.5	71.9	75.2	75.8	77.9	75.2	71.5	71.6	72.6	71.9	72.3

Fuente: UNAL

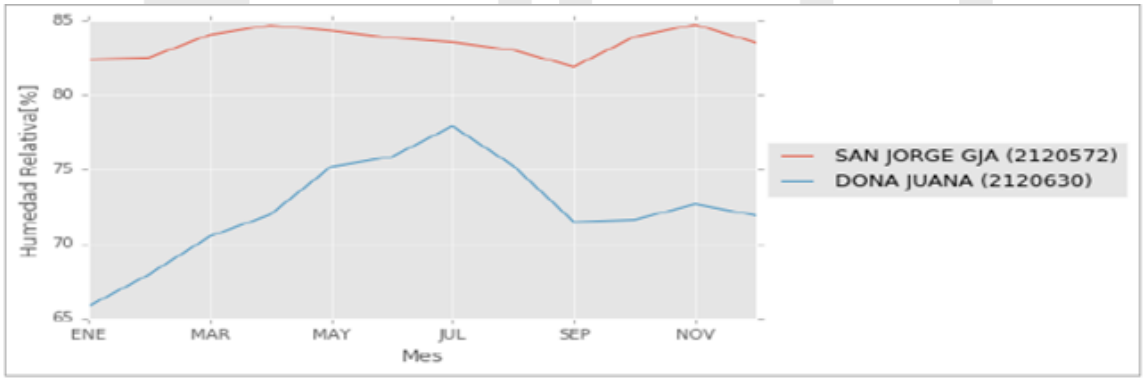


Figura 82. Variación temporal de la humedad relativa [%].

Fuente: UNAL

2.4.3.2. CARACTERIZACIÓN DE PRECIPITACIÓN

Con el análisis preliminar de la información y a partir de los datos crudos, a continuación, se presentan los resultados iniciales de la variación temporal de las variables disponibles tanto de precipitación, temperatura, brillo solar, humedad relativa y caudal de las estaciones con series que pasaron los filtros antes mencionados.

Para el análisis de la información de precipitación se utilizaron un total de 9 estaciones que se encuentran distribuidos en el área del municipio. El análisis se basó en análisis de datos diarios de un periodo de 20 años (1985-2015). El promedio de la precipitación total anual de las estaciones utilizadas es de 743 mm/año. En la Tabla n° 16 se pueden ver los valores medios mensuales multianuales de precipitación y el total anual para cada estación, siendo la estación de guaraní, la que presenta el total anual más alto con 1020 mm/año y la estación Fute la que registra el menor total anual con 602 mm/año.

Tabla 31. Precipitación total media mensual multianual [mm/mes].

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
HATO EL (2120020)	18.6	30.9	50.5	89.5	107.7	90.4	78.9	67.2	60.1	85.2	67.1	31.1	777.2
SAN JORGE GJA (2120172)	28.1	45.9	56.9	87.8	100.6	73.9	60.0	50.7	53.3	105.6	91.9	66.3	820.9
HUERTAS LAS (2120211)	16.5	25.8	49.2	77.1	69.9	47.2	34.0	26.5	41.8	67.5	57.3	39.9	552.7
SAN JORGE GJA (2120572)	25.2	38.1	56.1	94.9	91.6	71.3	55.6	49.7	51.8	97.8	101.4	44.9	778.4
SIBATE APOSTOLICA (2120051)	26.5	37.6	59.9	90.5	73.5	48.5	35.8	33.0	50.3	89.1	86.9	55.4	686.9
GUARANI (2120060)	53.9	61.9	89.0	128.0	105.5	63.4	52.1	52.8	69.6	140.4	113.9	90.0	1020.5
FUTE (2120166)	22.9	34.4	57.5	83.3	67.3	40.7	28.2	33.3	45.9	83.3	63.2	42.3	602.3
DONA JUANA (2120630)	25.5	38.7	64.7	89.4	87.4	60.0	60.1	44.8	36.1	75.3	85.1	45.0	712.1
PARAISO PERDIDO (2120634)	20.4	35.7	62.3	95.5	82.6	71.2	45.1	49.5	54.4	98.7	81.6	44.3	741.2

Fuente: UNAL

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra la variación temporal de la precipitación en las 9 estaciones disponibles y se puede ver un régimen bimodal en esta variable, típico de la región andina, con dos periodos de altas precipitaciones comprendidos entre los meses de abril a junio y de octubre a noviembre. Los periodos de bajas precipitaciones se presentan en los meses de diciembre a febrero y un periodo de bajas precipitaciones entre julio y septiembre.

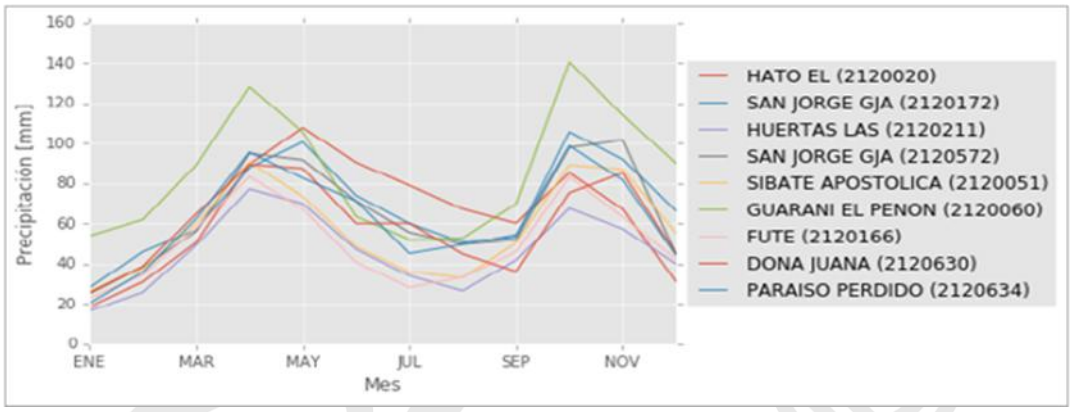


Figura 83. Variación temporal interanual de la precipitación total mensual promedio multianual [mm] (1985-2015).

Fuente: UNAL

Para entender mejor el régimen de lluvias, se preparó una figura box-plot para cada una de las estaciones. A manera de ejemplo, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran los box-plot la Estación El Hato y Las Huertas, estas figuras que permiten ver en forma clara los valores característicos de precipitación para cada mes, como la media, el valor máximo y mínimo, al igual que el cuartil 2 y 3.

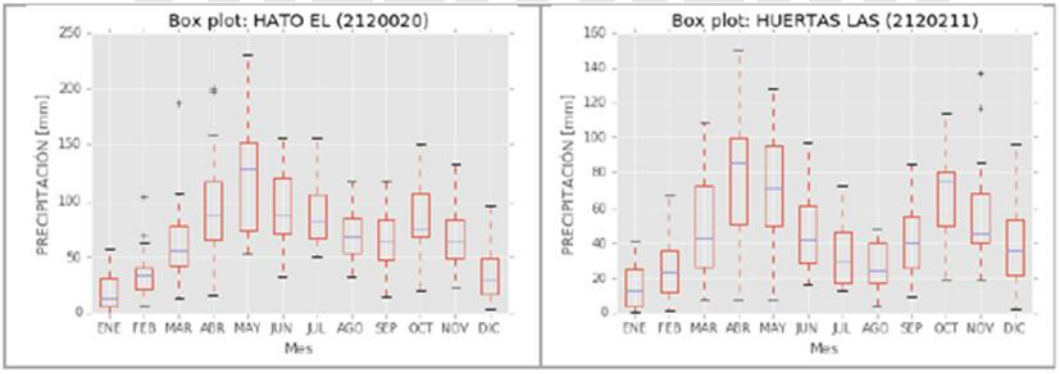


Figura 84. Boxplot de los registros de precipitación anual

Fuente: UNAL

Tomando la información de precipitación diaria de las estaciones disponibles para el periodo 1984 a 2014, se determinó el número de días con lluvia promedio multianual para cada estación. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan el número de días con lluvia promedio a nivel mensual para cada una de las estaciones analizadas y en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra la variación temporal del número de días con lluvia promedio mensual multianual. El número de días con precipitación es proporcional al valor medio mensual de la precipitación, y presentan un régimen de variación monomodal, durante el año, similar al de la precipitación media mensual.

Tabla 32. Número de días con lluvia.

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
HATO EL (2120020)	7	8	12	16	19	19	19	18	16	17	15	10	15
SAN JORGE GJA (2120172)	3	3	4	6	7	7	7	6	5	6	6	4	5
HUERTAS LAS (2120211)	2	2	3	4	4	4	4	3	3	4	4	3	4
SAN JORGE GJA (2120572)	4	5	7	10	11	12	12	11	8	9	9	6	9
SIBATE APOSTOLICA (2120051)	7	9	13	16	17	15	13	13	11	16	15	10	13
GUARANI (2120060)	7	8	11	14	14	11	11	12	12	16	13	9	11
FUTE (2120166)	6	8	10	12	13	10	9	9	10	13	11	8	10
DONA JUANA (2120630)	7	9	13	16	18	17	18	16	12	15	15	10	14
PARAISO PERDIDO (2120634)	6	7	11	15	16	12	14	13	13	15	14	10	12

Fuente: UNAL

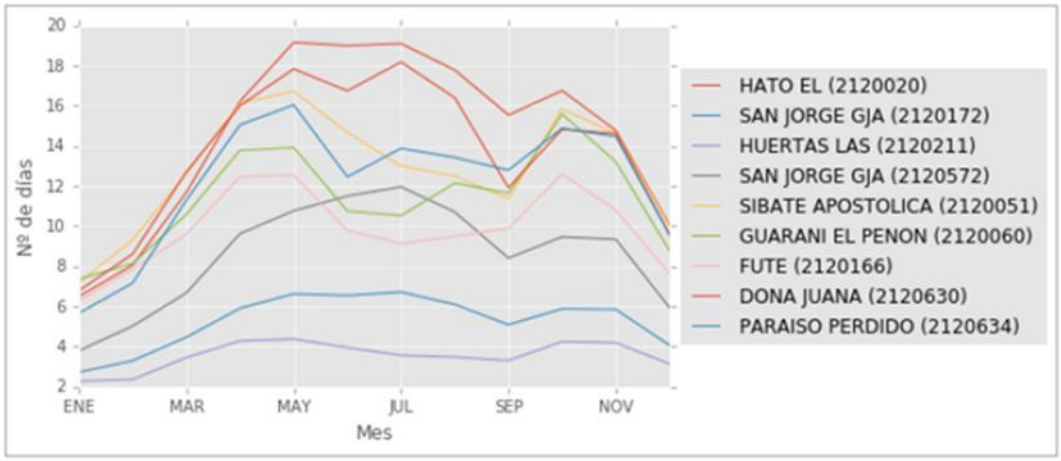


Figura 85. Número de días con lluvia

Fuente: UNAL

La precipitación máxima en 24 horas es útil para comprender los posibles procesos erosivos y la generación de caudales máximos en el área de estudio. La precipitación máxima en 24 horas, los resultados de este parámetro a nivel mensual, que como su nombre lo indica, es la cantidad de lluvia que cae en un solo día para las estaciones disponibles de análisis se presentan en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

Tabla 33. Precipitación Máxima en 24 horas promedio multianual [mm/día].

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
HATO EL (2120020)	7.2	10.5	13.6	18.7	20.4	15.5	14.4	13.5	13.9	17.0	15.1	10.0	14.1
SAN JORGE GJA (2120172)	11.2	17.4	18.1	21.3	25.2	19.0	14.3	12.9	15.9	24.9	22.9	20.4	18.6
HUERTAS LAS (2120211)	6.4	10.2	15.1	18.0	17.6	12.5	10.0	8.4	13.7	15.8	16.4	13.8	13.1
SAN JORGE GJA (2120572)	9.8	14.6	17.2	22.3	23.1	16.2	13.1	12.2	15.2	22.5	22.9	14.0	16.9

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
SIBATE APOSTOLICA (2120051)	12.0	13.0	18.0	21.1	19.1	14.4	9.5	9.8	15.4	18.9	18.9	17.8	15.7
GUARANI (2120060)	19.8	21.3	26.2	30.0	27.3	16.2	14.9	14.0	20.1	33.0	27.4	27.8	23.2
FUTE (2120166)	10.2	13.3	18.2	21.9	18.0	10.5	9.0	9.4	14.4	21.1	18.5	16.8	15.1
DONA JUANA (2120630)	10.0	12.2	18.0	19.7	20.6	14.7	12.1	10.6	10.8	18.7	22.7	13.4	15.3
PARAISO PERDIDO (2120634)	9.8	12.9	18.0	21.8	19.1	16.4	12.4	12.1	13.1	23.1	18.3	13.8	15.9

Fuente: UNAL

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observa la variación temporal de este parámetro, cuyo régimen es bimodal similar al que sigue la precipitación total mensual.

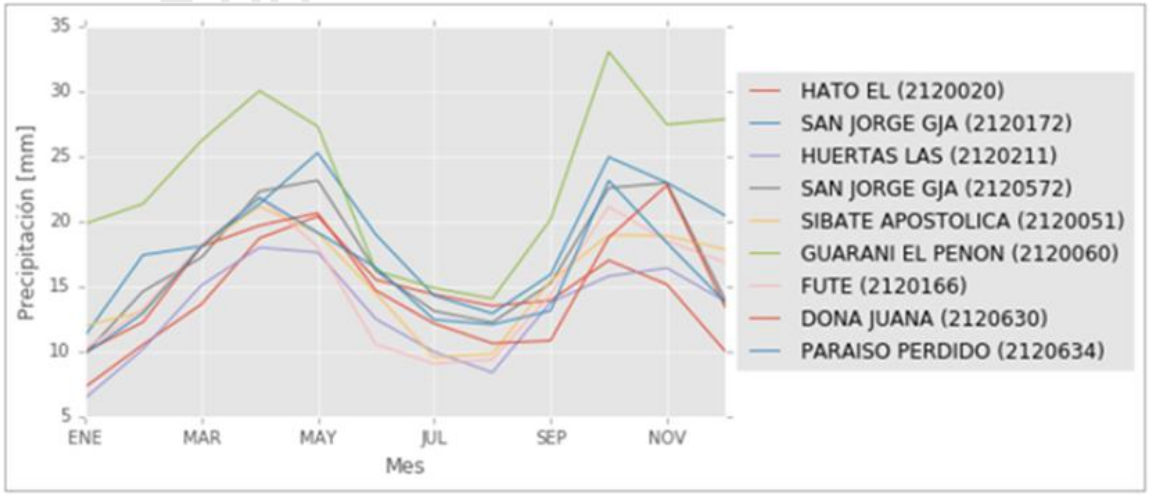


Figura 86. Variación temporal de la precipitación máxima en 24 horas [mm/día].
Fuente: UNAL

Para la construcción de las curvas IDF se tomó como referencia el Estudio y Revisión de las curvas IDF/PADF para la Sabana de Bogotá desarrollado por la empresa consultora INGETEC S.A

en Junio de 2005 y 2015 para la empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá en el contrato N°2-02-26100-607-2003, donde se identificaron los parámetros de las estaciones disponibles para el municipio de Soacha: Apostólica (2120051), El Fute (2120166), Las Huertas (P-92), Casablanca (P-31), Represa Muña (2120561), La Meseta (P-80), San Jorge (2120172), Guaraní (2120060) y Granja (2120572). En cada una de las estaciones mencionadas se establecen los parámetros de ajuste c, e, f y m para los periodos de retorno de 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años. Estas curvas resultan de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o periodo de retorno.

La ecuación utilizada se describe como:

$$I = \frac{c * T^m}{D^e + f}$$

Donde:

- I = Intensidad (mm/h).
- T= Tiempo de retorno (años)
- D= Duración (min)
- c, e, f y m = parámetros de ajuste

Mediante la construcción de las curvas IDF es posible calcular la intensidad de las tormentas en diferentes duraciones y en varios periodos de retorno. Para la evaluación de las precipitaciones requeridas en la modelación hidrológica se define la duración como el tiempo de concentración y se determinan las precipitaciones de influencia para cada subcuenca.

A continuación, en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** a la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** e **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** a **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presentan las curvas IDF de las estaciones disponibles. Se cuentan con los parámetros de ajuste para los diferentes periodos de retorno, lo que permitirán una vez establecidas las precipitaciones de influencia de cada subcuenca, establecer las intensidades máximas de diseño.

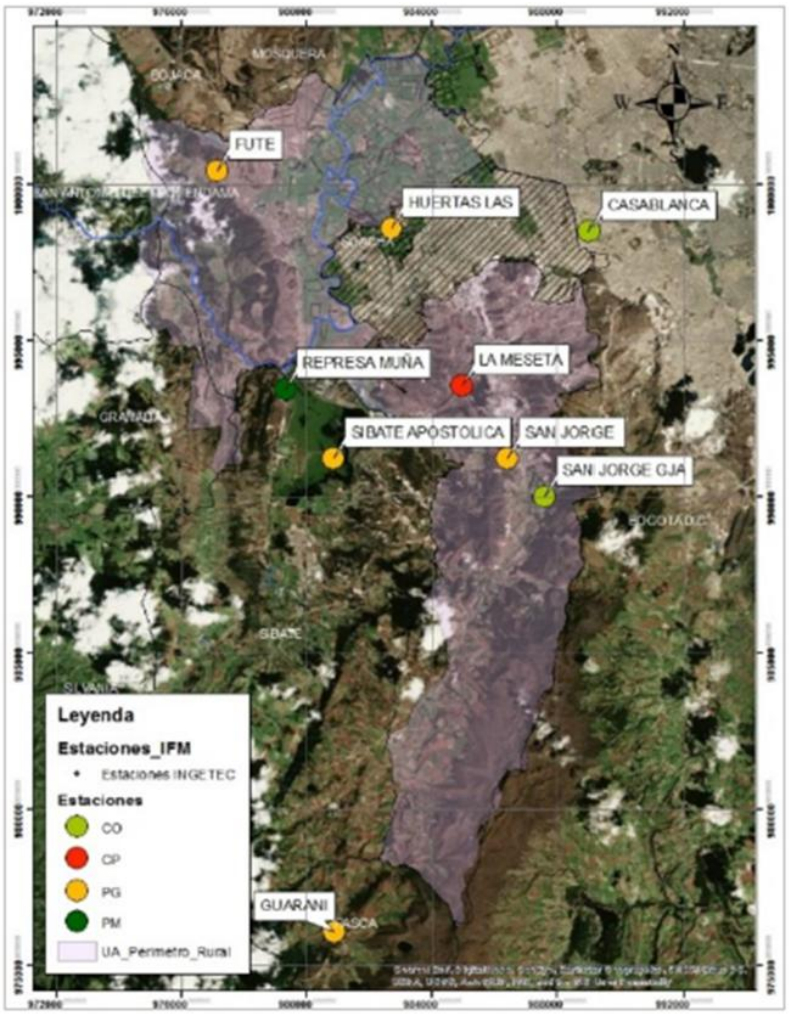


Figura 87. Ubicación de las estaciones de curvas IDF en el municipio de Soacha.

Fuente: (Ingetec, 2005)

Previamente a la selección de la estación que definirá la lluvia de diseño para la modelación en las microcuencas de los principales cauces de estudio, se determinará a partir de un análisis de variación espacial la influencia de las precipitaciones con un mapa de isoyetas sobre el municipio de Soacha. Como previas observaciones a las intensidades máximas de las estaciones disponibles sobre Soacha se tiene la estación de La Granja San Jorge en la parte alta del municipio cerca al nacimiento del Río Soacha, con los mayores valores de lluvia de duración de 15 minutos, registrando valores de 53.4 mm/h para un periodo de retorno de 3 años, en comparación con la estación aguas abajo San Jorge donde se disminuye la intensidad a 43.66 mm/h para 3 años de periodo de retorno respectivamente. La determinación de las intensidades máximas de diseño se fijará según el tiempo de concentración (Tc) de cada punto de aporte de la cuenca.

Tabla 34. Resultados de las curvas IDF [mm/h]: Estación Apostólica.

INTENSIDAD MÁXIMA OBTENIDA A PARTIR DEL ANÁLISIS DE FRECUENCIA																
Duración		15	20	25	30	35	40	45	50	60	75	90	120	180	240	360
P. Retorno	3	58.11	48.51	41.79	36.81	32.95	29.87	27.35	25.24	21.92	18.38	15.87	12.54	8.93	6.99	4.93
	5	64.24	53.62	46.20	40.69	36.43	33.02	30.23	27.91	24.24	20.32	17.54	13.86	9.87	7.73	5.45
	10	73.60	61.43	52.93	43.62	4173	37.83	34.64	31.97	27.77	23.28	20.10	15.88	11.31	8.82	6.25
	25	88.09	73.54	63.36	55.80	49.96	45.29	41.43	38.27	33.24	27.86	24.06	19.00	13.53	10.60	7.48
	50	100.93	84.25	72.59	63.93	57.23	51.88	47.50	43.85	38.08	31.92	27.56	21.77	15.51	12.14	8.57
	100	115.64	96.53	83.17	73.25	65.57	59.44	54.43	50.24	43.63	36.57	31.59	24.95	17.77	13.91	9.82

Fuente: UNAL

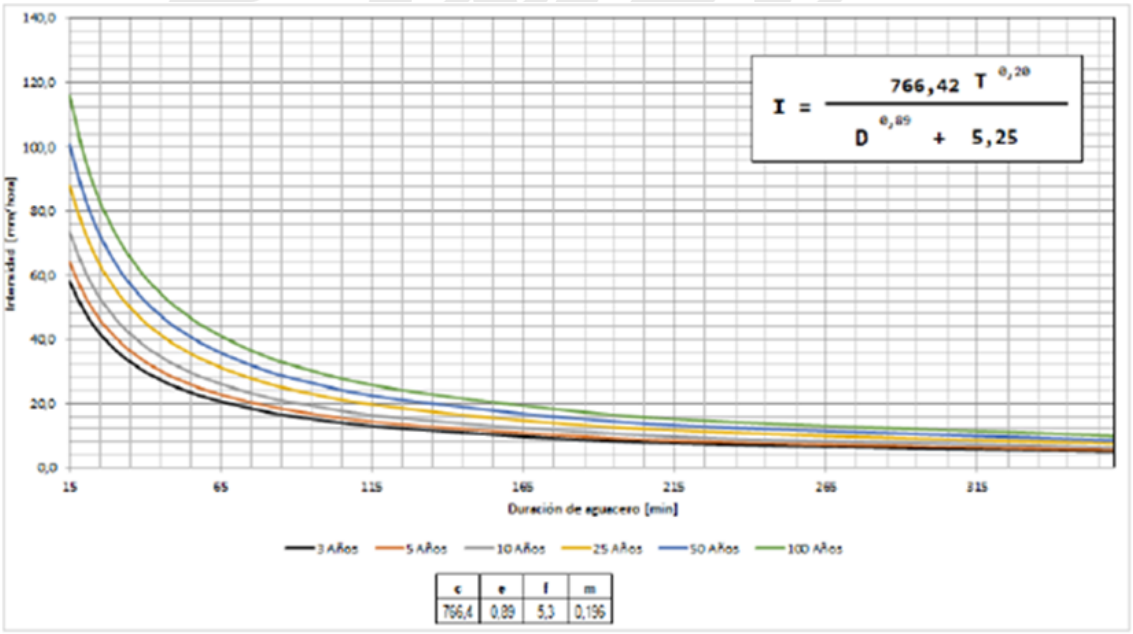


Figura 88. Curvas Intensidad Frecuencia Duración: estación Apostólica

Fuente: UNAL

Tabla 35. Resultados de las curvas IDF [mm/h]: Estación Guaraní.

INTENSIDAD MÁXIMA OBTENIDA A PARTIR DEL ANÁLISIS DE FRECUENCIA																
Duración		15	20	25	30	35	40	45	50	60	75	90	120	180	240	360
P. Retorno	3	66,48	57,32	50,77	45,81	41,89	38,71	36,05	33,8	30,18	26,18	23,26	19,23	14,62	11,99	9,02
	5	73,46	63,34	56,11	50,63	46,3	42,77	39,84	37,35	33,35	28,93	25,71	21,25	16,15	13,24	9,97
	10	84,13	72,54	64,25	57,98	53,02	48,98	45,62	42,78	38,19	33,13	29,44	24,34	18,5	15,17	11,42
	25	100,64	86,77	76,86	69,35	63,42	58,6	54,58	51,17	45,68	39,63	35,21	29,11	22,13	18,14	13,66
	50	115,25	99,37	88,02	79,42	72,63	67,1	62,5	58,6	52,31	45,39	40,33	33,34	25,34	20,78	15,65
	100	131,98	113,8	100,8	90,95	83,18	76,85	71,58	67,11	59,91	51,98	46,18	38,18	29,02	23,8	17,92

Fuente: UNAL

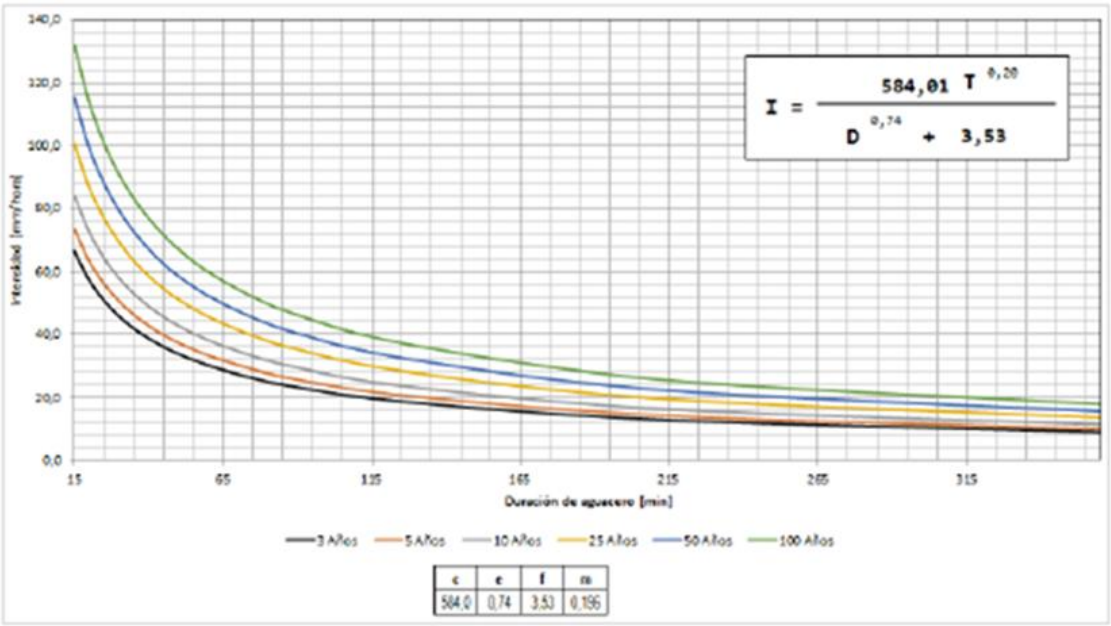


Figura 89. Curvas Intensidad Frecuencia Duración: estación guaraní

Fuente: UNAL

Tabla 36. Resultados de las curvas IDF [mm/h]: Estación El Fute.

INTENSIDAD MÁXIMA OBTENIDA A PARTIR DEL ANÁLISIS DE FRECUENCIA																
Duración		15	20	25	30	35	40	45	50	60	75	90	120	180	240	360
P. Retorno	3	60,84	47,63	39,26	33,46	29,2	25,94	23,35	21,25	18,03	14,74	12,49	9,61	6,63	5,09	3,5
	5	70,02	54,81	45,18	38,51	33,61	29,85	26,87	24,45	20,75	16,96	14,37	11,06	7,63	5,86	4,03
	10	84,72	66,32	54,67	46,6	40,67	36,12	32,51	29,59	25,11	20,52	17,39	13,38	9,23	7,09	4,88
	25	109	85,33	70,33	59,95	52,32	46,47	41,83	38,06	32,31	26,4	22,38	17,21	11,87	9,12	6,28
	50	131,89	103,25	85,1	72,54	63,31	56,23	50,62	46,06	39,09	31,95	27,07	20,83	14,37	11,03	7,59
	100	159,59	124,93	102,97	87,77	76,6	68,03	61,25	55,73	47,3	38,66	32,76	25,2	17,39	13,35	9,19

Fuente: UNAL

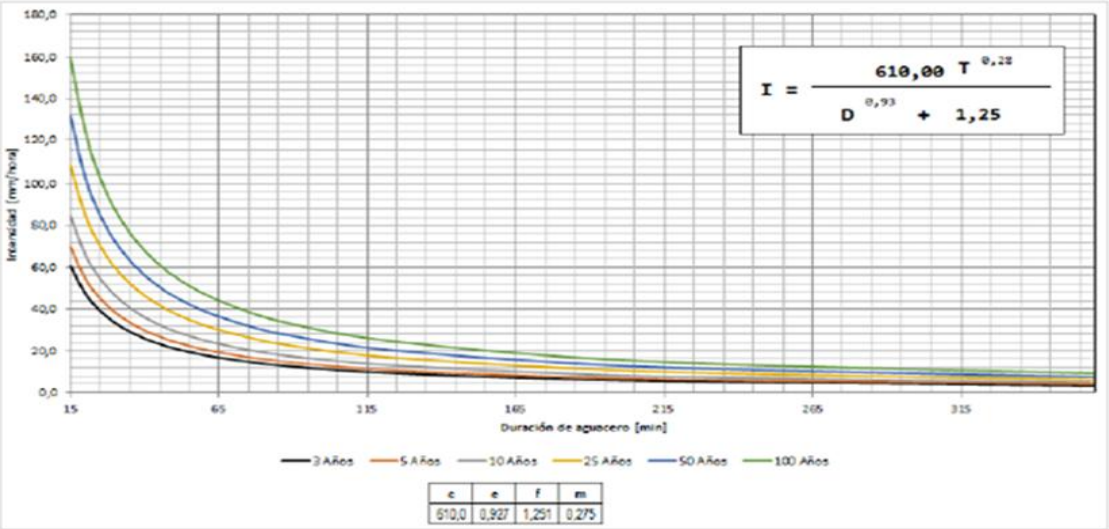


Figura 90. Curvas Intensidad Frecuencia Duración: estación El Fute.
Fuente: UNAL

Tabla 37. Resultados de las curvas IDF [mm/h]: Estación San Jorge

INTENSIDAD MÁXIMA OBTENIDA A PARTIR DEL ANÁLISIS DE FRECUENCIA																
Duración		15	20	25	30	35	40	45	50	60	75	90	120	180	240	360
P. Retorno	3	43,66	38,73	34,8	31,6	28,94	26,7	24,77	23,11	20,38	17,31	15,04	11,92	8,43	6,52	4,49
	5	48,93	43,4	39	35,42	32,44	29,92	27,77	25,9	22,84	19,4	16,86	13,36	9,45	7,31	5,04
	10	57,11	50,66	45,53	41,34	37,86	34,92	32,41	30,23	26,66	22,64	19,68	15,6	11,03	8,53	5,88

INTENSIDAD MÁXIMA OBTENIDA A PARTIR DEL ANÁLISIS DE FRECUENCIA																
Duración		15	20	25	30	35	40	45	50	60	75	90	120	180	240	360
	25	70,06	62,15	55,85	50,72	46,45	42,84	39,76	37,09	32,7	27,78	24,14	19,14	13,53	10,47	7,21
	50	81,78	72,55	65,19	59,2	54,22	50,01	46,41	43,29	38,17	32,42	28,18	22,34	15,8	12,22	8,42
	100	95,45	84,68	76,1	69,1	63,28	58,37	54,17	50,53	44,55	37,84	32,89	26,07	18,44	14,27	9,82

Fuente: UNAL

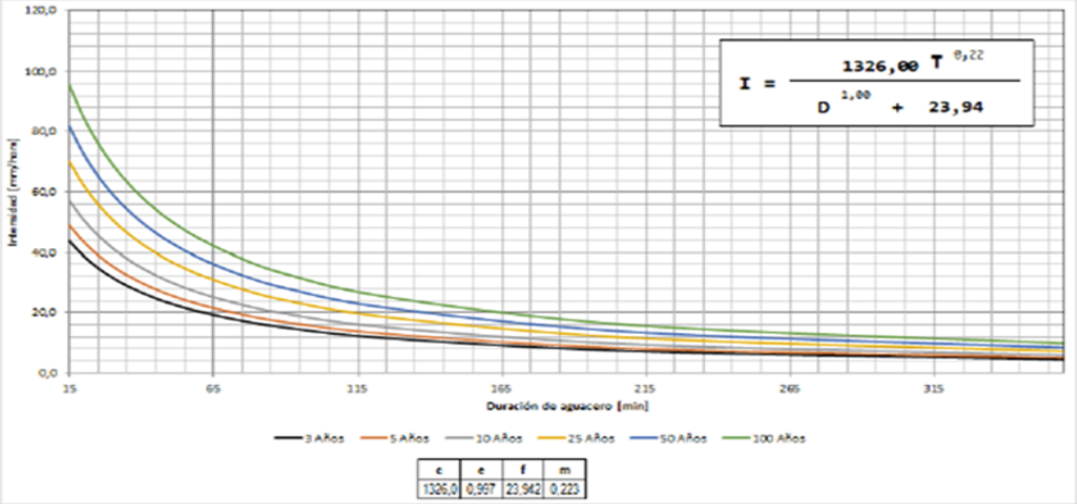


Figura 91. Curvas Intensidad Frecuencia Duración: estación San Jorge.
Fuente: UNAL

Tabla 38. Resultados de las curvas IDF [mm/h]: Estación Represa Muña

INTENSIDAD MÁXIMA OBTENIDA A PARTIR DEL ANÁLISIS DE FRECUENCIA																
Duración		15	20	25	30	35	40	45	50	60	75	90	120	180	240	360
P. Retorno	3	38,03	33,85	30,51	27,78	25,5	23,57	21,92	20,48	18,11	15,44	13,46	10,72	7,63	5,93	4,11
	5	41,53	36,97	33,32	30,34	27,85	25,74	23,94	22,37	19,78	16,86	14,7	11,71	8,34	6,48	4,49
	10	46,8	41,66	37,55	34,19	31,38	29,01	26,97	25,2	22,29	19	16,57	13,2	9,39	7,3	5,06
	25	54,8	48,78	43,97	40,03	36,75	33,97	31,58	29,51	26,1	22,25	19,4	15,45	11	8,55	5,92
	50	61,75	54,97	49,55	45,11	41,41	38,28	35,59	33,26	29,41	25,08	21,86	17,41	12,4	9,63	6,67
	100	69,59	61,94	55,83	50,83	46,66	43,13	40,1	37,48	33,14	28,26	24,64	19,62	13,97	10,85	7,52

Fuente: UNAL

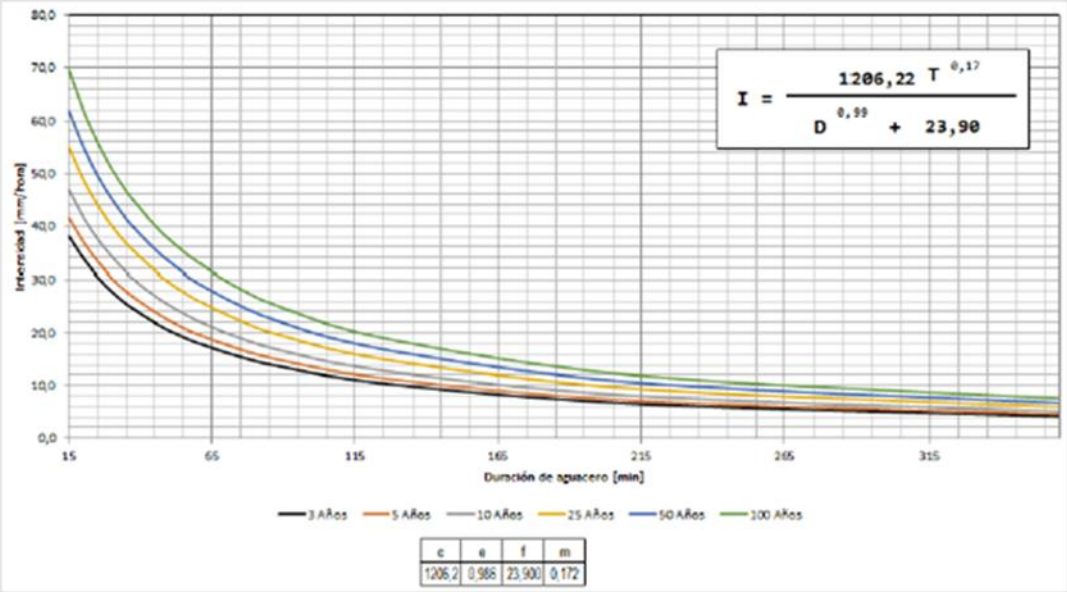


Figura 92. Curvas Intensidad Frecuencia Duración: estación Represa Muña.

Fuente: UNAL

Tabla 39. Resultados de las curvas IDF [mm/h]: Estación Granja San Jorge.

INTENSIDAD MÁXIMA OBTENIDA A PARTIR DEL ANÁLISIS DE FRECUENCIA																
Duración		15	20	25	30	35	40	45	50	60	75	90	120	180	240	360
P. Retorno	3	53,4	45,87	40,18	35,74	32,17	29,25	26,81	24,74	21,43	17,85	15,28	11,86	8,18	6,24	4,22
	5	58,05	49,86	43,68	38,85	34,97	31,79	29,14	26,9	23,3	19,4	16,61	12,89	8,89	6,78	4,59
	10	65,01	55,83	48,91	43,5	39,16	35,61	32,64	30,12	26,09	21,72	18,6	14,44	9,96	7,59	5,14
	25	75,5	64,84	56,8	50,52	45,48	41,35	37,9	34,98	30,3	25,23	21,6	16,77	11,57	8,82	5,97
	50	84,55	72,61	63,61	56,58	50,93	46,31	42,45	39,17	33,93	28,25	24,19	18,78	12,95	9,88	6,69
	100	94,68	81,32	71,23	63,36	57,04	51,86	47,53	43,87	38	31,64	27,09	21,03	14,51	11,06	7,49

Fuente: UNAL

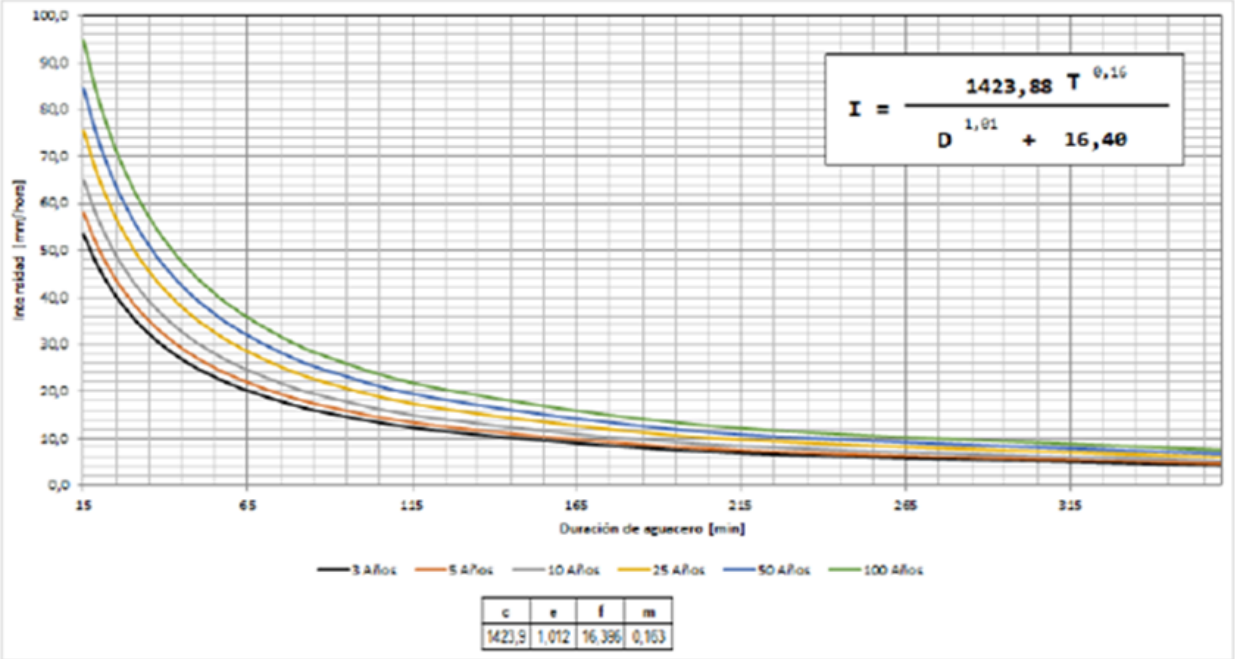


Figura 93. Curvas Intensidad Frecuencia Duración: estación Granja San Jorge
Fuente: UNAL

Tabla 40. Resultados de las curvas IDF [mm/h]: Estación Casablanca.

INTENSIDAD MÁXIMA OBTENIDA A PARTIR DEL ANÁLISIS DE FRECUENCIA															
Duración		15	20	25	30	35	40	45	50	60	75	90	120	180	240	360
P. Retorno	3	51,83	45,07	39,94	35,89	32,62	29,92	27,64	25,7	22,55	19,08	16,56	13,14	9,35	7,29	5,09
	5	56,73	49,34	43,72	39,29	35,71	32,75	30,25	28,13	24,68	20,89	18,13	14,39	10,24	7,98	5,57
	10	64,13	55,77	49,42	44,42	40,37	37,02	34,2	31,8	27,9	23,61	20,5	16,26	11,57	9,02	6,29
	25	75,42	65,59	58,12	52,23	47,47	43,53	40,22	37,39	32,81	27,77	24,11	19,12	13,61	10,61	7,4
	50	85,26	74,15	65,7	59,05	53,67	49,22	45,47	42,27	37,1	31,39	27,25	21,62	15,38	11,99	8,37
	100	96,39	83,82	74,28	66,76	60,67	55,64	51,4	47,79	41,94	35,49	30,81	24,44	17,39	13,55	9,46

Fuente: UNAL

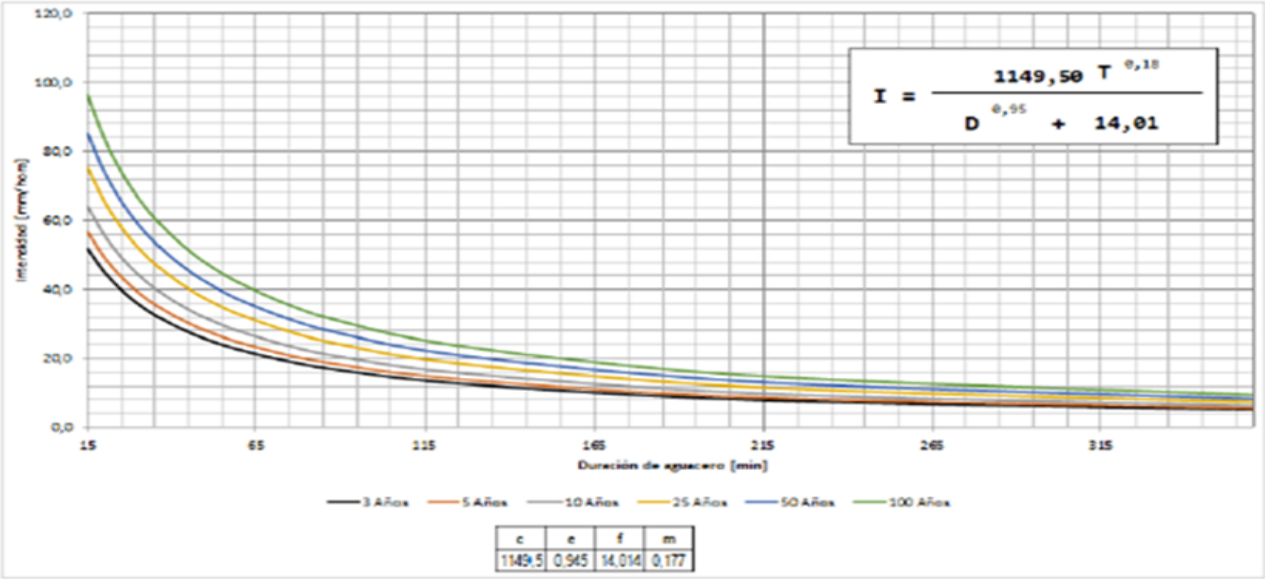


Figura 94. Curvas Intensidad Frecuencia Duración: estación Casablanca. Fuente: UNAL

Tabla 41. Resultados de las curvas IDF [mm/h]: Estación La Meseta.

INTENSIDAD MÁXIMA OBTENIDA A PARTIR DEL ANÁLISIS DE FRECUENCIA															
Duración		15	20	25	30	35	40	45	50	60	75	90	120	180	240	360
P. Retorno	3	58,55	54,93	51,43	48,14	45,07	42,23	39,62	37,22	33	27,9	23,91	18,23	11,82	8,46	5,13
	5	67,21	63,05	59,04	55,26	51,73	48,48	45,48	42,72	37,88	32,02	27,45	20,92	13,57	9,71	5,89
	10	81,04	76,02	71,19	66,63	62,38	58,45	54,84	51,52	45,68	38,61	33,1	25,23	16,36	11,71	7,1
	25	103,79	97,36	91,17	85,33	79,89	74,86	70,23	65,98	58,5	49,45	42,39	32,31	20,96	14,99	9,1
	50	125,15	117,4	109,94	102,9	96,33	90,27	84,68	79,56	70,54	59,63	51,11	38,96	25,27	18,08	10,97
	100	150,9	141,56	132,56	124,07	116,16	108,84	102,11	95,93	85,06	71,9	61,63	46,97	30,47	21,8	13,23

Fuente: UNAL

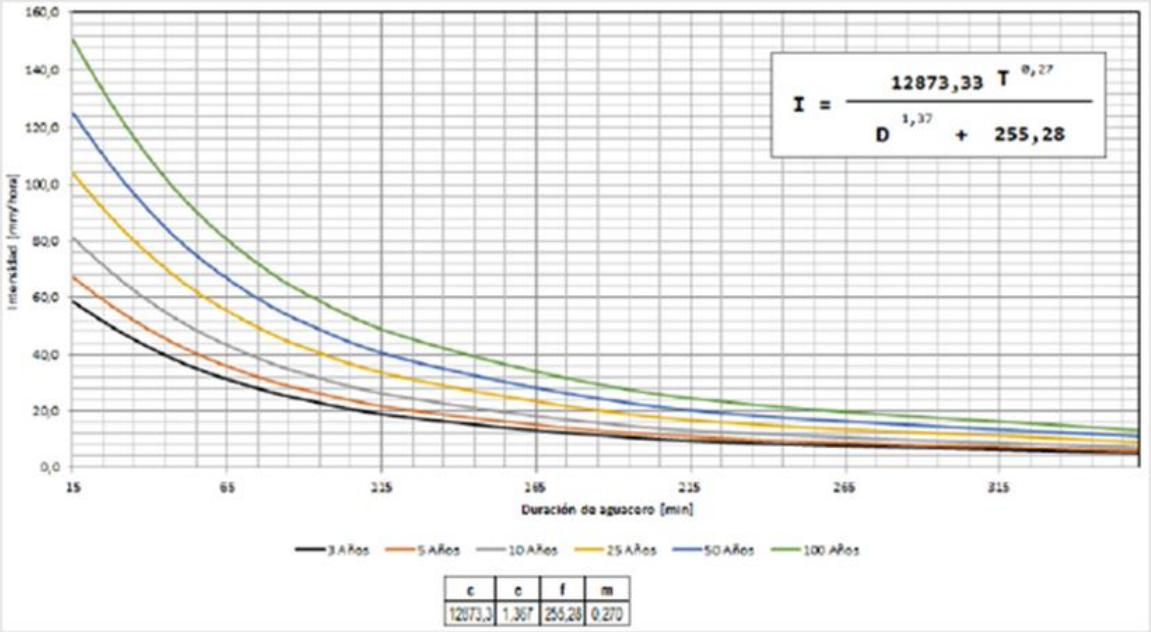


Figura 95. Curvas Intensidad Frecuencia Duración: estación La Meseta.

Fuente: UNAL

Tabla 42. Resultados de las curvas IDF [mm/h]: Estación La Meseta.

INTENSIDAD MÁXIMA OBTENIDA A PARTIR DEL ANÁLISIS DE FRECUENCIA																
Duración		15	20	25	30	35	40	45	50	60	75	90	120	180	240	360
P. Retorno	3	42,87	36,84	32,32	28,8	25,98	23,636	21,73	20,1	17,47	14,62	12,58	9,84	6,87	5,28	3,62
	5	47,78	41,06	36,02	32,09	28,95	26,37	24,22	22,4	19,47	16,3	14,02	10,96	7,65	5,89	4,04
	10	55,34	47,56	41,72	37,17	33,53	30,55	28,05	25,94	22,56	18,88	16,24	12,7	8,87	6,82	4,68
	25	67,21	57,76	50,67	45,14	40,72	37,1	34,07	31,51	27,39	22,92	19,72	15,42	10,77	8,28	5,68
	50	77,85	66,9	58,69	52,29	47,17	42,97	39,47	36,5	31,73	26,55	22,84	17,87	12,47	9,59	6,58
	100	90,17	77,49	67,98	60,57	54,64	49,77	45,71	42,27	36,76	30,76	26,46	20,7	14,45	11,11	7,62

Fuente: UNAL

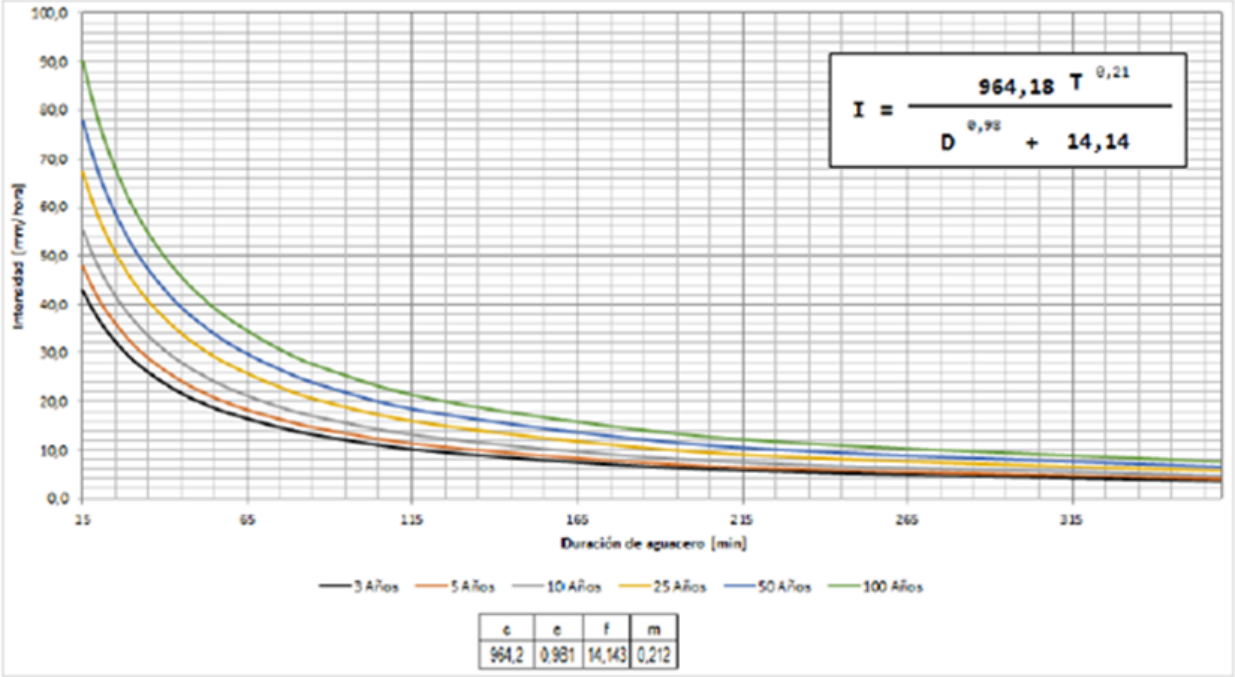


Figura 96. Curvas Intensidad Frecuencia Duración: estación Las Huertas.

Fuente: UNAL

2.4.3.3. CAUDALES Y CRECIENTES

De igual forma se presentan los caudales medios mensuales multianuales del Río Soacha registrado en la estación San Jorge Granja. En la Tabla n° 28 se presentas los valores promedios mensuales de caudales en el Río Soacha y en la Imagen n° 92 se puede apreciar la variación temporal de los mismos.

Tabla 43. Caudal medio promedio multianual [m3/s].

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
SAN JORGE GJA (2120755)	1.0	0.0	4.4	6.5	9.5	6.5	0.1	0.1	0.0	3.0	12.7	0.1	3.7

Fuente: UNAL

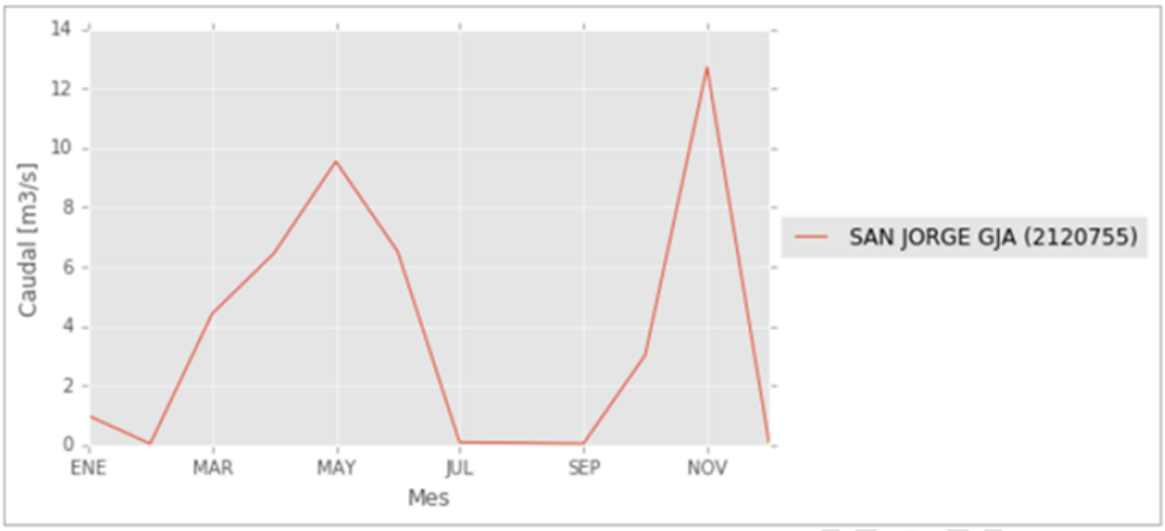


Figura 97. Variación temporal de los caudales medios mensuales multianuales Rio Soacha.

Fuente: UNAL

2.4.4. RESULTADOS ESTUDIO HIDROLÓGICO DEL MUNICIPIO DE SOACHA

Las inundaciones son afectaciones climáticas que pueden generar desastres que podrían ocurrir con una frecuencia alta o baja en función de la configuración hidráulica del área de drenaje y del área de la cuenca aferente. Podrían tener costos muy altos por las pérdidas que se pueden generar tanto humanas como económicas, por ello se requiere de una predicción muy cercana a la realidad y en tiempo real de la magnitud del desastre. Para la determinación de zonas con riesgo de inundación existen diversas metodologías como estudios con fotografías aéreas, imágenes por satélite o evaluaciones in situ, donde se observa la marca de la anterior avenida y así tomar las precauciones convenientes.

En este acápite se describe la aproximación conceptual a los ejercicios de modelación que se implementaron para el logro de los objetivos del proyecto. Se emplearon modelos hidrológicos e hidráulicos ampliamente conocidos y documentados en los ejercicios de consultoría.

El presente trabajo consiste en la aplicación del Sistema de Información Geográfica como herramienta de análisis hidráulico y modelamiento espacial para evaluar el impacto de posibles inundaciones en la parte baja de las cuencas del Río Soacha y Quebrada Tibanica. Para ello se integró el software de análisis hidráulico HEC-RAS con herramientas SIG generando como resultado un mapa de inundación para caudales con varios periodos de retorno, donde se puede cuantificar y visualizar la magnitud de la inundación.

2.4.4.1. HIDROGRAFÍA

El municipio de Soacha se encuentra localizado en las unidades hidrográficas del río Bogotá (2120) y río Sumapaz (2119) en el municipio se identificaron 8 corrientes de pequeño tamaño de las cuales las más importantes son el Río Soacha y la Quebrada Tibanica que atraviesan el casco urbano del municipio. En la Imagen n° 66 se muestra las cuencas hidrográficas o áreas aferentes identificadas para cada una de las corrientes.

2.4.4.2. MORFOMETRÍA CUANTITATIVA

En un sistema de drenaje se presenta una compleja interrelación entre sus características físicas y el carácter hidrológico de la misma, con base en este comportamiento, en el análisis hidrológico existen algunas relaciones que permiten ligar con relativa aproximación, los parámetros físicos de una cuenca prácticamente constantes con las características hidrológicas, altamente aleatorias.

El análisis de la respuesta hidrológica de las cuencas o microcuencas del área de estudio en términos de caudales se facilita con la determinación de las características físicas del sistema de drenaje, en este sentido se presentan algunos parámetros morfométricos que se consideran contribuyen en forma eficaz al estudio del escurrimiento. En la Tabla n° 29 se presentan los parámetros evaluados y la metodología utilizada.

Mediante interpretación del mapa base (curvas de nivel y drenajes) a escala 1:25000 para la zona rural del municipio de Soacha y con el apoyo de un modelo digital de elevación construido también para el área del municipio se obtuvieron los límites de la cuenca o microcuencas en la jurisdicción del municipio. La obtención de ciertos parámetros fue realizada en forma totalmente automatizada por medio de herramientas SIG y posteriormente tratados en una hoja de cálculo de Excel.

Tabla 44. Metodología adoptada para el cálculo de los parámetros morfométricos.

PARÁMETRO MORFOMÉTRICO	FORMULA	PARÁMETRO MORFOMÉTRICO	FORMULA
Área de la Cuenca - Área Aferente (A)	A	Pendiente Media del Cauce Principal	$I = \frac{\Delta H}{\Delta L}$
Perímetro de la Cuenca (P)	P	Altura Media de la Cuenca	$\bar{H} = H_1 f_1 + H_2 f_2 + \cdots + H_n f_n$
Longitud del Cauce Principal	Lp	Altura Media del Cauce Principal	$\bar{H}_p = H_1 f_1 + H_2 f_2 + \cdots + H_n f_n$
Orden de la Corriente	U. (Esquema Strahler)	Pendiente Media de la Cuenca	$\bar{I}_c = I_1 f_1 + I_2 f_2 + \cdots + I_n f_n$
Longitud de corrientes	LU Longitud de corriente por orden	Longitud media de corrientes (Lsm)	$Lsm = {L_u}/{N_u}$

PARÁMETRO MORFOMÉTRICO	FORMULA	PARÁMETRO MORFOMÉTRICO	FORMULA
Radio medio de bifurcación (Rbm)	Promedio de relación de todos los órdenes todos los órdenes de	Relación de relieve	$Rh = {}^{H}/_{L}$
Factor de forma (Rf)	$Rf = {}^{A}/_{Lb^2}$	Relación de circularidad (Rc)	$Rc = 4 * \pi * {}^{A}/_{P^2}$
Factor de forma (Rs)	$Rs = {}^{Pu}/_{Pc}$	Intensidad del drenaje	$Di = {}^{Fs}/_{Dd}$
Coeficiente de compacidad	$Cc = {}^{Pc}/_{Pu}$	Densidad de drenaje (Dd)	$Dd = \sum {}^{Lu}/_{A}$
Frecuencia de drenaje (Fs)	$Fs = \sum {}^{Nu}/_{A}$	Textura de drenaje (Rt)	$Rt = \sum {}^{Nu}/_{A}$
Ancho Medio de la Cuenca	$B = {}^{A}/_{L_t}$	Intensidad del Drenaje (Di)	$Di = {}^{Fs}/_{Dd}$
Frecuencia de drenajes	$F_s = {}^{N_U}/_{A}$	Rango jerárquico (Esquema Strahler)	U
		Curva Hipsográfica / Hipsométrica	

Fuente: UNAL

De igual forma, se determinó el índice morfométrico de torrencialidad para cada microcuenca según las **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, el cual se determina como la relación de índices morfométricos como la densidad de drenaje, la pendiente media de la cuenca y el coeficiente de compacidad de la misma, a fin de llegar a un indicador de la vulnerabilidad de la zona a eventos torrenciales ante un evento de precipitación. Se relacionan los parámetros nombrados dado que "en conjunto definen la facilidad para concentrar la escorrentía, la oportunidad de infiltración, la velocidad y capacidad de arrastre de sedimentos, la eficiencia o rapidez de la escorrentía y de los sedimentos para salir de la cuenca." (Rivas M., 2009). El índice morfométrico es uno de los insumos utilizados para el cálculo del Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales dentro de la caracterización de las condiciones de riesgo de las cuencas.

Tabla 45. Clasificación para obtención de Índice morfométrico de torrencialidad.

INDICE MORFOMÉTRICO	ESCALA	ÁREA CUENCA KM2	CATEGORÍAS				
			1	2	3	4	5
Densidad de drenaje (km/km2)	1:10.000	< 15	< 1,50	1,51-2,00	2,01-2,50	2,51-3,00	>3,00

INDICE MORFOMÉTRICO	ESCALA	ÁREA CUENCA KM2	CATEGORÍAS				
			1	2	3	4	5
	1:25.000	16-50	< 1,20	1,21-1,80	1,81-2,00	2,01-2,50	>2,50
	1:100.000	>50	< 1,00	1,01-1,50	1,51-2,00	2,01-1,50	>2,50
	-	-	Baja	Moderada	Moderada alta	Alta	Muy alta
Pendiente de la cuenca (%)	1:10.000	< 15	< 20	21-35	36-50	51-75	>75
	1:100.000	>50	< 15	16-30	30-45	46-65	>65
	-	-	Accidentado	Fuerte	Muy fuerte	Escarpado	Muy escarpado
Coeficiente de compacidad	-		< 1,625	1,375-1,500	1,251-1,375	1,126-1,250	1,000-1,125
			Oval oblonga a rectangular oblonga	Oval redonda a oval oblonga		Casi redonda a oval redonda	

Fuente: UNAL

Tabla 46. Clasificación Índice morfométrico.

Densidad del drenaje		Pendiente media de la cuenca					Coeficiente de compacidad
		1	2	3	4	5	
	1	111	121	131	141	151	1
		112	122	132	142	152	2
		113	123	133	143	153	3
		114	124	134	144	154	4
		115	125	135	145	155	5
	2	211	221	231	241	251	1
		212	222	232	242	252	2
		213	223	233	243	253	3
		214	224	234	244	254	4
		215	225	235	245	255	5
	3	311	321	331	341	351	1
		312	322	332	342	352	2
		313	323	333	343	353	3
		314	324	334	344	354	4

		Pendiente media de la cuenca						
		1	2	3	4	5		
		315	325	335	345	355	5	
	4	411	421	431	441	451	1	
		412	422	432	442	452	2	
		413	423	433	443	453	3	
		414	424	434	444	454	4	
		415	425	435	445	455	5	
	5	511	521	531	541	551	1	
		512	522	532	542	552	2	
		513	523	533	543	553	3	
		514	524	534	544	554	4	
		515	525	535	545	555	5	

Fuente: IDEAM

Tabla 47. Calificación de Índice Morfométrico

Muy Alta	Alta	Media	Baja	Muy Baja
5	4	3	2	1

Fuente: IDEAM

A partir de la cartografía 1:25000 y una imagen LIDAR disponible para el proyecto, se determinaron los principales índices morfométricos con el fin de caracterizar el comportamiento hídrico de las corrientes. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran los índices morfométricos determinados

Tabla 48. Principales índices morfométricos de las microcuencas identificadas.

NOMBRE	CODIFICACI ON	AREA [km2]	PERIMETRO [km]	LON. AXIAL [km]	LONG. CAUCE	ELEV. MED. [msnm]	ELEV. MAX. [msnm]	ELEV. MIN [msnm]	LONG. CORRIENTES [km]	NUM. CORRIENTES	PENDIENTE MEDIA [%]
R. Soacha	1	40.4	41.7	16.8	23.5	2869.1	3617.0	2532.0	122.5	235.0	22.1
Q. Chacua	2	7.5	13.0	4.8	4.7	2786.6	3179.0	2566.0	25.7	53.0	28.1
Q. Encenillo	3	5.8	10.5	3.6	1.8	3605.9	3776.0	3336.0	9.7	11.0	26.2

NOMBRE	CODIFICACIÓN	AREA [km2]	PERIMETRO [km]	LON. AXIAL [km]	LONG. CAUCE	ELEV. MED. [msnm]	ELEV. MAX. [msnm]	ELEV. MIN [msnm]	LONG. CORRIENTES [km]	NUM. CORRIENTES	PENDIENTE MEDIA [%]
Q. Aguas Claras	4	3.2	7.9	3.1	3.0	3535.0	3767.0	3298.0	7.0	9.0	28.3
Q. Las Mirlas	5	18.8	18.1	6.4	5.6	3375.6	3835.0	2988.0	42.5	56.0	23.7
Q. Honda	6	12.6	15.6	5.7	4.4	3225.8	3700.0	2842.0	33.0	45.0	30.5
Q. Grande	7	1.6	5.7	2.2	1.9	3085.6	3301.0	2826.0	4.4	9.0	35.0
Q. Tibanica	8	24.8	33.8	11.5	15.0	2674.7	3186.0	2530.0	49.7	87.0	15.5

Fuente: UNAL

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran los resultados del cálculo de los índices mostrados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, como se puede observar, por la extensión del área aferente, las unidades hidrológicas identificadas se clasifican como microcuencas, con coeficientes de compacidades que van desde 1.2 al 1.9, siendo aquellas que tienen los índices de compacidades más bajos como la Quebradas el Encenillo, Quebrada Aguas Claras, Quebrada Las Mirlas y Quebrada Honda, La Chucua y Grande las que presentarían mayor riesgo de presentar caudales altos después de un evento de lluvia

Tabla 49. Índices morfométricos de las microcuencas identificadas

Coeficiente	R Circularidad	Area_Cl	Kc_Cl	Ancho	Factor de	Índice de	Relación	Kf	Densidad	Longitud de fluio de	Frecuencia	Intensidad	Alejamient	I.	I. Alar Cl	I.	I Masividad	Pen. Cauce principal	Variación altitud [m]	I. Morfométri
1.8	78.6	Micro-cuenca	De Oval oblonga a Rectangular Oblonga	2.4	0.0	0.1	5.3	Muy poco Achatada	3.0	0.2	5.8	1.9	3.7	1.4	Poco Alargada		71.0	46.3	46.3	Alta

Coeficiente	R Circularidad	Area_Cl	Kc_Cl	Ancho	Factor de	Índice de	Relación	Kf	Densidad	Longitud de fluio de	Frecuencia	Intensidad	Alejamient	I.	I. Alar Cl	I.	I Masividad	Pen. Cauce principal	Variación altitud [m]	I. Morfométri
1.3	26.1	Micro-cuenca	De Oval Redonda a Oval Oblonga	1.5	0.1	0.2	1.5	Muy poco Achatada	3.4	0.1	7.1	2.1	1.7	1.0	Poco Alargada		372.8	129.5	129.5	Alta
1.2	22.4	Micro-cuenca	Redonda a Oval redonda	1.6	0.1	0.1	1.1	Muy poco Achatada	1.7	0.3	1.9	1.1	0.8	0.5	Poco Alargada		623.1	239.1	239.1	Baja
1.2	14.3	Micro-cuenca	Redonda a Oval redonda	1.0	0.1	0.3	1.0	Muy poco Achatada	2.2	0.2	2.8	1.3	1.7	1.0	Poco Alargada		1104.5	155.7	155.7	Media
1.2	55.5	Micro-cuenca	Redonda a Oval redonda	2.9	0.1	0.1	2.0	Muy poco Achatada	2.3	0.2	3.0	1.3	1.3	0.9	Poco Alargada		179.7	152.2	152.2	Media
1.2	40.2	Micro-cuenca	Redonda a Oval redonda	2.2	0.1	0.1	1.8	Muy poco Achatada	2.6	0.2	3.6	1.4	1.2	0.8	Poco Alargada		255.4	195.0	195.0	Media
1.3	8.4	Micro-cuenca	De Oval Redonda a Oval Oblonga	0.7	0.2	0.4	0.7	Muy poco Achatada	2.7	0.2	5.6	2.1	1.5	0.9	Poco Alargada		1932.7		249.1	249.1
1.9	53.5	Micro-cuenca	De Oval oblonga a Rectangular Oblonga	2.2	0.0	0.1	3.7	Muy poco Achatada	2.0	0.2	3.5	1.8	3.0	1.3	Poco Alargada		108.0	43.7	43.7	Baja

Fuente: UNAL

Para cada una de las corrientes se determinaron los perfiles longitudinales de las corrientes principales en cada microcuenca y las curvas hipsométricas las cuales se muestran en las **¡Error!**

No se encuentra el origen de la referencia. e **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** respectivamente.

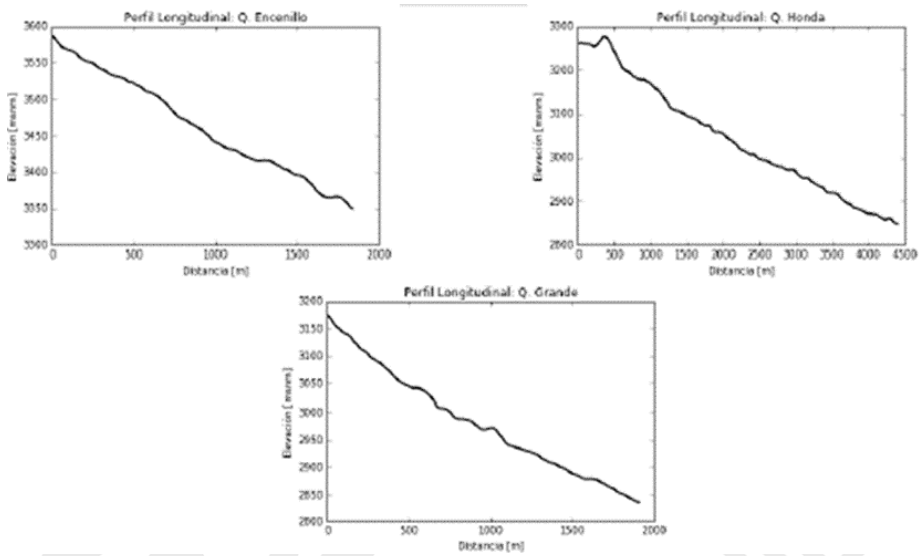


Figura 98. Perfiles longitudinales de algunas microcuencas.

Fuente: UNAL

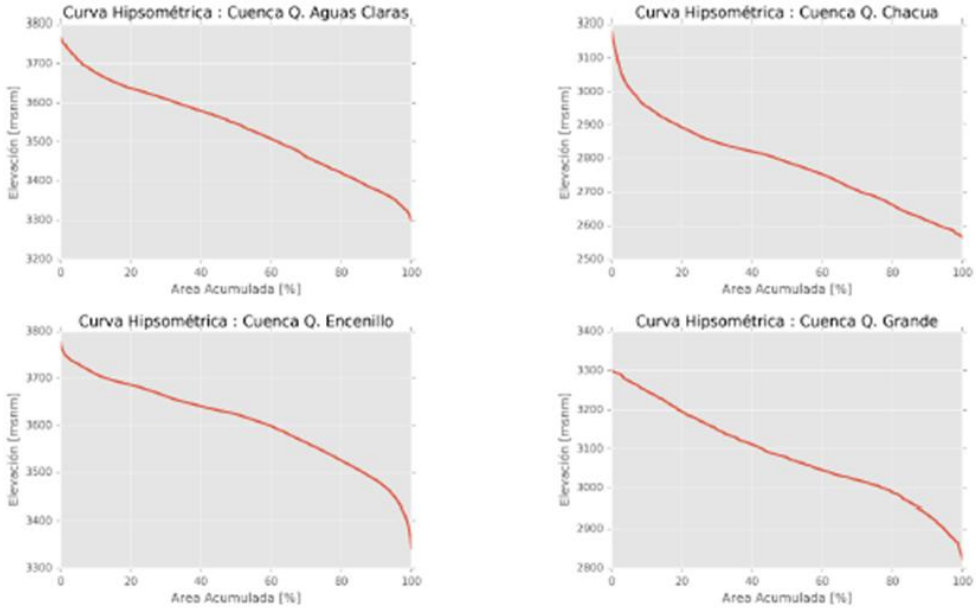


Figura 99. Curvas Hipsométricas microcuencas en el municipio de Soacha
Fuente: UNAL

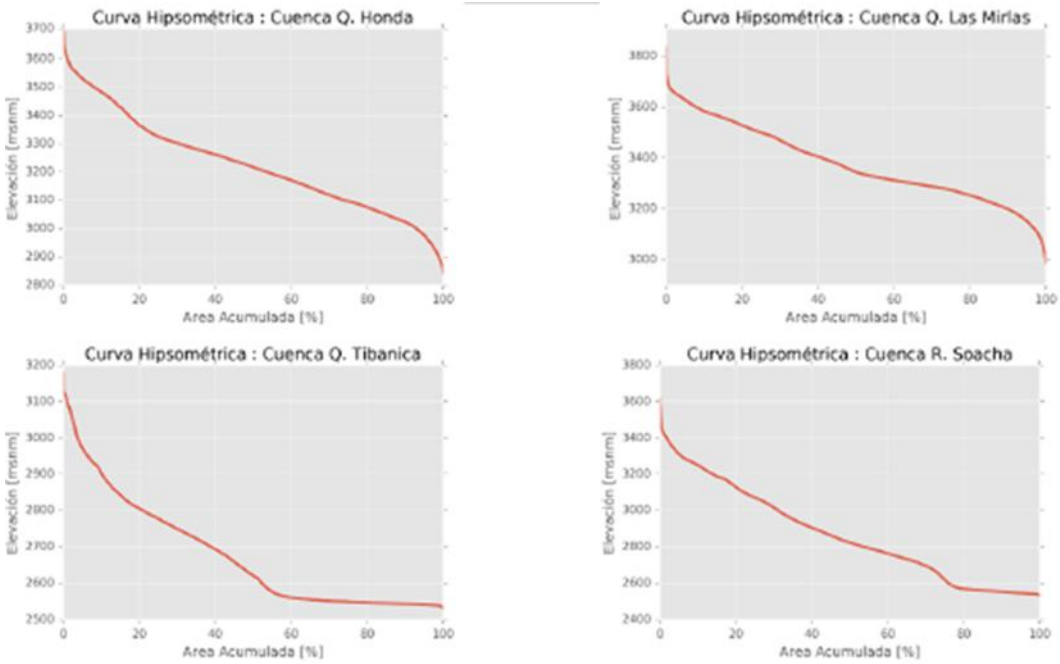


Figura 100. Curvas Hipsométricas microcuencas en el municipio de Soacha

Fuente: UNAL

2.4.4.3. IDENTIFICACIÓN DE LA RED DE MONITOREO HIDROLÓGICO

Con base en la información disponible en el catálogo de información del IDEAM ubicadas en el municipio, se identificaron cuatro (4) estaciones de forma preliminar. En la tabla 50 se muestra las características de cuatro estaciones activas operadas por el IDEAM y en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra su ubicación con referencia al municipio. Ver también la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Tabla 50. Estaciones hidrométricas disponibles

CODIGO	CAT	NOMBRE	CORRIENTE	DEPTO	MUN.	FECHA_INST	ALT.	LAT.	LONG.
2120701	LG	Pte. Bosa	Tunjuelo	Bogotá D.C.	Bogotá	15-Jul-26	2550	4.60	-74.20
2120755	LM	San Jorge gja	Soacha	C/marca	Soacha	15-Apr-60	2952	4.50	-74.18
2120802	LG	La Isla	Bogotá	Bogotá D.C.	Bogotá	15-Oct-65	2537	4.63	-74.22
2120806	LG	Las Huertas	Bogotá	C/marca	Soacha	15-Nov-68	2572	4.58	-74.23

Fuente: UNAL

Con base en la información disponible en el catálogo de información del IDEAM ubicadas en el municipio, se identificaron cuatro (4) estaciones de forma preliminar. En la tabla 50 se muestra las características de cuatro estaciones activas operadas por el IDEAM y en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra su ubicación con referencia al municipio. Ver también la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

Tabla 51. Estaciones hidrométricas disponibles

CODIGO	CAT	NOMBRE	CORRIENTE	DEPTO	MUN.	FECHA_INST	ALT.	LAT.	LONG.
2120701	LG	Pte. Bosa	Tunjuelo	Bogotá D.C.	Bogotá	15-Jul-26	2550	4.60	-74.20
2120755	LM	San Jorge gja	Soacha	C/marca	Soacha	15-Apr-60	2952	4.50	-74.18
2120802	LG	La Isla	Bogotá	Bogotá D.C.	Bogotá	15-Oct-65	2537	4.63	-74.22
2120806	LG	Las Huertas	Bogotá	C/marca	Soacha	15-Nov-68	2572	4.58	-74.23

Fuente: UNAL

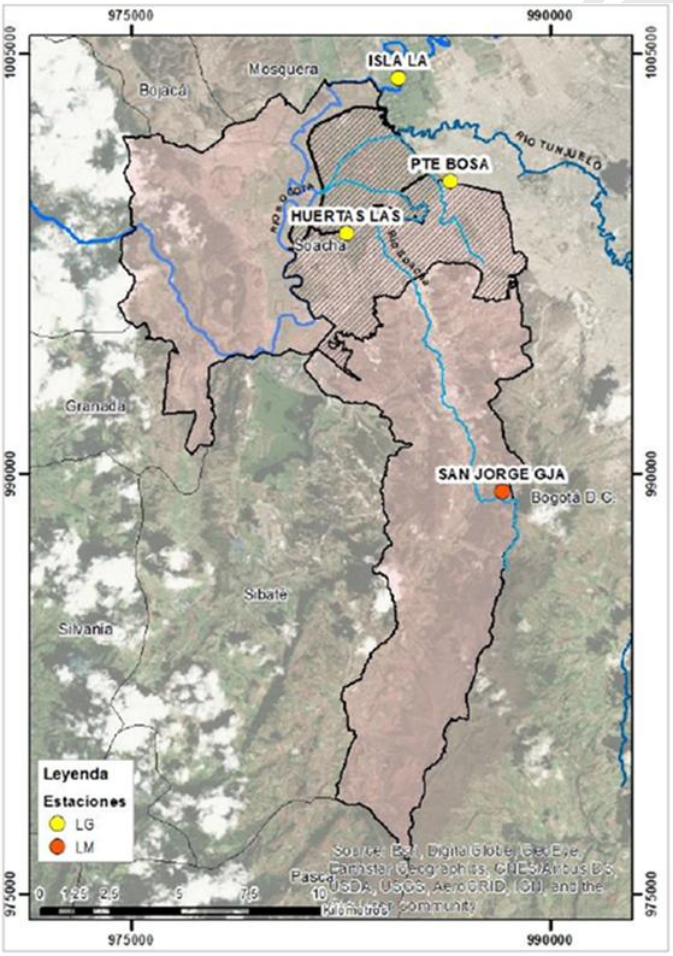


Figura 101. Localización de estaciones de hidrométricas.
Fuente: UNAL

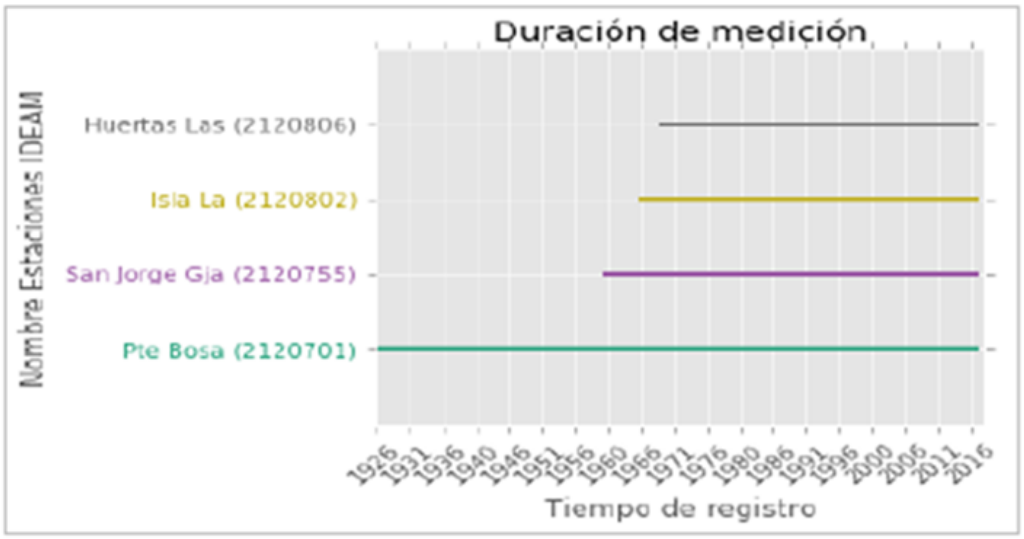


Figura 102. Periodo de registro de estaciones

Fuente: UNAL

2.4.4.4. TRATAMIENTO DE LAS SERIES DE CAUDALES

El tratamiento de series hidrológicas caracteriza una fase de gran utilidad donde se identifica la calidad de las estaciones hidrométricas a partir de diversas pruebas estadísticas paramétricas y no paramétricas. La OMM señala la importancia del criterio conservador en cuanto a la alteración de las series mediante la eliminación y agregación de datos en vista de que los "supuestos a que responden tales modificaciones estarán siempre fundamentados en evidencias, y no en conjeturas" para lo cual existe diversa cantidad de métodos gráficos y estadísticos que permiten tener cierta certeza de las condiciones de la serie en cuanto a homogeneidad, consistencia, aleatoriedad, detección de datos atípicos, análisis de tendencias y estimación de valores faltantes que fundamentan una caracterización representativa y cuidadosa.

2.4.4.4.1. ANÁLISIS VISUAL DE LAS SERIES DE DATOS

La inspección visual de las series de tiempo de caudales, al igual que de variables climáticas, permite rápidamente la detección de datos sospechosos, la identificación de las condiciones promedias y tendencia, además de la comparación de series de estaciones adyacentes puede brindar información acerca de la coherencia entre estaciones.

2.4.4.4.2. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS

Se realizó un análisis exploratorio de los datos (EDA) por medio gráfico con el fin de comprobar tendencias y cambios en la serie de tiempo visualmente. Este análisis es considerado como el primer análisis a realizar antes de cualquier análisis confirmatorio (cuantitativo) y, más aún, antes de utilizar la información hidrológica para modelos y simulaciones. Dentro del análisis exploratorio gráfico se utilizó la gráfica de serie de tiempo, el diagrama de cajas o boxplot.

Para cada una de las series de datos se generó una figura resumen, mostrando la serie de tiempo, el boxplot e histograma a nivel diario, mensual y anual, tanto para las series de datos crudas como para las procesadas, con el fin de tener idea preliminar de la calidad de los registros. A manera de ejemplo se presenta la Imagen n° 97, la figura generada en la cual se puede ver lo antes descrito.

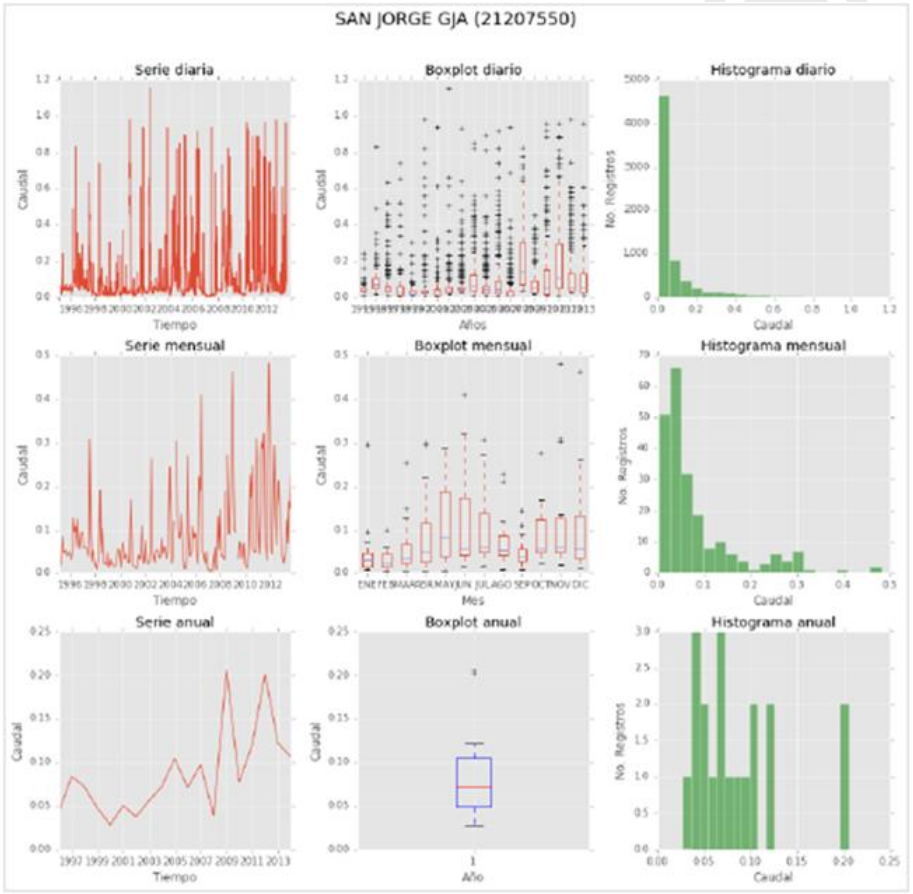


Figura 103. Análisis visual de la información de la estación Granja San Jorge.

Fuente: UNAL

2.4.4.4.3. ANÁLISIS EXPLORATORIO DE DATOS

Se realizó un análisis exploratorio de los datos (EDA) por medio gráfico con el fin de comprobar tendencias y cambios en la serie de tiempo visualmente. Este análisis es considerado como el primer análisis a realizar antes de cualquier análisis confirmatorio (cuantitativo) y, más aún, antes de utilizar la información hidrológica para modelos y simulaciones. Dentro del análisis exploratorio gráfico se utilizó la gráfica de serie de tiempo, el diagrama de cajas o boxplot.

Para cada una de las series de datos se generó una figura resumen, mostrando la serie de tiempo, el boxplot e histograma a nivel diario, mensual y anual, tanto para las series de datos crudas como para las procesadas, con el fin de tener idea preliminar de la calidad de los registros. A manera de ejemplo se presenta la Imagen n° 97, la figura generada en la cual se puede ver lo antes descrito.

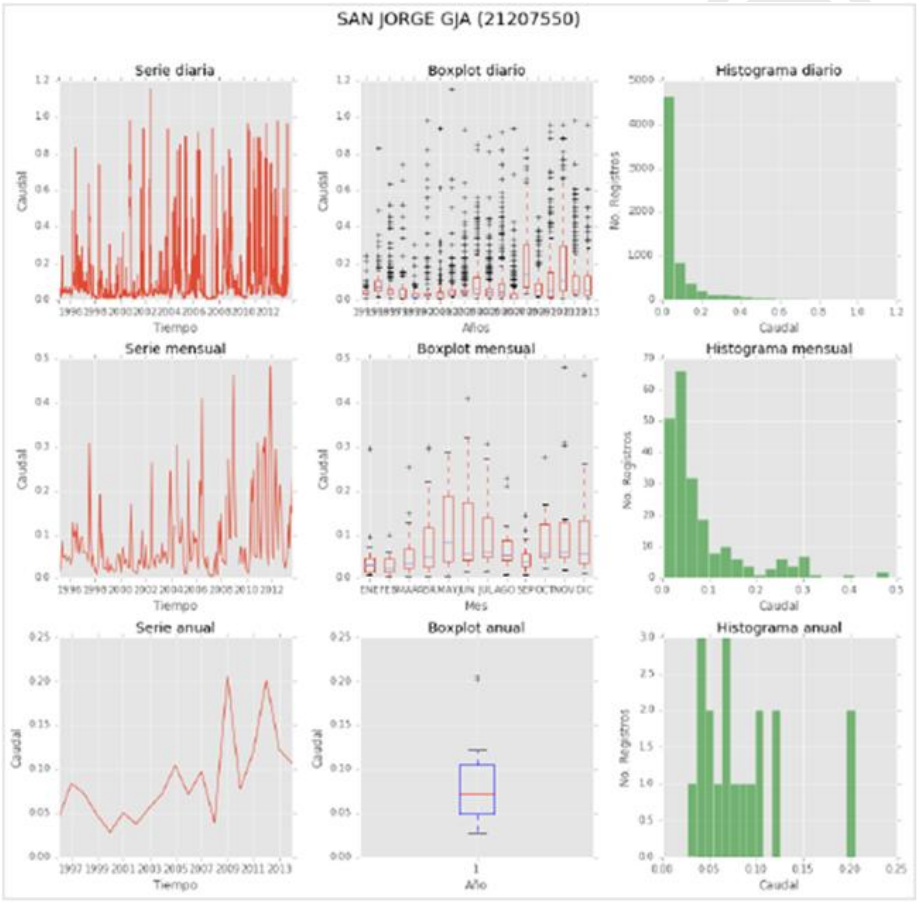


Figura 104. Análisis visual de la información de la estación Granja San Jorge.

Fuente: UNAL

2.4.4.4.4. SELECCIÓN DEL PERIODO DE ESTUDIO

La Imagen n° 98 muestra la longitud de las series de caudales líquidos y deja apreciar el porcentaje de datos faltantes.

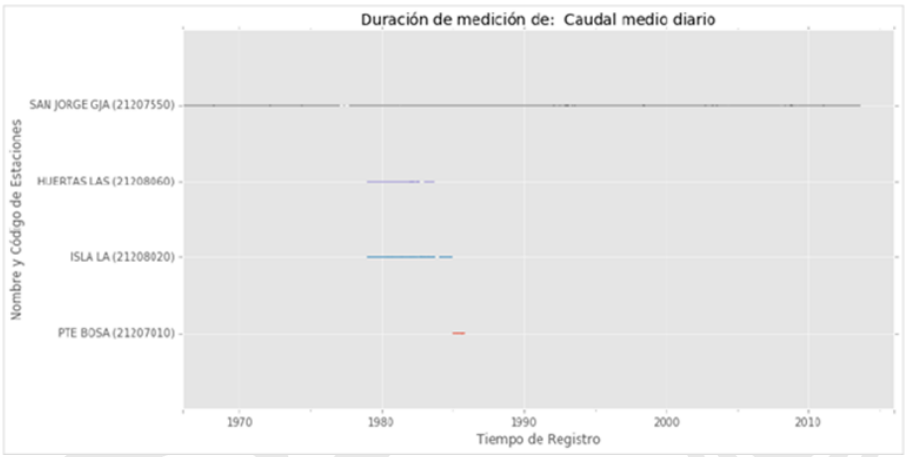


Figura 105. Periodo de registro de estaciones disponibles
Fuente: UNAL

De acuerdo a la anterior figura, la estación Granja San Jorge es la única estación a analizar debido a que las series disponibles en las otras dos estaciones son muy cortas y su información no es reciente. Para verificar la calidad de la información de los registros de caudales en la estación Granja San Jorge, se realizó una serie de datos. En primer se determinó como periodo de estudio el comprendido entre los años 1995 a 2016.

2.4.4.4.5. ELIMINACIÓN DE VALORES ATÍPICOS

Se revisó el registro disponible en el periodo de análisis para detectar valores atípicos o dudosos en la serie. A partir de la revisión visual se puedo identificar valores atípicos. En la Imagen n° 99 se muestra las curvas de masa antes y después de removido los valores atípicos.

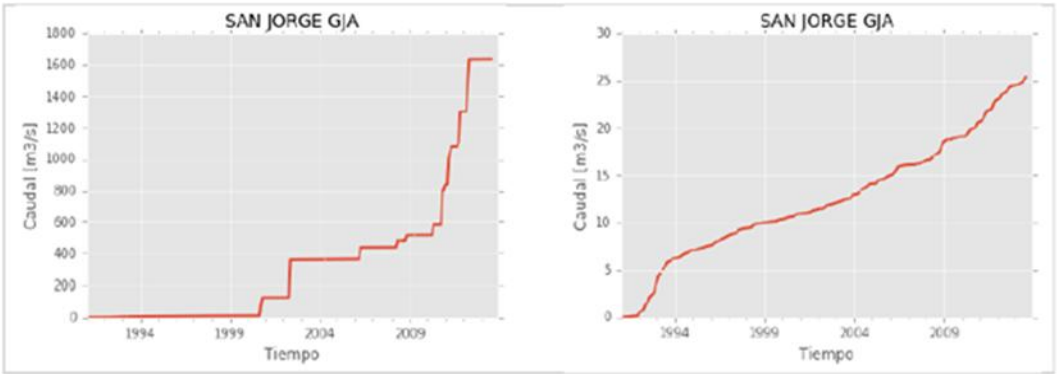


Figura 106. Eliminación de valores atípicos
Fuente: UNAL

2.4.4.4.6. ANÁLISIS DE CONSISTENCIA

A partir de la curva de masa que se presenta en la Imagen n° 99 se presenta una inconsistencia en la serie en el periodo del año 1990 a 1995, el cual se corrigió reduciendo la ventana de análisis al periodo 1995 a 2016. En la Imagen n° 100 se muestra la curva de masa de la serie de caudales. Se observa que presenta una pequeña variación con relación a la pendiente de una línea recta, sin embargo, debido a la falta de información de otras estaciones y la imposibilidad de conocer su origen se optó por usar la información a partir de 1995.

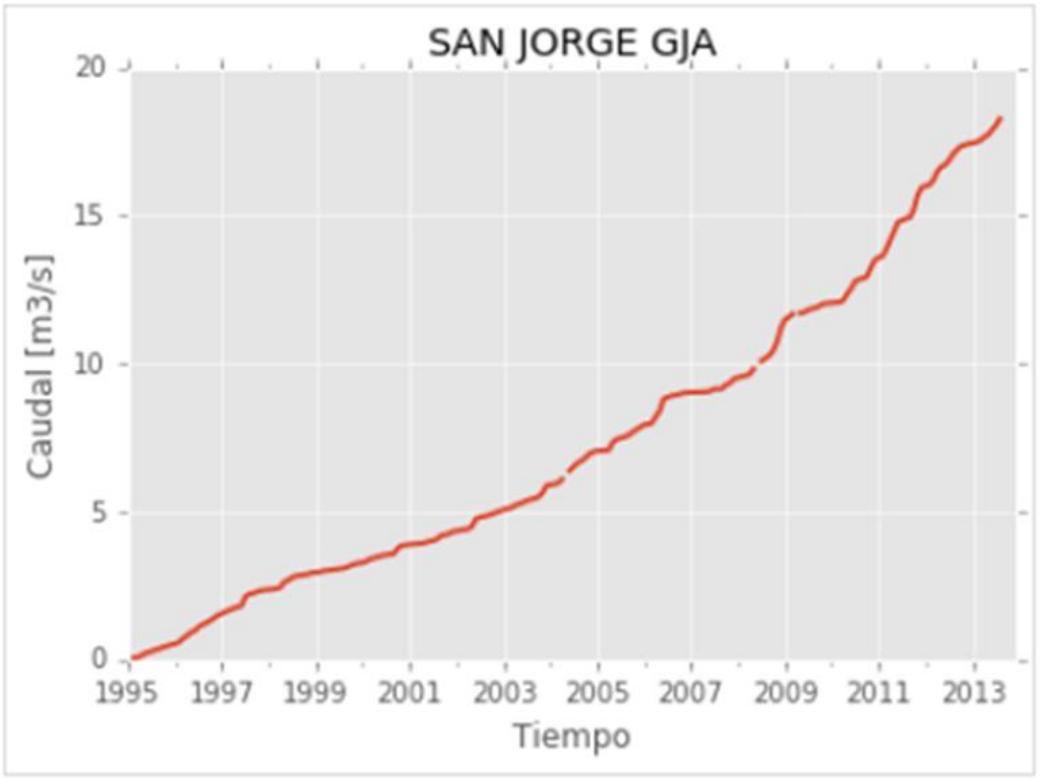


Figura 107. Curva de masa de caudales diarios estación Granja San Jorge

Fuente: UNAL

2.4.4.5. CARACTERIZACIÓN HIDROLÓGICA DEL MUNICIPIO

Para la caracterización hidrológica y específicamente para la estimación de caudales medios y máximos en los diferentes drenajes que se localizan en el municipio se revisó la información disponible de cobertura vegetal y suelos.

2.4.4.5.1. COBERTURA VEGETAL

En la Imagen n° 101 se muestra el mapa de cobertura vegetal obtenido para el municipio y en la Tabla n° 36 se muestra el porcentaje en área que ocupa cada una de las coberturas identificadas, según lo cual predominan los pastos limpios, arbustos y matorrales y los mosaicos de pastos y cultivos con casi el 70% del área total del municipio.

Tabla 52. Coberturas vegetales presentes en el municipio de Soacha.

COBERTURA	AREA [HA]	%
Mosaico de cultivos	0,9	0.00
Zonas industriales o comerciales	2,5	0.01
Bosque Plantado	26,4	0.14
Zonas Pantanosas	63,9	0.34
Mosaico de pastos con espacios naturales	115,8	0.61
Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales	240,1	1.27
Tierras desnudas o degradadas	408,8	2.16
Pastos enmalezados o en rastrojados	906,3	4.79
Tejido urbano continuo	1.464,2	7.74
Vegetación de páramo y sub-páramo	1.761,3	9.30
Mosaico de pastos y cultivos	3.034,4	16.03
Arbustos y matorrales	5.045,0	26.65
Pastos limpios	5.859,4	30.95
TOTAL	18.929	100

Fuente: UNAL

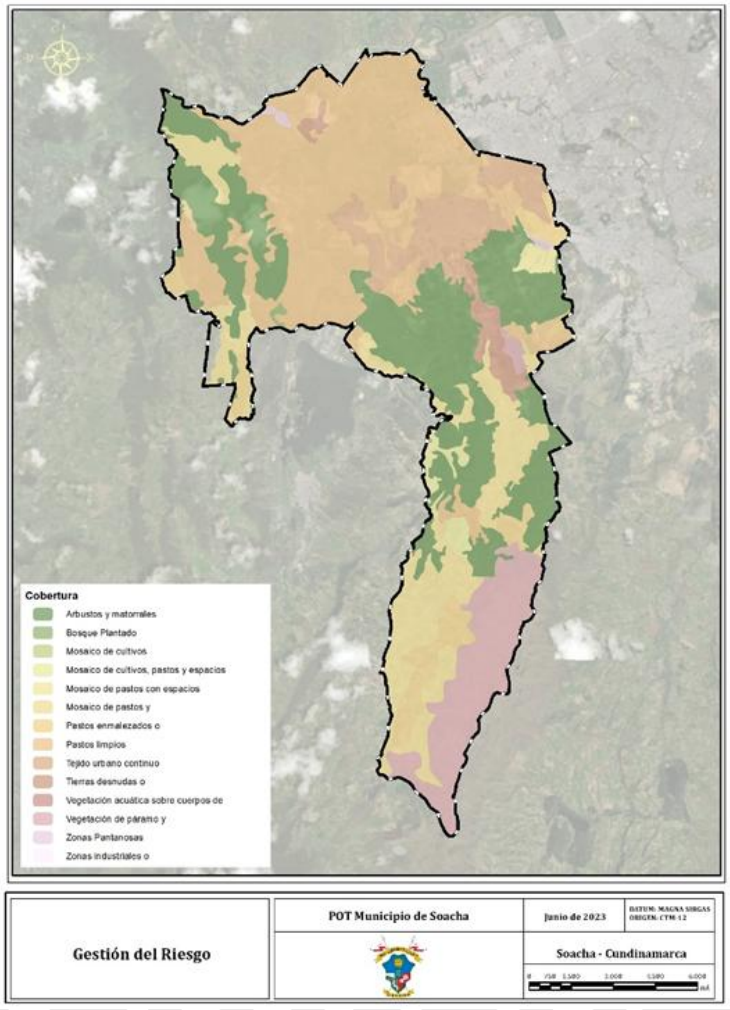


Figura 108. Cobertura vegetal del municipio de Soacha.

Fuente: UNAL

2.4.4.5.2. SUELOS

En la Imagen n° 102 se muestra la textura de los suelos predominante en el municipio y en la Tabla n° 37 se muestra el área que ocupa cada una de las texturas. La textura franca ocupa el 43% del área total del municipio, seguido por la textura franco arenosa con un 23.8% del total del área del municipio.

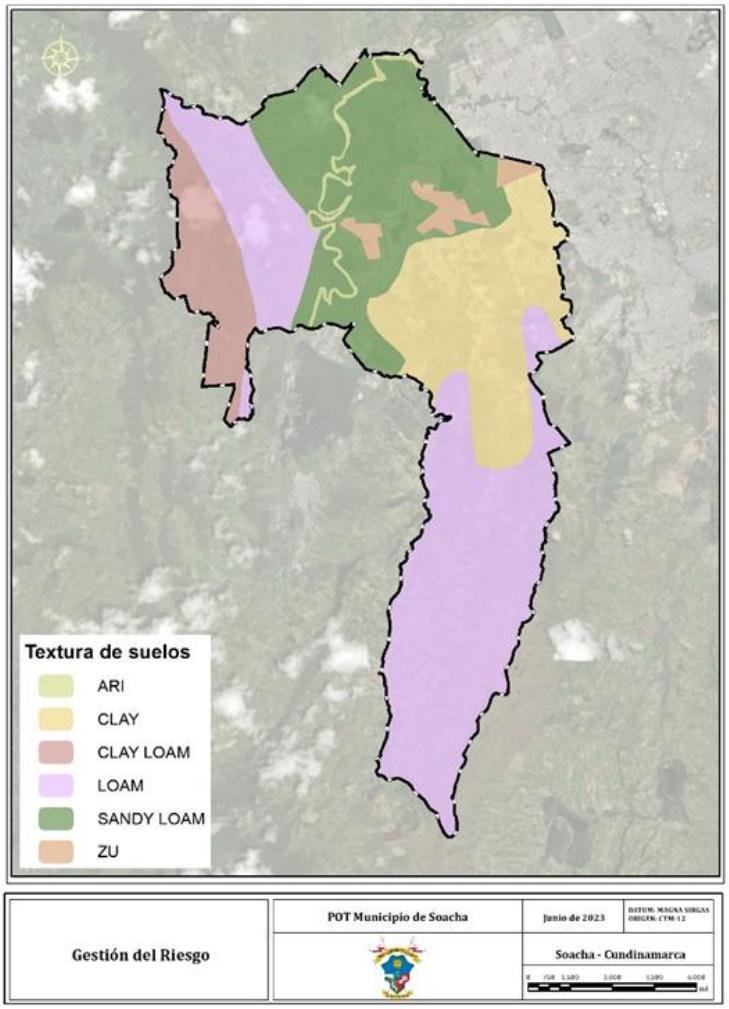


Figura 109. Textura de suelos en el municipio de Soacha.
Fuente: UNAL

Tabla 53. Textura de suelos presentes en el municipio de Soacha.

TEXTURE	AREA [HA]	%
ARI	271.1	1.4
Zona Urbana	418.4	2.2
Franco Arcillosa	1464.8	7.7
Arcillosa	4097.1	21.5
Franco arenosa	4536.0	23.8
Franca	8239.9	43.3
TOTAL	19027.2	100.0

Fuente: UNAL

2.4.4.5.3. DETERMINACIÓN DE LA CURVA NÚMERO

A partir de la información de suelos y cobertura vegetal y considerando la clasificación que se presenta en la Tabla n° 38, se determina el valor de la Curva Número que se muestra en Imagen n° 103.

Tabla 54. Clasificación de suelos según textura.

GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO	INFILTRACIÓN CUANDO ESTÁN MUY HÚMEDOS	CARACTERÍSTICAS	TEXTURA
A	Rápida	Alta capacidad de infiltración > 76 mm/h	Arenosa, Areno-limosa, Franca
B	Moderada	Capacidad de infiltración 76-38 mm/h	Franco-arcillosa-arenosa Franco - limosa
C	Lenta	Capacidad de infiltración 36-13 mm/h	Franco- arcillosa Franco –arcillo-limosa Arcillo-arenosa
D	Muy lenta	Capacidad de infiltración <13mm/h	Arcillosa

Fuente: UNAL

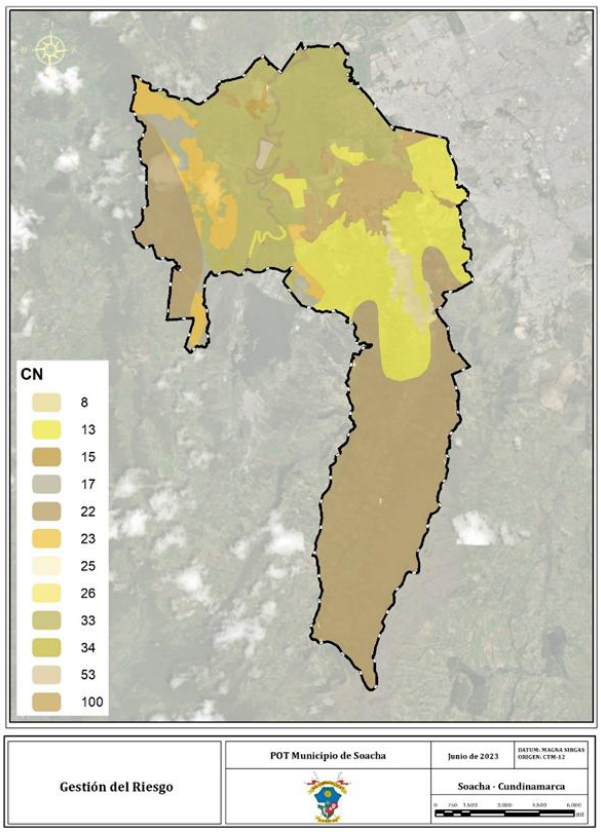


Figura 110. Clasificación según CN del área del municipio de Soacha
Fuente: UNAL

2.4.4.6. CAUDALES MEDIOS

La Tabla n° 39 muestra los valores de los caudales medios mensuales multianuales reportados por la estación Granja San Jorge localizada sobre el Río Soacha. A la altura de la estación se registra un caudal medio anual de 83 Lps y en la Imagen n° 104 se muestra la variación temporal interanual en la cual se puede ver claramente un régimen, consistente con el comportamiento de las lluvias sobre el municipio.

Tabla 55. Caudales medios mensuales multianuales [m3/s].

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
SAN JORGE GJA (21207550)	0.047	0.032	0.057	0.087	0.115	0.122	0.104	0.071	0.049	0.088	0.116	0.109	0.083

Fuente: UNAL

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** deja ver dos periodos claramente diferenciados de caudales altos, el primero comprendido entre los meses de mayo y junio y en el mes de noviembre y diciembre. El resto de meses del año presenta caudales bajos siendo el mes de febrero el de menos caudales con valor medio mensual de 32 Lps.

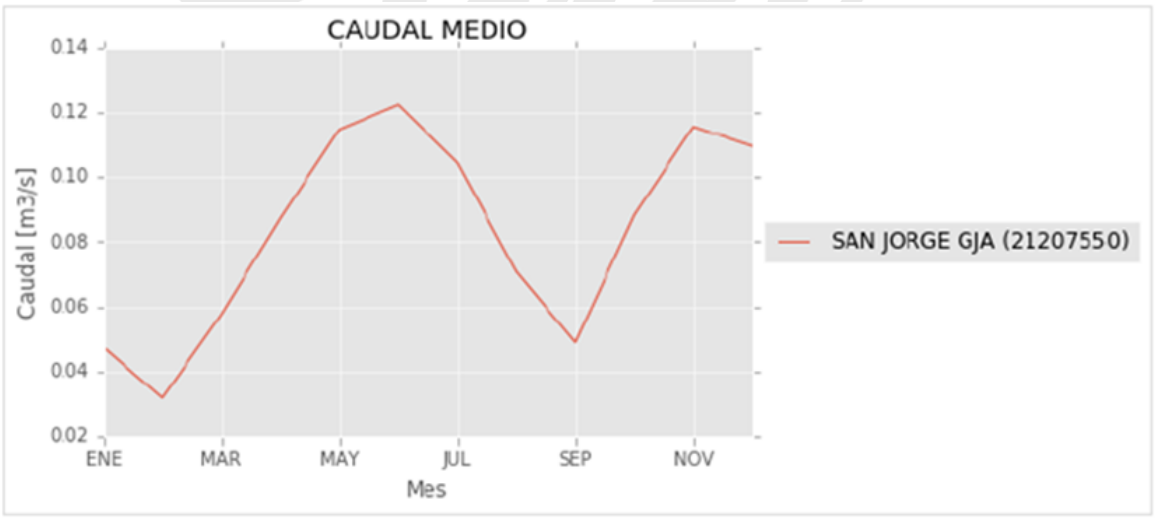


Figura 111. Variación temporal de los caudales medios estación Granja San Jorge.

Fuente: UNAL

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** permite mostrar la variación de los caudales medios mensuales en el periodo 1995 a 2015. Se observa claramente una tendencia a incrementar a lo largo del tiempo.

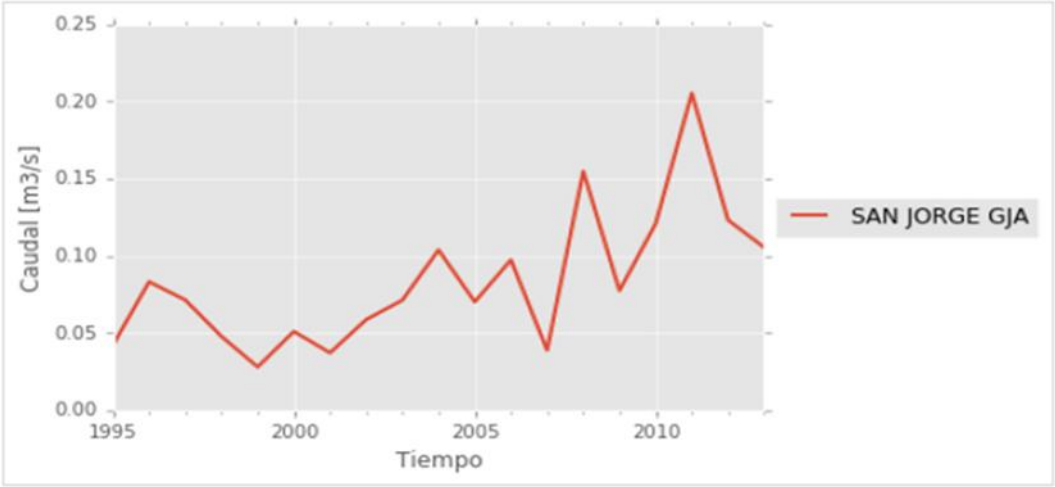


Figura 112. Variación temporal Interanual.

Fuente: UNAL

2.4.4.7. ANÁLISIS DE CAUDALES MÁXIMOS

La Imagen n° 106 muestra la variación de los caudales máximos anuales registrados por la estación Granja San Jorge. Se realizó un análisis de frecuencia considerando varias funciones de probabilidad como se aprecia en la Imagen n° 107.

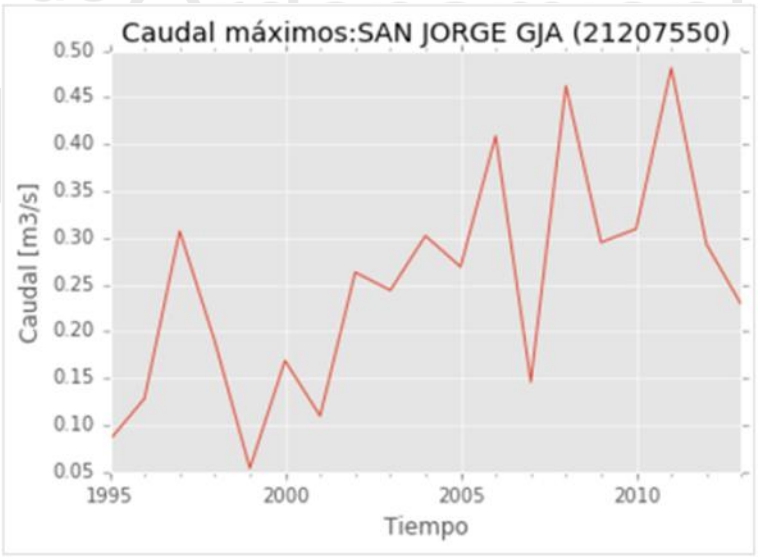


Figura 113. Serie anual de caudales máximos estación San Jorge.
Fuente: UNAL

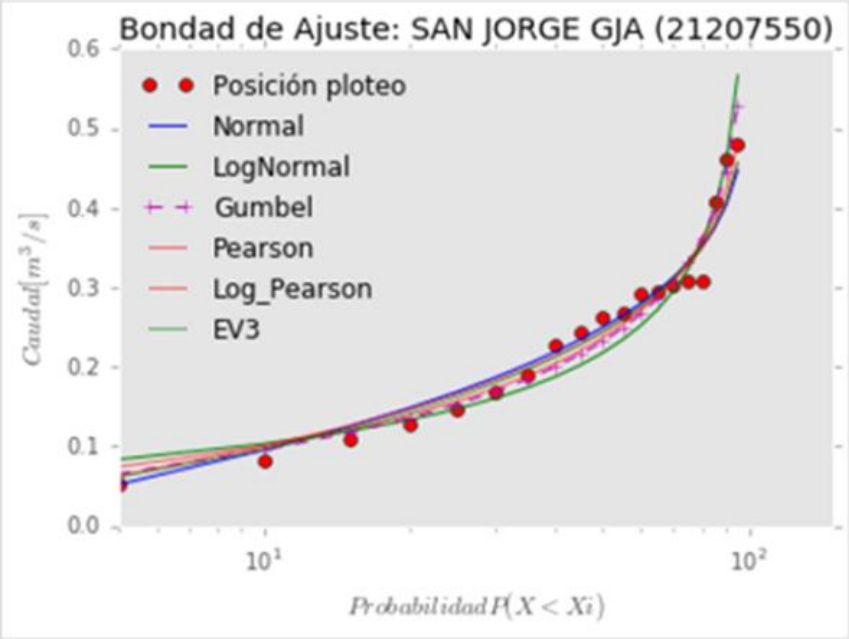


Figura 114. Bondad de ajuste de caudales máximos anuales.

Fuente: UNAL

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestra los resultados de caudales máximos esperados para diferentes periodos de retorno a la altura del a estación Granja San Jorge y la distribución de probabilidad usada.

Tabla 56. Caudales máximos [m3/s] para diferentes periodos de retorno

	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)									DISTRIBUCIÓN
ESTACIÓN	2	4	5	10	25	50	100	250	500	
SAN JORGE GJA (21207550)	0.24	0.33	0.36	0.42	0.50	0.54	0.58	0.62	0.65	LogPerason

Fuente: UNAL

2.4.4.8. ESTIMACIÓN DE CAUDALES MEDIOS

Debido a que las microcuencas en el municipio de Soacha no se cuentan con instrumentación, con excepción de la parte alta del Río Soacha, y por lo tanto no hay registros históricos de caudal en cada uno de los sitios de interés en las diferentes cuencas, es necesaria la implementación de un modelo hidrológico tal que permita generar caudales a partir de la información hidroclimatológica

disponible en cada zona. Una vez calibrado dicho modelo, estos datos junto con las series disponibles en las diferentes estaciones hidrométricas, serán insumo para el modelo hidráulico a emplear.

La disponibilidad de información de lluvia y caudal a nivel diario que se dispone ampliamente en la zona de estudio, sugiere implementar un modelo que, a esta escala temporal, se comporte en forma adecuada. En este sentido se implementó un ejercicio de modelación hidrológica con el SWAT "Soil Water Assessment Tool" de libre distribución y ampliamente documentado. El SWAT es un modelo desarrollado por el Departamento de agricultura de Los Estados Unidos (USDA) y el Servicio de investigación de Agricultura (ARS). Este modelo fue concebido para predecir el impacto del manejo del uso del suelo en el agua, sedimentos y productos químicos en cuencas de gran tamaño.

El SWAT es un modelo basado en la física y requiere información de clima, suelos, topografía, vegetación y el manejo del agua y el suelo en la cuenca que se desea estudiar; con esta información el SWAT logra simular los procesos físicos que describen el movimiento del agua, movimiento de sedimentos, crecimiento de cultivos y el ciclo de algunos nutrientes. El modelo divide la cuenca en Subcuencas, de acuerdo a los requerimientos del usuario, esto hace al modelo más eficiente cuando se trata de cuencas con características climáticas y geomorfológicas muy variables. La información para cada cuenca se puede agrupar en las siguientes categorías: climática, hidrológica, geomorfológica, humedales, agua subterránea, características del cauce principal.

El funcionamiento del SWAT se puede dividir en dos etapas, en la primera se cuantifica los volúmenes de agua, sedimentos y nutrientes que se desean modelar, y en la segunda etapa se define el movimiento de estas cargas dentro de las Subcuencas.

Para el modelamiento, la cuenca hidrográfica se divide en pequeñas Subcuencas con el fin de mejorar la exactitud de los cálculos. Para el modelamiento, la cuenca hidrográfica se divide en pequeñas Subcuencas con el fin de mejorar la exactitud de los cálculos. Adicionalmente el SWAT trabaja por unidades de respuesta hidrológica (HRU) obtenidas del cruce de los diferentes tipos de suelo (textura), con el uso y cobertura del suelo.

La simulación de la hidrología de la cuenca puede separarse en dos grandes divisiones: la primera división es la fase terrestre del ciclo hidrológico que controla la cantidad de agua, sedimento y pesticidas transportados al canal principal por cada subcuenca. La segunda división es la del agua o la fase de rutina la que puede definirse como el movimiento del agua, sedimentos, etc., a través de la red del canal hasta el sitio de descarga de la cuenca. El ciclo hidrológico simulado por el SWAT 2005 está basado en la ecuación del balance hídrico:

$$SW_t = SW + \sum R_i - Q_i - ET_i - P_i - QR_i$$

Donde, SWt es la cantidad final de contenido de agua en el suelo (mm), SW es la cantidad inicial de contenido de agua en el suelo (mm), t es el tiempo en días, Ri es la cantidad de lluvia caída en el período de análisis (mm), Qi es la cantidad de escorrentía (mm), ETi evapotranspiración (mm), Pi percolación (mm), QRi flujo de retorno (mm).

Teniendo en cuenta la información presentada en el capítulo de clima y el presente capítulo de hidrología se alimentó el modelo SWAT con el fin de determinar caudales diarios y de esta forma obtener caudales medios mensuales y caudales característicos, requeridos para la determinación del índice IVET. En la Tabla n° 41 se presenta los resultados de caudales medios mensuales multianuales estimados en el punto de cierre considerado para cada microcuenca.

Tabla 57. Caudales medios mensuales multianuales [m3/s].

CORRIENTE	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	AÑO
R. Soacha	0.03	0.11	0.18	0.37	0.72	0.48	0.38	0.21	0.30	0.40	0.26	0.11	0.3
Q. Chacua	0.01	0.03	0.04	0.09	0.16	0.11	0.08	0.05	0.07	0.09	0.06	0.03	0.1
Q. Encenillo	0.00	0.01	0.02	0.05	0.10	0.06	0.04	0.02	0.04	0.05	0.03	0.01	0.0
Q. Aguas Claras	0.00	0.01	0.01	0.02	0.05	0.03	0.02	0.01	0.02	0.02	0.01	0.00	0.0
Q. Las Mirlas	0.01	0.03	0.05	0.12	0.26	0.15	0.10	0.04	0.10	0.14	0.08	0.03	0.1
Q. Honda	0.00	0.02	0.03	0.07	0.16	0.09	0.07	0.03	0.05	0.08	0.04	0.01	0.1
Q. Grande	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.01	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.00	0.0
Q. Tibanica	0.03	0.08	0.12	0.25	0.46	0.33	0.27	0.17	0.21	0.27	0.18	0.09	0.2

Fuente: UNAL

2.4.4.8.1. CÁLCULO DEL ÍNDICE IVET

La metodología de evaluación del riesgo requiere como insumo el índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales IVET. El índice en cuestión clasifica las unidades hidrográficas de acuerdo a su mayor o menor tendencia a la presencia de procesos torrenciales, metódicamente el índice se fundamenta en un análisis de las características fisiográficas e hidrológicas de la unidad estudiada, respecto a las cuales define la respuesta rápida y fuerte a lluvias de alta intensidad y corta duración, situación que genera escenarios frecuentes de avenidas torrenciales. En la Tabla n° 42

se muestra la forma de calificar el índice IVET, para lo cual se requiere la determinación de dos índices más, como lo son el índice morfométrico y el índice de variabilidad.

Tabla 58. Clasificación del índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales.

ÍNDICE DE VARIABILIDAD	ÍNDICE MORFOMÉTRICO				
	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Muy baja	Muy baja	Muy baja	Media	Alta	Alta
Baja	Baja	Media	Media	Alta	Muy alta
Media	Baja	Media	Alta	Alta	Muy alta
Alta	Media	Media	Alta	Muy alta	Muy alta
Muy alta	Media	Alta	Alta	Muy alta	Muy alta

Fuente: IDEAM, 2013

Los resultados y metodología usados para el cálculo del índice morfométrico se presentan en el numeral de Morfometría cuantitativa. Aquí se presenta lo resultados de dicho índice y la clasificación del índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales.

2.4.4.8.2. ÍNDICE DE VARIABILIDAD (IV)

Este índice se obtiene a partir de la curva de duración de caudales. Las pequeñas variabilidades en los caudales tienen concordancia a flujos de agua constante por los cauces, típicamente presentes en los cauces de llanura, por el contrario, las variabilidades altas conciernen a unidades con pendientes altas con flujos de agua muy variables donde la respuesta hidrológica a las precipitaciones altas y de baja duración, es muy rápida.

$$IV = \frac{Log(Q_i) - Log(Q_f)}{Log(X_i) - Log(X_f)}$$

Donde,

- Qi: Caudal correspondiente al 25% de excedencia de la CDC.
- Qf: Caudal correspondiente al 75% de excedencia de la CDC.
- Xi: Porcentajes de tiempo en que se exceden los caudales Qi.
- Xf: Porcentajes de tiempo en que se exceden los caudales Qf.

Tabla 59. Clasificación del Índice de Variabilidad

VARIABILIDAD	VULNERABILIDAD
<10°	Muy baja
10°-37°	Baja
37°-47°	Media
47°-51°	Alta
>55°	Muy alta

Fuente: IDEAM, 2013

De acuerdo a lo anterior, la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** presenta los resultados obtenidos con respecto al índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales en el municipio de Soacha

Tabla 60. Resultados de cálculo de índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales.

NOMBRE	CL_IV	COEFICIENTE DE COMPACIDAD (Kc)	DENSIDAD DE DRENAJE (Dd) [km/km2]	VARIACIÓN ALTITUD [m]	I. MORFO	IVET
R. Soacha	Muy baja	1.8	3.0	46.3	Alta	Alta
Q. Las Mirlas	Muy baja	º1.2	2.3	152.2	Media	Media
Q. Tibanica	Muy baja	1.9	2.0	43.7	Baja	Muy baja

Fuente: UNAL

2.4.4.9. ESTIMACIÓN DE CAUDALES MÁXIMOS

Para la estimación de la amenaza por inundación en el municipio de Soacha, se estimaron caudales máximos para las dos principales corrientes en el municipio por la extensión del área aferente y por el hecho de atravesar el casco urbano del municipio. Estas corrientes como se comentó en el tema de hidrografía son el Río Soacha y la Quebrada Tibanica.

La metodología empleada para la estimación de caudales máximos en el estudio para los ríos Soacha y Tibanica se determinaron los parámetros morfométricos de cada una de sus áreas aferentes. Los parámetros se determinaron con base en la cartografía a: 1:25000 e información del sistema de alcantarillado pluvial del casco urbano del municipio de Soacha.

El estudio hidrológico contempló el cálculo de parámetros morfométricos, tiempos de concentración, duración de la lluvia de diseño y cálculo de caudales a partir de la implementación de un modelo en el software HEC-HMS.

2.4.4.10. MODELO HIDROLÓGICO IMPLEMENTADO PARA LA ESTIMACIÓN DE CAUSALES MÁXIMOS

Un modelo hidrológico es una herramienta que permite representar la realidad de una manera simplificada y que posee un valor predictivo útil para la utilización de los recursos hídricos; además sirve como orientación en la toma de decisiones para la solución de problemas que se puedan presentar en una zona determinada (US Army Corps of Engineers, 2010).

Dentro de los modelos de simulación hidrológica usados a nivel mundial, se encuentra el HEC-HMS 4.0 desarrollado por el Hydrologic Engineering Center (HEC) del United States Corps of Engineers, el cual ha diseñado los modelos hidráulicos e hidrológicos con mayor reconocimiento y aceptación internacional. El HEC-HMS (Hydrologic Model Sistem versión 4.0) fue diseñado para simular la escorrentía superficial de respuesta de una cuenca a la precipitación mediante la representación de la cuenca como un sistema interconectado de componentes hidrológicos e hidráulicos, cada uno de las cuales refleja un aspecto del proceso precipitación-escorrentía a partir de parámetros físicos e hidrológicos.

2.4.4.10.1. TOPOLOGÍA DEL MODELO

La Imagen n° 108 muestra la topología usada para la estimación de caudales máximos en la Quebrada Tibanica y Río Soacha. En total se dividió estas dos cuencas en áreas más pequeñas para determinar caudales máximos que consideren la variación espacial de los suelos, cobertura vegetal, uso del suelo y pendientes. De igual forma se consideraron como áreas aportantes, las áreas servidas del servicio de alcantarillado pluvial del barrio Bosa de la Ciudad de Bogotá y del mismo Municipio de Soacha, que drenan sus aguas a la quebrada Tibanica.

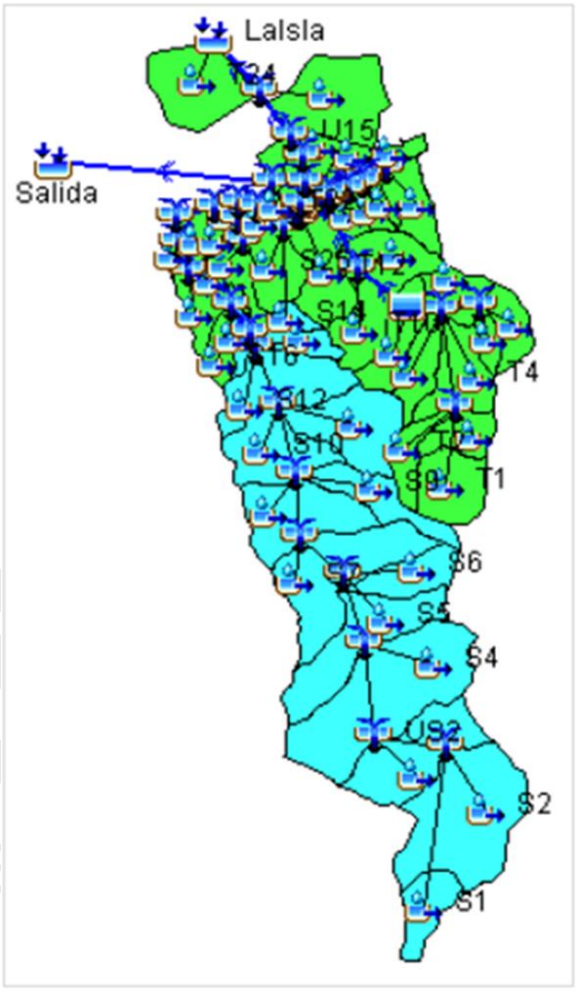


Figura 115. Modelo topológico obtenido en HEC-GeoHMS para la modelación hidrológica de tipo evento. Fuente: IDEAM, 2013

En total, se generaron 49 áreas que se consideran hidrológicamente uniformes con fines de estimación de caudales máximos, distribuidas en 25 unidades en la cuenca del Río Soacha y 24 unidades en la cuenca de la quebrada Tibanica.

2.4.4.10.2. MORFOMETRÍA DE CUENCAS Y TIEMPO DE REZAGO

Las índices morfométricas de cada una de las áreas aferentes identificadas en las cuencas de la quebrada Tibanica y Río Soacha, como: área, longitud del cauce principal, longitud de la cuenca, pendiente del cauce principal, se calcularon con base en la información del Modelo Digital de Elevación (MDE) generado a partir de productos obtenidos por agencias internacionales por medio de las misiones satelitales como la ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) y la SRTM (Shuttle Radar Topography Misión), que ofrecen productos gratuitos con

resoluciones de 30 [m]; el MDE utilizado fue generado por la misión ASTER de la Nasa con una resolución de pixel de 30x30 [m] y corregido por alturas con la misión SRTM 90x90 [m]; sobre esta información se trazó la cuenca aferente para el punto evaluado, utilizando herramientas SIG.

A partir de la información morfométrica, se determina el tiempo de rezago que corresponde al tiempo comprendido entre el centroide del histograma de precipitación efectiva y el pico del hidrograma de escorrentía directa correspondiente. Se asume que el rezago es constante para una cuenca ya que depende de los parámetros morfométricos de la misma, por tanto, el tiempo de rezago se calcula como:

$$T_{rezago} \frac{L_C^{0,8} * (S+1)^{0,7}}{1900 S_c^{0,5}}$$

$$S = \frac{100}{CN} - 10$$

$$T_c = \frac{5}{3} T_{rezago}$$

Donde:

- Lc: Longitud de cauce principal [pies]
- S: Infiltración potencial [pulgadas]
- CN: Curva número
- Sc: Pendiente [%]
- Tc: tiempo de concentración

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta los resultados de los índices morfométricos requeridos para la estimación de caudales máximos.

Tabla 61. Índices morfométricos para cada área aferente.

NOMBRE	PERIMETRO [km]	AREA [km2]	ELEV. MAX. [msnm]	ELEV. MIN. [msnm]	ELEV MEDIA [MSNM]	LON AXIAL [KM]	LONG. CAUCE PRINCIPAL [km]	CN	L [pies]	S [%]	Sc	T rezago [min]	Tc [min]
S1	4.7	1.1	3616.0	3292.0	3414.0	1.9	2.2	75	7380.7	39.7	14.4	28.9	48.1

NOMBRE	PERIMETRO [km]	AREA [km2]	ELEV. MAX. [msnm]	ELEV. MIN. [msnm]	ELEV MEDIA [MSNM]	LON AXIAL [KM]	LONG. CAUCE PRINCIPAL [km]	C N	L [pies]	S [%]	Sc	T rezago [min]	Tc [min]
S10	6.4	1.9	2953.0	2621.0	2744.0	2.4	2.9	75	9354.3	76.4	11.6	38.8	64.7
S11	6.9	2.2	2979.0	2628.0	2813.0	2.5	3.0	75	9977.7	54.6	11.5	41.0	68.4
S12	7.3	2.2	2857.0	2571.0	2720.0	2.7	3.3	75	10802.9	32.8	8.7	50.4	84.0
S13	4.1	0.7	2840.0	2575.0	2731.0	1.6	2.0	75	6467.7	29.2	13.4	26.9	44.8
S14	2.7	0.3	2794.0	2606.0	2704.0	1.1	1.3	75	4175.5	15.3	14.8	18.1	30.1
S15	3.4	0.4	2687.0	2559.0	2581.0	1.4	1.6	96	5336.5	0.4	7.9	13.7	22.9
S16	3.5	0.5	2816.0	2558.0	2663.0	1.5	1.8	61	6010.0	6.4	14.1	36.2	60.3
S17	5.0	0.8	2734.0	2552.0	2588.0	2.1	2.5	98	8140.0	0.2	7.3	17.7	29.5
S18	3.6	0.4	2584.0	2557.0	2567.0	1.5	1.8	99	5780.5	0.1	1.5	27.9	46.5
S19	1.7	0.1	2567.0	2551.0	2558.0	0.8	0.9	95	2965.1	0.6	1.8	19.5	32.6
S2	9.6	4.5	3456.0	3145.0	3287.0	3.3	3.9	75	12894.4	35.5	7.9	60.9	101.4
S20	3.4	0.6	2569.0	2546.0	2558.0	1.2	1.5	90	4808.1	1.1	1.6	37.9	63.2
S21	2.8	0.3	2566.0	2543.0	2556.0	1.0	1.2	98	4053.0	0.3	1.9	20.8	34.7

NOMBRE	PERIMETRO [km]	AREA [km2]	ELEV. MAX. [msnm]	ELEV. MIN. [msnm]	ELEV MEDIA [MSNM]	LON AXIAL [KM]	LONG. CAUCE PRINCIPAL [km]	C N	L [pies]	S [%]	Sc	T rezago [min]	Tc [min]
S22	1.3	0.1	2556.0	2545.0	2551.0	0.5	0.6	90	1969.6	1.1	1.8	17.0	28.4
S23	1.8	0.2	2559.0	2539.0	2552.0	0.6	0.8	99	2469.3	0.1	2.7	11.0	18.4
S24	4.8	0.7	2627.0	2555.0	2570.0	1.8	2.1	99	6956.7	0.1	3.4	21.1	35.1
S25	4.8	1.3	2664.0	2545.0	2572.0	1.7	2.0	99	6660.0	0.1	5.9	16.0	26.6
S3	8.0	2.6	3321.0	2957.0	3154.0	3.0	3.6	75	11790.0	35.5	10.1	50.1	83.5
S4	10.5	5.1	3298.0	2817.0	3023.0	4.1	5.0	75	16336.8	37.9	9.7	66.6	110.9
S5	9.6	2.6	3266.0	2749.0	2959.0	3.9	4.7	75	15323.5	53.5	11.1	59.1	98.5
S6	5.6	1.2	3195.0	2755.0	3030.0	2.4	2.8	75	9350.3	42.2	15.4	33.7	56.2
S7	10.1	3.4	3135.0	2705.0	2864.0	3.6	4.4	75	14305.7	67.0	9.9	59.2	98.7
S8	7.3	2.3	3085.0	2687.0	2798.0	2.7	3.2	75	10611.2	78.8	12.3	41.8	69.6
S9	7.5	1.3	3135.0	2699.0	2936.0	3.3	4.0	75	12972.8	53.1	11.0	51.8	86.3
T1	4.7	1.5	3131.0	2872.0	2992.0	1.6	1.9	75	6378.0	43.2	13.3	26.7	44.5
T10	6.6	1.4	2852.0	2554.0	2698.0	2.5	3.0	75	9748.9	43.8	10.0	43.2	72.0

NOMBRE	PERIMETRO [km]	AREA [km2]	ELEV. MAX. [msnm]	ELEV. MIN. [msnm]	ELEV MEDIA [MSNM]	LON AXIAL [KM]	LONG. CAUCE PRINCIPAL [km]	C N	L [pies]	S [%]	Sc	T rezago [min]	Tc [min]
T11	4.8	1.3	2812.0	2552.0	2649.0	1.8	2.2	75	7226.5	54.5	11.8	31.4	52.3
T12	6.4	1.7	2804.0	2538.0	2608.0	2.4	2.8	75	9325.4	8.3	9.4	43.2	72.0
T13	2.8	0.4	2569.0	2533.0	2554.0	1.1	1.3	75	4230.9	60.8	2.8	42.0	70.0
T14	2.8	0.3	2641.0	2545.0	2567.0	1.2	1.5	75	4803.3	66.9	6.6	30.3	50.6
T15	2.5	0.2	2642.0	2547.0	2570.0	1.1	1.3	75	4254.7	66.9	7.3	26.1	43.4
T16	5.1	1.1	2811.0	2549.0	2628.0	2.0	2.4	75	7924.0	66.9	10.8	35.2	58.7
T17	3.4	0.4	2562.0	2548.0	2556.0	1.4	1.7	75	5558.4	31.2	0.8	96.1	160.1
T18	3.2	0.5	2558.0	2546.0	2551.0	1.3	1.5	75	5071.5	8.3	0.8	92.1	153.5
T19	3.4	0.6	2554.0	2539.0	2547.0	1.2	1.4	85	4635.8	1.7	1.1	53.3	88.8
T2	5.3	0.8	3061.0	2787.0	2919.0	2.1	2.5	75	8277.6	40.3	10.9	36.4	60.7
T20	1.7	0.1	2554.0	2538.0	2548.0	0.7	0.8	75	2628.9	5.7	2.0	33.9	56.6
T21	2.1	0.1	2554.0	2541.0	2547.0	1.0	1.2	75	3897.2	4.7	1.1	62.8	104.7
T22	4.3	0.9	2560.0	2531.0	2544.0	1.7	2.0	75	6498.2	12.1	1.5	81.8	136.3

NOMBRE	PERIMETRO [km]	AREA [km2]	ELEV. MAX. [msnm]	ELEV. MIN. [msnm]	ELEV MEDIA [MSNM]	LON AXIAL [KM]	LONG. CAUCE PRINCIPAL [km]	C N	L [pies]	S [%]	Sc	T rezago [min]	Tc [min]
T23	6.8	2.6	2562.0	2532.0	2548.0	2.3	2.8	75	9149.7	4.0	1.1	125.4	209.1
T24	5.7	2.2	2582.0	2531.0	2545.0	2.1	2.6	75	8438.4	20.3	2.0	86.6	144.3
T3	4.2	0.9	2961.0	2785.0	2878.0	1.6	1.9	75	6319.1	64.1	9.1	32.0	53.3
T4	6.3	1.6	2905.0	2618.0	2782.0	2.1	2.6	75	8433.6	66.9	11.2	36.5	60.8
T5	2.9	0.4	2882.0	2669.0	2783.0	1.3	1.6	75	5181.1	59.3	13.5	22.5	37.5
T6	4.4	0.9	2878.0	2665.0	2745.0	1.7	2.1	75	6731.8	44.1	10.4	31.6	52.7
T7	4.0	0.8	2818.0	2617.0	2712.0	1.4	1.7	75	5439.4	33.1	12.1	24.6	41.1
T8	5.8	1.1	2894.0	2615.0	2752.0	2.6	3.1	75	10276.4	3.3	8.9	47.8	79.7
T9	5.6	1.2	2870.0	2612.0	2722.0	2.3	2.8	75	9222.8	3.3	9.2	43.2	72.0

Fuente: UNAL

2.4.4.10.3. DETERMINACIÓN DE LA LLUVIA DE DISEÑO

La tormenta de diseño puede definirse mediante un valor de lámina de precipitación en un punto, mediante un hietograma de diseño que especifique la distribución temporal de la precipitación durante una tormenta.

La precipitación varía temporalmente y espacialmente. La variación temporal se representa como volumen mediante el pluviograma (mm) y como intensidades mediante el hietograma (mm/h). En cuanto a la distribución espacial, es probable que la precipitación registrada durante un mismo evento de lluvia en dos estaciones sea diferente. A partir de la información de precipitación total anual, en la Imagen n° 109 se muestra la variación espacial, la cual en términos generales disminuye en función de la altura sobre el nivel del mar, siendo más alta en la parte alta con valores que alcanzan los 750 mm/año, mientras que en la parte baja del municipio a la altura del casco urbano la precipitación es de 600 mm/año según lo reportado por la estación Las Huertas. Con fines de modelación de los caudales máximos, se asume que no se presenta variación espacial sobre la cuenca (Subcuencas) para un mismo evento.

La lluvia de diseño se escogió de 1 hora de duración con base en la información obtenida de cada una de las cuencas hidrográficas estudiadas. Con base en ello, y en función de la información disponible en primer lugar se determinaron las curvas IFD para una sola duración (24 horas), sin embargo, como para las cuencas del Rio Soacha y Quebrada Tibanica, se requería una duración menor a 24 horas en atención los resultados del tiempo de rezago y de concentración de las cuencas, se buscó la alternativa que menor error pudiese involucrar. Si se utilizaba la información disponible con 24 horas de precipitación, se tendría que determinar una precipitación menor a partir de la misma, lo que involucraría supuestos y por ende mayor incertidumbre en el cálculo de la precipitación requerida.

En este sentido el estudio realizado por INGETEC (2014), el cual utilizó información de intensidad de precipitación con duraciones de precipitación menores a 24 horas y que generaba menor incertidumbre en el cálculo de la misma, se optó por seleccionar este estudio como el más indicado para introducir la precipitación en el modelo de HEC-HMS. El estudio mencionado fue desarrollado para la Empresa de Acueducto y alcantarillado de Bogotá (EAAB) y generó las curvas de frecuencia intensidad duración (IDF) en donde se

incluyen varias estaciones en el área del municipio de Soacha (INGETEC, 2014) (Ver Imagen n° 109).

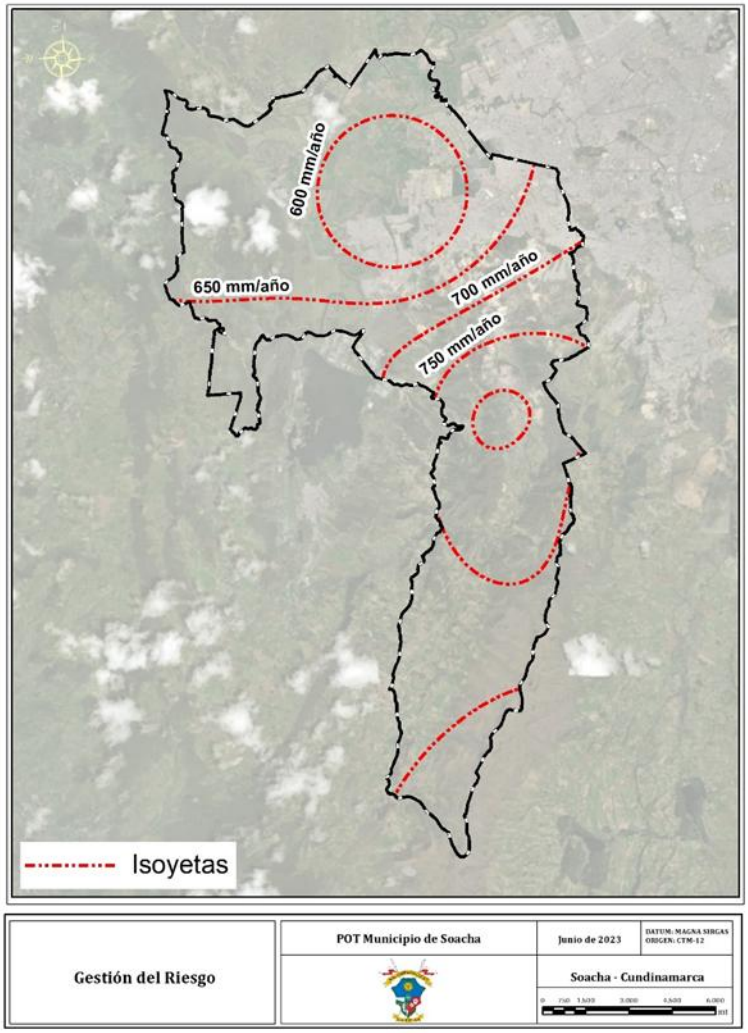


Figura 116. Isoyetas sobre el municipio de Soacha.
Fuente: UNAL

Como estación representativa de toda el área se tomó la estación Granja San Jorge (COD: 21205720) la cual se encuentra en la parte media de la cuenca del Río Soacha.

De acuerdo al estudio de INGETEC (2014) después de estudiar distribuciones como la Normal, LogNormal, LogGumbel, Weibull, Shifted Weibull, Fréchet y Valores Extremos Generalizada (GEV), se encontró que esta última proporciona un mejor ajuste a las series. La estructura de la ecuación se presenta a continuación:

$$I = \frac{c * T^m}{D^e + f}$$

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se muestran los parámetros de la ecuación IDF de la estación Granja San Jorge reportado por el estudio de (INGETEC, 2014).

Tabla 62. Parámetros de Ecuación IDF estación Granja San Jorge

PARÁMETROS	
C	1423.88
E	1.012
F	16.396
M	0.163

Fuente: INGETEC, 2014

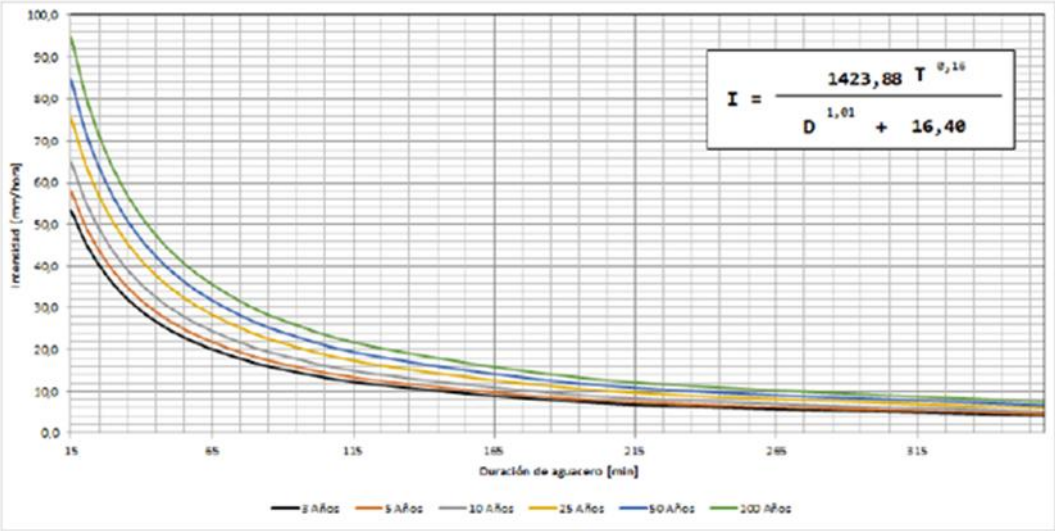


Figura 117. Curvas IDF estación Granja San Jorge

Fuente: INGETEC, 2014

Tabla 63. Intensidad de precipitación estación Granja San Jorge [mm/h].

INTENSIDAD MÁXIMA OBTENIDA A PARTIR DEL ANÁLISIS DE FRECUENCIA																
Duración		15	20	25	30	35	40	45	50	60	75	90	120	180	240	360
P. Retorno	3	53,4	45,87	40,18	35,74	32,17	29,25	26,81	24,74	21,43	17,85	15,28	11,86	8,18	6,24	4,22
	5	58,05	49,86	43,68	38,85	34,97	31,79	29,14	26,9	23,3	19,4	16,61	12,89	8,89	6,78	4,59
	10	65,01	55,83	48,91	43,5	39,16	35,61	32,64	30,12	26,09	21,72	18,6	14,44	9,96	7,59	5,14

INTENSIDAD MÁXIMA OBTENIDA A PARTIR DEL ANÁLISIS DE FRECUENCIA																
	25	75,5	64,84	56,8	50,52	45,48	41,35	37,9	34,98	30,3	25,23	21,6	16,77	11,57	8,82	5,97
	50	84,55	72,61	63,61	56,58	50,93	46,31	42,45	39,17	33,93	28,25	24,19	18,78	12,95	9,88	6,69
	100	94,68	81,32	71,23	63,36	57,04	51,86	47,53	43,87	38	31,64	27,09	21,03	14,51	11,06	7,49

Fuente: INGETEC, 2014

La intensidad de la lluvia se determina para una duración igual al tiempo de concentración (Tc) que es cuando se espera que todos y cada uno de los puntos de la cuenca están aportando, a la vez, al caudal de escorrentía superficial directa. Con el Tc y utilizando las curvas IDF de las estaciones de precipitación de la zona se determina la tormenta de diseño y la precipitación total. Se construyó un hietograma por el método del Bloque alterno para la precipitación de cada periodo de retorno y duración de 60 min, considerando que el tiempo de concentración promedio para las microcuencas dentro de las cuencas del Río Soacha y Quebrada Tibanica es de 50 min (Ver imagen 117).

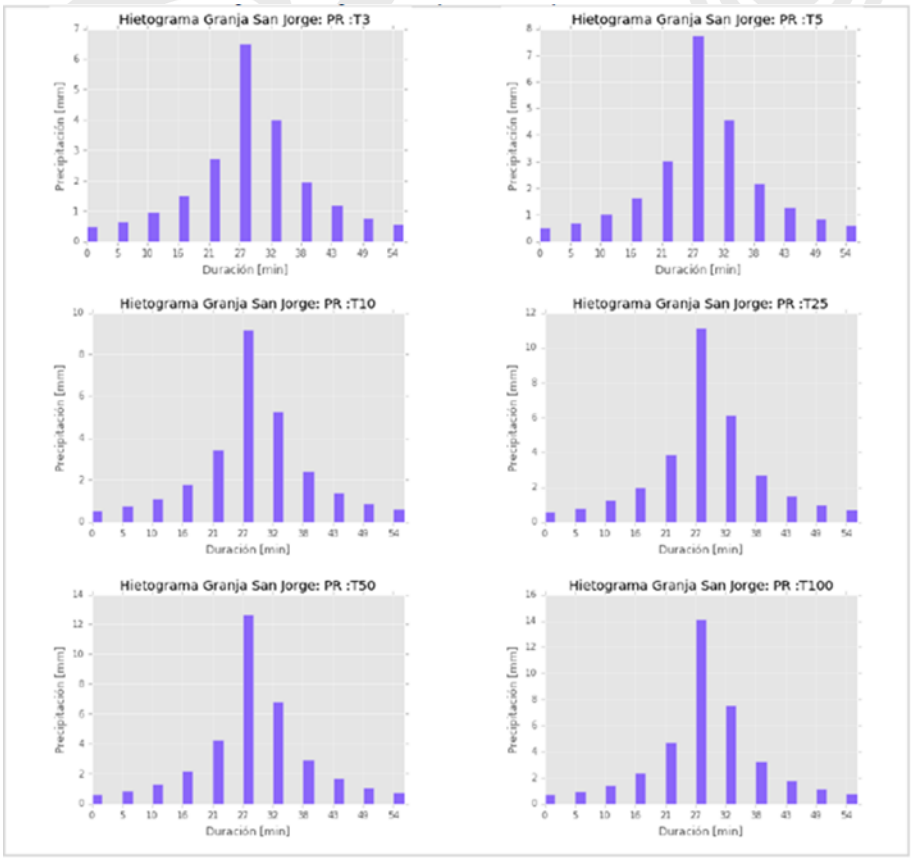


Figura 118. Hietograma usado para diferentes periodos de retorno.
Fuente: UNAL

2.4.4.10.4. CURVA NÚMERO

El método del servicio de conservación de suelos de la curva número involucra la determinación del valor de la curva número que tiene el dominio en valores desde 0 a 100 y es función de la textura, la cobertura, tipo de tratamiento superficial que éste presente, de su condición hidrológica y los antecedentes de humedad del suelo que pueda relacionarse con la precipitación en los 5 días anteriores. Entre menor sea el número de curva, más bajo es el potencial de escorrentía. En el numeral se presenta la caracterización desde el punto de vista de suelos y cobertura vegetal en el área del municipio (Imagen n° 112 e Imagen n° 113).

La zona de estudio se caracteriza por tener altas pendientes en su parte alta y pendientes bajas en la zona del valle del río Bogotá, con zonas pavimentadas en el área del casco urbano del municipio de Soacha. La humedad antecedente del suelo está definida en tres grupos:

a. AMC-I: Para suelos secos.

b. AMC-II: Para suelo intermedios.

c. AMC-III: Para suelos húmedos.

Inicialmente se utiliza los números de curva (CN por su sigla en inglés) propuestos por la SCS para suelos tipo II, es decir para condiciones antecedentes de humedad intermedia. Sin embargo, dados los objetivos del estudio, se usó el número de curva para suelos tipo III (condiciones antecedentes de humedad alta) con el objetivo de conservar un factor de seguridad a la hora de definir los caudales de diseño. Para pasar del CN tipo II al CN tipo III se emplea la siguiente expresión:

$$CN(III) = \frac{23 * CN(II)}{10 + 0.13 * CN(II)}$$

Para la clasificación de los suelos, dentro de uno de los cuatro grupos hidrológicos definidos por la metodología. Los números de curva han sido tabulados por el Soil Conservation Service (SCS) con base en el tipo y uso del suelo. Se definen cuatro grupos de suelos:

a. Grupo de suelo A: alta infiltración (baja escorrentía). Suelos derivados de rocas metamórficas cubiertos con vegetación (bosque o rastrojo alto) con grado de meteorización 30/50 según Brand (1988) y con discontinuidades en la matriz de suelo producto del proceso de descomposición de la roca. Las estructuras heredas funcionan como canales de flujo principales. La pendiente en este grupo de suelo debe ser inferior a un 7 [%]. También se incluyen los suelos que presentan un efecto geológico marcado por diaclasas y bandeamientos, y cuyo buzamiento se da en ángulos mayores a 60°.

b. Grupo de Suelo B: Infiltración moderada (escorrentía moderada). Suelos derivados de rocas metamórficas, ígneas o sedimentarias poco denudados con grado de meteorización 0/30 según Brand (1988) y con discontinuidades difícilmente cartografiable en campo. Las estructuras heredas ya no son tan importantes en la permeabilidad del conjunto, por lo cual la permeabilidad primaria es la que controla el flujo de agua en el suelo. La pendiente en este grupo de suelo debe ser inferior a un 10[%].

c. Grupo de Suelo C: Infiltración baja (escorrentía de moderada a alta). Suelos residuales derivados de cualquier tipo de roca, y cuyo grado de meteorización se clasifique como residuales maduros (Brand, 1988), en los cuales las propiedades y minerales del material parental no son fácilmente identificables. Esta formación tiene como característica principal que está cubierta por pastos manejados y sus pendientes varía entre un 5 y 15 [%].

d. Grupo de Suelo D: Muy poca infiltración (alta escorrentía). Suelos derivados de rocas metamórficas, ígneas y sedimentarias, con grado de meteorización entre 0/90, donde la pendiente media excede 15%. El tipo de vegetación en este grupo no es de mayor importancia ya que el fuerte gradiente topográfico impide la recarga de los acuíferos en la zona, generando por el contrario un flujo hipodérmico hasta aflorar nuevamente en superficie y hacer parte del agua que se aporta al canal principal de la cuenca.1 En este grupo hay las áreas urbanizadas con poca vegetación (10 [%]).

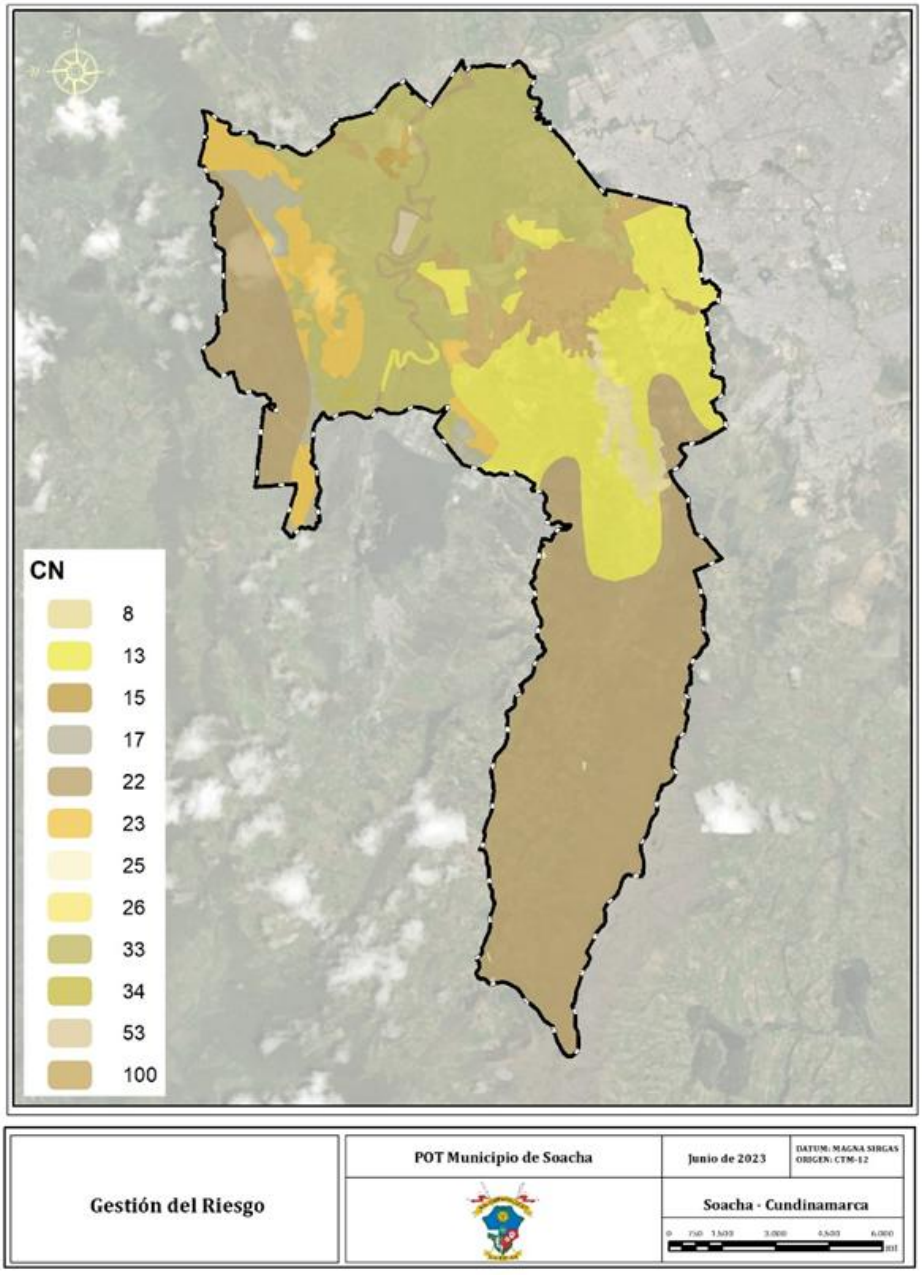


Figura 119. Curva número (Condición hidrológica II) estimada para el municipio de Soacha. Fuente: UNAL

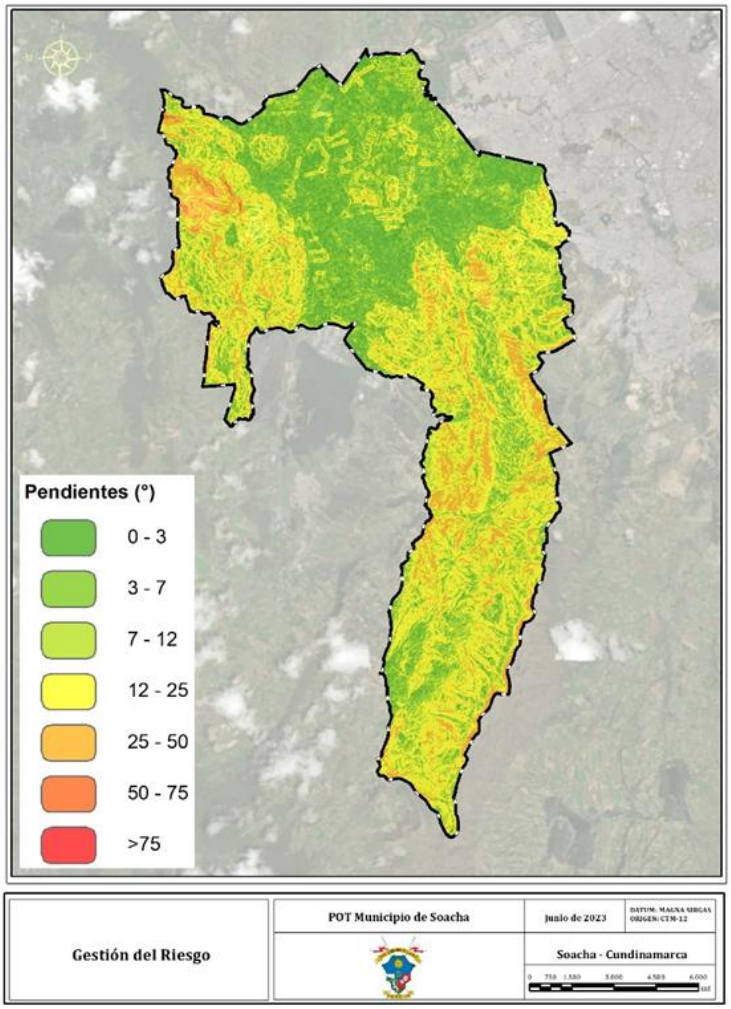


Figura 120. Mapa de pendientes y áreas aferentes estimadas para el municipio de Soacha.

Fuente: UNAL

2.4.4.10.5. CALIBRACIÓN DEL MODELO CON CAUDALES REALES

Al implementar la modelación en HEC-HMS, las variables de entradas (con excepción del área de la cuenca) se ven afectadas debido a las suposiciones previamente establecidas y a las metodologías con las que se obtienen dichos parámetros, por lo que es necesario someterlo a pruebas de calibración y validación de los datos involucrados. Mediante un análisis de caudales de la estación Granja San Jorge 2120572, se dispone de datos históricos con los que se podrá calibrar el modelo. Se descartan los valores de las estaciones Las Huertas 21208060, La Isla 21208020 y PTE Bosa 21207010 debido a que su información no es reciente y presentan registros cortos. La metodología que se lleva a cabo consta de los siguientes pasos:

a. Ejecución del modelo para un periodo histórico de caudales registrados en la cuenca de análisis.

b. Comparación de las hidrógrafas de salida con los registros reales de la estación.

c. Afinar los parámetros de entrada como lo es el tiempo de concentración y la curva número hasta obtener caudales cercanos a los registrados mediante la optimización (calibración automática).

Se presentan los siguientes caudales máximos anuales para la estación la Granja San Jorge, con los que mediante un ajuste de probabilidad proporcionará los valores reales, que permitan ajustar el número de curva para cada subcuenca (Imagen n° 114).

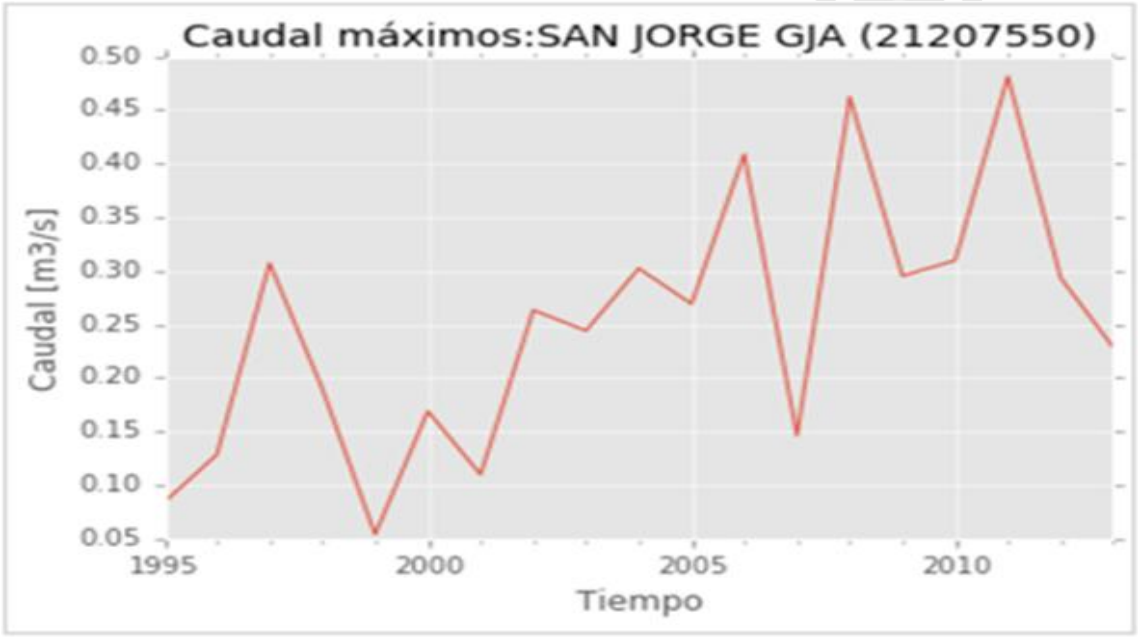


Figura 121. Serie anual de caudales máximos estación San Jorge.

Fuente: UNAL

Se tienen los siguientes resultados morfométricos de las cuencas de influencia hasta la estación de análisis (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Tabla 64. Índices morfométricos para cada área aferente.

NOMBRE	PERIMETRO [km]	AREA [km2]	ELEV. MAX. [msnm]	ELEV. MIN. [msnm]	ELEV MEDIA [MSNM]	LON AXIAL [KM]	LONG. CAUCE PRINCIPAL [km]	CN	L [pies]	S [%]	Sc	T rezago [min]	Tc [min]
S1	4.7	1.1	3616.0	3292.0	3414.0	1.9	2.2	75	7380.7	39.7	14.4	28.9	48.1
S2	9.6	4.5	3456.0	3145.0	3287.0	3.3	3.9	75	12894.4	35.5	7.9	60.9	101.4
S3	8.0	2.6	3321.0	2957.0	3154.0	3.0	3.6	75	11790.0	35.5	10.1	50.1	83.5
S4	10.5	5.1	3298.0	2817.0	3023.0	4.1	5.0	75	16336.8	37.9	9.7	66.6	110.9

Fuente: UNAL.

Aplicando la modelación en HEC-HMS, adicionando los caudales reales conocidos a través de la opción Discharge Gages (Medidores de Caudal), se adjudican los valores a un elemento de la cuenca. Posteriormente se ejecuta el modelo y mediante una comparación con los Hidrogramas generados que no se ajusten, se efectúan cambios hasta conseguir una superposición satisfactoria (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

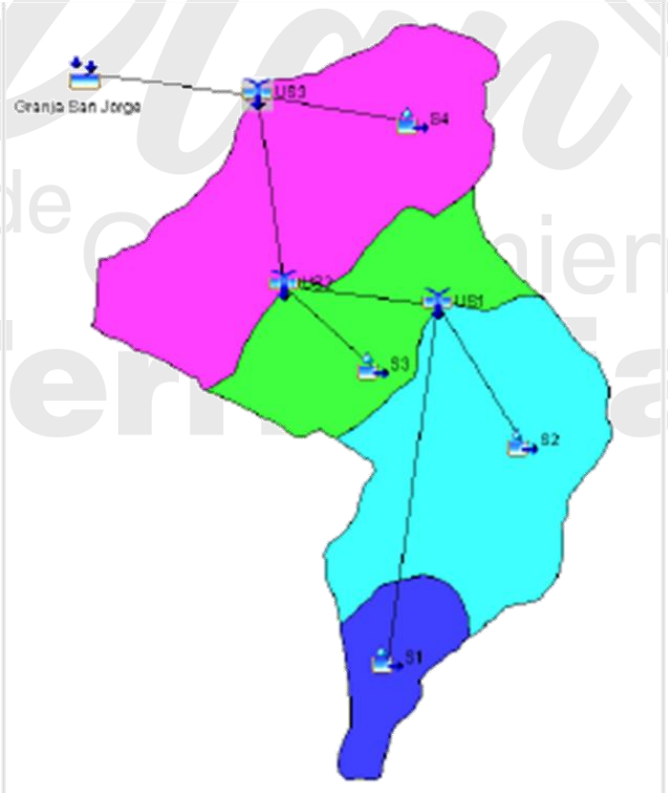


Figura 122. Modelo hidrológico estación Granja San Jorge
Fuente: UNAL.

El proceso de optimización se desarrolla con la opción Optimization Trial donde se selecciona el parámetro a variar para cada elemento (subcuenca). Realizando el ajuste a la curva número se obtienen los siguientes caudales para los diferentes periodos de retorno. HMS emplea dos métodos de búsqueda y aproximación a los valores óptimos: El método del gradiente univariado que cambia un parámetro por iteración y el método de Nelder & Mead que los cambia todos en una misma iteración (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Tabla 65. Índices morfométricos para cada área aferente.

UNIDAD	AREA [km2]	CAUDAL [m3/s] PARA PERIODO DE RETORNO [AÑOS]					
		T3	T5	T10	T25	T50	T100
S2	4.5	0.2	0.5	1	1.9	2.8	3.8
S1	1.1	0.1	0.2	0.5	0.9	1.3	1.8
US1	5.6	0.2	0.6	1.2	2.3	3.4	4.6
S3	2.6	0.1	0.3	0.7	1.3	1.9	2.6
US2	8.1	0.4	0.9	1.9	3.5	5.3	7.2
S4	5.1	0.2	0.5	1.1	2	3	4.1
US3	13.3	0.6	1.4	2.9	5.4	8	10.9

Fuente: UNAL.

La confiabilidad de los resultados se evalúa con la función objetivo calculado cambiando el valor de uno de los parámetros ya optimizados entre 0.995 y 1.005 veces su óptimo, mientras todos los demás se conservan invariantes. La medida de sensibilidad es el cambio en porcentaje del valor de la función objetivo como resultado del cambio en 1% del óptimo del parámetro. La validación de los resultados del modelo después de calibrados los parámetros se hace directamente con la simulación del programa al cual se le introduce un registro de caudales de verificación y se compara el hidrograma de salida calculada con los valores reales. (HEC-HMS, 2016)

2.4.4.10.6. DETERMINACIÓN DE LOS CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS

Como resultado del modelo HEC-HMS, se obtuvieron caudales máximos esperados para diferentes periodos de retorno en cada una de las unidades identificadas en las cuencas del Río Soacha y Tibanica, las cuales se muestran en la Tabla n° 65.

Tabla 66. Caudales para diferentes periodos de retorno [m3/s].

UNIDAD	AREA [km2]	CAUDAL [m3/S] PARA PERIODO DE RETORNO [AÑOS]					
		T3	T5	T10	T25	T50	T100
S2	4.5	0.2	0.5	1	1.9	2.8	3.8

UNIDAD	AREA [km2]	CAUDAL [m3/S] PARA PERIODO DE RETORNO [AÑOS]					
		T3	T5	T10	T25	T50	T100
S1	1.1	0.1	0.2	0.5	0.9	1.3	1.8
US1	5.6	0.2	0.6	1.2	2.3	3.4	4.6
S3	2.6	0.1	0.3	0.7	1.3	1.9	2.6
US2	8.1	0.4	0.9	1.9	3.5	5.3	7.2
S4	5.1	0.2	0.5	1.1	2	3	4.1
US3	13.3	0.6	1.4	2.9	5.4	8	10.9
S5	2.6	0.1	0.3	0.6	1.1	1.7	2.3
S6	1.2	0.1	0.2	0.4	0.8	1.2	1.7
US4	17.0	0.7	1.9	3.7	7	10.4	14.3
S7	3.4	0.2	0.4	0.8	1.5	2.2	3
US5	20.4	0.9	2.2	4.5	8.4	12.6	17.2
S8	2.3	0.1	0.4	0.7	1.4	2.1	2.8
S9	1.3	0.1	0.2	0.3	0.7	1	1.3
US6	24.1	1.1	2.8	5.5	10.3	15.4	21.1
S11	2.2	0.1	0.4	0.7	1.3	2	2.7
S10	1.9	0.1	0.3	0.6	1.2	1.8	2.5
US7	28.2	1.3	3.4	6.8	12.7	18.9	25.8
S12	2.2	0.1	0.3	0.6	1.1	1.6	2.2
S13	0.7	0.1	0.2	0.3	0.6	0.8	1.1
US8	31.1	1.5	3.8	7.5	14	21	28.7
S15	0.4	0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.7
US9	31.5	1.5	3.8	7.6	14.3	21.3	29.2
Soacha1	31.5	1.5	3.8	7.6	14.3	21.3	29.2
S16	0.5	0.1	0.1	0.3	0.5	0.7	1
US10	32.1	1.5	3.9	7.7	14.5	21.7	29.6
Soacha2	32.1	1.5	3.9	7.7	14.5	21.7	29.6
S17	0.8	0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.9
S18	0.4	0	0	0.1	0.2	0.2	0.3
US11	33.3	1.6	4	8	15	22.5	30.7
Soacha3	33.3	1.6	4	8	15	22.5	30.7
S19	0.6	0	0.1	0.2	0.4	0.5	0.7
US12	33.8	1.6	4.1	8.2	15.4	23	31.4
Soacha4	33.8	1.6	4.1	8.2	15.4	23	31.4
S20	0.6	0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.5
US13	34.4	1.6	4.2	8.3	15.6	23.3	31.8
Soacha5	34.4	1.6	4.2	8.3	15.6	23.3	31.8
S22	0.1	0	0	0	0.1	0.1	0.2
US14	34.5	1.6	4.2	8.3	15.6	23.4	32

UNIDAD	AREA [km2]	CAUDAL [m3/S] PARA PERIODO DE RETORNO [AÑOS]					
		T3	T5	T10	T25	T50	T100
Soacha6	34.5	1.6	4.2	8.3	15.6	23.4	32
S24	0.7	0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.6
US15	0.7	0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.6
S21	0.3	0	0	0.1	0.1	0.2	0.3
US16	1.0	0	0.1	0.2	0.4	0.7	0.9
US17	35.5	1.7	4.3	8.6	16.1	24	32.8
Soacha7	35.5	1.7	4.3	8.6	16.1	24	32.8
S25	1.3	0.1	0.2	0.4	0.8	1.1	1.5
S14	0.3	0	0.1	0.2	0.3	0.5	0.6
US19	1.6	0.1	0.2	0.5	0.9	1.3	1.8
S23	0.2	0	0	0.1	0.2	0.2	0.3
US18	37.2	1.8	4.5	9.1	17	25.4	34.7
Soacha8	37.2	1.8	4.5	9.1	17	25.4	34.7
US20	37.2	1.8	4.5	9.1	17	25.4	34.7
Soacha9	37.2	1.8	4.5	9.1	17	25.4	34.7
Salida	37.2	1.8	4.5	9.1	17	25.4	34.7
T1	1.5	0.1	0.4	0.7	1.3	1.9	2.7
T3	0.9	0.1	0.2	0.3	0.6	1	1.3
T2	0.8	0.1	0.1	0.3	0.5	0.8	1.1
U1	3.2	0.3	0.7	1.3	2.4	3.6	5
T4	1.6	0.1	0.3	0.6	1.1	1.6	2.2
T6	0.9	0.1	0.2	0.3	0.6	1	1.3
T5	0.4	0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.8
U2	1.3	0.1	0.3	0.5	1	1.5	2
T8	1.1	0.1	0.2	0.3	0.6	0.8	1.1
T7	0.8	0.1	0.2	0.4	0.8	1.1	1.5
U3	8.0	0.6	1.5	3	5.5	8.3	11.3
T9	1.2	0.1	0.2	0.4	0.7	1	1.4
Terreros	9.2	0.6	1.7	3.3	6.1	9.1	12.5
Tibanica1	9.2	0.6	1.7	3.3	6.1	9.1	12.5
T10	1.4	0.1	0.2	0.4	0.8	1.2	1.7
T11	1.3	0.1	0.3	0.5	1	1.4	2
U4	11.9	0.8	2.1	4.2	7.8	11.7	15.9
Tibanica2	11.9	0.8	2.1	4.2	7.8	11.7	15.9
T13	0.4	0	0.1	0.1	0.3	0.4	0.5
U5	12.4	0.8	2.2	4.3	8.1	12	16.4
T12	1.7	0.1	0.3	0.5	1	1.5	2
T21	0.1	0	0	0	0	0.1	0.1

UNIDAD	AREA [km2]	CAUDAL [m3/S] PARA PERIODO DE RETORNO [AÑOS]					
		T3	T5	T10	T25	T50	T100
U16	14.2	0.9	2.4	4.8	9	13.4	18.3
U17	14.2	0.9	2.4	4.8	9	13.4	18.3
T20	0.1	0	0	0	0.1	0.1	0.1
U12	14.3	0.9	2.4	4.8	9	13.4	18.3
Tibanica3	14.3	0.9	2.4	4.8	9	13.4	18.3
T16	1.1	0.1	0.2	0.4	0.7	1.1	1.5
U6	1.1	0.1	0.2	0.4	0.7	1.1	1.5
T17	0.4	0	0	0.1	0.1	0.2	0.2
U9	1.5	0.1	0.2	0.4	0.8	1.2	1.6
T18	0.5	0	0	0.1	0.2	0.2	0.3
T14	0.3	0	0.1	0.1	0.2	0.4	0.5
T15	0.2	0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4
U7	0.2	0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4
U8	0.5	0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.9
U11	0.5	0	0.1	0.2	0.4	0.6	0.9
U10	2.6	0.1	0.3	0.7	1.2	1.8	2.5
U13	16.9	1.1	2.7	5.5	10.2	15.3	20.9
Tibanica4	16.9	1.1	2.7	5.5	10.2	15.3	20.9
T19	0.6	0	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4
U14	17.5	1.1	2.8	5.5	10.3	15.4	21.1
Tibanica5	17.5	1.1	2.8	5.5	10.3	15.4	21.1
T22	0.9	0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.6
U15	18.4	1.1	2.8	5.6	10.4	15.6	21.3
Tibanica6	18.4	1.1	2.8	5.6	10.4	15.6	21.3
T23	2.6	0.1	0.1	0.3	0.6	0.8	1.1
U18	21.1	1.1	2.8	5.6	10.5	15.7	21.5
Tibanica7	21.1	1.1	2.8	5.6	10.5	15.7	21.5
T24	2.2	0.1	0.2	0.4	0.7	1	1.3
La Isla	23.2	1.1	2.9	5.8	10.7	16.1	22

Fuente: UNAL.

2.4.5. RESULTADOS ESTUDIO HIDRÁULICO DEL MUNICIPIO DE SOACHA

Para la modelación hidráulica, con la cual se busca determinar las alturas de lámina de agua para caudales con diferentes periodos de retorno, tanto en el Río Soacha como en la quebrada Tibanica, se consideró la información disponible de secciones transversales y modelos digitales de terreno.

En el Río Soacha y la quebrada Tibanica se consideró un tramo de 23.8 km y 10.3 km de longitud respectivamente, lo que permitió evaluar los parámetros hidráulicos de mayor interés como niveles de creciente, velocidades de flujo y verificar la capacidad hidráulica de los canales para los diferentes caudales de diseño asociados a los diversos períodos de retorno (TR = 3, 5, 10, 25, 50 y 100 años).

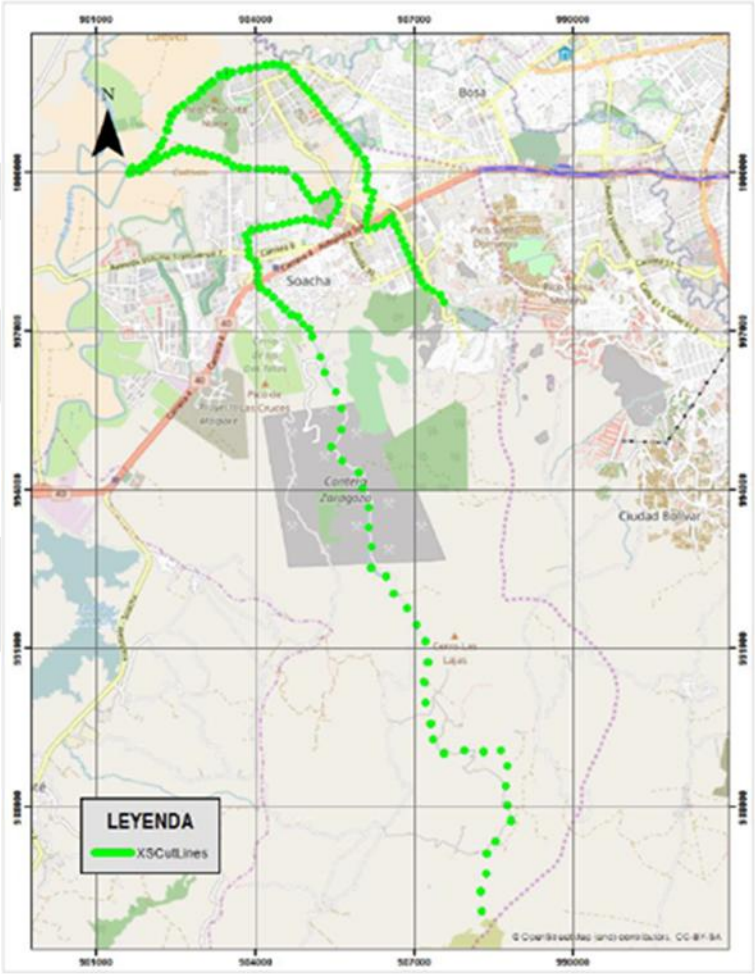


Figura 123. Localización de secciones transversales disponibles

Fuente: UNAL.

Para la evaluación hidráulica se implementó la topología en herramientas SIG, en las cuales se definieron las secciones transversales sobre la corriente, partiendo de la topografía a detalle basada en 69 secciones transversales existentes en la quebrada Tibanica y 100 secciones transversales en el Río Soacha, cuya ubicación se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** Las secciones transversales, así como la geometría del canal fueron exportadas con la ayuda del GeoRas directamente al HEC – RAS, para la posterior simulación hidráulica de los caudales de diseño estimados.

2.4.5.1. RESULTADOS DEL MODELO DIGITAL DEL TERRENO

Teniendo en cuenta la metodología consignada en el acápite 1.5.4.4., sobre la generación del modelo digital del terreno DEM para el municipio de Soacha, a continuación, se presentan los respectivos resultados obtenidos.

2.4.5.1.1. PROCESAMIENTO DE DATOS LIDAR

Para poder examinar y realizar tareas de geoprocesamiento sobre los archivos ". LAS", es necesario proporcionar un formato a los datos que permita su fácil manejo; el primer paso consistió en la creación de un LAS dataset (. lasd) el cual almacena los archivos LIDAR en formato binario y permite la visualización de los datos como nubes de puntos con información de sus coordenadas x, y, z relacionado a la información de posición y altura (Imagen n° 117).

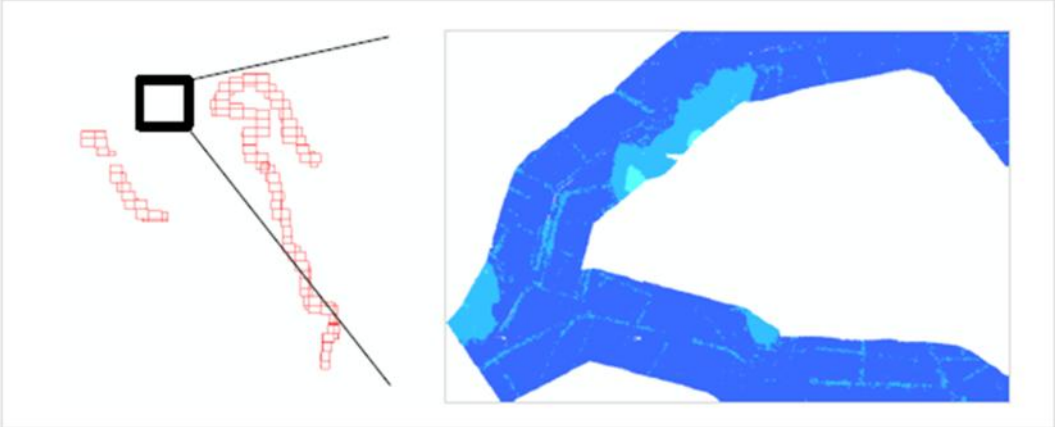


Figura 124. Visualización de datos en formato binario.
Fuente: UNAL.

2.4.5.1.2. CLASIFICACIÓN DE PUNTOS

Cada uno de estos puntos tiene asignada una clasificación de acuerdo a la categoría a la que pertenece; de acuerdo a las estadísticas realizadas para los datos LIDAR del área de estudio se identificaron ocho clases como se muestra en la Tabla n° 51.

Tabla 67. Categorías datos LIDAR del Rio Soacha y la Quebrada Tibanica.

VALOR	TIPO DE CLASIFICACIÓN	VALOR	TIPO DE CLASIFICACIÓN
1	No asignado	6	Edificio
2	Suelo	7	Ruido bajo
3	Vegetación baja	8	Clave de modelo
5	Vegetación alta	13	Protector de cable

Fuente: UNAL.

Para obtener información que represente únicamente mediciones del terreno se realizó un filtro mediante el cual se seleccionó únicamente las clasificaciones 2 y 7 como se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

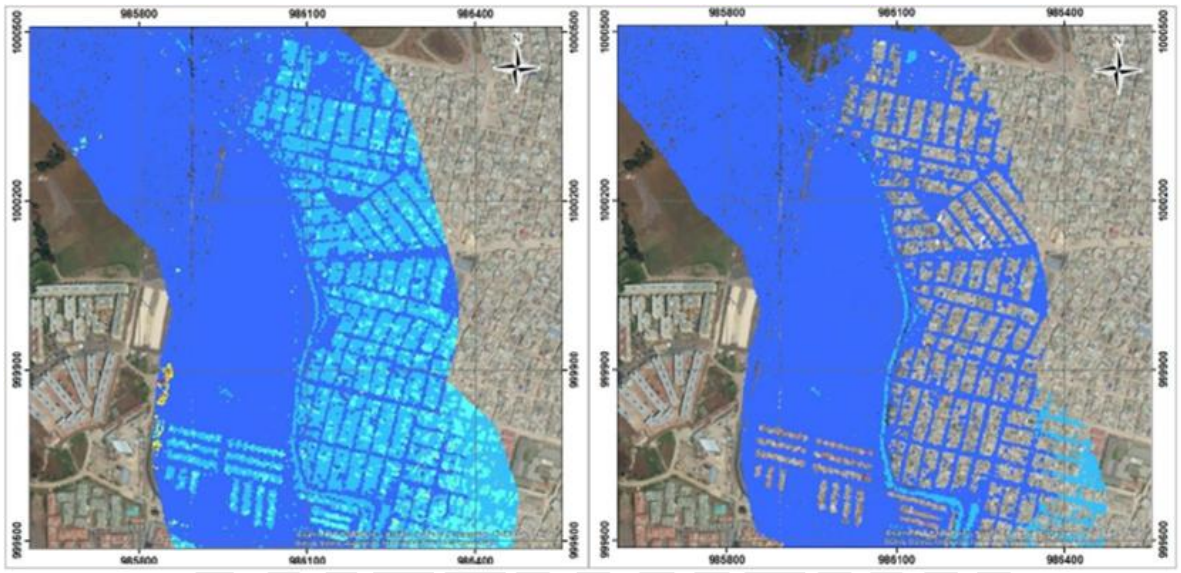


Figura 125. Clasificación de datos LIDAR del Rio Soacha

Fuente: UNAL.

Una vez filtrados los archivos se procedió a transformarlos en entidades multipuntos con el fin de poder incorporar la información de las batimetrías realizadas en campo.

2.4.5.1.3. IMPORTACIÓN DE DATOS BATIMÉTRICOS

Los datos de las profundidades obtenidos de los levantamientos batimétricos fueron incorporados como entidades de puntos; como resultados se obtuvo una capa con 1407 datos, 841 corresponden dientes al Río Soacha y 566 a la Quebrada Tibanica (Tabla n° 52).

Tabla 68. Número de secciones transversales y puntos de batimetrías realizadas previamente en el Rio Soacha y la Quebrada Tibanica.

Nombre	No. de secciones transversales	No. de puntos
Rio Soacha	100	841
Quebrada Tibanica	69	566
Total	169	1407

Fuente: UNAL.

2.4.5.1.4. UNIÓN DE DATOS LIDAR E INFORMACIÓN BATIMÉTRICA

Para la unión de la información se procedió a eliminar los datos LIDAR dentro de la franja de cada uno de los cauces a excepción de puentes y estructuras, de esta forma dichos puntos de elevación fueron remplazados por las mediciones batimétricas realizadas en campo.

2.4.5.1.5. CORRECCIÓN DE ERRORES

Debido a que ciertas secciones de los cauces no contaban con información LIDAR, se identificaron los puntos con mayor profundidad de las batimetrías, es decir, aquellos que representan el fondo del canal y se procedió a trazar isolíneas asumiendo un comportamiento homogéneo y ajustándolas de tal forma que fueran perpendiculares a la sección del canal. A partir de esta información se calcularon las pendientes entre punto y punto y se procedió a interpolar cada 0.5 m de distancia (Imagen n° 119).

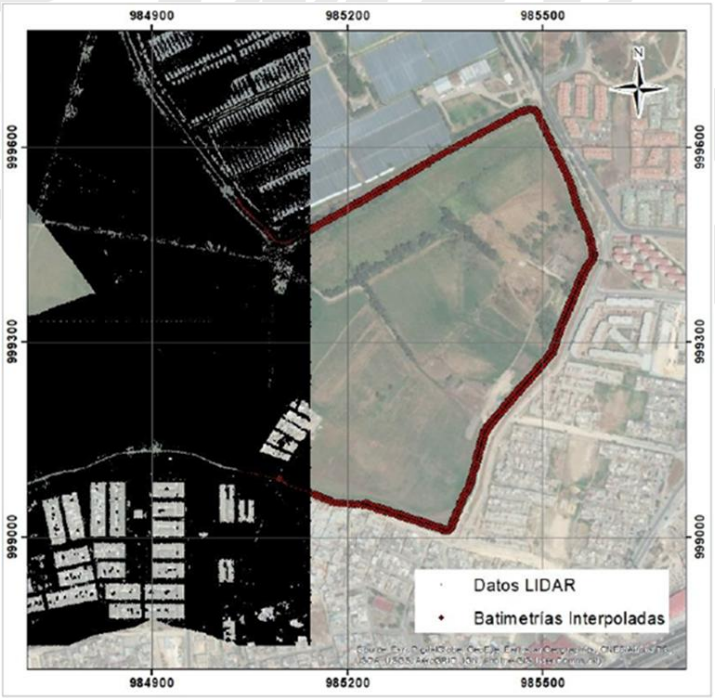


Figura 126. Interpolación de datos batimétricos en áreas sin información LIDAR. Río Soacha. Fuente: UNAL.

2.4.5.1.6. GENERACIÓN DEL MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL (DEM)

Finalmente se unió toda la información obtenida del procedimiento anteriormente descrito y se generó un archivo TIN con información de posición y de profundidad de ambos cauces (Imagen n° 120).

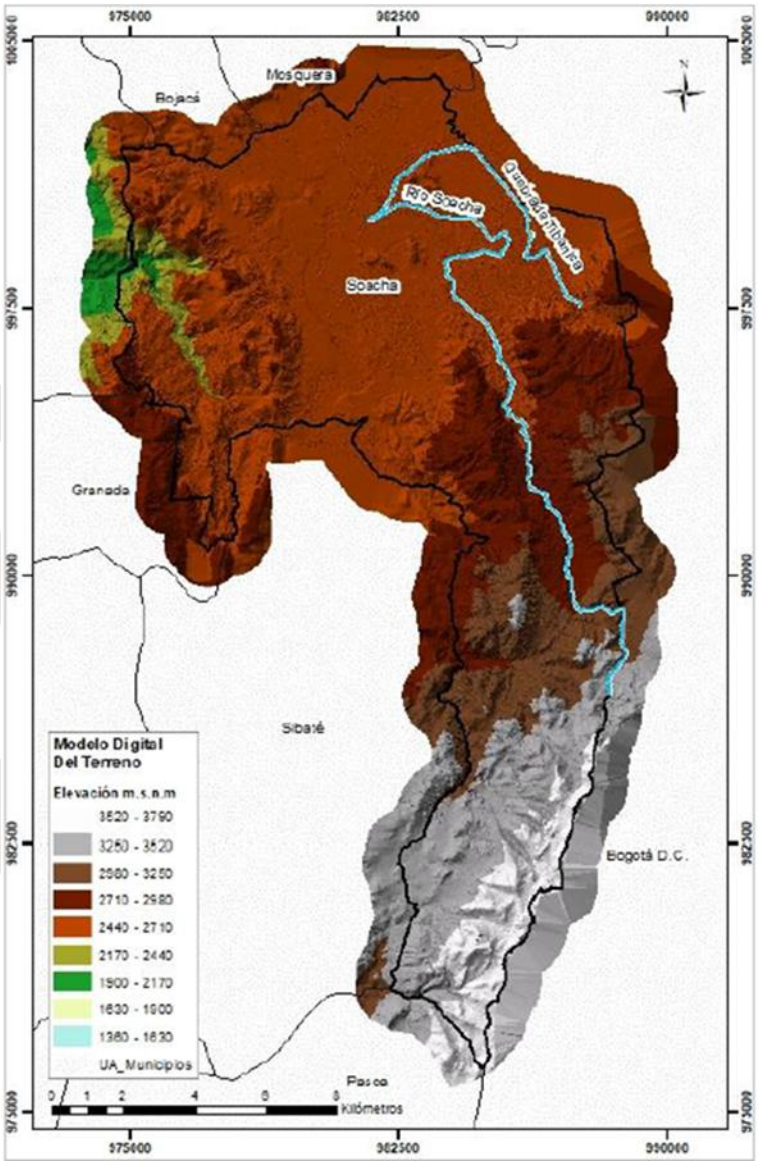


Figura 127. DEM Rio Soacha y Quebrada Tibanica en formato TIN.

Fuente: UNAL.

2.4.5.1.7. DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, RONDA HIDRÁULICA Y ANÁLISIS CATASTRAL

A partir de toda la información topográfica y batimétrica del área de estudio, se constituyó el modelo topológico, empleando el módulo HEC-GeoRAS del cuerpo de Ingenieros del Ejército de los Estados Unidos, con el cual se generan las secciones transversales directamente del modelo digital de terreno (DTM) cada 100 m y que posteriormente son exportadas al software HEC-RAS donde se lleva a cabo el tránsito y análisis hidráulico del tramo evaluado.

En la Imagen n° 121 se muestra la configuración usada para estimar las posibles áreas de inundación originadas por posibles caudales altos en la quebrada Tibanica y Río Soacha. En la quebrada Tibanica se consideró un tramo de 10.2 km, mientras que para el Río Soacha se tomó un tramo de 23.8 km, con el objeto de aprovechar las secciones transversales disponibles.

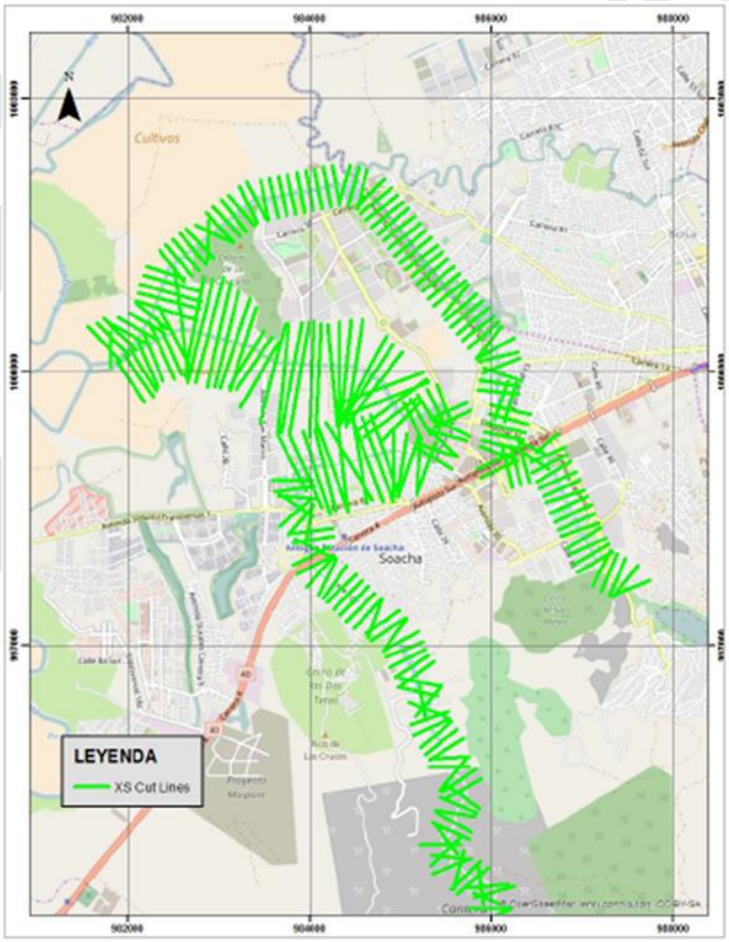


Figura 128. Secciones transversales estimadas en la Quebrada Tibanica y Río Soacha
Fuente: UNAL.

Adicionalmente, se determinó el valor del coeficiente de rugosidad de Manning para el cauce principal y márgenes izquierda y derecha de cada corriente. Para el presente estudio se utilizaron valores de coeficiente de Manning de 0.05 para las bancas y 0.039 para el cauce principal, tomados de estudios previos y que se ajustan a las características de los cauces vistas en campo y las referencias bibliográficas.

Para efectos de la modelación, el flujo se asumió como flujo permanente y a partir de esta suposición, se obtienen los niveles de la superficie del agua para cada sección transversal y para cada uno de los periodos de retorno analizados. Los coeficientes de expansión y contracción se adoptan a partir de referencias bibliográficas. Para el coeficiente de expansión se adoptó el valor por defecto que sugiere el software (0.30); de igual forma, para el coeficiente de contracción (0.10).

Una vez configurado la geometría, alimentado con los caudales calculados en el estudio hidrológico, establecidas las condiciones de frontera y definido el coeficiente de rugosidad n, se corrió el modelo, estableciendo las profundidades de flujo para cada sección y caudal máximos para varios periodos de retorno.

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** e **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta el perfil hidráulico del Río Soacha y Quebrada Tibanica y en las siguientes figuras se presentan secciones transversales en la Quebrada Tibanica y Río Soacha respectivamente.

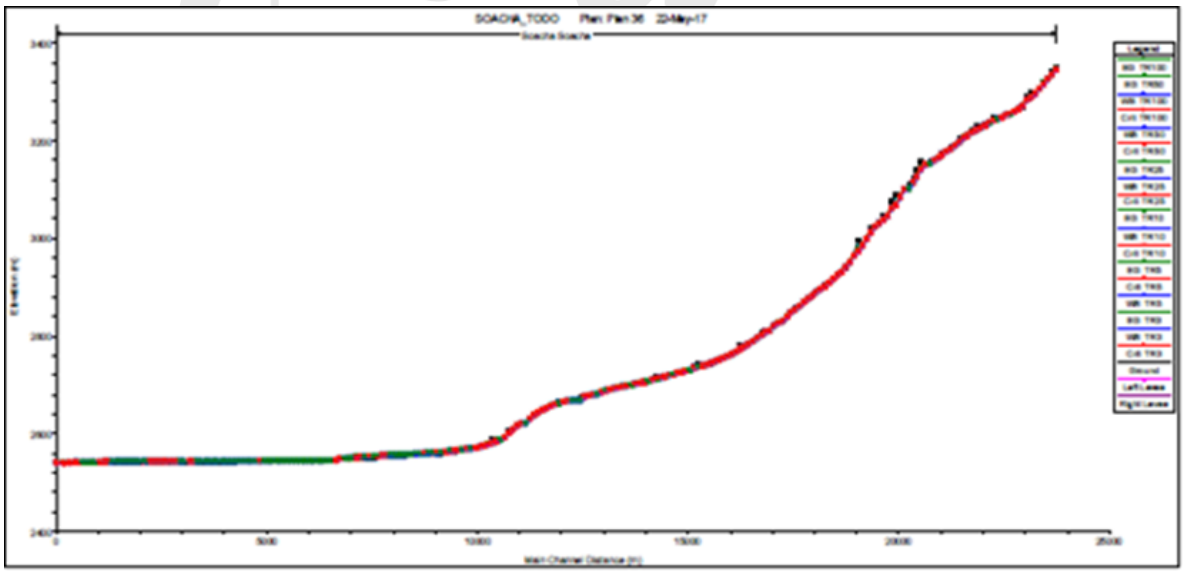


Figura 129. Perfil Hidráulico del Río Soacha

Fuente: UNAL.

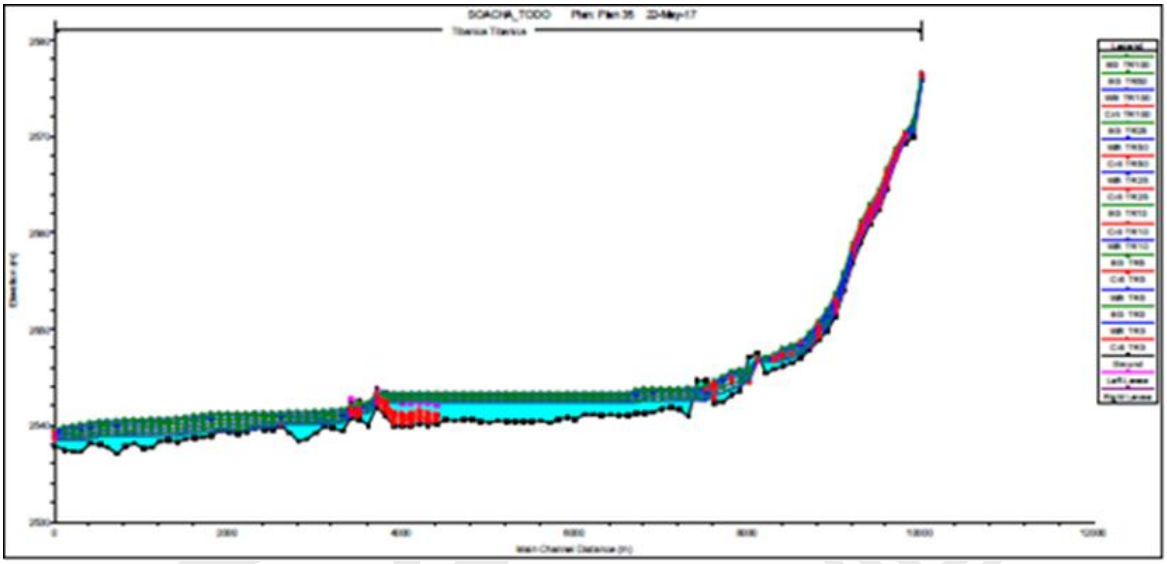


Figura 130. Perfil hidráulico Quebrada Tibanica.

Fuente: UNAL.

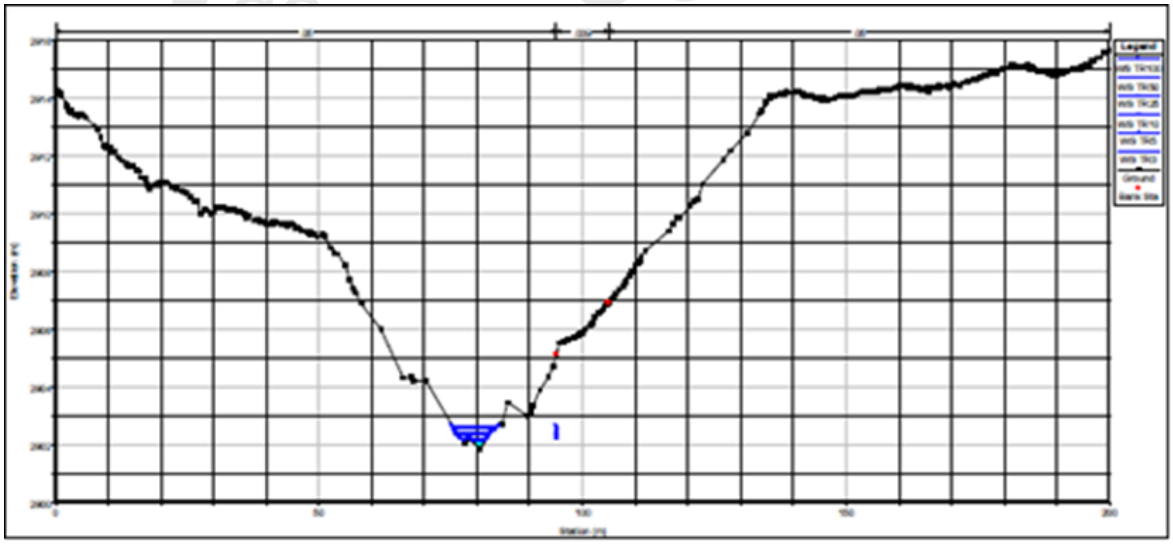


Figura 131. Sección transversal Río Soacha.

Fuente: UNAL.

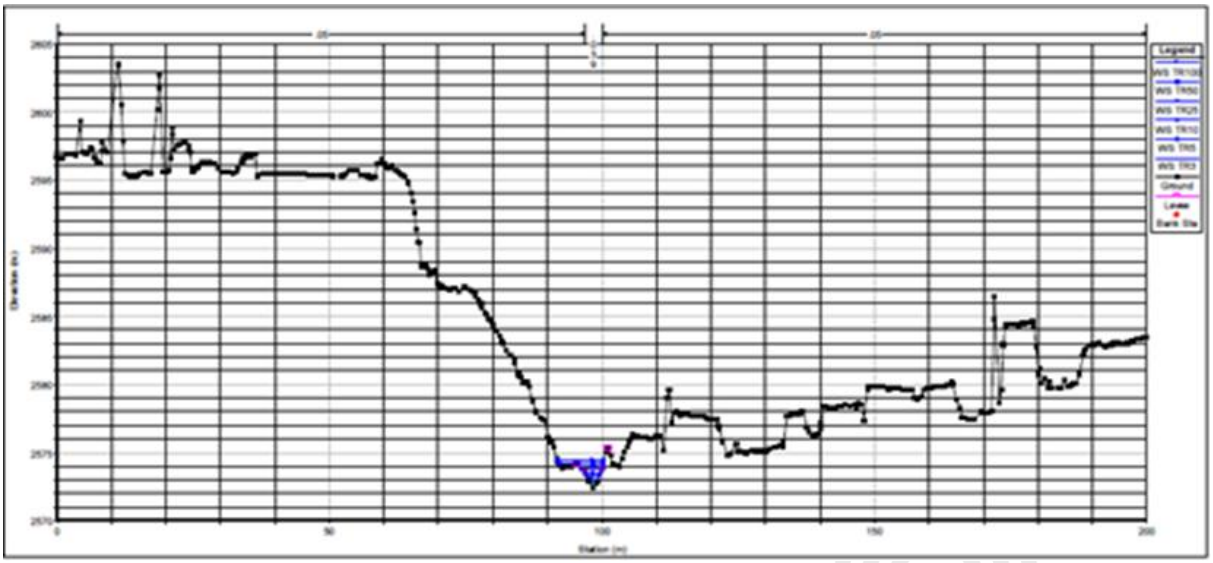


Figura 132. Sección transversal en la Quebrada Tibanica.

Fuente: UNAL.

2.4.5.1.8. RESULTADOS DE LAS MODELACIONES HIDRÁULICAS

Se consideraron tres escenarios para determinar la amenaza por inundación asociada a altos caudales en el Río Soacha y Quebrada Tibanica:

a. Escenario actual: que corresponde a secciones del Río Soacha y de la Quebrada Tibanica considerando los diques existentes.

b. Escenario sin diques actuales: dadas las condiciones de los diques vistos en campo, en donde se observó diques sin una adecuada compactación o conformación y materiales no adecuados, además de evidencias de procesos de socavación en las patas de los diques y cauce. Si bien se planteó este escenario como un elemento de soporte a la identificación de las zonas de amenaza por inundación, dado como la condición hipotética más crítica al suponer un escenario sin diques, fue necesario realizar suposiciones sobre el inicio el cauce natural y el dique existente. Por tanto, una vez obtenidos los resultados de la modelación de manchas de inundación que se muestran en la Imagen n° 126, se reconocen resultados inconsistentes, esto debido al alto grado de incertidumbre sobre el cual se generó el modelamiento.

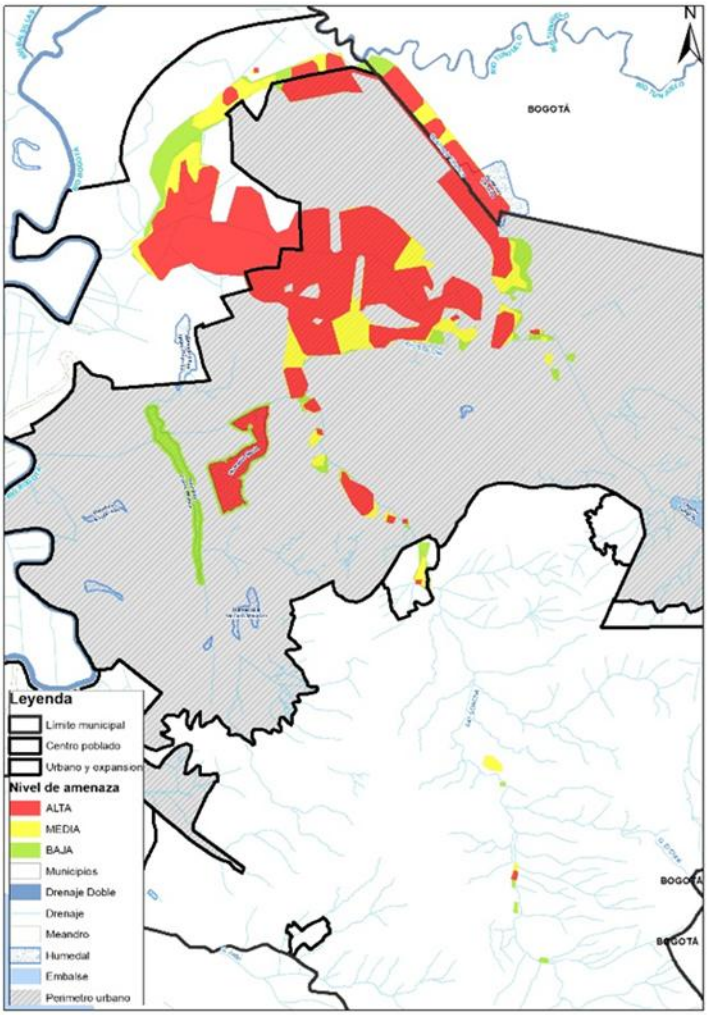


Figura 133. Sección transversal en la Quebrada Tibanica

Fuente: UNAL.

c. Escenario de cambio climático: se asume que por efecto del cambio climático y que este puede aumentar las precipitaciones en la quebrada Tibanica y Río Soacha, por lo cual se realizó una modelación hidráulica e hidrológica bajo el supuesto de un aumento en la intensidad de la precipitación del 30% a los presentados en la anterior figura**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

En el SIG se presentan los resultados de la modelación hidráulica realizada para el Río Soacha y quebrada Tibanica teniendo en cuenta los caudales máximos instantáneos previamente estimados

en este informe con períodos de retorno de 3 a 100 años. Como se puede ver los resultados de las modelaciones incluyen los siguientes aspectos para cada sección transversal considerada:

a. Identificación de la Sección Transversal.

b. Caudal total.

c. Cota de fondo mínima de la sección transversal.

d. Nivel de la lámina de agua.

e. Lámina de agua máxima en la sección transversal.

f. Nivel de la profundidad crítica.

g. Nivel de la línea de energía.

h. Pendiente de la línea de energía.

i. Velocidad promedio del agua.

j. Área hidráulica.

k. Ancho de la superficie libre de agua de la sección transversal.

l. Número de Froude.

2.4.5.1.9. DETERMINACIÓN DE LA ZONA DE AMENAZA POR INUNDACIÓN, RONDA HIDRÁULICA Y ANÁLISIS CATASTRAL

Dado que la amenaza se define como la probabilidad de ocurrencia del fenómeno en estudio, el criterio hidrológico de cálculo de avenidas, mediante la determinación del periodo de retorno de los caudales y niveles máximos se usa en el presente documento para determinar el grado de la amenaza por inundación. El concepto de periodo de retorno o recurrencia, se define como el tiempo promedio, en años, en que el valor de caudal pico de una corriente es igualado o superado por lo menos una vez; el inverso del periodo de retorno se entiende como una medida de la probabilidad de que se presente el fenómeno en este lapso de tiempo. Implementando el modelo HEC-RAS se obtuvieron los niveles correspondientes a los caudales estimados en las cuencas del Río Soacha y Quebrada Tibanica. La proyección de estos niveles sobre el terreno, de acuerdo con la topografía del terreno, permite obtener zonas de inundación para una probabilidad de ocurrencia en un periodo de retorno determinado.

Como se mencionó anteriormente, una vez exportados los resultados del modelo hidráulico a un SIG, se pueden visualizar los niveles de agua en el Modelo Digital de Elevación. A través de la aplicación de la herramienta Hec-GeoRAS se importan los datos resultados de la modelación hidráulica con el modelo HEC-RAS. Este proceso crea las zonas de inundación para cada perfil, es decir, para los caudales de cada periodo de retorno considerados. No existe un periodo de retorno especificó para cada nivel de amenaza, la literatura define rango de periodos de retorno. En la Tabla n° 53 se muestra los rangos de periodos de retorno comúnmente usados para establecer el nivel de amenaza y el periodo de retorno usado en este estudio con el criterio de mayor probabilidad de ocurrencia dentro del rango recomendado, conforme a lo requerido por el decreto 1807 de 2014, la Tabla n° 53 muestra los criterios de clasificación de la amenaza alta, media y baja.

Tabla 69. Nivel de amenaza utilizada en el documento.

RANGO USALMENTE USADO	PERÍODO DE USADO RETORNO (AÑOS)	DESCRIPCIÓN	CLASIFICACIÓN
Tr<25	5	Evento con probabilidad de ocurrencia de 0.2	Alta
25 < Tr < 100	25	Evento con probabilidad de ocurrencia de 0.04	Media
Tr>100	100	Evento con probabilidad de ocurrencia de 0.01	Baja

Fuente: UNAL.

2.4.6. INVENTARIO DE EVENTOS DE INUNDACIÓN EN EL MUNICIPIO DE SOACHA

2.4.6.1. HUMEDALES

Tiene en cuenta diversas fuentes de información para su construcción. En un primer lugar, se recopila información de tipo general, posteriormente se aborda información sobre eventos relacionados con áreas inundables como humedales y otros como la cuenca del Rio Bogotá.

Los humedales, definidos como tierras húmedas que se desarrollan en ambientes sometidos a inundaciones periódicas, lapso en el que pueden formarse espejos de agua o expandirse los existentes, también son conocidos como planos de inundación (regiones de fotografía plano cóncavas), que se forman por la deposición de sedimentos arrastrados por un río y sometidas a inundaciones del mismo o por ascensos del nivel de las aguas subterráneas durante los periodos de lluvia (Márquez, 2003). A través de la ley 357 del 21 de Enero de 1997 la "Política Nacional

para Humedales de Colombia" del Ministerio del Medio Ambiente (EAAB, 2003), Colombia en su preocupación por el mantenimiento y conservación de estos ecosistemas, garantizo su participación en La Convención RAMSAR (1971), "Convención Relativa a los Humedales de importancia internacional, especialmente como hábitat de aves acuáticas", define a los humedales como "extensiones de marismas, pantanos, turberas, cuerpos de agua de régimen natural y artificial, permanentes o temporales, estancadas, corrientes, dulces, salobres y saladas, incluyendo las áreas de aguas marinas cuya profundidad no exceda los 6 metros".

Los humedales cumplen funciones de gran importancia en el ciclo hidrológico como: el control de sedimentos, de erosión de inundaciones; mantenimiento de la calidad del agua y reducción de la contaminación; mantenimiento del abastecimiento de aguas superficiales y subterráneas; apoyo a la pesca, la ganadería y la agricultura; recreación al aire libre y educación para una sociedad humana; y estabilidad climática. Pese a su importancia estos se han afectado por la expansión urbana y crecimiento poblacional, a partir de la contaminación por residuos sólidos y vertimientos de aguas residuales domesticas e industriales y usos inapropiados del suelo en proyectos urbanísticos creando una alta presión sobre estos hábitats.

Es el caso del municipio de Soacha donde a causa de la expansión urbana se han alterado estos ecosistemas que requieren una intervención por parte del estado con el propósito de garantizar su permanencia en el tiempo y restaurar sus características naturales. Establecido en el proceso de Consolidación del Sistema de Humedales de la Jurisdicción CAR en el 2011 se identificaron 9 humedales, ubicados de la siguiente manera (Ver Tabla n° 54 e Imagen n° 127).

Tabla 70. Listado de humedales del municipio de Soacha.

NOMBRE	MPIO.	NORTE	ESTE	ALTURA MSNM	ÁREA (HA)	OFICINA PROVINCIAL
Represa Terreros	Soacha	997416.98	987559.80	2660	18	Soacha
Humedal Chucua-Puyana	Soacha	997416.98	987559.80	2600		Soacha
Humedal El Cajón	Soacha	999734.69	978321.70	2580		Soacha
Humedal El Charquito	Soacha	994108.92	977957.07	2497		Soacha
Humedal El Vínculo (Maiporé)	Soacha	996277.52	983264.79			Soacha
Humedal La Muralla	Soacha	1000952.34	979411.01	2560		Oficina Provincial Soacha
Humedal Laguna de Neuta	Soacha	998250.54	983005.97	2600	30	Soacha
Humedal Tierra Blanca	Soacha	998396.64	982113.02	2600	55 m	Soacha

NOMBRE	MPIO.	NORTE	ESTE	ALTURA MSNM	ÁREA (HA)	OFICINA PROVINCIAL
Humedal Tibanica	Soacha	1000473.9	985946.05	24		Soacha-EAAB

Fuente: UNAL.

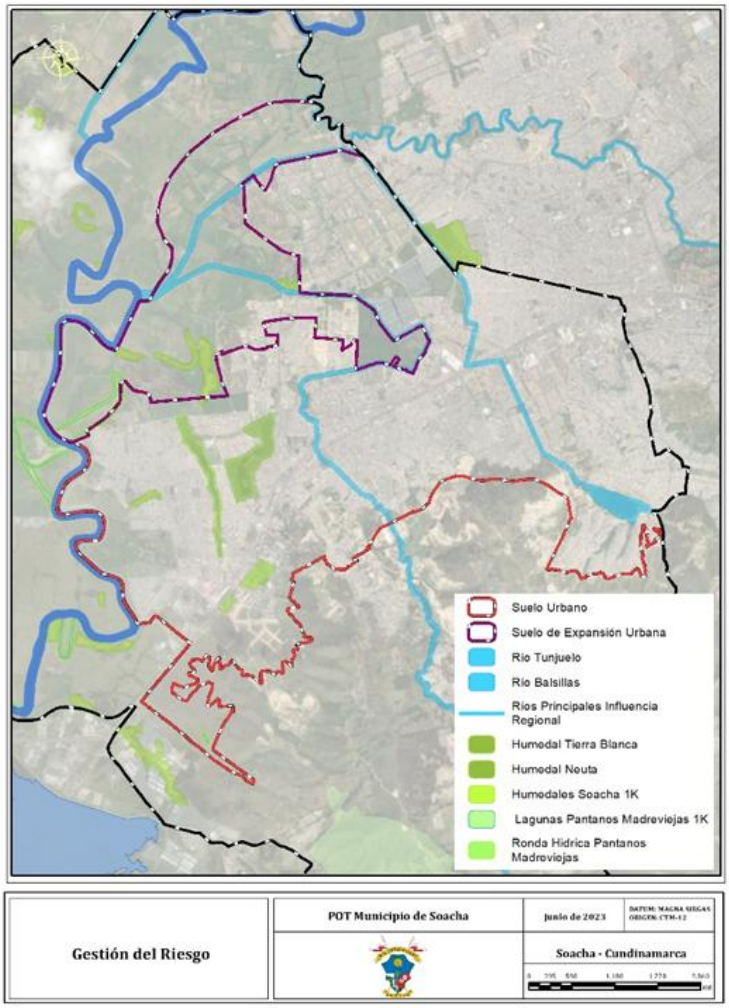


Figura 134. Ubicación de humedales en el municipio de Soacha.

Fuente: UNAL.

Según lo establece La Convención RAMSAR los humedales, frente a la amenaza de inundaciones, cumplen un papel fundamental amortiguando las crecientes producidas por las precipitaciones fuertes, evitando inundaciones, es decir, sirven como elementos reguladores.

En cuanto a los humedales de Tierra Blanca, Neuta, Maiporé, Terreros y Tibanica están localizados dentro del perímetro urbano de Soacha. A continuación, se analiza la función de los humedales Tierra Blanca y Neuta frente a la amenaza de inundación dentro del municipio. Lo anterior atendiendo a que los además los humedales de Tibanica y la Represa Terreros se evalúan entre de los principales cauces (Quebrada Tibanica) que afectan al municipio en los periodos de eventos máximos.

a. El humedal de Tibanica: se encuentra en la zona de Potrero Grande en límites con Bosa, en la Comuna Tres del Municipio de Soacha, colindando con los barrios La Esperanza, Manzanares, Charles de Gaulle y Villa Anay en el sector norte, en su sector nororiental se encuentran las urbanizaciones: Júpiter, Barlovento, los Barrios Los Olivos 2º sector y predios aún sin construir como: El Junco, La Tingua y El Erial y al oriente con el barrio José María Carbonell. En los límites con el municipio de Soacha se presentan taludes de relleno donde se asientan barrios ilegales, además del aislamiento de este sistema con la quebrada Tibanica, que fue su fuente de abastecimiento principal de agua, actualmente convertida en canal de drenaje con altos índices de contaminación por aguas residuales domesticas e industriales. En este ecosistema se cuenta con la presencia de especies de aves importantes para la conservación como la Tingua Bogotana (Rallus semiplumbeus), la Tingua pico verde (Gallinula melanops bogotensis) y dentro de ellas la población de Cucarachero de pantano la más grande de todos los humedales de Bogotá. El Humedal Tibanica ha sido declarado Parque Ecológico Distrital y exige al Municipio de Soacha que se pronuncie sobre la ronda hidráulica que le corresponden, haciendo cumplir la normatividad respecto a esta clase de suelo y efectuando el desalojo de quienes hoy la invaden en el sector del Barrio La María, con el propósito de terminar el cerramiento que realizó la empresa de Acueducto de Bogotá. (CAR, 2010).

Entre los Humedales de Tibanica, Neuta, San Isidro (La Muralla y El Cajón) y Tierra Blanca existe un corredor biótico, que gracias al estado rural que aún conserva el sector de La Chucua, utilizan las aves en su desplazamiento habitual. Para la recuperación y conservación de los humedales es importante mantener este corredor dentro de los planes de manejo ambiental.

a. La Represa de Terreros es el humedal más afectado dentro del municipio de Soacha, debido al vertimiento de las aguas negras de los sectores de Cazucá y Ciudadela Sucre. A este humedal hasta hace aproximadamente veinte años llegaban gran cantidad de aves migratorias, especialmente patos canadienses dado el gran cuerpo de agua que poseía y se encontraba aún el pez capitán, sin embargo, la cantidad de aguas servidas que recibe la han convertido en un ecosistema difícil de recuperar y de pronta intervención considerando que, si se hace efectivo el acueducto de la Ciudadela Sucre, esta Laguna adquiriría otras características que el Municipio debe planificar. (CAR, 2010)

Adicionalmente Soacha cuenca con varios humedales en la zona rural de San isidro y del río Bogotá.

a. San Isidro: La zona de Chucuas conocidas en Soacha como Pantanos Puyana en el sector del barrio San Isidro, presentan importante diversidad de flora y fauna y se debe conservar como tal. Ubicados sobre la vía que va al municipio de la Mesa en la vereda de Canoas se sitúan los humedales La Muralla y El Cajón, que, si bien no tienen un área muy grande, albergan aves acuáticas varias de ellas endémicas, es decir propias del altiplano. Por estar ubicados en predios privados y en zona rural, su estado de conservación es bueno, aunque el sistema vial y el desarrollo planteado para el sector de Canoas exigen que se tomen medidas respecto a su protección. Así mismo existen otras lagunas en el mismo sector de Canoas que el Municipio y la CAR deben inventariar.
b. Río Bogotá: En su paso por Soacha con su enorme carga de contaminación afecta el paisaje, el medio ambiente y la salud de los habitantes del municipio especialmente en la comuna Uno donde sectores como Ciudad Latina, Quintas de Santa Ana y San Nicolás sufren consecuencias por los olores generados por el Río y riesgo de inundación, así mismo el sector de El Charquito, en el Corregimiento Dos, sufre el impacto del represamiento del Río en la Represa del Muña, tanto en los momentos en el que el caudal se encuentra retenido como cuando se realiza la descarga al Río. (CAR, 2010)

2.4.6.1.1. HUMEDAL TIERRA BLANCA

El humedal de Tierra Blanca se ubica al sur occidente del casco urbano entre los barrios Ducales, Santa Ana y Compartir en la Comuna Uno, la cual presenta un alto estado de deterioro debido a que a él llegan las aguas residuales de este sector del municipio sin ningún tipo de tratamiento, así mismo está sufriendo un fuerte proceso de presión urbanística sobre su ronda, afectando el ecosistema que lo compone (Ver Imagen n° 128).

Figura 135. Fotografías del humedal Tierra Blanca

Fuente: UNAL

El humedal cuenta con Plan de Manejo por parte de la CAR definido en el contrato 245 de 2005 en la "Revisión y Ajuste de los Planes de Manejo Ambiental de los Humedales de Neuta, Tierra Blanca, Laguna de la Herrera y Humedal El Yulo de Acuerdo con lo Establecido en la Resolución 157 De 2004 del MAVDT", al cual se le debe dar cumplimiento; de igual manera es necesario iniciar acciones que procuren su recuperación y conservación.

Determinado en el Plan de Manejo Ambiental, donde se reconoce el deterioro ambiental en el que se encuentran los humedales de los ecosistemas Altoandinos, caso particular del Humedal de Tierra Blanca, es consecuencia de un manejo que inicio hace varios siglos, como lo indica el "Análisis Multitemporal de los Humedales Tierra Blanca y Neuta del Municipio de Soacha, Sector Compartir", donde se registra en la década de los 40 un área del humedal Tierra Blanca de aproximadamente 20 hectáreas y hacia el 2006 se perdió 5 hectáreas lo que representa el 75% del área original en 1941, con una pérdida del 25%. (Aldana & Chindicue, 2006). Como consecuencia del inapropiado manejo de estos ecosistemas la CAR identificó las siguientes problemáticas:

a. La cercanía con el casco urbano de los municipios y ciudades donde éstos se encuentran, que favorece los procesos de construcciones no planificadas sobre estos ambientes. La concepción tradicional de "urbanizar" como construcción de viviendas, opuesta a la concepción integral de "construir ciudad", involucrando todos los elementos artificiales, naturales, públicos y privados que componen un hábitat urbano balanceado y sostenible.
b. La creencia de ser considerados como pantanos y con ello la ignorancia sobre la composición, función y el valor del humedal, acompañada de una concepción errónea negativa de estos medios como insalubres, peligrosos, feos y opuestos al desarrollo.
c. La tendencia general de la alteración antrópica del territorio a acentuar los desequilibrios geográficos de nutrientes, acelerando el transporte de las mismas aguas abajo (problemas de pérdida de suelos en las laderas y eutrofización y sedimentación en cuerpos de agua). A ello, se suma la disposición final sin ningún tratamiento de aguas residuales domésticas e industriales, propia de las urbanizaciones.
d. El costo de oportunidad del suelo frente a la demanda de espacio para vivienda, traducido en el relleno con basuras y escombros para crear suelo barato, que alberga gran parte de la población con menores oportunidades de ingreso. El marginamiento social y cultural de los humedales, refuerza su condición de suelo barato para usos marginales y vivienda de sectores sociales marginados (CAR, 2006).

En particular en el Humedal de Tierra Blanca en su Zona de Ronda y la Zona de Manejo y Preservación Ambiental, respecto a la amenaza de inundación un aumento súbito en las aguas ocasionaría la restitución de los regímenes naturales del humedal, como bien lo demuestran los registros de eventos. Por tales motivos se declara en el Acuerdo 33 de 2006 al humedal de Tierra Blanca como una reserva hídrica, estableciendo franjas de protección mínimas de 30 metros no solo para este cuerpo de agua sino para el humedal de Neuta, Maiporé y el embalse de Terreros.

Además, dentro del acuerdo se definen los diferentes beneficios que desde el punto de vista ecológico y paisajístico el humedal puede desempeñar como:

a. El control de las inundaciones, ya que es una zona amortiguadora de crecientes producidas por fuertes precipitaciones, reduciendo la velocidad de circulación de las mismas.

b. La reposición de aguas subterráneas de los acuíferos de la sabana de Bogotá por procesos de infiltración.

c. La mitigación de los efectos por amortiguación física de los impactos del cambio climático; depuración de las aguas contaminadas, y un gran reservorio de la biodiversidad, dado que da sustento y albergue a una gran variedad de especies silvestres y a otras migratorias, como las aves.

d. Adicional a lo anterior, el humedal, por su ubicación geográfica, sus condiciones fisiográficas y su entorno, se evidencia como un área de belleza paisajística y gran valor ambiental, que lo convierte en un área potencial para actividades turísticas, recreativas y educativas (CAR, 2006).

Reportes generados por la Subdirección de Desarrollo Ambiental Sostenible de la unidad de Gestión del Riesgo de la alcaldía de Soacha han identificado eventos de inundación como:

a. Reconocimiento de barrios inundados por desbordamiento del Humedal en el barrio Némesis, entre otros en el 2012, a causa de obstrucción del cauce por sedimentación y los altos volúmenes de sólidos depositados en el cuerpo de agua, presentado damnificados por daños en los inmuebles de habitación y afectación en los servicios públicos de acueducto y alcantarillado, gestando problemas de salubridad en la comunidad.

b. Adicionalmente se presentaron inundaciones por temporada de lluvias en el barrio Santa Ana a causa de las lluvias, las aguas residuales de alcantarillado y aguas del humedal Tierra Blanca que desbordaron, ocasionando una afectación en el barrio Santa Ana.

Además, en el Plan de Manejo realizado por parte de la CAR, se define la ronda hidráulica del humedal a 30 metros medidos desde la orilla del cauce (CAR, 2006), por lo que se identifican 318 predios afectados con esta medida, dispuesta en el Artículo 257. Ronda Hidráulica del Acuerdo 33 del 2006, permitiendo demarcar la zona de Ronda del humedal con base al nivel de inundación máxima, para un periodo de retorno de 100 años, que corresponde a la cota 2547.50 m.s.n.m.

Los criterios técnicos e institucionales adoptados por la CAR, establecen a la zona donde se localiza el humedal Tierra Blanca, como un área geotécnicamente estable. Se realizó un análisis de estabilidad para la zona de borde del humedal, que arrojó como resultado una línea geotécnica de protección, que por su característica de borde no tiene aplicación en la definición de la zona de

ronda del humedal. Además, las especificaciones de las áreas mínimas requeridas para la protección y equilibrio ecológico del humedal se basan en el diagnóstico ambiental del humedal y las recomendaciones del Protocolo Distrital de Restauración Ecológica.

La zona de ronda del Humedal Tierra Blanca afecta en un 98.34% predios privados, con desarrollo urbanístico legalizado para los barrios La Laguna, Villa Sofía I sector, Santa Ana, Villa Sofía II sector y Ducales II sector; en proceso de legalización como Arizona y Las Margaritas; incorporadas en planos pero por fuera de los límites de legalización, como una parte del barrio Ducales II sector; sin desarrollo urbano o no incorporadas como la Hacienda Buenos Aires, La Finca El Escondite de José y el colegio campestre Santo Domingo Sabio. Los predios restantes son áreas cedidas al municipio como zonas verdes y que corresponden a los barrios Villa Italia, Villa Sofía I y II sector y compartir; y por último las zonas de invasión cuyos nombres se proponen como Villa Carola y Cedritos (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) (CAR, 2006).

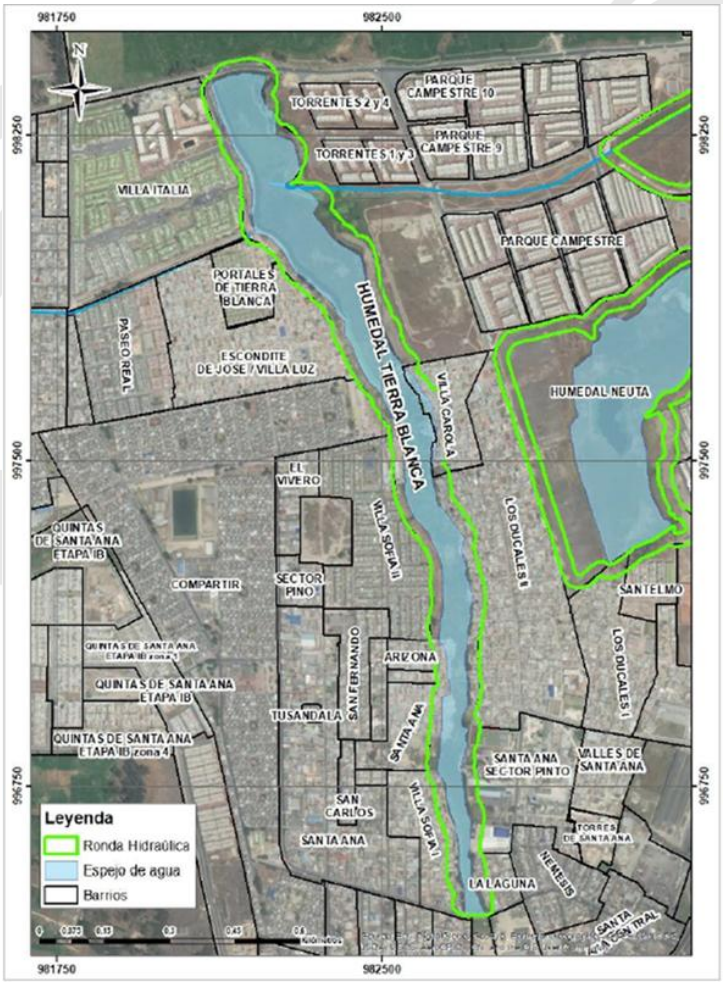


Figura 136. Ronda hidráulica humedal Tierra Blanca.
Fuente: UNAL

2.4.6.1.2. HUMEDAL NEUTA

Ubicado a aproximadamente 800 metros del parque principal del municipio, en el Barrio Quintas de la Laguna, Comuna Dos. Tiene una extensión de 30 hectáreas con su zona de ronda y es uno de los humedales que se encuentra en mejor estado de conservación en la Sabana de Bogotá a pesar de que, como todos ellos, ha sido sometido a rellenos ilegales, invasión de ronda, vertimientos de aguas residuales a través del brazo del Río Soacha que lo abastece y actividades agropecuarias que generan contaminación al ecosistema.

Con problemáticas similares a las del humedal de Tierra Blanca, con la destrucción del ecosistema en la construcción de viviendas e industrias, contaminación por desechos sólidos y aguas residuales, el humedal de Neuta ha presentado una reducción de su área original en un 43%, pasando en 1941 de 36.5 hectáreas a tan solo 20.9 hectáreas en el 2006 (Aldana y Chindicue, 2006). Debido a esta reducción se formó el humedal el Vínculo (Maiporé) en el predio del mismo nombre donde se realizará un proceso urbanístico, el Municipio debe asegurar su conservación considerando que este hacía parte del Humedal de Tierra Blanca y Neuta, antes de ser construida la autopista Sur y que debe seguir manteniendo una interconexión subterránea (Ver Imagen n° 130).

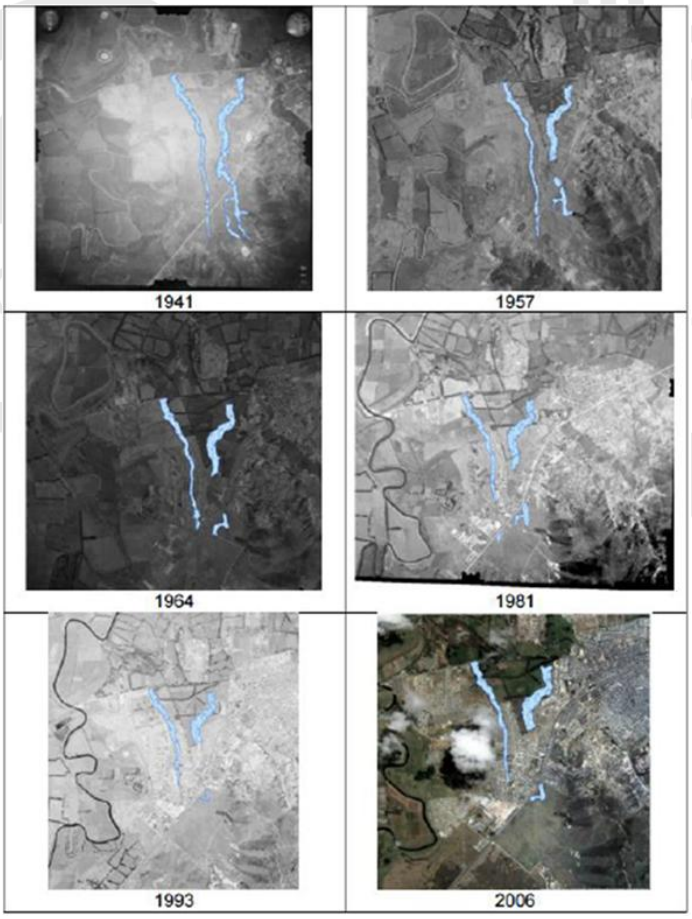


Figura 137. Línea de tiempo humedales Tierra blanca y Neuta.
Fuente: Aldana y Chindicue (2006)

Actualmente el humedal de Neuta, que junto con las acciones de recuperación lideradas por la CAR y apoyadas por la alcaldía de Soacha y empresas privadas, se entregó en el 2017 la primera fase de restauración, cuyo principal objetivo fue la limpieza de la ronda hidráulica y la remoción de las plantas acuáticas, aspectos que hacen parte de la conservación de estos ecosistemas y el control ambiental de la zona, importantes en la regulación hídrica para la prevención en épocas de invierno, además de ser lugar de tránsito de aves migratorias como el pato canadiense, especie que hoy está presente en el ecosistemas con registros de más de 200 ejemplares (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Durante esta primera etapa se entregaron 6000 m2 de espejo de agua, limpieza de 3000 m2 de la ronda hidráulica y la siembra de más de 500 árboles nativos (Periodismo Público, 2017).

Figura 138. Fotografías del humedal Neuta.
Fuente: UNAL

Para la segunda fase de restauración se tiene proyectado la econformación hidrogeomorfológica, con la que se busca reestablecer el fondo del humedal en las zonas con problemáticas de sedimentos por escombros y residuos arrojados por la comunidad durante los últimos años, permitiendo la reconformación de las islas que naturalmente tenía el ecosistema. Además, la Corporación no descarta una tercera fase de intervención en el humedal, para la creación de corredores internos, que permitirían a la comunidad disfrutar del ecosistema a través de actividades como el senderismo y el avistamiento de aves.

El Plan de Manejo realizado por parte de la CAR, se define la ronda hidráulica del humedal a 30 metros medidos desde la orilla del cauce (CAR, 2006), por lo que se identifican los siguientes predios afectados con esta medida, dispuesta en el Artículo 257. Ronda Hidráulica del Acuerdo 37 de septiembre de 2006, permitiendo demarcar la zona de Ronda del humedal con base al nivel de inundación máxima, para un periodo de retorno de 100 años, que corresponde a la cota 2550.11 m.s.n.m., la cual presenta las siguientes características sobre el terreno: 1) Sobre las márgenes oriental y sur del humedal la cota bordea en forma regular los linderos que demarcan la depresión

morfológica del humedal. 2) Sobre las márgenes occidental y norte la cota máxima de inundación se presenta de forma irregular con la orientación longitudinal del cuerpo del humedal debido a la morfología plana que caracteriza estos sectores; como consecuencia de ello la cota máxima de inundación se prolonga hacia el occidente y norte del humedal afectando terrenos bastante apartados del cuerpo del humedal.

Los criterios técnicos e institucionales adoptados por la CAR, establecen a la zona donde se localiza el humedal Neuta, como un área geotécnicamente estable, por tanto, no se definió línea de inestabilidad sino una zona de protección de márgenes. Además, las especificaciones de las áreas mínimas requeridas para la protección y equilibrio ecológico del humedal se basan en el diagnóstico ambiental del humedal y las recomendaciones del Protocolo Distrital de Restauración Ecológica.

La zona de ronda del Humedal Neuta afecta en un 87% predios privados con desarrollo urbanístico legalizado, como son los barrios Quintas de La Laguna y Lagos de Malibú (22 predios), ubicados en el costado oriental del Humedal y 4 predios sin desarrollo urbano o caracterizados como de mayor extensión, ubicados en los costados oriental y sur del humedal, de igual forma se afectan también 4 zonas de cesión al municipio de Soacha (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** e **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) (CAR, 2006).

Tabla 71. Listado de predios con influencia de inundaciones del humedal Neuta

FID	NOMBRE	DIRECCIÓN
0	CAICEDO * ISAURA	--
1	PROVINSA-PROMOCIONES-DE-VIVIENDA-	AREA DE RESERVA
2	MUNICIPIO-DE-SOACHA	ZONA VERDE COMUNAL N 2 AMBIENTAL
3	MUNICIPIO-DE-SOACHA	ZONA DE MANEJO Y PROTECCION AMBIEN
4	INVERSIONES-SEGOVIA-PUYANA-S-EN-C	Lo 3
5	INVERSIONES-SEGOVIA-PUYANA-S-EN-C	C 7 7B 01 Lo
6	MUNICIPIO-DE-SOACHA	ZONA LAGUNA NEUTA TIV
7	MUNICIPIO-DE-SOACHA	AFECTACION 1
8	ALEJO GUTIERREZ NESTOR-ALBERTO	Zonas De Cesión Y Vías Mz 8
9	LAGOS-DE-MALIBU-LTDA	ZONA DE AFECTACION POR LAGUNA
10	MUNICIPIO-DE-SOACHA	AFECTACION 2
11	SARMIENTO CELEITA JOSE-HUMBERTO	C 2 S 15A 14 Mz 118 Lo 1 P 2
12	MUNICIPIO-DE-SOACHA	ZONAS LIBRES Y PARQUEOS
13	MUNICIPIO-DE-SOACHA	Zonas Libres y Parqueos Etapa 4
14	MUNICIPIO-DE-SOACHA	Zonas Libres y Parqueos Etapa 5
15	MUNICIPIO-DE-SOACHA	ZONAS LIBRES Y PARQUEOS Et 5
16	MUNICIPIO-DE-SOACHA	ZONAS LIBRES Y PARQUEOS
17	MUNICIPIO-DE-SOACHA	ZONAS LIBRES Y PARQUEOS Et 6
18	ORGANIZACION-CONSTRUCTORA-CONSTRU	--
19	ORGANIZACION-CONSTRUCTORA-CONSTRU	--
20	ORGANIZACION-CONSTRUCTORA-CONSTRU	HUMEDAL
21	MUNICIPIO-DE-SOACHA	Zonas Libres y Parqueos Etapa 6
22	RAMIREZ BELTRAN NUVIA-SUSANA	K 7D 6 18 S Mz K Lo 10
23	HENAO PARDO PEDRO-PABLO	K 7C 6 11 S Mz K Lo 8
24	DIAZ DIAZ EUGELIO	
25	RICO MONTES YOLANDA	K 7C 6 05 S Mz K Lo 9

Fuente: UNAL

Figura 139. Ronda hidráulica del humedal Neuta
Fuente: UNAL

2.4.6.2. CUENCA DEL RÍO BOGOTÁ

En el estudio de amenazas y vulnerabilidad de la cuenca del río Bogotá, realizado a una escala 1:50.000 a partir de la información disponible, se utilizó el método explicito empírico (combinación de mapas cualitativos y mapeo directo), para lo cual los factores de análisis se combinan mediante el uso de puntajes ponderados que se asignan a cada uno. El puntaje es dado por el especialista a cada factor para indicar el grado de contribución a la inestabilidad. La suma de los puntajes de todos los factores da como resultado un mapa de valores numéricos, los cuales se pueden dividir en rangos para definir zonas con distintos niveles de amenaza relativa. Para la amenaza por inundación se tiene en cuenta el estudio de hidrología e hidráulica, donde se determinan los niveles de agua para diferentes periodos de retorno, la zona de amenaza alta está dada por el nivel correspondiente al periodo de retorno de 100 años, la amenaza media está dada por una franja paralela al límite

de la zona de amenaza alta que dependiendo de la legislación que se aplique puede tener 1.5 m en Bogotá (Decreto 1106 del 31 de Julio de 1986) o más, la zona de amenaza alta más la zona de amenaza media en el caso del presente estudio se define como zona de ronda. Como para los objetos del presente estudio no es posible obtener secciones transversales a los cursos de los ríos, esta actividad se debe dirigir hacia el cruce de mapas cualitativos como son los de suelos, en particular lo referente a los suelos que se inundan periódicamente, el mapa de geomorfología en donde se identifican formas de relieve y formaciones superficiales susceptibles de sufrir inundaciones y el mapa de pendientes (CAR, 2006)

A continuación, se presentan los mapas en los cuales se identifican las áreas de alto, medio y bajo grado de amenaza por inundaciones, donde junto con los reportes de la Subdirección de Desarrollo Ambiental Sostenible - Gestión Del Riesgo de la Alcaldía de Soacha se justifica la amenaza de inundación del rio Bogotá sobre Soacha.

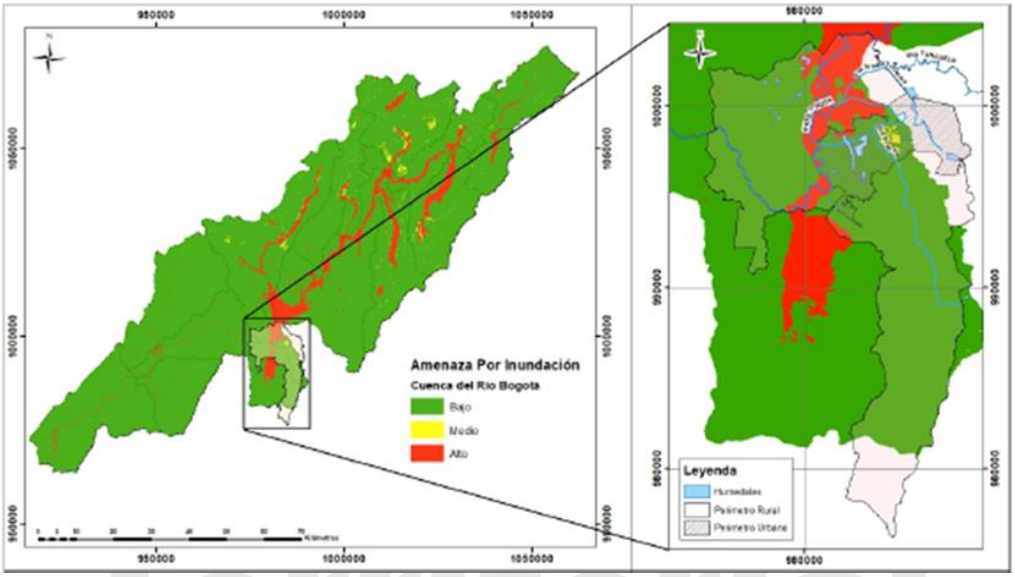


Figura 140. Inundación del Río Bogotá en Soacha.
Fuente: UNAL

El color rojo en el mapa indica las áreas de alta de alta amenaza por inundaciones, las cuales se ubican principalmente en las sub-cuencas del Río Bogotá sector Tibanica – Soacha, río Bogotá sector Salto Soacha, Embalse Muña y Embalse Tominé.

De acuerdo con las diferentes solicitudes realizadas a la CAR, no se pudo contar con el estudio más reciente sobre "Adecuación hidráulica y recuperación ambiental del río Bogotá", por cuanto hasta la fecha no ha sido entregado oficialmente a la corporación. El mismo estudio cobija el borde del Rio Bogotá aledaño al municipio de Soacha, por esta razón y con base en los trabajos hasta la fecha realizados, se supone que la adecuación hidráulica llevada a cabo por medio de los diques que están dispuestos actualmente protegen las áreas aledañas de inundaciones provenientes del Rio Bogotá al municipio.

Tabla 72. Listado de eventos de inundación del río Bogotá en el municipio de Soacha.

NOMBRE	EVENTO_DET	CAUSAS_TIP	CAT	SUBCAT	FUENTE_HID	VEREDA_LOC	SECTOR	AREA_AFECT	DESCRIPCION/ OBSERVACION	NIVEL RIES	FECHA
1. Club Deportivo y Recreativo Santa Ana X: 981080 Y: 997026 Z: 0	Debido a las aguas del río Bogotá penetran por la tubería del sistema de alcantarillado del barrio Compartir y rebosan por el pozo existente dentro de la Sociedad Club Deportivo y Recreativo Santa Ana.	Filtración de jarillones	Áreas agrícolas	Pastos	Río Bogotá	Barrio Compartir	Predio Deportivo y Recreativo Santa Ana	-	Descripción: se realizó visita al predio del Club Deportivo y Recreativo Santa Ana, para determinar la posible afectación ambiental por inundación. Observación: Se determinó que debido a la ola invernal los niveles del río Bogotá se encuentra altos en toda la Sabana de Bogotá. Que	Medio	28/11/2011

NOMBRE	EVENTO_DET	CAUSAS_TIP	CAT	SUBCAT	FUENTE_HID	VEREDA_LOC	SECTOR	AREA_AFECT	DESCRIPCION/ OBSERVACION	NIVEL RIES	FECHA
									la estructura de descarga del sistema de alcantarillado del barrio Compartir se encuentra bajo la lámina de agua del río Bogotá		
2.El Charquito X: 976324 Y: 996836 Z: 0	Las viviendas están ubicadas en la margen izquierda del río Bogotá dentro de los 30 metros de la ronda del este, en época de lluvias intensas en la zona,	Otros	zonas urbaniza-das	-	Río Bogotá	Vereda El Charquito	-	Viviendas en la margen izquierda del río Bogotá en el Centro Poblado El Charquito.	Descripción: Visita al sitio para verificar el presunto riesgo de inundación en la Vereda El Charquito. Observación: Se observa en su margen izquierda se identifica un potencial panorama de riesgo por	Medio	24/04/2011

NOMBRE	EVENTO_DET	CAUSAS_TIP	CAT	SUBCAT	FUENTE_HID	VEREDA_LOC	SECTOR	AREA_AFECT	DESCRIPCION/ OBSERVACION	NIVELRIES	FECHA
	aumenta el caudal ocasionando la inundación.								creciente del río, debido a la vulnerabilidad física existente en el lugar, por condiciones topográficas y la ubicación de viviendas cerca al cauce.		
3. Hacienda La Herradura X: 981414 Y: 999592 Z: 0	Determinación de los sitios críticos de inundación en el Municipio	Filtración de jarillones	Áreas agrícolas	-	Rio Soacha y Río Bogotá	BOSATAMA	Hacienda La Herradura	Predio Hacienda La Herradura	Descripción: Visita al sitio de la inundación para verificar el estado del jarillón del río Bogotá en el sector del predio La Herradura. Observación: Se evidenció que el jarillón del Río Bogotá	Medio	18/01/2011

NOMBRE	EVENTO_DET	CAUSAS_TIP	CAT	SUBCAT	FUENTE_HID	VEREDA_LOC	SECTOR	AREA_AFECT	DESCRIPCION/ OBSERVACION	NIVELRIES	FECHA
									presenta fisuras y grietas con anchos que oscilan entre 70 y 80 cm y profundidades considerables de aproximadamente de 1.5m.		
4. Río Bogotá X: 980870 Y: 997638 Z: 2562	-	Otros	-	-	Río Bogotá	casco urbano	Canoas	-	Descripción: Riesgo de inundación por asentamientos ilegales en la zona natural de desborde.	Medio	06/01/2015
5. Quintas de Santa Ana X: 981070	Aumento en las precipitaciones locales, incrementando caudales de	Otros	zonas urbaniza-das	Centros Urbanos Básicos o Primarios	Precipitaciones	casco urbano	Santa Ana	-	Descripción: el evento fue atendido por la Empresa de Acueducto y Alcantarillado	Medio	15/10/2014

NOMBRE	EVENTO_DET	CAUSAS_TIP	CAT	SUBCAT	FUENTE_HID	VEREDA_LOC	SECTOR	AREA_AFECT	DESCRIPCION/ OBSERVACION	NIVELRIES	FECHA
Y: 997825 Z: 2560	aguas lluvias de los Barrios Compartir, Santa Ana, Villa Sofía, Ducales y Ciudad Latina los cuales tienen una conexión errada a un punto no autorizado en la coordenada N: 998.537 E:984.9								Santa Ana del Municipio de Soacha, con una cuadrilla propia de 7 trabajadores. Se instalaron 4 bombas sumergibles de la E.A.A con capacidad de dragado de 940 lt/s., las cuales operaron.		
6. Remolino y Pradera X: 982467 Y: 1003128 Z: 0	Riesgo de desbordamiento, porque el jarillón fue seccionado por la tubería de descarga de las bombas	Jarillón irregular	Áreas agrícolas	Áreas agrícolas heterogéneas	Río Bogotá	Bosatama	Sector remolino y pradera	-	Descripción: la visita consistió en realizar un recorrido en los sectores críticos de riesgo de desbordamiento de las	Medio	20/04/2011

NOMBRE	EVENTO_DET	CAUSAS_TIP	CAT	SUBCAT	FUENTE_HID	VEREDA_LOC	SECTOR	AREA_AFECT	DESCRIPCION/ OBSERVACION	NIVEL RIES	FECHA
	hacia el río, lo que se conformó un boquete en el jarillón.								fuentes hídricas del Municipio. Observación: El jarillón fue seccionado para poder disponer la tubería de descarga de las bombas hacía el río, lo que conformó el boquete en le jarillón que tiene menos cota que el resto y por consiguiente el resto de desbordamiento del río por este lugar.		
7. Chucuavitá	Desbordamiento e inundación de los	Filtración de jarillones	Áreas agrícolas	Áreas agrícolas heterogéneas	Río Bogotá	Vereda Bosatama	-	-	Descripción: se realizó visita al predio para	Medio	02/12/2010

NOMBRE	EVENTO_DET	CAUSAS_TIP	CAT	SUBCAT	FUENTE_HID	VEREDA_LOC	SECTOR	AREA_AFECT	DESCRIPCION/ OBSERVACION	NIVEL RIES	FECHA
X: 983032 Y: 1003960 Z: 0	predios ubicados en la vereda Bosatama del municipio de Soacha, teniendo en cuenta que el río Bogotá alcanzó la capacidad Hidráulica máxima de la sección del canal y que la cota del cauce superó el nivel.								determinar los sitios críticos de inundación. Observación: Con el fin de aumentar la capacidad hidráulica de la sección del río Bogotá y evitar el desborde del mismo en el sector del predio Chucuavitá, personal adscrito a la brigada de la Corporación apoyó con la Brigada en la conformación de una trinchera.		
8. Bosque	Con las lluvias del día	Jarillón irregular	Áreas agrícolas	-	Río Bogotá	Canoas	-	-	Descripción: La Corporación	Bajo	15/05/2017

NOMBRE	EVENTO_DET	CAUSAS_TIP	CAT	SUBCAT	FUENTE_HID	VEREDA_LOC	SECTOR	AREA_AFECT	DESCRIPCION/ OBSERVACION	NIVEL RIES	FECHA
s de Canoas X: 980689 Y: 997955 Z: 2560	domingo 14 y el incremento del rio Bogotá se presentó durante el día lunes 15 un ingreso de las aguas del rio Bogotá en un predio en la vereda Canoas por una madre vieja, los propietarios instalaron un tambre provisional.								a través del FIAB y la DRSOA desde el día lunes atiende la emergencia con presencia de las brigadas El Colegio y Cabrera, 1 máquina retroexcavadora de oruga, 900 lonas blancas, guaya y ganchos, entre otros.		
9. Santa Helena Bosatama	Por "descuido" en cierre de compuertas del río Bogotá se	Filtración de jarillones	Áreas agrícolas	Cultivos permanentes	Río Bogotá	Bosatama	-	Afectación de 15 hectáreas.	Descripción: En la visita de seguimiento realizada por el FIAB y la	Bajo	15/05/2017

NOMBRE	EVENTO_DET	CAUSAS_TIP	CAT	SUBCAT	FUENTE_HID	VEREDA_LOC	SECTOR	AREA_AFECT	DESCRIPCION/ OBSERVACION	NIVELRIES	FECHA
X: 983061 Y: 1003893 Z: 2656	presenta inundación en el predio Santa Helena con afectación de 1 vivienda y la evacuación de 1 familia.								DRSOA se identificó una filtración de agua en las compuertas cerradas. La Corporación apoya al propietario con dos motobombas pequeñas para la evacuación del agua.		

2.4.6.3. INUNDACIONES SOACHA

Tabla 73. Fuente: Subdirección de Desarrollo Ambiental Sostenible, Gestión del Riesgo.

NOMBRE	EVENTO_DET	CAUSAS_TIP	CAT	SUBCAT	FUENTE_HID	VEREDA_LOC	SECTOR	AREA_AFECT	DESCRIPCION/ OBSERVACION	NIVELRIES	FECHA
1. María del Rincón y Centro	Por las fuertes lluvias se rebosa la	Otros	Zonas urbanizadas	Centros Urbanos Básicos	Quebrada Tibanica	Barrio Santa María del Rincón	-	-	Descripción: se realizó visita con el propósito de	Medio	12/07/2010

NOMBRE	EVENTO_DET	CAUSAS_TIP	CAT	SUBCAT	FUENTE_HID	VEREDA_LOC	SECTOR	AREA_AFECT	DESCRIPCION/ OBSERVACION	NIVEL RIES	FECHA
Comercial Mercurio X: 986542 Y: 999204 Z: 2561	quebrada Tibanica y las tuberías colapsaron por la cantidad de basura inundando el barrio Santa María del Rincón y los Sótanos del Centro Comercial Mercurio.			o Primarios					llevar a cabo un recorrido por las zonas inundadas por el desbordamiento del Río Soacha y la quebrada Tibanica, y con el fin de identificar las diferentes afectaciones ambientales ocasionadas por este hecho. Observación: es indispensable que el municipio implemente medidas tendientes a disminuir la problemática de las inundaciones tales como las siguientes: Realizar dragados en las fuentes hídricas con el fin de evacuar los excesos de sedimentos.		

NOMBRE	EVENTO_DET	CAUSAS_TIP	CAT	SUBCAT	FUENTE_HID	VEREDA_LOC	SECTOR	AREA_AFECT	DESCRIPCION/ OBSERVACION	NIVEL RIES	FECHA
2. Tramo Olivos I y Olivares X: 986237 Y: 999662 Z: 2561	Desbordamiento de la quebrada Tibanica y Río Soacha, por las fuertes lluvias, además grandes cantidades de basura en el cauce que impide el libre circular de las aguas.	Otros	Zonas urbanizadas	Centros Urbanos Básicos o Primarios	Quebrada Tibanica	Comuna 3	-	-	Descripción: recorrido por zonas de inundación. Observación: es indispensable que el municipio implemente medidas tendientes a disminuir la problemática de las inundaciones tales como las siguientes: - Realizar dragados en las fuentes hídricas con el fin de evacuar los excesos de sedimentos.	Alto	12/07/2010
3. Embalse terreros X: 987803 Y: 99735 Z: 2636	-	Obstrucción de cauce por infraestructuras	Zonas urbanizadas	Centros urbanos básicos o primarios	Quebrada río Claro	Casco urbano	Rincón del lago	6.67 ha	Descripción: Predio privado, en el cual se forjó un dique lo que demarcó el área como "embalse". Afluentes principales que corresponden a aguas residuales. Aguas abajo se ubican	Alto	8/01/2015

NOMBRE	EVENTO_DET	CAUSAS_TIP	CAT	SUBCAT	FUENTE_HID	VEREDA_LOC	SECTOR	AREA_AFECT	DESCRIPCION/ OBSERVACION	NIVEL RIES	FECHA
									asentamientos en las márgenes del cauce.		
4. Casa de Teja X:980371 Y:1002609 X: 0	Se debió a la fuerte precipitación presentada y al desbordamiento de un reservorio particular ubicado en el municipio de Bojacá cuyo caudal fue conducido por los canales de drenaje interprediales de los predios afectados.	Otros	Áreas agrícolas	Pastos	Río Balsillas	Vereda Canoas	Predios El Triunfo, Piedra de Teja y los de los señores Andrés Manrique y Byron López	-	Descripción: se realizó visita para la identificación de zonas inundadas en la temporada invernal. Observaciones: el canal cruza la vía perimetral de la Sabana que drena las aguas provenientes de los predios El Triunfo y los predios de los señores Andrés Manrique y Byron López, luego cruza al oriente de la vía por el predio Piedra Larga.	Medio	8/03/2011
5. Humedal Tierra Blanca X: 982769 Y: 996360	Se hizo reconocimiento de los barrios inundados por desbordamiento del	Obstrucción de cauce por sedimentación	Zonas urbanizadas	Centros urbanos básicos o primarios	-	Casco urbano	Barrio némesis	-	Descripción: acompañamiento a la administración municipal de Soacha. Observaciones: no presenta	-	11/04/2012

NOMBRE	EVENTO_DET	CAUSAS_TIP	CAT	SUBCAT	FUENTE_HID	VEREDA_LOC	SECTOR	AREA_AFECT	DESCRIPCION/ OBSERVACION	NIVEL RIES	FECHA
Z: 0	humedal, barrio Némesis y otros.								riesgos de inundación por desbordamiento, no obstante, el volumen de residuos sólidos depositados en el cuerpo de agua es alto.		
6. Chucua Vagas X: 982607 Y: 100048 Z: 0	Desbordamiento del Río Soacha, por acumulación de basuras, el bajo nivel del puente vehicular que conduce a la vereda Bosatama y el debilitamiento del jarillón	Obstrucción de cauce por sedimentación	Áreas abiertas sin o con poca vegetación	-	Río Soacha	Bosatama	Chucua Vargas	-	Descripción: Acompañamiento a la administración municipal de Soacha, se hizo entrega de lonas	-	12/04/2012
7. Las Vegas X: 984163 Y: 998979 Z: 0	Se realizó limpieza al Río Soacha, trabajo realizado por la corporación	Obstrucción de cauce por sedimentación	Zonas urbanizadas	Centros urbanos básicos o primarios	Rio Soacha	Barrio prado las Vegas	-	-	Descripción: Recorrido jarillón Río Soacha para determinar el estado actual de las zonas críticas Observaciones: en el sector del puente vehicular se	Medio	28/02/2011

NOMBRE	EVENTO_DET	CAUSAS_TIP	CAT	SUBCAT	FUENTE_HID	VEREDA_LOC	SECTOR	AREA_AFECT	DESCRIPCION/ OBSERVACION	NIVELRIES	FECHA
									puede evidenciar que la estructura de este genera obstrucción del cauce.		
8. Ogamora X: 982377 Y: 1000593 Z: 0	Inundación, por falla del jarillón posible filtración generándose la saturación de los materiales y el colapso de la estructura.	Filtración de jarillones	Áreas agrícolas	Pastos	Río Soacha	Bosatama	Finca Ogamora	Hacienda Ogamora	Descripción se realizó visita a los sectores críticos de desbordamiento de las fuentes hídricas del Municipio Observaciones: se debe reconformar y fortalecer el jarillón del Río Soacha, el sector afectado tiene una distancia aproximada de 30 m.	Medio	16/11/2011
9. Tramo 1 callap X: 984975 Y: 997088 Z: 2620	Inundación por el desbordamiento de las aguas del Río Soacha en los barrios el cardal y llano grande	Otros	Zonas urbanizadas	-	Río Soacha	Barrios cardal, llano grande y el paraíso	Comuna seis	-	Observación: visita en el que se realizó un recorrido con el propósito de identificar las zonas inundadas por el desbordamiento del Río Soacha y la	Medio	12/07/2010

NOMBRE	EVENTO_DET	CAUSAS_TIP	CAT	SUBCAT	FUENTE_HID	VEREDA_LOC	SECTOR	AREA_AFECT	DESCRIPCION/ OBSERVACION	NIVEL RIES	FECHA
									quebrada Tibanica. Descripción: Las conductas de los habitantes del municipio de Soacha, tales como el disponer basuras en los ríos y canales trae como consecuencia el taponamiento de las tuberías, ocasionando desbordamientos que afectan a la población. Aún falta conciencia.		
10. Tramo 2 Río Soacha X: 984023 Y: 998330 Z: 2596	Desbordamiento del Río Soacha, por acumulación de residuos sólidos.	Obstrucción de cauce por sedimentación	Zonas urbanizadas	Centros Urbanos Básicos o Primarios	Río Soacha	-	Urbano	-	Descripción: se realizó visita con el fin de verificar las diferentes zonas inundadas por el desbordamiento del Río Soacha. Observación: El tramo 1 del Río Soacha comprende desde el	Medio	12/07/2010

NOMBRE	EVENTO_DET	CAUSAS_TIP	CAT	SUBCAT	FUENTE_HID	VEREDA_LOC	SECTOR	AREA_AFECT	DESCRIPCION/ OBSERVACION	NIVELRIES	FECHA
									puente de la carrera 1 No.10-05 hasta el puente del conjunto residencial el Silo		
11. Urbanización el silo X: 983815 Y: 998490 Z: 0	-	Obstrucción de cauce por sedimentación	Zonas urbanizadas	Centros urbanos básicos o primarios	Río Soacha	Casco urbano	El silo	Principalmente 2 barrios ubicados por debajo de la cota del río.	Descripción: Río Soacha, aguas abajo de la autopista sur. El cauce en este punto presente una fuerte sedimentación y colmatación de los jarillones por el fuerte crecimiento de maleza invasiva, obstrucción del cauce por estructuras e inadecuada disposición de basura.	Alto	11/09/2014
12. Malachí X: 985546 Y: 999600 Z: 0	-	Obstrucción de cauce por sedimentación	Áreas agrícolas	Pastos	Río Soacha	Finca Malachí			Descripción: Recorrido al jarillón río Bogotá y Río Soacha para determinar estado actual de las zonas críticas.	Bajo	28/02/2011

NOMBRE	EVENTO_DET	CAUSAS_TIP	CAT	SUBCAT	FUENTE_HID	VEREDA_LOC	SECTOR	AREA_AFECT	DESCRIPCION/ OBSERVACION	NIVELRIES	FECHA
									Observación: En esta zona se evidenció el trabajo de limpieza y adecuación del cauce del Río Soacha realizado por la Corporación, para garantizar una mayor capacidad hidráulica de la fuente hídrica.		
13. Escuela Manuela Beltrán X: 984285 Y: 1002309 Z: 2574	-	-	-	-	-	Bosatama	-	-	Descripción: De acuerdo con lo evidenciado durante la visita el río Tunjuelito cuenta con un jarillón que garantiza la contención y dirección de los niveles altos en épocas de lluvias, el predio objeto de la visita no cuenta con vallados o zanjas.	Bajo	21/042017

Fuente: Subdirección de Desarrollo Ambiental Sostenible, Gestión del riesgo

Tabla 74. Inventario de eventos de inundación del municipio de Soacha (B).

No.	FUENTE ACTA	SECTOR	FECHA
1	Informe	Comuna 1: Danubio - Santa Ana- Ducales. Comuna 2: El silo - Eugenio Díaz - La Fragua. Comuna 3: Olivares Comuna 4: Terreros- Terra Grande. Comuna 6: El Cardal -Llano Grande -La Florida	jul-10
2	30	Autopista Sur (Sena, entrada 2 de Cazucá -Tierra Grande – Unisur)	Octubre 29 -2010
3	37	Comuna 1: Santa Ana y Valles de Santa Ana - Comuna 2: Portalegre- El Silo -La Fragua - El Carmen - La Unión - Satélite - Parque las Florez - Prado las Vegas - Danubio Comuna 3: Olivares- Olivos 4 -Pablo VI- Hogar del Sol - Rincón de Santa fe - Carrefour - Santa María del Rincón. Comuna 5: Quintanares - Tierra Grande - Nuevo Colon - Mirador de San Ignacio. Comuna 6: Llano Grande - Florida I - Florida II.	Nov. 19 -2010
4	40	Satélite - Parque Las Flores - Portalegre -Olivares - La María- Rincón de Santa Fe – Bosatama	Diciembre 4 -2010
5	-	Comuna 2: Satélite - Parque Las Flores - Portalegre. Comuna 3: Olivares - la María - Rincón de Santa Fe - Vías aledañas al Centro Comercial Mercurio. Corregimiento 2: Bosatama Filtraciones en jarillones	-
6	8	Compartir - Autopista Sur, frente a Mercurio – Fute	Marzo 7 -2011
7	14	Bosatama, afectación Rio Tunjuelo- Autopista Sur frente a Mercurio - Santa Ana	Abril 18 -2011
8	15	Bosatama - Rio Bogotá -Quintas de Santa Ana I sector -Charquito - Balsillas - El Silo -Tabacal - Eugenio Díaz	Abril 26-2011
9	17	Bosatama, producción Agropecuaria - Cascajal - - Canoas	Junio 17 -2011
10	32	Olivos, colapso el sistema de alcantarillado	Sept. 19 - 2011
11	35	Quintanares - Nuevo Colon	Octubre 28 -2011
12	38	Rio Soacha: Danubio - Tejares Tabacal - Prado Las Vegas	Nov. 29 -2011
13	8	Némesis – Olivares	Abril 11 -2012
14	-	La Florida - Parque Las Florez, El Silo, La Unión - Eugenio Díaz - Portalegre - La fragua - Hogar del Sol - Santa María del Rincón	Abril 16 -2012
15	-	Vereda Panamá – Vereda Fusungá - Vereda Alto de la Cabra.	-

Fuente: Reportes Alcaldía de Soacha, Unidad del Gestión del Riesgo.

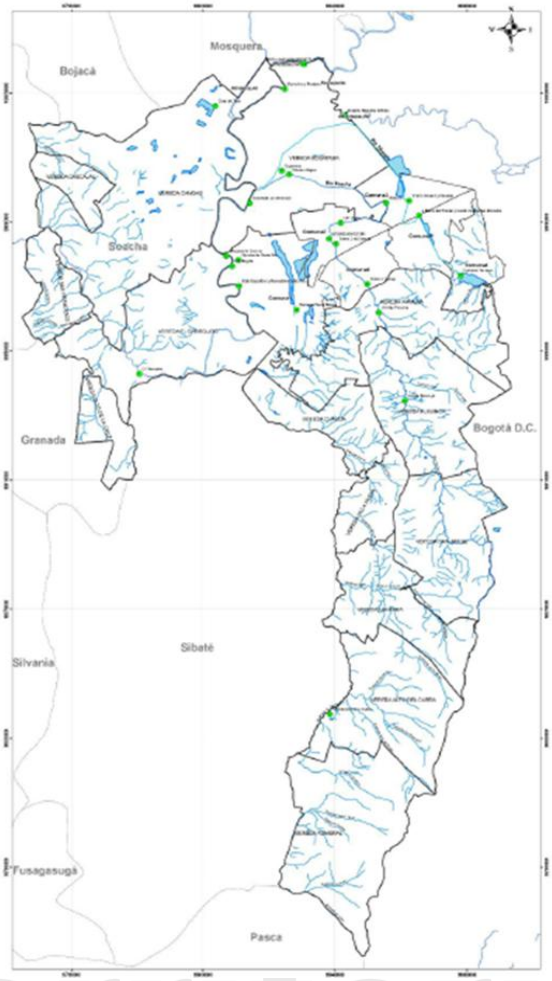


Figura 141. Registro de inundaciones sobre el municipio de Soacha
Fuente: Subdirección de Desarrollo Ambiental Sostenible, Gestión del Riesgo.

2.5. ZONIFICACIÓN DE AMENAZA Y RIESGO POR INUNDACION EN EL MUNICIPIO DE SOACHA

Para la zonificación de la amenaza por inundaciones se utilizó el modelo geomorfológico – histórico, básicamente el objetivo del trabajo fue identificar zonas de amenaza por inundaciones mediante la disposición y tipología de las formas del terreno y los depósitos generados durante eventos de inundación las cuales no disponen de información histórica registrada, pero que pueden ser determinadas mediante el análisis de fotointerpretación geomorfológica, de tal forma que se identificaron áreas activas dentro del cauce fluvial y sus márgenes, y por tanto son potenciales a ser inundadas dentro del marco de la dinámica natural de la corriente fluvial. Esta técnica se realiza para las zonas donde no

se cuenta con datos para una modelación hidráulica. Para la zonificación se realiza un análisis de las geoformas que por sus génesis son el resultado de procesos erosivos y de acumulación de la dinámica fluvial y que, dada las características de pendiente, litología contrastes morfológicos (rugosidad, curvatura, etc.) y cronología, permite determinar las áreas potenciales a inundarse según la temporalidad de los procesos que registra (activos, intermitente o antiguos).

Este parámetro fue analizado con base a las unidades geomorfológicas definidas por el estudio del SGC (2012), las cuales fueron actualizadas y modificadas dentro del marco de este proyecto. Como resultado para la zona de estudio se tiene la siguiente categorización:

Tabla 75. Unidades geomorfológicas

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	NOMBRE	AMENZA GEOMORFOLÓGICA
ACN	Cantera	Baja
APIR	Represa o laguna artificial	Alta
DCOA	Depósitos coluviales activos	Baja
DCOI	Depósitos coluviales inactivos	Baja
DCRM	Cerro remanente	Baja
DGA	Glasis de acumulación	Media
DLA	Lomos anchos	Baja
DLCP	Ladera de contrapendiente estructural denudada	Baja
DEL	Ladera estructural	Baja
DLM	Ladera moderada a suave	Baja
DLPD	Planchas estructurales denudadas	Baja
DLS	Ladera subhorizontal denudada	Baja
DTA	Depósitos de talud	Baja
FBP	Barras puntuales	Alta
FCA	Cauce aluvial	Alta
FCD	Cuenca de decantación o bacines	Alta
FCDY	Cono de deyección	Media
FET	Escarpe de terraza	Media
FMC	Meandros abandonados	Alta
FPI	Planicies o llanuras de Inundación	Alta
FPLA	Planicies y deltas lacustrinos	Media

UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS	NOMBRE	AMENZA GEOMORFOLÓGICA
FTA	Terraza aluvial	Media
GC	Circos glaciares y de nivación	Baja
GCLEG	Cuesta de ladera estructural glaciada	Baja
GCLPG	Cuesta de laderas de contrapendiente glaciadas	Baja
GELEG	Ladera estructural de espinazo	Baja
GELPG	Ladera de contrapendiente de espinazo glaciado	Baja
GLB	Cono o lóbulo de gelifracción	Media
GMA	Morrena de ablación	Media
GML	Morrena lateral	Baja
GPL	Planicies y abanicos de sobrelavado glaciar	Media
GSG	Planicies glaciolacustrinas	Alta
GSHCP	Sierra homoclinales glaciadas de contrapendiente	Baja
GSHLE	Sierra homoclinales glaciadas de ladera estructural	Baja
SBF	Terraza o berma de fallamiento	Baja
SCE	Cerro estructural	Baja
SCI	Cerro con pendientes irregulares	Baja
SCLE	Ladera estructural de cuestCerro con pendientes irregularesa denudada	Baja
SCLP	Ladera de contrapendiente de cuesta denudada	Baja
SLCM	Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal moderada denudada	Baja
SLFP	Escarpe de línea de falla	Baja
SSAN	Sierra anticlinal denudada y residual	Baja
SSANL	Ladera estructurales sierra anticlinal	Baja
SSHCP	Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal denudada	Baja
SSHLE	Ladera estructural de sierra homoclinal denudada	Baja

Fuente: UNAL

Según los históricos se evidencia que las geoformas con morfogénesis aluvial son activas, especialmente las planos y llanuras de inundación, planicies lacustrinas y algunas zonas de origen denudacional pero que presentan morfométricas caracterizadas por bajas pendientes. Como resultado se obtiene el mapa de zonificación de amenaza según las condiciones geomorfológicas del municipio Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**.

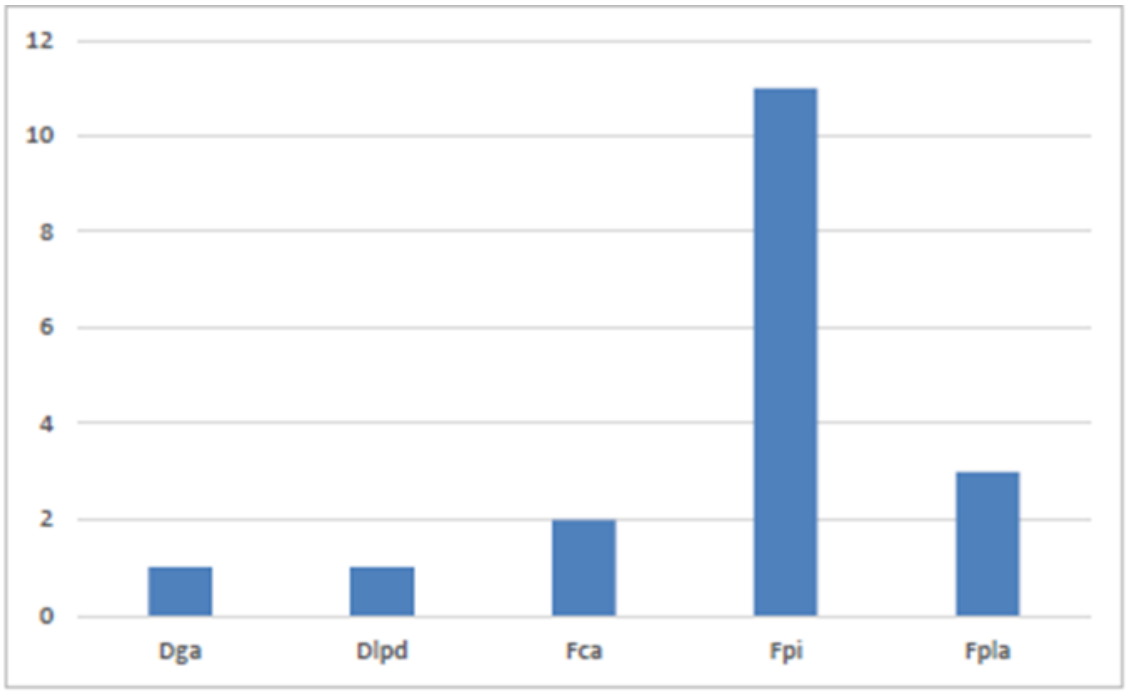


Figura 142. Frecuencia de inundaciones discriminadas por unidad geomorfológica
Fuente: UNAL

La clasificación de los niveles de amenaza se estableció bajo las siguientes descripciones:

a. **Amenaza Baja**: Corresponde a las geoformas del ambiente fluvial que por su génesis detonan procesos antiguos o que presentan otro ambiente morfogenético.

b. **Amenaza Media:** Corresponde a las geoformas del ambiente fluvial que por su génesis están asociadas a procesos de inundación intermitente o efímeros.

c. **Amenaza Alta:** Corresponde a las geoformas del ambiente fluvial que por su génesis detonan procesos activos o con evidencias de recientes inundaciones registradas por eventos históricos.

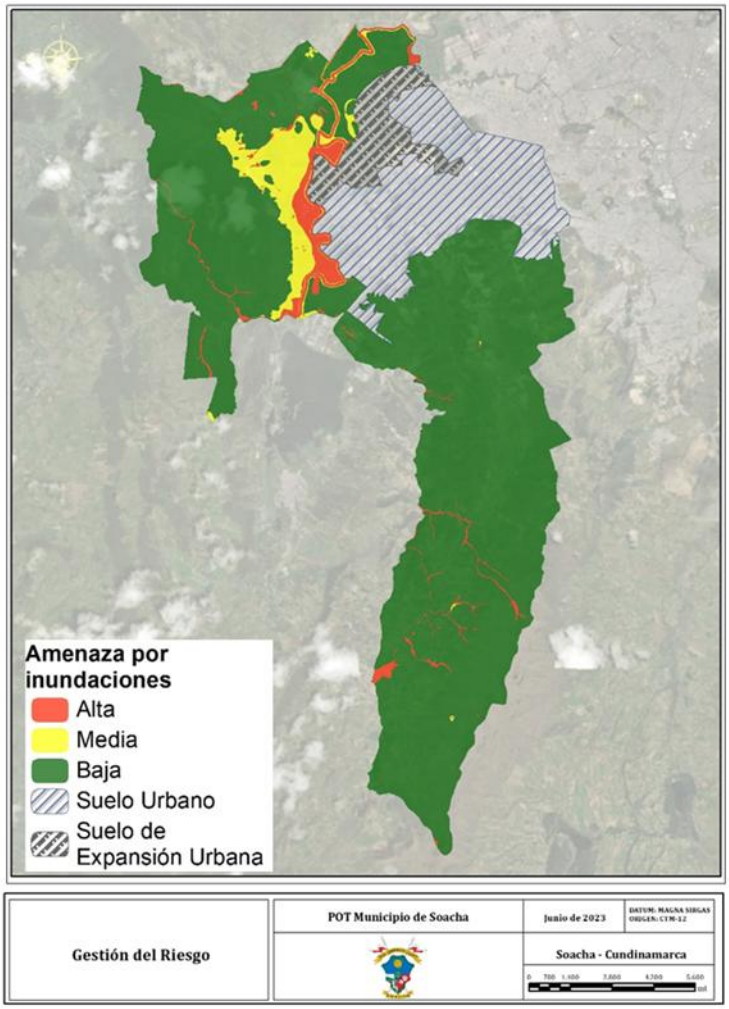


Figura 143. Zonificación de la amenaza por inundación. Universidad Nacional, grupo de investigación Biogestión

Secretaría de Planeación y Ordenamiento Territorial

2.6. ZONAS DE AMENAZA POR INUNDACIÓN - ZONA URBANA Y DE EXPANSIÓN URBANA

Para la zona urbana y de expansión, se realizó una modelación hidrológica e hidráulica del rio Soacha y quebrada Tibanica para periodos de retorno de 5, 25 y 100 años como amenaza alta, media y baja respectivamente.

Dadas las condiciones hidráulicas actuales del Río Soacha y de la quebrada Tibanica, se identifican los diferentes puntos o barrios del municipio de Soacha (Ver Tabla n° 60) evaluados desde el

escenario actual y cambio climático, que junto con la revisión de registros históricos de inundaciones requieren suplir las siguientes necesidades:

a. Realizar estudios detallados y diseños de obras de protección de inundación a lo largo del rio Soacha y la quebrada Tibanica, atendiendo la amenaza en los barrios de mayor afectación (Ver Tabla n° 60).
b. Adecuar los canales del Río Soacha y quebrada Tibanica debido a la conformación de secciones hidráulicas irregulares, acumulación de pastos, exceso de sedimentos, alta presencia de basuras y obstrucción de puentes o alcantarillados, que afectan el curso de los cauces.
c. Conectar hidráulicamente el Río Soacha con los humedales de Tierra Blanca, Neuta, Maiporé y Puyana, para contrarrestar el riesgo por inundación ya que estos cuerpos de agua actuarían como zonas de amortiguamiento de crecientes
d. Identificar mediante un estudio detallado las conexiones de alcantarillado sanitario y pluvial en el Río Soacha (Sector Malachí) con los barrios Portal del Nogal, Portal de las Flores, Portal de Arrayanes, Portal de la Hacienda, La Sabana, Balcones de Mercurio y Hogar del Sol, que están generando riesgo de inundación, donde frente a aumentos del nivel del río se eleva la cota de río sobrepasando el nivel del sistema de alcantarillado, lo que como consecuencia deriva en la afectación de estos sectores.
e. Implementar sistemas de drenaje urbano sostenible (SDUS) que mejoraría la calidad del agua y disminuirían la escorrentía superficial, aumentando la infiltración del suelo e incentivando el aporte a los acuíferos.
f. Adecuar la represa Terreros como zona de amortiguamiento y almacenamiento de caudales pico en épocas de lluvia.

Tabla 76. Barrios afectados amenaza inundación.

CUERPO DE AGUA	COMUNA	BARRIO AFECTADO
RIO SOACHA	6	Tramo 1 entre los barrios El Cardal, Llano Grande, La Florida, La Pradera I, La Pradera II. Cien Familias, La Florida II, El Paraíso, Cohabitar, San Marcos, El Rincón de San Alejo II, Ubaté, Villas del Progreso.
	2	Tramo 1 entre los barrios Parque de las Flores, Ciudad Satélite, La Unión, Universidad de Cundinamarca, Minnesota, Villas De Santa Rosa, Cobec, La Fragua, Eugenio Díaz Castro, El Silo, Las Huertas (P.P La Oportunidad I, La Oportunidad II, La Confianza, La Ilusión, La Ilusión II), Los Condominios I de Tejares, El Rosal.
		Tramo 2 entre los barrios Los Condominios II de Tejares, Portalegre, Nueva Portalegre, El Sol de Portalegre, Portalegre Real, Portalegre Real I, Portalegre Real II, El Prado de Las Vegas, El Carmen, San Miguel de la Cañada.

CUERPO DE AGUA	COMUNA	BARRIO AFECTADO
	3	Tramo 1 entre los barrios Hogar del Sol, Balcones de Mercurio, La Sabana, Portal de la Hacienda, Portal del Nogal, Finca Malachí.
QUEBRADA TIBANICA	3	Tramo 1 entre los Cerezos Kr 4E 36 61, Atacadao, Tierra grande, Barrios Centro Comercial Mercurio, Santa María del Rincón, El Rincón de Santa Fe.
		Tramo 2 entre los barrios Los Olivares, El Trébol, Altos de Pinar I, Altos de Pinar II, Altos de Pinar III, Prado de los Rosales, Jardín de los Rosales, León XIII Tercer Sector, Pablo VI, Los Ocales, Potrero Grande, Los Olivos II, Los Olivos IV, La María.

Fuente: UNAL

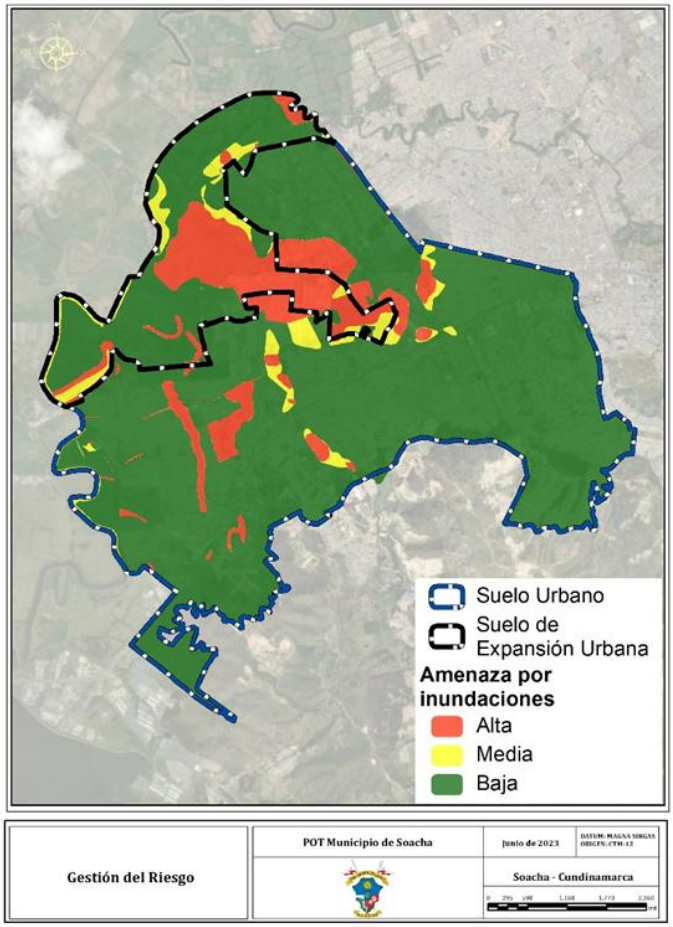


Figura 144. Mapa de amenaza por inundación, 82,16% amenaza baja, 4,15% amenaza media, 13,71% amenaza alta.
Fuente: Universidad Nacional, grupo de investigación Biogestión-Secretaría de Planeación y Ordenamiento Territorial

2.6.1. ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA

El desarrollo del suelo con áreas expuestas a fenómenos naturales potencialmente dañinos está sujeta a la posibilidad de reducir el nivel de amenaza que exista en este. Por lo tanto, estas áreas podrán definir su condición de desarrollo una vez se realicen los estudios detallados que permitan determinar la mitigabilidad o no de la(s) amenaza(s) que posea. La determinación de realizar los estudios a detalle está relacionada con los estudios básicos y zonificaciones disponibles realizadas por el municipio con este propósito.

De acuerdo con lo anterior, el régimen de usos y tratamientos, normas de densidades, ocupación y edificabilidad del suelo según los ámbitos normativos vigentes, estarán condicionados a los resultados de los estudios detallados (Decreto 1077 de 2015, art. 2.2.2.1.3.3.3) para determinar la posibilidad de que las áreas en cuestión puedan ser urbanizadas y utilizadas para el desarrollo de vivienda, comercio o para el sector institucional, entre otros.

Los estudios detallados que establezcan la mitigabilidad de la amenaza y del riesgo en un área definida tendrán que cumplir las especificaciones técnicas metodológicas determinadas para el efecto y de conformidad con lo establecido para el trámite de licencias urbanísticas contempladas en los Decretos 1077 y 2218 de 2015 (art. 2.2.6.1.2.1.8) y las disposiciones relacionadas en los artículos 2.2.2.1.3.2.2.1, 2.2.2.1.3.2.2.2, 2.2.2.1.3.2.2.3, 2.2.2.1.3.2.2.4, 2.2.2.1.3.2.2.5, 2.2.2.1.3.2.2.6 y 2.2.2.1.3.2.2.7 del decreto 1077 de 2015.

Las áreas calificadas con condición de amenaza media y alta que en el momento no cuenten con ningún desarrollo, serán catalogadas en el presente plan como suelo de desarrollo condicionado desde la perspectiva prospectiva, dando lugar a la necesidad de realizar los estudios detallados referenciados en el anterior párrafo, los cuales definirán la viabilidad de la disminución de la amenaza.

En concordancia a los elementos expuestos anteriormente, la siguiente tabla resume las acciones determinadas en el presente plan para las áreas con condición de amenaza en el perímetro urbano y áreas de expansión:

Tabla 77. Acciones en áreas con condición de amenaza por fenómenos naturales.

Nivel de amenaza	Acción prospectiva	Amenaza asociada
Alta	• Estudios detallados de amenaza a suelos de desarrollo condicionado. (Los estudios 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.) Decreto 1077 de 2015. • Prohibición de asentamientos e infraestructura en suelos de desarrollo condicionado hasta aprobación de estudios por parte de la Secretaría de Planeación y Ordenamiento Territorial. • Obras de mitigación/reducción de la amenaza + sistema de alerta.	- Fenómenos de remoción en masa - Inundación - Avenida Torrencial

Nivel de amenaza	Acción prospectiva	Amenaza asociada
	- Valoración de la norma urbanística aplicable conforme a resultados de estudios detallados y posibles obras de mitigación. - Inclusión de las áreas con amenazas NO mitigables en la estructura ecológica principal como suelo de protección.	
Media	• Estudios detallados de amenaza a suelos de desarrollo condicionado. • Obras de control de la amenaza.	
Baja	• Obras de control de la amenaza.	
Sin amenaza	• Sin acciones	

Fuente: SPOT

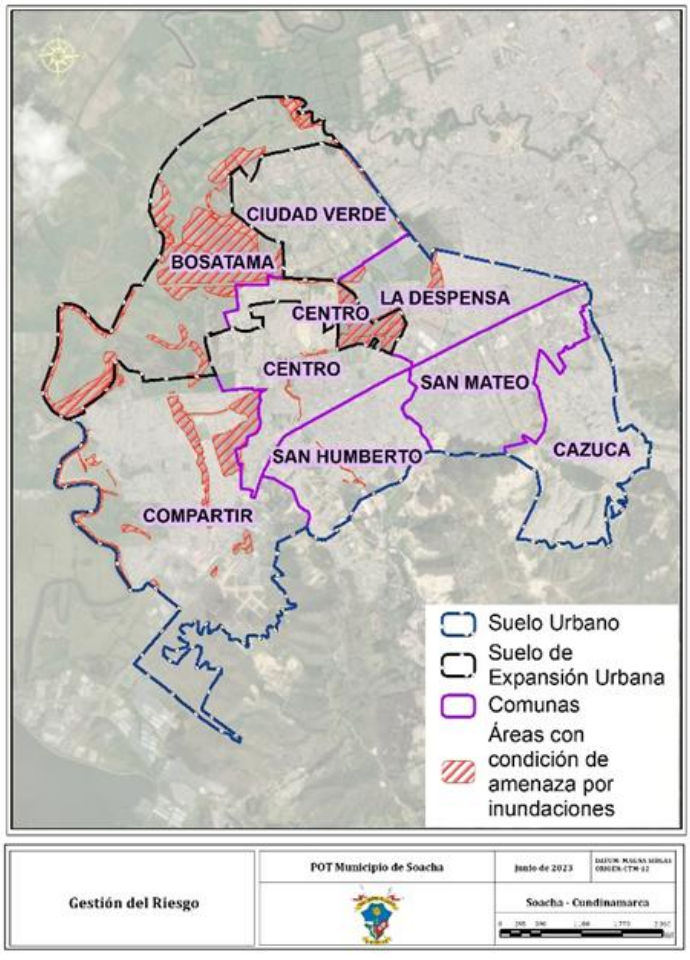


Figura 145. Mapa de áreas con condición de amenaza por inundación en el perímetro urbano y de expansión.
Fuente: SPOT

2.6.2. ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO

La tipificación de las áreas de condición de riesgo para el municipio de Soacha, se determinó al identificar las zonas en las cuales hay elementos o infraestructura expuestos ante la acción de los fenómenos de remoción en masa, avenida torrencial e inundación. Esta clasificación se enmarca en el tratamiento de gestión correctiva, puesto que con la identificación del riesgo se pretende corregir los hábitos de asentamiento de la población, ya sea mediante acciones estructurales (obras de mitigación) o no estructurales (normatividad o reglamentación de uso).

Al igual que con las áreas con condición de amenaza, las áreas con condición de riesgo alto o muy alto no se clasifican como no mitigable en tanto no se realice el estudio a detalle que determine la viabilidad de mitigación o reducción del riesgo.

La imposibilidad de disminuir el riesgo clasifica las áreas como no mitigables, por lo tanto, se priorizarán las acciones de reubicación de la población establecida en la zona y se procederá a clasificar el suelo recuperado como área de protección, entrando a hacer parte de la estructura ecológica principal.

Una vez determinadas las zonas donde no se puede mitigar la amenaza y el riesgo, se entrará a realizar censo de viviendas en riesgo, y posteriormente se dará aplicación a los Decretos Nacionales que hacen mención a dichas zonas de riesgo tales como:

a. Decreto Nacional 0900 de 2012, en su artículo 15 establece que no eligen proyectos para otorgar subsidios para la Vivienda VIS Rural, cuando están localizadas en zonas de alto riesgo no mitigable, en el suelo rural.

b. El Decreto Nacional 2742 de 2008, que reglamenta la Ley 1183 de 2008, para poder otorgar títulos de propiedad a los poseedores de vivienda de interés social, en el artículo 2, no se puede otorgar título cuando está en zona de riesgo no mitigable.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente, las acciones correctivas según el nivel de amenaza se configurarían de la siguiente manera:

Tabla 78. Acciones en áreas con condición de riesgo por fenómenos naturales.

NIVEL DE AMENAZA	ACCIÓN CORRECTIVA	AMENAZA ASOCIADA
Alta	- Estudios detallados de amenaza a terrenos en condición de riesgo. - Reubicación de asentamientos e infraestructura áreas de riesgo alto no mitigable bajo concepto de la Secretaría de Planeación y Ordenamiento Territorial.	- Fenómenos de remoción en masa - Inundación - Avenida Torrencial

NIVEL DE AMENAZA	ACCIÓN CORRECTIVA	AMENAZA ASOCIADA
	- Obras de mitigación/reducción de la amenaza (si es viable según estudios detallados) + sistema de alerta. - Prohibición del asentamiento en áreas con riesgo alto no mitigable. - Inclusión de las áreas sujetas a reubicación por concepto de riesgo alto NO mitigable en la estructura ecológica principal como suelo de protección.	
Media	- Estudios detallados de amenaza a terrenos en condición de riesgo. - Obras de control y protección del área.	
Baja	- No permitir aumento de amenaza.	

Fuente: SPOT

La zonificación de las áreas con condición de riesgo por inundación dentro del perímetro urbano arroja un resultado de 92,91 Ha con este estado, correspondiendo al 2,95% del área total urbana.

Las áreas con prioridad de estudios a detalle para esta amenaza se concentran en las comunas 6, 2 y 3, debido a los trazados irregulares y giros bruscos dentro de los cuales fueron encausados la quebrada Tibanica y el río Soacha. Los sectores priorizados se resumen en los siguientes barrios:

Comuna 2: Prado de las Vegas, Nueva Portalegre, Sol de Portalegre, Portalegre Real, El Danubio, Eugenio Diaz Castro, Satélite, La Unión, Parque de las Flores, El Silo, PP. Huertas, Danubio III, Villa Rosita.

Comuna 3: Jardín de los Rosales, Altos del Pinar II, Altos del Pinar III, Altos del Pinar IV, Los Olivares, Santa María del Rincón, Hogar del Sol, Prado de los Rosales, Los Olivos II, Portal de La Hacienda, Portal del Nogal, Balcones de Mercurio, La Sabana.

Comuna 6: El Cardal, Llano Grande, El Paraíso, Cien Familias, La Pradera I, La Pradera II, La Florida I, La Florida II, Cohabitar.

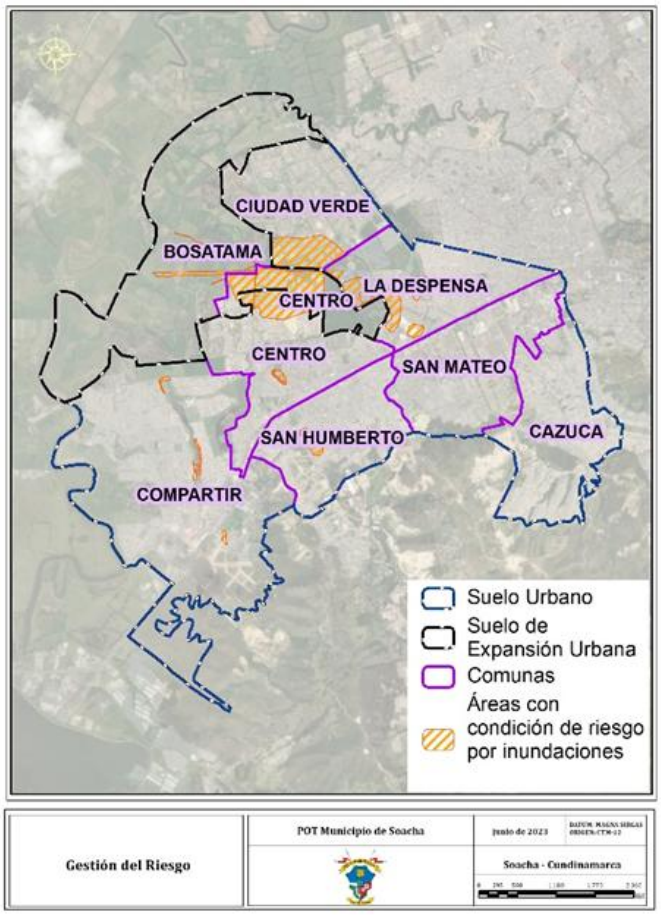


Figura 146. Mapa de áreas con condición de riesgo por inundación en el perímetro urbano y de expansión. Fuente: SPOT

2.7. ZONAS DE AMENAZA POR INUNDACIÓN - ZONA RURAL

Se utilizó un modelo geomorfológico - histórico donde mediante la disposición, tipología del terreno, depósitos de eventos de inundación y fotointerpretación geomorfológica se establecieron las áreas potenciales a inundarse.

Las zonas de amenaza alta y media se presentan a lo largo del rio Bogotá en las veredas de Bosatama, Canoas y El Charquito debido a que la conformación de los diques presenta discontinuidades. Además, se resaltan la amenaza en la vereda Alto de la Cruz, Hungría, Romeral y Alto de la Cabra, donde en este último punto se cuenta con un registro de inundación. En este sentido las principales necesidades que afectan esta zona frente al riesgo de inundación son:

a. Identificar mediante un estudio detallado las conexiones de alcantarillado sanitario y pluvial en el río Bogotá con los barrios Compartir, Santa Ana, Villa Sofía, Ducales y Ciudad Latina, que están generando riesgo de inundación ya que en épocas de lluvia se aumenta el nivel

del río sobrepasando la cota del sistema de alcantarillado, lo que como consecuencia deriva en la afectación de estos sectores.

b. Controlar e inspeccionar las conexiones de drenaje o desagües agrícolas en el rio Bogotá en las zonas de Remolino y Pradera y bosques de Canoas, producto de la intervención no técnica de los propietarios que buscan drenas sus respectivos predios, desconociendo el impacto de dichas acciones en estos diques de protección.

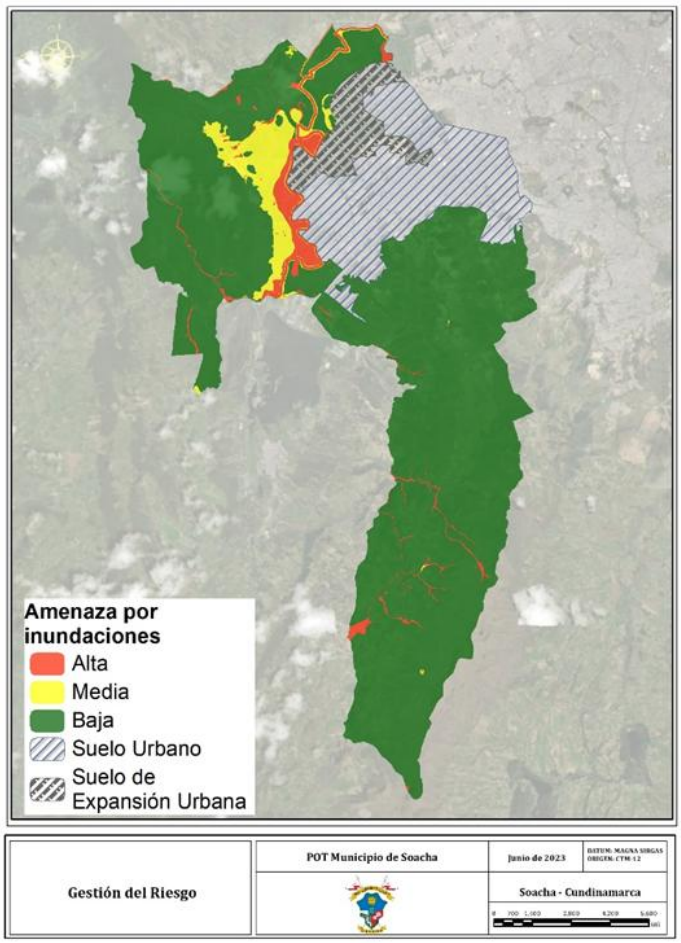


Figura 147. Mapa de amenaza por inundación, 90,10 % amenaza baja, 55,47% amenaza media, 4,43% amenaza alta en el área rural.
Fuente: Universidad Nacional, grupo de investigación Biogestión-Secretaría de Planeación y Ordenamiento Territorial

2.7.1. FENÓMENO DE INUNDACIÓN EN CENTROS POBLADOS

Las inundaciones son eventos naturales que tienen lugar de una forma puntual en las zonas deprimidas del terreno, es por eso que en las en áreas fluviales o aluviales se dan con mayor frecuencia. Según datos de la United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization (UNESCO, 2002), de los desastres que se presentan en el orbe relacionados con el agua, 50%

corresponde a inundaciones, por encima de hambrunas, sequías y epiDTMias. El número de eventos ha crecido a una velocidad vertiginosa, particularmente en áreas urbanas, impactando de manera negativa el funcionamiento normal de los sectores social, de servicio, económico y financiero, entre otros, dejando en mayor vulnerabilidad a la población con menos recursos (Benjamin, 2008)

La determinación del riesgo por inundación se ha convertido en una práctica cada vez más recurrente, debido principalmente a la planeación urbana y a la mitigación de desastres. Cuantificar el riesgo por inundación es una tarea compleja por las variables involucradas y su estado evolutivo (Hernández, Barrios, & Ramírez, 2017).

El objetivo general de este trabajo es desarrollar y aplicar una metodología para determinar la zonificación de la amenaza por inundación en los CRP Alto de la Cruz, El Charquito, Chacua – Cabrera y Altos de La Florida, los resultados puedan ayudar a los tomadores de decisiones a generar proyectos que mitiguen o minimicen los daños causados por las inundaciones.

2.7.1.1. LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA

El área de estudio corresponde a los centros poblados rurales (CPR) – Alto de la Cruz, El Charquito y Chacua – Cabrera ubicado en la en las veredas de Alto de la Cruz, El Charquito y Chacua del Municipio de Soacha, departamento de Cundinamarca, como se observa en la Figura 1.

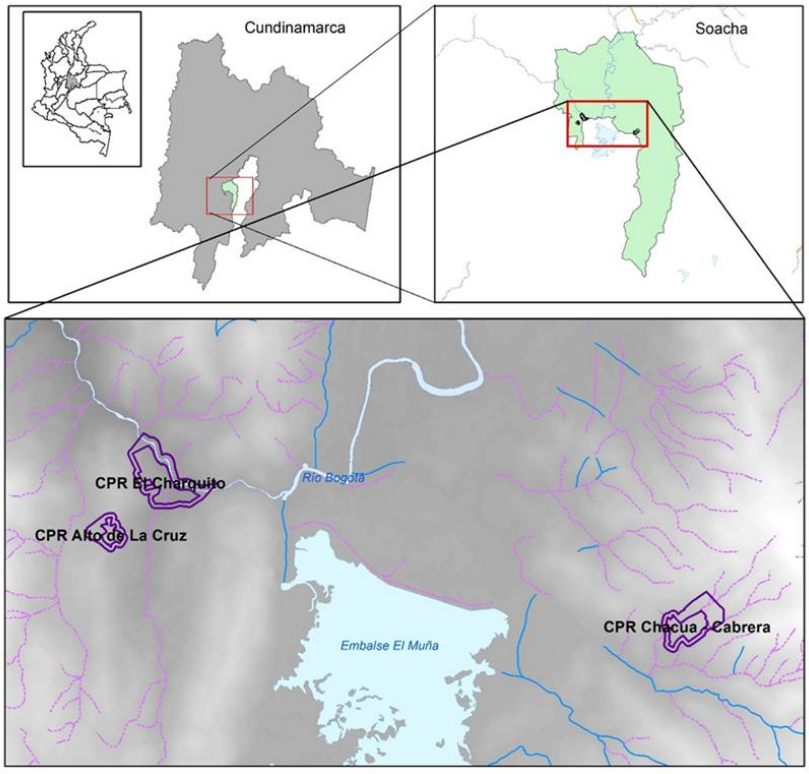


Figura 148. Localización geográfica de las áreas de estudio – Centros poblados rurales Altos de La Cruz, El Charquito, Chacua - Cabrera y Altos de La Florida en Soacha– Cundinamarca Fuente: SIGLO XXII SAS

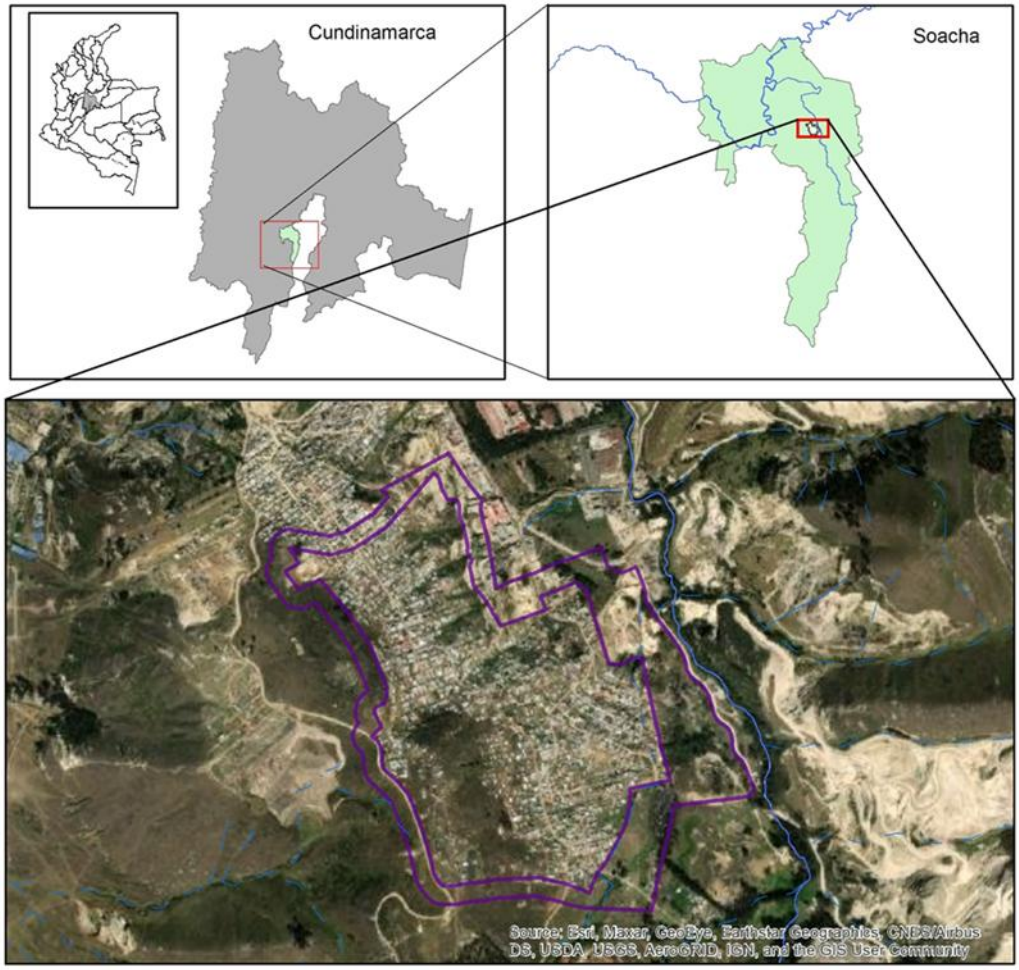


Figura 149. Localización geográfica de las áreas de estudio – Centros poblados rurales Altos de La Cruz, El Charquito, Chacua - Cabrera y Altos de La Florida en Soacha– Cundinamarca

Fuente: SIGLO XXII SAS

Territorial

2.7.1.2. OBJETIVOS

2.7.1.2.1. OBJETIVO GENERAL

Evaluar la amenaza por inundación a partir de información geomorfológica, registros históricos de áreas inundadas e inundables (registro de eventos), análisis hidrológico a partir del estudio de eventos hidroclimáticos máximos y análisis hidráulico a partir del modelo de elevación digital.

2.7.1.2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Zonificar la amenaza por inundación teniendo en cuenta el análisis de tipo geomorfológico e histórico a partir del registro de eventos de áreas inundadas e inundables y las formas del terreno.

Analizar las condiciones hidrológicas e hidráulicas de los principales cauces en las zonas de estudio, que puedan tener influencia en la amenaza por inundación, a nivel de la escala de la cartografía base.

Obtener los mapas de amenaza por inundación para las zonas de estudio del municipio de Soacha, a partir del análisis de ocurrencia de los eventos históricos y geomorfología, así como el análisis hidrológico e hidráulico.

2.7.1.3. AMENAZA POR INUNDACIÓN

2.7.1.3.1. FENÓMENO DE INUNDACIÓN (AMENAZA)

De acuerdo con el decreto 1807 del 19 de septiembre de 2014 que reglamenta el artículo 189 del Decreto Ley 019 de 2012 en lo relativo a la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial, los estudios básicos para la revisión o expedición de planes de ordenamiento territorial-POT-, se deben elaborar estudios en los suelos urbanos, de expansión urbana y rural por inundación, que contengan:

a. La delimitación y zonificación de las áreas de amenaza.

b. La delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza en las que se requiere adelantar los estudios detallados a que se refiere el siguiente artículo.

El decreto establece que los estudios básicos de amenaza por inundación deben contemplar las siguientes especificaciones mínimas:

Área de estudio: Las zonas en las cuales exista la posibilidad de presentarse una inundación sean aledañas o no a ríos, caños, quebradas, humedales y otros cuerpos de agua o aquellas que hagan parte de su área de influencia.

En el análisis se deben considerar los casos en los que existan precedentes de mecanismos generadores de inundaciones tales como encharcamiento por lluvias intensas sobre áreas planas, encharcamiento por deficiencia de drenaje, inundaciones costeras entre otros.

Los municipios o distritos con un suelo rural superior a 1.500 km2, para los cuales no exista base cartográfica e insumos a 1 :25.000, podrán realizar los estudios para esta clase de suelo a escala

1 :100.000 o 1 :50.000. En aquellas áreas rurales donde se presenten inundaciones recurrentes, con presencia de elementos expuestos, deben realizar los estudios básicos a 1 :25.000.

Insumos: Se debe utilizar como mínimo los siguientes insumos:

a. Geomorfología. Identificación de las diferentes subunidades geomorfológicas asociadas a los paisajes aluviales, con especial énfasis en las geoformas correspondientes a la llanura de inundación.

b. Modelo de elevación digital del terreno.

c. Identificación de las zonas inundables e inundadas (registro de eventos). A partir de información de las diferentes entidades a nivel nacional, regional o local, interrelacionada con la información de la comunidad identificar cuales áreas han sufrido afectaciones por inundación y en qué fecha.

d. Hidrología. Caracterización del comportamiento del régimen hidrológico en la región a la cual pertenece el municipio mediante un análisis de los eventos hidroclimáticos máximos identificando para cuales períodos de retorno se están presentando las afectaciones y las áreas afectadas para los mismos.

Alcance: Para la zonificación de la amenaza se emplean tres categorías: alta, media y baja, teniendo en cuenta el registro de eventos, la recurrencia de estos y la intensidad (niveles alcanzados) de la inundación.

Para el suelo urbano, de expansión urbana y rural se utilizará, como mínimo, análisis de tipo histórico y geomorfológico. De acuerdo con la información disponible se podrán complementar con análisis hidrológico-hidráulicos y métodos asistidos por sensores remotos y sistemas de información geográfica.

En todo caso, los análisis se realizan en función de la magnitud de la amenaza, su intensidad, consecuencias y la disponibilidad de información.

2.7.1.3.2. EVALUACIÓN Y ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR INUNDACIÓN

La zonificación de la susceptibilidad por inundación se realiza mediante la incorporación de la metodología propuesta por el Fondo de Adaptación (2014) en el Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los POMCA, la cual hace énfasis a la identificación de geoformas

asociadas a inundación y la caracterización de eventos históricos, como se muestra en la Figura 2.

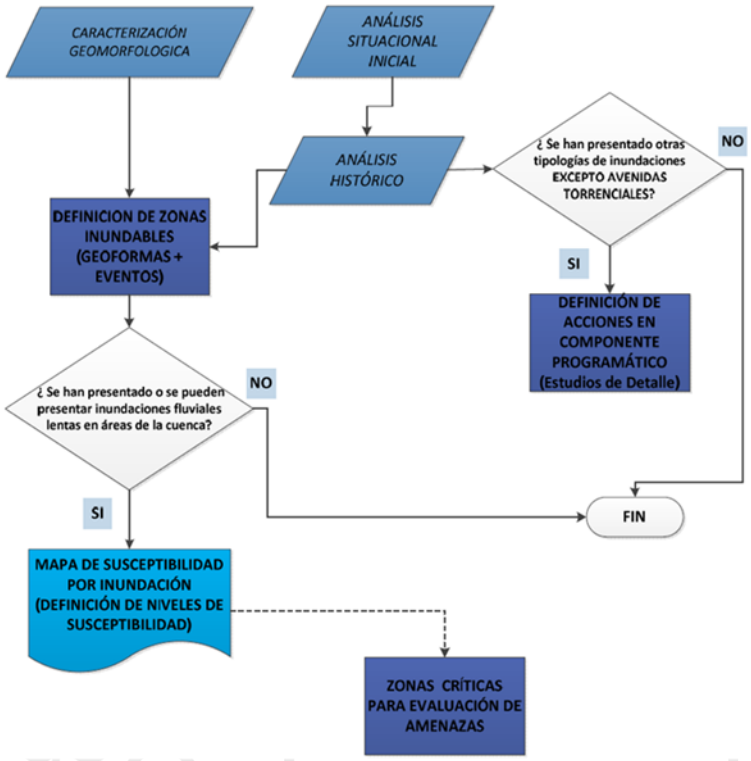


Figura 150. Metodología empleada para la evaluación y zonificación de la susceptibilidad por inundación

Fuente: Protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los POMCA de acuerdo con los alcances técnicos del proyecto, Fondo Adaptación, 2014.

2.7.1.3.2.1. ANÁLISIS DE EVENTOS HISTÓRICOS

Las inundaciones representan un gran impacto tanto en vidas humanas como en las infraestructuras, con el fin de conocer los eventos históricos en el área de estudio, se realizó una recopilación información que permite analizar los impactos producidos por fenómenos naturales en el pasado.

De acuerdo con información suministrada por la Corporación Autónoma Regional (CAR), se registraron 24 eventos de inundación, asociados a diversos factores, tanto a eventos de desbordamiento de las aguas del Río Bogotá, Rio Soacha y Quebrada Tibanica, obstrucción de los cauces, inadecuada disposición de las basuras y residuos sólidos; así como daños en la infraestructura y obras en el cauce del río Soacha, en la Figura 3 se puede ver la ubicación de los eventos presentados y en la Tabla 1 se puede ver el detalle de los eventos registrados.

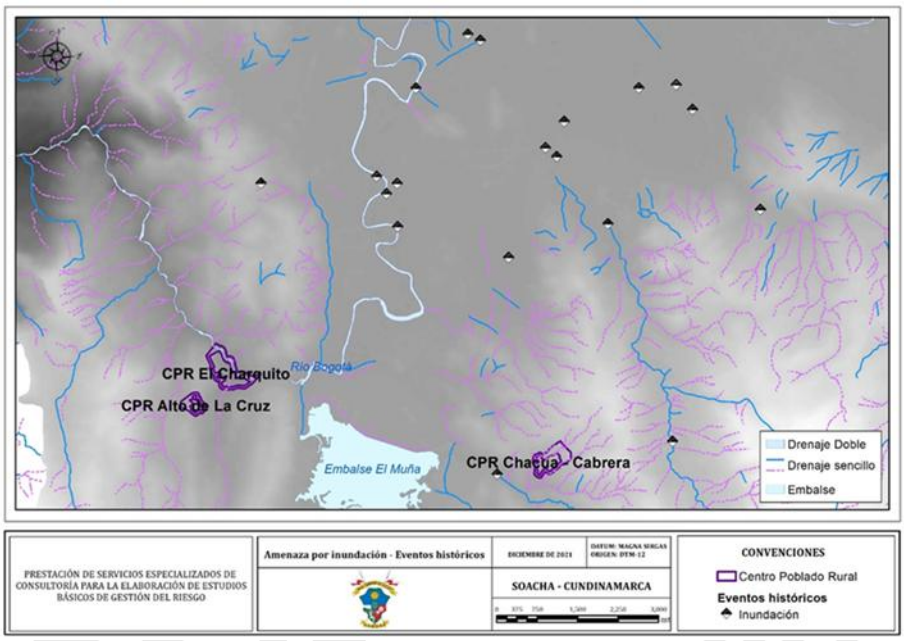


Figura 151. Mapa de eventos históricos por inundación para los centros poblados Alto de la Cruz, El Charquito y Chacua Cabrera
Fuente: Siglo XXII SAS

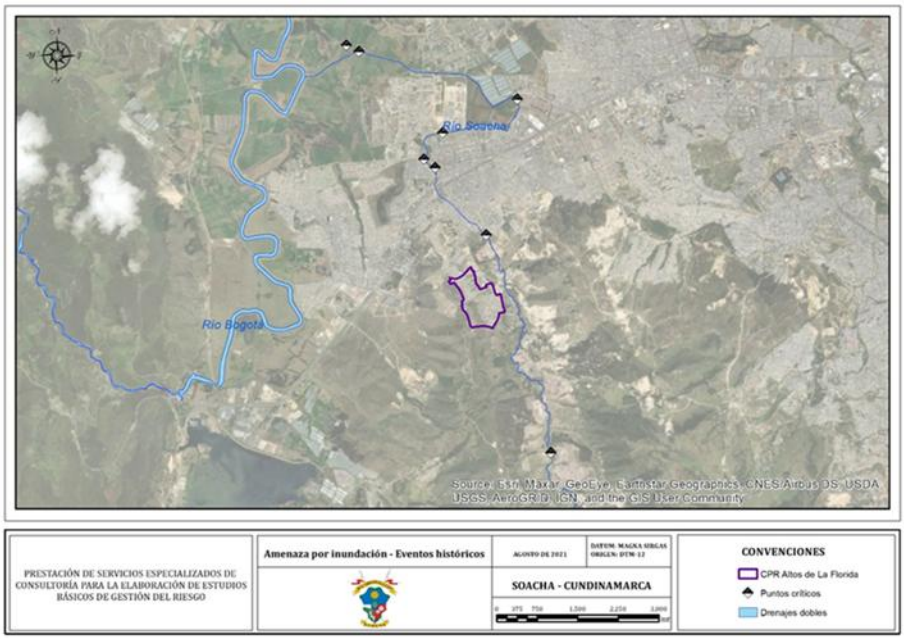


Figura 152. Mapa de eventos históricos por inundación para el centro poblado Altos de La Florida
Fuente: Siglo XXII SAS

Tabla 79. Eventos históricos de inundación en cercanías a los centros poblados Alto de la Cruz, El Charquito y Chacua Cabrera

ID	Municipio	Nombre del Punto	Fuente Hídrica	Causa	Nivel de riesgo	Fecha
0	Soacha	Tramo Olivos I y Olivares	Quebrada Tibanica	Desbordamiento de la quebrada Tibanica y río Soacha, por las fuertes lluvias, aDTMás grandes cantidades de basura en el cauce que impide el libre circular de las aguas.	Alto	
1	Soacha	Urbanización El Silo	Río Soacha		Alto	
2	Soacha	Bosques de Canoas	Río Bogotá	Con las lluvias del día domingo 14 y el incremento del rio Bogotá se presentó durante el día lunes 15, se presentó el ingreso de las aguas del río Bogotá en un predio en la vereda Canoas por una madre vieja, los propietarios instalaron un tambre provisional.	Bajo	15/05/2017
3	Soacha	Escuela Manuela Beltrán	Río Tunjuelo		Bajo	15/05/2017
4	Soacha	Santa Helena Bosatama	Río Bogotá	Por "descuido" en cierre de compuertas del río Bogotá, se presenta inundación en el predio Santa Helena con afectación de 1 vivienda y la evacuación de 1 familia.	Bajo	
5	Soacha	Los Bueyes Panamá	Río Soacha	Se presentó un incremento del caudal del río Soacha en la vereda Panamá y que por obras en el cauce (construcción de un puente) el río se desbordo afectando la vía veredal principal que comunica el casco urbano con las veredas Panamá, San Jorge, F	Bajo	12/06/2017
6	Soacha	Las Vegas	Río Soacha	Se realizó dragado y limpieza al río Soacha,	Medio	

ID	Municipio	Nombre del Punto	Fuente Hídrica	Causa	Nivel de riesgo	Fecha
				trabajo realizado por la Corporación		
7	Soacha	Malachi	Río Soacha		Bajo	
8	Soacha	Orgamora	Río Soacha	Inundación, por falla del jarillón posible filtración generándose la saturación de los materiales y el colapso de la estructura.	Medio	
9	Soacha	Quintas de Santa Ana	Precipitaciones	Aumento en las precipitaciones locales, incrementando caudales de aguas lluvias de los Barrios Compartir, Santa Ana, Villa Sofía, Ducales y Ciudad Latina los cuales tienen una conexión errada a un punto no autorizado en la coordenada N: 998.537 E:984.9	Medio	14/10/2014
10	Soacha	Remolino y Pradera	Río Bogotá	Riesgo de desbordamiento, porque el jarillón fue seccionado por la tubería de descarga de las bombas hacia el río, lo que se conformó un boquete en el jarillón.	Medio	
11	Soacha	Río Bogotá	Río Bogotá		Medio	
12	Soacha	Tramo 1 Callap	Río Soacha	Inundación por el desbordamiento de las aguas del río Soacha en los Barrios El Cardal y Llano Grande	Medio	7/07/2010
13	Soacha	Tramo 2 río Soacha	Río Soacha	Desbordamiento del río Soacha, por acumulación de residuos sólidos.	Medio	
14	Soacha	a María del Rincón y Centro Comercial Mercurio	Quebrada Tibanica	Por las fuertes lluvias se rebosa la quebrada Tibanica y las tuberías colapsaron por la cantidad de basura inundando el barrio Santa María del Rincón y los Sótanos del Centro Comercial Mercurio.	Medio	

ID	Municipio	Nombre del Punto	Fuente Hídrica	Causa	Nivel de riesgo	Fecha
15	Soacha	Casa de Teja	Río Balsillas	Se debió a la fuerte precipitación presentada y al desbordamiento de un reservorio particular ubicado en el municipio de Bojacá cuyo caudal fue conducido por los canales de drenaje interprediales de los predios afectados.	Medio	
16	Soacha	Chucua Vagas	Río Soacha	Desbordamiento del río Soacha, por acumulación de basuras, el bajo nivel del puente vehicular que conduce a la vereda Bosatama y el debilitamiento del jarillón		
17	Soacha	Chucuavitá	Río Bogotá	Desbordamiento e inundación de los predios ubicados en la vereda Bosatama del municipio de Soacha, teniendo en cuenta que el río Bogotá alcanzó la capacidad Hidráulica máxima de la sección del canal y que la cota del cauce superó el nivel de los	Medio	
18	Soacha	Club Deportivo y Recreativo Santa Ana	Río Bogotá	Debido a las aguas del río Bogotá penetran por la tubería del sistema de alcantarillado del barrio Compartir y rebosan por el pozo existente dentro de la Sociedad Club Deportivo y Recreativo Santa Ana.	Medio	
19	Soacha	El Charquito	Río Bogotá	Las viviendas están ubicadas en la margen izquierda del río Bogotá dentro de los 30 metros de la ronda del este, en época de lluvias intensas en la zona, aumenta el caudal	Medio	

ID	Municipio	Nombre del Punto	Fuente Hídrica	Causa	Nivel de riesgo	Fecha
				ocasionando la inundación.		
20	Soacha	Embalse Terreros	Quebrada río Claro		Alto	
21	Soacha	Hacienda La Herradura	Río Soacha y Río Bogotá	Determinación de los sitios críticos de inundación en el Municipio	Medio	
22	Soacha	Humedal Tierra Blanca		Se hizo reconocimiento de los barrios inundados por desbordamiento del Humedal, barrio Némesis y otros.		
23	Sibaté	Quebrada Chacua	Quebrada Chacua	Localización de viviendas en dentro del cauce y zona ronda y por la disposición de residuos sólidos que obstruyen el normal discurrir de las aguas.	Alto	17/11/2010

Fuente: CAR

Tabla 80. Eventos históricos de inundación en cercanías al centro poblado Altos de La Florida

Municipio	Nombre del Punto	Evento	Fuente Hídrica	Causa	Nivel de riesgo	Fecha
Soacha	Urbanización el Silo	Inundación	Río Soacha	Obstrucción del cauce e inadecuada disposición de basuras	Alto	
Soacha	Los Bueyes de Panamá	Inundación	Río Soacha	Se presentó un incremento del río Soacha y por obras en el cauce (construcción de un puente), el río se desbordo	Bajo	12/06/2017
Soacha	Las Vegas	Inundación	Río Soacha	Se realizó dragado y limpieza del río Soacha	Medio	
Soacha	Malachi	Inundación	Río Soacha	Inundación por daño en el jarillón	Bajo	
Soacha	Orgamora	Inundación	Río Soacha	Inundación por falta de jarillón, posible filtración generándose saturación	Medio	7/07/2010

Municipio	Nombre del Punto	Evento	Fuente Hídrica	Causa	Nivel de riesgo	Fecha
Soacha	Tramo 1 Callap	Inundación	Río Soacha	Inundación por el desbordamiento de las aguas del río Soacha	Medio	
Soacha	Tramo 2 río Soacha	Inundación	Río Soacha	Desbordamiento del río Soacha, por acumulación de residuos sólidos	Medio	
Soacha	Chucua Vagas	Inundación	Río Soacha	Desbordamiento del río Soacha por acumulación de basuras	Medio	

Fuente: CAR

2.7.1.3.2.2. MODELO DIGITAL DE TERRENO (DTM)

Para la elaboración del modelo digital de terreno, se implementaron métodos de captura de información directos, es decir, en campo fueron tomados puntos de fotocontrol con los cuales se georreferenciaron las imágenes de alta resolución obtenidas mediante la implementación de plataformas aéreas no tripuladas -Drone; como resultado se obtuvo un insumo georreferenciado con tamaño de pixel menor a 0,5 x 0,5 m.

A partir de este insumo y teniendo en cuenta el método de captura de información permite obtener datos del relieve (ejes X, Y, Z) fue generado en un modelo digital de terreno de alta resolución a partir del cual se obtuvo la información relativa a la topografía con un alto nivel de detalle y con errores de desfases inferiores a 25 cm.

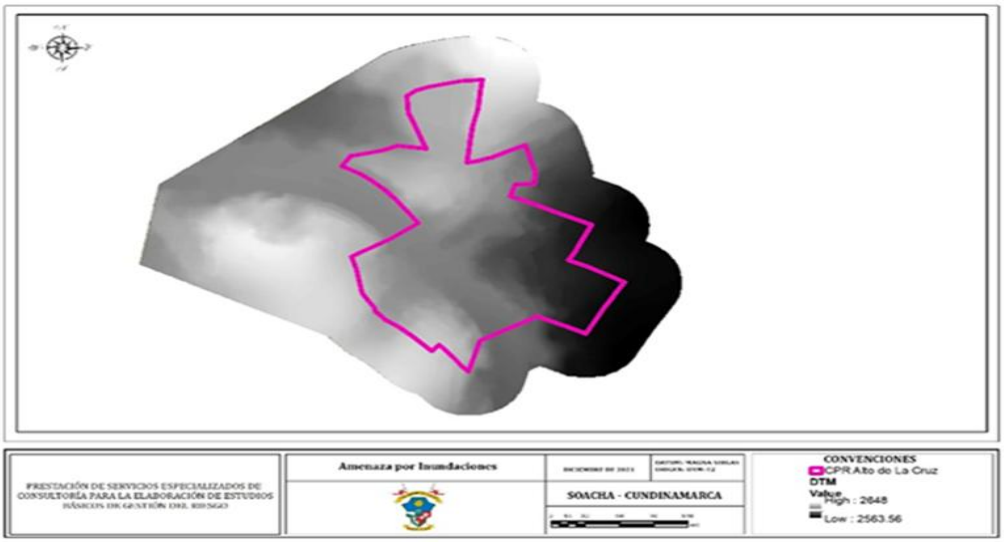


Figura 153. DTM CPR Alto de la Cruz
Fuente: Siglo XXII SAS

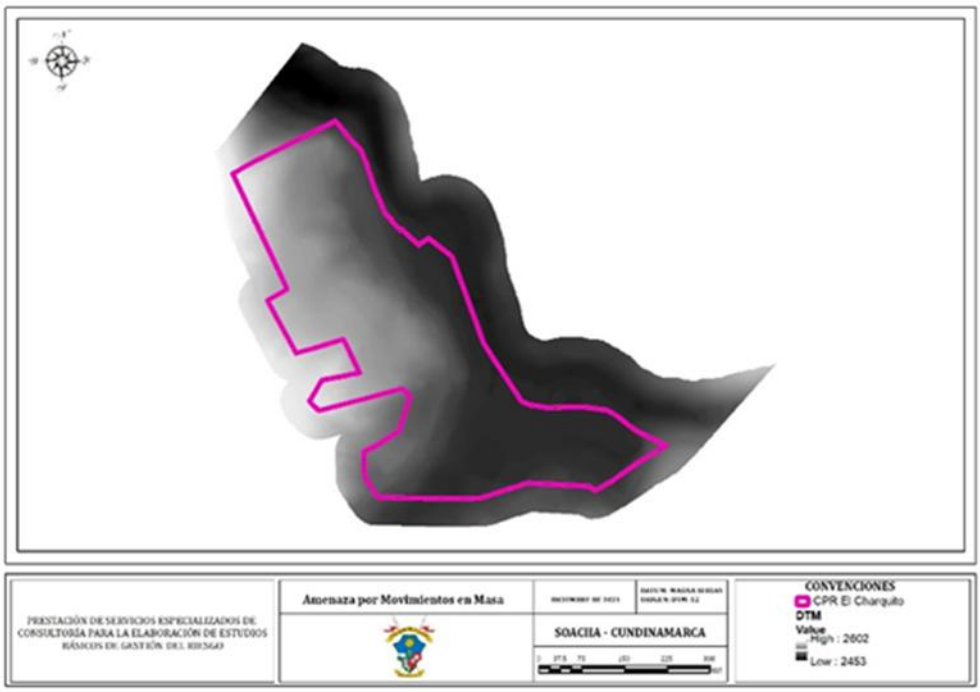


Figura 154. DTM CPR El Charquito
Fuente: Siglo XXII SAS

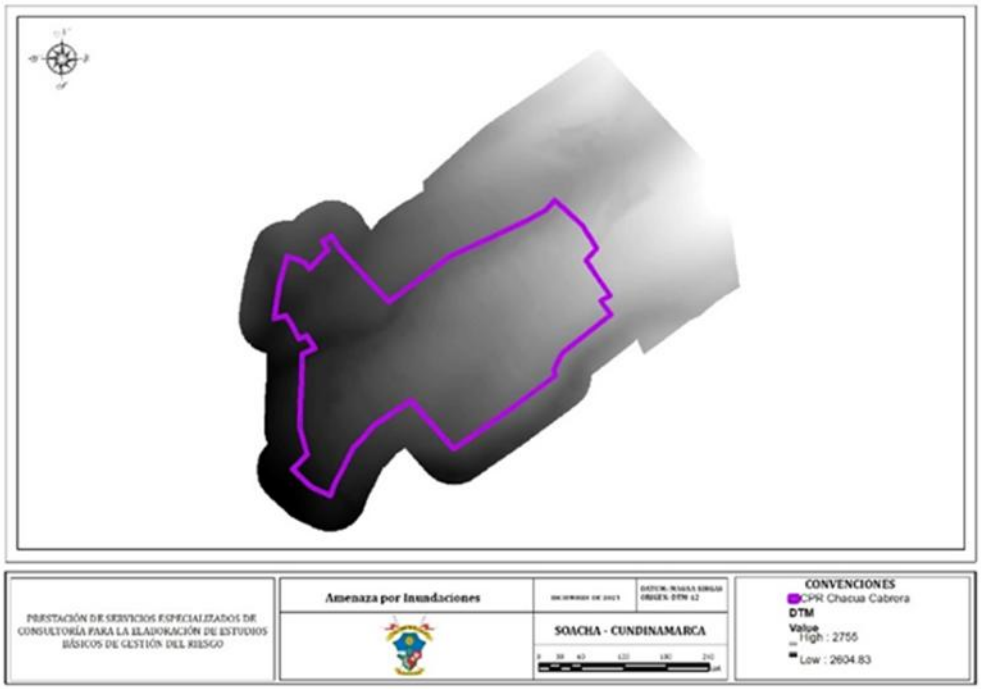


Figura 155. DTM CPR Chacua Cabrera
Fuente: Siglo XXII SAS

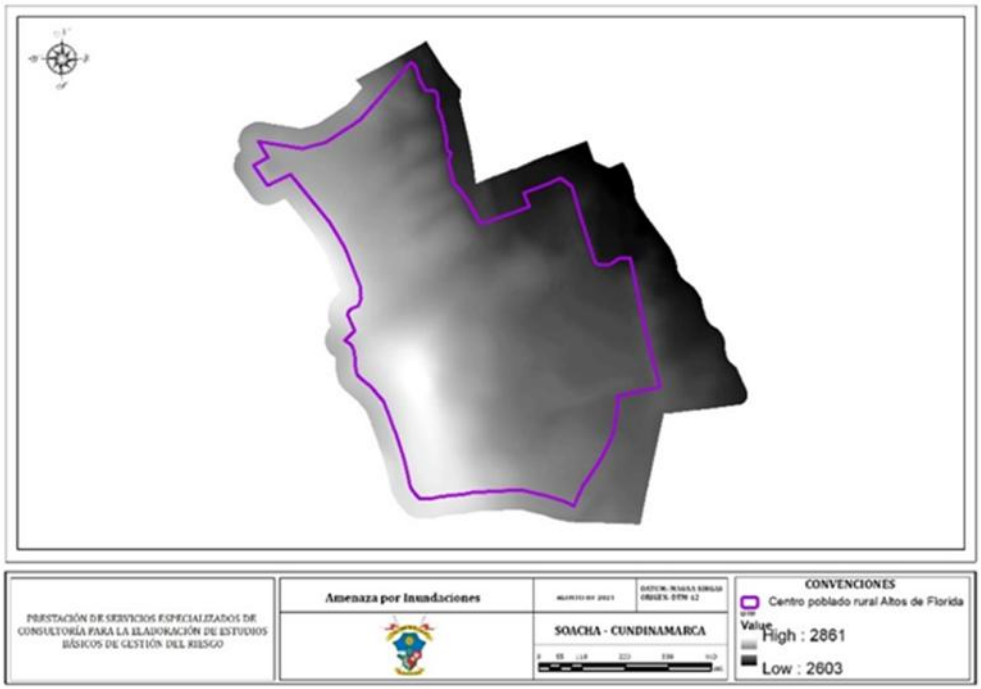


Figura 156. DTM AHR ALTOS DE LA FLORIDA

Fuente: Siglo XXII SAS

2.7.1.3.2.3. ANÁLISIS DE GEOFORMAS ASOCIADAS A PROCESOS DE INUNDACIÓN

A partir del análisis de la cartografía temática relacionada con la geomorfología del área de estudio, la cual se realizó con base en el método de Carvajal (2011), a nivel de elementos geomorfológicos, estos se clasificaron de acuerdo con su susceptibilidad ante procesos de inundación. En el CPR Alto de la Cruz se presentan elementos geomorfológicos de ambientes fluvial y lacustre, relaciones con Planicies o llanuras de inundación (Fpi) con nivel de susceptibilidad alto; seguido de elementos de ambientes denudacionales-estructurales relacionados con laderas moderadas a empinadas (Dlme), laderas moderadas e irregulares (Dlmi) y Conos y lóbulos coluviales y de solifluxión (Dco) con un nivel de susceptibilidad medio y finalmente se encuentran las Crestas subhorizontales (Dcs) con nivel de susceptibilidad bajo

Para el CPR del Charquito se identifican cuerpos de aguas artificiales (Aca) y naturales como es caso del cauce del río Bogotá (Fca), también se presentan elementos geomorfológicos de ambientes fluvial y lacustre, relacionados con Planicie o Llanuras de inundación (Fpi) con nivel de susceptibilidad alto; seguidos de elementos de ambientes denudacionales-estructurales,

relacionados con laderas moderadas a empinadas (Dlme), laderas moderadas e irregulares (Dlmi) con un nivel de susceptibilidad medio.

Finalmente, para el CPR Chacua – Cabrera se identifican cuerpos de agua naturales (cauce del río Bogotá -Fca), así mismo se presentan elementos geomorfológicos de ambientes fluvial y lacustre, relacionados con Planicies o llanuras de inundación (Fpi) con nivel de susceptibilidad alto; seguido de elementos de ambientes denudacionales-estructurales, relacionados con Conos y lóbulos coluviales y de solifluxión (Dco) y Planchas estructurales denudadas- Espolones estructurales (Dlpd) con un nivel de susceptibilidad medio; finalmente se encuentra las Laderas en contrapendiente de cuesta estructural denudadas y residuales (Sclp) con nivel de susceptibilidad bajo.

A continuación, de la Tabla 2 a la Tabla 5 se presenta la clasificación de los elementos geomorfológicos según el nivel de susceptibilidad ante procesos de inundación.

Tabla 81. Clasificación de elementos geomorfológicos según su nivel de susceptibilidad ante procesos de inundación en el CPR Alto de la Cruz

Nomenclatura	Elemento	Descripción	Nivel de susceptibilidad
Fpi	Planicie o Llanura de inundación	Superficie de morfología plana, baja a ondulada, eventualmente inundable. Se localiza bordeando los cauces fluviales, donde es limitado localmente por escarpes de terraza. Incluye los planos fluviales menores en formas de "U" o "V", al igual que a los conos coluviales menores de los flancos de los valles intramontanos. Su depósito está constituido por sedimentos finos, originados durante eventos de inundación fluvial.	Alto
Dlme	Laderas moderadas a empinadas	Laderas alargadas definidas por una inclinación moderada (25° y 35°) de formas onduladas, festoneadas a irregulares, de longitudes largas y ocasionalmente amplias.	Medio
Dlmi	Laderas moderadas e irregulares	Laderas alargadas definidas por una inclinación <35° de pendiente, son de longitud moderada a larga, de formas generalmente rectas, festoneadas a irregulares y con pendientes ligeramente escarpadas	Medio
Dco	Conos y lóbulos coluviales y de solifluxión	Estructura en forma de cono o lóbulo con morfología alomada baja. Su origen es relacionado a procesos de transporte y depositación de materiales sobre las laderas y	Medio

Nomenclatura	Elemento	Descripción	Nivel de susceptibilidad
		por efecto de procesos hidrogravitacionales en suelos saturados y no saturados. Su depósito está constituido por bloques y fragmentos heterométricos de rocas preexistentes, embebidos en una matriz arcillosa a areno limo arcillosa.	
Dcs	Crestas subhorizontales	Se presentan como franjas alargadas asociadas a divisorias de aguas de las microcuencas, de morfología alomada y alargadas, de pendientes planas a levemente inclinadas, que presentan terminación en forma de cimas semi redondeadas a convexa e incluso planas con anchos que varían entre 50 y 300 m, limitadas por vertientes cuya inclinación puede ser moderada a escarpada. En algunas ocasiones esas geoformas han sido aprovechadas para el asentamiento de caseríos y hasta poblados.	Bajo

Fuente: Siglo XXII SAS

Tabla 82. Clasificación de elementos geomorfológicos según su nivel de susceptibilidad ante procesos de inundación en el CPR El Charquito

Nomenclatura	Elemento	Descripción	Nivel de susceptibilidad
Acá	Canales Artificiales	Superficie de morfología plana, baja a ondulada, eventualmente inundable. Se localiza Cuerpos de agua producto del desarrollo urbanístico	Alto
Fca	Cauce aluvial - Río Bogotá	Canal de forma irregular excavado por erosión de las corrientes perennes o estacionales, dentro de sedimentos aluviales.	Alto
Fpi	Planicie o llanura de inundación	Superficie de morfología plana, baja a ondulada, eventualmente inundable. Se localiza bordeando los cauces fluviales, donde es limitado localmente por escarpes de terraza. Incluye los planos fluviales menores en formas de "U" o "V", al igual que a los conos coluviales menores de los flancos de los valles intramontanos. Su depósito	Alto

Nomenclatura	Elemento	Descripción	Nivel de susceptibilidad
		está constituido por sedimentos finos, originados durante eventos de inundación fluvial.	
Dlme	Laderas moderadas a empinadas	Laderas alargadas definidas por una inclinación moderada (25° y 35°) de formas onduladas, festoneadas a irregulares, de longitudes largas y ocasionalmente amplias.	Medio
Dlmi	Laderas moderadas o irregulares	Laderas alargadas definidas por una inclinación <35° de pendiente, son de longitud moderada a larga, de formas generalmente rectas, festoneadas a irregulares y con pendientes ligeramente escarpadas	Medio

Fuente: Siglo XXII SAS

Tabla 83. Clasificación de elementos geomorfológicos según su nivel de susceptibilidad ante procesos de inundación en el CPR Chacua – Cabrera

Nomenclatura	Elemento	Descripción	Nivel de susceptibilidad
Fca	Cauce aluvial - Río Bogotá	Canal de forma irregular excavado por erosión de las corrientes perennes o estacionales, dentro de sedimentos aluviales.	Alto
Fpi	Planicie o llanura de inundación	Superficie de morfología plana, baja a ondulada, eventualmente inundable. Se localiza bordeando los cauces fluviales, donde es limitado localmente por escarpes de terraza. Incluye los planos fluviales menores en formas de "U" o "V", al igual que a los conos coluviales menores de los flancos de los valles intramontanos. Su depósito está constituido por sedimentos finos, originados durante eventos de inundación fluvial.	Alto
Dco	Conos y lóbulos coluviales y de solifluxión	Estructura en forma de cono o lóbulo con morfología alomada baja. Su origen es relacionado a procesos de transporte y depositación de materiales sobre las laderas y por efecto de procesos hidrogravitacionales en suelos saturados y no saturados. Su depósito está constituido por bloques y fragmentos heterométricos de rocas preexistentes, embebidos en una matriz arcillosa a areno limo arcillosa.	Medio

Nomenclatura	Elemento	Descripción	Nivel de susceptibilidad
Dlpd	Planchas estructurales denudadas-Espolones estructurales	Transversales a las estructuras geológicas. Están constituidas por estratos delgados duros y blandos disectados profundamente en dirección perpendicular al rumbo de las capas, y que localmente definen salientes o crestas a manera de puentes entre espinazos estructurales.	Medio
Sclp	Ladera en contrapendiente de cuesta estructural denudadas y residuales	Están constituidas por rocas blandas a intermedias con desarrollo local de suelos residuales gruesos que presentan procesos locales de reptación y desarrollo de drenajes subparalelo espaciado; y una ladera de contrapendiente (Sclp) con estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno (20°–25°), de longitud muy corta a corta, de formas cóncava o convexa y con pendientes escarpadas. Se constituye de intercalaciones de rocas duras a intermedias con desarrollo de drenaje dendrítico subparalelo localmente denso, asociado con procesos coluviales.	Bajo

Fuente: Siglo XXII SAS

Tabla 84. Clasificación de elementos geomorfológicos según su nivel de susceptibilidad ante procesos de inundación en el AHR ALTOS DE LA FLORIDA

Elemento	Descripción	Nivel de susceptibilidad
Planicie o llanura de inundación (Fpi)	Superficie de morfología plana, baja a ondulada, eventualmente inundable. Se localiza bordeando los cauces fluviales, donde es limitado localmente por escarpes de terraza. Incluye los planos fluviales menores en formas de "U" o "V", al igual que a los conos coluviales menores de los flancos de los valles intramontanos. Su depósito está constituido por sedimentos finos, originados durante eventos de inundación fluvial	Alto
Drenaje superficial - antrópico (Ads)	Drenajes desarrollados por la erosión que produce la escorrentía en áreas urbanizadas por donde fluye el agua de manera intermitente	Alto
Planicies y Deltas lacustrinos (Fpdl)	Superficie extensa de aspecto aterrazado y morfología ondulada suavemente inclinada y limitada hacia los cauces por escarpes de varios metros de altura. Su origen	Medio

Elemento	Descripción	Nivel de susceptibilidad
	es relacionado al desplazamiento lateral del cauce de un rio dentro de la llanura aluvial. Su depósito está constituido por arcillas con intercalaciones locales de arenas finas con niveles delgados de gravas y turbas concordantes, producto de la acumulación de materiales transportados por las corrientes	
Cono de deyección (Fcdy)	Superficie en forma de cono, con una inclinación en planta de 5° - 10° y decenas de metros de extensión. Se localiza en el punto donde los canales o quebradas llegan a zonas de valles amplios. Su depósito está constituido por arena, arcillas y grava, con espesores de materiales más gruesos hacia el ápice y más finos en la zona distal.	Bajo
Ladera en contrapendiente de sierra homoclinal denudada (Shlc)	Superficie vertical a subvertical moderada a larga, de forma cóncava, escalonada, festoneada a irregular, con pendiente abrupta a escarpada, generada por estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno, relacionada a una estructura homoclinal	Bajo
Ladera estructural de sierra homoclinal denudada (Shle)	Superficie definida por la inclinación de los estratos a favor de la pendiente, de longitud corta a moderada larga, formas rectas a convexas y pendientes escarpadas a muy escarpadas, relacionada a una estructura homoclinal.	Bajo
Zona urbana en cono de deyección (Azucdy)	Desarrollo de áreas urbanas sobre superficies en forma de cono, con una inclinación en planta de 5° - 10° y decenas de metros de extensión. Se localiza en el punto donde los canales o quebradas llegan a zonas de valles amplios. Su depósito está constituido por arena, arcillas y grava, con espesores de materiales más gruesos hacia el ápice y más finos en la zona distal.	Bajo
Zona urbana en ladera en contrapendiente de sierra homoclinal denudada (Azuhlc)	Desarrollo de áreas urbanas sobre superficies verticales a subverticales moderadas a largas, de forma cóncava, escalonada, festoneada a irregular, con pendiente abrupta a escarpada, generada por estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno, relacionada a una estructura homoclinal.	Bajo

Fuente: Siglo XXII SAS

2.7.1.3.2.3.1. MAPAS DE ELEMENTOS GEOMORFOLÓGICOS

En la Figura 7, Figura 8, y Figura 9 y Figura 10 se pueden ver los mapas de elementos geomorfológicos de los CRP Altos de la Cruz, El Charquito, Chacua – Cabrera y Altos de la Florida respectivamente.

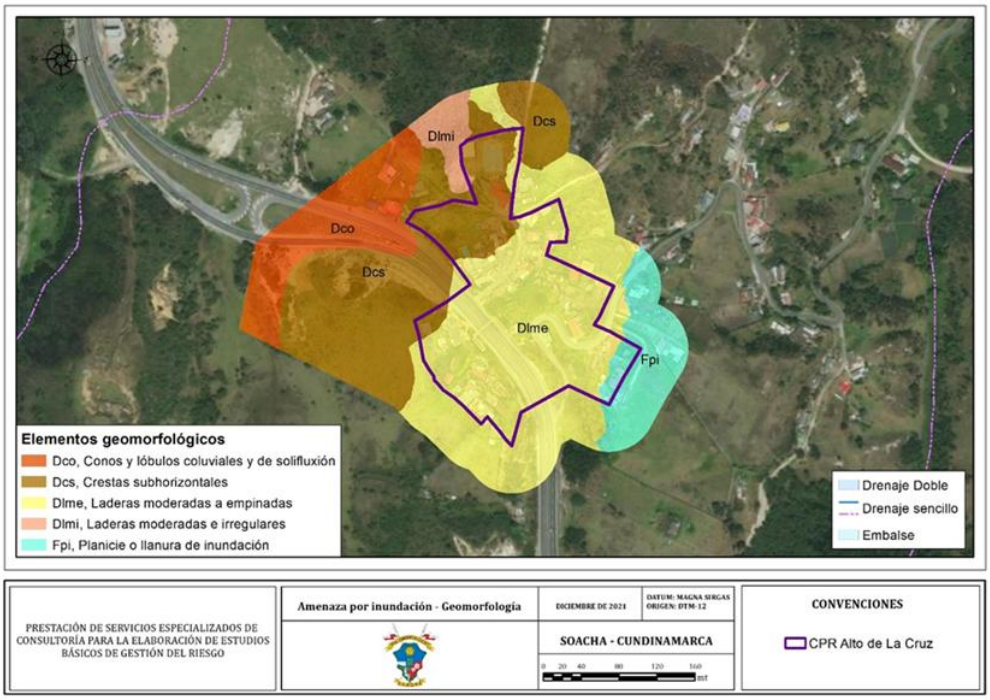


Figura 157. Mapa de elementos geomorfológicos en el CPR Altos de la Cruz
Fuente: Siglo XXII SAS

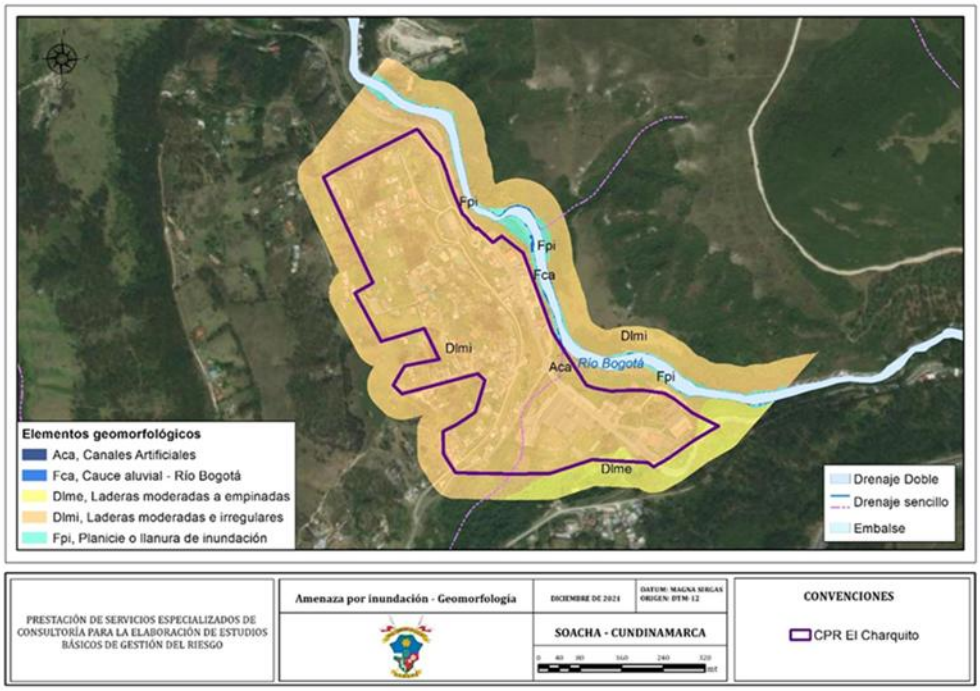


Figura 158. Mapa de elementos geomorfológicos en el CPR El Charquito
Fuente: Siglo XXII SAS

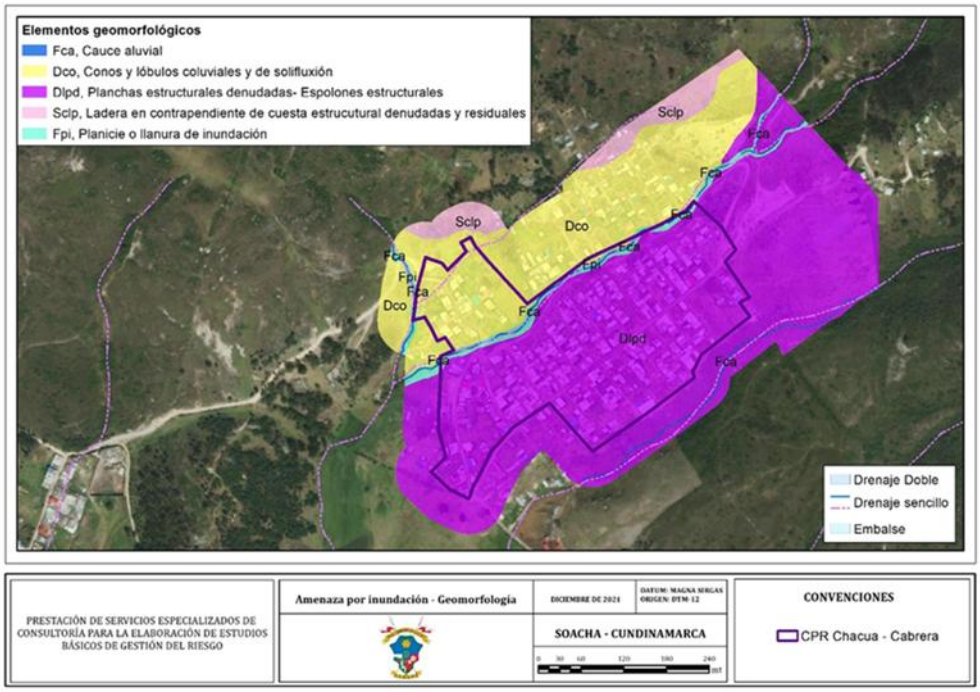


Figura 159. Mapa de elementos geomorfológicos en el CPR Chacua – Cabrera
Fuente: Siglo XXII SAS

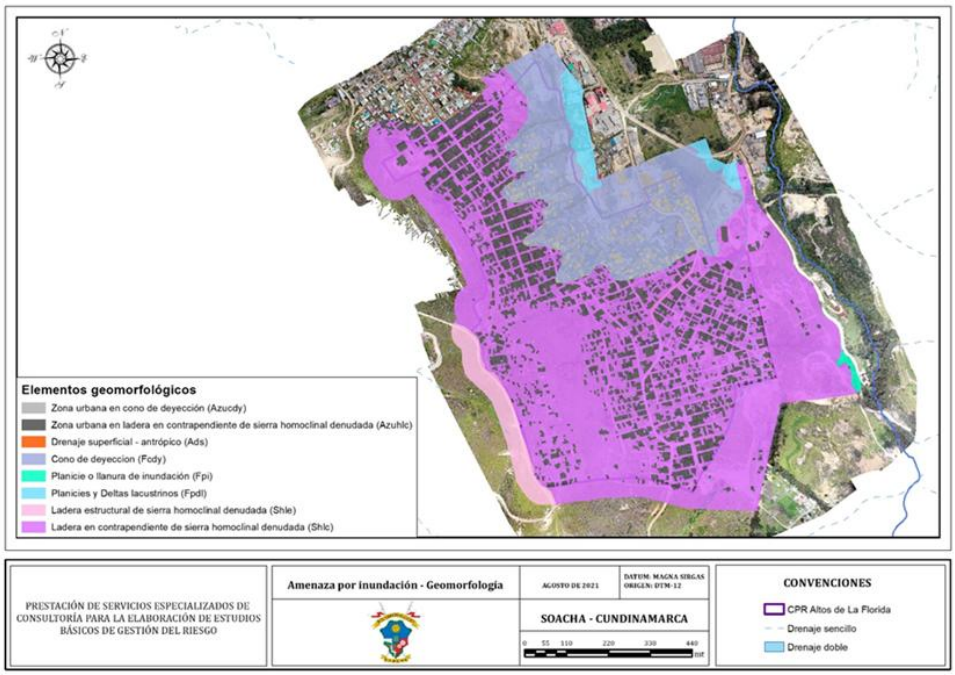


Figura 160. Mapa de elementos geomorfológicos en AHR ALTOS DE LA FLORIDA
Fuente: Siglo XXII SAS

2.7.1.3.2.4. ZONIFICACIÓN DE LA SUSCEPTIBILIDAD POR INUNDACIÓN

Para zonificar las zonas susceptibles de ser afectadas por procesos de inundación se tuvieron en cuenta las clasificaciones presentadas en la Tabla 2, Tabla 3 y Tabla 4, las cuales consideran que el área constituida por geoformas de origen estructural y denudacional son las menos susceptibles a afectaciones por desbordamiento ya que se encuentran en las cotas más altas con respecto al río. Por otro lado, las geoformas de origen fluvial se encuentran dentro del alcance de los efectos de los desbordes del río, siendo el elemento de planicie o llanura de inundación el más susceptible por ser la geoforma adyacente al cauce, así como los elementos geomorfológicos asociados a cuerpos de agua artificiales y naturales que se catalogan con una susceptibilidad alta, por representar cauces actuales de permanente acumulación de agua y donde se drena la escorrentía de las precipitaciones. Las geoformas de origen denudacional y estructural se clasifican con una susceptibilidad media, finalmente se encuentran las geoformas de origen denudacional - estructural asociadas a Crestas subhorizontales y las Laderas en contrapendiente de cuesta estructural denudadas y residuales; siendo estas las menos susceptibles a afectaciones por desbordamientos ya que se encuentran en las cotas más altas con respecto al río.

En la Figura 10, Figura 11 y Figura 12 se exhiben los mapas de susceptibilidad por inundación de los CRP Altos de la Cruz, El Charquito y Chacua – Cabrera respectivamente.

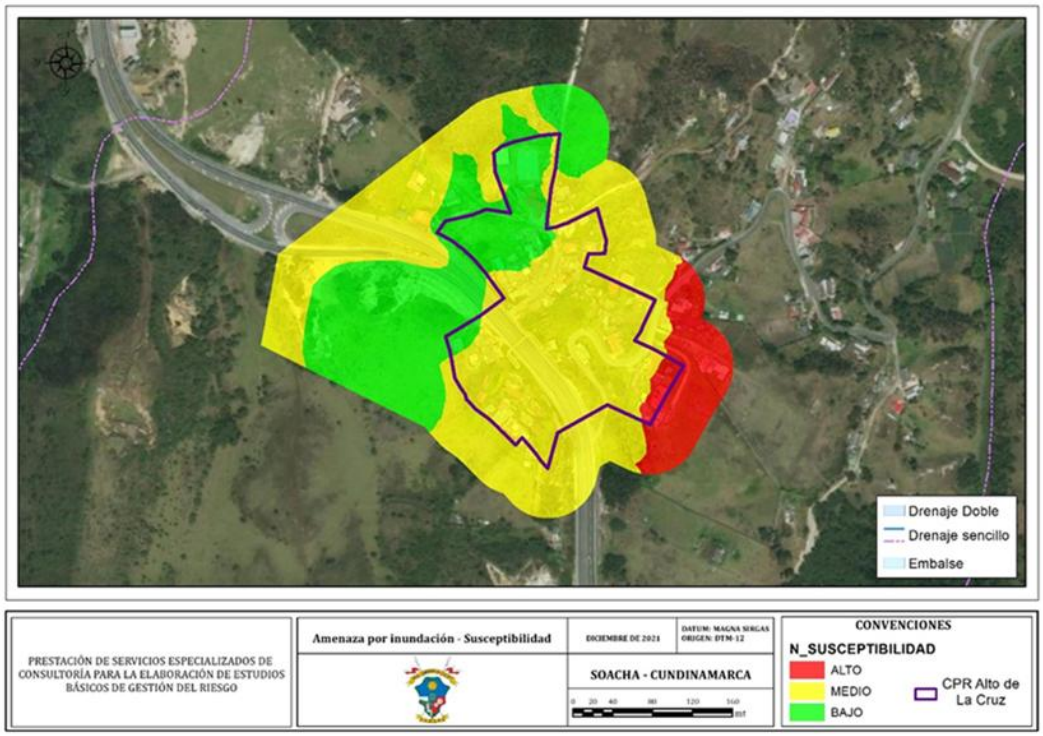


Figura 161. Mapa de susceptibilidad por inundación en el CPR Alto de la Cruz. Fuente: Siglo XXII SAS

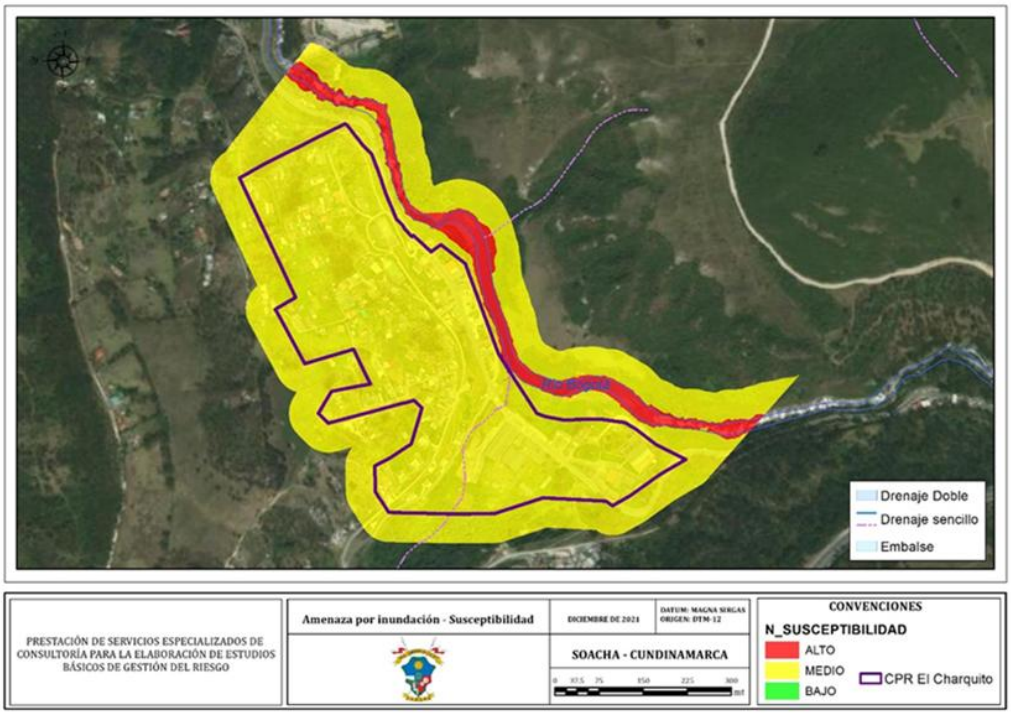


Figura 162. Mapa de susceptibilidad por inundación en el CPR El Charquito
Fuente: Siglo XXII SAS

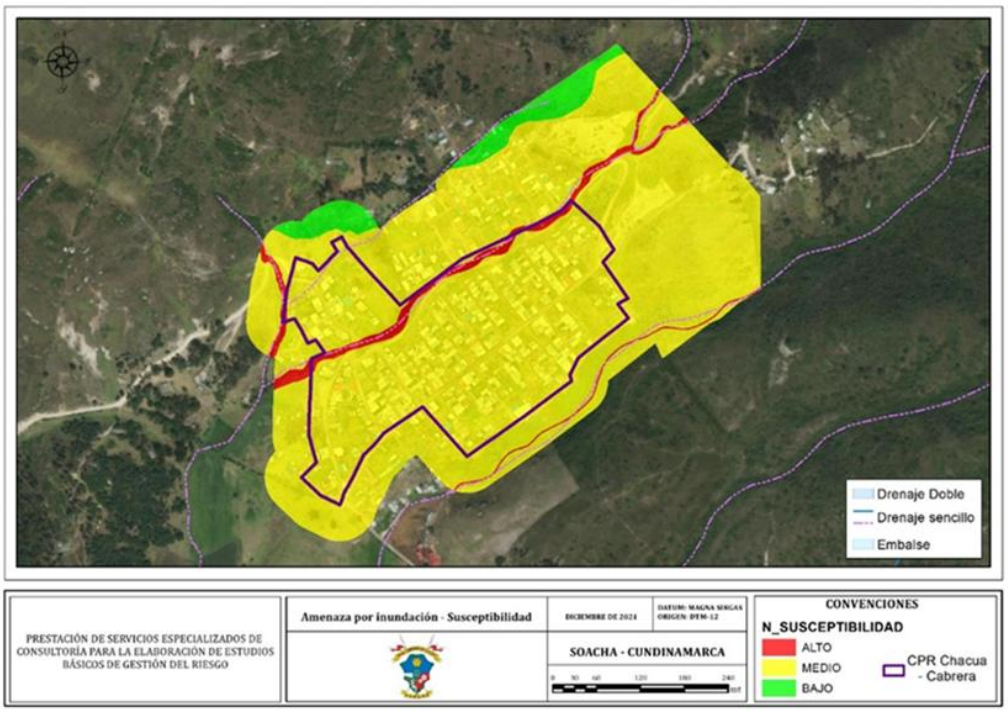


Figura 163. Mapa de susceptibilidad por inundación en el CPR Chacua -Cabrera
Fuente: Siglo XXII SAS

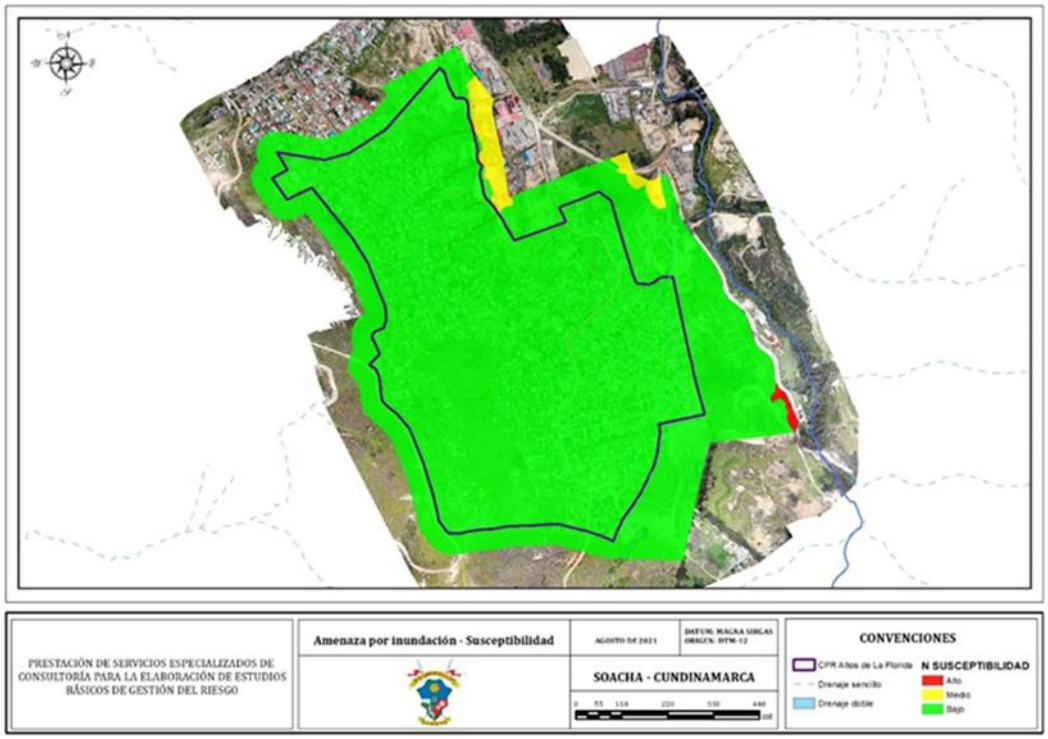


Figura 164. Mapa de susceptibilidad por inundación en AHR ALTOS DE LA FLORIDA

Fuente: Siglo XXII SAS

2.7.1.3.3. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR INUNDACIÓN

Los eventos de inundación se dan cuando se produce una precipitación capaz de saturar el terreno, el volumen remanente escurre por los ríos y arroyos o sobre el terreno. Conforme el escurrimiento avanza hacia la salida de la cuenca, se incrementa proporcionalmente con el área drenada, si el volumen que fluye por el cauce excede la capacidad de este, se presentan desbordamientos sobre sus márgenes y el agua puede permanecer horas o días sobre el terreno inundado. Este efecto se presenta en zonas donde la pendiente es baja y, por ende, la capacidad de los ríos disminuye provocando desbordamientos que generan inundaciones en las partes aledañas (CENAPRED, 2004).

La zonificación de la amenaza por inundación se obtuvo a partir del análisis de eventos históricos y análisis geomorfológico (como se describió en el apartado 3.2.1 y 3.2.2, respectivamente) y el análisis hidrológico-hidráulico realizado para los cauces identificados de acuerdo con la escala de la cartografía base.

2.7.1.3.3.1. ANÁLISIS MULTITEMPORAL DE IMÁGENES SATELITALES DISPONIBLES

Se analizaron imágenes satelitales disponibles de Google Earth Engine para identificar los procesos morfodinámicos de los drenajes principales de las zonas de estudio, relacionados con cambios en los cauces, desbordamientos o inundaciones recientes, entre otros. El análisis multitemporal se realiza para los cuerpos identificados en el área de estudio, que pueden potencialmente presentar amenaza por inundación.

El río Soacha desemboca sobre un cono aluvial y la terraza alta del altiplano a la que disecta antes de entrar al valle aluvial del río Bogotá, las formas históricas de ocupación se han perdido en gran parte de los suelos y actualmente muestra un comportamiento torrencial, es decir, de respuesta rápida a los aguaceros por la reducción en la infiltración y retención del agua. Gran parte de la cuenca media y baja tiene explotación de canteras, hecho que causa escarpes que luego son utilizados para asentamiento barrios subnormales. Esta situación, con características de desertificación afecta la cuenca media y baja en momentos de lluvia con flujos torrenciales. Además, la parte aluvial baja de la subcuenca fue urbanizada en las cubetas de desborde, todo lo cual genera amenazas por eventos lluviosos (Ecoforest Ltda., 2006).

En las fotografías se puede identificar el río Soacha, el cual se ha convertido en los últimos años en un caño receptor de aguas residuales contaminadas, debido a los vertimientos agrícolas, pecuarios, industriales y domiciliarios sobre el río. En las imágenes satelitales se pueden identificar áreas desnudas y degradadas y un incremento gradual de la intervención antrópica en el área de estudio, produciendo una gran erosión visible, por la explotación de canteras y expansión de la zona urbana, degradando los suelos. Las coberturas de tejido urbano han aumentado, debido a la alta expansión del crecimiento poblacional y han disminuido los mosaicos y cultivos, así como los bosques fragmentados y arbustales (Pineda, 2019)

Dentro de las zonas de estudio no se observan procesos morfodinámicos relevantes de los cauces ni afectaciones por inundaciones. En la Figura 6 se exhiben los análisis multitemporales realizado para el área de estudio. Este incluyó imágenes satelitales de los años 2010, 2013, 2015, 2016, 2019 y 2020.

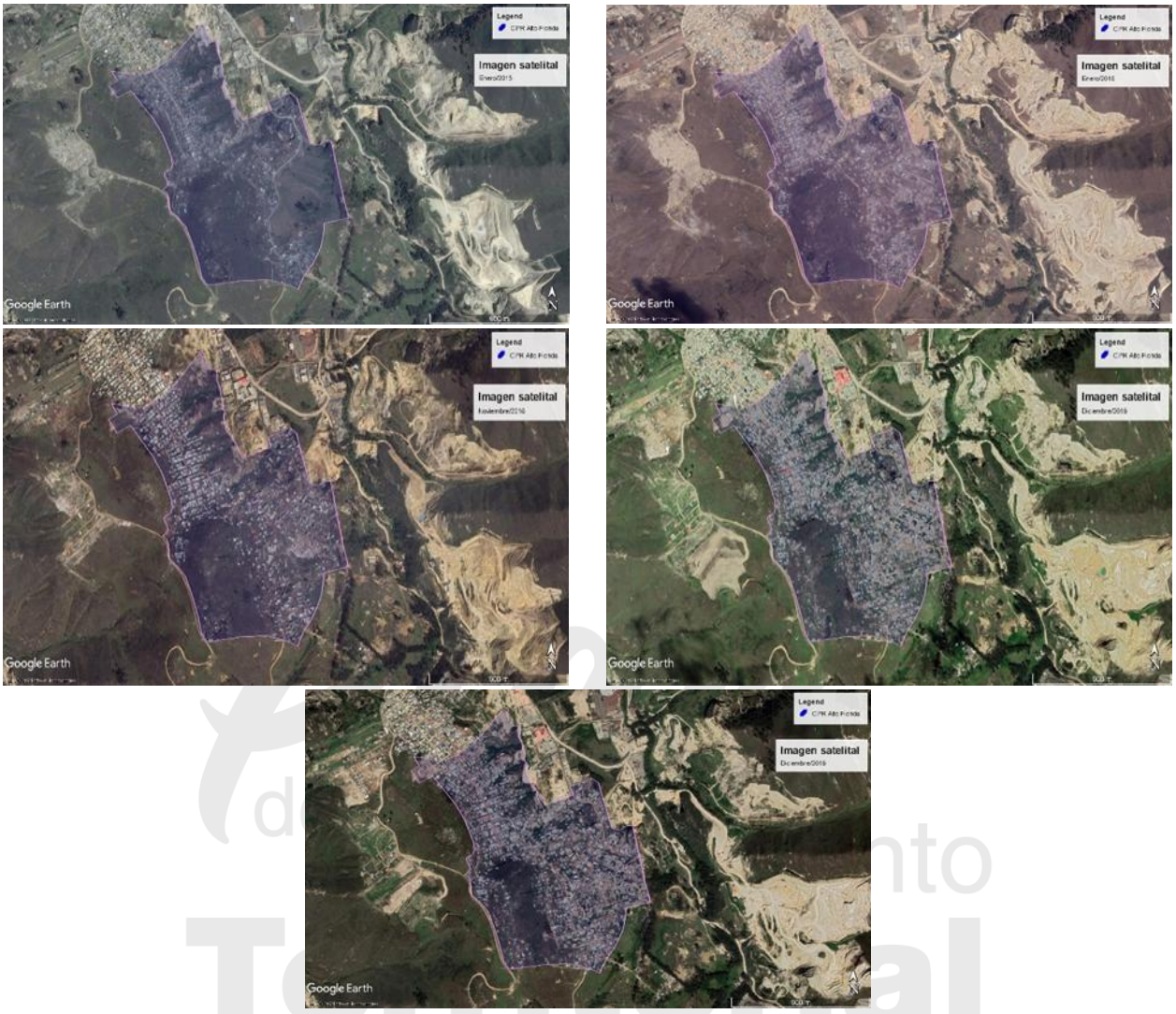


Figura 165. Análisis multitemporal para el AHR Altos de La Florida Imágenes satelitales de los años 2010 – 2020.

Fuente: Siglo XXII SAS

2.7.1.3.3.2. ANÁLISIS HIDROLÓGICO-HIDRÁULICO

Este análisis se realizó para los cauces identificados en las zonas de estudio (Río Bogotá y 4 Drenajes innominados), que puedan tener influencia en la amenaza por inundación, a nivel de la escala de la cartografía base. De esta manera, se desarrolló la siguiente metodología para los CPR Altos de la Cruz, El Charquito, Chacua – Cabrera y Altos de La Florida.

El análisis hidrológico tiene como objetivo determinar las avenidas de diseño correspondientes a incidentes meteorológicos de alta (2 años) media (50 años) y baja (100 años) probabilidad de ocurrencia.

El análisis hidrológico de una cuenca contempla el cálculo de varios parámetros que influyen directamente en la modelación e interpretación de los resultados, parámetros como la precipitación, Morfometría, pendiente, clima, uso del suelo, coeficiente de escorrentía, geología, entre otros son la base de dicho modelamiento. Esta información base permite el cálculo de la precipitación neta y la estimación de los caudales máximos con el fin de determinar el caudal de diseño para el área de estudio. En la Figura 13 y la Figura 14 se puede ver un resumen de la modelación hidrológica e hidráulica.

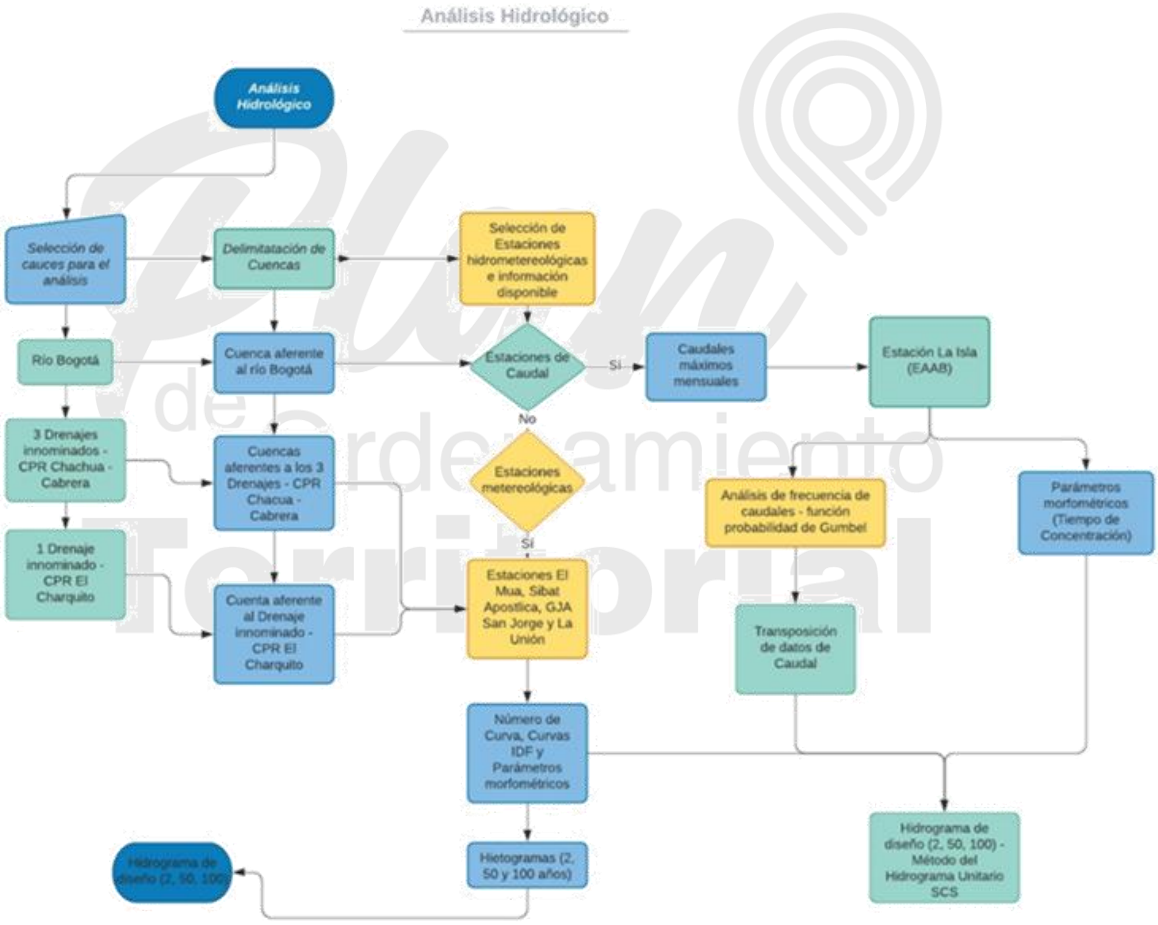


Figura 166. Análisis Hidrológico

Fuente: Siglo XXII SAS

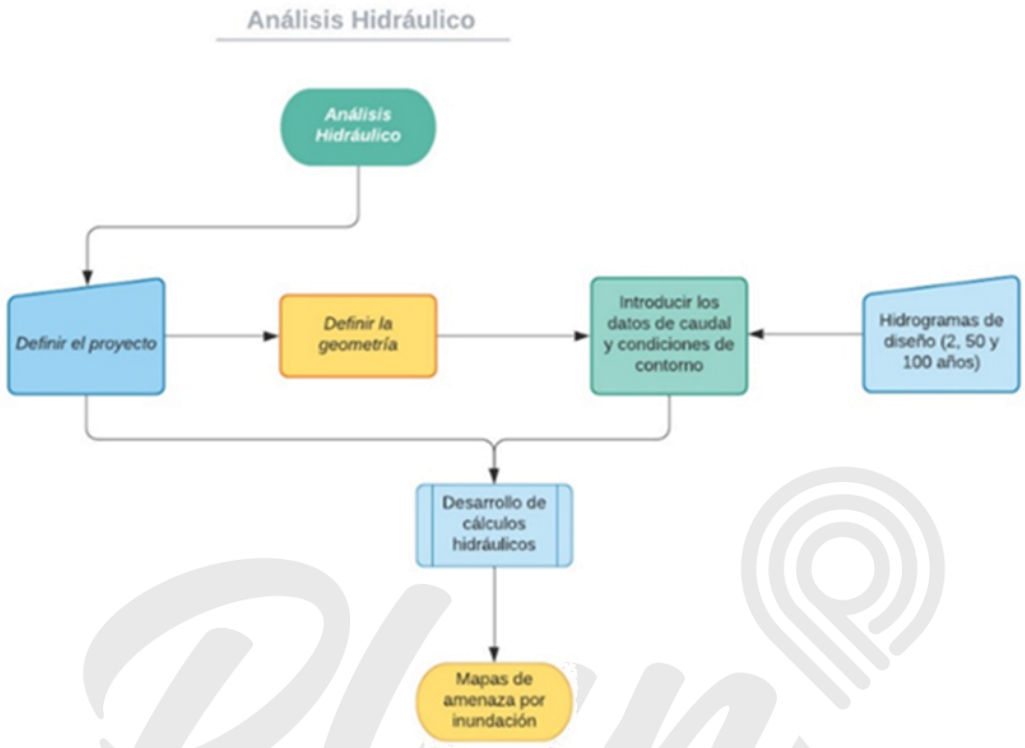


Figura 167. Análisis Hidráulico

Fuente: Siglo XXII SAS

2.7.1.3.3.2.1. IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS

Para cuantificar el nivel de amenaza, a partir del análisis hidrológico-hidráulico de los cauces (Río Bogotá y 4 Drenajes innominados) en el área de estudio, se hace uso de los modelos digitales de terreno (MDT) y la información hidrológica disponible.

De acuerdo con CONSGA (2017), la cuantificación de la amenaza en un sitio se puede caracterizar determinando para cada evento posible (i):

mi: magnitud del evento [definida por profundidad, velocidad, volumen, energía, …]

p(mi): frecuencia o probabilidad de ocurrencia del evento [en %/año]

Tabla 85. Identificación de amenazas.

Tipo de amenaza	mi: magnitud del evento	p(mi): frecuencia o probabilidad
Zona de amenaza alta	Alto	Alta

Tipo de amenaza	mi: magnitud del evento	p(mi): frecuencia o probabilidad
	Alto	Media
	Medio	Alta
Zona de amenaza media	Alto	Baja
	Medio	Media
	Medio	Baja
	Bajo	Alta
Zona de amenaza baja	Bajo	Media
	Bajo	Baja

Fuente: CONSGA, 2017

2.7.1.3.3.2.2. ESTIMACIÓN DE PROBABILIDADES DE OCURRENCIA DE LOS EVENTOS

En el estudio desarrollado por CONSGA (2017), se efectuaron una serie de análisis estadísticos de los registros históricos existentes en términos de lluvias y caudales, para efectos de establecer escenarios asociados a eventos extremos que podrían a llegar a derivar en crecientes de las corrientes identificadas.

Sigue diciendo CONSGA (2017) en su estudio que, para la elaboración de mapas de amenazas, se toman como referencia tres escenarios de creciente, los cuales influyen directamente sobre la dinámica natural de los cauces en el tiempo, es decir que se analizan las crecientes normales asociadas a los niveles de agua presentes en los cauces, producto de inviernos normales ósea inviernos que presentan tanto en magnitud de caudal como de precipitación, valores menores o iguales al promedio histórico. Como un segundo escenario se analizaron niveles del agua asociados a caudales generados por inviernos con tendencias tanto en lluvia como en escorrentía del orden de periodos de retorno de 50 años; y por último los caudales extraordinarios que a menudo superan los caudales asociados al Bank Full o banca llena, que corresponden a caudales con periodos de retorno de 100 años. (pág. 5).

Teniendo en cuenta la anterior afirmación, los eventos de inundación que presentan una mayor recurrencia están asociados con caudales con periodos de retorno de 2 años, esto significa que la probabilidad de que se presente una inundación con un valor igual o mayor del caudal calculado es de ½ o 50% en cualquier año, independientemente de cuándo fue el último evento similar. Por tanto, los niveles de agua asociados a caudales de 2 años de periodo de retorno serán tipificados como zonas de amenaza alta de inundación, dado que son las zonas que frecuentemente sino casi todos los inviernos se encuentran inundadas, por lo que cualquier tipo de infraestructura se vería totalmente expuesta, de acuerdo con CONSGA (2017).

Del mismo modo, los niveles del agua asociados caudales con periodo de retorno de 50 años marcan las zonas con una tendencia media de inundación, por lo que los polígonos marcados por este escenario podrán tipificarse como zonas de amenaza media de inundación. Por último, los niveles de agua asociados a caudales con periodos de retorno de 100 años marcan tendencias poco probables de ocurrencia, pero con una gran área de ocupación por agua y posiblemente de afectación, por lo que se tipifican como amenaza baja de inundación (CONSGA, 2017).

2.7.1.3.3.2.3. METODOLOGÍA

Para analizar el comportamiento de las inundaciones sobre los cauces seleccionados (Río Bogotá y 4 Drenajes innominados) en el área de estudio, de acuerdo con la escala de la cartografía base, es necesario realizar una modelación para los diferentes periodos de retorno de 2, 50 y 100 años. En este caso, se utilizarán datos de estaciones de medición de caudal y el método indirecto de modelo de lluvia–escorrentía, en caso de carecer de información de caudales. A partir de los caudales calculados para cada escenario (periodos de retorno), se procede a construir el modelo hidráulico bidimensional con la información de modelos digitales de terreno (MDT) levantados para las zonas de estudio.

2.7.1.3.3.2.3.1. SELECCIÓN DE CAUCES PARA EL ANÁLISIS

Para el análisis hidrológico se seleccionaron los cauces identificados en la zona de estudio que pueden tener influencia en la amenaza por inundación a nivel de la escala de la cartografía base y los MDT. Los cauces seleccionados son:

a. Río Bogotá
b. 3 drenajes innominados en el CPR Chacua – Cabrera
c. 1 drenaje innominado en el CPR El Charquito
d. Río Soacha
e. Drenaje innominado

Se delimitaron las cuencas aferentes al Río Bogotá y los 4 drenajes innominados con el DTM EBGR-Soacha– 2 m y el DTM elaborado para el presente estudio – (0,5 m).

Se delimitaron las cuencas aferentes al Río Soacha (DEM EBGR-Soacha– 2 m) y el Drenaje innominado (DEM elaborado para el presente estudio– 1 m.)

2.7.1.3.3.2.3.2. ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS E INFORMACIÓN DISPONIBLE

Se realiza una revisión de las estaciones activas, usadas en el POMCA del río de Bogotá (operadas por el IDEAM, EAAB y la CAR) que tengan influencia en el área de estudio y estén cerca de las cuencas aferentes de los cuerpos agua seleccionados para el presente estudio. En las siguientes figuras se presentan las estaciones.

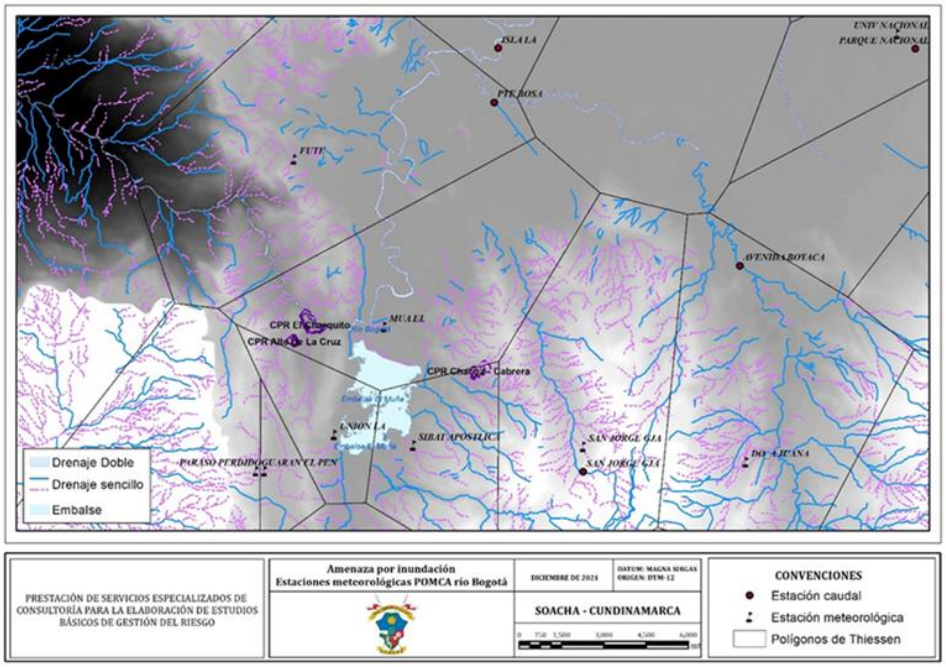


Figura 168. Estaciones del POMCA del río Bogotá con influencia en el área de estudio para los centros poblados Alto de La Cruz, El Charquito y Chacua Cabrera
Fuente: Siglo XXII SAS

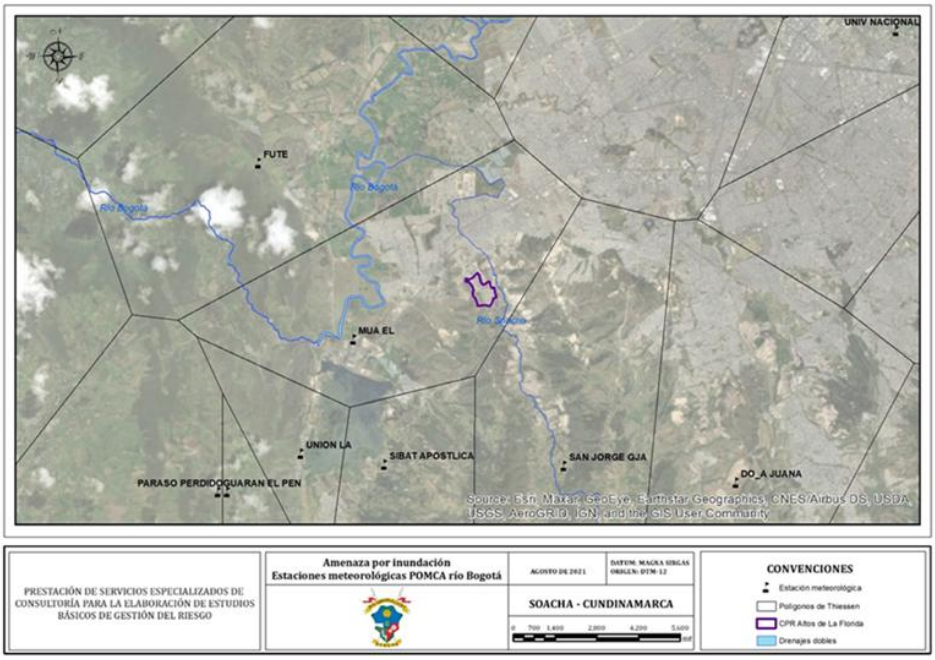


Figura 169. Estaciones del POMCA del río Bogotá con influencia en la zona de estudio – Centro poblado Altos de La Florida
Fuente: Siglo XXII SAS

Para la modelación hidrológica del Río Bogotá se utiliza la Estación La Isla (EAAB), en el caso de los 3 drenajes innominados del CPR Cachua-Cabrera se utilizaron los datos de las estaciones meteorológicas de Categoría Climatología principal (CP) - El Mua (CAR), Pluviográfica (PG)- Sibat Apostlica (IDEAM), y Climatológica Ordinaria (CO) -GJA San Jorge (IDEAM) por la disponibilidad de datos y real injerencia sobre las cuencas (polígonos de Thiessen), como se puede **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**. En el caso del Drenaje innominado para el CPR El Charquito se usaron los datos de las estaciones El Mua (CAR), y Pluviométrica (PM) - La Unión (IDEAM).

Para la modelación hidrológica del Río Soacha y del Drenaje innominado, se realiza un modelo de lluvia – escorrentía debido a que en la zona que se pretende analizar, no existe la suficiente información de estaciones de caudal para hacer el análisis. De las estaciones localizadas en áreas aferentes a la cuenca del Río Soacha, se seleccionaron las Estaciones El Mua, GJA San Jorge y Pasquilla (POMCA del río Bogotá) por la disponibilidad de datos y real injerencia sobre la cuenca (polígonos de Thiessen), como se puede ver en la Figura 9. En el caso del Drenaje Innominado, se utiliza, la Estación El Mua

A continuación, en las siguientes tablas se pueden observar los datos de las estaciones.

Tabla 86. Datos de Caudales máximos instantáneos de la estación La Isla para un periodo de (1991 – 2014) – POMCA del río Bogotá

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAX
1991	29.84	20.94	40	37.12	39.28	28.08	39.90	39.81	37.26	32.00	39.98	39.88	40
1992	26.6	32.05	35.04	36.03	38.26	19.67	38.76	34.79	33.80	22.47	38.02	38.02	38.76
1993	39.75	25.86	31.8	38.51	39.75	44.48	40	30.05	39.26	37.52	39.5	40	44.48
1994	30.55	35.78	39.75	40.00	40.00	40.00	39.75	39.75	33.80	40.00	40.00	34.30	40
1995	16.8	19.01	50.76	42.8	56.36	61.78	25.65	33.87	32.65	38.46	39.51	54.45	61.78
1996	26.65	32.65	70.33	38.81	128.84	31.51	74.96	34.17	35.4	50.29	47.89	54.82	128.84
1997	57.23	28.69	27.36	24.42	24.65	51.89	69.55	24.40	41.85	31.25	35.3	18.76	69.55
1998	17.36	36.11	39.55	38.77	105.71	56.22	68.12	58.2	35.67	61.35	87.26	78.39	105.71
1999	33.51	60.17	45.3	48.98	49.61	31.35	25.84	37.34	51.47	57.75	66.55	34.88	66.55
2000	23.15	53.77	48.99	32.36	34.17	32.78	36.03	42.07	41.53	35.27	43.93	17.45	53.77

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAX
2001	13.43	16.41	30.16	19.90	25.18	27.60	24.13	26.32	36.97	18.88	29.95	32.91	36.97
2002	18.74	26.06	25.82	53.13	64.49	66.19	40.31	35.51	29.53	45.22	34.80	42.14	66.19
2003	28.28	19.82	38.76	41.42	26.77	26.63	37.56	31.49	38.54	43.03	43.95	55.76	55.76
2004	20.91	39.69	36.90	50.35	47.08	43.95							50.35
2006	46.15	22.39	47.75	61.35	82.86	65.22	47.52	37.89	30.37	50.74	68.63	38.10	82.86
2007	24.80	27.87	38.76	51.20	35.92	48.21	40.31	37.89	49.59	57.54	53.77	60.87	60.87
2008	28.90	34.63	48.21	54.00	83.51	55.88	59.92	46.61	41.87	43.88	57.06	62.07	83.51
2009	35.49	48.89	47.29	57.06	42.76	36.08	35.69	29.36	28.76	54.31	45.85	26.73	57.06
2010	21.39	19.15	17.64	60.56	59.68	56.99	60.66	47.38	34.00	53.91	83.57	86.48	86.48
2011	46.51	43.75	71.75	84.55	86.8	80.44	48.27	43.62	34.93	70.21	79.49	87.43	87.43
2012	34.48	32.76	50.62	77.82	58.27	36.34	45.54	51.02	34.65	54.75	40.29	31.64	77.82
2013	17.92	52.37	53.30	48.43	43.21	44.56	29.11	37.67	22.19	33.12	58.96	56.83	58.96
2014	29.11	26.42		50.95									50.95
MED	29.02	32.84	42.54	47.33	55.14	44.81	44.17	38.06	36.39	44.38	51.16	47.23	
MAX	57.23	60.17	71.75	84.55	128.84	80.44	74.96	58.20	51.47	70.21	87.26	87.43	
MIN	13.43	16.41	17.64	19.90	24.65	19.67	24.13	24.40	22.19	18.88	29.95	17.45	

Tabla 87. Datos de Precipitación máxima en 24 horas de la estación El Mua para un periodo de (1967 – 2002) – POMCA del río Bogotá

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Máx
1967	16.00	22.00	18.00	14.00	15.00	15.00	7.00	5.00	6.00	46.00	19.00	15.00	46.00
1968	4.00	11.00	18.00	23.00	8.00	11.00	5.00	3.00	26.00	19.00	12.00	5.00	26.00
1969	8.00	5.00	4.00	42.00	12.00	13.00	3.00	7.00	20.00	33.00	13.00	8.00	42.00

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Máx
1970	17.00	9.00	3.00	7.00	20.00	6.00	9.00	5.00	30.00	18.00	10.00	16.00	30.00
1971	15.00	18.0, g0	42.00	25.00	18.00	23.00	7.00	8.00	14.00	28.00	13.00	15.00	42.00
1972	19.00	7.00	19.00	17.00	14.00	32.00	14.00	4.00	2.00	15.00	31.00	13.00	32.00
1973	3.00	3.00	22.00	11.00	23.00	10.00	11.00	26.00	30.00	23.00	18.00	10.00	30.00
1974	14.00	9.00	9.00	15.00	30.00	6.00	3.00	7.00	11.00	15.00	18.00	8.00	30.00
1975	14.00	24.00	17.00	10.00	16.00	13.00	14.00	13.00	20.00	12.00	17.00	13.00	24.00
1976	9.00	8.00	18.00	11.00	29.00	15.00	2.00	7.00	18.00	13.00	15.00	13.00	29.00
1977	9.00	1.00	17.00	12.00	9.00	9.00	9.00	13.00	12.00	29.00	10.00	5.00	29.00
1978	0.00	5.00	14.00	11.00	30.00	10.00	8.00	6.00	9.00	9.00	13.00	17.00	30.00
1979	10.00	12.00	17.00	20.00	37.00	15.00	17.00	39.00	10.00	19.00	18.00	16.00	39.00
1980	2.00	9.00	3.00	13.00	10.00	13.00	3.00	6.00	5.00	16.00	43.00	9.00	43.00
1981	1.00	2.00	10.00	26.00	31.00	11.00	3.00	31.00	10.00	29.00	21.00	4.00	31.00
1982	16.00	18.00	15.00	34.00	25.00	3.00	7.00	3.00	10.00	30.00	9.00	9.00	34.00
1983	3.00	6.00	9.00	24.00	14.00	4.00	10.00	8.00	11.00	14.00	9.00	3.00	24.00
1984	9.00	16.00	23.00	9.00	8.00	10.00	8.00	8.00	13.00	10.00	10.00	9.00	23.00
1985	3.00	8.00	6.00	9.00	7.00	9.00	3.00	8.00	16.00	10.00	10.00	2.00	16.00
1986	6.00	15.00	22.00	15.00	36.00	35.00	7.00	4.00	23.00	10.00	18.00	9.00	36.00
1991	1.00	0.00	28.00	25.00	17.00	4.00	8.00	9.00	16.00	9.00	17.00	34.00	34.00
1992	13.00	11.00	7.00	16.00	8.00	4.00	3.00	10.00	18.00	50.00	16.00	16.00	50.00
1993	28.00	23.00	12.00	16.00	34.00	3.00	7.00	4.00	12.00	12.00	17.00	5.00	34.00
1994	12.00	13.00	25.00	15.00	14.00	10.00	8.00	6.00	11.00	37.00	46.00	2.00	46.00
1995	1.00	4.00	11.00	29.00	39.00	8.00	6.00	10.00	16.00	7.00	18.00	22.00	39.00

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Máx
1996	9.00	23.00	24.00	19.00	24.00	12.00	18.00	7.00	14.00	7.00	7.00	8.00	24.00
1997	10.00	4.00	12.00	22.00	9.00	17.00	3.00	5.00	11.00	10.00	13.00	1.00	22.00
1998	0.00	10.00	44.00	20.00	26.00	7.00	10.00	11.00	13.00	16.00	24.00	10.00	44.00
1999	12.00	11.00	21.00	16.00	24.00	33.00	5.00	11.00	9.00	16.00	22.00	17.00	33.00
2000	12.00	44.00	20.00	7.00	14.00	18.00	34.00	18.00	15.00	18.00	20.00	15.00	44.00
2001	28.00	2.00	23.00	9.00	24.00	18.00	7.00	0.00	22.00	14.00	18.00	28.00	28.00
2002	0.00	9.00	14.00	26.00	21.00	28.00	3.00	7.00	21.00	13.00	12.00	19.00	28.00
MAX	28.00	44.00	44.00	42.00	39.00	35.00	34.00	39.00	30.00	50.00	46.00	34.00	

Tabla 88. Datos de Precipitación máxima en 24 horas de la estación Sibat Apostlica para un periodo de (1971 – 2004) – POMCA del río Bogotá

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Máx
1971	16	16	29	24	22	22	8	10	18	40	32	22	40
1972	21	14	18	22	26	15	11	5	1	14	12	0	26
1973	0	3	13	12	25	7	10	29	29	21	26	47	47
1974	17	16	14	16	28	13	4	15	14	12	30	20	30
1975	16	17	15	16	35	14	18	8	42	22	17	25	42
1976	23	17	20	31	24	17	3	3	24	24	18	24	31
1977	17	2	39	16	9	13	7	21	33	15	15	11	39
1978	1	9	21	40	17	10	9	5	11	13	18	20	40
1979	13	14	12	30	19	24	23	19	19	29	51	10	51
1980	3	6	3	16	15	24	4						24
1982	23	17	16	30	16	7	10	5	4	20	20	11	30
1987	19	11	26	30	19	2	11	3	14	24	18	4	30

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Máx
1988	8	15	4	21	13	29	14	18	19	25	31	16	31
1991	4	20	27	26	16	4	11	10	4	13	16	26	27
1992	5	4	28	8	9	3	4	7	11	13	18	7	28
1993	37	11	13	22	18	4	7	6	25	9	30	14	37
1994	17	19	27	9	18	10	10	4	19	19	44	1	44
1995	1	1	25	39	34	8	8	13	5	9	20	33	39
1996	16	20	22	18	37	22	12	6	13	13	16	12	37
1997	10	7	13	14	12	24	5	1	7	23	19	0	24
1998	0	9	5	7	27	3	9	8	0	19	11	15	27
1999	7	7	14	24	20	15	4	16	17	16	14	26	26
2000	6	27	8	5	14	30	14	16	25	10	16	54	54
2001	4	26	23	4	12	31	4	2	19	21	13	5	31
2002	7	18	14	22	15	20	8	3	15	13	19	22	
2003	6	7	29	27	4	10	10	5	40	28	12	6	40
2004	7	21	14	25	32	6	5	5	16	18	20	14	32
2005	9	16	8	16	29	12	7	14	9	16	13	11	29
2006	18	1	16	17	30	12			8	27	16		30
2007	3	5	11	11	15	20	9	21	2	23	7	14	23
2008	7	12	28	22	2	26	18	17	7	32	16	20	32
2009	21	25	20	22	2	24	5	5	19	15	30	4	30
2010	4	16	6	44	24	13	25	7	13	19	27	21	44

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Máx
2011	27	8	33	32	23	13	16	13	21	21	19	34	34
2012	4	17	18	23	8	22	10	7	6	25	6	23	25
2013	11	13	23	41	12	13	9	21	7	10	20	16	41
2014	14	12	38	11	8	5							40
MAX	28.00	44.00	44.00	42.00	39.00	35.00	34.00	39.00	30.00	50.00	46.00	34.00	

Tabla 89. Datos de Precipitación máxima en 24 horas de la estación GJA San Jorge para un periodo de (1961 – 2005) – POMCA del río Bogotá

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Máx
1961	9.00	6.00	18.00	20.40	16.20	24.00	14.30	14.50	8.30	41.70	24.20	14.70	41.70
1962	22.90	2.00	36.50	31.20	21.00	16.50	9.80	11.00	7.20	20.80	23.50	6.30	36.50
1963	2.40	16.40	9.80	15.50	26.30	20.30	2.80	6.70	12.50	12.50	30.70	6.50	30.70
1965	10.50	20.50	18.50	26.50	33.50	10.50	8.80	10.50	2.50	19.50	39.70	6.00	39.70
1966	0.00	30.50	20.50	8.50	12.50	25.30	15.50	20.50	15.30	10.30	65.00	19.30	65.00
1967	7.70	17.70	20.20	16.70	23.70	13.90	13.20	11.30	16.30	26.30	14.10	7.60	26.30
1968	3.30	13.80	10.60	26.80	7.60	20.20	15.00	7.20	15.90	22.90	34.80	4.60	34.80
1969	10.80	8.60	2.10	33.80	13.50	10.60	6.00	7.80	13.50	34.60	12.90	12.90	34.60
1970	11.30	13.00	12.60	7.70	22.90	9.00	13.30	5.70	27.70	32.50	30.50	6.80	32.50
1971	21.60	37.00	20.20	25.60	58.70	25.50	14.30	5.80	18.50	17.40	13.80	11.50	58.70
1972	30.20	16.00	11.20	20.10	16.80	16.50	9.20	8.30	3.90	16.30	30.00	8.00	30.20
1973		3.20	4.70	22.90	39.30	13.30	11.70	20.00	16.00	15.50	36.10	19.00	39.30
1974	8.80	22.00	16.40	21.40	41.80	7.00	13.40	6.10	14.50	17.40	23.80	15.40	41.80
1975	1.00	19.60	17.20	21.50	37.50	23.00	11.40	46.00	14.80	24.80	20.30	19.30	46.00

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Máx
1976	7.20	5.80	23.90	13.10	26.20	20.80	14.80	8.20	12.90	18.00	15.90	33.00	33.00
1977	0.20	4.70	16.60	26.50	9.50	11.30	12.00	10.20	17.00	14.80	28.20	10.50	28.20
1978	3.40	13.00	12.60	13.10	18.90	7.60	11.50	6.80	20.40	16.00	16.80	12.00	20.40
1979	12.50	6.60	11.30	31.10	26.70	18.00	23.90	23.80	28.80	30.20	27.90	9.70	31.10
1980	1.60	21.40	6.20	26.10	6.20	24.40	5.20	13.70	14.40	19.30	32.40	15.60	32.40
1981	0.30	5.60	10.40	26.50	31.00	21.90	3.80	18.30	21.10	17.70	32.60	14.60	32.60
1982	39.60	22.60	17.10	38.50	18.30	8.90	11.20	9.70	26.00	29.00	16.90	8.10	39.60
1983	1.20	12.70	23.20	29.60	18.70	5.00	26.80	12.10	18.60	27.80	16.50	13.20	29.60
1984	14.40	25.80	7.70	17.40	13.30	16.30	9.20	22.80	20.30	26.90	23.80	3.00	26.90
1985	3.50	2.20	11.00	16.50	59.50	13.60	8.60	13.80	18.20	23.40	11.60	9.00	59.50
1986	5.20	21.70	11.50	28.20	27.50	9.80	9.40	6.00	16.80	18.20	26.40	4.20	28.20
1987	5.80	12.30	10.80	20.80	25.20	3.60	21.70	8.60	5.40	20.00	1.40		25.20
1988		8.40	4.20	13.20	14.40	11.60		8.00	10.00	37.00	19.00	17.50	37.00
1989	2.20	11.20	19.60	14.70	12.90	17.40	9.00	9.80	12.40	15.20	19.50	18.50	19.60
1990	8.70	21.00	29.20	27.20	48.00	12.60	16.50	11.00	7.50	27.80	17.30	24.60	48.00
1991	12.60	11.20	27.80	18.00	26.20	9.80	12.90	17.40	11.00	22.80	33.20	16.80	33.20
1992	15.50	5.50	7.80	15.20	10.50	4.20	5.00	18.70	15.50	3.60	17.00	14.40	18.70
1993	22.60	10.00		27.60	17.20	10.00	17.50	8.60	14.30	15.20	31.20	3.20	31.20
1994	24.20	12.20	17.00	21.50	16.80	16.60	17.00	15.20	18.60	25.20	20.40	2.50	25.20
1995	0.00	2.80	24.00	20.00	21.40	15.20	13.40	10.40	6.60		17.00	31.50	31.50
1996			22.80	24.20	42.20			12.20	16.80	25.20	11.00	12.00	42.20
1997	13.00	25.00	12.00		17.10	21.20	12.20	7.00	18.00		8.50	0.90	25.00

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Máx
1998	0.00	6.40	18.00	14.50	46.20	24.00	15.50	17.50	14.90	16.60	10.00	10.30	46.20
1999	7.60	23.50	28.00	14.20	20.40	10.00	6.20	19.10		26.20	19.50	11.00	28.00
2000	20.00	27.00	24.40	10.20	18.00	32.20	15.00	21.80	20.00	27.50	13.00	16.80	32.20
2001	3.00	17.00	29.70	7.50	16.00	24.20	7.80	2.50	20.00	7.00	15.50	25.00	29.70
2002	6.00	6.00	12.00	23.50	17.70	27.50	13.00	7.20	28.50	24.20	17.20	14.20	28.50
2003	10.50	16.40	12.20	31.20	6.20	13.50	8.00	5.00	12.00	26.50		13.00	31.20
2004	3.00	15.50	15.60	39.00	27.40	22.30	10.00	7.60	35.00	38.00	22.00	15.50	39.00
2005	3.50	23.50		13.40		17.50	5.50	12.20	24.00	24.00	10.40	19.00	
MAX	39.60	37.00	36.50	39.00	59.50	32.20	26.80	46.00	35.00	41.70	65.00	33.00	

Tabla 90. Datos de Precipitación máxima en 24 horas de la estación La Unión para un periodo de (1985 – 2015) – POMCA del río Bogotá

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Máx
1985			*	20.5	27.5	11.9	10.9	11.3	27.7	16.3	19.6	30	30
1986	18.2	23	12.5	17.2	20.3	30.5	24.2	13.3	11	25.4	26.6	2.2	30.5
1987	14	12.3	32	36.8	30.7	4.9	10	3.8	27.2	30.6	8.4	3.6	36.8
1988	6.9	12.5	3.4	19.2	9.5	31.9	15.8	26.9	14.5	24.1	27.3	14.6	31.9
1989	11	13.3	14.7	8.8	32.6	19.1	5.1	13.9	21.7	13.9	13.2	35.6	35.6
1990	6.1	13.2	11	8.1	19.3	8.6	24.1	6.1	5.3	14.2	15.4	24.4	24.4
1991	14.4	4.9	27.1	27.6	21.6	15.6	7.3	9.4	23.5	22.3	20.4	34.6	34.6
1992	2.8	12.5	5.3	6.4	13.6	1.7	7.6	6.8	11	8.3	16.7	10.4	16.7
1993	23	16	9.7	28.3	24	3.4	8.7	5.9	32.1	17.3	24.9	3.2	32.1
1994	18.9	26	21.9	15.2	22.1	12.1	11.9	4	16.2	22.5	24	2	26
1995	12.1	8.2	15.6	22.9	30	15.6	8.1	16.8	9.4	14.6	13.1	19.5	30
1996	15.9	19.7	21	18.5	25	15.6	16.7	12.1	24.4	17.6	9.5	6.5	25
1997	16.7	3.7	14.9	12.2	11.5	15	2.8	3.3	9.6	17.7	11	1.6	17.7
1998	1.6	8.7	12.1	9.9	28.6	15.1	13.7	26	9.2	19	21.7	18.7	28.6
1999	9.7	25.9	17.1	18.5	13.7	12.8	7.5	13.6	12.7	11.2	19.1	20.3	25.9
2000	11.5	29.3	27.1	9.7	14.2	20.3	9.9	14.8	25.6	7.8	14.8	9.8	29.3
2001	1.5	16.1	18.3	2.5	19.1	28.2	3.9	2.4	22.5	16.5	13.4	35.2	
2002	11.3	9.6	15	27.9	14.2	21.5	6.5	4.9	20.4	11.5	22.5	15.2	27.9
2003	7.1	9.5	7.8	28.1	4.4	10.6	15.2	13.1	36.8	25.4	12.3	7	36.8
2004	12.2	17.5	37.1	22	31.2	5.1	7	1.7	14.2	18.2	13.2	8.2	37.1
2005	4.3	11.7	11.4	17.6	23.7	16.5	8.9	13.7	4.2	12.5	12.5	2.4	23.7

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Máx
2006	7.9	0.8	13.7	15.6	18.4	13.7	9.9	16.2	5.2	10.4	8.1	7.5	18.4
2007	2	0.2	5.4	7.7	7.9	10.6	4.7	10.7	1.4	6.9	5.7	4.9	10.7
2008	8.7	7.3	12.5	22.7	12.7	5.7		7.4	2.7	27.7	15.2	9.3	27.7
2009	2.9	6.9	6.7	8.2	4.7	12.3	4.9	3.7	9.3	7.2	20.2	5.6	20.2
2010	0.7	7.9	5.7	14.3	10.4	5.9	104.5	60.1	8.5	17.3	23	17.1	104.5
2011	12	22	20	39	29.8	21	13.6	24.5	14	43.5	28.5	9.2	43.5
2012	2.2	9.3	18	8.6	11	12	12.8	9.6	8	8.5	6.5	7.2	18
2013	8.6	14.5	16	24	18.6	9.6	8.6	12.7	8.6	13.6	16.8	11.8	24
2014	12.6	14.8	15.6	9.6	13.8	13	6.8	12.8	13.5	19.6	21.2	22.4	22.4
2015	18.6	19.2	22.4	18.6	12.8	14.6	12	13.6	12				22.4
MAX	23	29.3	37.1	39	32.6	31.9	104.5	60.1	36.8	43.5	28.5	35.6	

Tabla 91. Datos de Precipitación máxima en 24 horas de la estación El Mua para un periodo de (1967 – 2002) – POMCA del río Bogotá

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Máx
1967	16.00	22.00	18.00	14.00	15.00	15.00	7.00	5.00	6.00	46.00	19.00	15.00	46.00
1968	4.00	11.00	18.00	23.00	8.00	11.00	5.00	3.00	26.00	19.00	12.00	5.00	26.00
1969	8.00	5.00	4.00	42.00	12.00	13.00	3.00	7.00	20.00	33.00	13.00	8.00	42.00
1970	17.00	9.00	3.00	7.00	20.00	6.00	9.00	5.00	30.00	18.00	10.00	16.00	30.00
1971	15.00	18.00	42.00	25.00	18.00	23.00	7.00	8.00	14.00	28.00	13.00	15.00	42.00
1972	19.00	7.00	19.00	17.00	14.00	32.00	14.00	4.00	2.00	15.00	31.00	13.00	32.00
1973	3.00	3.00	22.00	11.00	23.00	10.00	11.00	26.00	30.00	23.00	18.00	10.00	30.00
1974	14.00	9.00	9.00	15.00	30.00	6.00	3.00	7.00	11.00	15.00	18.00	8.00	30.00
1975	14.00	24.00	17.00	10.00	16.00	13.00	14.00	13.00	20.00	12.00	17.00	13.00	24.00
1976	9.00	8.00	18.00	11.00	29.00	15.00	2.00	7.00	18.00	13.00	15.00	13.00	29.00
1977	9.00	1.00	17.00	12.00	9.00	9.00	9.00	13.00	12.00	29.00	10.00	5.00	29.00
1978	0.00	5.00	14.00	11.00	30.00	10.00	8.00	6.00	9.00	9.00	13.00	17.00	30.00
1979	10.00	12.00	17.00	20.00	37.00	15.00	17.00	39.00	10.00	19.00	18.00	16.00	39.00
1980	2.00	9.00	3.00	13.00	10.00	13.00	3.00	6.00	5.00	16.00	43.00	9.00	43.00

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Máx
1981	1.00	2.00	10.00	26.00	31.00	11.00	3.00	31.00	10.00	29.00	21.00	4.00	31.00
1982	16.00	18.00	15.00	34.00	25.00	3.00	7.00	3.00	10.00	30.00	9.00	9.00	34.00
1983	3.00	6.00	9.00	24.00	14.00	4.00	10.00	8.00	11.00	14.00	9.00	3.00	24.00
1984	9.00	16.00	23.00	9.00	8.00	10.00	8.00	8.00	13.00	10.00	10.00	9.00	23.00
1985	3.00	8.00	6.00	9.00	7.00	9.00	3.00	8.00	16.00	10.00	10.00	2.00	16.00
1986	6.00	15.00	22.00	15.00	36.00	35.00	7.00	4.00	23.00	10.00	18.00	9.00	36.00
1988	0.00												
1991	1.00	0.00	28.00	25.00	17.00	4.00	8.00	9.00	16.00	9.00	17.00	34.00	34.00
1992	13.00	11.00	7.00	16.00	8.00	4.00	3.00	10.00	18.00	50.00	16.00	16.00	50.00
1993	28.00	23.00	12.00	16.00	34.00	3.00	7.00	4.00	12.00	12.00	17.00	5.00	34.00
1994	12.00	13.00	25.00	15.00	14.00	10.00	8.00	6.00	11.00	37.00	46.00	2.00	46.00
1995	1.00	4.00	11.00	29.00	39.00	8.00	6.00	10.00	16.00	7.00	18.00	22.00	39.00
1996	9.00	23.00	24.00	19.00	24.00	12.00	18.00	7.00	14.00	7.00	7.00	8.00	24.00
1997	10.00	4.00	12.00	22.00	9.00	17.00	3.00	5.00	11.00	10.00	13.00	1.00	22.00
1998	0.00	10.00	44.00	20.00	26.00	7.00	10.00	11.00	13.00	16.00	24.00	10.00	44.00
1999	12.00	11.00	21.00	16.00	24.00	33.00	5.00	11.00	9.00	16.00	22.00	17.00	33.00
2000	12.00	44.00	20.00	7.00	14.00	18.00	34.00	18.00	15.00	18.00	20.00	15.00	44.00
2001	28.00	2.00	23.00	9.00	24.00	18.00	7.00	0.00	22.00	14.00	18.00	28.00	28.00
2002	0.00	9.00	14.00	26.00	21.00	28.00	3.00	7.00	21.00	13.00	12.00	19.00	28.00
MAX	28.00	44.00	44.00	42.00	39.00	35.00	34.00	39.00	30.00	50.00	46.00	34.00	50

Tabla 92. Datos de Precipitación máxima en 24 horas de la estación GJA San Jorge para un periodo de (1961 – 2005) – POMCA del río Bogotá

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Máx
1961	9.00	6.00	18.00	20.40	16.20	24.00	14.30	14.50	8.30	41.70	24.20	14.70	41.70
1962	22.90	2.00	36.50	31.20	21.00	16.50	9.80	11.00	7.20	20.80	23.50	6.30	36.50
1963	2.40	16.40	9.80	15.50	26.30	20.30	2.80	6.70	12.50	12.50	30.70	6.50	30.70
1965	10.50	20.50	18.50	26.50	33.50	10.50	8.80	10.50	2.50	19.50	39.70	6.00	39.70
1966	0.00	30.50	20.50	8.50	12.50	25.30	15.50	20.50	15.30	10.30	65.00	19.30	65.00
1967	7.70	17.70	20.20	16.70	23.70	13.90	13.20	11.30	16.30	26.30	14.10	7.60	26.30
1968	3.30	13.80	10.60	26.80	7.60	20.20	15.00	7.20	15.90	22.90	34.80	4.60	34.80
1969	10.80	8.60	2.10	33.80	13.50	10.60	6.00	7.80	13.50	34.60	12.90	12.90	34.60
1970	11.30	13.00	12.60	7.70	22.90	9.00	13.30	5.70	27.70	32.50	30.50	6.80	32.50
1971	21.60	37.00	20.20	25.60	58.70	25.50	14.30	5.80	18.50	17.40	13.80	11.50	58.70
1972	30.20	16.00	11.20	20.10	16.80	16.50	9.20	8.30	3.90	16.30	30.00	8.00	30.20
1973		3.20	4.70	22.90	39.30	13.30	11.70	20.00	16.00	15.50	36.10	19.00	39.30
1974	8.80	22.00	16.40	21.40	41.80	7.00	13.40	6.10	14.50	17.40	23.80	15.40	41.80
1975	1.00	19.60	17.20	21.50	37.50	23.00	11.40	46.00	14.80	24.80	20.30	19.30	46.00
1976	7.20	5.80	23.90	13.10	26.20	20.80	14.80	8.20	12.90	18.00	15.90	33.00	33.00
1977	0.20	4.70	16.60	26.50	9.50	11.30	12.00	10.20	17.00	14.80	28.20	10.50	28.20
1978	3.40	13.00	12.60	13.10	18.90	7.60	11.50	6.80	20.40	16.00	16.80	12.00	20.40
1979	12.50	6.60	11.30	31.10	26.70	18.00	23.90	23.80	28.80	30.20	27.90	9.70	31.10
1980	1.60	21.40	6.20	26.10	6.20	24.40	5.20	13.70	14.40	19.30	32.40	15.60	32.40
1981	0.30	5.60	10.40	26.50	31.00	21.90	3.80	18.30	21.10	17.70	32.60	14.60	32.60
1982	39.60	22.60	17.10	38.50	18.30	8.90	11.20	9.70	26.00	29.00	16.90	8.10	39.60
1983	1.20	12.70	23.20	29.60	18.70	5.00	26.80	12.10	18.60	27.80	16.50	13.20	29.60

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Máx
1984	14.40	25.80	7.70	17.40	13.30	16.30	9.20	22.80	20.30	26.90	23.80	3.00	26.90
1985	3.50	2.20	11.00	16.50	59.50	13.60	8.60	13.80	18.20	23.40	11.60	9.00	59.50
1986	5.20	21.70	11.50	28.20	27.50	9.80	9.40	6.00	16.80	18.20	26.40	4.20	28.20
1987	5.80	12.30	10.80	20.80	25.20	3.60	21.70	8.60	5.40	20.00	1.40		25.20
1988		8.40	4.20	13.20	14.40	11.60		8.00	10.00	37.00	19.00	17.50	37.00
1989	2.20	11.20	19.60	14.70	12.90	17.40	9.00	9.80	12.40	15.20	19.50	18.50	19.60
1990	8.70	21.00	29.20	27.20	48.00	12.60	16.50	11.00	7.50	27.80	17.30	24.60	48.00
1991	12.60	11.20	27.80	18.00	26.20	9.80	12.90	17.40	11.00	22.80	33.20	16.80	33.20
1992	15.50	5.50	7.80	15.20	10.50	4.20	5.00	18.70	15.50	3.60	17.00	14.40	18.70
1993	22.60	10.00		27.60	17.20	10.00	17.50	8.60	14.30	15.20	31.20	3.20	31.20
1994	24.20	12.20	17.00	21.50	16.80	16.60	17.00	15.20	18.60	25.20	20.40	2.50	25.20
1995	0.00	2.80	24.00	20.00	21.40	15.20	13.40	10.40	6.60		17.00	31.50	31.50
1996			22.80	24.20	42.20			12.20	16.80	25.20	11.00	12.00	42.20
1997	13.00	25.00	12.00		17.10	21.20	12.20	7.00	18.00		8.50	0.90	25.00
1998	0.00	6.40	18.00	14.50	46.20	24.00	15.50	17.50	14.90	16.60	10.00	10.30	46.20
1999	7.60	23.50	28.00	14.20	20.40	10.00	6.20	19.10		26.20	19.50	11.00	28.00
2000	20.00	27.00	24.40	10.20	18.00	32.20	15.00	21.80	20.00	27.50	13.00	16.80	32.20
2001	3.00	17.00	29.70	7.50	16.00	24.20	7.80	2.50	20.00	7.00	15.50	25.00	29.70
2002	6.00	6.00	12.00	23.50	17.70	27.50	13.00	7.20	28.50	24.20	17.20	14.20	28.50
2003	10.50	16.40	12.20	31.20	6.20	13.50	8.00	5.00	12.00	26.50		13.00	31.20
2004	3.00	15.50	15.60	39.00	27.40	22.30	10.00	7.60	35.00	38.00	22.00	15.50	39.00
2005	3.50	23.50		13.40		17.50	5.50	12.20	24.00	24.00	10.40	19.00	

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Máx
MAX	39.60	37.00	36.50	39.00	59.50	32.20	26.80	46.00	35.00	41.70	65.00	33.00	65

Tabla 93. Datos de Precipitación máxima en 24 horas de la estación Pasquilla para un periodo de (1982 – 2015) – POMCA del río Bogotá

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Máx
1982	11.00	12.00	7.00	21.00	23.00	5.00	11.00	8.00	15.00	20.00	12.10	12.40	23.00
1983	10.00	7.20	9.80	26.10	18.70	16.20	14.20	13.40	21.30	12.40	13.40	15.50	26.10
1984	6.60	40.50	6.30	18.30	13.10	18.20	28.10	12.30	39.90	27.60	44.50	9.30	44.50
1985		9.10	9.60	30.10	65.00	27.00	10.50	20.70	20.20	10.90	22.30	*	65.00
1986	8.80	31.20	12.80	3.20	14.90	12.80	10.40	7.00	5.00	2.10	2.80	9.10	31.20
1987	5.70	12.90	16.20	17.00	9.80	6.50	30.20	9.80	8.30	9.80	9.40	6.80	30.20
1988	5.80	11.60	5.20	19.30	10.50	11.20	12.00	12.50	9.00	14.40	28.70	6.00	28.70
1989	4.50	18.60								8.60		24.00	
1990	11.00	14.00	20.00	14.00	18.00	17.00	9.00	16.00	10.00	15.00	14.00	18.00	20.00
1991	0.00	7.00	20.00	22.00	20.00	11.00	16.00	19.00	10.00	5.00	17.00	11.00	22.00
1992	10.00	9.00	15.00	17.00	7.00	6.00	9.00	11.00	20.00	9.00	18.00	6.00	20.00
1993	4.00	9.00	19.00	17.00	17.00	14.00	16.00	10.00	20.00	11.00	17.00	3.00	20.00
1994	21.00	5.00	18.00	12.00	29.00	15.00	21.10	14.00	9.70	16.30	11.00	4.50	29.00
1995	0.00	8.90	4.60	13.30	24.50	10.40	7.10	29.30	6.60	8.80	10.00	30.50	30.50
1996	16.50	14.00	20.50	14.50	32.70	9.70	17.00	8.60	26.20	21.80	14.90	17.20	32.70
1997	14.90	5.70	32.20	13.50	12.20	9.80	22.00	11.40	13.10	16.20	14.00	2.20	32.20
1998	7.40	7.50	25.50	10.20	38.50	16.50	15.70	20.20	8.50	18.50	26.50	20.60	38.50
1999	11.10	23.80	23.00	11.00	15.50	15.70	4.30	31.10	17.20	17.90	20.50	3.50	31.10
2000	5.70	11.50	25.70	17.00	13.70	13.50	10.80	16.40	20.10	12.70	14.90	11.70	25.70

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Máx
2001	0.00	14.70	17.60	6.30	21.70	10.00	12.10	10.30	14.80	6.50	15.20	23.20	23.20
2002	3.40	3.60	7.80	26.50	27.50	32.80	10.30	12.70	26.50	20.90	16.90	10.50	32.80
2003	2.40	11.50	10.20	23.80	11.50	17.30	12.00	16.90	20.30	20.30	28.50	28.80	28.80
2004	2.00	10.40	8.50	19.20	26.60	14.20	11.40	12.70	18.30	29.30	12.90	5.10	29.30
2005	2.40	12.30	5.00	10.30	35.80	12.00	13.10	7.00	10.70	29.80	10.40	1.80	35.80
2006	7.80	7.70	15.20	19.70	21.70	19.80	4.50	9.70	9.50	25.80	30.20	1.70	30.20
2007	0.30	13.40	11.50	14.20	10.50	15.70					22.90	6.20	22.90
2008	5.90	4.50	11.80	22.60	32.90	*		15.00	11.50	26.50	14.60	17.60	32.90
2009	14.50	11.70	10.20	24.50	21.90	19.60	24.60	8.60	9.80	22.10	16.80	6.50	24.60
2010	1.00	16.10	14.60	19.70	21.70	22.70	20.70	7.30	13.20	23.00	32.10	22.60	32.10
2011	9.00	31.00	22.80	21.80	20.90	12.40	11.20	7.00	12.00	38.70	20.70	18.90	38.70
2012	2.70	8.60	12.80	25.70	20.60	7.30	13.90	7.10	10.90	26.80	9.80	12.50	26.80
2013	14.00	24.50	12.60	24.70	15.10	9.20	20.10	35.70	11.50	10.30	24.80		35.70
2014		16.70	8.20	12.30	17.50	21.50	12.60	8.90	4.20	14.70	11.50	7.70	21.50
2015	7.90	20.40	15.60	22.00	10.70	10.60	9.20	7.80	13.30	7.20	12.30		22.00
MAX	21.00	40.50	32.20	30.10	65.00	32.80	30.20	35.70	39.90	38.70	44.50	30.50	65

2.7.1.3.3.2.4. HIDROLOGÍA

El análisis hidrológico contempla el cálculo de los parámetros que influyen directamente en la modelación e interpretación de los resultados, parámetros como caudal, precipitación, Morfometría, pendiente, clima, uso del suelo, coeficiente de escorrentía, entre otros, son la base del modelo. A partir de dicha información se estiman los caudales máximos y caudal de diseño para cada escenario (periodo de retorno).

La información utilizada para realizar la caracterización hidrológica de los cauces seleccionados (Río Bogotá y 4 Drenajes innominados) en el área de estudio corresponde a información

hidrológica tomada del POMCA del río Bogotá. En el caso del río Bogotá se tomaron los registros de caudal para llevar a cabo un análisis de frecuencia y así poder determinar las crecientes máximas para los periodos de retorno anteriormente mencionados. Posteriormente se utilizó el método de Transposición de datos de caudal recomendado por el IDEAM (2017), debido a que la estación limnimétrica se encuentra en la misma cuenca hidrográfica, pero no en el sitio de interés. Con este método se pueden transferir caudales máximos instantáneos anuales para los periodos de retorno (2, 50 y 100) años de esta estación hasta el sitio de interés, mediante relaciones de áreas de drenaje así:

$$Q_{SP}=Q_{EH}*(A_{SP}/A_{EH})^{x}$$

Donde:

- QSP: Caudal en el sitio del proyecto, en metros cúbicos por segundo (m3/s)
- QEH: Caudal de la estación limnimétrica, en metros cúbicos por segundo (m3/s)
- ASP: Área de la cuenca hidrográfica hasta la estación limnimétrica, en kilómetros cuadrados (km2)
- AEH: Área de la cuenca hidrográfica hasta la estación limnimétrica, en kilómetros cuadrados (km2)

$$Q_{SP}=Q_{EH}*(A_{SP}/A_{EH})^{x}$$

El exponente x es un valor que fluctúa usualmente entre 0.5 y 0.75. A falta de datos de investigación, se acostumbra a tomar un valor igual a 0.5.

Para los 3 Drenajes innominados del CPR Chacua – Cabrera debido a que no se cuenta con medidas directas de caudales en las cuencas aferentes a los drenajes, por ello, se debe usar un modelo de transformación de lluvia -escorrentía. El método racional puede ser empleado en cuencas con áreas inferiores a 2.5 km2, como en este caso. Usando el método racional, se calcula la escorrentía superficial a partir de datos históricos de lluvia de corta duración existentes en las cuencas de interés y representativas de ellas, en función de las características geométricas, de suelos, vegetación y usos del suelo (IDEAM, 2017). El método racional comprende la determinación del coeficiente de escurrimiento, Curvas de Intensidad-Duración – Frecuencia (IDF) y cálculos de tiempo de concentración.

La expresión utilizada por el Método Racional es:

$$Q=\frac{C*I*A}{360}$$

Donde

Q: Caudal máximo [m3/s]

C: Coeficiente de escorrentía

I: Intensidad de la Lluvia de Diseño, con duración igual al tiempo de concentración de la cuenca y con frecuencia igual al período de retorno seleccionado para el diseño (Curvas de I-D-F) [mm/h]

A: Área de la cuenca. [Ha]

Para determinar el coeficiente de escorrentía se utilizaron los mapas de suelos y coberturas (POMCA del Río Bogotá) y adicionalmente el mapa de pendientes.

Para el Río Bogotá y los tres Drenajes innominados en el CPR Chacua -Cabrera se obtuvieron los Hidrogramas unitarios sintéticos utilizando el método desarrollado por el Soil Conservation Service – SCS (1972).

En el caso del drenaje innominado – CPR El Charquito, se presenta un área de drenaje mucho mayor a 20 km2; razón por la cual no es aconsejable utilizar el método racional; para este drenaje se utilizó la metodología computacional de HEC HMS - Modelo continuo de simulación hidrológica que utiliza parámetros distribuidos, para obtener el hidrograma de creciente en el punto de interés, del cual se extrae el caudal pico para determinado periodo de retorno (IDEAM, 2017). Para el cálculo del hidrograma y la estimación de las crecientes máximas es necesario conocer la escorrentía que produce una determinada tormenta. Las estimaciones de la escorrentía a partir de la precipitación pueden realizarse de varias formas, pero básicamente todos los métodos tratan de descontar de la lluvia caída sobre una cuenca, todas aquellas pérdidas que son debidas a factores como la infiltración, la evapotranspiración, etc. Sin embargo, el método más generalizado y quizá el más flexible es el método del número de curva CN del "Soil Conservation Service", este método es fácil de adaptar a nuestras condiciones pues toma en cuenta la cobertura del suelo, la pendiente, el porcentaje de área impermeable, el tipo de suelo, etc.

2.7.1.3.3.2.4.1. NÚMERO DE CURVA

El Número de Curva (CN) es un parámetro empírico que se calcula con el método desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS), con el objetivo de determinar la retención potencial máxima del suelo en una cuenca y toma en cuenta los valores de humedad antecedente del suelo (seco, normal y húmedo) determinada a partir de la precipitación total en los 5 días previos. Todos estos factores tienen un comportamiento directo sobre la cantidad de escorrentía producida por una cuenca hidrográfica (Monserrrat, Rodríguez, & Estrella, 1995).

Para la determinación del Número de Curva se debe tener en cuenta el grupo hidrológico, el cual se encuentra en función de las unidades geológicas superficiales con propiedades de drenaje. De acuerdo con Monserrrat, Rodríguez, & Estrella, (1995) el SCS establece cuatro grupos hidrológicos A, B, C y D

Grupo A: (Bajo potencial de escorrentía). En ellos el agua se infiltra rápidamente, aun cuando estén muy húmedos. Profundos y de texturas gruesas (arenosas o areno-limosas), están excesivamente drenados. Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión del agua.

Grupo B: (Moderadamente bajo potencial de escorrentía). Cuando están muy húmedos tienen una capacidad de infiltración moderada. La profundidad de suelo es de media a profunda y su textura es franco-arenosa, franca, francoarcillosa o franco-limosa. Están bien o moderadamente drenados. Son suelos con transmisión del agua moderada.

Grupo C: (Moderadamente alto potencial de escorrentía). Cuando están muy húmedos la infiltración es lenta. La profundidad de suelo es inferior a la media y su textura es franco-arcillosa, francoarcillo - limosa o arcillo-arenosa. Esos suelos pueden ser pobremente drenados o bien a moderadamente bien drenados, con estratos de permeabilidad lenta a muy lenta a poca profundidad (50-100 cm).

Grupo D: (Alto potencial de escorrentía). Cuando están muy húmedos la infiltración es muy lenta. Tienen horizontes de arcilla en la superficie o próximos a ella y están pobremente o muy pobremente drenados. También se incluyen aquí los terrenos con nivel freático permanentemente alto y suelos de poco espesor (litosuelos). Estos suelos tienen una tasa de transmisión de agua muy lenta.

Para el área de estudio se calcularon los Número de Curva (CN), a partir de la metodología basada en Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales permiten trabajar con datos de diversa índole que se den en una misma localización geográfica. La generación del mapa de Número de Curva se realiza mediante la aplicación de tablas de reclasificación y operaciones de superposición de las distintas capas de información de las que depende (Ferrér, Rodríguez, & Estrela, 1995). El Número de Curva se obtuvo del POMCA del Río Bogotá.

2.7.1.3.3.2.4.2. CURVAS INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA (IDF)

Las curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia permiten la estimación de volúmenes de drenaje superficial mediante modelos de lluvia - escorrentía en cuencas pequeñas donde no existe registro de caudal o ante la ausencia de una estación. Las curvas IDF son el resultado de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o periodo de retorno (Témez, 1978)

Para el presente estudio se determinará las curvas IDF mediante un análisis de frecuencia de lluvia, usando la distribución de valores extremos tipo I o Gumbel, donde para cada una de las duraciones seleccionadas, las profundidades de lluvias máximas anuales se extraen de los

registros históricos de lluvias y luego se aplica en análisis de frecuencia a la información anual (Chow, 1994).

Esta función es invertible y la estimación de los cuartiles, para determinados periodos de retorno, está dada por la siguiente ecuación:

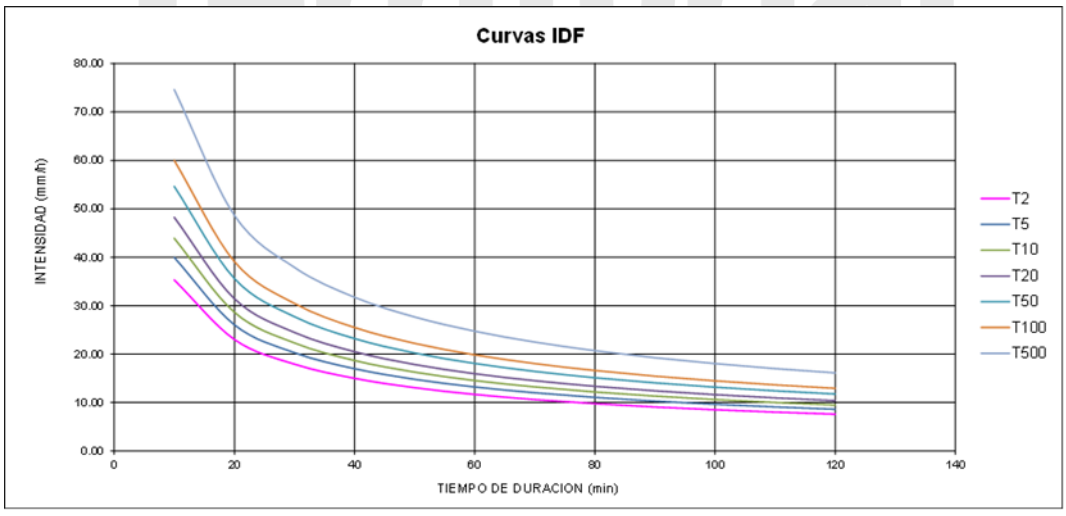
$$X_T = \mu + \alpha Y_T$$

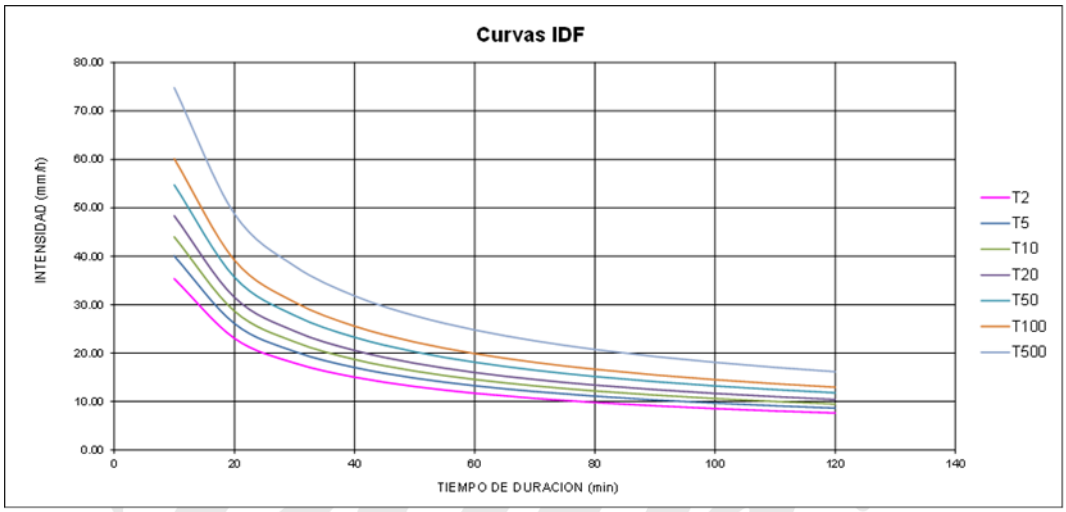
Donde X_T es el cuantil estimado a partir de la función, Y_T es la variable reducida de la función, μ puede ser calculado a partir de la muestra de datos, en términos del Método de Momentos, mediante la ecuación $\mu = \bar{x} + 0.5772\alpha$ y α mediante $\alpha = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * S$, donde $\bar{x}$ es la media de los datos y S la desviación de estos.

Cuando no se dispone de registros limnimétricos y limnigráficos, como es el caso de los 3 drenajes innominados en el CPR Chacua – Cabrera y 1 Drenaje innominado en el CPR El Charquito, se pueden hacer uso de ecuaciones que permitan estimar las curvas IDF a partir de información pluviométrica, lo que constituye una buena alternativa para aquellas zonas que disponen de registro de lluvias a nivel diario o totalizado de 24 horas. En este caso, las cuencas aferentes a los cauces seleccionados para los CPR Chaca -Cabrera y El Charquito se encuentran bajo la influencia de más de una estación, y se hace necesario repartir esos datos de lluvia a lo largo de la superficie de las cuencas mediante medias ponderadas. Para realizar la distribución de la precipitación se utiliza el método de los Polígonos de Thiessen.

3 drenajes innominados en el CPR Chacua – Cabrera.

1 drenaje innominado en el CPR El Charquito





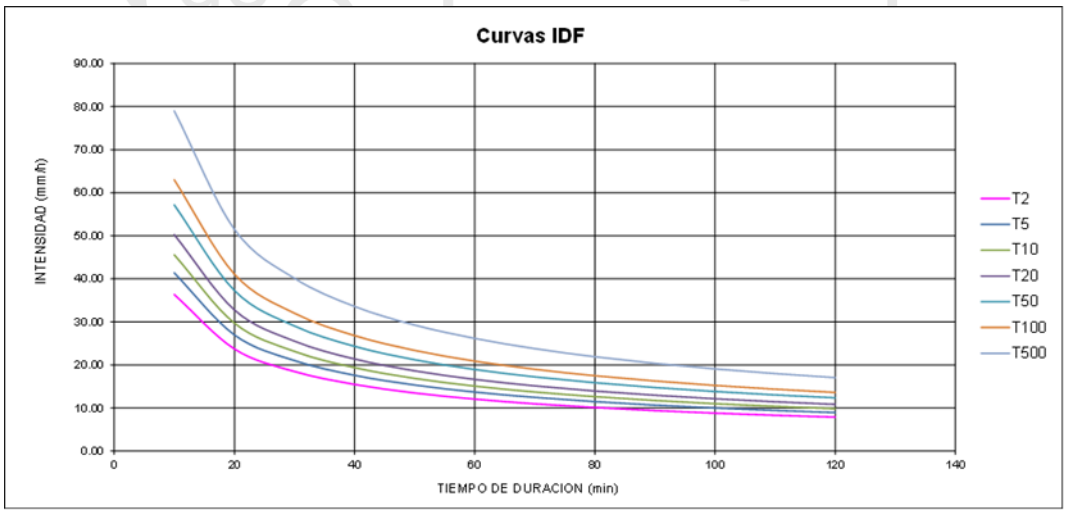


Figura 170. Curva IDF para los 3 drenajes innominados en el CPR Chacua – Cabrera

Fuente: Siglo XXII SAS

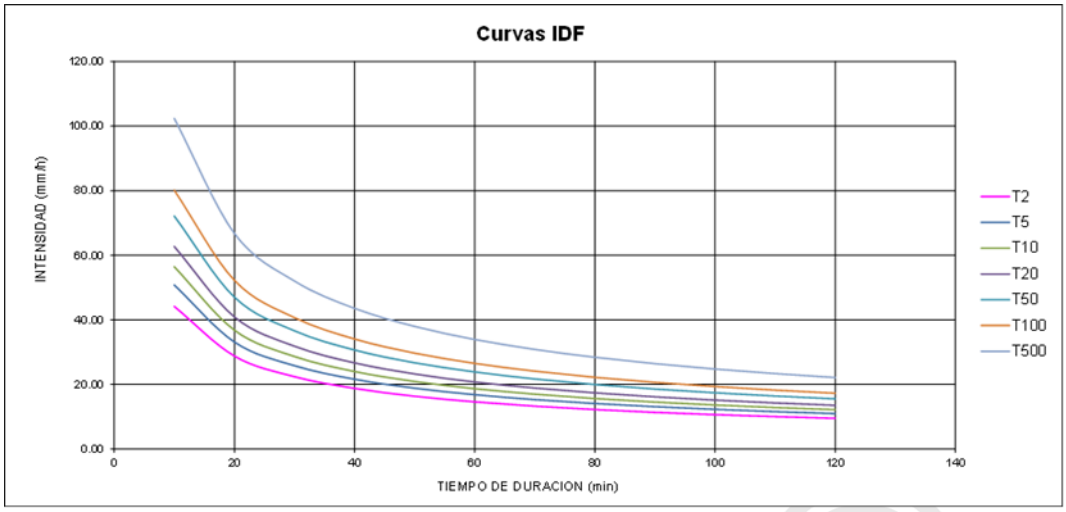


Figura 171. Curva IDF para el drenaje innominado en el CPR El Charquito

Fuente: Siglo XXII SAS

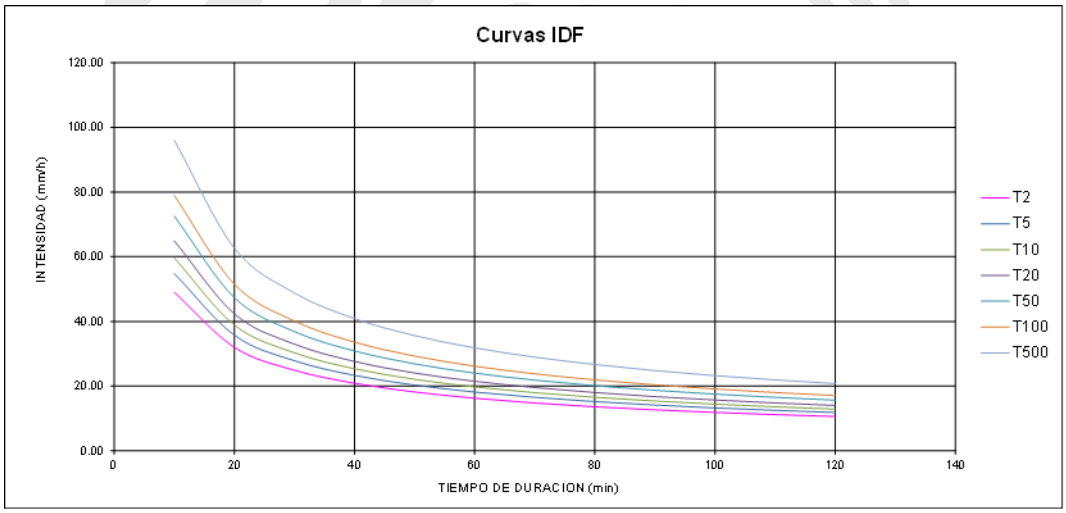


Figura 172. Curva IDF para la estación El Mua para el centro poblado Altos de La Florida

Fuente: Siglo XXII SAS

2.7.1.3.3.2.4.3. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS

Las características físicas de la cuenca tienen una relación estrecha con el comportamiento de los caudales que transitan por ella. Los parámetros morfométricos de una cuenca integran un

conjunto de estimaciones realizadas, en la mayoría de los casos, al iniciar un estudio hidrológico, con fines de aprovechamiento o control (Cardona, 2016)

a. Longitud del cauce principal

Se define como la distancia media que el agua debería escurrir sobre la cuenca para llegar a un cauce (Cahuana & Weimar, 2009). También se puede definir como la longitud del cuerpo de agua que le da nombre a la cuenca de estudio, en este parámetro se tienen en cuenta la sinuosidad del cauce; este parámetro se expresa normalmente en kilómetros.

b. Pendiente media del cauce principal

La pendiente de un tramo del río es la relación que existe entre los extremos inicial y final y la distancia horizontal de dicho tramo.

De acuerdo con el criterio de Taylor y Schwarz, se considera que el río puede estar formado por una serie de tramos de igual longitud y bien por tramos de longitud variable (Breña Puyol & Jacobo, 2006). La pendiente media, se puede calcular mediante la siguiente formula:

$$s = \left\{ \sum \frac{Li}{\left(\frac{1}{\sqrt{Si}}\right)} \right\}^2$$

Donde

s = Pendiente media del cauce principal (m/m)

Li= Longitud del tramo en (m) entre las curvas de nivel

Si =Pendiente media del tramo (m/m)

c. Área de la cuenca

Es la medida de la superficie de la cuenca, encerrada por la divisoria topográfica. Una cuenca puede catalogarse como: grande, media o pequeña de acuerdo con la extensión de su área y puede considerarse como un criterio de magnitud del caudal (IDEAM, 2007)

d. Tiempo de Concentración o tiempo de respuesta

El tiempo requerido para que, durante un aguacero uniforme, ise alcance el estado estacionario; es decir, el tiempo necesario para que todo el sistema (toda la cuenca) contribuya eficazmente a la generación de flujo en el sitio de desagüe (Vélez & Botero, 2011). Es el tiempo que tarda en llegar una gota de lluvia desde el punto más alejado de la cuenca hasta la salida de esta, o más

estrictamente, desde el punto donde la gota, circulando superficialmente, tarda más en llegar a la salida. Es pues, también, el tiempo desde el final de la lluvia neta hasta el final de la curva de descenso o inicio de la curva de agotamiento (Escuder, y otros, 2009). ADTMás, debe tenerse claro que el tiempo de concentración de una cuenca no es constante ya que depende ligeramente de las características de la lluvia (Vélez & Botero, 2011).

A continuación, se presenta las ecuaciones que se utilizaran el presente estudio:

- **Método Passini**

$$T_C = 0.108 * A^{0.333} * L^{0.5} * S^{-0.5}$$

Donde:

A: Área de la cuenca (Km^2)

T_C: Tiempo de concentración (h)

L: Longitud del cauce (Km)

S: Pendiente promedio de cauce $(^m/_m)$

- **Método Temez**

$$T_c = 0.3 * \left[\frac{L}{S^{0.25}}\right]^{0.76}$$

Donde:

T_C: Tiempo de concentración (h)

L: Longitud del cauce (Km)

S: Pendiente promedio de cauce $(^m/_m)$

- **Método Bransby-Williams**

$$T_c = 14.6 * \frac{L}{A^{0.1} * S^{0.2}}$$

Donde:

T_C: Tiempo de concentración (min)

L: Longitud del cauce (Km)

S: Pendiente promedio de cauce $(^{m}/_{m})$

A: Área de la cuenca (Km^2)

- **Método SCS**

$$T_c = \frac{100{L_P}^{0.8} * \left(\left(^{100}/_{CN}\right) - 9\right)^{0.7}}{1900 * S_0^{0.5}}$$

Donde:

T_C: Tiempo de concentración (min)

L_P: Longitud del cauce $(pies)$

S_0: Pendiente media del cauce $(\%)$

CN: Número de curva del método SCS, adimensional

- **Método Kirpich**

$$T_C = 3.98\left(\frac{L^{0.5}}{S}\right)^{0.77}$$

Donde:

T_C: Tiempo de concentración (h)

L: Longitud del cauce principal (Km)

S: Pendiente promedio de cauce $(^{m}/_{m})$

- **Método California C P**

$$T_C = 60\left[\frac{0.87075 * L^3}{H}\right]^{0.385}$$

- **Método Clark**

$$T_C = 0.335\left(\frac{A}{S^{0.5}}\right)^{0.593}$$

e. Tiempo de Retardo

El Tiempo de retardo o rezago es el tiempo transcurrido entre el centroide del hietograma y el centroide del hidrograma de escorrentía. También se encuentra definido en la literatura que el tiempo de rezago es el tiempo transcurrido entre el centroide del hietograma y el caudal de punta (Vélez & Botero, 2011). De acuerdo con Vélez & Botero, (2011) para el tiempo de retardo se encuentra en la literatura la relación propuesta por el "Soil Conservation Service" SCS, quien propone que es 0.6 veces el tiempo de concentración y los autores comprobaron en un artículo que la propuesta del SCS es válida para cuencas de media montaña típica de la zona andina colombiana.

El tiempo de concentración y el tiempo de retardo son variables utilizadas extensivamente en el diseño hidrológico para determinar la capacidad hidráulica máxima de las diferentes estructuras; se trata de variables que son propias de cada sitio y que dependen de las características geomorfológicas de la cuenca y de la lluvia (Vélez & Botero, 2011). En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se puede observar los parámetros morfométricos para el Río Bogotá, 3 Drenajes innominados en el CPR Cachua – Cabrera y 1 Drenaje innominado en el CPR El Charquito.

Tabla 94. Parámetros morfométricos del Río Bogotá, 3 Drenajes innominados del CPR Chacua -Cabrera y 1 Drenaje innominado del CPR El Charquito

Subcuencas	Río Bogotá	Drenaje innominado 1 – CPR Chacua - Cabrera	Drenaje innominado 2 -CPR Chacua - Cabrera	Drenaje innominado 3 – CPR Chacua - Cabrera	Drenaje innominado 1 -CPR El Charquito
Área (Km2)		0.23	0.53	0.71	4.37
Longitud del cauce	2.45	0.59	1.76	1.66	4.15

Subcuencas	Río Bogotá	Drenaje innominado 1 – CPR Chacua - Cabrera	Drenaje innominado 2 -CPR Chacua - Cabrera	Drenaje innominado 3 – CPR Chacua - Cabrera	Drenaje innominado 1 -CPR El Charquito
principal (Km)					
Pendiente media del cauce principal (m/m)	0.0469	0.18	0.17	0.14	0.05
Tiempo de retardo (horas)	0.614	0.13	0.27	0.23	0.94

Fuente: Siglo XXII SAS

Tabla 95. Tiempo de concentración para el Río Bogotá, 3 Drenajes innominados del área Chacua -Cabrera y 1 Drenaje innominado del área El Charquito

Tiempo de Concentración (h)	Río Bogotá	Drenaje innominado 1 – CPR Chacua - Cabrera	Drenaje innominado 2 – CPR Chacua - Cabrera	Drenaje innominado 3 – CPR Chacua - Cabrera	Drenaje innominado 1 – CPR El Charquito
(Método Passini)		0.12	0.28	0.33	1.61
(Método Temez)	1.06	0.28	0.64	0.64	1.56
(Método Bransby-Williams)		0.24	0.65	0.62	1.59
(Método Kirpich)	0.99	0.21	0.32	0.36	1.15
(Método Clark)		0.23	0.39	0.49	1.95
Promedio	1.02	0.22	0.46	0.39	1.57

Fuente: Siglo XXII SAS

Tabla 96. Parámetros morfométricos del Río Soacha y el Drenaje innominado en el AHR ALTOS DE LA FLORIDA

Subcuencas	Río Soacha	Drenaje innominado
Área (Km2)	29.99	0.54
Longitud del cauce principal (Km)	14.6	1.39
Pendiente media del cauce principal (m/m)	0.1393	0.1150
Tiempo de retardo (horas)	1.902	0.276

Fuente: Siglo XXII SAS

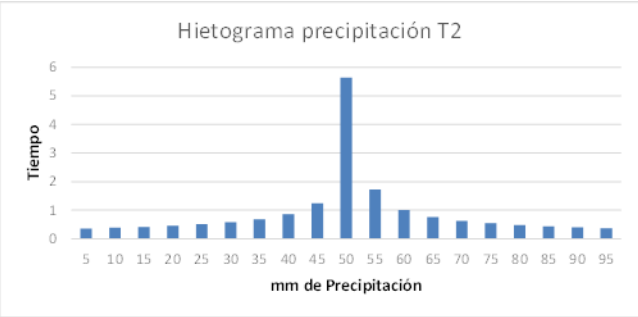
Tabla 97.

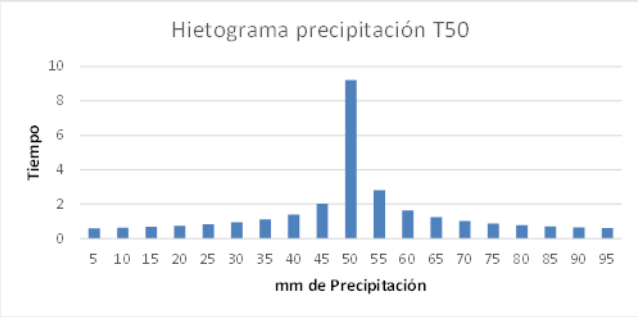
Tiempo de Concentración (h)	Río Soacha	Drenaje innominado
(Método Passini)	3.43	0.31
(Método Temez)	3.35	0.58
(Método Bransby-Williams)	3.75	0.55
(Método SCS)	5.11	0.48
(Método Kirpich)	0.85	0.40
(Método California C P)	1.44	
(Método Clark)	4.52	0.44
Promedio	3.17	0.46

Fuente: Siglo XXII SAS

2.7.1.3.3.2.4.4. HIETOGRAMAS

Se obtuvieron los hietogramas de diseño para el Drenaje innominado en el CPR El Charquito, utilizando el método de bloques alternos, que requiere la información de las Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) de las estaciones El Mua, y La Unión, adicionalmente el tiempo de concentración del cuerpo de agua, para su construcción. Este hietograma sirve para definir la precipitación de diseño en los modelos de HEC-HMS. En la Figura 18 se pueden ver los hietogramas de diseño para el Drenaje innominado en el CPR El Charquito





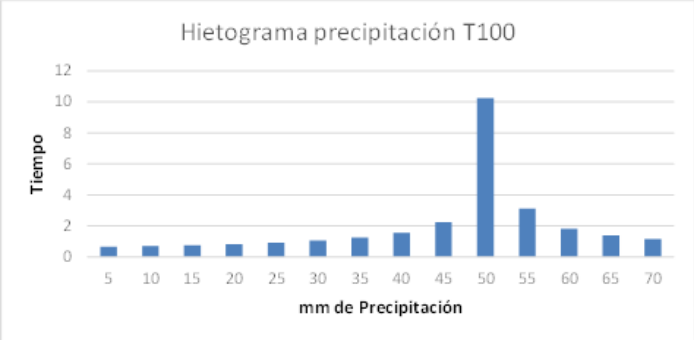


Figura 173. Hietogramas de diseño para el Drenaje innominado en el CPR El Charquito – Periodos de retorno de 2, 50 y 100 años

Fuente: Siglo XXII SAS

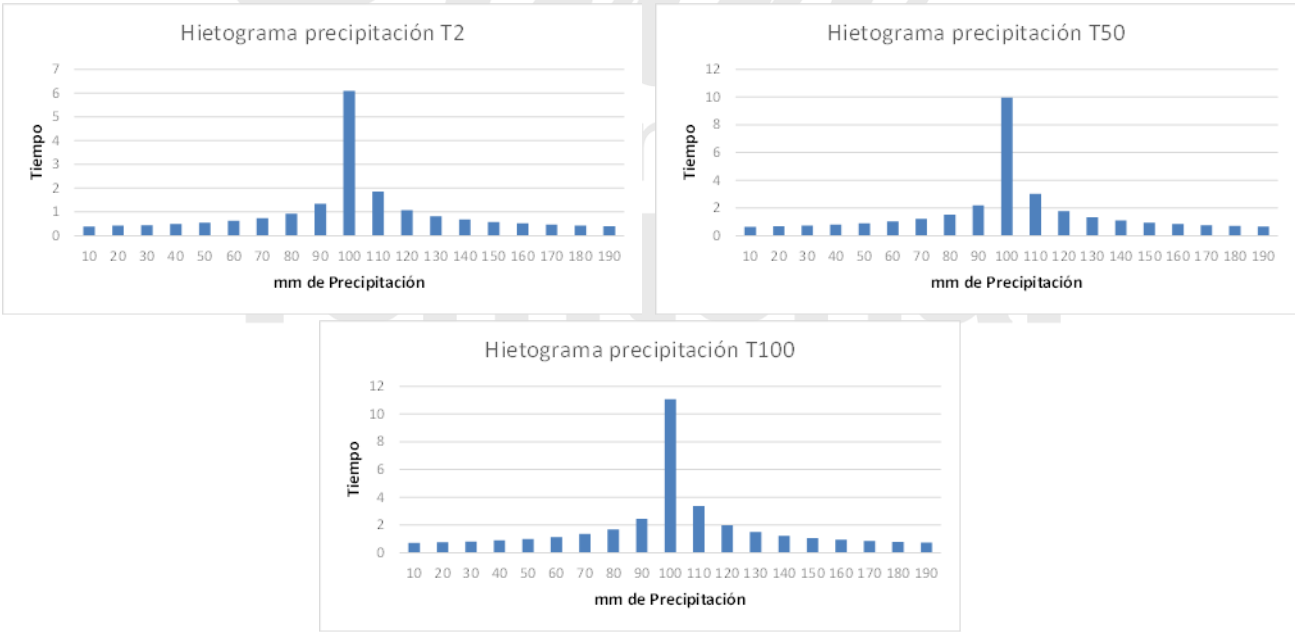


Figura 174. Hietogramas de diseño para Río Soacha – Periodos de retorno de 2, 50 y 100 años

Fuente: Siglo XXII SAS

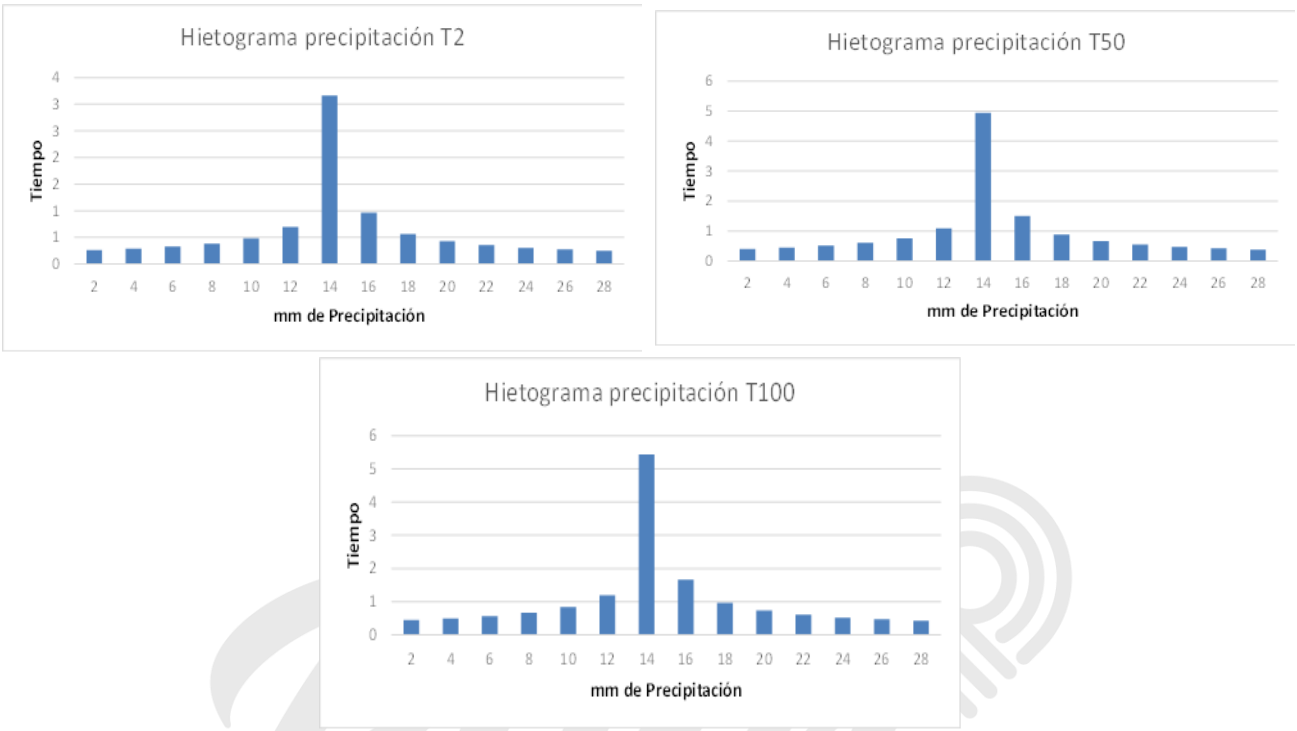


Figura 175. Hietogramas de diseño para Drenaje innominado – Periodos de retorno de 2, 50 y 100 años

Fuente: Siglo XXII SAS

2.7.1.3.3.2.4.5. HIDROGRAMAS DE DISEÑO

Como resultado de la modelación en HEC -. HMS se obtienen los caudales máximos para diferentes periodos de retorno para el Drenaje innominado en el área El Charquito, usando el Método del Hidrograma Unitario SCS. Los datos de entrada para el hidrograma son: hietograma, tiempo de retardo o rezago y el número de curva. Los componentes del modelo se basan en relaciones matemáticas simples para tratar de representar los procesos que intervienen en la generación y circulación de los hidrogramas de escorrentía pérdidas, transformación del exceso de lluvia en caudal de salida de la cuenca, adición del flujo base, circulación del hidrograma por el cauce, etc. Para el presenta modelo no se incluyó la escorrentía subsupercial al no disponer los valores de los parámetros que caracterizan el mismo. En la Figura 19 se observan los hidrogramas de diseño para el Drenaje innominado en el CPR El Charquito.

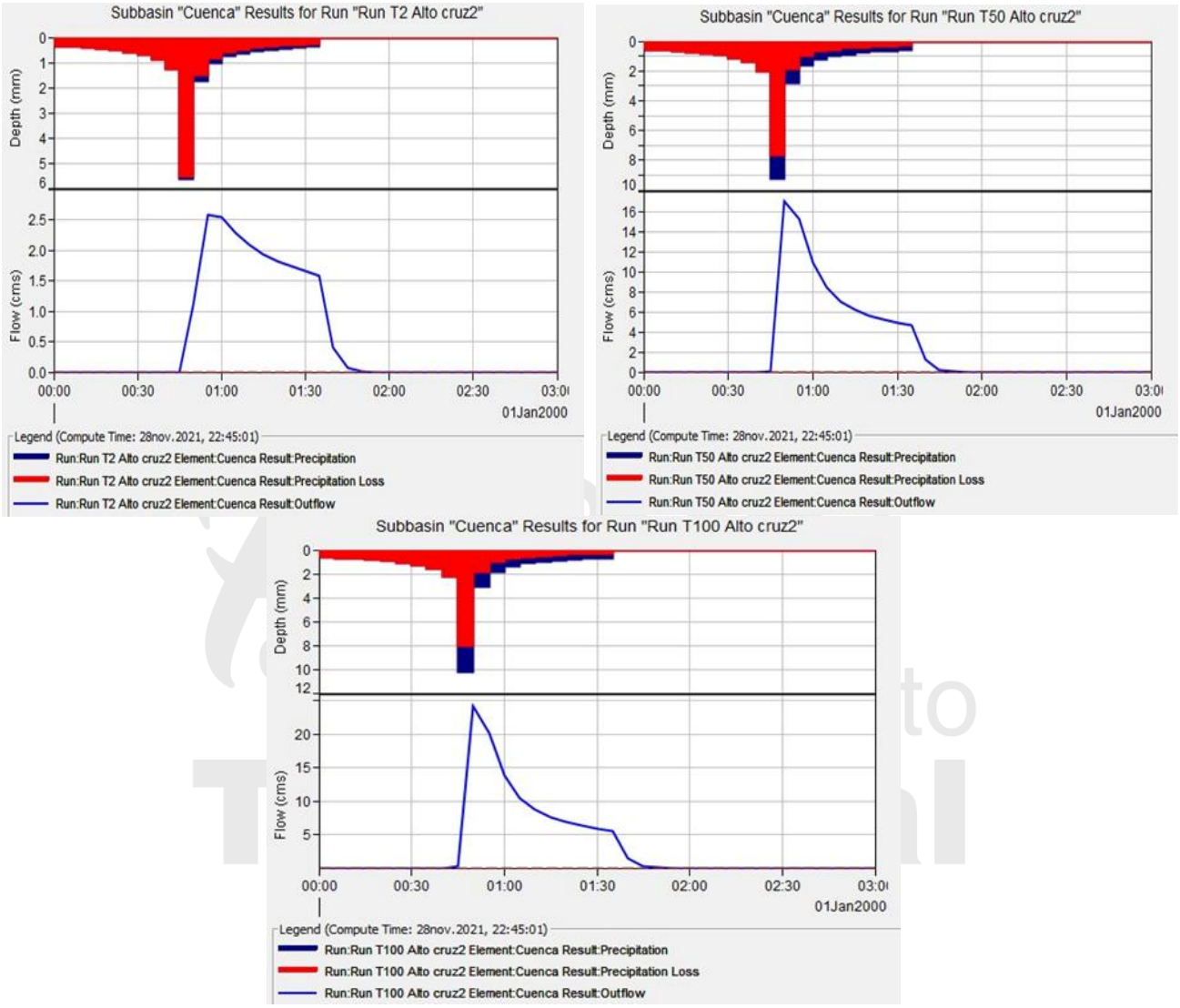


Figura 176. Hidrogramas de diseño para el Drenaje innominado en el CPR El Charquito- Periodos de retorno de 2, 50 y 100 años

Fuente: Siglo XXII SAS

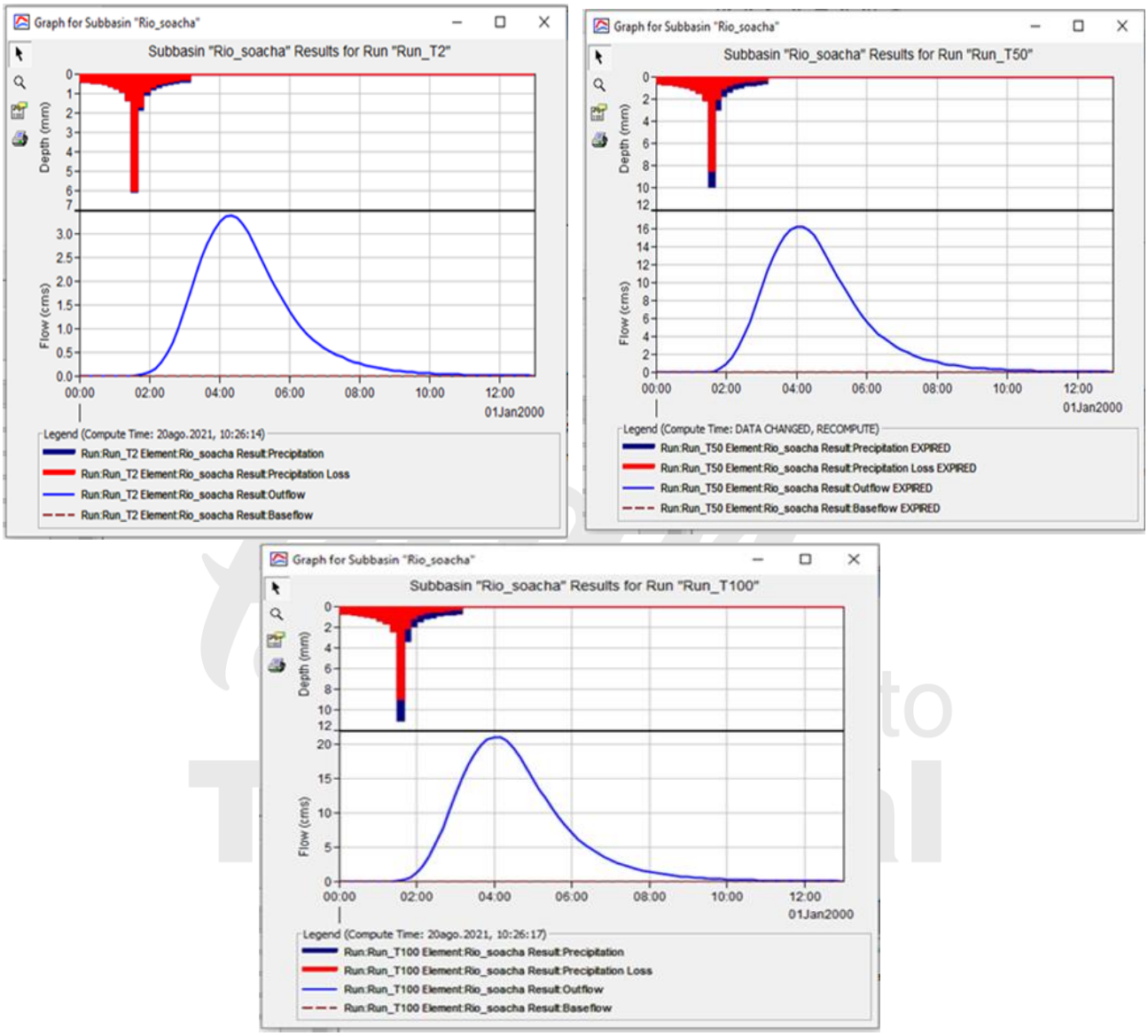


Figura 177. Hidrogramas de diseño para el Río Soacha – AHR Altos de La Florida - Periodos de retorno de 2, 50 y 100 años

Fuente: Siglo XXII SAS

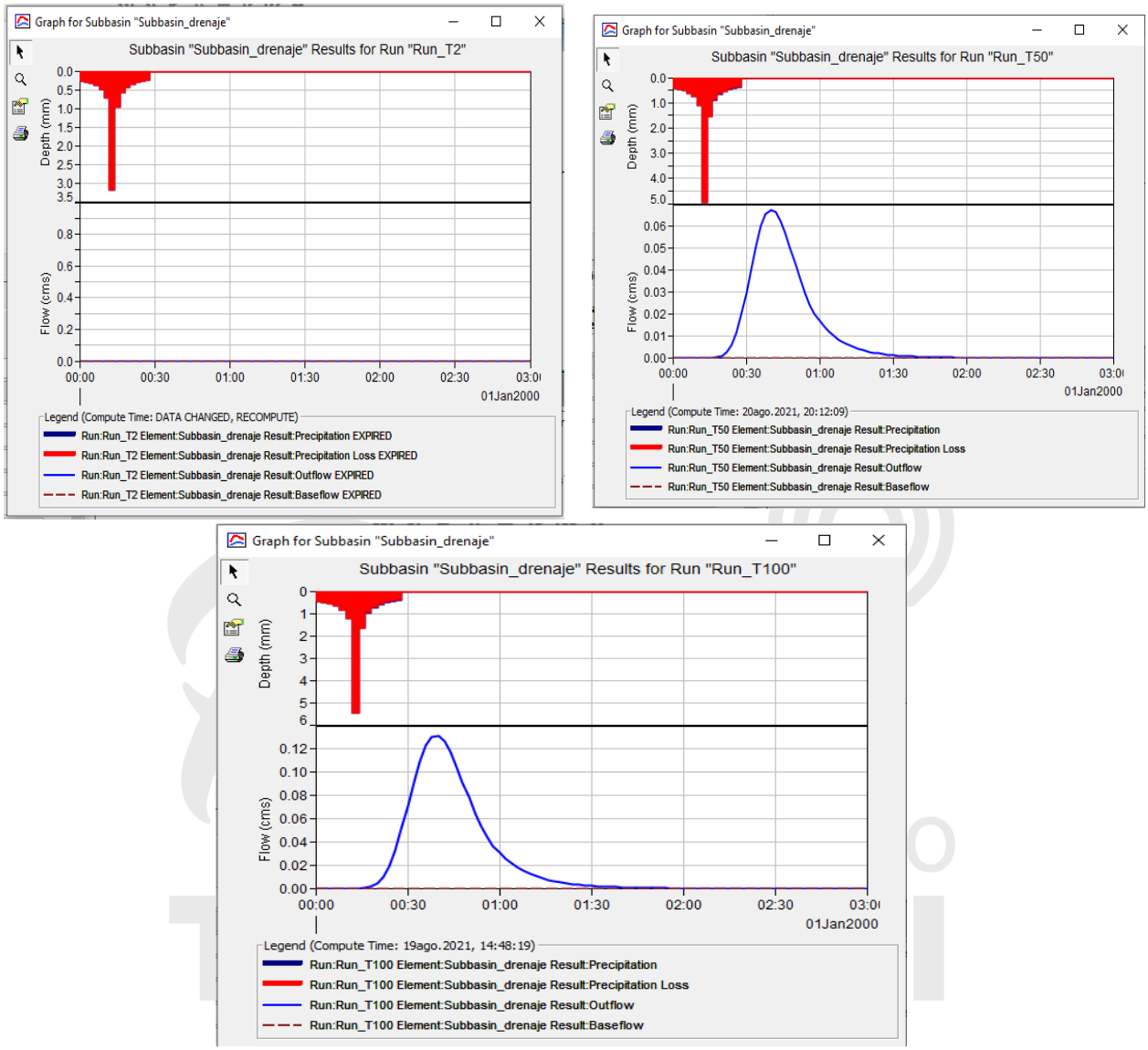


Figura 178. Hidrogramas de diseño para el Drenaje innominado – AHR Altos de La Florida - Periodos de retorno de 2, 50 y 100 años

Fuente: Siglo XXII SAS

En el caso del rio Bogotá y los 3 Drenajes innominados del CPR Chacua -Cabrera se utilizó también el Método de Hidrograma Unitario SCS para obtener el hidrograma de diseño. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observan los hidrogramas de diseño para el río Bogotá y de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** a la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** los hidrogramas de diseño para los 3 Drenajes innominados en el CPR Chacua - Cabrera

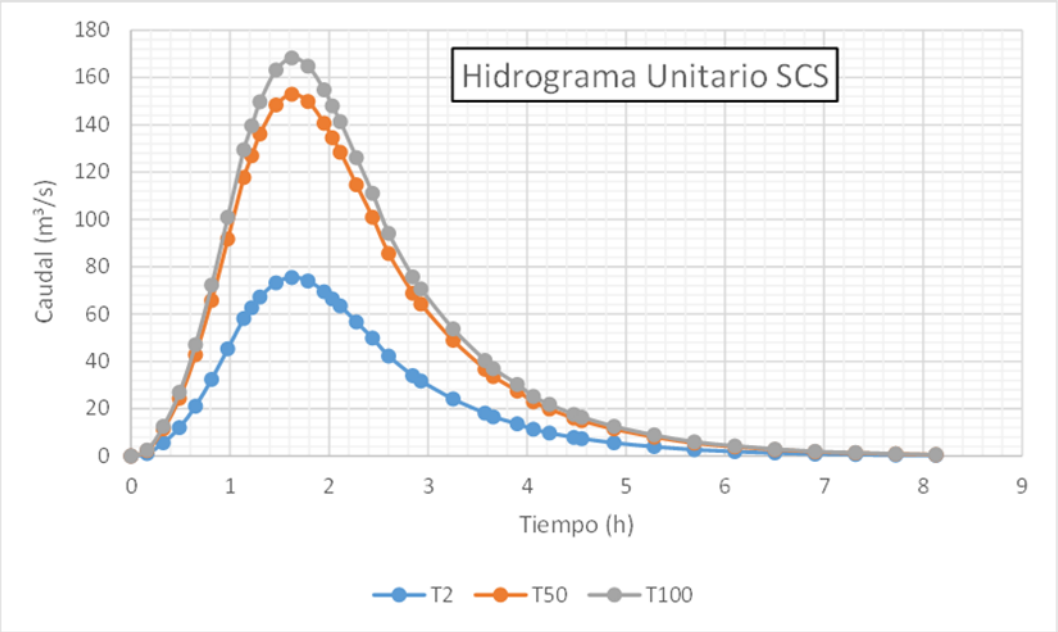


Figura 179. Hidrogramas de diseño para el río Bogotá - Periodos de retorno de 2, 50 y 100 años

Fuente: Siglo XXII SAS

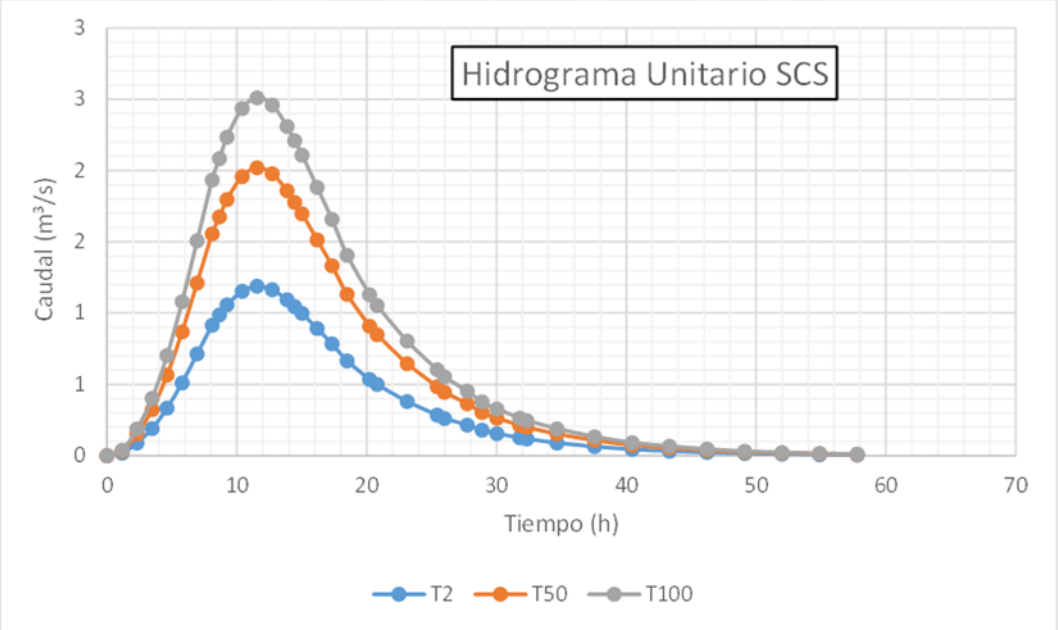


Figura 180. Hidrogramas de diseño para el Drenaje innominado 1 – en el CPR Chacua – Cabrera. Periodos de retorno de 2, 50 y 100 años

Fuente: Siglo XXII SAS

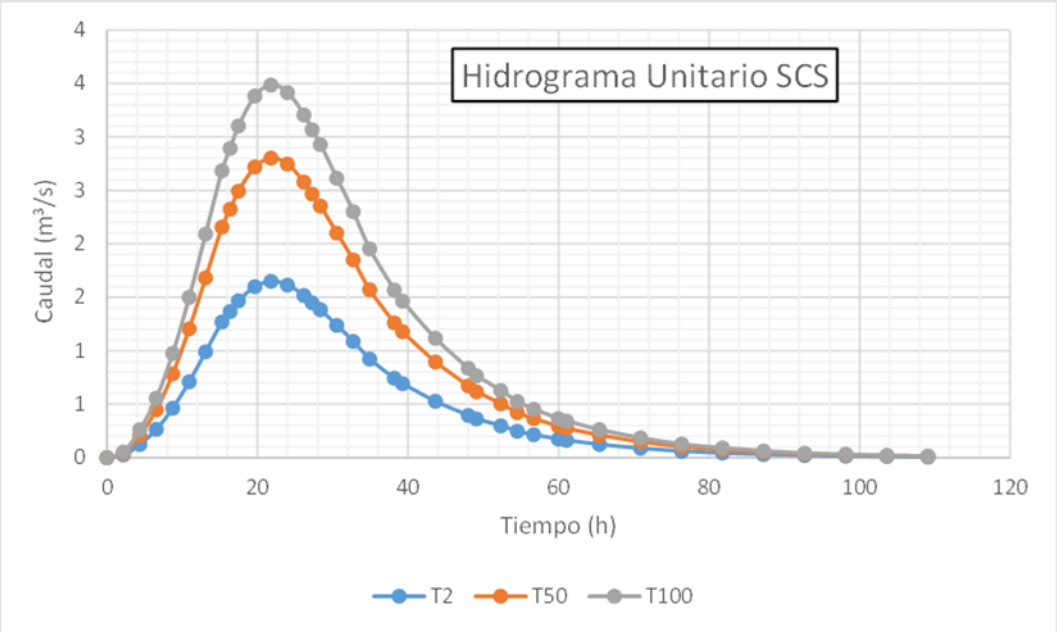


Figura 181. Hidrogramas de diseño para el Drenaje innominado 2 – en el CPR Chacua – Cabrera. Periodos de retorno de 2, 50 y 100 años

Fuente: Siglo XXII SAS

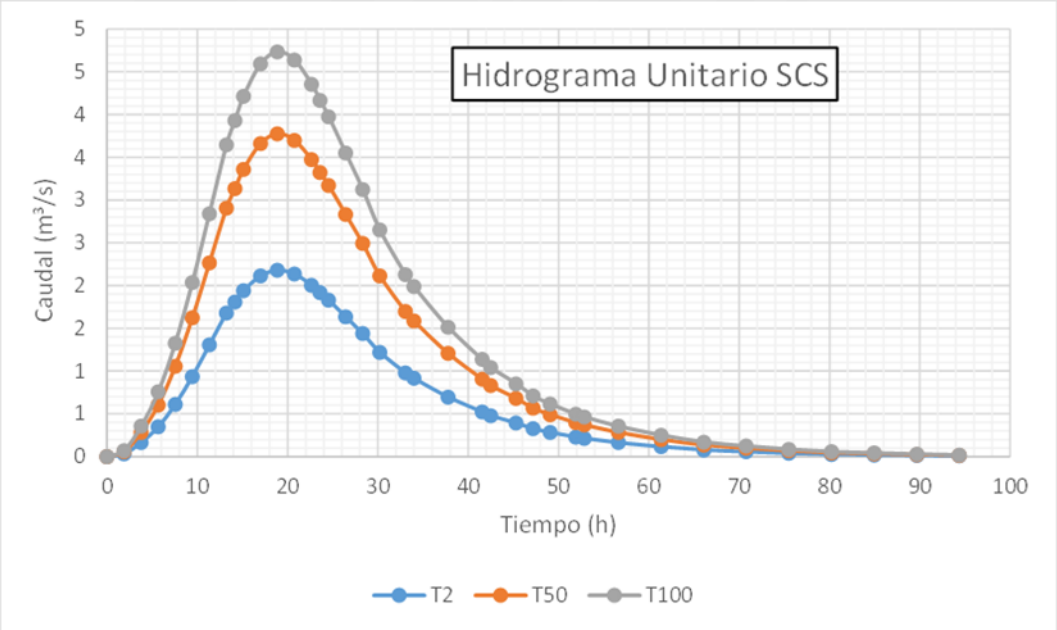


Figura 182. Hidrogramas de diseño para el Drenaje innominado 3 – en el CPR Chacua – Cabrera. Periodos de retorno de 2, 50 y 100 años

Fuente: Siglo XXII SAS

2.7.1.3.3.2.5. HIDRÁULICA

La herramienta utilizada para el análisis hidráulico es el software HEC RAS 5.0.1. El Hydrologic Engineering Centers River Analysis System (HEC - RAS) es un programa de uso libre usado para la modelación de inundaciones, en ríos naturales y otros canales; ya que permite la simulación de flujos en cauces naturales o artificiales para determinar el nivel del agua, es decir hacer una predicción de las áreas de inundación para diferentes periodos de retorno.

HEC-RAS permite simular el flujo de agua combinando modelos 1D/2D, así como totalmente 2D y basa su aplicación en las ecuaciones de Onda Difusiva y Sant Venant (a criterio del usuario) las cuales resuelve mediante el algoritmo de Volúmenes Finitos Implícitos. (Lluen & Blade, 2015)

HEC-RAS 2D, hace referencia a dos formas para elegir el valor de este parámetro. Estas se basan en el Número de Courant, y se aplicarán según se emplee la ecuación de Saint Venant u Onda Difusa para resolver el modelo, como se muestra en la siguiente formulación:

Ecuación de Saint Venant:

$$C = \frac{V * \Delta T}{\Delta X} \leq 1.0$$

Máximo Valor de C =3.0

Donde:

C = Número de Courant

V = Velocidad de Flujo

ΔT = Paso de tiempo computacional

ΔX = Promedio de tamaño de celda

Ecuación de Onda Difusa:

$$C = \frac{V * \Delta T}{\Delta X} \leq 2.0$$

Máximo Valor de C =5.0

HEC-RAS, a través de su herramienta RAS Mapper, ofrece la posibilidad de visualizar mapas de zonas inundadas, así como la animación del flujo de agua cuando acontece la inundación. Dicho proceso se basa en función del terreno subyacente y no en el tamaño de celda computacional de la malla generada (Lluen & Blade, 2015).

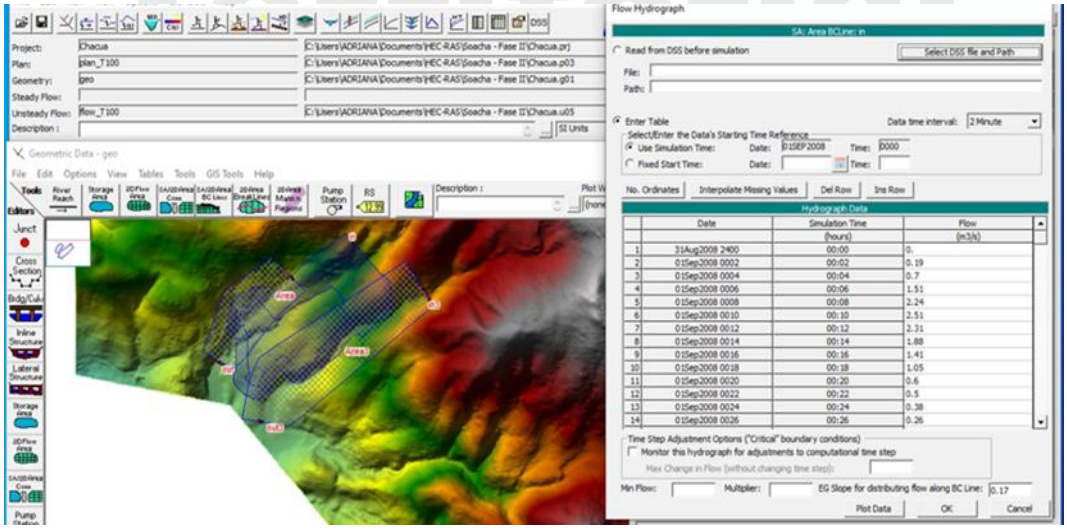
El procedimiento de cálculo se basa en la solución de la ecuación unidimensional de energía. Se evalúan las pérdidas de la energía longitudinales por la fricción (ecuación de Manning) y las locales (por la contracción/expansión utilizando un coeficiente que multiplica el cambio de la velocidad). La ecuación del momento se utiliza en situaciones donde el perfil de la superficie del agua es rápidamente variado. Estas situaciones incluyen cálculos de régimen de flujo mixto (es decir, saltos hidráulicos), hidráulica de puentes y evaluación en las confluencias de ríos (Marco, 2015)

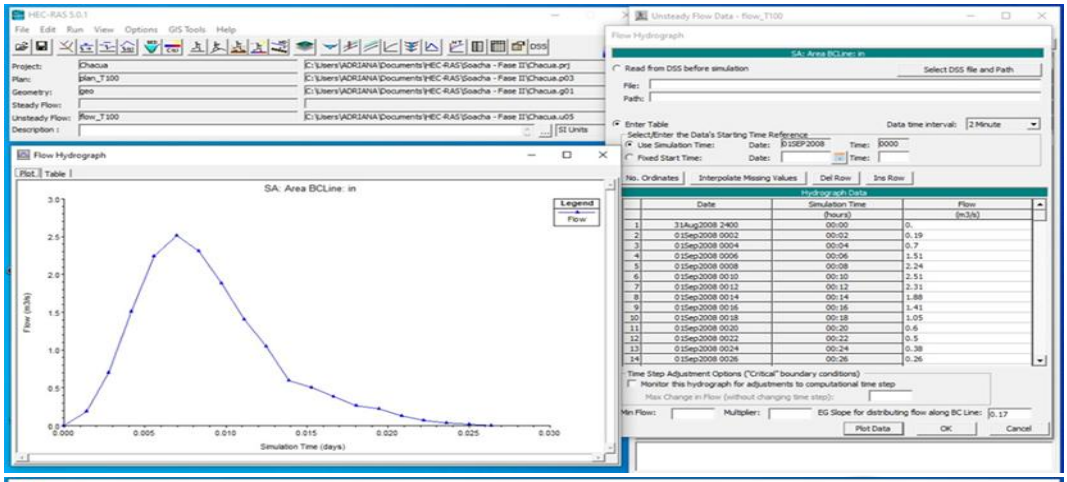
Para establecer el nivel de inundación y la respuesta del cauce a diferentes eventos extremos de precipitación se debe tener en cuenta algunas características que pueden causar incertidumbre en el modelo, como es el caso de la rugosidad o la posición de la sección de contorno. Adicionalmente se van a presentar grandes variaciones, que pueden ser a largo plazo o estacionales, en las condiciones de contorno para un periodo de diseño; por esta razón, el nivel del agua más que un cálculo exacto es una estimación y lo más aconsejable, es preferir trabajar con los niveles históricos de las lecturas en estaciones limnimétricas; siempre que sea posible.

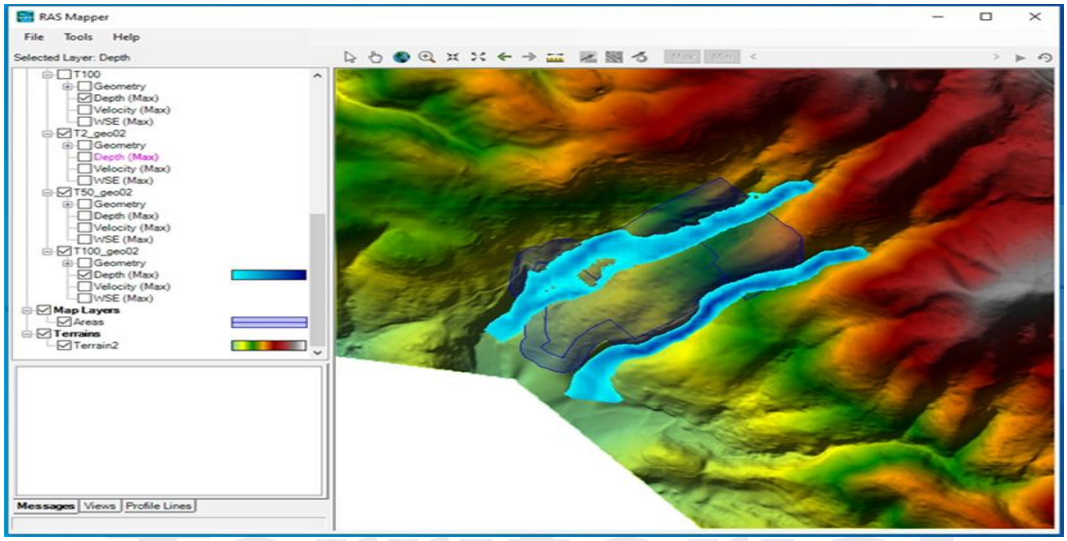
2.7.1.3.3.2.5.1. MODELO HIDRÁULICO HEC RAS

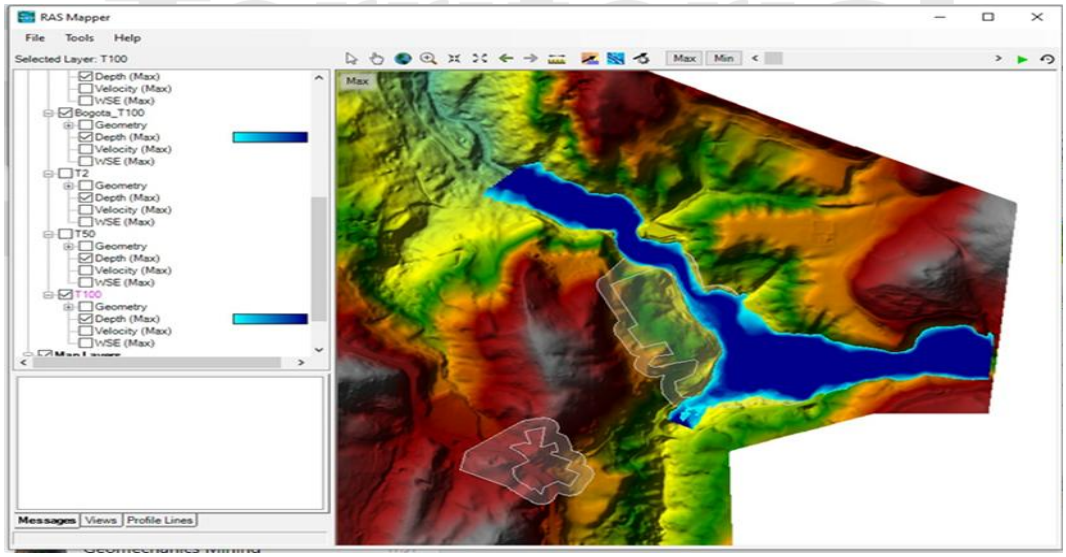
El resumen del proceso de modelación en HEC RAS se puede resumir en los siguientes pasos: 1) Creación del proyecto, 2) Introducir los datos geométricos, 3) Introducir los datos de caudal y las condiciones de contorno, 4) Desarrollo de los cálculos hidráulicos y 5) Visualización e interpretación de resultados.

Una vez obtenido los hidrogramas de diseño para el Río Bogotá, los 3 Drenajes innominados en el CPR Chacua – Cabrera y 1 Drenaje innominado en el CPR El Charquito, se importa los MDT al HEC RAS, a fin de extraer la topografía y definir el área de modelación, posteriormente al área de modelación escogida, se le ingresan los atributos geográficos (es decir la altura) y se define el intervalo de la malla. También es muy importante para el modelo, la selección de las condiciones de borde. Una vez definida la geometría, se ingresan los datos de flujo no permanente, se define el tiempo de inicio y finalmente se corre el modelo. En la Figura 24 se puede ver algunas imágenes de la modelación hidráulica




HEC-RAS 5.0.1
Unsteady Flow Data - flow_T100
Flow Hydrograph
SA: Area BCLine: in
Legend
Flow
Flow (m3/s)
Simulation Time (days)
Hydrograph Data
Date
Simulation Time (hours)
Flow (m3/s)


RAS Mapper
File Tools Help
Selected Layer: Depth
T100
Geometry
Depth (Max)
Velocity (Max)
WSE (Max)
T2_geo02
T50_geo02
T100_geo02
Map Layers
Areas
Terrains
Terrain2
Messages
Views
Profile Lines


RAS Mapper
File Tools Help
Selected Layer: T100
Max
Min
Depth (Max)
Velocity (Max)
WSE (Max)
Bogota_T100
Geometry
T2
T50
T100
Messages
Views
Profile Lines

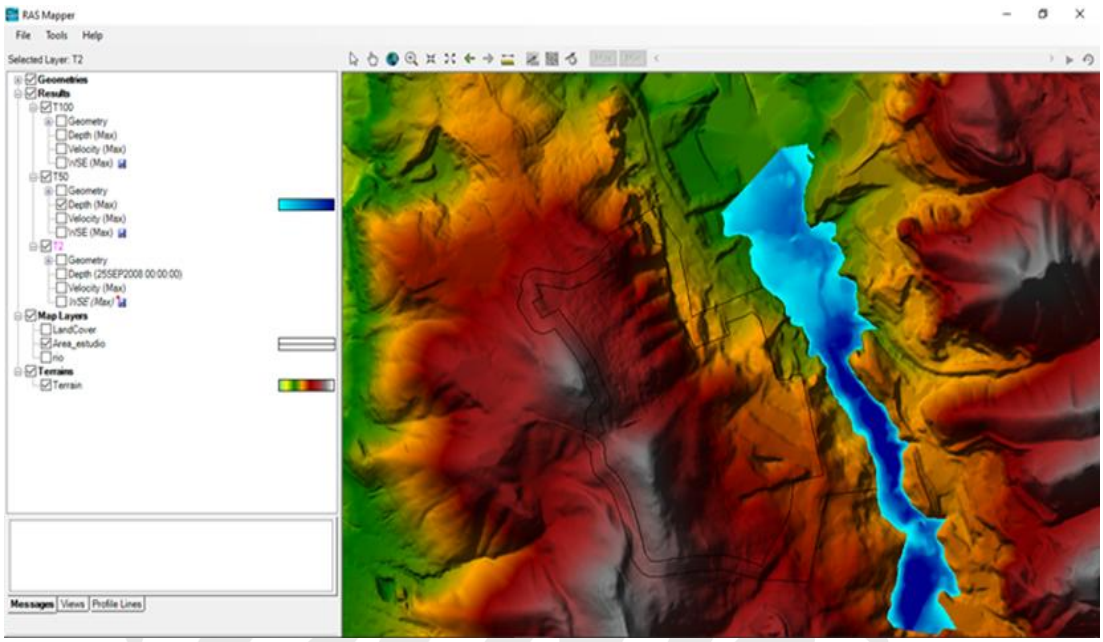


Figura 183. Imágenes del proceso de modelación en HEC RAS

Fuente: Siglo XXII SAS

2.7.1.3.3.2.5.2. RESULTADOS DE LA MODELACIÓN HIDRÁULICA

Los resultados de la modelación hidráulica son las zonas que presentan inundación, en donde las áreas rojas obedecen a sitios con amenaza alta y los amarillos y verdes a amenazas medias y bajas respectivamente. Los mapas de amenaza por inundación para el Río Bogotá y los 4 Drenajes innominados se muestran en la Figura 25, Figura 26 y Figura 27 respectivamente.

2.7.1.3.3.3. ZONIFICACIÓN DE LA DE AMENAZA POR INUNDACIONES

Teniendo en cuenta los análisis anteriores, se estableció la definición de las categorías de amenaza como se muestra en la Tabla 13.

Tabla 98. Zonificación de amenaza por inundación.

Zonificación de amenaza	Susceptibilidad	Eventos históricos	Análisis multitemporal	Análisis hidrológico-hidráulico
Amenaza Alta	Susceptibilidad Alta	Eventos históricos menores a 15 años.	Evidencias de inundaciones recientes, actividad fluvial reiterada.	Niveles de agua asociados a caudales de 2 años de periodo de retorno
Amenaza Media	Susceptibilidad Media	Eventos históricos entre 15 y 100 años.	Cambios en los cauces de los drenajes dando lugar a procesos de ahorcamiento y abandono.	Niveles de agua asociados a caudales de 50 años de periodo de retorno
Amenaza Baja	Susceptibilidad Baja	No hay evidencia de eventos	Áreas sin afectación por la dinámica del cauce.	Niveles de agua asociados a caudales de 100 años de periodo de retorno

Fuente: Adaptado y modificado del protocolo para la incorporación de la gestión del riesgo en los POMCA de acuerdo con los alcances técnicos del proyecto. Bogotá D.C., 2014.

A partir del análisis de susceptibilidad, el registro de eventos históricos de inundaciones y el análisis hidrológico-hidráulico, se realizó la zonificación de la amenaza como se muestra en las siguientes ilustraciones.

2.7.1.3.3.3.1. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR INUNDACIONES PARA EL CRP ALTO DE LA CRUZ

En el área que conforma el CPR Altos de la Cruz se presenta la zonificación por inundaciones de tipo baja, como se presenta en la siguiente Tabla 14 y Figura 25

Tabla 99. Zonificación de la amenaza por inundaciones en el CPR Altos de la Cruz

Categorización Amenaza	Área (Ha)	(%)
Baja	4.032	100
Total	4.032	100

Fuente: Siglo XXII SAS

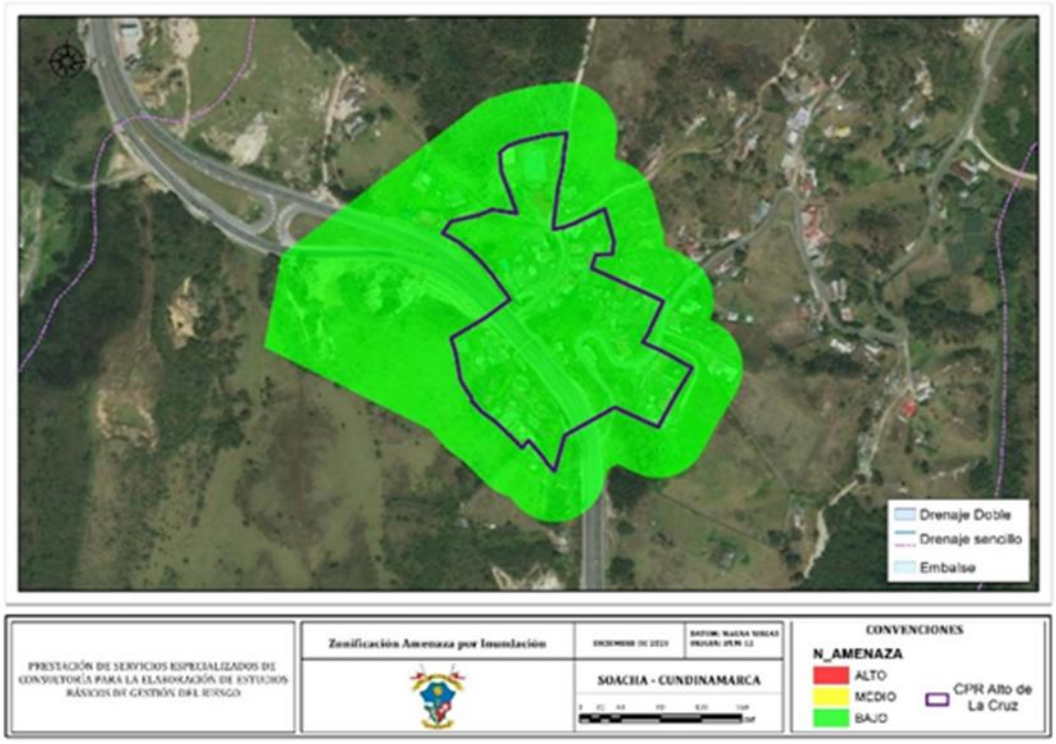


Figura 184. Mapa de amenaza por inundación en el CPR Altos de la Cruz

Fuente: Siglo XXII SAS

2.7.1.3.3.3.2. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR INUNDACIONES PARA EL CPR EL CHARQUITO

En el área que conforma el centro poblado rural El Charquito se presenta la zonificación por inundaciones de tipo baja, alta, media y baja, siendo la amenaza de tipo baja la más representativa del área de estudio tal y como se presenta en la Tabla 15 y la Figura 26

Tabla 100. Zonificación de la amenaza por inundaciones en el CRP El Charquito

Categorización Amenaza	Área (Ha)	(%)
Alta	6.67	34.03
Media	0.994	5.07

Categorización Amenaza	Área (Ha)	(%)
Baja	11.94	60.9
Total	19.604	100

Fuente: Siglo XXII SAS

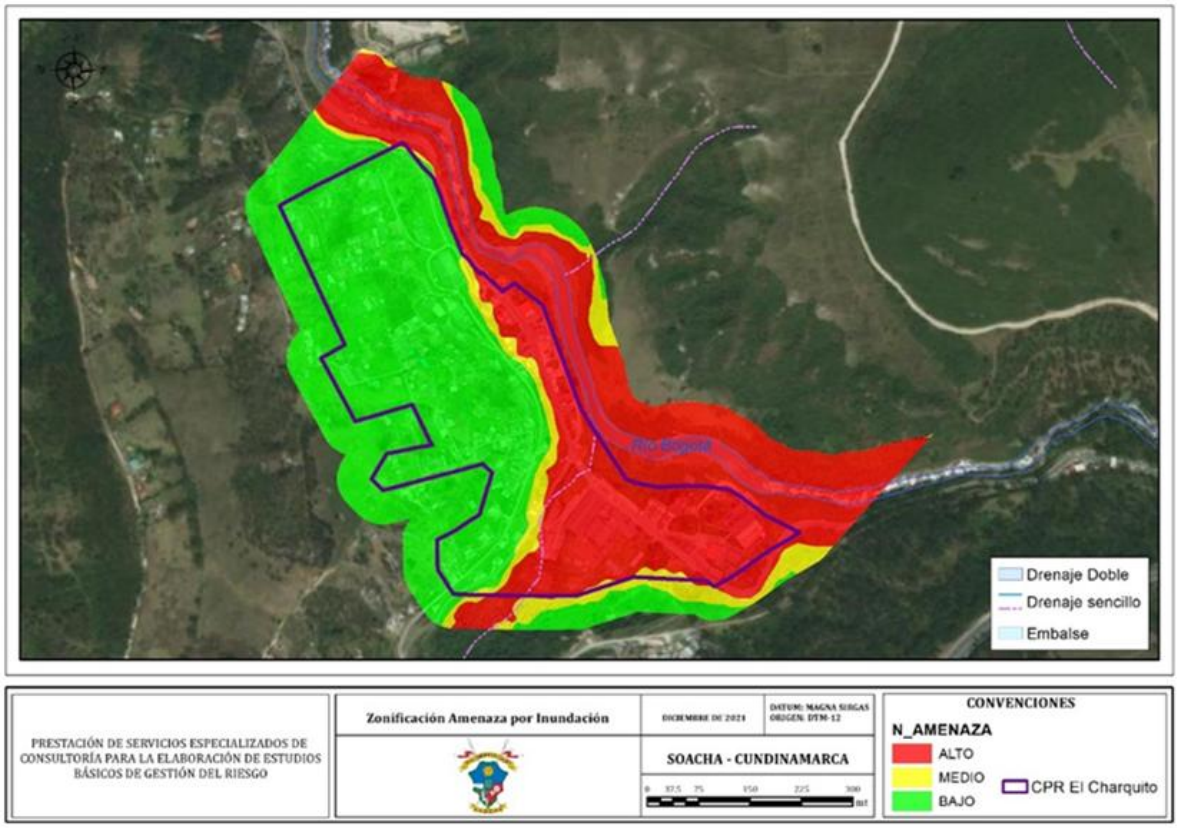


Figura 185. Mapa de amenaza por inundación en el CPR El Charquito

Fuente: Siglo XXII SAS

2.7.1.3.3.3.3. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR INUNDACIONES PARA EL CPR CHACUA –CABRERA

En el área que conforma el centro poblado rural Chacua - Cabrera se presenta la zonificación por inundaciones de tipo baja, alta, media y baja, siendo la amenaza de tipo baja la más representativa del área de estudio tal y como se presenta en la Tabla 16 y la Figura 27

Tabla 101. Zonificación de la amenaza por inundaciones en el CPR Chacua – Cabrera

Categorización Amenaza	Área (Ha)	(%)
Alta	1.611	15.81
Media	0.335	3.3
Baja	8.241	80.9
Total	10.187	100

Fuente: Siglo XXII SAS

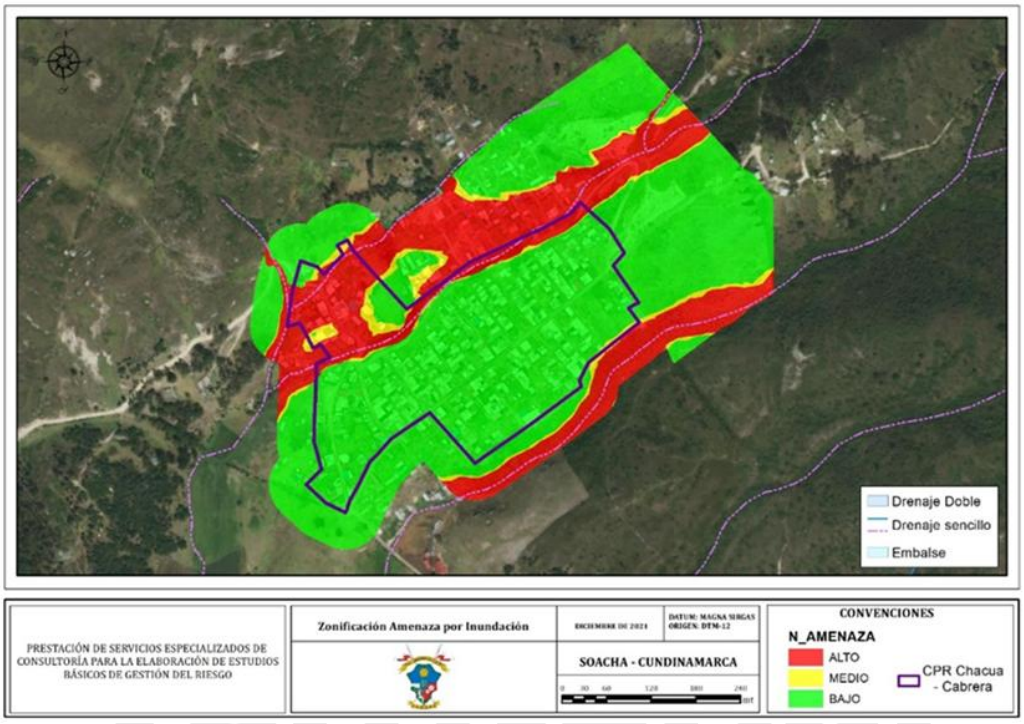


Figura 186. Mapa de amenaza por inundación en el CPR Chacua – Cabrera

Fuente: Siglo XXII SAS

2.7.1.3.3.3.4. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR INUNDACIONES PARA EL AHR ALTOS DE LA FLORIDA

En el área que conforma el centro poblado rural Altos de La Florida se presenta la zonificación por inundaciones de tipo baja, alta, media y baja, siendo la amenaza de tipo baja la más representativa del área de estudio tal y como se presenta en la siguiente tabla y figura.

Tabla 102. Zonificación de la amenaza por inundaciones en el AHR Altos de La Florida

Categorización Amenaza	Área (Ha)	(%)
Alta	0.063	0.10
Media	0.712	1.22
Baja	57.359	98.7
Total	58.134	100

Fuente: Siglo XXII SAS

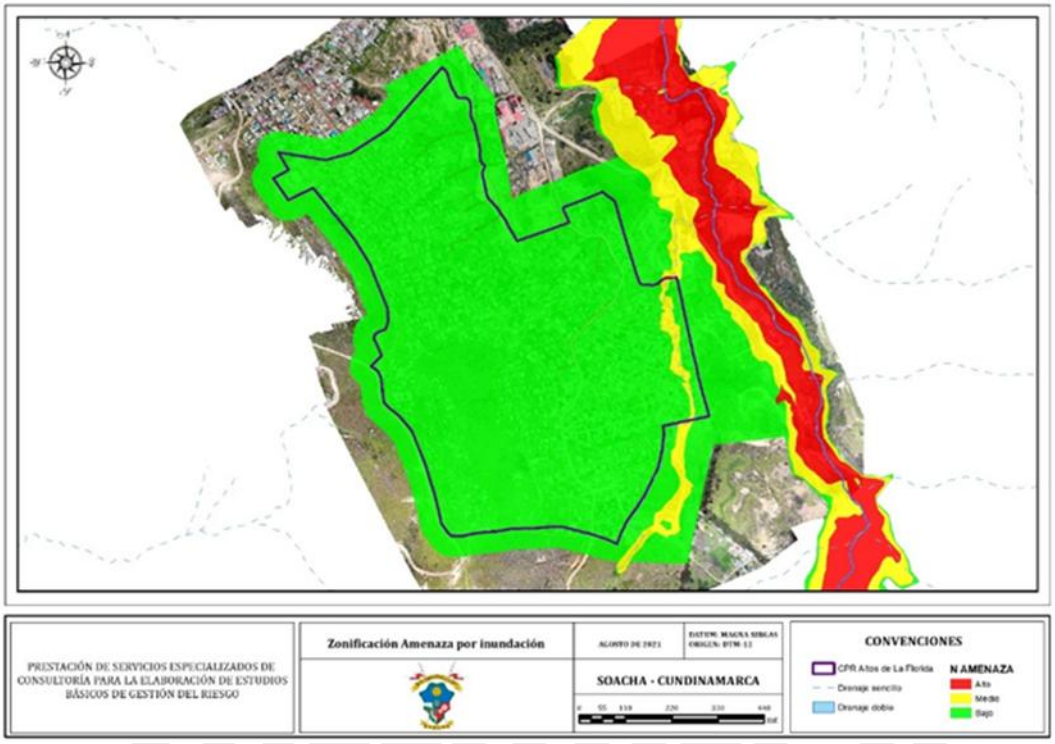


Figura 187. Mapa de amenaza por inundación en AHR ALTOS DE LA FLORIDA
Fuente: Siglo XXII SAS

2.7.1.3.3.4. CRITERIOS DE ACTUACIÓN

Según lo establecido en el Articulo 2.2.2.1.3.1.3 del Decreto 1077 DE 2015 indica que lo Estudios básicos para la revisión o expedición de Planes de Ordenamiento Territorial (POT). De conformidad con lo dispuesto en el artículo anterior para la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los planes de ordenamiento territorial o la expedición de nuevos planes, se deben elaborar estudios en los suelos urbanos, de expansión urbana y rural para los fenómenos de inundación, avenidas torrenciales y movimientos en masa, que contienen:

a. La delimitación y zonificación de las áreas de amenaza.

b. La delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza en las que se requiere adelantar los estudios detallados a que se refiere el siguiente artículo.
c. La delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo en las que se requiere adelantar los estudios detallados a que se refiere el siguiente artículo.
d. La determinación de las medidas de intervención, orientadas a establecer restricciones y condicionamientos mediante la determinación de normas urbanísticas.

2.7.1.3.3.5. ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA EN LOS CENTROS POBLADOS DEL MUNICIPIO DE SOACHA

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. La identificación de estas áreas se realizará a partir del análisis de las áreas zonificadas como de amenaza media y alta sin ocupar en los estudios básicos con aquellas que se consideren como objeto de desarrollo."

Dadas las definiciones normativas, se verifico que se presentan 4.083 Ha con condición de amenaza en el CRP El Charquito dichas áreas se presentan en la Figura 188.

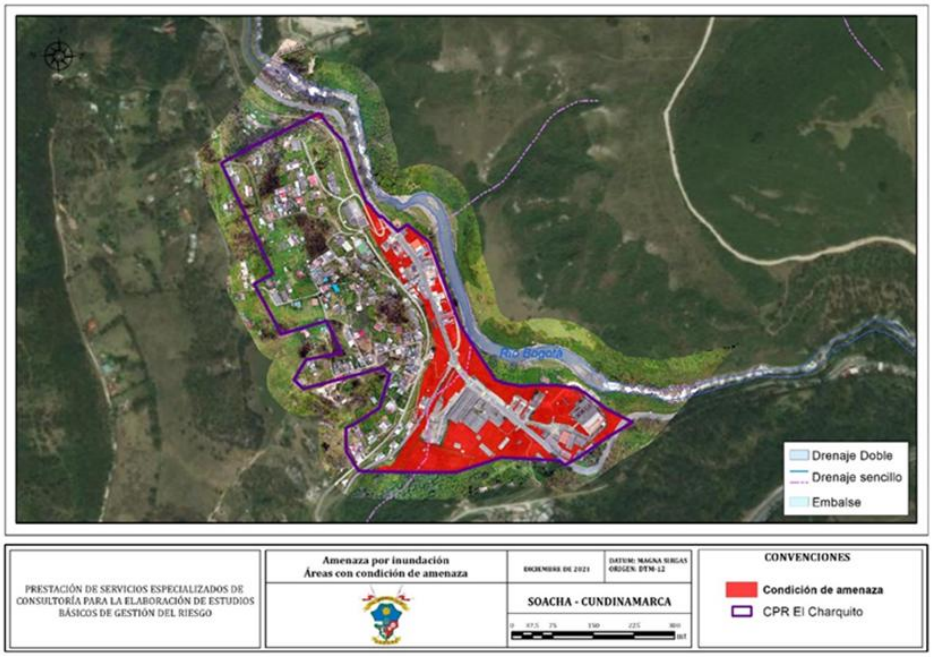


Figura 188. Áreas con condición de amenaza por inundaciones en el CRP El Charquito

Fuente: Siglo XXII SAS

También, se presentan 1.435 Ha con condición de amenaza en el CRP Chacua -Cabrera, como se puede ver en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**

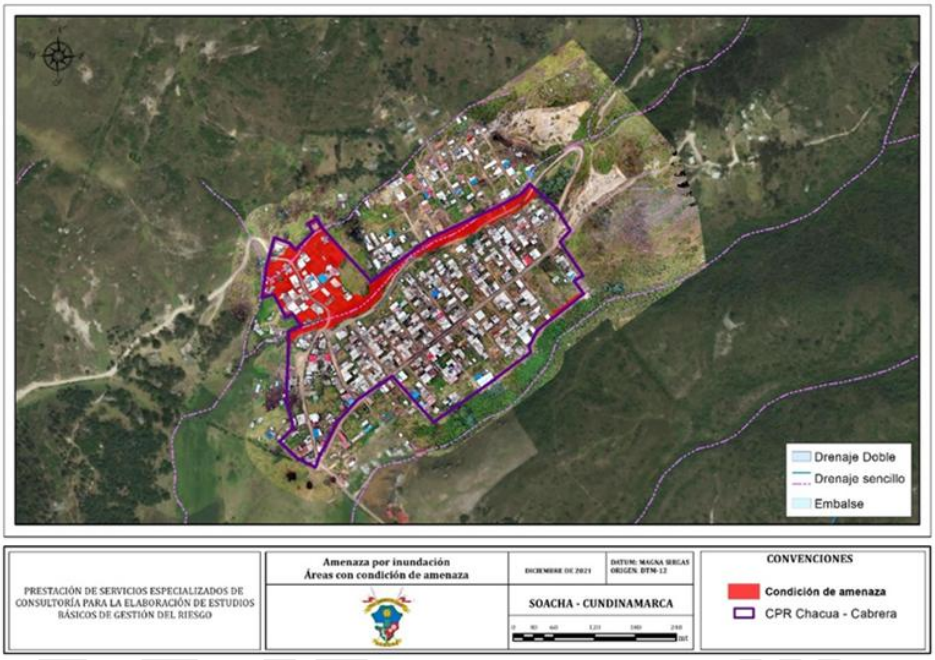


Figura 189. Áreas con condición de amenaza por inundaciones en el CRP Chacua – Cabrera
Fuente: Siglo XXII SAS

Dadas las definiciones normativas, se verifico que solo se presentan 0.42 Ha con condición de amenaza en el AHR Altos de La Florida dichas áreas se presentan en la siguiente figura.

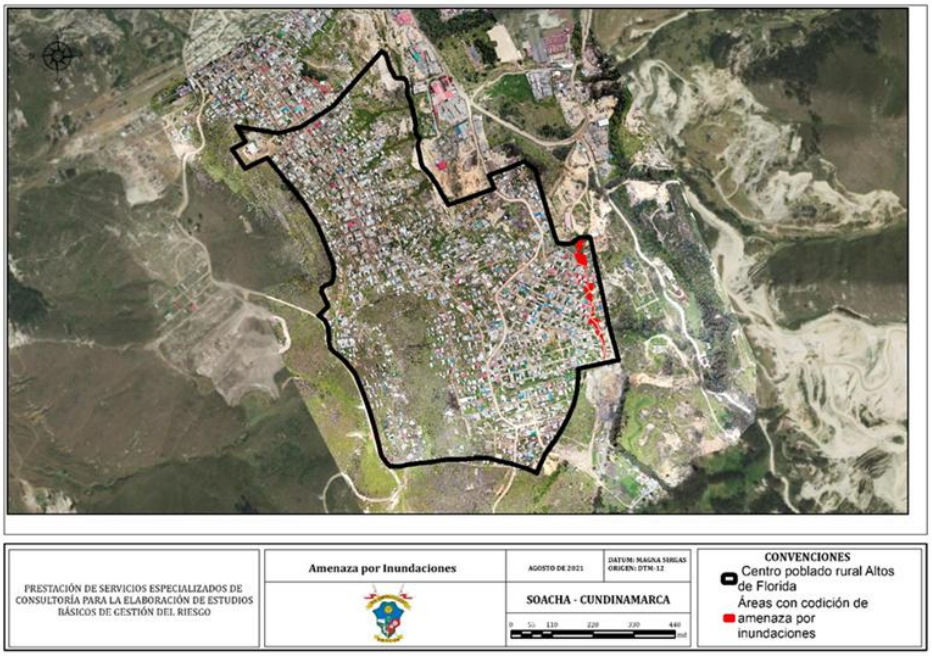


Figura 190. Áreas con condición de amenaza por inundaciones en el AHR Altos de La Florida

Fuente: Siglo XXII SAS

2.7.1.3.3.6. ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO EN LOS CENTROS POBLADOS DEL MUNICIPIO DE SOACHA

La identificación de las áreas con condición de riesgo se realizará a partir del análisis de las áreas zonificadas como de amenaza alta en los estudios básicos, con la información cartográfica (predial o catastral, entre otras) disponible que permita 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".

Dadas las definiciones normativas, se verifico que se presentan 3.314 Ha con condición de riesgo en el CRP El Charquito, dichas áreas se presentan en la siguiente Figura 191

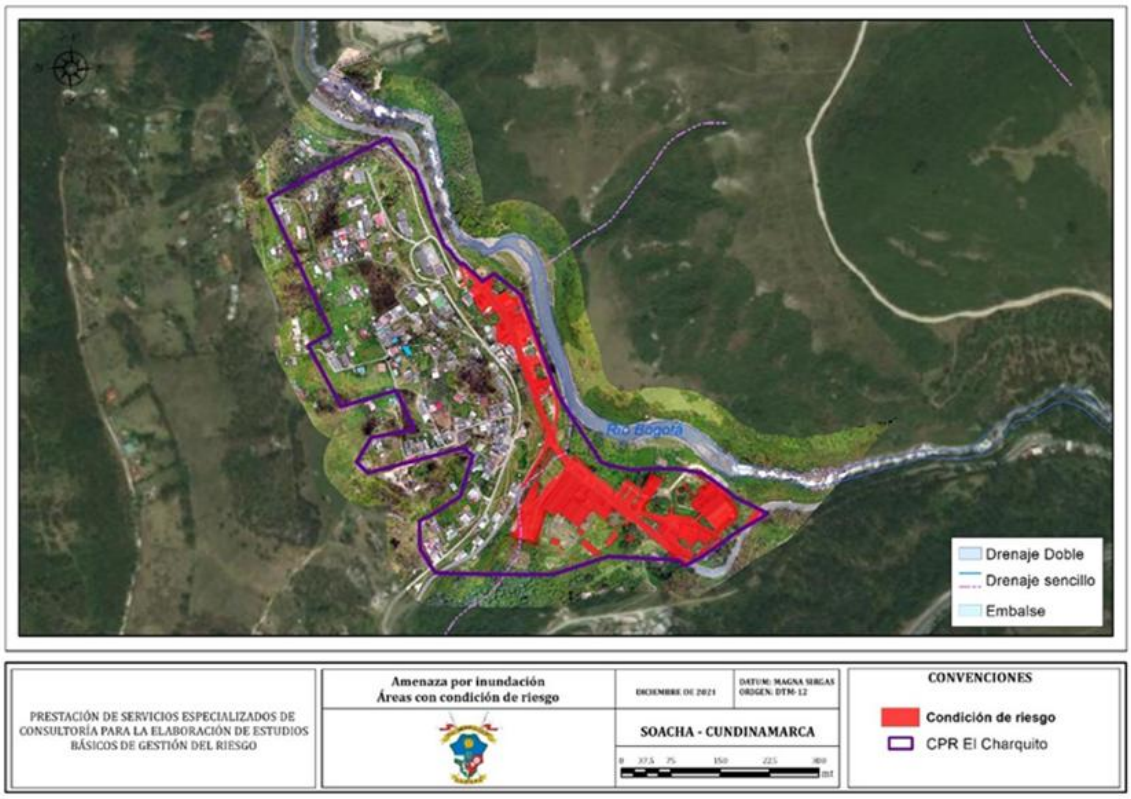


Figura 191. Áreas con condición de riesgo por inundaciones en el CRP El Charquito.

Fuente: Siglo XXII SAS

Y se presentan 0.405 Ha con condición de riesgo en el CRP Chacua -Cabrera, como se puede ver en la siguiente figura.

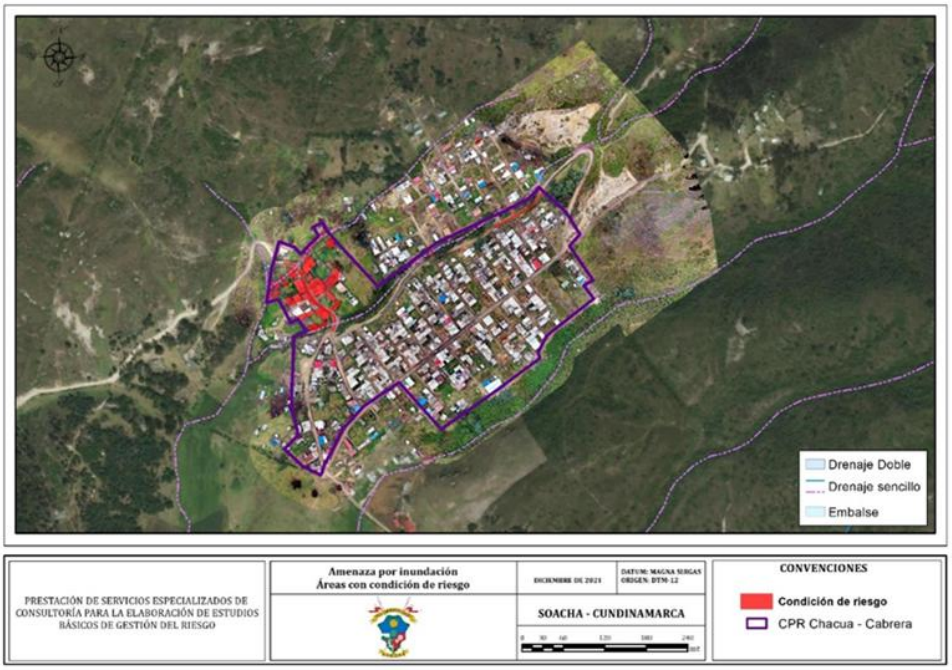


Figura 192. Áreas con condición de riesgo por inundaciones en masa en el CRP Chacua – Cabrera
Fuente: Siglo XXII SAS

Dadas las definiciones normativas, se verifico que solo se presentan 0.006 Ha con condición de amenaza en el AHR Altos de La Florida, dichas áreas se presentan en la siguiente figura

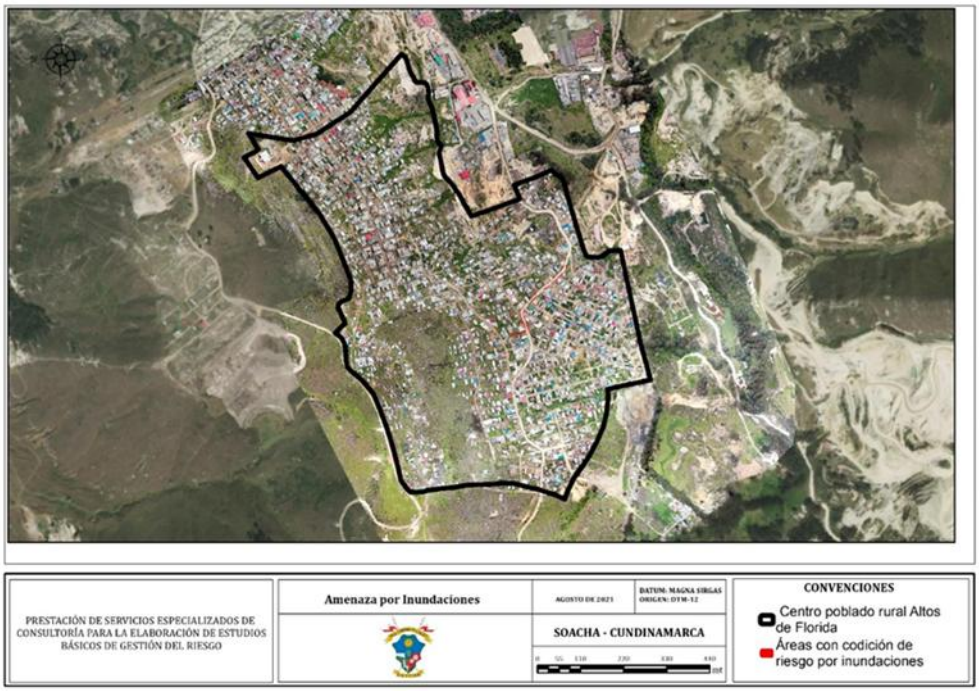


Figura 193. Áreas con condición de riesgo por inundaciones en masa en el AHR Altos de La Florida
Fuente: Siglo XXII SAS

2.7.1.3.3.7. MEDIDAS DE INTERVENCIÓN POR INUNDACIÓN EN LOS CENTROS POBLADOS DEL MUNICIPIO DE SOACHA

Las medidas de intervención, orientadas a establecer restricciones y condicionamientos mediante la determinación de normas urbanísticas para las áreas con condición de amenazas identificadas se presentan en los ítems de medidas no estructurales y estructurales

2.7.1.3.3.7.1. MEDIDAS NO ESTRUCTURALES POR INUNDACIÓN EN LOS CENTROS POBLADOS DEL MUNICIPIO DE SOACHA

a. En los CPR Ato de la Cruz, El Charquito, Chacua - Cabrera y AHR Alto de La Cruz para las áreas zonificadas con amenaza media y alta y para las áreas con condición de amenaza y riesgo por inundaciones se deberán realizar estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo teniendo en cuenta lo establecido en el Artículo 2.2.2.1.3.1.4. Estudios detallados del Decreto 1077 de 2015 teniendo en cuenta que dichos están orientados a determinar la categorización del riesgo y establecer las medidas de mitigación correspondientes.

b. El Concejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (PMGRD), deberá prepararse y actualizar el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres.

c. Diseñar e implementar campañas de educación ambiental enfocadas a la gestión del riesgo por parte de las comunidades y sus representantes en apoyo con las autoridades competentes.

d. Diseñar, implementar y mantener una base de datos documental y cartográfica con el inventario de eventos desastrosos producto de inundaciones.

e. A partir de las etapas de desarrollo y de los productos obtenidos en la evaluación y zonificación de la amenaza por eventos de inundaciones, se observó la falta o necesidad de información que puede ser de gran relevancia para precisar las zonas identificadas como amenaza media y alta en el municipio y tener así una mejor caracterización de estos sectores con un mejor detalle.

f. Adquirir imágenes satelitales de alta resolución en diferentes periodos de tiempo para identificar con mayor precisión las geoformas asociadas a este tipo de eventos en zonas con bajo índice de relieve.

g. Implementar un sistema de registro completo de los eventos amenazantes por inundaciones que puedan dar información técnica de las causas de los eventos, como localización, origen del evento (antrópico como intervenciones en áreas cercanas a cuerpos de agua para el desarrollo de viviendas y otros, diques o natural como aumento de las

precipitaciones), procesos desencadenantes, zonas afectadas, duración. Este tipo de trabajos se deben desarrollar por las autoridades municipales y departamentales encargadas de atender este tipo de eventos.

2.7.1.3.3.7.2. MEDIDAS ESTRUCTURALES POR INUNDACIÓN EN LOS CENTROS POBLADOS DEL MUNICIPIO DE SOACHA

La administración municipal, en base a los sectores críticos identificados en el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres y del estudio detallado en áreas con condición de riesgo, gestará la conformación de un programa de mitigación del riesgo, bajo el cual se diseñarán y construirán las medidas estructurales a implementar en las áreas de riesgo mitigable determinadas en los estudios detallados

3. ESTUDIOS BÁSICOS DE AVENIDAS TORRENCIALES

Para integrar adecuadamente la gestión del riesgo por avenidas torrenciales en el presente plan, se desarrolló el estudio básico de amenaza por avenidas torrenciales en el municipio de Soacha – Cundinamarca, el cual se enmarco en el Decreto 1077 de 2015, en su artículo 2.2.2.1.3.2.1.3 regula el contenido de los estudios básicos de amenaza por avenidas torrenciales, los cuales deben cumplir con las siguientes especificaciones técnicas. *"La evaluación de las avenidas torrenciales debe adelantarse en todos los cauces presentes o con influencia en el municipio o distrito, que por sus condiciones topográficas puedan tener un comportamiento torrencial. Se deben utilizar como insumos la geomorfología, estudios hidrológicos de la cuenca, orientado al flujo torrencial, considerando el ciclo de sedimentos, análisis hidráulico del área a zonificar, teniendo en cuenta factores detonantes como precipitación o movimientos en masa y la base cartográfica para la realización de la zonificación debe estar a escala 1:2.000".*

Dentro de los registros históricos se encuentra que en Soacha se presentó un evento de avenida torrencial reportado el 31 de octubre de 2013 que afecto a 70 personas de las 12 familias damnificadas, 9 viviendas averiadas y 3 destruidas (Desinventar – UNDGRD).

Como alcance en estudios básicos, el decreto 1077 de 2015 para avenidas torrenciales define que la zonificación debe categorizarse en alta, media y baja, teniendo en cuenta la frecuencia de presentación de los eventos y sus características como la profundidad de la lámina de agua, los materiales de arrastre y la velocidad de flujo.

El estudio de las amenazas por avenidas torrenciales para el municipio de Soacha se realizó empleando la metodología propuesta por el SGC (2015) para el estudio de este tipo de fenómenos. Se define el evento amenazante, clasificación, su ocurrencia en Colombia y en la región y se define la pertinencia de su estudio como lo establece el Decreto 1077 de 2015.

3.1. OBJETIVOS

3.1.1. OBJETIVO GENERAL DE ESTUDIO

Generar el estudio básico de Amenaza por avenidas torrenciales para el Municipio de Soacha, identificando las zonas que presentan zonificación de amenaza Baja, Media y Alta, atendiendo a lo estipulado en la normatividad vigente (Decreto 1077 de 2015) para su posterior incorporación en el Plan de Ordenamiento Territorial.

3.1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

a. Determinar la zonificación de amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:2.000, a partir de la aplicación de un método determinístico que incluya el ciclo de sedimentos e incorpore modelos de índole hidrológico-hidráulico.
b. Determinar las áreas con condición de amenaza ay riesgo por avenidas torrenciales.
c. Aplicar las especificaciones mencionadas en el Decreto 1807 de 2014 y en el 1077 de 2015 (compilatorio), para la incorporación del tema de Amenazas en las actualizaciones de los Planes de Ordenamiento Territorial.

3.2. CLASIFICACIÓN DE LAS AVENIDAS TORRENCIALES

Un evento torrencial es un fenómeno que involucra corrientes de agua, lodo y fragmentos de roca en diferentes proporciones y tamaños, que ocurre en un periodo de tiempo muy corto comparado con otros fenómenos naturales. Los eventos hidrológicos torrenciales consisten en la ocurrencia súbita de caudales pico de corta duración y gran velocidad, que transitan a lo largo de los canales en cuencas hidrográficas de montaña, normalmente de tamaño reducido (Piedrahíta & Hermelin, 2005).

Las avenidas torrenciales se consideran fenómenos no sólo hidrológicos o asociados a movimientos en masa, sino una mezcla de estos dos, definiendo a estos flujos cómo un evento de transporte de sedimentos conformado por una combinación de materiales finos o gruesos y un caudal variable de agua, en el cual no sólo influyen las fuerzas sólidas si no que las fluidas tienen una alta incidencia (Iverson 1997; Nettleton et ál. 2005 en (Aristizábal, Arango Carmona, & García López, 2020)).

Estos eventos pueden clasificarse de acuerdo con el tipo de proceso dominante y la relación directa de la cantidad de sedimentos-agua (Cruden y Varnes 1996 (Cruden y Varnes 1996 (Aristizábal, Arango Carmona, & García López, 2020)), llegando a tener procesos de inundaciones súbitas (nws 2005 (Aristizábal, Martínez, & Vélez, 2010)), donde en muchos casos el término flujo hiperconcentrado es utilizado para describir flujos intermedios entre estos dos fenómenos.

Sin embargo, esta no es la única clasificación para los eventos torrenciales, pues algunos autores consideran el mecanismo dominante en el suceso (Bagnold 1954, Iverson 1997, Bardou 2003), mientras que otros se basan en la caracterización de los materiales o en las características del flujo (Davies en 1988, Coussot Y Meunier 1996).

Otras clasificaciones se basan en los parámetros que pueden llegar a caracterizar la concentración de sedimentos y la distribución granulométrica de estos. Esto permite definir los flujos de detritos como una mezcla de agua, material fino (d<0.1 mm) y material grueso (d<60mm) (Davies, 1988), Sin embargo, dicha clasificación no es usada comúnmente puesto que el flujo puede variar su concentración a lo largo del recorrido, es decir que puede llegar a cambiar el porcentaje de la granulometría o del agua, teniendo una relación diferente tanto en el inicio cómo en el final de dicho flujo (Oto Mir, 2007).

Existe una nueva clasificación, la cual se sustenta en dos parámetros: la concentración volumétrica y la proporción de sedimentos arcillosos respecto a la fracción solida total. Esta fue propuesta por Coussot y Meunier (1996) para analizar el flujo basándose tanto en su composición como en su comportamiento. La siguiente gráfica (en la cual se resalta de color naranja lo relacionado a avenidas torrenciales) se basa en dicha clasificación y permite diferencias dos tipos de flujos detríticos: flujo granular o bien flujo fangoso y viscoso (muddy flow), además de otros movimientos de masas naturales como transporte en lechos, flujos hiperconcentrado, desprendimientos de roca o avalanchas y deslizamiento de rocas (Oto Mir, 2007).

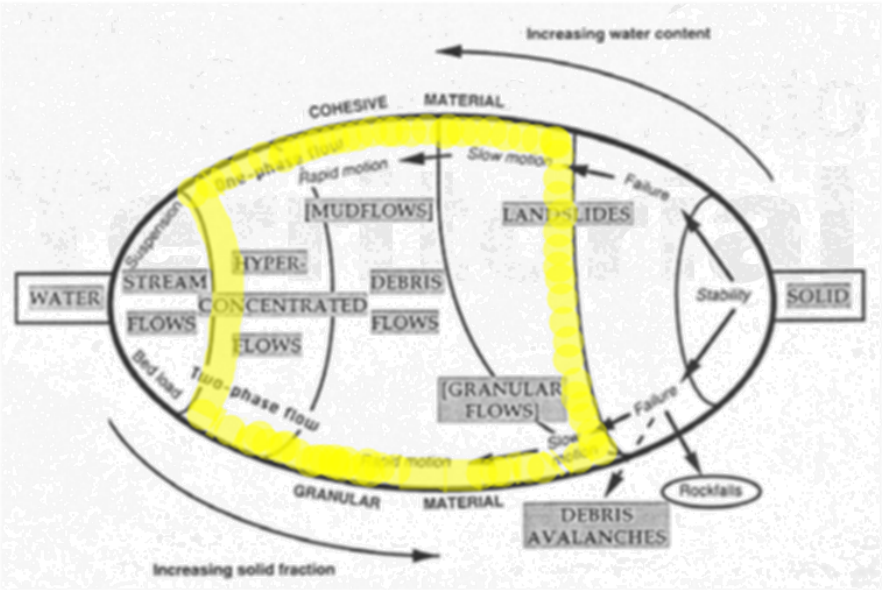


Figura 194. Clasificación reológica de los flujos acorde con Coussot y Meunier (1996). Fuente: Fuente: (Crosta, y otros, 2001)

Nota: El área resaltada en amarillo involucra los fenómenos asociados a flujos torrenciales

Cruden y Varnes proponen una clasificación a partir de la distancia recorrida del flujo, de la cual se muestra un ejemplo en la figura a continuación. Esta ilustra los flujos históricos más importantes, especialmente en América Latina, permitiendo ver la relación entre la altura del pie de flujo y la distancia recorrida por este. Lo anterior, permite clasificarlos en: flujos de detritos, flujos hiperconcentrado y flujos de lodos.

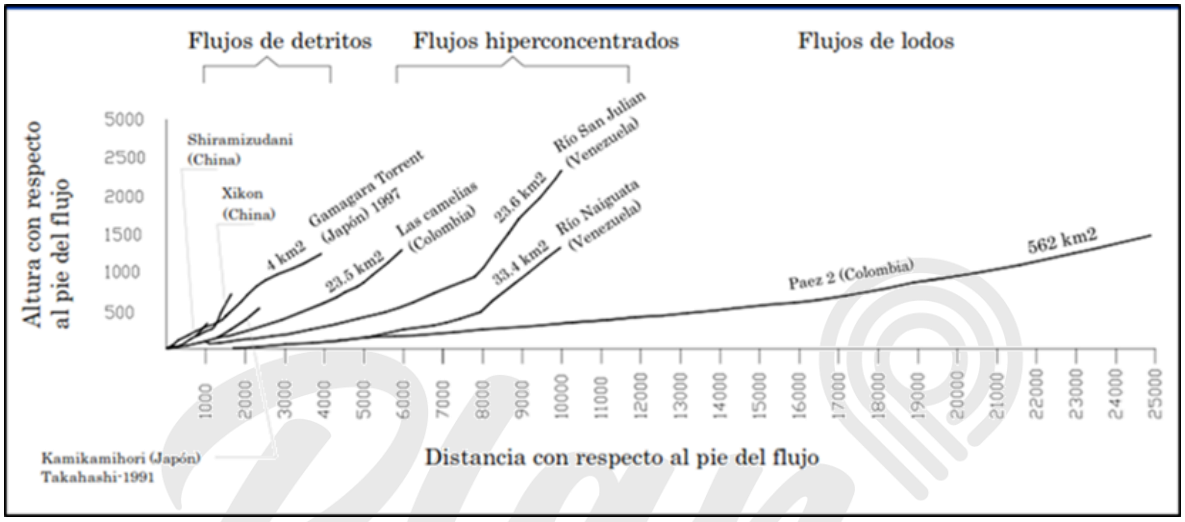


Figura 195. Clasificación de los flujos según la distancia recorrida

Fuente: Cruden y Varnes.

Los flujos de detritos tienen una alta concentración de material fino y una matriz viscosa que llega a envolver y a lubricar los sedimentos, lo que permite que este desarrolle un comportamiento en el que predominan las tensiones viscosas. Se pueden llegar a encontrar flujos de detritos granulares, en los cuales se da una tendencia a una fase homogénea, generando una mezcla predominantemente laminar (Oto Mir, 2007).

Seguido a estos, se tienen los flujos hiperconcentrado, los cuales se componen por material grueso (arenas, gravas y bloques) y agua, teniendo una ausencia de cohesión en dicha mezcla. Este flujo se define cuando la concentración de sólidos está entre el 20% y 60%. Causando un fluido con un comportamiento Newtoniano, permitiendo aplicar el modelo de Manning para la simulación de este, es decir mediante modelos hidráulicos e hidrológicos que ofrecen diferentes softwares.

Finalmente, los flujos de lodos se presentan en laderas que permiten absorber grandes cantidades de agua que saturan totalmente el suelo, causando una licuación de estos y su posterior deslizamiento. El material que se genera tiene alta viscosidad, perdiendo fuerza a medida que avanza sobre el cauce hacia su zona de depósito. Generalmente presentan altas concentraciones de partículas finas (limos y arcillas), aunque también grandes bloques o cantos de roca, comportándose como un "slurry" homogéneo con una onda frontal y una serie de pulsaciones, con

una concentración de partículas finas de solamente 90 kg/m3. Los flujos pueden alcanzar una concentración de solidos superiores al 70%, mientras que las inundaciones presentan concentraciones de entre el 5% y el 20%.

Otros autores, proponen una clasificación más local, la cual puede llegar a permitir entender de una mejor forma los eventos de este municipio. La siguiente tabla muestra los diferentes tipos de eventos que pueden llegar a ser considerados como avenida torrencial y los criterios para su clasificación, cómo la velocidad, la descarga pico, el porcentaje de sedimentos, entre otros (Aristizábal, Arango Carmona, & García López, 2020).

Característica / Tipo de Evento	Creciente súbita	Flujo de escombros	Inundación de escombros
Velocidad	Alta	Muy alta	Alta
Descarga pico	Alta	Muy alta	Alta
% sedimentos vol.	0%-30%	>70%	30%-70%
Aporte de sedimentos	Cauce	Laderas y cauce	Cauce y laderas
Tamaño de sedimento	Hasta tamaños centimétricos	Muy heterogéneo en tamaños hasta bloques métricos	Hasta bloque métricos
Reología del flujo	Flujo newtoniano de dos fases	Flujo de una fase no newtoniano	Flujo de dos fases
Tipo de transporte	Turbulencia	Fuerzas dispersivas, matriz cohesiva y boyancia	Fuerzas dispersivas y boyancia
Alcance espacial	Mayor	Menor	Medio
Orden drenaje	>2	1 y 2	>2
Morfología de cuenca	Cuencas más grandes y de menores pendientes	Cuencas pequeñas, laderas de mayores pendiente y cauces confinados	Cuencas más grandes y de menores pendientes
Capacidad de destrucción	Medio	Muy alto	Alto

Territorial

Figura 196. Comparativa entre flujos denominados como avenidas torrenciales

Fuente: (Aristizábal, Arango Carmona, & García López, 2020).

3.3. ZONAS DE UNA AVENIDA TORRENCIAL

En este evento amenazante se pueden diferenciar tres zonas: zona de inicio, zona de transporte y zona de depósito. Cuando se genera la avenida torrencial (zona de inicio), el flujo se extiende por el cauce, canalizándose acorde a la topografía del terreno (ríos y gargantas), formando la zona de transición o de transporte de la avenida. Finalmente, este flujo llega a una zona con poca inclinación, la cual elimina el confinamiento de este, el cual se expande en forma de abanico y genera la zona de depósito.

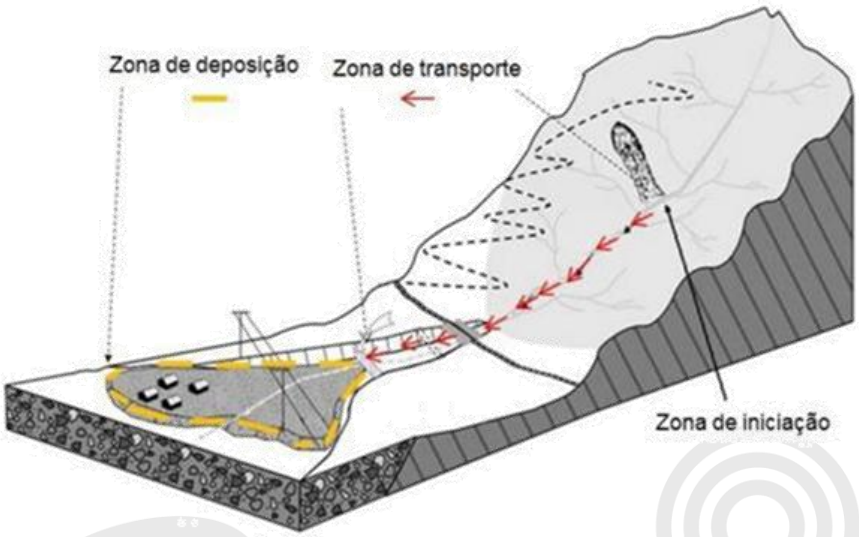


Figura 197. Configuración de una avenida torrencial

BGC Engineering (Jakob, 2005).

3.3.1. ZONA DE INICIO DEL MOVIMIENTO O RUPTURA

La rotura del terreno producida en la zona más alta o al lado del canal principal, es la que se relaciona con la zona de inicio. VanDine (1996) reporta pendientes mayores a 25° para esta área. La movilización requiere el desplazamiento de la masa, suficiente agua para saturarla, y la conversión de energía potencial gravitacional en energía cinética capaz de cambiar el tipo de movimiento del desplazamiento al flujo (Costa, 1984; Takahashi, 1991; Shelby, 1993; Iverson, 1997).

Este inicio puede llegar a caracterizarse con dos parámetros: la licuefacción de la masa que puede llegar a deslizar o por erosión de la superficie. La licuefacción consiste en la rotura del suelo en áreas inclinadas o en un desprendimiento ladera abajo del material sedimentado. Para cualquiera de los dos parámetros la energía se incrementa a medida que aumenta la pendiente del terreno y que se incorpora agua, transformado este deslizamiento en un flujo. A partir de esto, se puede concluir que el inicio de un flujo puede llegar a depender del ángulo de la pendiente, las propiedades mecánicas del suelo (cohesión, ángulo de fricción) y el grado de saturación (Oto Mir, 2007). El criterio que define este mecanismo es el de Mohr-Coulomb:

$$\tau_f = c + (\sigma - p)tg\phi$$

Donde τ_f es la tensión resistente a la profundidad considerada, c la cohesión, σ la tensión total normal debida al peso de los sedimentos y al agua subyacentes, p es la presión en los poros y ϕ es el ángulo de fricción interna.

El segundo parámetro se considera principalmente en el lecho de los ríos. El material saturado del lecho es erosionado y arrastrado, formando un flujo detrítico. Este proceso requiere una longitud importante de canal para erosionar y mezclar una gran cantidad de sólidos con agua.

3.3.2. ZONA DE TRANSPORTE

El área por donde discurre el flujo de escombros, se considera zona de transporte. En esta, el flujo aumenta su volumen puesto que puede llegar a erosionar el suelo, cargando material de depósitos anteriores. Esta tasa de erosión dependerá de las condiciones geológicas y las características geotécnicas de la zona por la cual se transporta el flujo (Hungr, 2005).

Esta área tiene pendientes superiores a 10° (Bathurst et al., 1997; Hungr, 2005), que permiten el transporte del flujo. Es importante mencionar que la energía se convierte a medida que se mueve el flujo, es decir que la energía potencial se asocia a la altura generada por el movimiento (H) y a la distancia máxima recorrida (L), la cual se transforma hasta que el movimiento se detiene. Esta energía perdida durante el movimiento puede calcularse de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$MgH = mGrl$$

Donde M representa la masa del flujo, g es la magnitud de la gravedad y R es un coeficiente de resistencia adimensional.

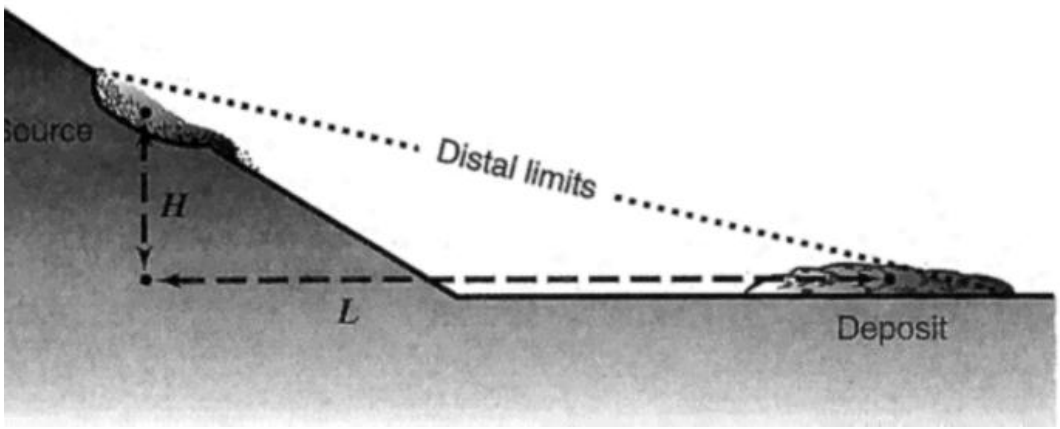


Figura 198. Perfil esquemático que define H y L del transporte de la avenida torrencial. H y L están definidos por las líneas que conectan la zona de inicio y el depósito

Fuente: (Iverson, 1997).

3.3.3. ZONA DE DEPÓSITO

La zona en la cual el flujo inicia su depositación se define cómo zona de depósito. Esta se presenta en forma de abanico, conocido comúnmente cómo abanico de detritos. Este proceso resulta de la mezcla de la reducción de la pendiente y la pérdida del confinamiento (Hungr, 2005).

En este momento del flujo, toda la energía cinética se pierde a través del calor que se genera en el transporte de sedimentos (Iverson, 1997). En la mayoría de los eventos observados y estudiados se identifica que la pendiente donde comienza la deposición del flujo suele estar entre 10° y 15°. Según VanDine (1996), la zona de deposición se divide en una deposición parcial con pendientes inferiores a 15 ° y en la zona de deposición final con pendientes inferiores a 10°.

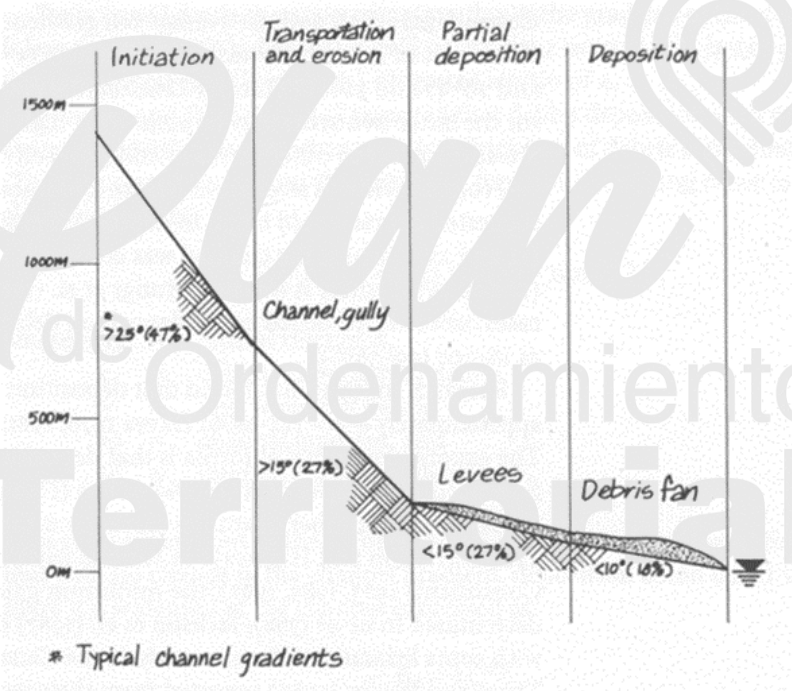


Figura 199. Pendientes de las zonas de canales de flujo de detritos en grados y porcentaje

Fuente: (VanDine, 1996).

Generalmente, las áreas de depósitos están asociados a abanicos aluviales que presentan diversas características, dependiendo del tipo de fenómenos que lo han generado, Sohn et.al (1999) describe a partir de observaciones en campo una secuencia de facies idealizada de los depósitos relacionados a diversos tipos de flujo, desde flujos de detritos dominados por la interacción friccional de los granos, hasta eventos de crecientes súbitas, con un régimen de flujo alto.

3.4. MECANISMOS DETONANTES DE AVENIDAS TORRENCIALES

En la Figura 6 se muestra el modelo conceptual de los posibles detonantes de las avenidas torrenciales: transformación de deslizamientos de tierras (acumulación de deslizamientos), erosión superficial y ruptura de preas. La infiltración del agua lluvia, llega a saturar las laderas, generando que el suelo pierda su fuerza y causando superficies de fallas poco profundas en estas (Zhang et al., 2011).

El material removido se puede llegar a transportar en los canales y a su vez puede formar presas de deslizamientos que se transforman directamente en flujos de escombros. La escorrentía superficial puede acumularse en esta presa produciendo un rompimiento, que desarrolla flujos de escombros canalizados. Esta escorrentía también puede llegar a producir una erosión del cauce, que ocasiona flujos de detritos en las laderas (Shen, Zhang, Chen, & Fan, 2018). Los mecanismos de iniciación no tienen un orden de ocurrencia especifico. Dependiendo del evento, ubicación y tipo de material los mecanismos pueden ocurrir de forma individual o una combinación de ellos.

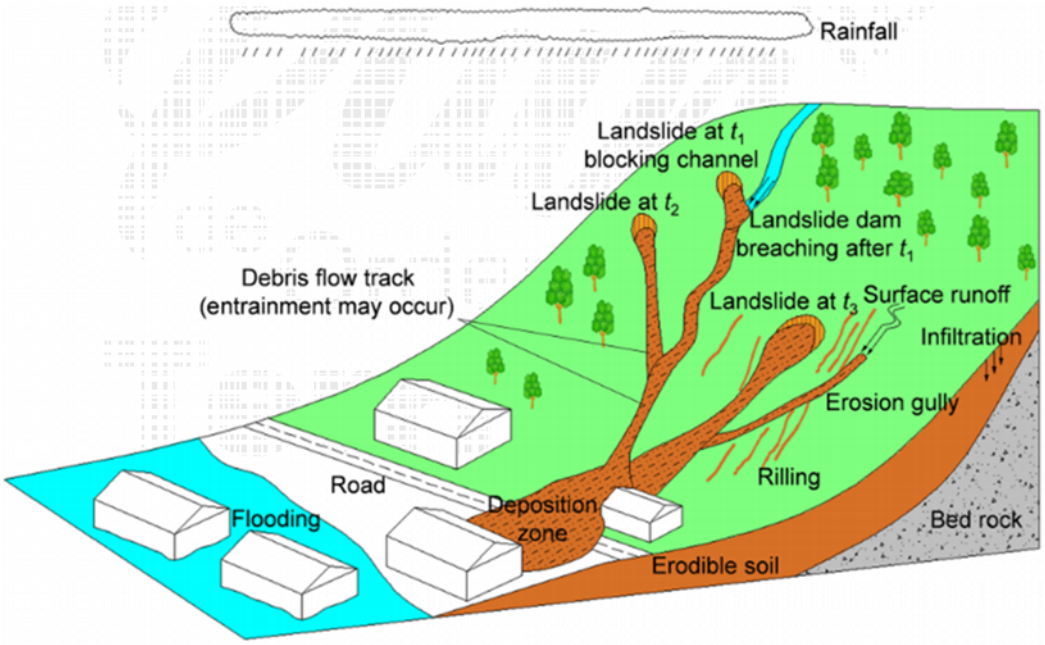


Figura 200. Modelo conceptual de flujos de detritos detonados por lluvias y los tres mecanismos de iniciación típicos de estos: erosión del lecho, transformación desde un deslizamiento (enjambre de deslizamientos) y rotura de presas

Fuente: (Shen, Zhang, Chen, & Fan, 2018)

3.5. PROPAGACIÓN DE AVENIDAS TORRENCIALES (FLUJOS DETRÍTICOS)

La modelación de las avenidas torrenciales comprende el análisis del comportamiento del flujo, el cual se encuentra condicionado a los parámetros que lo caracterizan, cómo el volumen, velocidad, pico de descarga y la distancia recorrida.

Estas modelaciones pueden llegar a evaluar la propagación del volumen de sólidos por el flujo de detritos a través de dos métodos: modelos empíricos o modelos numéricos. El método empírico es algo practico, mientras que el método numérico puede llegar a limitarse debido a la complejidad de los flujos detríticos (Oto Mir, 2007).

Los flujos detríticos se pueden llegar a englobar en una ecuación no uniforme en cada dimensión. Sin embargo, para la aplicación de estos métodos en software, se hace necesario reducir la complejidad del análisis, es decir que, a partir del comportamiento cinético del agua, la aceleración vertical de las partículas se puede llegar a considerar nula. A partir de lo anterior, el flujo se analiza en dos dimensiones en toda su profundidad, o en una dimensión en casos de una sección longitudinal.

Para un análisis bidimensional, se trabaja con ecuaciones empleadas en hidráulica como ecuaciones en aguas someras (shallow water equations) y su expresión es la siguiente:

$$\begin{cases} \dfrac{\partial h}{\partial t}+\dfrac{\partial}{\partial x}(h\cdot u)+\dfrac{\partial}{\partial y}(h\cdot v)=0 \\ \dfrac{\partial}{\partial t}(h\cdot u)+\dfrac{\partial}{\partial x}(h\cdot u^2+g\cdot\dfrac{\delta_x\cdot h^2}{2})+\dfrac{\partial}{\partial y}(h\cdot u\cdot v)=g\cdot h\cdot(S_0-S_f)_x \\ \dfrac{\partial}{\partial t}(h\cdot v)+\dfrac{\partial}{\partial x}(h\cdot u\cdot v)+\dfrac{\partial}{\partial y}(h\cdot v^2+g\cdot\dfrac{\delta_y\cdot h^2}{2})=g\cdot h\cdot(S_0-S_f)_y \end{cases}$$

Donde u y v son las velocidades en los ejes x e y, h es el calado del flujo, δ un coeficiente de compacidad debido a la presión lateral, S_0 es la inclinación del lecho y S_f el ángulo de fricción (Oto Mir, 2007).

Las diferencias entre los modelos propuestos en la bibliografía parten de las distintas expresiones de la presión lateral y de la fricción. Además, el modelo reológico escogido fija la resistencia en la base. Algunos modelos pueden introducir los efectos originados por la topografía, como el de Hungr (1995) o el de Wang (2004). Las condiciones de contorno en una corriente de derrubios vienen determinadas por la superficie libre del flujo y el lecho por el que circula. La complejidad de estas depende del modelo escogido y de los fenómenos físicos que se desean incorporar (Oto Mir, 2007).

El comportamiento de un material se ve reflejado en relaciones entre t y g& y entre m y g&, que proporcionan, respectivamente la curva característica del flujo y la curva de viscosidad. La curva característica permite establecer una primera clasificación entre flujos Newtonianos y no Newtonianos, dependiendo si la viscosidad h es constante o variable.

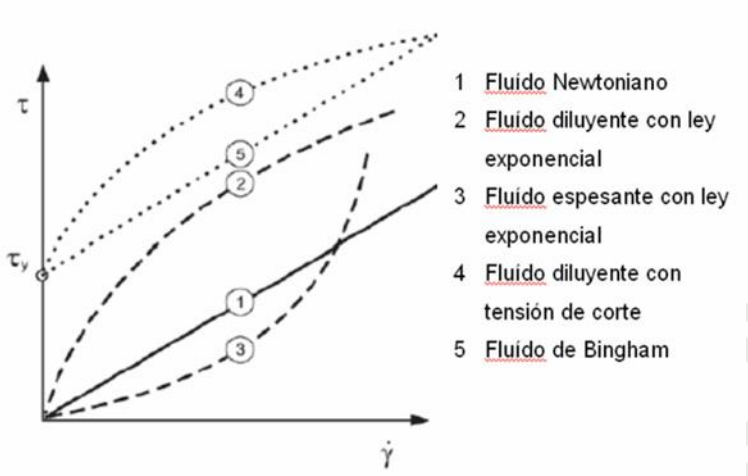


Figura 201. Clasificación simplificada basada en la curva reológica del fluido.

Fuente: Schatzmann, 2005 en (Oto Mir, 2007).

Las curvas con los números 2, 3, 4 y 5 corresponden a flujos no Newtonianos, y a su vez puede tratarse de aquellos que tienen una ley exponencial y aquellos que tienen una tensión umbral de corte. Estas dos características pueden darse simultáneamente.

A partir del marco conceptual anterior, se puede concluir que los modelos se dividen en dos grandes grupos: fases continuas y bifases. Las fases continuas parten de una parametrización de las tensiones, a partir de modelos elasto-visco-plásticos. Las propuestas más reconocidas son las siguientes, resaltando el modelo de Vollemy, el cual será empleado en el presente estudio:

a. Fluidos Newtonianos y no-Newtonianos

b. Modelos convectivos de Maxwell

c. Fluidos de Bingham

d. Fluidos de Johnson-Segelmann

e. Fluidos de Reiner-Rivlin

f. Modelo de Herschel-Bulkley

g. Modelo de Mohr-Coulomb

h. Modelo de Voellmy

i. Modelos hipoplásticos

Los modelos bifásicos, analizan el balance de momentum para cada una de las constituyentes, relacionando las tensiones parciales y las fuerzas de interacción (un ejemplo es la fuerza que ejerce el fluido sobre las partículas sólidas y la correspondiente reacción sobre el fluido). Esto puede llegar a ser complejo, por lo cual los modelos exigen caracterizaciones detalladas. Se reconocen los siguientes modelos:

a. Modelo de Iverson
b. Modelo de Pitman-Le

3.5.1. MODELO DE VOELLMY

En esta zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales se emplearán las ecuaciones propuestas por Vollemy en el año 1955, las cuales estudian principalmente los flujos de avalanchas de nieve. Se emplean dichas ecuaciones, puesto que las tensiones de corte son pequeñas, concentrando la resistencia en la base del flujo. Vollemy propone una ecuación para la tensión en la base integrada por dos términos, un término de fricción y un término turbulento (Oto Mir, 2007).

$$\tau_b = \rho * g * h * \mu * cos\vartheta + \rho * g * \frac{U^2}{\xi}$$

Donde ρ es la densidad de los granos, g es la constante gravitacional, h es el calado, ϑ es el angulo de inclinación, U es la velocidad promedio y ξ es el coeficiente de Chézy. La primera parte de la ecuación es el termino friccional de Mohr-Coulomb y la segunda parte es el termino turbulento de Chézy (Oto Mir, 2007).

3.6. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES

A partir de lo mencionado inicialmente en este capítulo, específicamente al Decreto 1077 para el 2015 en cuanto a las condiciones técnicas para la evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales, se definió una metodología de tres fases: revisión de los antecedentes históricos,

caracterización de la susceptibilidad a avenidas torrenciales y la definición de las zonas de amenaza a escala 1:25.000, a partir de la cual se seleccionaron las zonas con alta torrencialidad, en las cuales se desarrolló el modelamiento a escala 1:2.000 requerido por el Decreto 1077 de 2015.

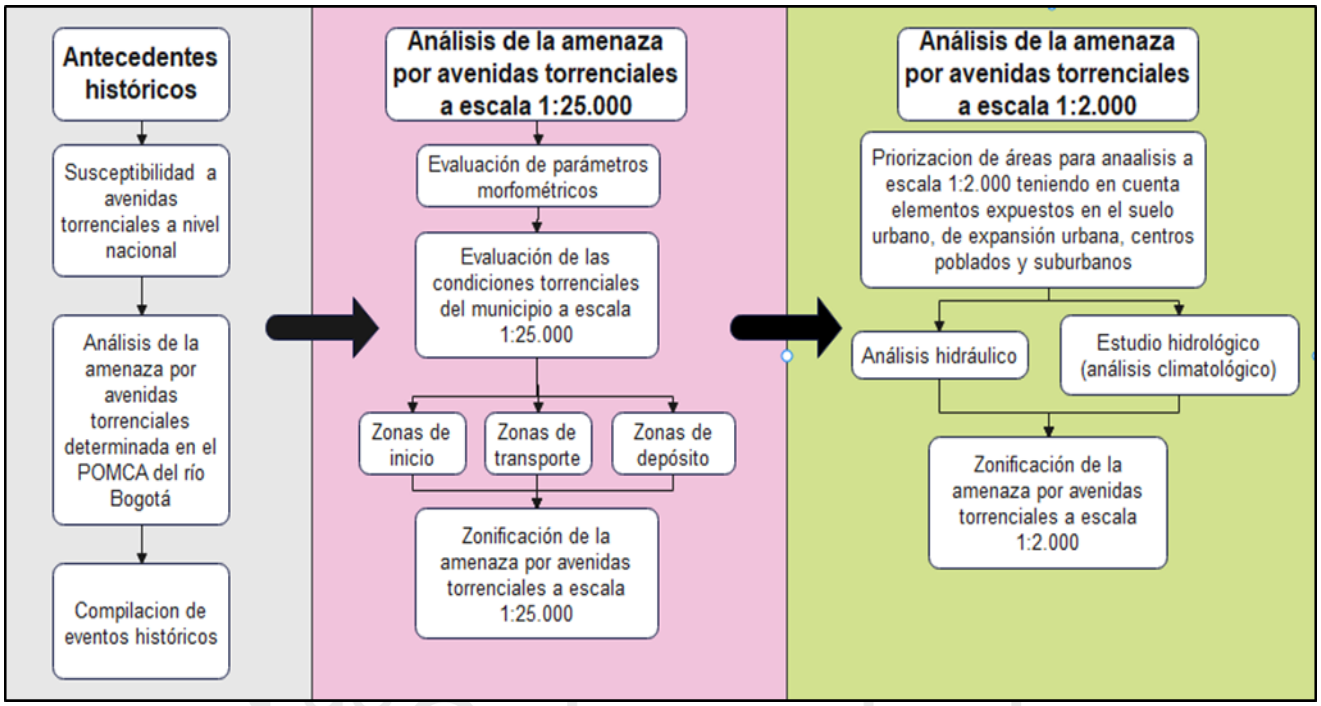


Figura 202. Metodología para la zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales

Fuente: Siglo XXII SAS

3.7. ANTECEDENTES HISTÓRICOS

3.7.1. SUSCEPTIBILIDAD A AVENIDAS TORRENCIALES A NIVEL NACIONAL

En el país las zonas localizadas en piedemonte presentan una alta susceptibilidad a presentar avenidas torrenciales, por lo cual el IDEAM delimitó las zonas susceptibles a avenidas torrenciales en Colombia. Como se observa a continuación, gran parte del área alrededor de la sabana se encuentra en susceptibilidad media y alta por estos fenómenos. Por lo cual fue necesario evaluar a escala local la amenaza por avenidas torrenciales.

Figura 203. Mapa de susceptibilidad a avenidas torrenciales a escala 1:500.000 para Colombia. Fuente: (IDEAM, Guía Metodológica para la Elaboración de mapas de inundación, 2017).

3.7.2. ANÁLISIS DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES DETERMINADA EN EL POMCA DEL RÍO BOGOTÁ

Teniendo en cuenta que el POMCA es un instrumento de ordenación ambiental de superior jerarquía, se analizó la zonificación de este evento amenazante en dicho instrumento. Es importante mencionar que la metodología empleada en el POMCA del río Bogotá se basa en lo establecido en (IDEAM, Guía Metodológica para la Elaboración de mapas de inundación, 2017). Este método parte de la evaluación de la susceptibilidad a través de una caracterización geomorfológica y de un análisis de eventos históricos, determinando zonas críticas en las cuales se determinó la amenaza.

La evaluación de la amenaza se basó en la evaluación del Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET) en las zonas identificadas con susceptibilidad media, alta y muy alta, además de la identificación y delimitación de las zonas donde ha ocurrido este tipo de evento.

3.7.2.1. SUSCEPTIBILIDAD A EVENTOS TORRENCIALES

El análisis de susceptibilidad por avenidas torrenciales para el POMCA del Río Bogotá se basa en la metodología propuesta en el Protocolo para la incorporación de la Gestión del Riesgo en los POMCA, (MinAmbiente, Fondo Adaptación, 2014). Este realiza una caracterización geomorfológica, identificando las geoformas relacionadas con avenidas torrenciales, las cuales son: zona urbana sobre cono de deyección (Azucdy), planicie o llanura de inundación (Fpi), cono de deslizamiento rotacional antiguo (Dcdra), planicies glaciolacustrinas (Gsg) y promotorios de desechos de cantera (Acl). En la imagen a continuación se muestra la susceptibilidad evaluada en el POMCA del río Bogotá para el municipio de Soacha.

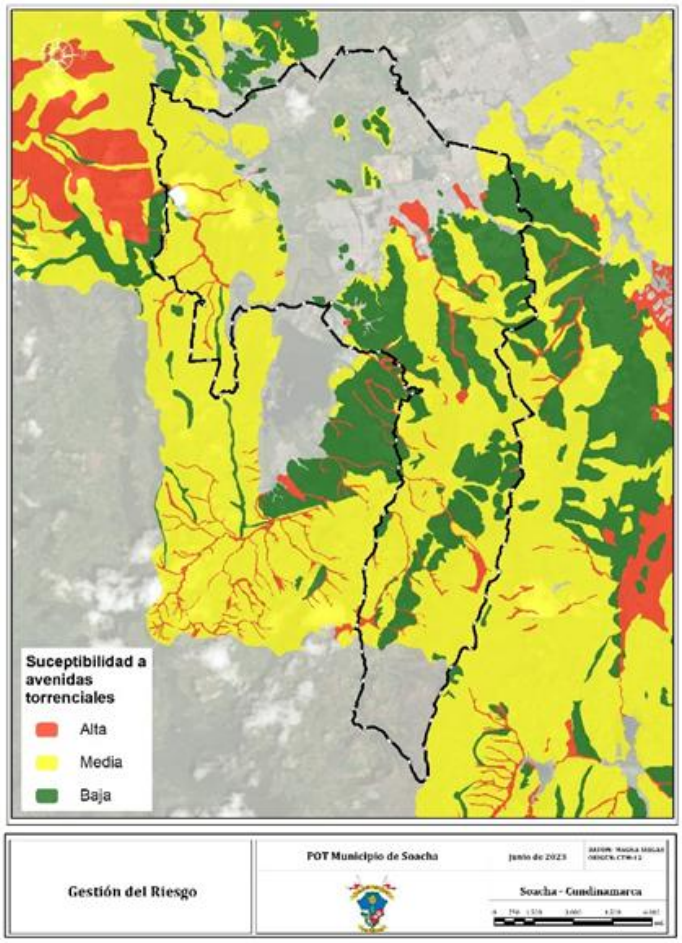


Figura 204. Susceptibilidad a avenidas torrenciales acorde al POMCA del río Bogotá para el municipio de Soacha
Fuente: Siglo XXII SAS, con base en (CAR 2019)

Las zonas con susceptibilidad alta se concentran en la zona urbana en límites con la vereda Fusunga. En la vereda Alto de la Cabra, Alto de la Cruz y San Francisco se identifican geoformas de planicie de inundación clasificadas con una categoría de susceptibilidad alta. Las áreas con susceptibilidad media a este evento torrencial se caracterizan en las veredas Cascajal, San

Francisco, El Charquito, Chacua, Fusunga, San Jorge, Hungría, Alto de la Cabra y Romeral. Acorde a esta mirada previa, se concluye que las geoformas existentes en el municipio hacen pertinente el análisis de torrencialidad en el área rural del mismo.

3.7.2.2. AMENAZA A AVENIDAS TORRENCIALES ACORDE AL POMCA DEL RÍO BOGOTÁ

En el POMCA del río Bogotá (2019) para el cálculo de la amenaza a este evento, se incluye en el análisis de susceptibilidad, el cálculo del Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales (IVET). Las zonas de amenaza alta se concentran alrededor de los principales cauces, sin embargo, en el área urbana sólo se da una categoría de amenaza media correlacionable con las geoformas mencionadas anteriormente.

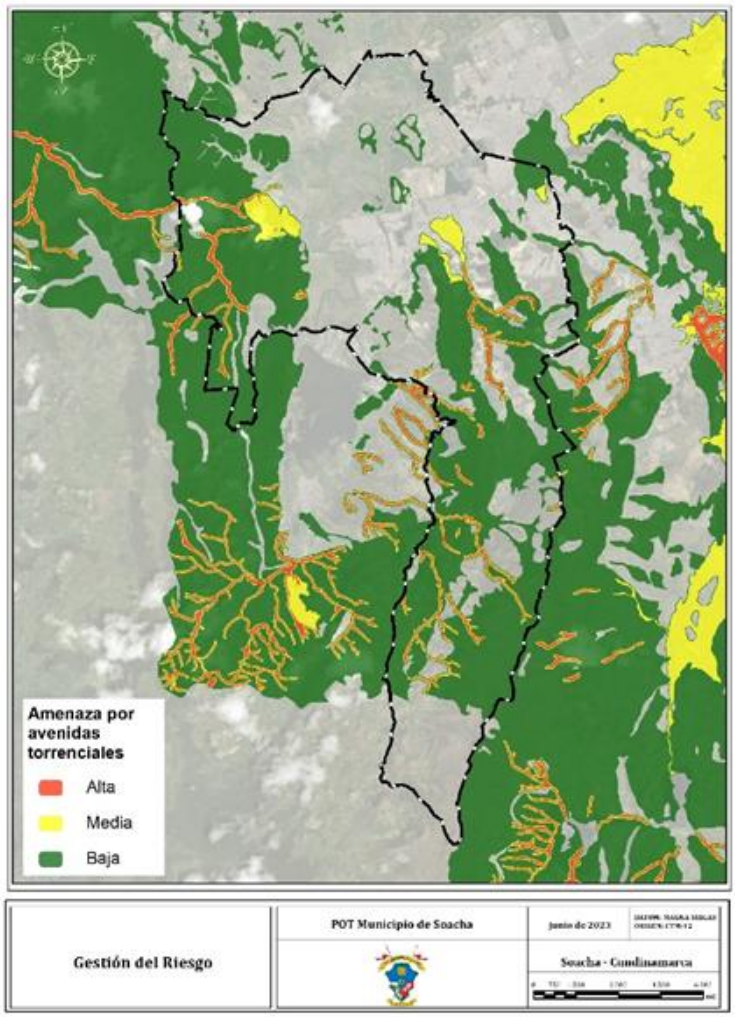


Figura 205. Amenaza por avenidas torrenciales para el municipio de Soacha acorde a lo definido en el POMCA del río Bogotá.
Fuente: (CAR, 2019)

3.7.3. COMPILACIÓN DE EVENTOS HISTÓRICOS

3.7.3.1. ANÁLISIS DE INFORMACIÓN MUNICIPAL

El fenómeno de torrencialidad en el municipio, está condicionado a las prácticas de manejos de suelos inadecuadas de manejo de suelos, especialmente a la industria de extracción minera, lo que genera un aumento de carga de sedimentos en la parte media de los caudales del Río Soacha y la Quebrada Tibanica, la presencia de depósitos tipo coluvión especialmente sobre las laderas del Río Bogotá, y depósitos de acumulación mecánica poco consolidados junto con la deforestación que ha aumentado los procesos erosivos evidenciándose erosión laminar hasta surcos y cárcavas directamente sobre los drenajes permanentes o intermitentes.

Los procesos denudacionales ocurridos en época de deglaciación en la zona alta del municipio sobre las cuencas Las Mirlas, El Encendillo, Aguas Claras y Honda, registran un alto transporte de sedimentos fluvio – glacial condicionando el sector a posibles eventos torrenciales por la baja consolidación del material, su contrates topográfico y por la génesis de las unidades geomorfológicas

Como se describe anteriormente, las condiciones de la baja resistencia de los materiales rocosos y de los suelos poco desarrollados, la gran cantidad de sedimentos no consolidados (especialmente la presencia de depósitos coluviales sobre las laderas), las altas pendientes del terreno, el uso y la cobertura de los suelos (especialmente la actividad minera sin plan de manejo de abandono), la lata intervención antrópica sobre el terreno y las condiciones morfométricas y principalmente hidrológicas favorecen la ocurrencia de una avenida torrencial sobre el municipio de Soacha.

A continuación, se realiza una evidencia fotográfica de lo anteriormente mencionado.

Figura 206. Aumento de la densidad de construcciones sobre ladera y cerros remanentes a la actividad minera en donde no se realizado un plan de abandono ambiental y geotécnico.
Fuente: Ortomosaico del municipio

Figura 207. Canteras ubicadas sobre el Río Soacha

Fuente: Ortomosaico del municipio

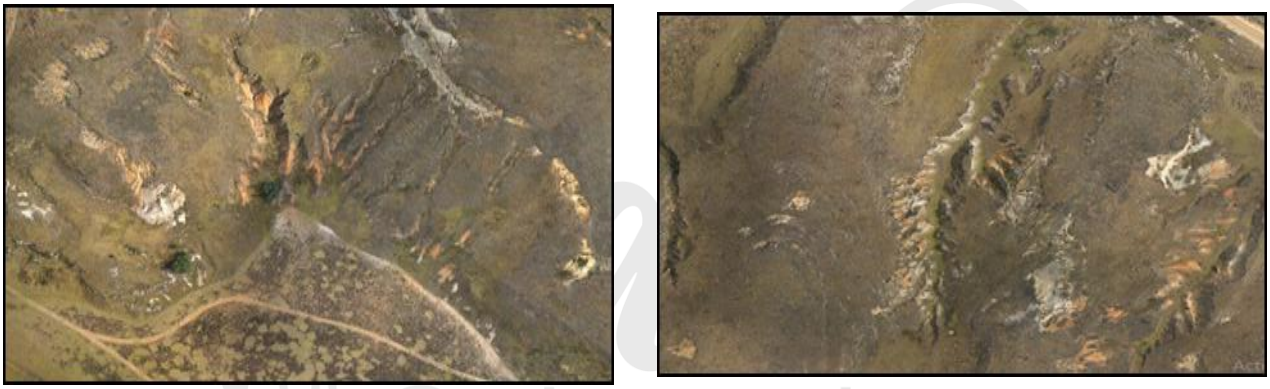


Figura 208. Erosión Severa – Tipo Cárcava y Surco. Entrada al casco urbano del Municipio de Soacha, Vía Granada – Soacha.

Fuente: Ortomosaico del municipio

Figura 209. Erosión Severa – Tipo Cárcava y Surco. Entrada al casco urbano del Municipio de Soacha, Vía Granada – Soacha

Fuente: Google Earth. 21-07-2017

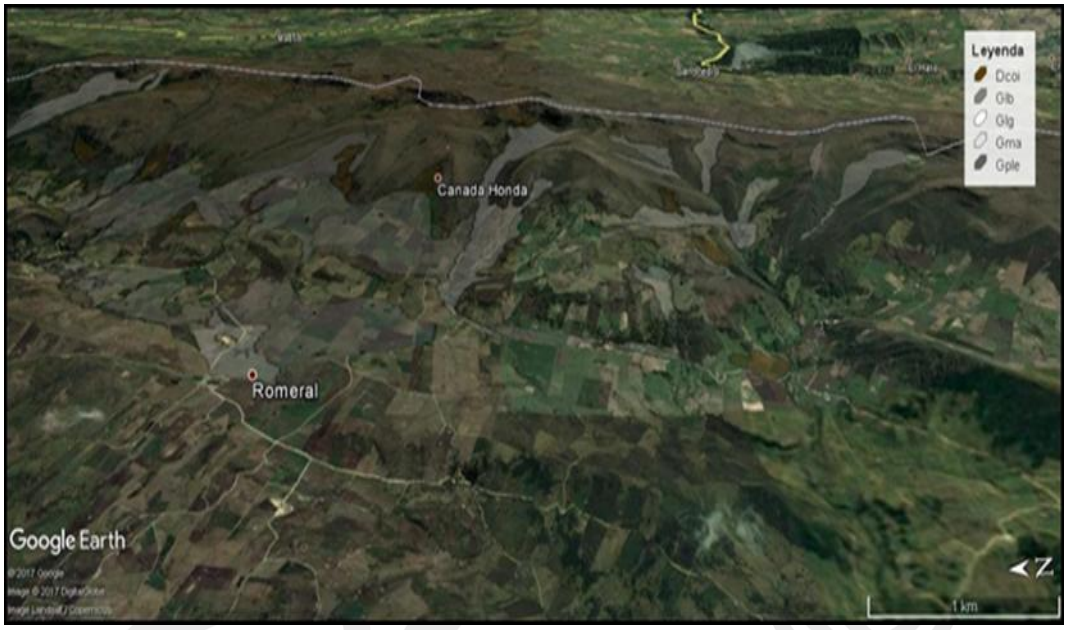


Figura 210. Depósitos Fluvio –glaciales y de ladera al sur del Municipio de Soacha.

Fuente: Google Earth. 21-07-2017

3.7.3.2. EVENTOS HISTÓRICOS REPORTADOS EN EL POMCA DEL RÍO BOGOTÁ Y DESINVENTAR

El principal insumo para la evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales son los eventos históricos, por lo cual se presenta a continuación el catálogo de eventos compilados, los cuales fueron consultados en el POMCA del río Bogotá, el SIMMA (Sistema de información de movimientos en masa) y Desinventar.

Tabla 103. Catálogo de eventos históricos relacionados con eventos torrenciales para el municipio de Soacha.

Tipo de evento	Fecha	Departamento	Municipio	X	Y	Código	Fuente
Flujo	01/01/2002	CUNDINAMARCA	SOACHA	987177.2025	998539.433	547	SIMMA
Flujo	01/01/2002	CUNDINAMARCA	SOACHA	988362.9012	997954.385	521	SIMMA
Flujo	01/01/2002	CUNDINAMARCA	SOACHA	988543.6079	998319.941	522	SIMMA

Tipo de evento	Fecha	Departamento	Municipio	X	Y	Código	Fuente
Flujo	01/01/2002	CUNDINAMARCA	SOACHA	988249.1609	997959.931	524	SIMMA
Flujo	01/01/2002	CUNDINAMARCA	SOACHA	987741.209	998315.748	526	SIMMA
Flujo	01/01/2002	CUNDINAMARCA	SOACHA	988153.6517	998184.204	527	SIMMA
Flujo	01/01/2002	CUNDINAMARCA	SOACHA	987892.8532	998006.981	531	SIMMA
Flujo	01/01/2002	CUNDINAMARCA	SOACHA	988299.0233	997464.518	532	SIMMA
Flujo	01/01/2002	CUNDINAMARCA	SOACHA	988096.0974	998434.017	533	SIMMA
Flujo	01/01/2002	CUNDINAMARCA	SOACHA	987865.0797	999979.65	537	SIMMA
Flujo	01/01/2002	CUNDINAMARCA	SOACHA	987726.6861	997684.219	544	SIMMA
Flujo	01/01/2002	CUNDINAMARCA	SOACHA	987325.7334	998207.996	545	SIMMA
Flujo	01/01/2002	CUNDINAMARCA	SOACHA	987085.9947	998578.815	546	SIMMA
Flujo	-	CUNDINAMARCA	SOACHA	988135	998847	POMC	POMCA
Flujo	-	CUNDINAMARCA	SOACHA	985509,9749	995799,1748	POMC	POMCA

Fuente: Siglo XXII SAS

3.8. ANÁLISIS DE LA SUSCEPTIBILIDAD Y AMENAZA A AVENIDAS TORRENCIALES

3.8.1. EVALUACIÓN DE LOS PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS

Las características morfométricas corresponden a la aplicación de procedimientos que, a través del estudio de la morfología y geomorfología, caracterizan los rasgos propios de las cuencas hidrográficas en valores numéricos, los cuales permitan comparar en forma exacta una parte de la superficie terrestre con otra. Estos parámetros están relacionados con el régimen hidrológico de una cuenca o microcuenca, ya que es una función compleja de numerosos factores, entre los que predomina el clima y la forma del terreno el cual se desarrolla el fenómeno.

Las formas de la superficie terrestre, y en particular su situación en altitud, tienen influencia decisiva sobre los factores condicionantes más importantes del régimen hidrológico como precipitación, escorrentía, infiltración y formación de depósitos y sedimentos. Los valores

morfométricos son fundamentales para documentar la analogía territorial y establecer relaciones hidrológicas de generalización y expresan en valores simples las características de paisajes complejos.

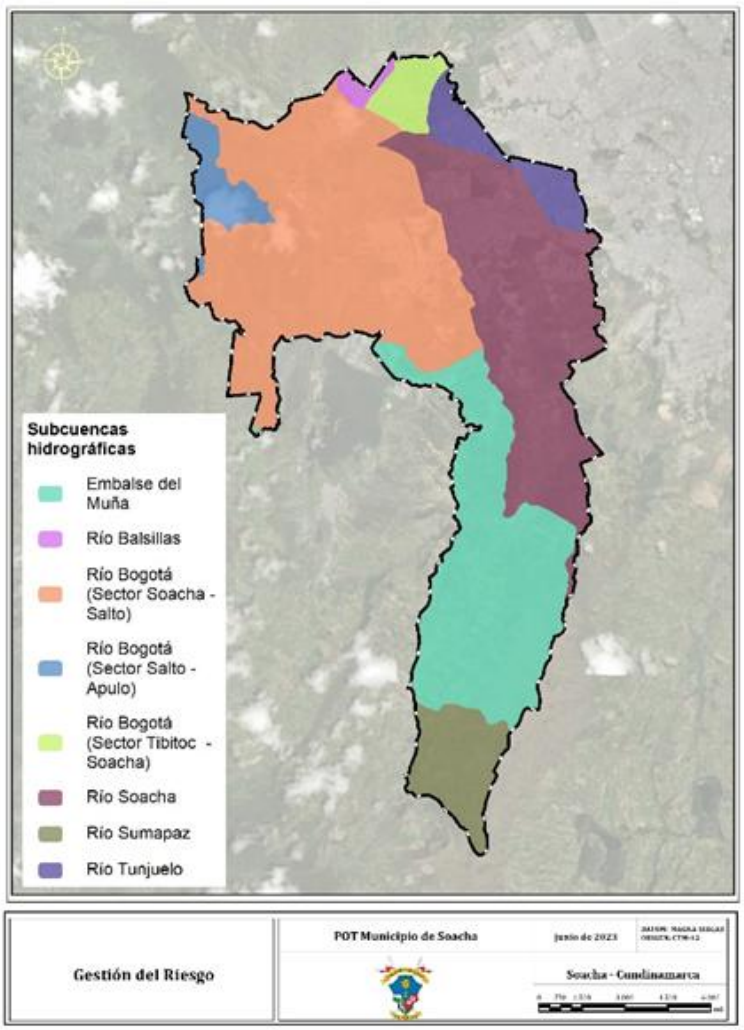


Figura 211. Subcuencas hidrográficas en el municipio de Soacha.

Fuente: Siglo XXII SAS

3.8.1.1. ÍNDICE DE COMPACIDAD (KC)

Parámetro adimensional que relaciona el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área que el de la cuenca. Este parámetro describe la geometría de la cuenca y está estrechamente relacionado con el tiempo de concentración del sistema hidrológico.

$$K_c = \frac{P_{cuenca}}{2\pi\left(\frac{A_{cuenca}}{\pi}\right)^{\frac{1}{2}}}$$

Donde:

P: Perímetro de la cuenca (km)

A: área de la cuenca.

Este valor adimensional, independiente del área estudiada, tiene por definición un valor de 1 para cuencas imaginarias de forma exactamente circular. Los valores de Kc nunca serán inferiores a 1. El grado de aproximación de este índice a la unidad indica la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de agua de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más se acerca a la unidad. Entre más bajo sea Kc, mayor será la concentración de agua.

Tabla 104. Índices de compacidad para la definición de la forma.

Clase	Rango	Descripción
Kc1	1 a 1,25	Forma casi redonda a oval – redonda
Kc2	1,25 a 1,5	Forma oval – oblonga
Kc3	> 1,5	Forma oval – oblonga a rectangular - oblonga

3.8.1.2. ALINEAMIENTO

Corresponde con la relación entre la longitud media de valle y la longitud del cauce principal. Schumm (1963) propuso cinco tipos de cauce asignándoles un índice de sinuosidad. Las cuencas Surata alto, Charta, Tona, El Aburrido, Hato y Oro Bajo presentan muy baja sinuosidad, asociándola a ambientes de montaña. Solamente Oro Medio presenta una sinuosidad media.

Tabla 105. Categorización del alineamiento.

TIPO DE CANAL	SINUOSIDAD	CARACTERIZACIÓN
Canal rectilíneo	1-1.2	Se caracterizan por desarrollarse en áreas de fuertes pendientes. Muy baja sinuosidad.
Canal transicional	1.2-1.5	Baja sinuosidad.
Canal regular	1.5-1.7	Cambios direccionales importantes. Sinuosidad media.
Canal irregular	1.7-2.1	Cambios direccionales importantes con bahías.
Canal tortuoso	>2.1	Tendiente atrenzamiento del canal.

3.8.1.3. DENSIDAD DE DRENAJE

La Densidad de drenaje puede definirse como la relación entre la longitud total de los cauces de una cuenca y el área de ésta.

$$Dd = \Sigma Lu / S$$

Donde Dd es la densidad de drenaje (en Km/Km2), ΣLu es la longitud total de cauces (en Km) y S es el área total de la cuenca en Km2. Este parámetro representa la longitud de cauces por unidad de superficie. Su valor está controlado por las características litológicas (muy especialmente la permeabilidad, hasta el punto de aportar una impresión cualitativa sobre ésta) y estructurales de los materiales, por el tipo y densidad de vegetación y por factores climáticos. Las mayores densidades de drenaje se encuentran en rocas blandas de baja permeabilidad y en regiones con escasa cobertura vegetal, sobre todo allí donde la precipitación se distribuye en aguaceros intensos y espaciados.

Tabla 106. Categorías de clasificación de la densidad de drenaje

DENSIDAD DEDRENAJE KM/KM2	CATEGORIA
menor de 1	Baja densidad de drenaje (Mal Drenada)
Entre 1 y 2	Media densidad de drenaje
Entre 2 y 3	Alta densidad de drenaje
Mayor a 3	Muy Alta densidad de drenaje (Bien Drenada)

3.8.1.4. ÍNDICE DE VULNERABILIDAD A EVENTOS TORRENCIALES

Hace referencia al grado de susceptibilidad de una cuenca, o en este caso microcuencas y Subcuencas, a presentar eventos torrenciales. Este índice depende de dos variables: el índice de variabilidad (IV) y el índice morfométrico (IM), por medio de los cuales se estima la influencia de la Morfometría y de los caudales en la existencia de un evento torrencial.

Tabla 107. Categorización del IVET acorde con el índice de variabilidad y el índice morfométrico.

Índice de variabilidad	Índice morfométrico de torrencialidad				
	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Muy baja	Baja	Baja	Media	Alta	Alta
Baja	Baja	Media	Media	Alta	Muy alta
Media	Baja	Media	Alta	Alta	Muy alta
Alta	Media	Media	Alta	Muy alta	Muy alta
Muy alta	Media	Alta	Alta	Muy alta	Muy alta

Fuente: (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014)

Para el municipio de Soacha, en especial en las áreas donde se localiza el suelo urbano y los centros poblados rurales de Altos de la Florida (microcuenca hidrográfica del río Soacha), Alto de la Cruz (microcuenca hidrográfica del río Bogotá - Sector Soacha Salto), Chacua – Cabrera

(microcuenca hidrográfica Embalse del Muña) y El Charquito (microcuenca hidrográfica del río Bogotá - Sector Soacha Salto, se tiene que el Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales presenta valores de Alto y Muy Alto (CAR, 2019), por lo tanto, la zonificación del IVET da línea para evaluar la ocurrencia eventos asociados a avenidas torrenciales.

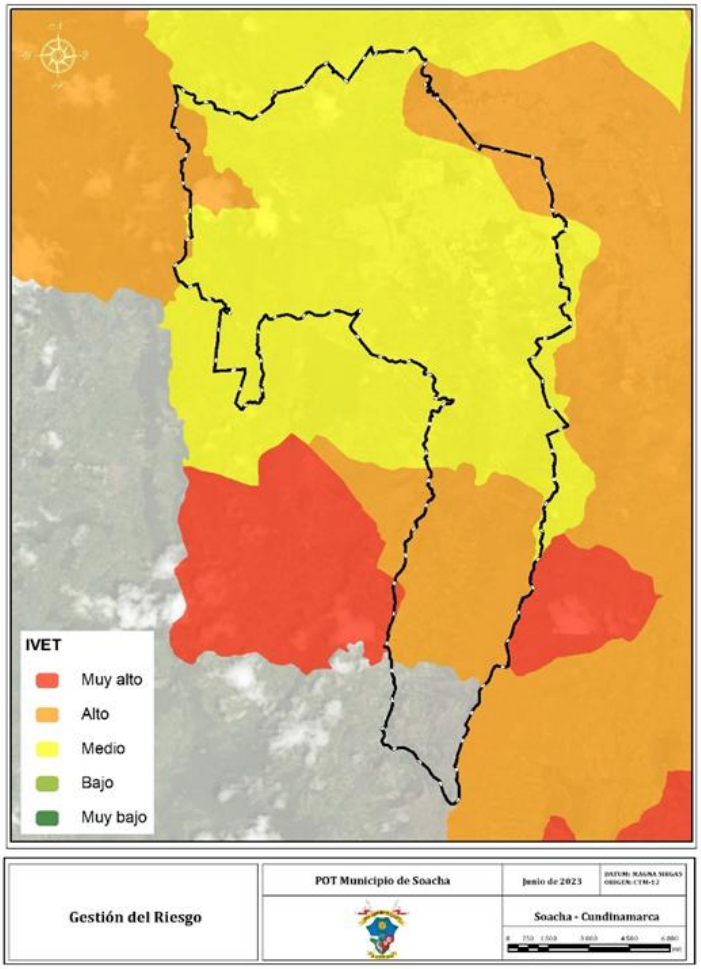


Figura 212. Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales en el municipio de Soacha

Fuente: (CAR, 2019)

3.8.2. EVALUACIÓN DE LAS CONDICIONES TORRENCIALES

3.8.2.1. ANÁLISIS DE LAS ZONAS DE INICIO

El modelamiento de la amenaza por movimientos en masa en el municipio de Soacha fue el principal insumo para el análisis de las zonas de inicio en los fenómenos de avenidas torrenciales, acorde a la metodología propuesta por el Servicio Geológico Colombiano. Dicha zonificación,

establece áreas de amenaza alta, media y baja asociadas a escenarios de lluvia antecedentes de un periodo de retorno de 20 años y aceleración pico vertical de 0.20g.

En las zonas de inicio se analizaron los posibles detonantes que pueden llegar a formar un flujo de detritos, entre estos el que predomina es la posible ocurrencia de movimientos en masa someros detonados por fuertes lluvias, las cuales causan una pérdida de cohesión y además reducen el factor de seguridad. Lo anterior se puede analizar con modelos de estabilidad de ladera en talud infinito usando la aproximación típica de falla de Coulomb.

Las zonas e inicio en el municipio de Soacha se ubican sobre las formaciones Dura, Plaeners y Labor y Tierna. La Formación Dura se compone por areniscas cuarzosas, con intercalaciones de arcillolitas y limolitas, depositadas en un ambiente litoral a sublitoral (Pérez & Salazar, 1973).

La Formación Plaeners está constituida: en la parte inferior, por paquetes de areniscas de grano fino, arcillolitas y limolitas silíceas, y liditas; la parte media, por una alternancia de limolitas, arcillolitas y areniscas de grano fino, y la parte superior, por limolitas y liditas. El espesor de la unidad es variable y oscila entre 156 y 212 m para la parte nororiental y suroccidental de Bogotá, y entre 60 y 300 m para la región occidental y noroccidental de la sabana. Su deposición ocurrió en un ambiente marino, de llanuras de lodo, durante el Maastrichtiano temprano (Pérez & Salazar, 1973).

Finalmente, la Formación Labor y Tierna consta de tres conjuntos: a) uno inferior conformado por areniscas cuarzosas, de color gris claro, de poco espesor, de grano fino a medio, ligeramente friables; b) un conjunto intermedio donde predominan arcillolitas y limolitas silíceas, y c) el conjunto superior constituido por areniscas cuarzosas, gris claro, de grano medio a grueso, con estratificación cruzada, moderadamente friables, y en estratos de 0,2 a 3,0 m de espesor (CAR, 2019).

En este modelamiento no se considerarán como detonantes la erosión del canal, terremotos o ruptura de diques. Se partirá de un método simple que estima la susceptibilidad a iniciar un flujo torrencial partiendo de la ocurrencia de deslizamientos someros, conocido como método de Shalstab, desarrollado por Montgomery y Dietrich en 1994. Este modelo simplificado, calcula la presión de poro asumiendo que las condiciones de estado estacionario se alcanzan después de una lluvia de intensidad constante y duración indefinida. Y también asume que el material se satura completamente (nivel freático coincide con la superficie del terreno). Estas situaciones permiten obtener una relación muy simple entre la precipitación q y la transmisividad del suelo T para cada celda del DEM (Montgomery & Dietrich, 1994).

$$\frac{q}{T} = \frac{\sin\theta}{(a/b)}\left(\left(\frac{c'}{\rho_w g z \cos^2\alpha \tan\varphi}\right)+\left(\frac{\rho_s}{\rho_w}\right)\left(1-\frac{\tan\alpha}{\tan\varphi}\right)\right)$$

Donde:

- Q es la precipitación (m/día) no conocida
- T es la transmisividad del suelo (m^2/día), no conocida.
- α es la pendiente (DEM)
- a/b es el área acumulada por el ancho del flujo (m)
- c' es la cohesión del suelo (Pa)
- φ es el ángulo de fricción interna del suelo.
- ρ_s es la densidad de bulk del suelo saturado (kg/m^3)
- g es la aceleración de la gravedad (m/s^2).
- z es el espesor de suelo (m)
- p_w es la densidad del agua (kg/m^3)

La categorización de susceptibilidad está dada en términos de $Log(\frac{Q}{t})$ y se definen tres clases: alta, media y baja.

Tabla 108. Categorización de la susceptibilidad a inicio de flujo de detritos.

Susceptibilidad	Log (g/T)
Alto	<-2.9
Medio	<2.4 y >-2.9
Bajo	>2.4

Fuente: (Bregoli, Medina, & Bateman, 2018)

Tal como se mencionó anteriormente, se tomará como segundo criterio la zonificación de la amenaza por movimientos en masa, sumándole a esta el modelo de susceptibilidad obtenido mediante el modelo Shalstab, por lo cual se propone la siguiente matriz para la categorización de la susceptibilidad a avenidas torrenciales por inicio del flujo.

Tabla 109. Matriz de criterios para la definición de la categoría de susceptibilidad a inicio de avenidas torrenciales.

INICIACION	Log(q/T)	AMENAZA MM
ALTO	<-2.9	ALTO
MEDIO	<-2.4 y >-2.9	
BAJO	>-2.9	
MEDIO	<-2.4 y >-2.9	MEDIO
BAJO	>-2.9	
BAJO	>-2.9	BAJO

Fuente: (Bregoli, Medina, & Bateman, 2018)

Es importante mencionar que para la aplicación del método de Shalstab se emplean parámetros geotécnicos en las formaciones estudiadas. Para la definición de dichos parámetros se retomó la

exploración geotécnica y del subsuelo descrita en ítems anteriores del presente estudio. En dicha exploración se dio una exploración geotécnica directa en campo y una exploración geofísica que permitió definir parámetros geomecánicos de los materiales presentes en el municipio de Soacha dando lugar a la Zonificación Geomecánica del municipio de Soacha.

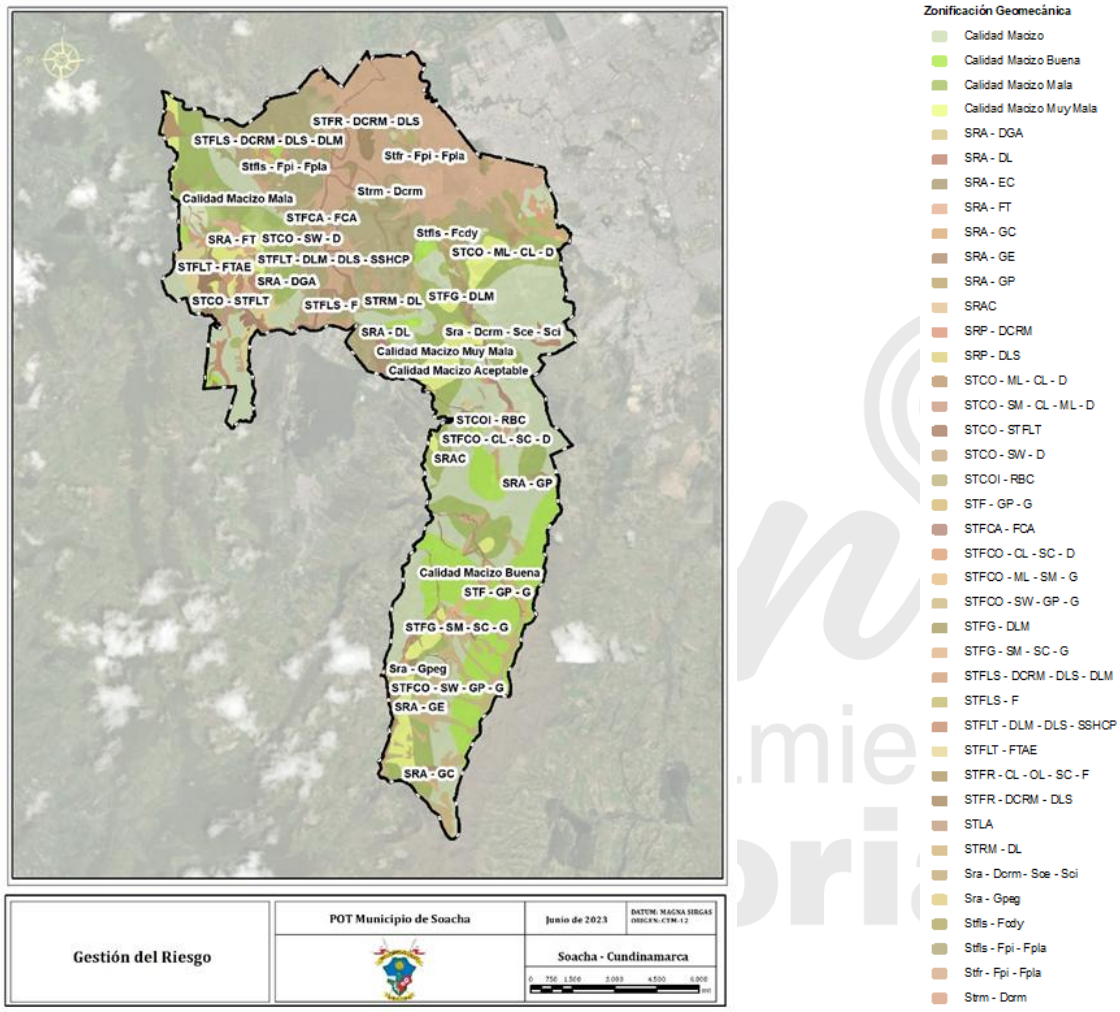


Figura 213. Zonificación geomecánica del municipio de Soacha

Fuente: SGC, 2011

Los parámetros geotécnicos de cada una de las categorías definidas en la zonificación geomecánica del municipio de Soacha se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 110. Parámetros geotécnicos empleados en el análisis de avenidas torrenciales

Unidades Zonificación geomecánica	Descripción	Espesor (m)	Densidad (g/cm3)	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm2)
01-Calidad Macizo Buena	Conjunto de matriz rocosa de calidad buena, poco fracturados con una familia de discontinuidades más otras ocasionales, con bloques grandes de tipo cubico, con valor de RQD entre 75 - 90% ligeramente meteorizado con resistencia a la compresión simple entre 100 - 250 Mpa	4	2.2	32.83	0.193
02-Calidad Macizo Aceptable	Conjunto de matriz rocosa de calidad aceptable, mediamente fracturados con dos familias de discontinuidades más otras ocasionales, con bloques medianos de tipo tabular, con valor de RQD entre 50 - 75% moderadamente meteorizado con resistencia a la compresión simple entre 50 y 100 Mpa	4	2.25	25.91	0.125
03-Calidad Macizo Mala	Conjunto de matriz rocosa de calidad mala altamente fracturados con tres familias de discontinuidades más tras ocasionales, con bloques pequeños de tipo columnar, con valor de RQD entre 25 - 50% moderadamente meteorizado con resistencia a la compresión simple entre 25 - 50 Mpa	4	2.01	35.8	0.158
04-Calidad Macizo Muy Mala	Conjunto de matriz rocosa de calidad muy mala severamente fracturados con cuatro o más familias de discontinuidades, con bloques muy pequeños de tipo irregular, con valores de RQD < 25% altamente meteorizado con resistencia a la compresión simple menor a 25 Mpa	4	1.985	15	0.104
05-SC-CH	Depósitos de materiales transportados, compactos,	4	1.17975	21.1	0.075

Unidades Zonificación geomecánica	Descripción	Espesor (m)	Densidad (g/cm3)	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm2)
	donde la matriz es predominantemente arcillosa (CH), arcillolimosa (CL) y arenoarcillosa (SC) compuestos por fragmentos de tamaño heterométrico, subangulares y subredondeados de arcillolitas, areniscas y limolitas. el origen de estos depósitos está asociado principalmente a la ocurrencia de movimientos en masa y procesos erosivos intensos en rocas blandas, que, dada su actividad actual, representan riesgo en la infraestructura aledaña. En general las condiciones de humedad de la unidad varía de media a baja, la resistencia no drenada se presenta alta y a medida que profundiza va disminuyendo esto se presenta por el aumento de la plasticidad de los materiales, de igual manera se presentan evidencias de potencial de expansión, esto lleva a que las obras de infraestructura que se desarrollen en el área de influencia de este material puedan verse afectados por deformaciones diferenciales que pueden afectar la estabilidad general de las estructuras que soporten y la necesidad de cimentaciones de tipo profundo o combinadas , por lo cual su construcción debe ajustarse a normas especiales, siendo necesarios e indispensables el desarrollo de ensayos de compresibilidad y expansión de tipo obligatorio, así como ensayos de resistencia drenada				

Unidades Zonificación geomecánica	Descripción	Espesor (m)	Densidad (g/cm3)	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm2)
	y no drenada, para estudios que se vayan a realizar en verano, se debe verificar la existencia de grietas en la superficie del terreno tanto en la dirección vertical como horizontal. se debe verificar y precisar su localización, profundidad, dimensiones y materiales mediante técnicas de exploración directa o indirecta.				
06-SM-ML-CL	Suelos de textura arenosa (SM-SC) con presencia de arcilla (CH) y material arcillolimoso (ML-CL), de colores amarillo y naranja rojizo, con estructuras relictas, ocasionalmente fisuras y grietas. En sectores muy localizados presenta bloques rocosos y recubrimiento de suelo orgánico de color gris oscuro, con espesor variable entre 20 cm y 1.5 m. Presentan consistencia alta. se origina en las laderas con pendiente entre 15° a 30° en algunas zonas se puede encontrar morfología alomada con inclinación de los estratos y con pendientes abruptas.	3.2	1.17975	21.1	0.075
07-(ML-SM)1	Depósitos predominantemente matrizsoportados, de materiales moderadamente compactos, conformados por fragmentos de rocas angulares a subangulares (limolitas silíceas y liditas) y matriz limoarenosa (ML) ocasionalmente arenolimosa (SM). El tamaño de los fragmentos varía desde pocos centímetros hasta más de 2 metros. El origen de estos depósitos está asociado principalmente con la ocurrencia	3	1.17975	21.1	0.075

Unidades Zonificación geomecánica	Descripción	Espesor (m)	Densidad (g/cm3)	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm2)
	de movimientos en masa y procesos erosivos intensos en rocas intermedias, que, dada su actividad actual, representan riesgo en la infraestructura aledaña. Se determinaron espesores menores a 4 m para estos depósitos.				
08-(SM-ML)2	Suelos de textura arenosa gruesa a media, predominantmente arenas y limos (SM - ML) con intercalaciones locales de arena arcillosa y grava fina, con estructuras relictas de estratificación y en sectores puntuales grietas y fisuras. Son producto de la descomposición in situ de materiales arenosos. Se encuentran dispuestos en franjas planas y suavemente inclinadas de edades subrecientes desarrollando espesores relativamente poco profundos.	5.7	1.7	16.3	0.089
09-(SM-ML)1	Suelos arenolimosos (SM - ML), de consistencia media - alta, de colores naranja rojizo y gris, con estructuras relictas de estratificación, ocasionalmente fisuras y grietas. Producto de la descomposición in situ de areniscas predominantemente cuarzosas con intercalaciones de materiales finos, en procesos glaciares y periglaciales. Se encuentran dispuestos en estratos de poco espesor, inclinados en contra de la pendiente, formando laderas irregulares y escalonadas, muy inclinadas y escarpadas.	5.7	1.766	20.4	0.079
10-MH	Suelos arenolimosos, de colores naranja rojizo y gris, con	5.7	1.832	24.5	0.068

Unidades Zonificación geomecánica	Descripción	Espesor (m)	Densidad (g/cm3)	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm2)
	estructuras relictas de estratificación, ocasionalmente fisuras y grietas. Producto de la descomposición in situ de areniscas predominantemente cuarzosas con intercalaciones de materiales finos, en procesos glaciares y periglaciales. En sectores muy localizados presenta bloques rocosos y recubrimiento de suelo orgánico de color oscuro, con espesor variable. Se encuentran dispuestos en laderas estructurales de longitudes generalmente largas, formas irregulares y pendientes muy inclinadas ocasionalmente escarpadas. Pueden presentar profundidades variables desde pocos centímetros hasta los 6 m, dependiendo del ángulo de inclinación de la ladera. Suelos encontrados en condiciones de alta humedad, alta plasticidad generando un resultado de potencial de expansión muy alto esto lleva a que las obras de infraestructura que allí se puedan realizar pueden verse afectados por deformaciones diferenciales que pueden afectar la estabilidad de la estructura, por lo cual su construcción debe ajustarse a normas especiales siendo necesarios e indispensables el desarrollo de ensayos de compresibilidad y expansión de tipo obligatorio, así como ensayos de resistencia drenada y no drenada, Los materiales presentes muestran un aumento considerable con la profundidad en la				

Unidades Zonificación geomecánica	Descripción	Espesor (m)	Densidad (g/cm3)	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm2)
	compresibilidad con la profundidad; límite de contracción bajo a alta a medida que se va profundizando, su resistencia al corte no drenada disminuye a medida que va aumentando la plasticidad. en las zonas con pendientes muy inclinadas la fuerza de gravedad produce esfuerzos de corte geoestáticos, si estos esfuerzos exceden la resistencia al corte se pueden producir deslizamientos.				
11-SP	Suelos de textura predominantemente gruesa (Arenas de grano medio, mal gradadas con gravas; SP) y limoarcillosa, de consistencia media, de colores naranja rojizo y habano con oxidación, con estructuras relictas de estratificación, ocasionalmente fisuras y grietas. Producto de la descomposición in situ de areniscas predominantemente cuarzosas con intercalaciones de materiales finos, en procesos generalmente periglaciales. En sectores muy localizados presenta bloques rocosos y recubrimiento de suelo orgánico de color oscuro, con espesor variable entre centímetros y 1 m. Se encuentran dispuestos en zonas planas a levemente inclinadas de longitudes moderadas, con formas generalmente cóncavas. Suelos encontrados en condiciones de humedad media lo que indica una compresibilidad media a alta con un bajo porcentaje de finos.	5.7	1.7	16.3	0.089
12-MH-CH	Suelos arcillolimosos (MH - CH), ocasionalmente arenosos, de	2.5	1.24	21.8	0.070

Unidades Zonificación geomecánica	Descripción	Espesor (m)	Densidad (g/cm3)	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm2)
	colores naranja rojizo y grises oscuros, consistencia media, con estructuras relictas de estratificación y en sectores puntuales grietas y fisuras. Son producto de la descomposición in situ de materiales blandos tipo lutitas, arcillolitas y limolitas intercaladas con capas delgadas de areniscas. Se encuentran dispuestos en zonas levemente inclinadas algunas veces escarpadas, medianamente disectadas por drenajes, con alta concentración de humedad y afectación por procesos erosivos. Suelos encontrados en condiciones de humedad media a alta, alta plasticidad indicando un parámetro de expansión alto esto lleva a que las obras de infraestructura que allí se puedan realizar pueden verse afectados por deformaciones diferenciales que pueden afectar la estabilidad de la estructura, por lo cual su construcción debe ajustarse a normas especiales siendo necesarios e indispensables el desarrollo de ensayos de compresibilidad y expansión de tipo obligatorio, así como ensayos de resistencia drenada y no drenada, su resistencia al corte no drenadaes bajo. teniendo en cuenta los valores de plasticidad indica una baja compresibilidad a medida que va profundizando.				
13-CH-ML	Suelos arcillolimosos (CH-ML) de textura fina, de colores gris claro, amarillo, naranja rojizo y marrones, con estructuras relictas y ocasionalmente fisuras	3	1.8	10.2	6.090

Unidades Zonificación geomecánica	Descripción	Espesor (m)	Densidad (g/cm3)	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm2)
	y grietas. Se originan en cerros localmente elongados, morfología alomada, laderas cortas, convexas e inclinados abruptamente, su origen está relacionado con procesos de erosión diferencial, incluyendo los cerros exhumados entre geoformas de acumulación más recientes				
14-(ML-CL)2	Suelos limoarcillosos (ML - CL), de colores gris claro, amarillo, naranja rojizo y marrones, con estructuras relictas y ocasionalmente fisuras y grietas. Su origen está asociado con la descomposición in situ de materiales silíceos altamente fracturados. Presentan consistencia blanda a firme Se encuentran dispuestos en laderas de pendientes suaves (< 15º), con alta concentración de humedad, que pueden verse afectadas por procesos erosivos de tipo laminar.	3	1.8	10.2	0.609
15-(ML-SM)1	Depósitos predominantemente matrizsoportados, de materiales moderadamente compactos, conformados por fragmentos de rocas angulares a subangulares (limolitas silíceas y liditas) y matriz limoarenosa (ML) ocasionalmente arenolimosa (SM). El origen de estos depósitos está asociado principalmente con la ocurrencia de movimientos en masa y procesos erosivos intensos en rocas intermedias, que, dada su actividad actual, representan riesgo en la infraestructura aledaña. Se determinaron	3.5	1.925	14.9	0.454

Unidades Zonificación geomecánica	Descripción	Espesor (m)	Densidad (g/cm3)	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm2)
	espesores menores a 4 m para estos depósitos.				
16-SM-CL-ML	Depósitos de materiales sueltos a moderadamente compactos, de composición heterogénea (areniscas, liditas y arcillolitas), conformados por fragmentos de roca angulares a subangulares, matrizsoposrtados a clastosoportados. La matriz puede ser de tipo arenolimosa (SM), o limoarcillosa (ML - CL).	3.5	1.925	14.9	0.454
17-CL-MH	Depósitos coluviales asociados a la Formación Tilatá. Acumulaciones de materiales moderadamente compactos, de composición heterogénea, formados por fragmentos de rocas angulares a subangulares, embebidos en matriz arcillosa o arcillolimosa. El origen de estos depósitos está asociado principalmente con la ocurrencia de movimientos en masa y procesos erosivos intensos en suelos fluvioglaciares de la Formación Tilatá. Se encontraron delgados niveles orgánicos (OL), cubriendo intercalaciones de poco espesor de limos (MH), arenas (SP) y arcillas (CL) hacia la parte más elevada y menos degradada de los depósitos. En general presentan condiciones de humedad media alcanzando un nivel alto en época de invierno lo cual puede generar un cambio volumétrico y una deformación desigual del subsuelo, la plasticidad de los materiales es media a baja y no se evidencia potencial de expansión; presentan una resistencia al	3.5	1.69	19.65	0.187

Unidades Zonificación geomecánica	Descripción	Espesor (m)	Densidad (g/cm3)	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm2)
	corte media; no presentan comportamientos especiales asociados.				
18-GC-GM	Depósitos de materiales moderadamente compactos, conformados por fragmentos de rocas angulares a subangulares (principalmente areniscas cuarzosas y arcillolitas), matrizsoportados o clastosoportados. El tamaño de los fragmentos varía desde pocos centimetros hasta más de 2 metros. El origen de estos depósitos está asociado principalmente con la ocurrencia de movimientos en masa y procesos erosivos intensos en rocas intermedias, que, dada su actividad actual, representan riesgo en la infraestructura aledaña.	3.5	1.925	14.9	0.454
19-GM-CL	Depósitos matrizsoportados de materiales moderadamente compactos, conformados por fragmentos de rocas angulares a subangulares (principalmente lutitas y areniscas) y matriz arcillolimosa o arcillo arenosa. El tamaño de los fragmentos varía desde pocos centímetros hasta más de 2 metros. El origen de estos depósitos está asociado principalmente con la ocurrencia de movimientos en masa y procesos erosivos intensos en rocas blandas, que en la actualidad se encuentran en estado inactivo. No presentan características que puedan determinar comportamientos especiales.	6.5	1.596	20.4	0.153
20-GP-SM	Depósitos de materiales sueltos constituidos por clastos, gravas	1.5	1.695	29.2	0.096

Unidades Zonificación geomecánica	Descripción	Espesor (m)	Densidad (g/cm3)	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm2)
	y ocasionalmente bloques de tamaño heterométrico, de formas subangulares y subredondeadas, de composición variada, dentro de una matriz de arena y limo; en general son varicoloreados, presentando delgadas intercalaciones de arcillas orgánicas y paleosuelos negros. Presentan media a baja consolidación. Dispuestos en crestas alomadas, lineales y elongadas, con laderas cóncavas y rectas, muy cortas e inclinadas de origen glaciar, producto de lenguas glaciares y material traído por las corrientes laterales al valle glaciar. Pueden presentar dificultades en el momento de excavación si se requiere el desarrollo de obras de infraestructura sobre ellos.				
21-GP-GC-CL	Sedimentos compuestos de gravas (GP - GC), arenas silíceas grano medio a fino (SP), que varían a arcillas lodosas (CL) y arenosas, de color gris a marrón, con tintes rojizos por oxidación. En algunos casos incluyen cantos de areniscas y fragmentos de limolitas silíceas. Los depósitos en general presentan compactación baja. Están asociados al cauce actual de los ríos, quebradas y corrientes. Materiales encontrados en condiciones de humedad media (< 26%). Para los niveles arcillosos se determinó una resistencia al corte media a baja en condición no drenada.	1	0	0	0.000

Unidades Zonificación geomecánica	Descripción	Espesor (m)	Densidad (g/cm3)	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm2)
22-CH-SC	Suelos arenoarcillosos (SC - CH), de consistencia media, de colores naranja rojizo y gris, con estructuras relictas de estratificación, ocasionalmente fisuras y grietas. Producto de la descomposición in situ de areniscas predominantemente cuarzosas con intercalaciones de materiales finos. Se encuentran asociados a superficies de longitudes largas, forma cóncava y suavemente inclinadas.	6	1.586667	29.3725	0.170
23-SM-CL	Depósitos de materiales transportados moderadamente compactos, compuestos predominantemente por arenaslimosas (SM), gravas y ocasionalmente bloques de tamaño heterométrico, de composición predominantemente silícea. Pueden presentarse como materiales clastosoportados o matrizsoportados. Aunque en la actualidad presentan relativa inactividad, su origen está asociado con la depositación por movimientos en masa y flujos torrenciales producto de actividad fluvioglaciar. Localmente pueden presentar delgadas intercalaciones de arcillas de baja plasticidad (CL). Pueden encontrarse como acumulaciones en forma de cono o lóbulo inclinadas o en planicies suavemente inclinadas. Por su origen se requieren evaluaciones detalladas si se requieren como soporte de infraestructura.	1.5	1.695	29.2	0.096

Unidades Zonificación geomecánica	Descripción	Espesor (m)	Densidad (g/cm3)	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm2)
24-GP-SP	Depósitos de materiales transportados moderadamente compactos, compuestos predominantemente por fragmentos y bloques de roca arenisca erráticos angulares, subangulares y subredondeados, principalmente clastosoportados con una matriz de grava (GP), arena gruesa (SP) y limo. Aunque en la actualidad presentan relativa inactividad, su origen está asociado con la depositación por movimientos en masa y flujos torrenciales producto de actividad fluvioglaciar. Localmente pueden presentar delgadas intercalaciones de arcillas o limos orgánicos y paleosuelos negros. Se encuentran acumulados en forma de conos o arcos irregulares de morfología alomada, con laderas inclinadas. La resistencia al corte del material clasto soportado es baja. En condiciones de lluvias intensas y saturación y debido a su baja compacidad pueden asociarse a procesos de inestabilidad.	2.5	1.81	22.05	0.942
25-SP-SM	Suelos transportados constituidos por clastos, gravas y ocasionalmente bloques de tamaño heterométrico, de formas subangulares y subredondeadas, de composición variada, dentro de una matriz arenolimosa; presentan delgadas intercalaciones de arcillas y paleosuelos negros. Se encuentran dispuestos	3.5	1.925	14.9	0.454

Unidades Zonificación geomecánica	Descripción	Espesor (m)	Densidad (g/cm3)	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm2)
	formando laderas con pendientes moderaras (16° a 30°), de morfología ondulada, alargada y rectilínea, medianamente disectadas por drenajes.				
26-SP-SM(OH)	Depósitos de materiales sueltos constituidos por clastos (SP), gravas y ocasionalmente bloques de tamaño heterométrico, de formas subangulares y subredondeados, de composición predominantemente cuarzosa y silícea dentro de una matriz de arena y limo (SM). Localmente pueden presentar niveles delgados de limos oscuros orgánicos (OH). Su origen está asociado con la depositación de flujos torrenciales producto de actividad fluvioglaciar. Estos depósitos fueron encontrados con espesores de hasta 6 m, en condiciones de alta humedad y muy baja plasticidad, que aumentan en profundidad lo que indica un aumento en la compresibilidad y en la resistencia con la profundidad Los niveles orgánicos presentan humedades y plasticidades muy altas por lo cual deben ser considerados como materiales de soporte para obras de infraestructura ; esto lleva a que la cimentación de las obras de infraestructura se efectúe sobre el material granular que subyace los niveles orgánicos.	1.5	1.695	29.2	0.096
27-ML-MH	Sedimentos lacustres constituidos por arcillas orgánicas (OH) oscuras y limos	8.6	1.848	7.4	0.400

Unidades Zonificación geomecánica	Descripción	Espesor (m)	Densidad (g/cm3)	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm2)
	arcillosos (MH - ML) de color gris y habano claro, de consistencia blanda. Se encuentran dispuestos constituyendo laderas subhorizontales a moderadas y cerros remanentes de erosión diferencial. Por su morfología, pueden presentar altas concentraciones de humedad y procesos erosivos de tipo laminar. Estos materiales fueron encontrados en condiciones de alta humedad y baja plasticidad presentando no presentando evidencias de potencial de expansión, pero cabe resaltar que todas las arcillas tienen la propiedad de contraerse cuando pierden humedad y de expandirse cuando la ganan de nuevo según las condiciones ambientales, especialmente los materiales orgánicos, por lo tanto, se recomienda el desarrollo de ensayos de compresibilidad, expansión, resistencia drenada y no drenada. La resistencia al corte no drenada se presenta media.				
28-(CL-OL-SC)1	Sedimentos lacustres constituidos por arcillas oscuras, arcillas orgánicas y turbas, de consistencia blanda y alta humedad. Estos materiales son producto de depositación por el desborde o migración de canales y ríos adyacentes. Dado su origen y localización, son materiales que pueden encontrarse constantemente cubiertos por agua y saturados, lo cual puede representar	6.5	1.596	20.4	0.153

Unidades Zonificación geomecánica	Descripción	Espesor (m)	Densidad (g/cm3)	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm2)
	condiciones de alta compresibilidad.				
29-SC-SM	Complejo de arenas, arenas arcillosas y gravas, de color gris claro amarillento, con intercalaciones de arcillas, arcillas arenosas, arcillas orgánicas y limos; ocasionalmente turbas y capas de piroclastos finos, en capas lenticulares, poco consolidadas. Conforman morfologías de pendientes suaves y moderadas, cóncavas a irregulares, escalonadas y con pendientes escarpadas. Pueden verse afectados por procesos erosivos y desarrollo local de procesos coluviales.	14	1.533	6	0.560
30-(ML-CL)1	Sedimentos de granulometría fina, predominantemente limos (ML) de color gris y arcillas (CL) amarillas, localmente cubiertos por delgadas capas de arcillas orgánicas. Son sedimentos antiguos de origen fluvial, conformando terrazas alomadas de varios kilómetros de extensión, con pendientes suaves a inclinadas. Estos materiales presentan una humedad media y baja plasticidad, presentando una resistencia media en condición saturada y aumentando en estado seco. Son materiales de baja compresibilidad y que no presentan tendencia a comportamiento expansivos y/o contráctiles; requieren de especial atención en zonas de ladera por arrastre de limos debido a la presencia de drenajes subsuperficiales no	14	1.533	6	0.560

Unidades Zonificación geomecánica	Descripción	Espesor (m)	Densidad (g/cm3)	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm2)
	controlados, lo que puede llevar a subsidencias locales y/o pérdida de soporte por erosión interna.				
31-(CL-OL-SC)2	Sedimentos lacustres constituidos por arcillas oscuras, arcillas orgánicas y turbas, de consistencia blanda y alta humedad. Estos materiales son producto de depositación por el desborde o migración de canales y ríos adyacentes. Dado su origen y localización, son materiales que pueden encontrarse constantemente cubiertos por agua y saturados, lo cual puede representar condiciones de alta compresibilidad.	2.15	2.058	16.6	0.260
32-CL-ML	Depósitos de granulometría fina a media, constituidos por intercalaciones de arcillas de color gris claro, oscuro y amarillo, con limos y arenas, localmente arcillas orgánicas. Se encuentran dispuestos conformando laderas de pendiente suave (<15º) y cerros elongados. Estas morfologías se encuentran asociadas con procesos de erosión diferencial y laminar, con concentraciones altas de humedad. En general son de consistencia blanda.	2.15	2.058	16.6	0.260
33-STLA	Acumulación de desechos domésticos sólidos, orgánicos e inorgánicos, así como escombros de construcción y desechos de canteras que se han dispuesto de manera caótica sobre laderas, con pendientes moderadas.	3	1.8	10.2	0.609

Unidades Zonificación geomecánica	Descripción	Espesor (m)	Densidad (g/cm3)	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm2)
34-(CH-MH)2	Depósitos de grano fino (comúnmente CH), de colores marrón, rojizo, verdoso, constituidos por intercalaciones delgadas de arcillas, limos y arenas, a menudo con fragmentos de roca subangulares. Estos depósitos varían de compactos a medianamente compactos y se encuentran dispuestos en laderas con pendientes suaves y crestas de cimas agudas. Pueden verse afectados por procesos erosivos intensos que generan disecciones profundas.	4	1.567833	7.4	0.397
35-(ML-SM)3	Suelos arenolimosos (SM - ML), de consistencia media, de colores naranja rojizo y gris, con estructuras relictas de estratificación, ocasionalmente fisuras y grietas. Producto de la descomposición in situ de areniscas predominantemente cuarzosas con intercalaciones de materiales finos. Se encuentran asociados a cerros y prominencias topográficas de morfología montañosa o colinadas, con laderas cortas de formas irregulares, abruptas y escarpadas. Su origen está asociado con procesos denudativos de erosión diferencial, por la intercalación de materiales duros y blandos. Se encuentran asociados con procesos de remoción en masa	4	1.17975	21.1	0.075
36-SM-SC	Complejo de arenas, arenas arcillosas y gravas, de color gris claro amarillento, con intercalaciones de arcillas, arcillas arenosas, arcillas orgánicas y limos;	3.2	1.17975	21.1	0.075

Unidades Zonificación geomecánica	Descripción	Espesor (m)	Densidad (g/cm3)	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm2)
	ocasionalmente turbas y capas de piroclastos finos, en capas lenticulares, poco consolidadas. Conforman morfologías de pendientes suaves y moderadas, cóncavas a irregulares, escalonadas y con pendientes escarpadas. Pueden verse afectados por procesos erosivos y desarrollo local de procesos coluviales.				
37-CL-SM	Suelos limoarenosa (ML - SM), de consistencia media - alta, de colores naranja rojizo y gris, con estructuras relictas de estratificación, ocasionalmente fisuras y grietas. Producto de la descomposición in situ de origen estructural, de areniscas predominantemente cuarzosas con intercalaciones de materiales finos. En sectores muy localizados presenta bloques rocosos y recubrimiento de suelo orgánico de color oscuro, con espesor variable entre 20 cm y 1.5 m. Se encuentran aflorando en laderas de contrapendiente con inclinación < 30º, de longitud muy corta a moderada, con desarrollo de drenaje dendrítico, subparalelo, localmente denso.	6.5	1.596	20.4	0.153
38-CL-CH-SC	Depósitos de granulometría fina a media, constituidos por intercalaciones de arcilla arcilla y arena predominantemente. El depósito de materiales arcillosos está compuesto por una capa superficial de arcilla (CL); por debajo de ella se presenta una arcilla blanda con delgadas intercalaciones de arena (CH) cuyo espesor es variable. Los	9	1.667	10.62	0.380

Unidades Zonificación geomecánica	Descripción	Espesor (m)	Densidad (g/cm3)	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm2)
	materiales arcillosos presentes muestran un aumento considerable con la profundidad de la humedad y la plasticidad tal como se muestra en el perfil, característica propia de materiales de origen lagunar, lo que indica un aumento en la compresibilidad con la profundidad; los valores de resistencia disminuyen con la profundidad debido al aumento de la plasticidad de los mismos; igualmente se presentan en profundidad valores de los límites y la plasticidad que indican un alto potencial de expansión de estos materiales; esto lleva a que las obras de infraestructura que se desarrollen en el área de influencia de este material puedan verse afectados por deformaciones diferenciales que pueden afectar la estabilidad general de las estructuras que soporten y la necesidad de cimentaciones de tipo profundo o combinadas , por lo cual su construcción debe ajustarse a normas especiales, siendo necesarios e indispensables el desarrollo de ensayos de compresibilidad y expansión de tipo obligatorio, así como ensayos de resistencia drenada y no drenada. La presencia de un estrato de arenas en profundidad en la zona central puede mejorar las condiciones de soporte de los materiales en esta zona y disminuir las manifestaciones de deformaciones en forma de				

Unidades Zonificación geomecánica	Descripción	Espesor (m)	Densidad (g/cm3)	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm2)
	hundimientos que pueden ser más fuertes en la zona norte y sur. Estos materiales presentan una resistencia al corte media a baja en profundidad y pueden presentar un comportamiento contráctil con agrietamientos y presencia de una capa dura en superficie en época de verano y aumentos de volumen y grandes expansiones en época de invierno.				
39-CH-CL	Depósitos de granulometría fina a media, constituidos por intercalaciones de arcilla de color gris claro, oscuro y amarillo. El depósito de materiales arcillosos está compuesto por una capa superficial de arcilla (CL); por debajo de ella se presenta en la zona central de la formación una arcilla blanda (CL-ML); por debajo de ella se presenta una arcilla (CH) con intercalaciones de delgadas capas de arena. Los materiales arcillosos presentes muestran un aumento considerable con la profundidad de la humedad y la plasticidad tal como se muestra en el perfil lo que indica un aumento en la compresibilidad con la profundidad; los valores de resistencia disminuyen con la profundidad debido al aumento de la plasticidad de los materiales; adicionalmente se presentan en profundidad valores de los límites y la plasticidad que indican un alto potencial de expansión de estos materiales; esto lleva a que las obras de infraestructura que se	2.15	2.058	16.6	0.260

Unidades Zonificación geomecánica	Descripción	Espesor (m)	Densidad (g/cm3)	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm2)
	desarrollen en el área de influencia de este material puedan verse afectados por deformaciones diferenciales que pueden afectar la estabilidad general de las estructuras que soporten y la necesidad de cimentaciones de tipo profundo o combinadas , por lo cual su construcción debe ajustarse a normas especiales, siendo necesarios e indispensables el desarrollo de ensayos de compresibilidad y expansión de tipo obligatorio, así como ensayos de resistencia drenada y no drenada. Estos materiales presentan una resistencia al corte media a baja en profundidad y pueden presentar un comportamiento contráctil con agrietamientos y presencia de una capa dura en superficie en época de verano y aumentos de volumen y grandes expansiones en época de invierno.				
40-(CH-MH)1	Depósitos de grano fino, generalmente arcillosos CH, de colores marrón, rojizo, verdoso, constituidos por intercalaciones delgadas de arcillas, limos y arenas, a menudo con fragmentos de roca subangulares, originados a partir de roca clástica limo arcilloso principalmente. Estos depósitos varían de compactos a medianamente compactos, se observa en los cerros localmente elongados, morfología alomada, laderas cortas, convexas e inclinados abruptamente, su origen está relacionado con	3	1.567833	7.4	0.397

Unidades Zonificación geomecánica	Descripción	Espesor (m)	Densidad (g/cm3)	Fricción (°)	Cohesión (Kg/cm2)
	procesos de erosión diferencial que han operado en tiempos anteriores bajo condiciones climáticas diferentes a las actuales, se incluyen aquí los cerros exhumados entre geoformas de acumulación más recientes. de acuerdo a la exploración indirecta estos suelos son profundos a moderadamente profundos				
Promedio		4.44375	1.6633	17.9758125	0.39985

Fuente: SGC, 2011

El modelo utilizó los valores promedio encontrados para ángulo de fricción, cohesión y densidad humedad. El valor promedio del espesor de cada una de las unidades geomecánicas (presentado en la tabla anterior), se validó a través de la observación de campo. Los valores utilizados fueron:

a. COHESION (Kg/cm3) = 0.39985
b. DENSSATURATED (g/cm3) = 1.6633
c. FRICINTERN (phi) = 17.98
d. ZSOILDEPTH (m) = 4.44

En la siguiente imagen se puede evidenciar el espesor de hasta 4 metros de suelo, en algunas canteras, por lo cual fue validado este espesor promedio en el modelo.

Figura 214. Espesor de suelo promedio en el municipio de Soacha
Fuente: Siglo XXII SAS

Teniendo en cuenta que la rotura del terreno producida en la zona más alta o al lado del canal principal, es la que se relaciona con la zona de inicio, a continuación, se presenta la zonificación de la amenaza por movimientos en masa la cual fue obtenida a partir la zonificación geomecánica presentada anteriormente.

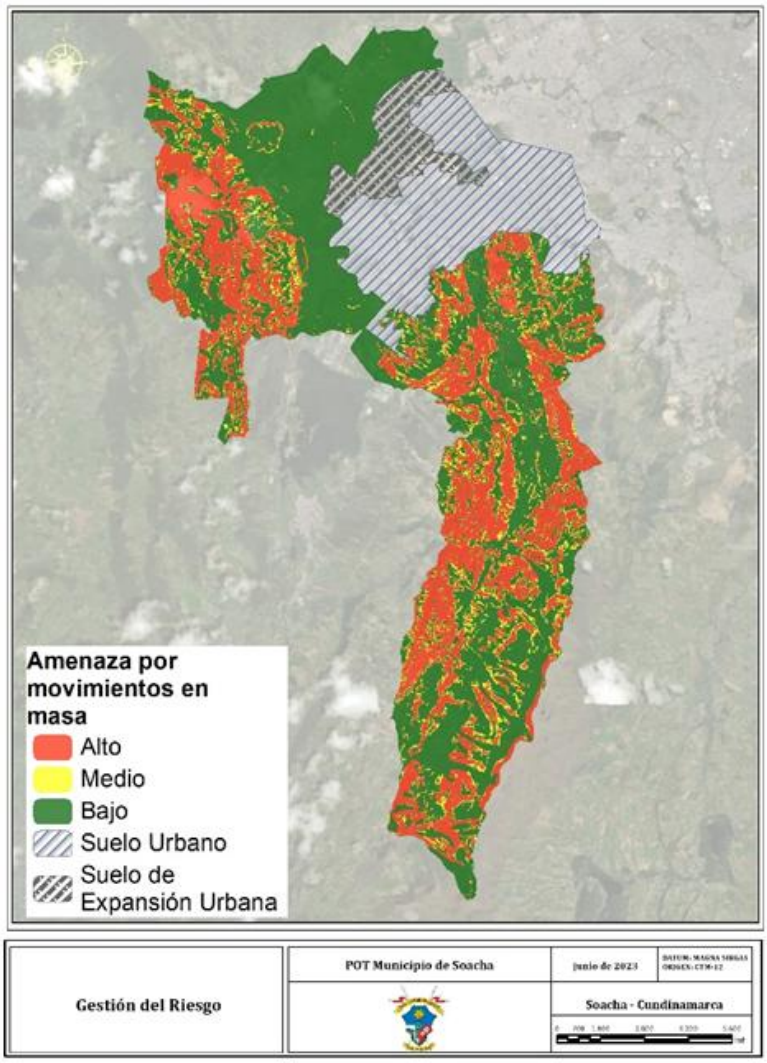


Figura 215. Zonificación de la amenaza por movimientos en masa empleado para la obtención de la susceptibilidad por zonas de inicio

Fuente: Siglo XXII S.A.S.

Las zonas de susceptibilidad alta ante este evento se concentran en las partes altas entre las veredas Cascajal y San Francisco. Hacia el centro y sur del municipio se localizan dichas áreas en las veredas de Tinzuque, Hungría, San Jorge y Fusunga, tal como se observa en la siguiente figura.

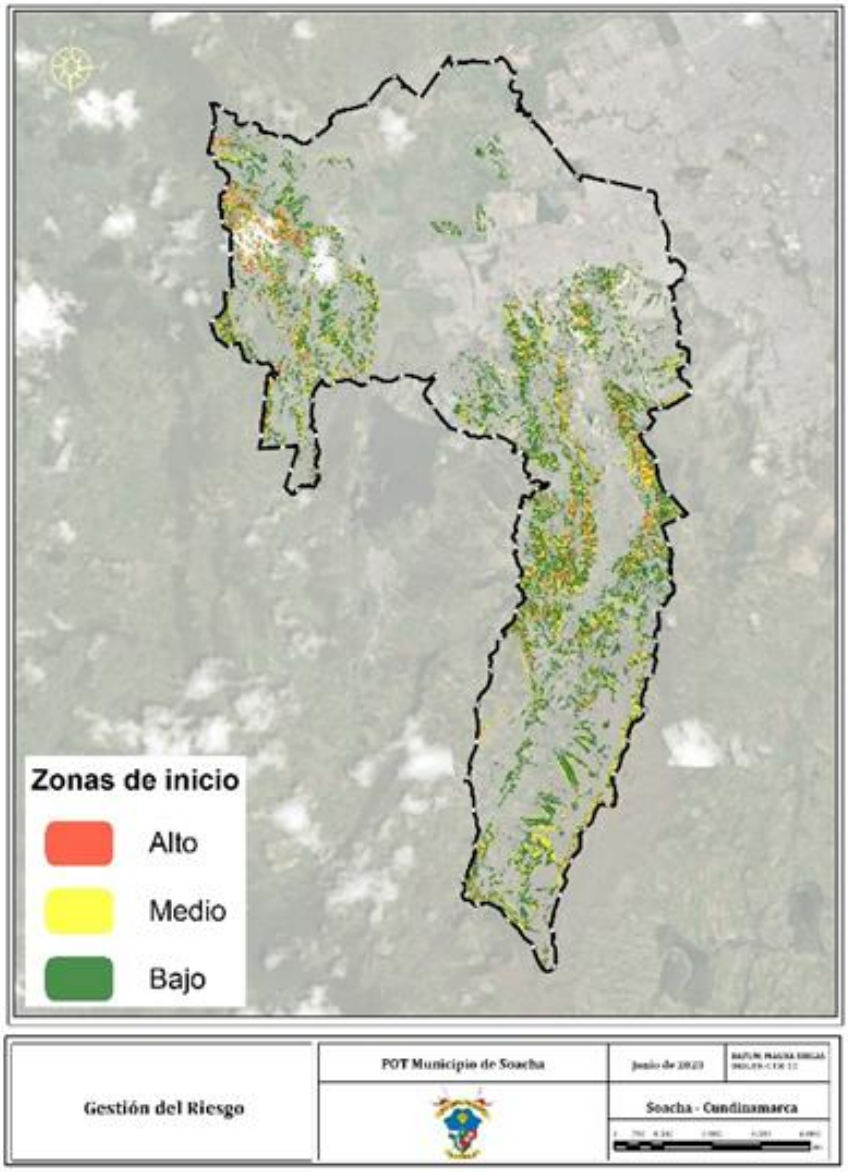


Figura 216. Susceptibilidad a inicio de flujo de detritos en el municipio de Soacha

Fuente: Siglo XXII S.A.S.

A continuación, se presenta la distribución porcentual de dichas categorías.

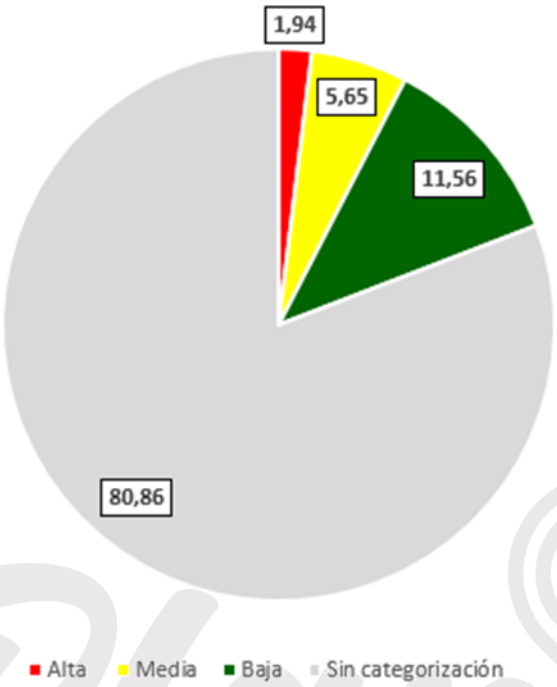


Figura 217. Distribución porcentual de la categorización a inicio de flujo de detritos

Fuente: Siglo XXII S.A.S.

Tabla 111. Distribución de área de la categorización a inicio de flujo de detritos.

Categoría	Área (ha)
Sin categorización	14746.0176
Baja	2399.1228
Media	1151.5284
Alta	401.9868

Fuente: Siglo XXII SAS

Los resultados de este modelamiento permiten concluir que, si existe una generación de material aportante al flujo considerable, debido a las fuertes pendientes que se presentan y a la ocurrencia de deslizamientos en el área.

3.8.2.2. ANÁLISIS DE LAS ZONAS DE TRANSPORTE

El transporte de sedimentos en flujos de detritos implica, un modelo que integre diversos parámetros reológicos del material que se transporta. Un método simplificado y rápido corresponde al modelo DebrisDice desarrollado por el grupo GITS-UPC.

El DebrisDice es un modelo estocástico para la propagación de flujos de detritos, basado en la morfología del terreno (DEM). Este modelo permite obtener resultados cualitativos en términos de áreas inundadas y velocidad de flujo. La herramienta es realmente útil por su relación tiempo de cálculo y calidad de los resultados. Con una buena calibración los resultados pueden ser comparables a modelos más complejos (modelos 1D y 2D). El modelo estocástico consiste en un algoritmo de enrutamiento de flujo incorporado a una ruta aleatoria para generar trayectorias de flujo de escombros. Gamma (1999) y Hürlimann et al. (2008) combinó un algoritmo de enrutamiento de flujo D8 (O'Callaghan y Mark 1984) con Montecarlo y la teoría de ruta aleatoria (Bregoli, Medina, & Bateman, 2018).

A partir de los puntos de iniciación evaluados con los modelos de susceptibilidad y datos de campo, es posible obtener una trayectoria de propagación de flujo para cada punto n_afect. Finalmente, la probabilidad de invadir una celda P_xy, se calcula para todo el DEM usando la siguiente ecuación (Bregoli, Medina, & Bateman, 2018).

$$P_{xy} = \frac{n_{afect}}{n_{iter}}$$

Donde n_{afect} es el número de trayectorias DF que pasan a través de una celda. El modelo DebrisDice utiliza dos métodos de detención de flujo y proporciona resultados separados para cada uno de los métodos de detención. El primer mecanismo de detención del enrutamiento se evalúa mediante la relación entre el ángulo de alcance (β) y el volumen total del flujo de escombros (V) Corominas at al (1996).

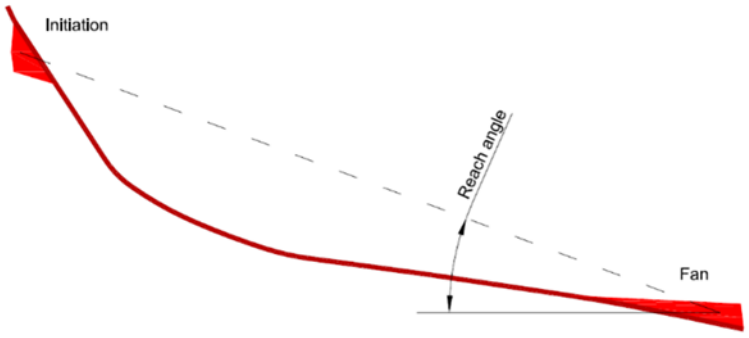


Figura 218. Diagrama de proceso de identificación del ángulo de alcance (Reach angle).

Fuente: (Bregoli, Medina, & Bateman, 2018).

Donde β es el ángulo de alcance, H es el gradiente entre el centro de masa del deslizamiento de tierra y el abanico, L Max es la distancia de viaje y V es el volumen total de sedimento movilizado en m3.

3.8.2.2.1. CÁLCULO DEL VOLUMEN REMOVIDO EN LA LADERA SUSCEPTIBLE AL TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

Para el cálculo del volumen removido en el transporte, se analizó el volumen inicial que pudiese fallarse y a su vez alimentar a los flujos que pasaran por la ladera. Para lo anterior se empleó la metodología propuesta por Corominas (1996), la cual se basa en el área total susceptible en un inicio, multiplicada por el espesor del suelo promedio calculado en las zonas de inicio. Lo anterior se calcula a partir del tamaño de píxel, que para este caso a la escala 1:25.000 es 12.5 metros, los insumos empleados para el presente modelamiento corresponden a un DTM a escala 1:2.000 y la cartografía de la amenaza por movimientos en masa para el suelo rural a escala 1:25.000.

Para el cálculo del volumen total, los datos empleados corresponden a los registrados en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, en la cual se presenta el valor promedio del espesor de las unidades geomecánicas que para el municipio de Soacha es de 4,4 m.

Tabla 112. Cálculo del ángulo de alcance para el modelamiento realizado en el municipio de Soacha.

High probability				
cells	cells size	thickness	volume	Reach angle (Corominas 1996)
	(m)	(m)	(m3)	(rad)
12371	12,5	4,4	8505062,50	0,179658384
Medium probability				
cells	cells size	thickness	volume	Reach angle (Corominas 1996)
	(m)	(m)	(m3)	(rad)
47412	12,5	4,4	3,26E+07	0,156432471
Low probability				
cells	cells size	thickness	volume	Reach angle (Corominas 1996)
	(m)	(m)	(m3)	(rad)
119252	12,5	4,4	8,20E+07	0,14219627

Fuente: Corominas, 1996

Acorde a la tabla anterior, el volumen que puede llegar a ser transportado con mayor probabilidad es de 8,505,062.50 m3 de sedimento, este volumen se generaría en un escenario extremo de falla en todas las áreas con categoría alta. La composición de material arenoso de la Formación Areniscas Duras (K2d), su composición de areniscas cuarzosas grises claros, de grano fino y con intercalación de arcillolitas y limolitas, permite emplear el método mencionado.

3.8.2.2.2. MÉTODO DE DETENCIÓN DEL FLUJO POR VELOCIDAD

Otro parámetro para evaluar además del volumen del material transportado es la velocidad del flujo en toda la trayectoria, es decir cómo varía esta hasta que llega a cero y empieza a depositarse. Para este cálculo se emplea el método de reología de flujo para Flujo de Escombros Granulares (Voellmy 1955):

$$\frac{1}{2}\frac{dv^2}{dl} = g(\sin\alpha - \mu_m \cos\alpha) - \frac{v^2}{k}$$

Donde v es la velocidad de la mezcla, l es la línea de la trayectoria del flujo, μm es el coeficiente de fricción por deslizamiento, k es el coeficiente de turbulencia, también llamado "relación masa / arrastre". μm y k deben definirse mediante análisis retrospectivo, pero se pueden establecer valores típicos. Los valores empleados en el modelo fueron tomados de (Medina, Hürlimann, & Bateman, 2007) y son: μm= tan ∅ =0.13 y K = 0.05 – 1 Pa s1/3. Cuando la velocidad es cero, el flujo se detiene (segundo método de detención). Adicionalmente se puede incluir el ángulo mínimo de parada del flujo (ángulo de alcance).

En la siguiente tabla se muestran los cálculos de la velocidad promedio del flujo (m/s) y la probabilidad de la trayectoria de este (probabilidad de que el flujo pase por un determinado píxel). Estas velocidades se asocian principalmente con el cuerpo principal del flujo, en las partes más altas de las laderas y la probabilidad media de trayectoria se asocia principalmente a la ruta de mayor pendiente que normalmente coincide con el canal aluvial principal de las corrientes de agua.

En las zonas donde se determine una categoría de probabilidad baja se define que no habrá un tránsito de flujos, esto por la presencia de pendientes bajas. Estos cálculos se definen únicamente con ecuaciones de flujo que emplean la reología de Voellmy, con parámetros reológicos que, al no contar con un registro de eventos históricos contundente, no se permite la calibración adecuada del modelo. Teniendo en cuenta esto, se toman valores teóricos (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Como resultado de la modelación se obtiene un ráster en el cual cada celda posee un valor de velocidad de flujo, este valor resulta del modelamiento previo, por lo cual son valores teóricos. Estos valores resultantes de la velocidad se categorizan en alta, media y baja acorde a los valores de las categorías de la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, específicamente los definidos por el autor Rickenmann (2005). En la siguiente tabla se presenta un valor de velocidad promedio de flujo para cada una de las categorías definidas.

Tabla 113. Valores máximos de velocidad (m/s) y probabilidad de trayectoria (invadir una celda).

Zona de inicio del flujo	Velocidad promedio flujo (m/s)	Probabilidad promedio trayectoria
ALTA	1.5982	0.001676
MEDIA	0.4161	0.000771

BAJA	0.439	0.000910

Fuente: Siglo XXII S.A.S.

Los cálculos anteriores permiten determinar la susceptibilidad al transporte de eventos torrenciales o flujos de detritos. La siguiente matriz se basa en lo propuesto por (Bregoli, Medina, & Bateman, 2018) basada en los trabajos de Buwal (1997) y Rickenmann (2005b). Se pueden definir tres categorías: alta, media y baja acorde a la velocidad y altura de la lámina del agua en relación con la probabilidad de ocurrencia.

Tabla 114. Categorización de la intensidad de eventos de avenidas torrenciales

				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**

Fuente: (Bregoli, Medina, & Bateman, 2018).

Cómo se mencionó anteriormente, para la categorización propuesta por Bregoli, Medina, & Bateman (2018), se construye una matriz para categorizar la zonificación de la susceptibilidad al transporte de flujo de detritos en laderas o flujos canalizados. Para dicha matriz se partió de la definición de los escenarios de las zonas de inicio y su relación con las categorías de la amenaza por movimientos en masa. Lo anterior se determina empleando las áreas obtenidas en el modelo DebrisDice en cada una de las zonas de inicio modeladas, relacionando la probabilidad de ocurrencia por categoría de amenaza, a partir del método de talud infinito y factor de seguridad.

En la siguiente tabla se observa que para cada categoría de amenaza por movimientos en masa empleada en el modelamiento de las zonas de inicio, se relaciona un transporte desde cada una de estas, el cual puede llegar a englobar la categoría alta por movimientos en masa, las categorías de susceptibilidad alta, media o baja a inicio y por consiguiente, cada categoría de susceptibilidad de inicio presenta un escenario de transporte, el cual se categoriza de la misma manera que el escenario de inicio, teniendo en cuenta valores de velocidad mayores a 1 m/s.

Se resalta que la categoría media por movimientos en masa sólo presenta categorías de susceptibilidad a inicio media y baja. Finalmente, la categoría de amenaza por movimientos en masa baja solo tiene la categoría de susceptibilidad a inicio baja.

Tabla 115. Categorización de susceptibilidad a transporte de avenidas torrenciales en el municipio de Soacha.

Categorización de susceptibilidad a transporte de avenidas torrenciales		Categorización de la amenaza por movimientos en masa		
Manchas de transporte para cada Escenarios de inicio	Trayectorias del modelo DebrisDice para cada escenario de inicio (V > 1m/s)	ALTO	MEDIO	BAJO
	ALTO (iniciación)			
	MEDIO (iniciación)			
	BAJO (iniciación)			

Fuente: Siglo XXII S.A.S.

En la siguiente figura se observa la distribución de la susceptibilidad al transporte de flujo de detritos para el municipio de Soacha.

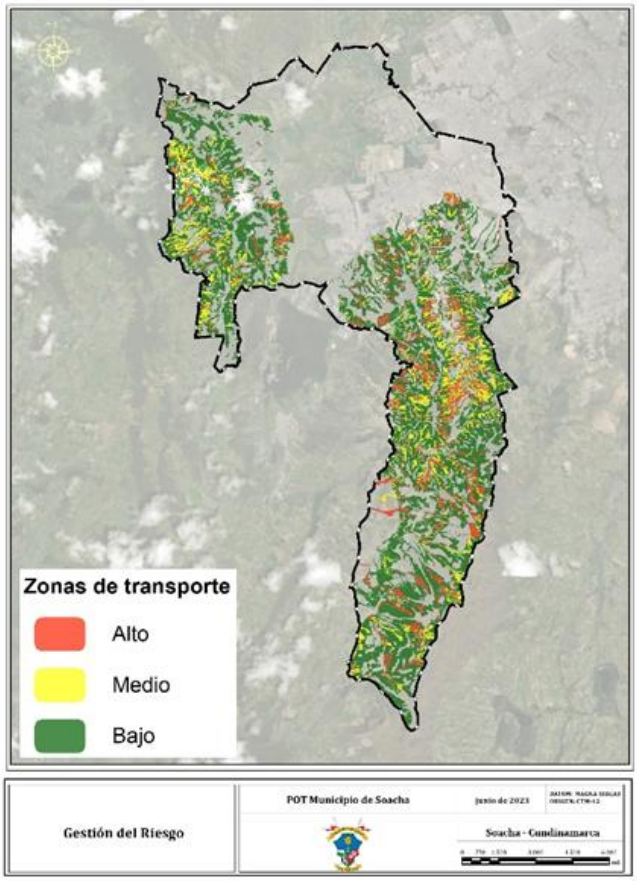


Figura 219. Susceptibilidad al transporte de flujos de detritos o flujos canalizados
Fuente: Siglo XXII SAS

A continuación, se muestra la distribución porcentual de dichas categorías.

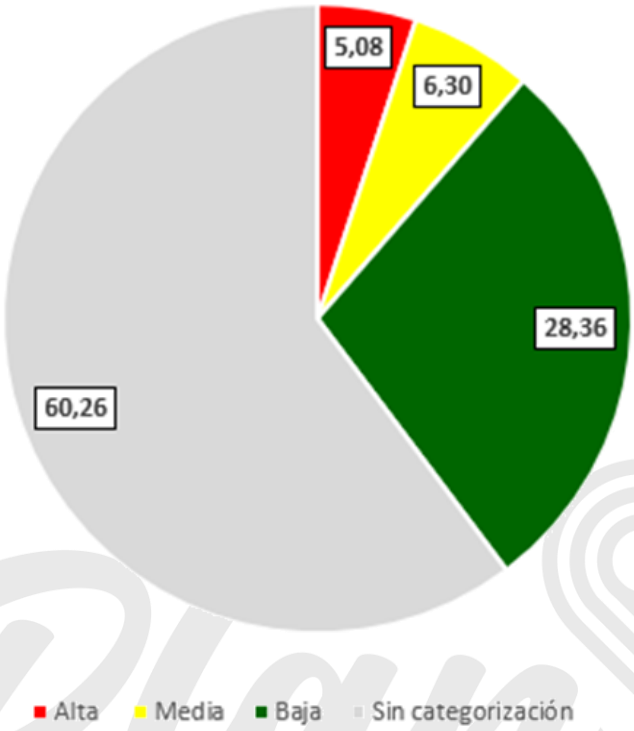


Figura 220.Distribución porcentual de la distribución de las categorías

Fuente: Siglo XXII S.A.S.

Tabla 116. Distribución en área y porcentual de la categorización de la susceptibilidad al transporte de flujos de detritos.

Categoría	Área (ha)
Sin categorización	11283,22
Baja	5310,51
Media	1179,06
Alta	950,44

Fuente: Siglo XXII S.A.S.

Teniendo en cuenta que el área por donde discurre el flujo de escombros es considerada la zona de transporte y que en esta el flujo aumenta su volumen puesto que puede llegar a erosionar el suelo, cargando material de depósitos anteriores, a continuación, se presenta la zonificación de la amenaza por movimientos en masa empleada para la obtención de la susceptibilidad a zonas de transporte.

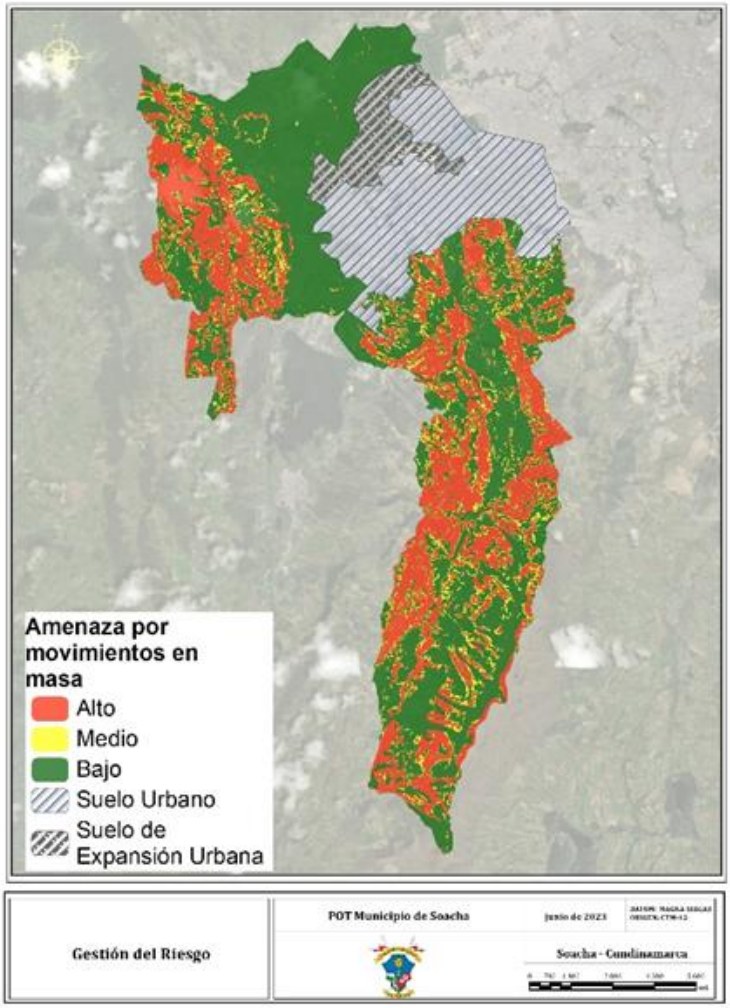


Figura 221. Zonificación de la amenaza por movimientos en masa empleado para la obtención de la susceptibilidad por zonas de transporte

Fuente: Siglo XXII SAS

El análisis de la posible trayectoria de los flujos muestra una fuerte afectación en el área urbana y en los centros poblados El Charquito, Chacua - Cabrera y Altos de Florida. Puesto que, en estos, además de presentarse deslizamientos que pueden llegar a iniciar una avenida torrencial, también presentan condiciones topográficas propicias al transporte de este flujo. Así mismo, Para el área urbana (ver la siguiente figura) se observa una afectación en varias quebradas que bordean el límite sur del perímetro urbano.

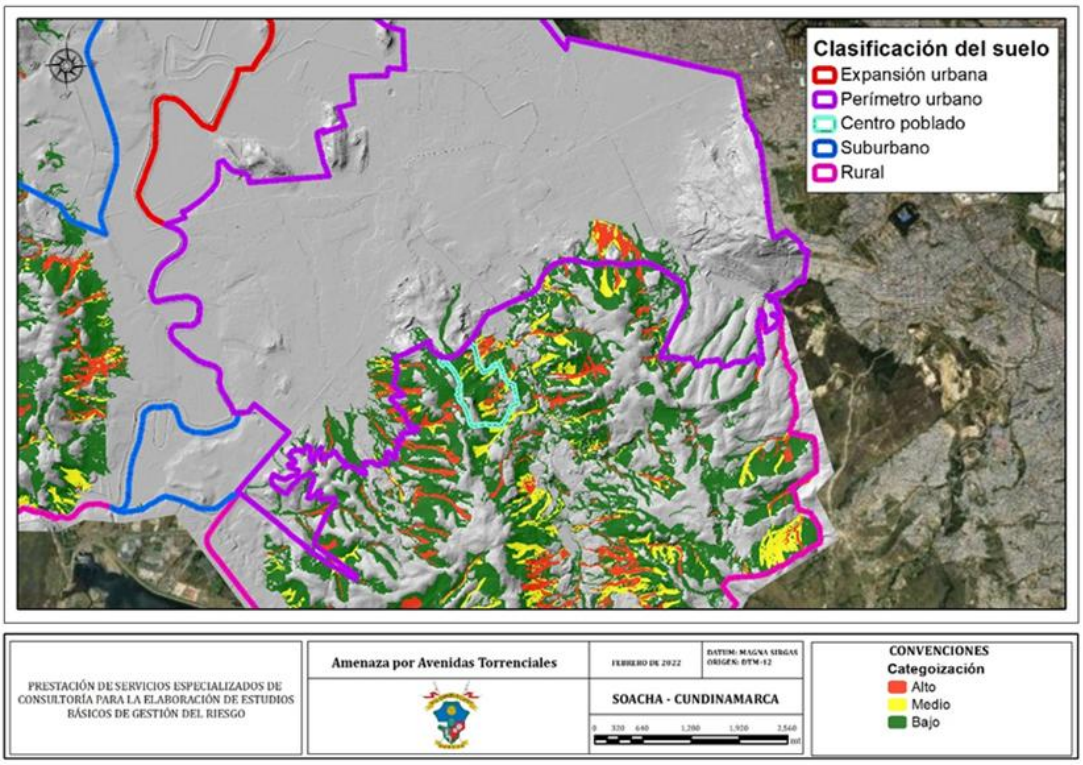


Figura 222. Susceptibilidad al transporte de flujo de detritos – Zoom en área urbana.

Fuente: Siglo XXII SAS

3.8.2.3. ANÁLISIS DE LAS ZONAS DE DEPÓSITO

Las áreas en las cuales se deposita el evento torrencial se definen frecuentemente al criterio del experto y se relacionan principalmente con la geomorfología a la escala 1:25.000. En las geoformas de depósito de estos eventos, se producirá una mayor cantidad de daños en caso de que el evento se materialice.

Estas geoformas no sólo son evidencia de anteriores eventos torrenciales si no que a su vez pueden llegar a ser una zona de importante aporte de material al transitar el flujo por esta, por lo cual el experto deberá definir cuales constituyen la zona de depósito y cuales se podrían asociar más a un área de tránsito.

En el municipio de Soacha predominan las geoformas no susceptibles al depósito de flujos torrenciales, sin embargo, hacia el sector sur del municipio, sobre las veredas Hungría, Alto de Cabra y Romeral, se presentan geoformas con una susceptibilidad media como los conos o lóbulos

de gelifracción y los abanicos de sobrelavado fluvioglaciar. En el área urbana se presentan conos de deyección que permiten definir una susceptibilidad alta al depósito de estos flujos.

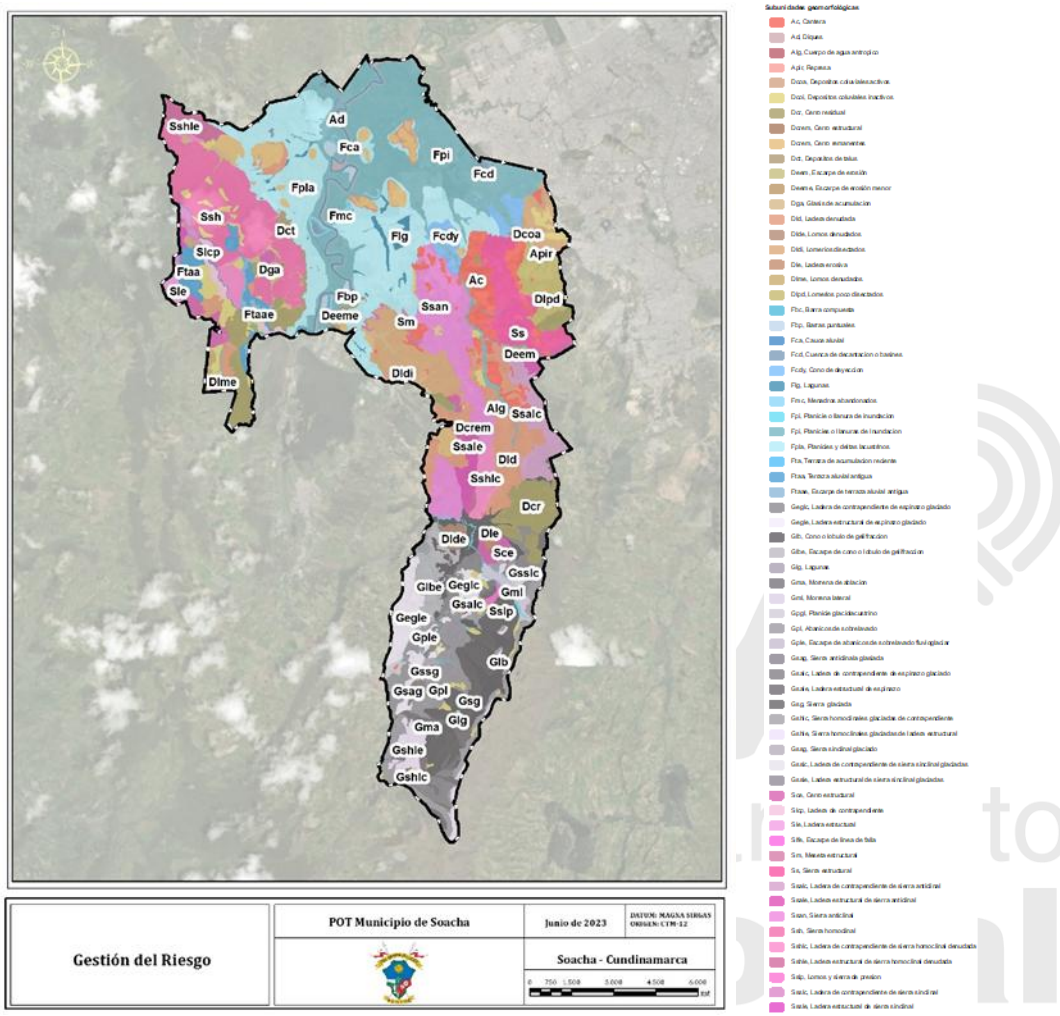


Figura 223. Subunidades geomorfológicas para el municipio de Soacha.

Fuente: Siglo XXII SAS

Atendiendo a la categoría de susceptibilidad para la zonificación de las áreas de depósitos de avenidas torrenciales, en la siguiente tabla se presenta la calificación aplicada a las subunidades geomorfológicas del municipio de Soacha. Lo anterior con el fin de evidenciar las posibles zonas de depósito de avenidas torrenciales ya sea que por sus características evidencian la ocurrencia de anteriores eventos torrenciales y/o por su predisposición debido a sus características físicas y topográficas. A continuación, se presenta la descripción y análisis de las subunidades geomorfológicas que por sus características son catalogadas como zonas de depósito de tipo alta y media.

Cono de deyección: Geoforma de cono en planta, de 5° a 10° de inclinación, de decenas de metros de extensión, ubicados en el punto donde los canales o quebradas llegan a zonas de valles amplios. Compuestas por arena y grava, con espesores de 3 a 5m.

Su localización en áreas de cambios abruptos de pendiente (donde los canales o quebradas llegan a zonas de valles amplios) y su composición litológica de gravas y arenas indican la ocurrencia de avenidas torrenciales, así mismo, dicha geoforma presenta las características ideales como lugar de depósito en caso de materializarse una avenida torrencial en el área de estudio, por lo tanto, presentan una zonificación alta como áreas de depósitos de avenida torrenciales.

Abanicos de sobrelavado fluvioglaciar: Planicie de longitud corta y recta, suavemente inclinada, localizada más allá del margen glaciar, definido por las morrenas terminales. Conformados por material gláciarico (arenas y gravas) depositado por corrientes fluviales generadas por deshielo glaciar.

Estas geoformas al ser depósitos de arenas y gravas por corrientes fluviales generadas por deshielo glaciar indican ocurrencias anteriores de avenidas torrenciales (ocurridas en la última glaciación), por lo tanto, presentan una zonificación de amenaza media como áreas de depósitos de avenidas torrenciales.

Cono o lóbulo de gelifracción: Conos y lóbulos alomados de longitudes moderadamente largas y formas cóncavas y convexas. Se constituyen de material particulado soportado de bloques heterométricos, Su origen está asociado con procesos de gelifracción en terrenos altamente saturados y sometidos a congelamiento y deshielo periódico. Estas geoformas al ser depósitos con presencia de bloques heterométricos generadas por deshielo glaciar indican ocurrencias anteriores de avenidas torrenciales (ocurridas en la última glaciación), por lo tanto, presentan una zonificación de amenaza media como áreas de depósitos de avenidas torrenciales.

Tabla 117. Calificación de las subunidades geomorfológicas como zonas de depósitos de avenidas torrenciales.

Código	Subunidad Geomorfológica	Descripción y análisis de la subunidad geomorfológica como zona de depósito de avenidas torrenciales	Calificación como zona de depósito
Ac	Cantera	Excavación escarpada de 5 m a 20 m de altura, de formas irregulares o en terrazas, hechas en laderas para la extracción de materiales de construcción como roca, arena y grava. Se incluyen en esta definición las excavaciones realizadas para la extracción de arcillas. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja

Código	Subunidad Geomorfológica	Descripción y análisis de la subunidad geomorfológica como zona de depósito de avenidas torrenciales	Calificación como zona de depósito
Ad	Diques	Estructura construida para contener el agua, impidiendo su paso. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Alg	Cuerpo de agua antrópico	Cuerpos de agua construidos para el desarrollo de actividades agropecuarias, industriales y/o urbanas. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Apir	Represa	Acumulaciones de agua hechas de manera artificial. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Dcoa	Depósitos coluviales activos	Corresponde a coluviones que han sufrido desplazamiento, predominantemente a lo largo de una superficie de falla y en un tiempo relativamente corto o por desgarre de una zona de poco espesor, cuya masa movida muestra evidencia de actividad reciente. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Dcoi	Depósitos coluviales inactivos	Geoforma producto de la acumulación de materiales (suelo residual y/o fragmentos de roca), transportados por la acción de la gravedad de zonas puntuales ligeramente más elevadas. Presentan formas irregulares y se acomodan a la pendiente existente del terreno, incluyendo laderas con pendientes suaves a moderadas. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja

Código	Subunidad Geomorfológica	Descripción y análisis de la subunidad geomorfológica como zona de depósito de avenidas torrenciales	Calificación como zona de depósito
Dcr	Cerro residual	Elevación del terreno entre 200 y 399 metros sobre su nivel de base local, que presenta una cima redondeada y amplia limitadas por laderas cortas a moderadamente largas de forma convexa a recta y pendiente inclinada a abrupta, con un índice de relieve bajo a moderado. Su origen es relacionado a procesos tectónicos y a la acción conjunta de periodos de denudación y meteorización asociados a factores litológicos locales. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Dcrem	Cerro estructural	Prominencias topográficas de morfología montañosa o colinada, con laderas de longitud corta y formas cóncavas o irregulares, muy abruptas a escarpadas, limitadas mínimo en dos de sus flancos por escarpes de falla o de líneas de falla. Se presentan en rocas duras e intermedias, con procesos denudativos y de remoción en masa locales. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Dcrem	Cerros remanentes	Cerros localmente elongados, morfología alomada, laderas cortas, convexas e inclinados abruptamente. Su origen está relacionado con procesos de erosión diferencial que han operado en tiempos anteriores bajo condiciones climáticas diferentes a las actuales. Se incluyen aquí los cerros exhumados entre geoformas de acumulación más recientes. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Dct	Depósitos de talus	Geoforma localizada al pie de zonas escarpadas, en forma de cono o lóbulos, de longitud muy corta a corta, formas rectas a convexas, inclinadas a muy inclinadas. Se forman esencialmente por	Baja

Código	Subunidad Geomorfológica	Descripción y análisis de la subunidad geomorfológica como zona de depósito de avenidas torrenciales	Calificación como zona de depósito
		acumulación mecánica de bloques angulares desprendidos por meteorización acentuada del escarpe adyacente. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	
Deem	Escarpe de erosión	Ladera abrupta o a desplome de altura variable que puede formarse por distintas causas: tectónicas, por la abrasión (erosión fluvial y marina), por procesos gravitacionales, glaciales, tectógenos. Eventualmente de longitud corta a larga, de forma cóncava, convexa y recta, con pendiente escarpada a muy escarpada. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Deeme	Escarpe de erosión menor	Ladera abrupta o a desplome de longitud corta a larga, de forma cóncavo convexa y eventualmente recta, con pendiente escarpada a muy escarpada, originado por socavación fluvial lateral o por procesos de erosión y movimientos en masa remontantes a lo largo de un drenaje. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Dga	Glacis de acumulación	Superficie de acumulación de longitud moderadamente larga, forma cóncava y suavemente inclinadas. Su génesis se asocia a la acumulación de material fino en zonas bajas por procesos de erosión laminar. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Dld	Ladera denudada	Corresponde a superficies del terreno de pendientes muy inclinadas a escarpadas, de longitudes moderadas a extremadamente largas, de formas planas, cóncavas y convexas, patrón de drenaje típico dendrítico a subparalelo. Presenta	Baja

Código	Subunidad Geomorfológica	Descripción y análisis de la subunidad geomorfológica como zona de depósito de avenidas torrenciales	Calificación como zona de depósito
		procesos erosivos intensos como cárcavas, surcos y solifluxión, sobre materiales de suelo o roca. Estas laderas no necesariamente están asociadas a una geoforma mayor o una estructura. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	
Dldi	Lomeríos disectados	Prominencias topográficas de morfología alomada o colinada, con cimas redondeadas y amplias, de laderas cortas a moderadamente largas de forma rectas, cóncavas y convexas, con pendientes muy inclinadas a muy abruptas, con índice de relieve bajo. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Dle	Ladera erosiva	Superficie en declive, localizada en zonas de piedemonte, morfología alomada, con inclinación de los estratos en favor de la pendiente, de longitud corta a larga, forma cóncava y pendientes abruptas. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Dlde	Lomos denudados	Son sistemas o conjuntos de lomos o filos ubicados a diferentes alturas; son formas alargadas en dirección perpendicular al drenaje principal. El tope o parte superior puede tener diferentes formas dependiendo del grado de incisión del drenaje, el tipo de saprolito que ha desarrollado la roca dominante y de los procesos erosivos que lo han modelado. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja

Código	Subunidad Geomorfológica	Descripción y análisis de la subunidad geomorfológica como zona de depósito de avenidas torrenciales	Calificación como zona de depósito
Dlpd	Lomeríos poco disectados	Laderas y crestas simétricas de cimas agudas, morfología alomada y dispuestas transversalmente a las estructuras geológicas. Están constituidas por estratos delgados duros y blandos, disectados profundamente en dirección perpendicular al rumbo de las capas, localmente definen salientes o crestas a manera de puentes entre espinazos estructurales. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Fbc	Barra compuesta	Superficie o conjunto de barras unitarias que pueden alcanzar decenas a cientos de metros lateralmente y varios kilómetros longitudinales. El espesor máximo es determinado por la profundidad del cauce. Su origen es relacionado al amalgamiento de varias barras, como resultado de múltiples eventos de erosión y sedimentación y/o por la reocupación de canales y cauces abandonados. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Fbp	Barras puntuales	Cuerpo en forma de medialuna de morfología suave ondulada, compuesta de crestas y artesas curvas de poca altura. Estos cuerpos se localizan en la parte cóncava delos meandros de los ríos, como producto de la acumulación de sedimentos erodados de la parte convexa del cauce. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Fca	Cauce aluvial	Cauce actual de los ríos, quebradas y corrientes. Compuesto por gravas, bloques, arenas y arcillas. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja

Código	Subunidad Geomorfológica	Descripción y análisis de la subunidad geomorfológica como zona de depósito de avenidas torrenciales	Calificación como zona de depósito
Fcd	Cuenca de decantación o basines	Artesas localmente llenas de agua, de bajo relieve, casi planas y pobremente drenadas, formadas por desborde de los canales o ríos adyacentes. Compuestas por materiales finos arcillosos de 0.5 a 1 m de espesor, con abundancia de materia orgánica. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Fcdy	Cono de deyección	Geoforma de cono en planta, de 5° a 10° de inclinación, de decenas de metros de extensión, ubicados en el punto donde los canales o quebradas llegan a zonas de valles amplios. Compuestas por arena y grava, con espesores de 3 a 5m. Su localización en áreas de cambios abruptos de pendiente (donde los canales o quebradas llegan a zonas de valles amplios) y su composición litológica de gravas y arenas indican la ocurrencia de avenidas torrenciales, así mismo, dicha geoforma presenta las características ideales como lugar de depósito en caso de materializarse una avenida torrencial en el área de estudio, por lo tanto, presentan una zonificación alta como áreas de depósitos de avenida torrenciales.	Alta
Flg	Lagunas	Depósito natural de agua de dimensiones inferiores, en relación a los lagos tanto en área como en profundidad. Dicha profundidad varía de acuerdo a las condiciones ambientales donde se localice y a su grado de colmatación (acumulación de sedimentos). No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Fmc	Meandros abandonados	Tramo curvo abandonado en el curso de un río debido a la migración lateral de la corriente hacia la parte contraria de la concavidad, o al corte de la zona más angosta entre dos curvas consecutivas.	Baja

Código	Subunidad Geomorfológica	Descripción y análisis de la subunidad geomorfológica como zona de depósito de avenidas torrenciales	Calificación como zona de depósito
		Compuestos por sedimentos finos arcillosos con intercalaciones de turba producto del estancamiento de aguas. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	
Fpi	Planicie o llanura de inundación	Franja de terreno plana, baja, de morfología ondulada, eventualmente inundable. Se presenta bordeando los cauces fluviales y está limitada localmente por escarpes de terraza. Compuestas por material fino de arena fina, lodos y arcillas. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Fpla	Planicies y deltas lacustrinos	Superficie extensa de aspecto aterrazado y morfología ondulada suavemente inclinada y limitada hacia los cauces por escarpes de varios metros de altura. Su origen es relacionado al desplazamiento lateral del cauce de un rio dentro de la llanura aluvial. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Fta	Terraza de acumulación reciente	Terrazas alomadas de varios kilómetros de extensión, en forma de abanico ampliamente explayado, de laderas moderadamente largas, con formas cóncavas y convexas, pendientes suaves a inclinadas. Compuestas por gravas, arenas y arcillas. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Ftaa	Terraza aluvial antigua	Superficie alomada en forma de abanico de extensión kilométrica, laderas moderadamente largas, cóncavas a convexas. Se caracterizan por presentar pendientes de 5° a 10° en las partes altas, limitadas por escarpes de disección en forma	Baja

Código	Subunidad Geomorfológica	Descripción y análisis de la subunidad geomorfológica como zona de depósito de avenidas torrenciales	Calificación como zona de depósito
		de "V" que localmente pueden alcanzar inclinaciones de 20°. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	
Ftaae	Escarpe de terraza aluvial antigua	Plano vertical a subvertical, escalonado, excavado en sedimentos aluviales que bordean las terrazas de acumulación. Su origen es relacionado a la incisión y profundización del cauce. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Geglc	Ladera de contrapendiente de espinazo glaciado	Las laderas de contrapendiente con estratos inclinadas en contra de la pendiente, de longitud muy corta a corta, de formas cóncavas o irregulares escalonadas, con pendientes muy abruptas a escarpadas, sus capas se encuentran orientadas en el mismo sentido de la ladera. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Gegle	Ladera estructural de espinazo glaciado	Corresponden a laderas estructurales con estratos en favor de la pendiente (> 35°), de longitud muy corta a corta, de formas rectas o convexas y con pendientes muy escarpadas. Interestratificación de rocas blandas e intermedias con desarrollo de drenaje dendrítico subparalelo denso, localmente se presenta afectada por procesos de erosión glacial manifiesta por depresiones de exaración. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Glb	Cono o lóbulo de gelifracción	Conos y lóbulos alomados de longitudes moderadamente largas y formas cóncavas y convexas. Se constituyen de material particulado soportado de bloques heterométricos, Su origen está asociado con procesos de gelifracción en	Media

Código	Subunidad Geomorfológica	Descripción y análisis de la subunidad geomorfológica como zona de depósito de avenidas torrenciales	Calificación como zona de depósito
		terrenos altamente saturados y sometidos a congelamiento y deshielo periódico. Estas geoformas al ser depósitos con presencia de bloques heterométricos generadas por deshielo glaciar indican ocurrencias anteriores de avenidas torrenciales (dadas en la última glaciación), por lo tanto, presentan una zonificación de amenaza media como áreas de depósitos de avenidas torrenciales.	
Glbe	Escarpe de cono o lóbulo de gelifracción	Escarpe muy corto, cóncavo o convexo, localizado en los márgenes de los conos o lóbulos de gelifracción. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Glg	Lagunas	Cuerpos de agua en zonas montañosas glaciadas, principalmente en la base o piso de los circos glaciales. Se incluyen igualmente los lagos formados en planicies glaciolacustrino, la fracción sólida suele estar constituida por materiales fino arcillosos. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Gma	Morrena de ablación	Tipo de morrena terminal de piedemonte en forma de arcos irregulares y amplios de morfología alomada, de flancos cortos de formas rectas y cóncavas con pendientes abruptas a escarpadas localizadas en la parte frontal y media de las laderas glaciadas encerrando localmente circos glaciales y permitiendo la formación de lagos en su parte trasera. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja

Código	Subunidad Geomorfológica	Descripción y análisis de la subunidad geomorfológica como zona de depósito de avenidas torrenciales	Calificación como zona de depósito
Gml	Morrena lateral	): Crestas alomadas lineares y alongadas a lo largo de las márgenes de un valle glacial con laderas cóncavas y rectas muy cortas e inclinadas, constituidas de material glacial acumulado, tanto por lenguas glaciales como por conos glaciofluviales. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Gpgl	Planicie glaciolacustrino	Son planos o laderas de suave pendiente formadas por depositación de sedimentos en lagos y zonas marginales a un glacial. Se constituyen de materiales finos (limos, arcillas) y localmente arenas y gravas traídas por aguas descongeladas. Se presentan como planos en zonas glaciadas y localmente en artesas elongadas asociadas con valles glaciales No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Gpl	Abanicos de sobrelavado fluvioglaciar	Planicie de longitud corta y recta, suavemente inclinada, localizada más allá del margen glaciar, definido por las morrenas terminales. Conformados por material gláciarico (arenas y gravas) depositado por corrientes fluviales generadas por deshielo glaciar. Estas geoformas al ser depósitos de arenas y gravas por corrientes fluviales generadas por deshielo glaciar indican ocurrencias anteriores de avenidas torrenciales (dadas en la última glaciación), por lo tanto, presentan una zonificación de amenaza media como áreas de depósitos de avenidas torrenciales.	Media
Gple	Escarpe de abanicos de sobrelavado fluvioglaciar	Escarpe muy corto, cóncavo o convexo, localizado en el margen glaciar, definido por las morrenas terminales. Conformados por material gláciarico (arenas y gravas) depositado por corrientes fluviales generadas por deshielo glaciar.	Baja

Código	Subunidad Geomorfológica	Descripción y análisis de la subunidad geomorfológica como zona de depósito de avenidas torrenciales	Calificación como zona de depósito
		No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	
Gsag	Sierra anticlinal glaciada	Sierra elongada de morfología montañosa o colinada de cimas o crestas agudas o redondeadas, que siguen el eje anticlinal formado por el arqueamiento o combadura de los estratos o capas que se inclinan divergentemente a partir de su eje. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Gsalc	Ladera de contrapendiente de espinazo glaciado	Laderas estructurales con estratos en favor de la pendiente (> 35°), de longitud muy corta a corta, formas rectas o convexas y pendientes muy escarpadas. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Gsale	Ladera estructural de espinazo	Laderas estructurales con estratos en favor de la pendiente (> 35°), de longitud muy corta a corta, formas rectas o convexas y pendientes muy escarpadas. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Gsg	Sierra glaciada	Prominencia topográfica de morfología montañosa y elongada de laderas largas a extremadamente largas, cóncavas a convexas, con pendientes muy inclinadas a abruptas, donde prevalecen procesos de erosión o de movimientos en masa acentuados. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Gshlc	Sierra homoclinales glaciadas de contrapendiente	Laderas definidas por la inclinación de los estratos en contra de la pendiente, de longitud moderada a muy larga, de formas cóncavas a irregulares escalonadas y con pendientes escarpadas a muy	Baja

Código	Subunidad Geomorfológica	Descripción y análisis de la subunidad geomorfológica como zona de depósito de avenidas torrenciales	Calificación como zona de depósito
		escarpadas asociadas localmente a depresiones de nivación y circos glaciales. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	
Gshle	Sierra homoclinales glaciadas de ladera estructural	Laderas estructurales definidas por la inclinación de los estratos de areniscas duras e intermedias, dispuestas en favor de la pendiente (> 35°), de longitud moderada a larga, formas rectas a irregulares y con pendientes escarpadas a muy escarpadas por desarrollo de circos glaciares. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Gssg	Sierra sinclinal glaciado	Prominencia topográfica de morfología colinada, amplia en forma de artesa elevada formada en el eje de un sinclinal, limitada por laderas de contrapendiente. La disposición actual obedece a procesos denudativos diferenciales que han desmantelado los flancos de la estructura invirtiendo el relieve original. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Gsslc	Ladera de contrapendiente de sierra sinclinal glaciadas	Superficie vertical a subvertical corta a moderadamente larga, de forma convexa a irregular escalonada, con pendiente abrupta a escarpada, generada por estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno, relacionada al flanco de una estructura sinclinal que ha sido afectada por procesos de glaciación. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja

Código	Subunidad Geomorfológica	Descripción y análisis de la subunidad geomorfológica como zona de depósito de avenidas torrenciales	Calificación como zona de depósito
Gssle	Ladera estructural de sierra sinclinal glaciadas	Superficie definida por estratos inclinados a favor de la pendiente del terreno, de longitud corta a moderadamente larga, forma cóncava y pendientes inclinadas a abruptas, relacionada al flanco de una estructura sinclinal que ha sido afectada por procesos de glaciación. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Sce	Cerro estructural	Prominencia topográfica aislada de morfología montañosa a colinada, con laderas de longitud corta a moderadamente larga, cóncavas a irregulares, poco disectadas. La unidad presenta pendientes muy abruptas a escarpadas, las cuales han sido parcialmente aisladas de las zonas montañosas por fallamiento. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Slcp	Ladera de contrapendiente	Superficie en declive, de morfología regular a irregular, definida por planos (estratos, foliación, diaclasamiento entre otros) dispuestos en sentido contrario a la inclinación del terreno. Puede presentarse con longitud larga a extremadamente larga y con pendientes suavemente inclinadas a escarpadas. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Sle	Ladera estructural	Superficie en declive, de morfología regular a irregular, definida por planos preferentes (estratos, foliación, diaclasamiento entre otros) paralelos al sentido de la inclinación del terreno. Puede presentarse con longitud larga a extremadamente larga y con pendientes suavemente inclinadas a escarpadas.	Baja

Código	Subunidad Geomorfológica	Descripción y análisis de la subunidad geomorfológica como zona de depósito de avenidas torrenciales	Calificación como zona de depósito
		No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	
Slfe	Escarpe de línea de falla	Escarpe muy corto, abrupto, cóncavo o convexo, originado por erosión acentuada a lo largo de una línea de falla definida por el truncamiento de estructuras topográficas y geológicas. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Sm	Meseta estructural	Estructura de cima plana limitada por escarpes abruptos a muy abruptos, de longitud muy corta y formas convexa. Su origen es relacionado a procesos de erosión diferencial en unidades estratificadas horizontalmente o con inclinaciones menores a 5°. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Ssalc	Ladera de contrapendiente de sierra anticlinal	Superficie vertical a subvertical corta a moderadamente larga, de forma convexa a irregular escalonada, con pendiente abrupta a escarpada, generada por estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno, desarrollada en la ladera estructural de una estructura anticlinal debido a la acción de procesos de erosión, meteorización o tectonismo que cortan y moldean la estructura original. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Ssale	Ladera estructural de sierra anticlinal	Superficie con estratos inclinados a favor de la pendiente, de longitud corta, formas convexas a recta y pendiente inclinada a muy abrupta, relacionada al flanco de una estructura anticlinal. Localmente los estratos se presentan con	Baja

Código	Subunidad Geomorfológica	Descripción y análisis de la subunidad geomorfológica como zona de depósito de avenidas torrenciales	Calificación como zona de depósito
		inclinaciones menores de la pendiente natural del terreno. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	
Ssan	Sierra anticlinal	Sierra elongada, morfología montañosa o colinada, de cimas o crestas agudas o redondeadas, definidas por el eje anticlinal, formado por el arqueamiento o combadura de los estratos que se inclinan divergentemente a partir de su eje. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Ssh	Sierra homoclinal	Prominencia topográfica simétrica o ligeramente simétrica elongada y de morfología montañosa a colinada de cimas agudas, definida por una secuencia de estratos o capas apilados e inclinados (> 35°) en una misma dirección. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Sshlc	Ladera de contrapendiente de sierra homoclinal denudada	Geoforma definida por la inclinación de los estratos en contra de la pendiente, con longitud moderada a larga, de formas cóncavas a irregulares, escalonadas y con pendientes escarpadas a muy escarpadas. Caracterizada por la interestratificación de rocas duras, intermedias y blandas. Es común la presencia de depósitos coluviales y solifluxión, con procesos locales de disección intensa. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Sshle	Ladera estructural de sierra homoclinal denudada	Geoforma definida por la inclinación de los estratos en favor de la pendiente (> 35°), de longitud corta a moderadamente larga, formas rectas a convexas, con pendientes escarpadas a muy escarpadas. Se relaciona con rocas de areniscas duras a	Baja

Código	Subunidad Geomorfológica	Descripción y análisis de la subunidad geomorfológica como zona de depósito de avenidas torrenciales	Calificación como zona de depósito
		intermedias, con suelos residuales delgados y desarrollo local de procesos coluviales. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	
Sslp	Lomos y sierra de presión	Prominencia topográfica alomada a elongada, localmente curva, asociada a zonas compresivas. Su origen es relacionado al truncamiento y desplazamiento vertical o lateral por procesos de fallamiento intenso. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Ssslc	Ladera de contrapendiente de sierra sinclinal	Superficie vertical a subvertical corta a moderadamente larga, de forma convexa a irregular escalonada, con pendiente abrupta a escarpada, generada por estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno, relacionada al flanco de una estructura sinclinal. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja
Sssle	Ladera estructural de sierra sinclinal	Superficie definida por estratos inclinados a favor de la pendiente del terreno, de longitud corta a moderadamente larga, forma cóncava y pendientes inclinadas a abruptas, relacionada al flanco de una estructura sinclinal. No presenta las características geomorfológicas para constituirse como una zona de depósito de avenidas torrenciales.	Baja

Fuente: Siglo XXII SAS

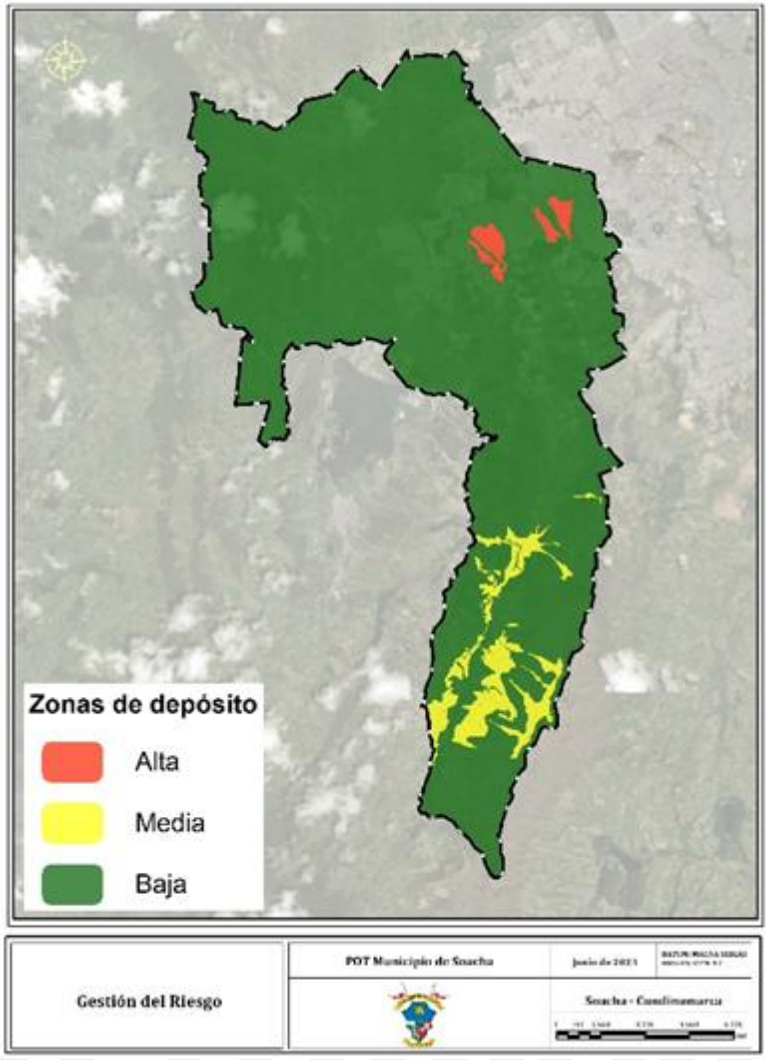


Figura 224. Susceptibilidad al depósito de flujos de detritos.

Fuente: Siglo XXII SAS

3.8.3. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA A AVENIDAS TORRENCIALES A ESCALA 1:25.000

A continuación, se presenta la relación de los mapas de zonas de inicio, transporte y depósito y la categorización de la amenaza por eventos torrenciales.

Tabla 118. Matriz de caracterización de la amenaza por avenidas torrenciales para el municipio de Soacha.

SUSCEPTIBILIDAD A AVENIDAS TORRENCIALES	
CATEGORÍA	**SUSCEPTIBILIDAD POR ZONAS**
ALTA	Alta por inicio
	Alta por transporte
	Alta por deposito
MEDIA	Media por inicio
	Media por transporte
	Media por deposito
BAJA	Baja por inicio
	Baja por transporte
	Baja por deposito

Fuente: Siglo XXII SAS

La amenaza es la probabilidad de ocurrencia de un suceso potencialmente desastroso durante cierto periodo de tiempo en un tiempo dado (UNDRO 1979). Para la evaluación de la amenaza a escala 1:25.000 se puede partir del análisis de la susceptibilidad en cada uno de las partes o momentos del evento torrencial (inicio, transporte o depósito), a esto se le suma la probabilidad temporal de que ocurra la avenida, esta se expresa en términos de la frecuencia de periodo de retorno o probabilidad de excedencia.

Esta probabilidad se incluye en la presente zonificación a través de la relación de la amenaza por movimientos en masa cómo detonante de los flujos que desencadenan las avenidas torrenciales. Es decir que, al emplear el periodo de retorno de 20 años usado en la zonificación de la amenaza por movimientos en masa, se asume este mismo periodo de retorno para la amenaza por avenidas torrenciales.

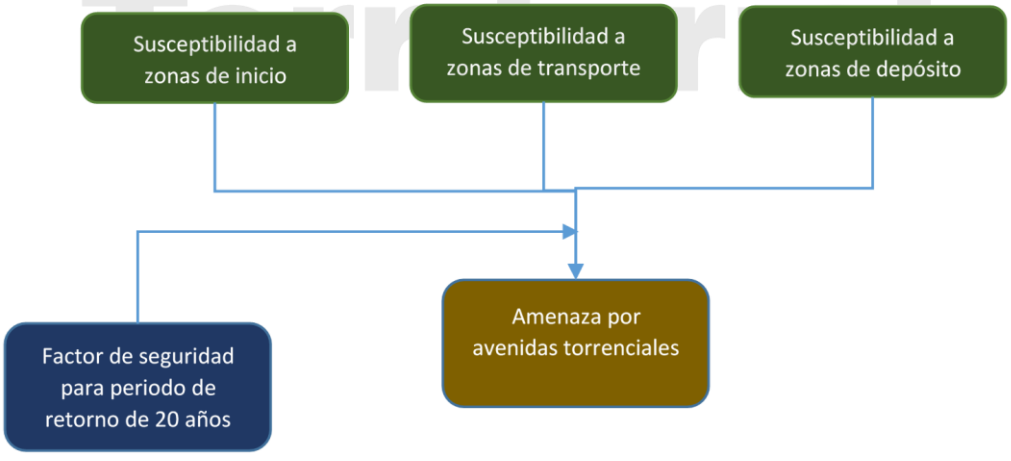


Figura 225. Metodología para la construcción del mapa de avenidas torrenciales
Fuente: Siglo XXII SAS

La integración final de las zonas de inicio, transporte y depósito se realizó mediante un análisis cartográfico. Este análisis se realizó priorizando las zonas con categoría alta en áreas de inicio, transporte y depósito; es decir que las áreas con esta categoría se mantienen en la zonificación de amenaza con dicha clasificación. Es importante aclarar que espacialmente las áreas con categoría alta por inicio no se superponen con las áreas de categoría alta por transporte y depósito.

Posteriormente en las áreas restantes, se analizan espacialmente las zonas con categoría media, ya sea por inicio, transporte o depósito, para asignar dicha categoría a dichas áreas. Finalmente, las áreas sin afectación por inicio, transporte o depósito se catalogan con amenaza baja.

A continuación, se presenta la descripción para cada una de las categorías de amenaza definidas para el municipio de Soacha.

Tabla 119. Caracterización de las categorías de la amenaza por avenidas torrenciales.

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
ALTA	Corresponde con las zonas del municipio que presenta área de inicio de avenidas torrenciales con valores de q/T inferior a -2.9 y una alta probabilidad a fallar. zonas de transporte de flujos torrenciales de ladera o canalizados asociados a velocidades mayores a 1 m/s y una probabilidad máxima de acuerdo al modelamiento de trayectorias. La probabilidad de ocurrencia de estos fenómenos se asocia a lluvias con un tiempo de retorno de 20 años (modelo de amenaza por movimientos en masa). Se identifican zonas de depósito con una susceptibilidad alta.
MEDIA	Las áreas en esta categoría corresponden con las zonas de inicio asociadas a valores log(q/T) entre -2.4 y -2.9 y una probabilidad media a fallar. Zonas de transporte asociadas a velocidades de flujo superiores a 1m/s y una probabilidad moderada de acuerdo al modelo de trayectorias. La probabilidad de ocurrencia de estos fenómenos se asocia a lluvias con un tiempo de retorno de 20 años (modelo de amenaza por movimientos en masa). Zonas de depósito con susceptibilidad media.
BAJA	Son zonas que corresponden a áreas de inicio asociadas a valores log(q/T) superiores a -2.4 y una probabilidad baja de falla del talud. Zonas de transporte con velocidad de flujo superior a 1m/s y una posibilidad baja de acuerdo al modelamiento de trayectorias de flujo. La probabilidad de ocurrencia de estos fenómenos se asocia a lluvias con un tiempo de retorno de 20 años (modelo de amenaza por movimientos en masa).

Fuente: Siglo XXII SAS

Las áreas de amenaza alta no solo contemplan zonas en las cuales se hayan encontrado evidencias de avenidas torrenciales, acorde al análisis anteriormente presentado, las áreas con una susceptibilidad alta al transporte de este flujo pueden llegar a categorizarse en amenaza alta por

avenidas torrenciales, lo anterior atendiendo a las limitaciones que pueda presentar el modelo exhibido.

A continuación, se presenta el mapa de amenaza por avenidas torrenciales para el municipio de Soacha, en el cual se observa una fuerte afectación en el perímetro urbano y en los centros poblados El Charquito, Chacua - Cabrera y Altos de Florida.

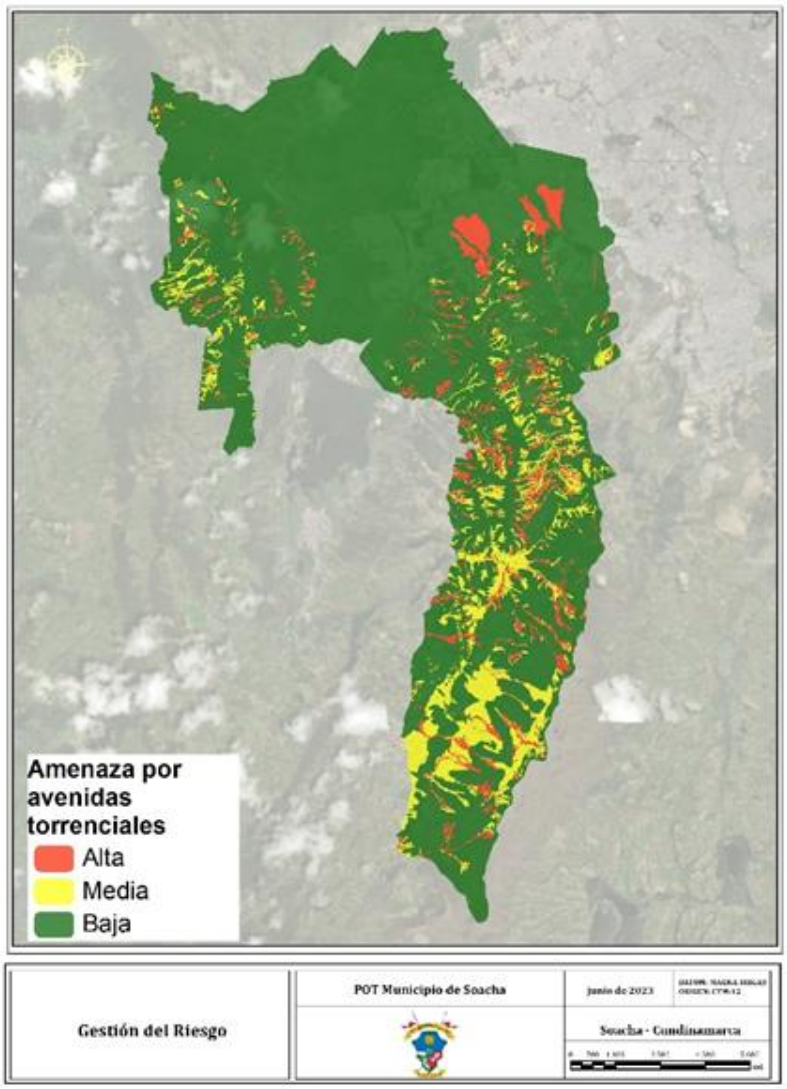


Figura 226. Amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:25.000

Fuente: Siglo XXII SAS

Se categorizan 15844,47 ha con amenaza baja por avenidas torrenciales, equivalentes al 84,62% del municipio, las zonas de amenaza alta representan el 6,06% y se localizan principalmente en las veredas de Hungría y Altos de La Cabra.

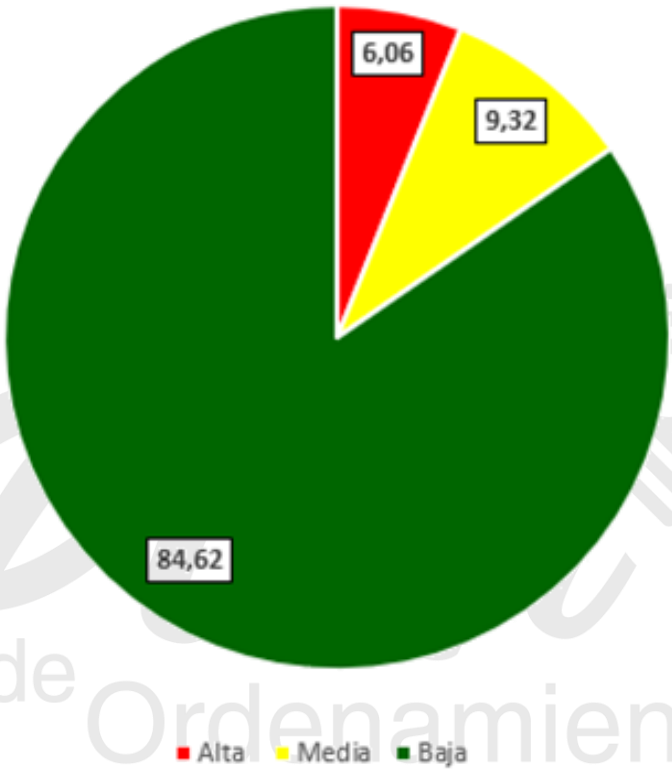


Figura 227. Distribución porcentual de la amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:25.000.

Fuente: UNAL, 2017

El POMCA del Rio Bogotá realiza el cálculo del IVET como indicador de áreas susceptibles a las avenidas torrenciales en cinco (05) categorías (Muy Baja, Baja, Media, Alta y Muy Alta), dicho análisis se retoma en el numeral 1.20.1.4 Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales, allí se observa que en las áreas donde se ubica el suelo urbano de Soacha y los centros poblados rurales de Altos de La Florida, Alto de La Cruz, Chacua – Cabrera y El Charquito se presentan valores para el Índice de Vulnerabilidad a Eventos Torrenciales "Altos" y "Muy Altos" (CAR, 2019). Así mismo, el ejercicio de zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:25.000 efectuado por el municipio en esta oportunidad, reporta para el suelo urbano y en los centros poblados el Charquito, Chacua - Cabrera y Altos de La Florida las categorías de zonificación "Media" y "Alta", lo cual es coherente con el resultado del IVET del POMCA, más aún cuando por norma el actual ejercicio se debe presentar en tres categorías (Alta, Media y Baja), esto también indica que en

dichos suelos se presentan cauces con comportamiento torrencial, por lo tanto, se deberá realizar en ellos la zonificación de amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:2.000.

3.9. DELIMITACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO PARA EL ANÁLISIS A ESCALA 1:2.000

El Decreto 1077 de 2015 establece los contenidos mínimos del estudio básico de amenaza por avenidas torrenciales, entre estos el área de estudio la cual es "Todos los cauces presentes o con influencia en el municipio o distrito, que por sus condiciones topográficas puedan tener un comportamiento torrencial".

Se toma como criterio igualmente, la Respuesta a Radicado 2021ER0054124 del Ministerio de Vivienda y Ciudad y Territorio (2021), la cual menciona: "Este análisis (amenaza por avenidas torrenciales escala 1:2000) de amenaza no requiere ser realizado en todas las cuencas hidrográficas del municipio, sin embargo, las entidades territoriales deben priorizar su ejecución en aquellas zonas donde se encuentren o pretendan establecer elementos expuestos en suelo urbano y de expansión urbana, así como centros poblados y suelos suburbanos en el suelo rural, que presenten como mínimo las siguientes características":

a. Exista registro de eventos antecedentes y/o históricos en fuentes de consulta o bases de datos municipales, regionales, nacionales.

b. Cuencas de quebradas, ríos o drenajes que presenten características de torrencialidad con base en evaluación de susceptibilidad mediante análisis morfométricos (relacionados con la red de drenaje, la geometría, forma y textura de la cuenca, así como parámetros asociados a su relieve).

c. Cuencas donde existan indicios o evidencias geológicas y/o geomorfológicas sobre la generación u ocurrencia de flujos con características torrenciales en el pasado reciente.

Teniendo en cuenta lo anterior, es importante mencionar que se identificaron eventos históricos en el área urbana, es decir que dicha área cumple con la primera condición para ser evaluada a la escala 1:2.000.

El análisis de las zonas de inicio, transporte y depósito de avenidas torrenciales permitió identificar además zonas con amenaza alta a estos eventos que se encuentran afectando a los centros poblados El Chaquito, Chacua - Cabrera y Altos de Florida. Adicionalmente, se identificaron cauces torrenciales en el sector sur del perímetro urbano, los cuales cumplen con las tres condiciones de generación de avenidas torrenciales de acuerdo con la bibliografía consultada (VanDine, 1996) y muestran áreas de amenaza media y alta por avenidas torrenciales a escala 1:25.000, lo que se asocia a las características que menciona el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, como se muestra a continuación.

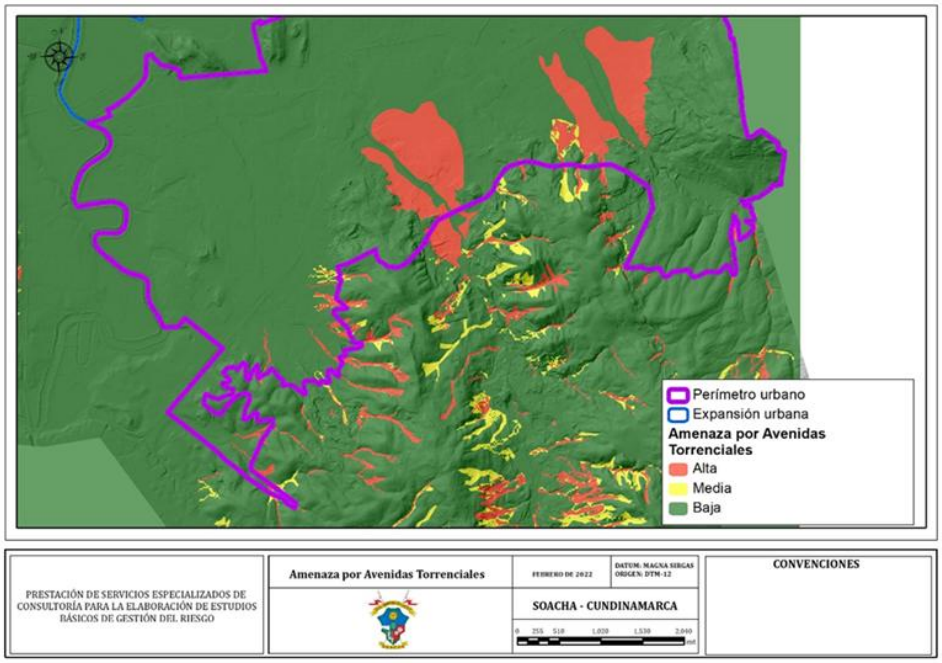


Figura 228. Amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:25.000. Zoom al sur del suelo urbano de Soacha, se priorizan áreas para estudio de avenidas torrenciales a escala 1:2.000
Fuente: Siglo XXII SAS

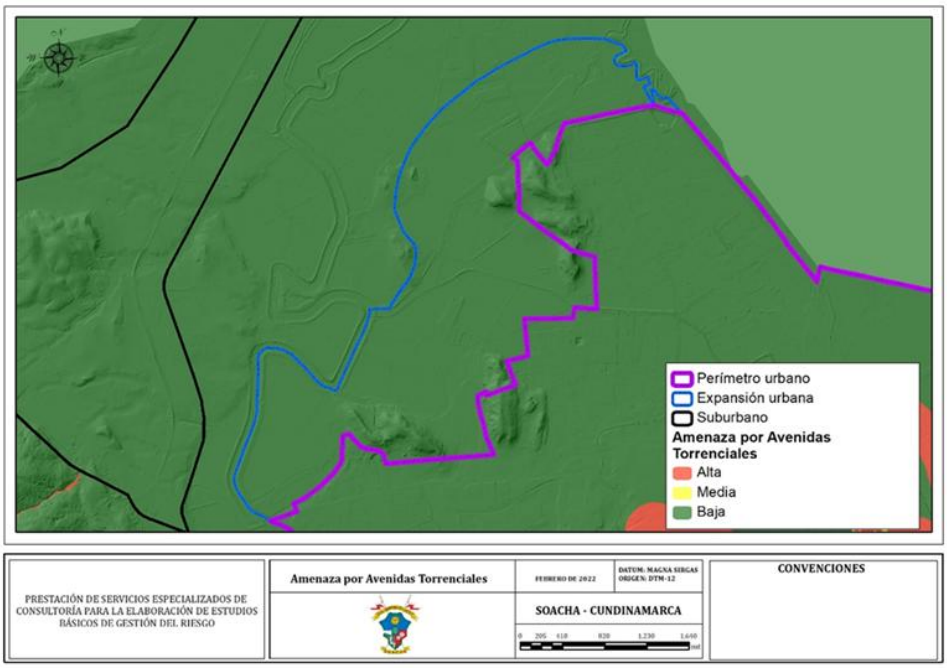


Figura 229. Amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:25.000. Zoom al suelo de expansión urbana de Soacha, no se priorizan áreas para estudio de avenidas torrenciales a escala 1:2.000
Fuente: Siglo XXII SAS

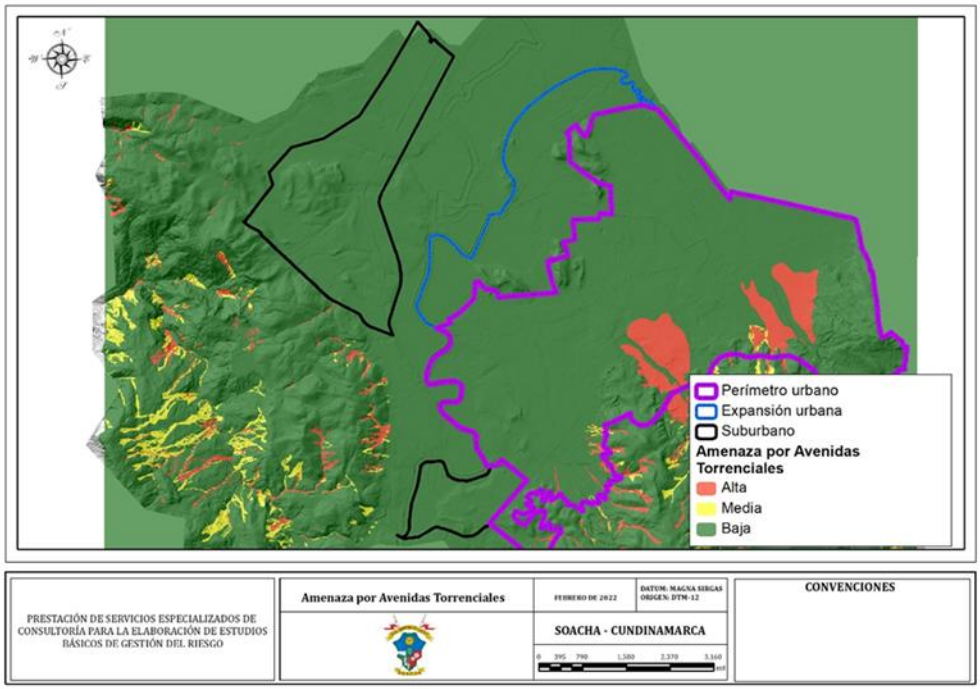


Figura 230. Amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:25.000. Zoom al suelo suburbano de Soacha, no se priorizan áreas para estudio de avenidas torrenciales a escala 1:2.000
Fuente: Siglo XXII SAS

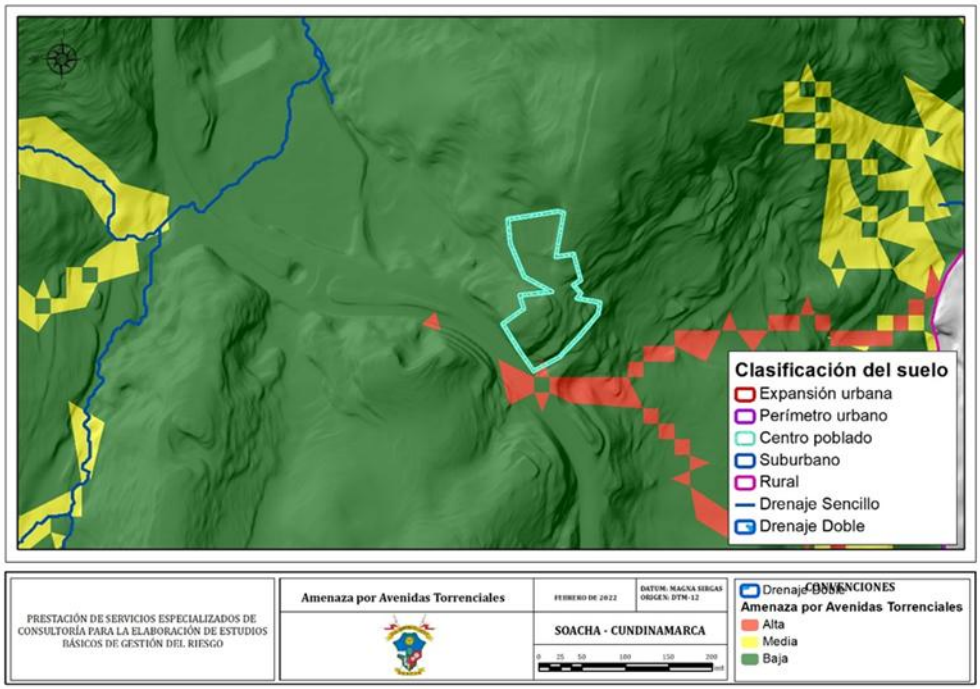


Figura 231. Amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:25.000. Zoom al centro poblado rural Alto de La Cruz. Para este CPR no se priorizan áreas para estudio de avenidas torrenciales a escala 1:2.000
Fuente: Siglo XXII SAS

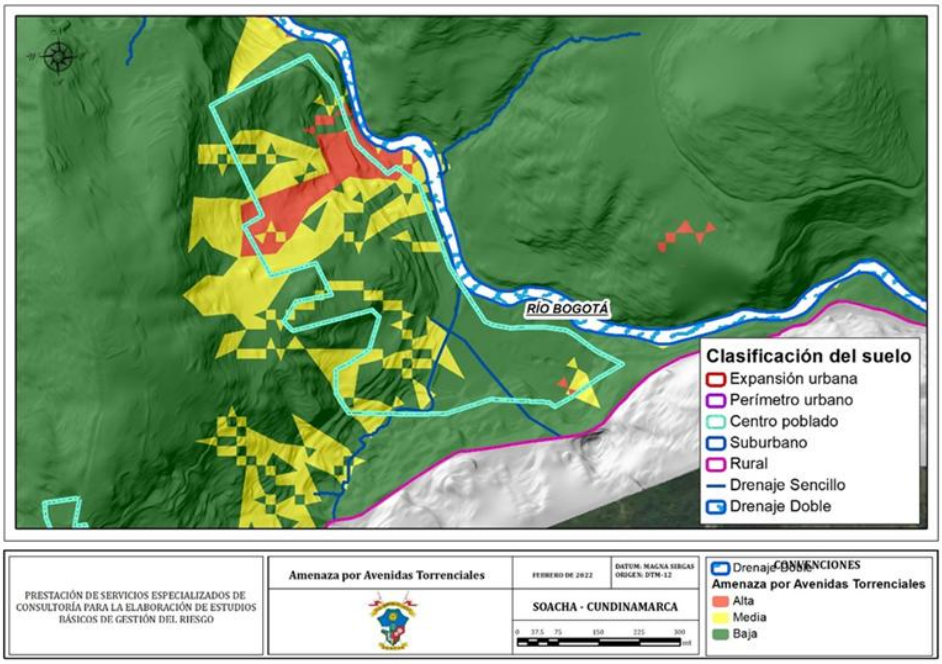


Figura 232. Amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:25.000. Zoom al centro poblado rural El Charquito. Se priorizan para la evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:2.000 dentro y hacia los alrededores del CPR
Fuente: Siglo XXII SAS

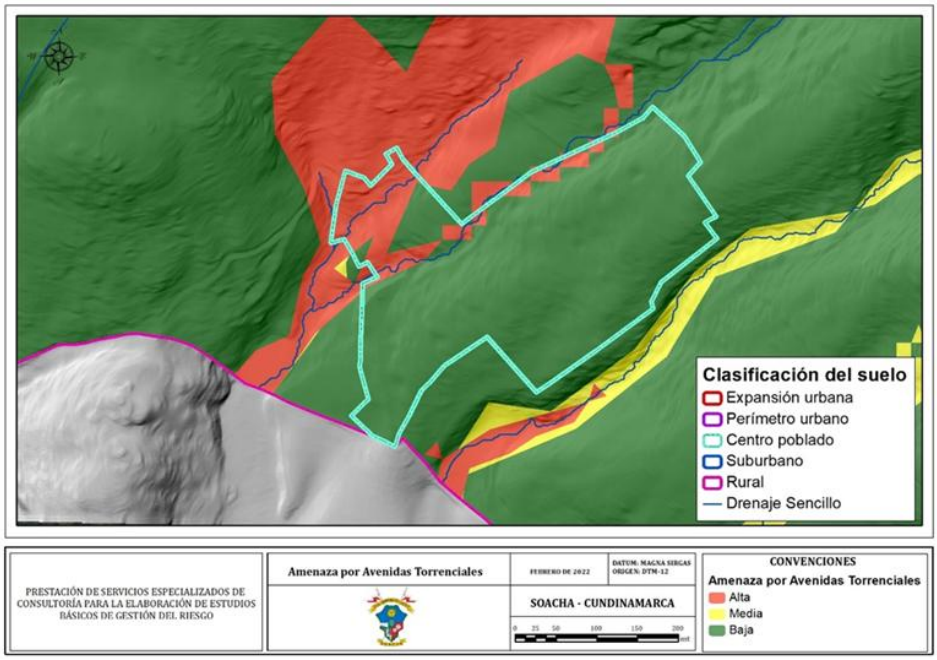


Figura 233. Amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:25.000. Zoom al centro poblado rural Chacua Cabrera. Se priorizan para la evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:2.000 dentro y hacia los alrededores del CPR
Fuente: Siglo XXII SAS

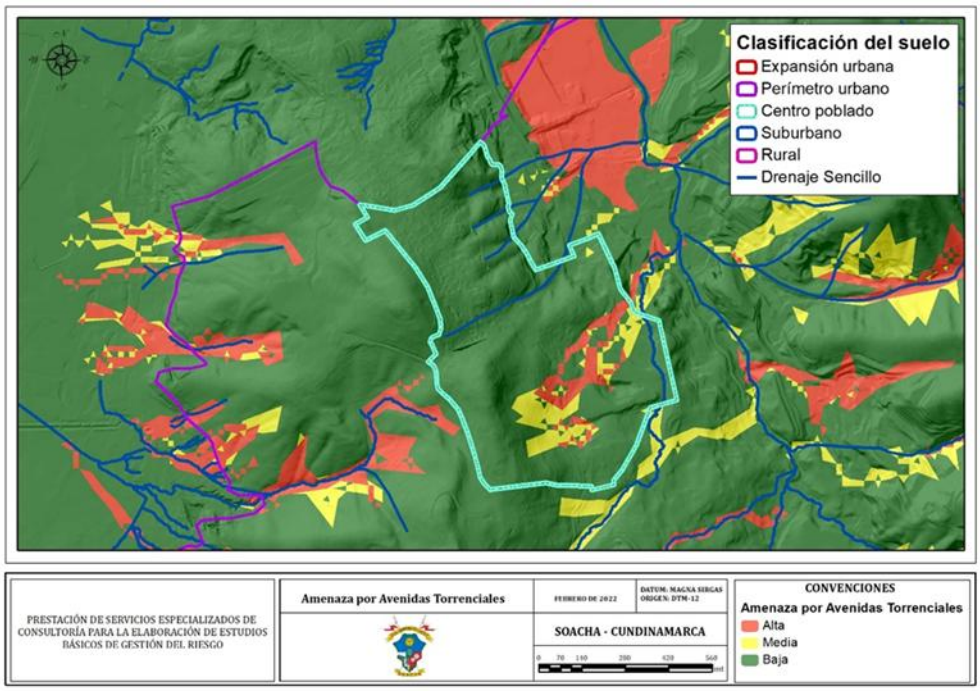


Figura 234. Amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:25.000. Zoom al centro poblado rural Altos de La Florida. Se priorizan para la evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:2.000 dentro y hacia los alrededores del CPR
Fuente: Siglo XXII SAS

3.9.1. ANÁLISIS GEOMORFOLÓGICO

Los Elementos Geomorfológicos sirven como base de estudio para determinar si las áreas de estudio corresponden a zonas de inicio, transporte o depositación de avenidas torrenciales. Los elementos geomorfológicos asociados a zonas de depósito se encuentran asociadas a unidades de tipo denudacional y a zonas asociadas a flujos y abanicos aluviales. Los ambientes denudacionales se generan por procesos erosivos hídricos y gravitatorios o una combinación de ambos. Los flujos torrenciales se observan en forma de vegas y conos de estabilidad variable, los cuales se observan en forma de depósito de ladera que presenta una forma típicamente de relleno y pendiente menor. Esta morfología también se relaciona con drenajes complejo de dos o tres cauces secundarios separados por los flujos recientes dentro del mismo valle menor.

A continuación, se relacionan los elementos geomorfológicos identificados para el suelo urbano y los centros poblados rurales y a qué zona pertenecen (inicio, transporte, depósito) en caso de la materialización de una avenida torrencial en las zonas priorizadas para la evaluación de avenidas torrenciales a escala 1:2.000.

Tabla 120. Descripción y clasificación de elementos geomorfológicos según la zona a la que pertenecen en caso de la materialización de una avenida torrencial para el suelo urbano de Soacha

Código	Elemento Geomorfológico	Descripción	Zona a la que pertenece en caso de avenida torrencial
Ac	Cantera	Excavación escarpada con altura del orden decimétrico, de formas irregulares o en terraceos hechos en laderas para la extracción de materiales de construcción como piedra, arena y grava. Se incluyen en esta definición las excavaciones realizadas para la extracción de arcillas comúnmente llamadas chircales.	N/A para el suelo urbano
Aca	Canales	Cuerpos de agua producto del desarrollo urbanístico	N/A para el suelo urbano
Acaa	Cuerpos de Agua Artificiales	Cuerpos construidos para el desarrollo de actividades antrópicas	N/A para el suelo urbano
Ad	Diques	Construcciones antrópicas para contener la fuerza del agua	N/A para el suelo urbano
Aoh	Obras Hidráulicas	Construcciones antrópicas para direccionar el curso del agua	N/A para el suelo urbano
Apir	Represa	Estructuras hidráulicas para almacenar y/o retener agua para su aprovechamiento	Depósito
Dcoa	Depósitos coluviales activos	Estructura en forma de cono o lóbulo con morfología alomada baja. Su origen es relacionado a procesos de transporte y depositación de materiales sobre las laderas y por efecto de procesos hidrogravitacionales en suelos saturados y no saturados. Su depósito está constituido por bloques y fragmentos heterométricos de rocas preexistentes, embebidos en una matriz arcillosa a areno limo arcilloso. De índole activa	N/A para el suelo urbano
Dcoi	Depósitos coluviales inactivos	Estructura en forma de cono o lóbulo con morfología alomada baja. Su origen es relacionado a procesos de transporte y depositación de materiales sobre las laderas y por efecto de procesos hidrogravitacionales en suelos saturados y no saturados. Su depósito está constituido por bloques y fragmentos heterométricos de rocas preexistentes,	N/A para el suelo urbano

Código	Elemento Geomorfológico	Descripción	Zona a la que pertenece en caso de avenida torrencial
		embebidos en una matriz arcillosa a areno limo arcilloso. De índole inactiva	
Dcrem	Cerros remanentes	Prominencias topográficas aisladas de morfología colinada, alomada o montañosa que sobresalen de la topografía circundante. La unidad presenta cimas agudas a redondeadas, laderas de longitud moderadamente corta a larga de forma convexa. Su origen se asocia a procesos de erosión y meteorización diferencial acentuada y antigua.	N/A para el suelo urbano
Dga	Glasis de acumulación	Superficie de acumulación con longitud moderadamente larga, cóncava, suavemente inclinada. Su origen es relacionado a la acumulación de material fino por procesos de erosión laminar. Incluye los planos adyacentes, formados por cuerpos coluviales de material fino y bloques, producto de la erosión laminar de las laderas circundantes.	Transporte y depósito
Dld	Ladera denudada	Prominencia topográfica con una altura menor de 200 metros sobre su nivel de base local, con una morfología alomada y elongada, laderas cortas a muy cortas, convexas y pendientes muy inclinadas a muy abruptas. Su origen es relacionado a procesos intensos de meteorización y erosión diferencial. Se caracteriza por presentar movimientos en masa y procesos erosivos intensos.	N/A para el suelo urbano
Dldi	Lomeríos disectados	Prominencias topográficas de morfología alomada o colinada, con cimas redondeadas y amplias, de laderas cortas a moderadamente largas de forma rectas, cóncavas y convexas, con pendientes muy inclinadas a muy abruptas, con índice de relieve bajo. Estas geoformas son originadas por procesos de denudación intensos y cuyas laderas se caracterizan por la moderada disección, generando valles en U con fondo redondeado a plano.	Transporte y depósito

Código	Elemento Geomorfológico	Descripción	Zona a la que pertenece en caso de avenida torrencial
Dlpd	Lomeríos poco disectados	Prominencias topográficas de morfología alomada o colinada, con cimas planas amplias y eventualmente redondeadas, de laderas muy cortas a cortas, de forma rectas, y eventualmente cóncavas y convexas, con pendientes inclinadas a muy abruptas, e índice de relieve muy bajo a bajo.	Transporte y depósito
Fca	Cauce aluvial	Canal de forma irregular excavado por erosión de las corrientes perennes o estacionales, dentro de macizos rocosos y/o sedimentos aluviales. Dependiendo de factores como pendiente, resistencia del lecho, carga de sedimentos y caudal, pueden persistir por grandes distancias. Los cauces rectos se restringen a valles estrechos en forma de V, generalmente relacionados al control estructural de fallas o diaclasas. Estos cauces cuando recorren grandes distancias pueden formar lagunas y rápidos.	Transporte
Fcd	Cuenca de decantación o basines	Artesa cóncava a plano-cóncava, localmente llena de agua y pobremente drenada, casi plana. Su origen es relacionado al desborde temporal de canales o ríos adyacentes, sobre las terrazas o planos de inundación quedando como remanentes de agua. Su depósito está constituido por materiales finos arcillosos con abundancia de materia orgánica.	N/A para el suelo urbano
Flg	Lagunas	Depósito natural de agua de dimensiones inferiores, en relación a los lagos tanto en área como en profundidad. Dicha profundidad varía de acuerdo a las condiciones ambientales donde se localice y a su grado de colmatación (acumulación de sedimentos). Las lagunas de origen fluvial, se relacionan con la inundación de antiguas depresiones durante la época de alta pluviosidad, estas pueden permanecer incluso en épocas secas ya que son pobremente drenadas.	N/A para el suelo urbano

Código	Elemento Geomorfológico	Descripción	Zona a la que pertenece en caso de avenida torrencial
Fmc	Meandros abandonados	Sección en forma de curva del cauce de un río antiguo, Su origen es relacionado a la migración lateral de la corriente hacia la parte contraria de la concavidad o por el corte de la zona más angosta entre dos curvas consecutivas, que generan el estrangulamiento de un meandro. Su depósito está constituido por sedimentos finos arcillosos con intercalaciones de turba, producto del estancamiento de aguas.	N/A para el suelo urbano
Fpi	Planicies o llanuras de Inundación	Superficie de morfología plana, baja a ondulada, eventualmente inundable. Se localiza bordeando los cauces fluviales, donde es limitado localmente por escarpes de terraza. Incluye los planos fluviales menores en formas de "U" o "V", al igual que a los conos coluviales menores de los flancos de los valles intramontanos.	Depósito
Fpla	Planicies y deltas lacustrinos	Superficie extensa de aspecto aterrazado y morfología ondulada suavemente inclinada y limitada hacia los cauces por escarpes de varios metros de altura. Su origen es relacionado al desplazamiento lateral del cauce de un rio dentro de la llanura aluvial.	Depósito
Frca	Ronda Río Bogotá	Superficie suavemente inclinada y limitada hacia el cauce del río Bogotá. Su origen es relacionado al desplazamiento lateral del cauce de un rio dentro de la llanura aluvial.	N/A para el suelo urbano
Fcdy	Cono de deyección	Superficie en forma de cono, con una inclinación en planta de 5° - 10° y decenas de metros de extensión. Se localiza en el punto donde los canales o quebradas llegan a zonas de valles amplios. Su depósito está constituido por arena, arcillas y grava, con espesores de materiales más gruesos hacia el ápice y más finos en la zona distal.	Depósito
Sm	Meseta estructural	Estructura de cima plana limitada por escarpes abruptos a muy abruptos, de longitud muy corta y formas convexa. Su origen es relacionado a	Transporte

Código	Elemento Geomorfológico	Descripción	Zona a la que pertenece en caso de avenida torrencial
		procesos de erosión diferencial en unidades estratificadas horizontalmente o con inclinaciones menores a 5°.	
Ssan	Sierra anticlinal	Prominencia topográfica elongada de morfología colinada a alomada de cimas o crestas agudas o redondeadas, limitada por laderas estructurales inclinadas a muy abruptas, rectas o convexas y de longitudes largas. El eje de la estructura es formado por el arqueamiento de los estratos o capas que se inclinan de manera divergente.	Transporte

Tabla 121. Descripción y clasificación de elementos geomorfológicos según la zona a la que pertenecen en caso de la materialización de una avenida torrencial para los centros poblados rurales El Charquito, Chacua Cabera y Altos de La Florida

Código	Elemento Geomorfológico	Descripción	Zona a la que pertenece en caso de avenida torrencial
Aca	Canales Artificiales	Cuerpos de agua producto del desarrollo urbanístico	N/A para los CPR
Ads	Drenaje superficial - antrópico	Drenajes desarrollados por la erosión que produce la escorrentía en áreas urbanizadas por donde fluye el agua de manera intermitente	N/A para los CPR
Azucdy	Zona urbana en cono de deyección	Desarrollo de áreas urbanas sobre superficies en forma de cono, con una inclinación en planta de 5° - 10° y decenas de metros de extensión. Se localiza en el punto donde los canales o quebradas llegan a zonas de valles amplios. Su depósito está constituido por arena, arcillas y grava, con espesores de materiales más gruesos hacia el ápice y más finos en la zona distal.	N/A para los CPR
Azuhlc	Zona urbana en ladera en contrapendiente de sierra	Desarrollo de áreas urbanas sobre superficies verticales a subverticales moderadas a largas, de forma cóncava, escalonada, festoneada a irregular, con pendiente abrupta a escarpada,	N/A para los CPR

Código	Elemento Geomorfológico	Descripción	Zona a la que pertenece en caso de avenida torrencial
	homoclinal denudada	generada por estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno, relacionada a una estructura homoclinal	
Dcs	Crestas subhorizontales	Se presentan como franjas alargadas asociadas a divisorias de aguas de las microcuencas, de morfología alomada y alargadas, de pendientes planas a levemente inclinadas, que presentan terminación en forma de cimas semi redondeadas a convexa e incluso planas con anchos que varían entre 50 y 300 m, limitadas por vertientes cuya inclinación puede ser moderada a escarpada. En algunas ocasiones esas geoformas han sido aprovechadas para el asentamiento de caseríos y hasta poblados.	Transporte
Dlme	Laderas moderadas a empinadas	Laderas alargadas definidas por una inclinación moderada (25° y 35°) de formas onduladas, festoneadas a irregulares, de longitudes largas y ocasionalmente amplias.	Transporte
Dlmi	Laderas moderadas e irregulares	Laderas alargadas definidas por una inclinación <35° de pendiente, son de longitud moderada a larga, de formas generalmente rectas, festoneadas a irregulares y con pendientes ligeramente escarpadas	Transporte
Dlpd	Planchas estructurales denudadas-Espolones estructurales	transversales a las estructuras geológicas. Están constituidas por estratos delgados duros y blandos disectados profundamente en dirección perpendicular al rumbo de las capas, y que localmente definen salientes o crestas a manera de puentes entre espinazos estructurales.	Transporte
Fca	Cauce aluvial	Canal de forma irregular excavado por erosión de las corrientes perennes o estacionales, dentro de sedimentos aluviales.	Transporte
Fpi	Planicie o llanura de inundación	Superficie de morfología plana, baja a ondulada, eventualmente inundable. Se localiza bordeando los cauces fluviales, donde es limitado localmente por escarpes de terraza. Incluye los planos fluviales menores en formas de "U" o "V", al igual que a los conos coluviales menores de los	Depositación

Código	Elemento Geomorfológico	Descripción	Zona a la que pertenece en caso de avenida torrencial
		flancos de los valles intramontanos. Su depósito está constituido por sedimentos finos, originados durante eventos de inundación fluvial	
Fcdy	Cono de deyección	Superficie en forma de cono, con una inclinación en planta de 5° - 10° y decenas de metros de extensión. Se localiza en el punto donde los canales o quebradas llegan a zonas de valles amplios. Su depósito está constituido por arena, arcillas y grava, con espesores de materiales más gruesos hacia el ápice y más finos en la zona distal.	Depositación
Fpdl	Planicies y Deltas lacustrinos	Superficie extensa de aspecto aterrazado y morfología ondulada suavemente inclinada y limitada hacia los cauces por escarpes de varios metros de altura. Su origen es relacionado al desplazamiento lateral del cauce de un rio dentro de la llanura aluvial. Su depósito está constituido por arcillas con intercalaciones locales de arenas finas con niveles delgados de gravas y turbas concordantes, producto de la acumulación de materiales transportados por las corrientes	Depositación
Sclp	Ladera en contrapendiente de cuesta estructural denudadas y residuales	Están constituidas por rocas blandas a intermedias con desarrollo local de suelos residuales gruesos que presentan procesos locales de reptación y desarrollo de drenajes subparalelo espaciado; y una ladera de contrapendiente (Sclp) con estratos dispuestos en contra de la pendiente del terreno (20°–25°), de longitud muy corta a corta, de formas cóncava o convexa y con pendientes escarpadas. Se constituye de intercalaciones de rocas duras a intermedias con desarrollo de drenaje dendrítico subparalelo localmente denso, asociado con procesos coluviales.	Inicio
Shlc	Ladera en contrapendiente de sierra homoclinal denudada	Superficie vertical a subvertical moderada a larga, de forma cóncava, escalonada, festoneada a irregular, con pendiente abrupta a escarpada, generada por estratos dispuestos en contra de la	Transporte

Código	Elemento Geomorfológico	Descripción	Zona a la que pertenece en caso de avenida torrencial
		pendiente del terreno, relacionada a una estructura homoclinal	
Shle	Ladera estructural de sierra homoclinal denudada	Superficie definida por la inclinación de los estratos a favor de la pendiente, de longitud corta a moderada larga, formas rectas a convexas y pendientes escarpadas a muy escarpadas, relacionada a una estructura homoclinal.	Transporte

Fuente: Siglo XXII SAS

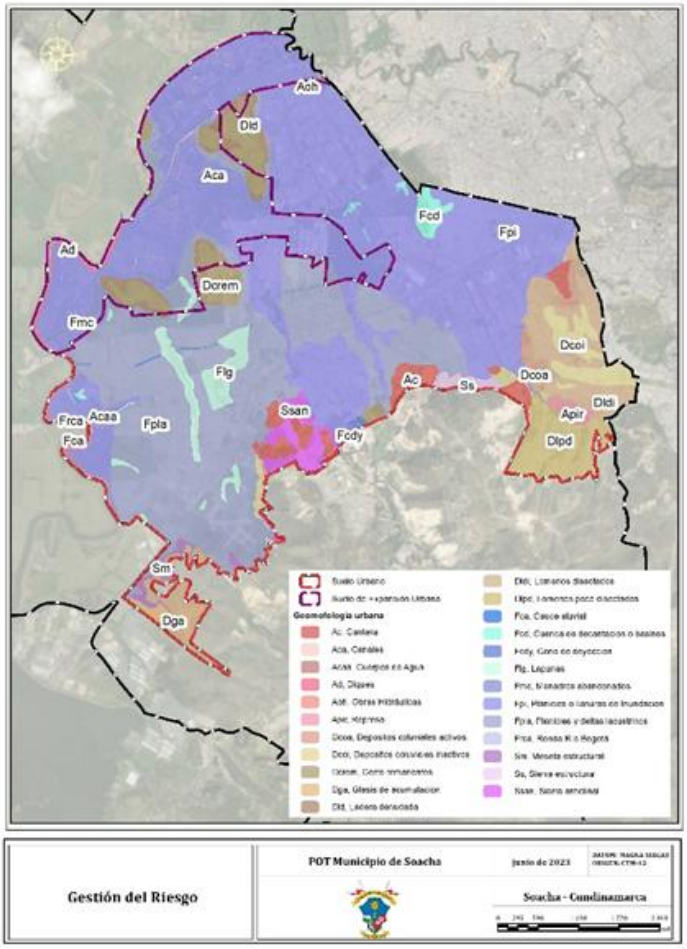


Figura 235. Elementos geomorfológicos en el suelo urbano y de expansión urbana
Fuente: Siglo XXII SAS

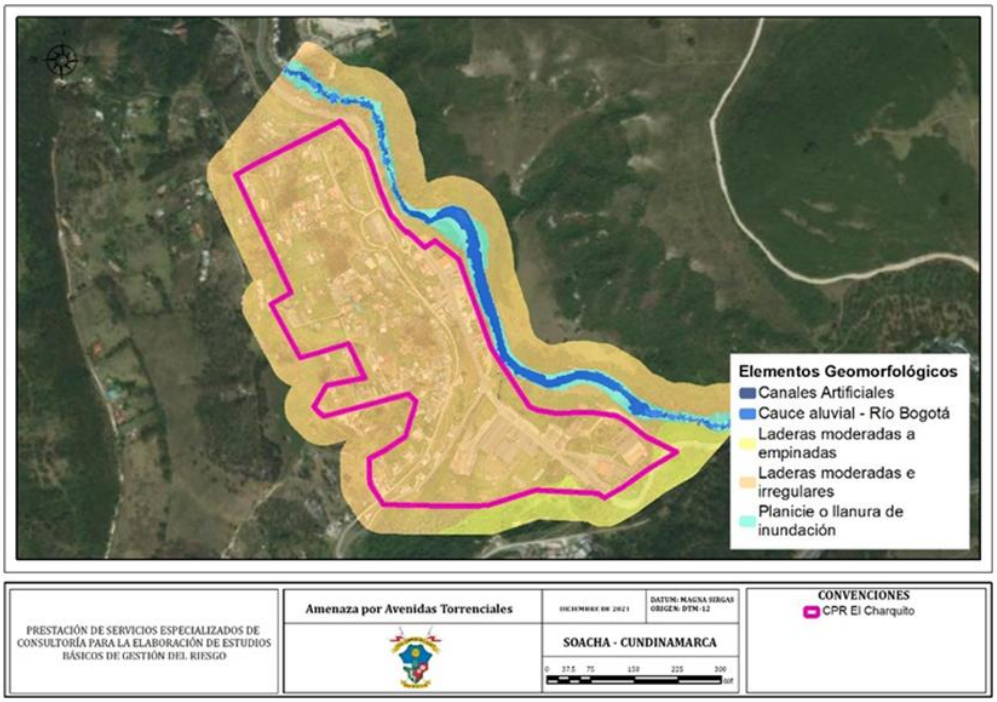


Figura 236. Elementos geomorfológicos CPR El Charquito
Fuente: Siglo XXII SAS

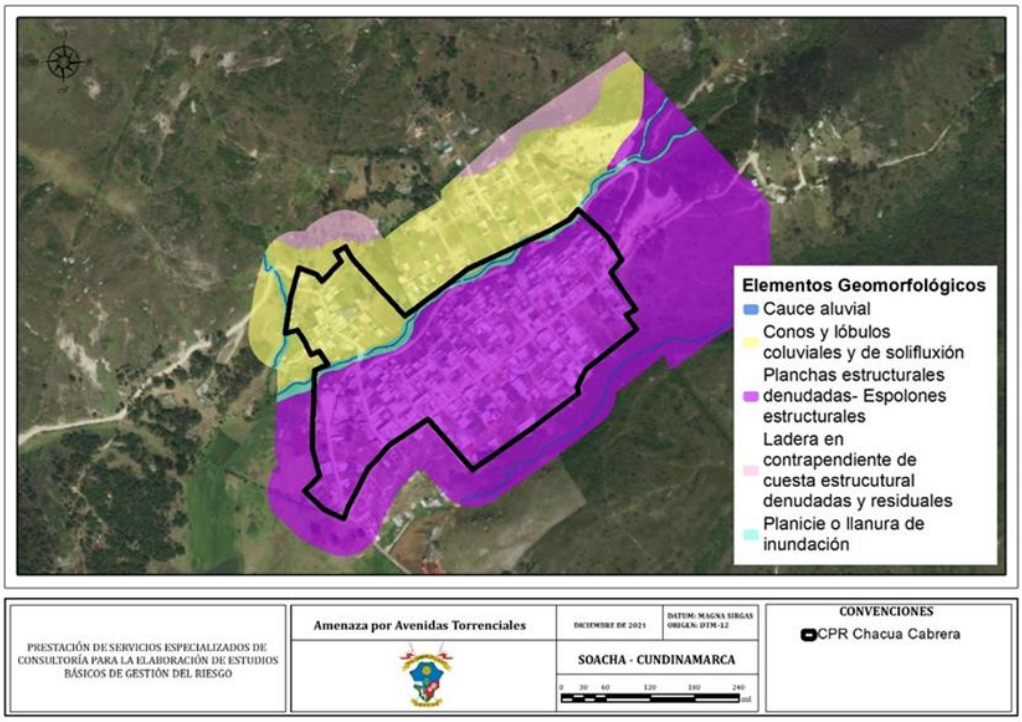


Figura 237. Elementos geomorfológicos CPR Chacua Cabrera
Fuente: Siglo XXII SAS

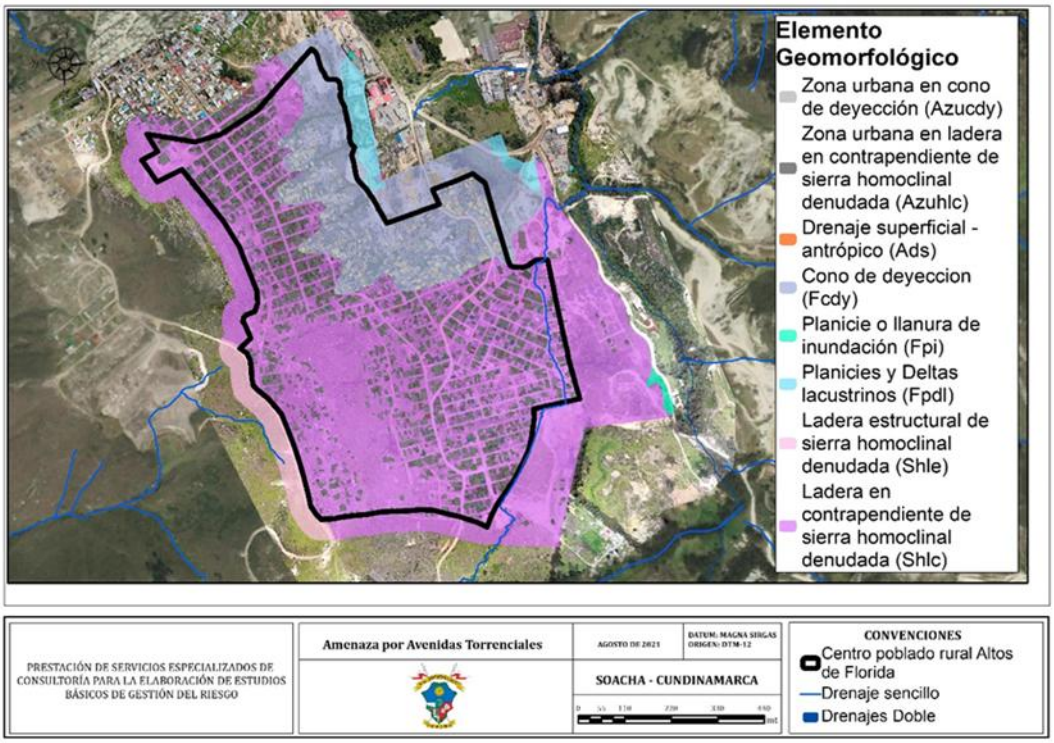


Figura 238. Elementos geomorfológicos AHR ALTOS DE LA FLORIDA
Fuente: Siglo XXII SAS

3.9.2. ANÁLISIS HIDROLÓGICO E HIDRÁULICO

Se aplicó una metodología para la evaluación de amenaza por avenidas torrenciales en el Municipio de Soacha, donde se seleccionaron los drenajes torrenciales en el sector sur del perímetro urbano, el río Bogotá en el centro poblado rural El Charquito y los drenajes de los centros poblados rurales Chacua Cabrera y Altos de La Florida los cuales cumplen con tres condiciones de avenidas de generación de avenidas torrenciales en base a la bibliografía consultada (VanDine, 1996) y muestran áreas de amenaza media y alta por avenidas torrenciales a escala 1:25.000, lo que se asocia a las características que menciona el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, tal y como se menciona en el ítem 1.9 (Delimitación del área de estudio para el análisis a escala 1:2000).

El análisis hidrológico tiene como objetivo determinar las avenidas de diseño correspondientes a incidentes meteorológicos de alta (2 años) media (50 años) y baja (100 años) probabilidad de ocurrencia.

El análisis hidrológico de una cuenca contempla el cálculo de varios parámetros que influyen directamente en la modelación e interpretación de los resultados, parámetros como la precipitación, Morfometría, pendiente, clima, uso del suelo, coeficiente de escorrentía, geología, entre otros son la base de dicho modelamiento. Esta información base permite el cálculo de la

precipitación neta y la estimación de los caudales máximos con el fin de determinar el caudal de diseño para el área de estudio. En las siguientes figuras se puede ver un resumen de la modelación hidrológica e hidráulica.

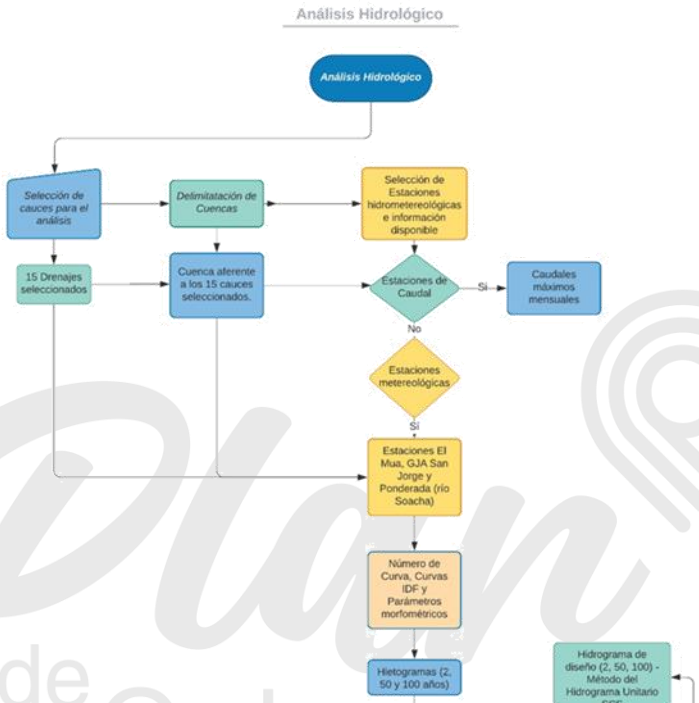


Figura 239. Análisis Hidrológico
Fuente: Siglo XXII SAS

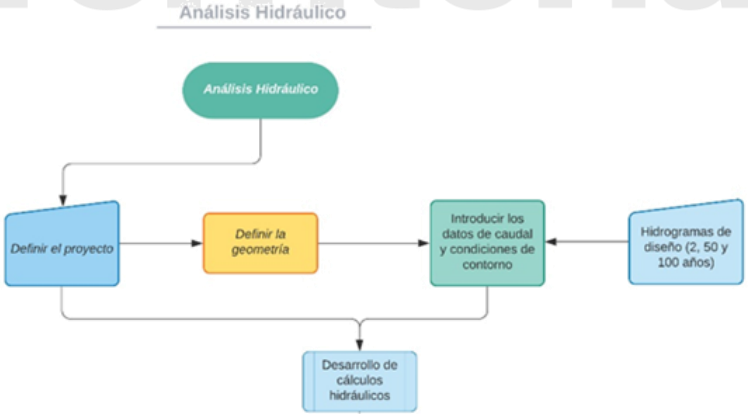


Figura 240. Análisis Hidráulico
Fuente: Siglo XXII SAS

3.9.2.1. IDENTIFICACIÓN DE AMENAZAS

Para cuantificar el nivel de amenaza, a partir del análisis hidrológico-hidráulico a los cauces seleccionados en para las diferentes áreas de estudio, se hace uso de los modelos digitales de terreno (MDT) y la información hidrológica disponible.

De acuerdo con CONSGA (2017), la cuantificación de la amenaza en un sitio se puede caracterizar determinando para cada evento posible (i):

- mi: magnitud del evento [definida por profundidad, velocidad, volumen, energía, …]
- p(mi): frecuencia o probabilidad de ocurrencia del evento [en %/año]

Así, las amenazas se clasifican como se muestra en la Tabla 21.

Tabla 122. Identificación de amenazas.

Tipo de amenaza	mi: magnitud del evento	p(mi): frecuencia o probabilidad
Zona de amenaza alta	Alto	Alta
	Alto	Media
	Medio	Alta
Zona de amenaza media	Alto	Baja
	Medio	Media
	Medio	Baja
	Bajo	Alta
Zona de amenaza baja	Bajo	Media
	Bajo	Baja

Fuente: Siglo XXII SAS

En el estudio desarrollado por CONSGA (2017), se efectuaron una serie de análisis estadísticos de los registros históricos existentes en términos de lluvias y caudales, para efectos de establecer escenarios asociados a eventos extremos que podrían a llegar a derivar en crecientes de las corrientes identificadas.

Sigue diciendo CONSGA (2017) en su estudio que, para la elaboración de mapas de amenazas, se toman como referencia tres escenarios de creciente, los cuales influyen directamente sobre la dinámica natural de los cauces en el tiempo, es decir que se analizan las crecientes normales asociadas a los niveles de agua presentes en los cauces, producto de inviernos normales ósea inviernos que presentan tanto en magnitud de caudal como de precipitación, valores menores o iguales al promedio histórico. Como un segundo escenario se analizaron niveles del agua asociados a caudales generados por inviernos con tendencias tanto en lluvia como en escorrentía del orden de periodos de retorno de 50 años; y por último los caudales extraordinarios que a menudo

superan los caudales asociados al Bank Full o banca llena, que corresponden a caudales con periodos de retorno de 100 años. (pág. 5).

Teniendo en cuenta la anterior afirmación, los eventos de inundación que presentan una mayor recurrencia están asociados con caudales con periodos de retorno de 2 años, esto significa que la probabilidad de que se presente una inundación con un valor igual o mayor del caudal calculado es de ½ o 50% en cualquier año, independientemente de cuándo fue el último evento similar. Por tanto, los niveles de agua asociados a caudales de 2 años de periodo de retorno serán tipificados como zonas de amenaza alta de inundación, dado que son las zonas que frecuentemente sino casi todos los inviernos se encuentran inundadas, por lo que cualquier tipo de infraestructura se vería totalmente expuesta, de acuerdo con CONSGA (2017).

Del mismo modo, los niveles del agua asociados caudales con periodo de retorno de 50 años marcan las zonas con una tendencia media de inundación, por lo que los polígonos marcados por este escenario podrán tipificarse como zonas de amenaza media de inundación. Por último, los niveles de agua asociados a caudales con periodos de retorno de 100 años marcan tendencias poco probables de ocurrencia, pero con una gran área de ocupación por agua y posiblemente de afectación, por lo que se tipifican como amenaza baja de inundación (CONSGA, 2017).

3.9.2.1.1. ESTIMACIÓN DE PROBABILIDADES DE OCURRENCIA DE LOS EVENTOS

En el estudio desarrollado por CONSGA (2017), se efectuaron una serie de análisis estadísticos de los registros históricos existentes en términos de lluvias y caudales, para efectos de establecer escenarios asociados a eventos extremos que podrían a llegar a derivar en crecientes de las corrientes identificadas.

Sigue diciendo CONSGA (2017) en su estudio que, para la elaboración de mapas de amenazas, se toman como referencia tres escenarios de creciente, los cuales influyen directamente sobre la dinámica natural de los cauces en el tiempo, es decir que se analizan las crecientes normales asociadas a los niveles de agua presentes en los cauces, producto de inviernos normales ósea inviernos que presentan tanto en magnitud de caudal como de precipitación, valores menores o iguales al promedio histórico. Como un segundo escenario se analizaron niveles del agua asociados a caudales generados por inviernos con tendencias tanto en lluvia como en escorrentía del orden de periodos de retorno de 50 años; y por último los caudales extraordinarios que a menudo superan los caudales asociados al Bank Full o banca llena, que corresponden a caudales con periodos de retorno de 100 años. (pág. 5).

Teniendo en cuenta la anterior afirmación, los eventos de inundación que presentan una mayor recurrencia están asociados con caudales con periodos de retorno de 2 años, esto significa que la probabilidad de que se presente una inundación con un valor igual o mayor del caudal calculado es de ½ o 50% en cualquier año, independientemente de cuándo fue el último evento similar. Por

tanto, los niveles de agua asociados a caudales de 2 años de periodo de retorno serán tipificados como zonas de amenaza alta de inundación, dado que son las zonas que frecuentemente sino casi todos los inviernos se encuentran inundadas, por lo que cualquier tipo de infraestructura se vería totalmente expuesta, de acuerdo con CONSGA (2017).

Del mismo modo, los niveles del agua asociados caudales con periodo de retorno de 50 años marcan las zonas con una tendencia media de inundación, por lo que los polígonos marcados por este escenario podrán tipificarse como zonas de amenaza media de inundación. Por último, los niveles de agua asociados a caudales con periodos de retorno de 100 años marcan tendencias poco probables de ocurrencia, pero con una gran área de ocupación por agua y posiblemente de afectación, por lo que se tipifican como amenaza baja de inundación (CONSGA, 2017).

3.9.2.1.2. SELECCIÓN DE CAUCES PARA EL ANÁLISIS

Para el análisis hidrológico se determinaron 15 cauces identificados en la zona de estudio que pueden tener influencia en la amenaza por inundación a nivel de la escala de la cartografía base y los MDT. Para ello, se delimitaron las cuencas aferentes a los 15 cauces y el río Soacha con un MDT – 1 m, como se puede ver en la Figura 36

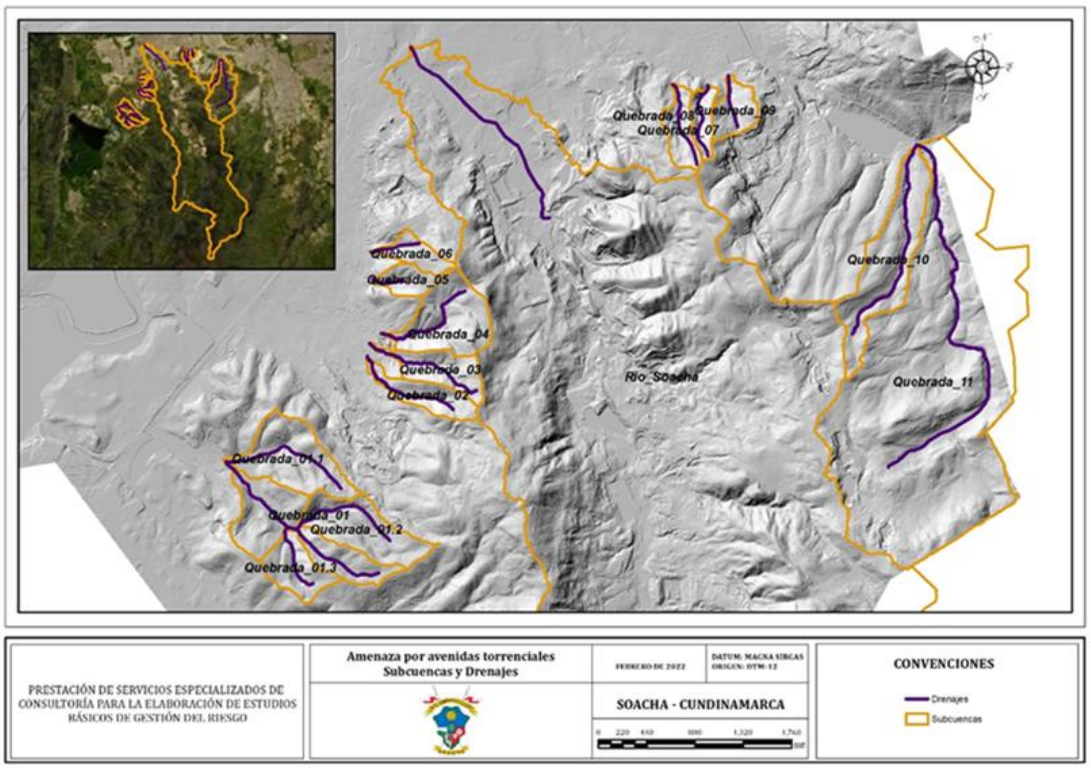


Figura 241. Cauces seleccionados para en análisis hidrológico en el suelo urbano de Soacha
Fuente: Siglo XXII SAS

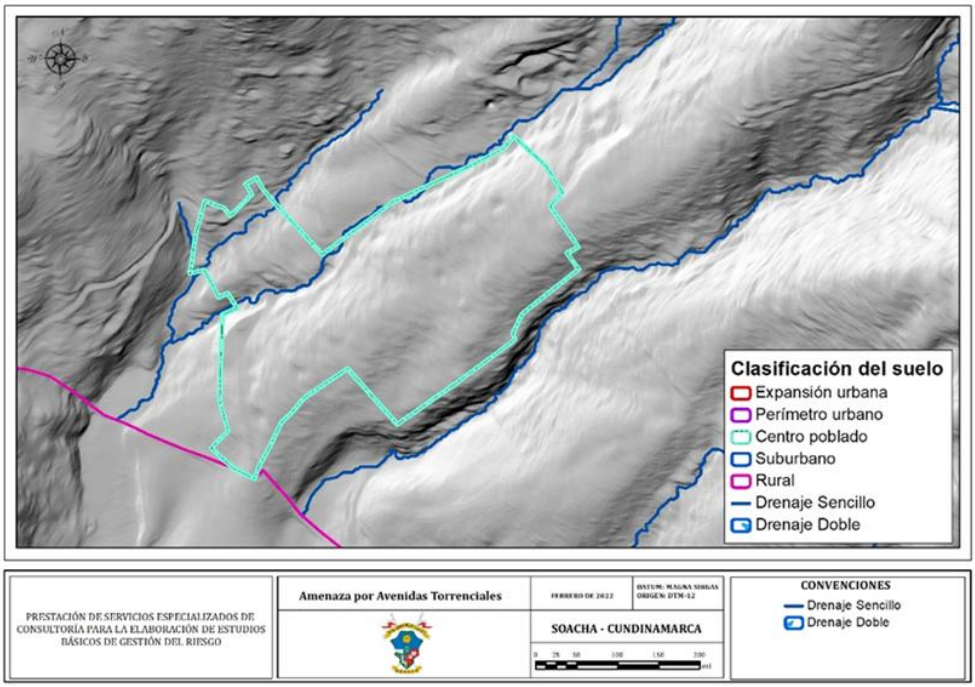


Figura 242. Cauces seleccionados para en análisis hidrológico con sus respectivas cuencas hidrográficas en el centro poblado rural Chacua Cabrera
Fuente: Siglo XXII SAS

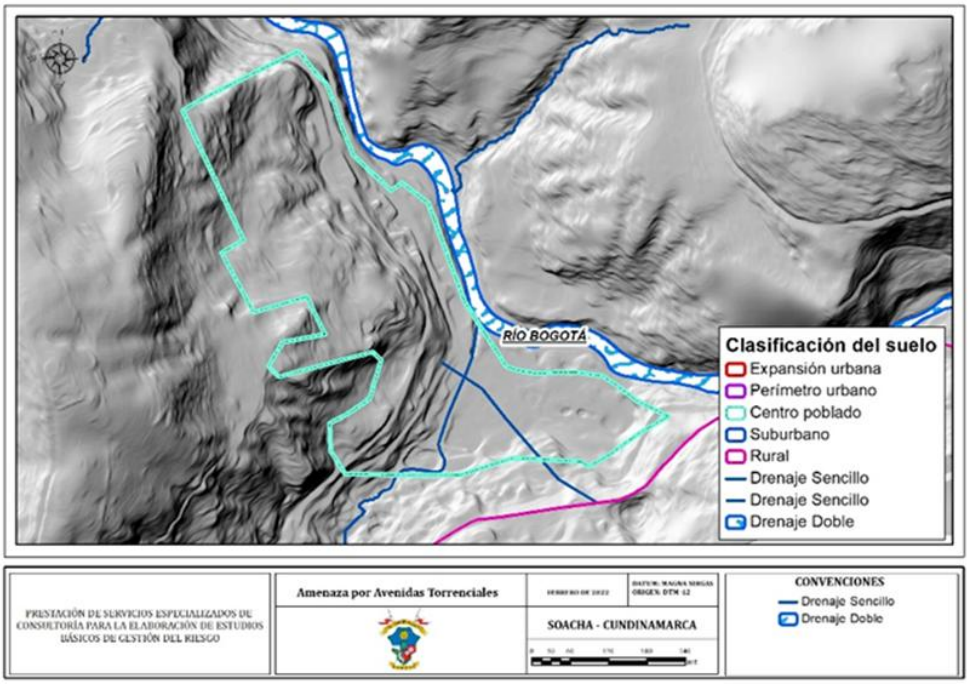


Figura 243. Cauces seleccionados para en análisis hidrológico con sus respectivas cuencas hidrográficas en el centro poblado El Charquito
Fuente: Siglo XXII SAS

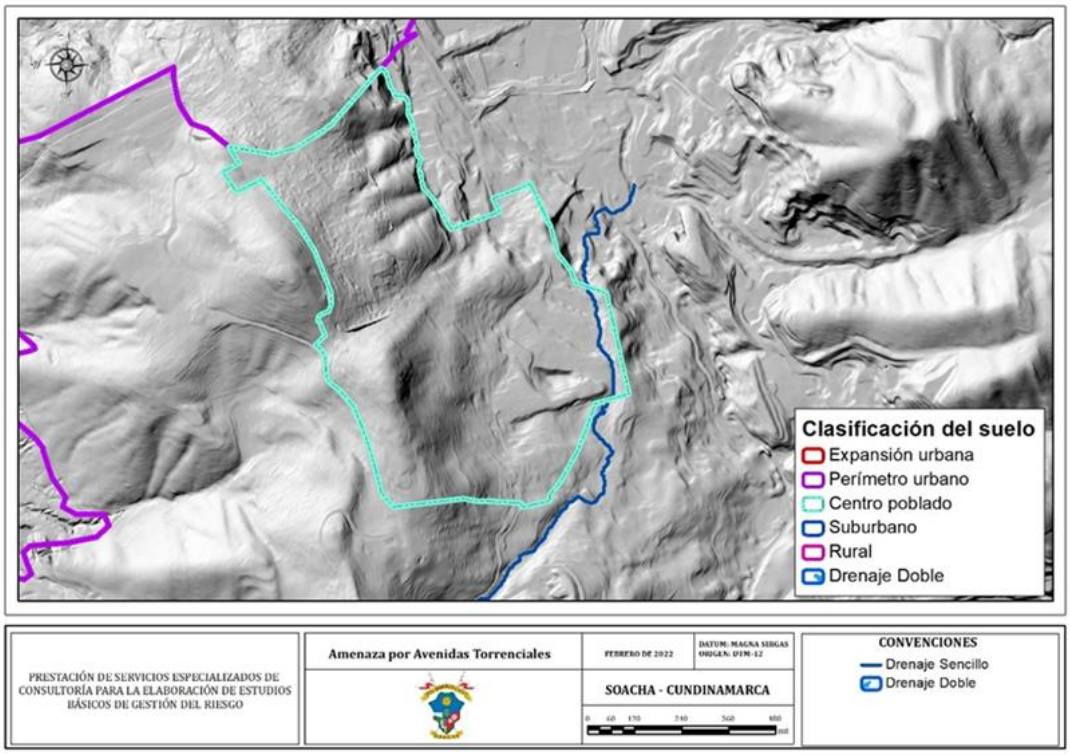


Figura 244. Cauces seleccionados para en análisis hidrológico con sus respectivas cuencas hidrográficas en el centro poblado Altos de La Florida

Fuente: Siglo XXII SAS

3.9.2.1.3. ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS E INFORMACIÓN DISPONIBLE

Se realiza una revisión de las estaciones activas, usadas en el POMCA del río de Bogotá (operadas por el IDEAM, EAAB y la CAR) que tengan influencia en el área de estudio y que estén localizadas en áreas aferentes a las cuencas de los cauces seleccionados para el presente estudio.

Para la modelación hidrológica -se utilizó un modelo de lluvia – escorrentía, debido a que, en la zona a analizar, no existe la suficiente información de estaciones de caudal. Se seleccionaron las Estaciones El Mua (2120561) y GJA San Jorge (21205720) por la disponibilidad de datos y real injerencia sobre las cuencas (polígonos de Thiessen), como se puede ver en la Figura 40

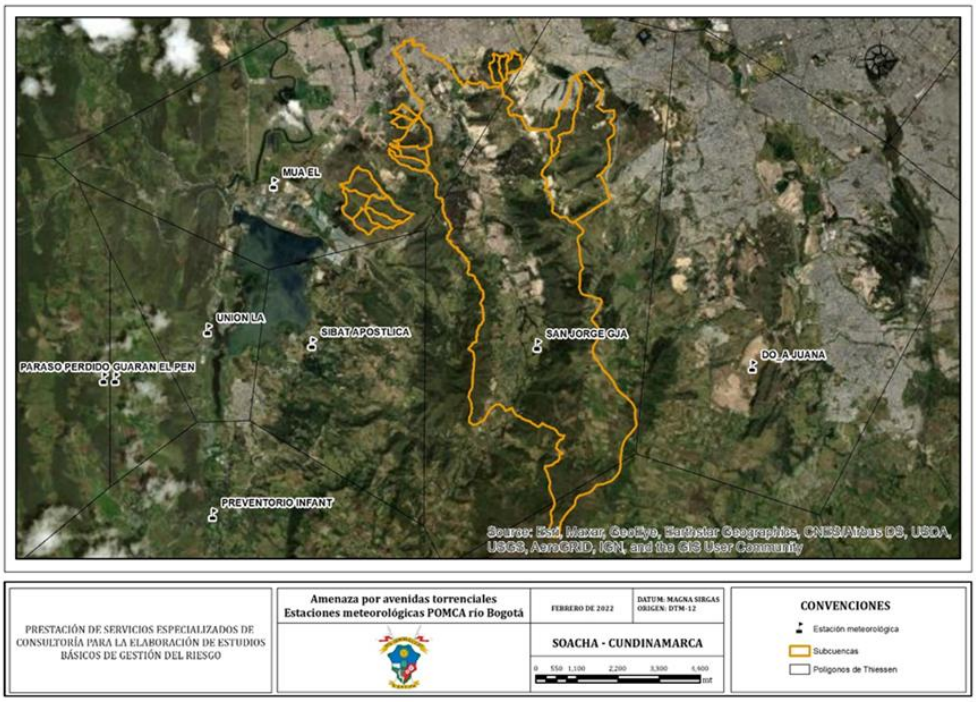


Figura 245. Estaciones climatológicas seleccionadas para realizar el análisis hidrológico en el área sur del suelo urbano.
Fuente: Siglo XXII SAS

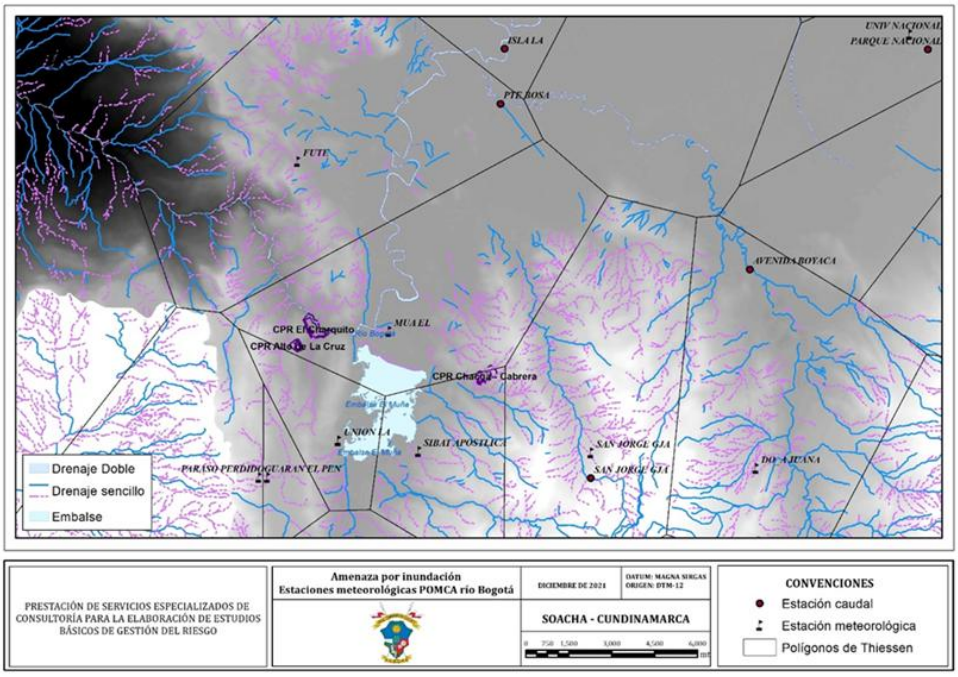


Figura 246. Estaciones del POMCA del río Bogotá para realizar el análisis hidrológico en los centros poblados rurales El Charquito, Chacua Cabrera y Altos de La Florida
Fuente: Siglo XXII SAS

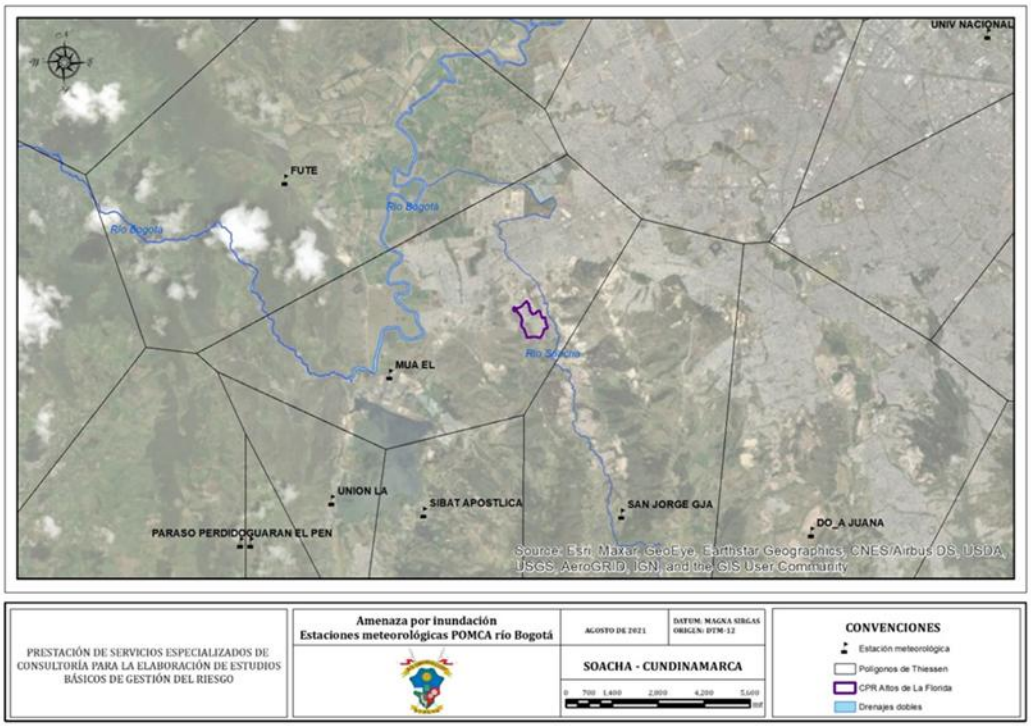


Figura 247. Estaciones analizadas en el POMCA del río Bogotá para realizar el análisis hidrológico en el centro poblado Altos de La Florida
Fuente: Siglo XXII SAS

En las siguientes tablas se pueden observar los datos de precipitación máxima en 24 horas de las estaciones.

Tabla 123. Datos de Precipitación máxima en 24 horas de la estación El Mua para un periodo de (1967 – 2002).

Año	Ener	Febr	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	MáX
1967	16.00	22.00	18.00	14.00	15.00	15.00	7.00	5.00	6.00	46.00	19.00	15.00	46.00
1968	4.00	11.00	18.00	23.00	8.00	11.00	5.00	3.00	26.00	19.00	12.00	5.00	26.00
1969	8.00	5.00	4.00	42.00	12.00	13.00	3.00	7.00	20.00	33.00	13.00	8.00	42.00
1970	17.00	9.00	3.00	7.00	20.00	6.00	9.00	5.00	30.00	18.00	10.00	16.00	30.00
1971	15.00	18.00	42.00	25.00	18.00	23.00	7.00	8.00	14.00	28.00	13.00	15.00	42.00
1972	19.00	7.00	19.00	17.00	14.00	32.00	14.00	4.00	2.00	15.00	31.00	13.00	32.00
1973	3.00	3.00	22.00	11.00	23.00	10.00	11.00	26.00	30.00	23.00	18.00	10.00	30.00

Año	Ener	Febr	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	MáX
1974	14.00	9.00	9.00	15.00	30.00	6.00	3.00	7.00	11.00	15.00	18.00	8.00	30.00
1975	14.00	24.00	17.00	10.00	16.00	13.00	14.00	13.00	20.00	12.00	17.00	13.00	24.00
1976	9.00	8.00	18.00	11.00	29.00	15.00	2.00	7.00	18.00	13.00	15.00	13.00	29.00
1977	9.00	1.00	17.00	12.00	9.00	9.00	9.00	13.00	12.00	29.00	10.00	5.00	29.00
1978	0.00	5.00	14.00	11.00	30.00	10.00	8.00	6.00	9.00	9.00	13.00	17.00	30.00
1979	10.00	12.00	17.00	20.00	37.00	15.00	17.00	39.00	10.00	19.00	18.00	16.00	39.00
1980	2.00	9.00	3.00	13.00	10.00	13.00	3.00	6.00	5.00	16.00	43.00	9.00	43.00
1981	1.00	2.00	10.00	26.00	31.00	11.00	3.00	31.00	10.00	29.00	21.00	4.00	31.00
1982	16.00	18.00	15.00	34.00	25.00	3.00	7.00	3.00	10.00	30.00	9.00	9.00	34.00
1983	3.00	6.00	9.00	24.00	14.00	4.00	10.00	8.00	11.00	14.00	9.00	3.00	24.00
1984	9.00	16.00	23.00	9.00	8.00	10.00	8.00	8.00	13.00	10.00	10.00	9.00	23.00
1985	3.00	8.00	6.00	9.00	7.00	9.00	3.00	8.00	16.00	10.00	10.00	2.00	16.00
1986	6.00	15.00	22.00	15.00	36.00	35.00	7.00	4.00	23.00	10.00	18.00	9.00	36.00
1991	1.00	0.00	28.00	25.00	17.00	4.00	8.00	9.00	16.00	9.00	17.00	34.00	34.00
1992	13.00	11.00	7.00	16.00	8.00	4.00	3.00	10.00	18.00	50.00	16.00	16.00	50.00
1993	28.00	23.00	12.00	16.00	34.00	3.00	7.00	4.00	12.00	12.00	17.00	5.00	34.00
1994	12.00	13.00	25.00	15.00	14.00	10.00	8.00	6.00	11.00	37.00	46.00	2.00	46.00
1995	1.00	4.00	11.00	29.00	39.00	8.00	6.00	10.00	16.00	7.00	18.00	22.00	39.00
1996	9.00	23.00	24.00	19.00	24.00	12.00	18.00	7.00	14.00	7.00	7.00	8.00	24.00
1997	10.00	4.00	12.00	22.00	9.00	17.00	3.00	5.00	11.00	10.00	13.00	1.00	22.00
1998	0.00	10.00	44.00	20.00	26.00	7.00	10.00	11.00	13.00	16.00	24.00	10.00	44.00
1999	12.00	11.00	21.00	16.00	24.00	33.00	5.00	11.00	9.00	16.00	22.00	17.00	33.00

Año	Ener	Febr	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	MáX
2000	12.00	44.00	20.00	7.00	14.00	18.00	34.00	18.00	15.00	18.00	20.00	15.00	44.00
2001	28.00	2.00	23.00	9.00	24.00	18.00	7.00	0.00	22.00	14.00	18.00	28.00	28.00
2002	0.00	9.00	14.00	26.00	21.00	28.00	3.00	7.00	21.00	13.00	12.00	19.00	28.00
MAX	28.00	44.00	44.00	42.00	39.00	35.00	34.00	39.00	30.00	50.00	46.00	34.00	50

Fuente: POMCA río Bogotá

Tabla 124. Datos de Precipitación máxima en 24 horas de la estación GJA San Jorge para un periodo de (1961 – 2005).

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dici	Máx
1961	9.00	6.00	18.00	20.40	16.20	24.00	14.30	14.50	8.30	41.70	24.20	14.70	41.70
1962	22.90	2.00	36.50	31.20	21.00	16.50	9.80	11.00	7.20	20.80	23.50	6.30	36.50
1963	2.40	16.40	9.80	15.50	26.30	20.30	2.80	6.70	12.50	12.50	30.70	6.50	30.70
1965	10.50	20.50	18.50	26.50	33.50	10.50	8.80	10.50	2.50	19.50	39.70	6.00	39.70
1966	0.00	30.50	20.50	8.50	12.50	25.30	15.50	20.50	15.30	10.30	65.00	19.30	65.00
1967	7.70	17.70	20.20	16.70	23.70	13.90	13.20	11.30	16.30	26.30	14.10	7.60	26.30
1968	3.30	13.80	10.60	26.80	7.60	20.20	15.00	7.20	15.90	22.90	34.80	4.60	34.80
1969	10.80	8.60	2.10	33.80	13.50	10.60	6.00	7.80	13.50	34.60	12.90	12.90	34.60
1970	11.30	13.00	12.60	7.70	22.90	9.00	13.30	5.70	27.70	32.50	30.50	6.80	32.50
1971	21.60	37.00	20.20	25.60	58.70	25.50	14.30	5.80	18.50	17.40	13.80	11.50	58.70
1972	30.20	16.00	11.20	20.10	16.80	16.50	9.20	8.30	3.90	16.30	30.00	8.00	30.20
1973		3.20	4.70	22.90	39.30	13.30	11.70	20.00	16.00	15.50	36.10	19.00	39.30
1974	8.80	22.00	16.40	21.40	41.80	7.00	13.40	6.10	14.50	17.40	23.80	15.40	41.80
1975	1.00	19.60	17.20	21.50	37.50	23.00	11.40	46.00	14.80	24.80	20.30	19.30	46.00
1976	7.20	5.80	23.90	13.10	26.20	20.80	14.80	8.20	12.90	18.00	15.90	33.00	33.00

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dici	Máx
1977	0.20	4.70	16.60	26.50	9.50	11.30	12.00	10.20	17.00	14.80	28.20	10.50	28.20
1978	3.40	13.00	12.60	13.10	18.90	7.60	11.50	6.80	20.40	16.00	16.80	12.00	20.40
1979	12.50	6.60	11.30	31.10	26.70	18.00	23.90	23.80	28.80	30.20	27.90	9.70	31.10
1980	1.60	21.40	6.20	26.10	6.20	24.40	5.20	13.70	14.40	19.30	32.40	15.60	32.40
1981	0.30	5.60	10.40	26.50	31.00	21.90	3.80	18.30	21.10	17.70	32.60	14.60	32.60
1982	39.60	22.60	17.10	38.50	18.30	8.90	11.20	9.70	26.00	29.00	16.90	8.10	39.60
1983	1.20	12.70	23.20	29.60	18.70	5.00	26.80	12.10	18.60	27.80	16.50	13.20	29.60
1984	14.40	25.80	7.70	17.40	13.30	16.30	9.20	22.80	20.30	26.90	23.80	3.00	26.90
1985	3.50	2.20	11.00	16.50	59.50	13.60	8.60	13.80	18.20	23.40	11.60	9.00	59.50
1986	5.20	21.70	11.50	28.20	27.50	9.80	9.40	6.00	16.80	18.20	26.40	4.20	28.20
1987	5.80	12.30	10.80	20.80	25.20	3.60	21.70	8.60	5.40	20.00	1.40		25.20
1988		8.40	4.20	13.20	14.40	11.60		8.00	10.00	37.00	19.00	17.50	37.00
1989	2.20	11.20	19.60	14.70	12.90	17.40	9.00	9.80	12.40	15.20	19.50	18.50	19.60
1990	8.70	21.00	29.20	27.20	48.00	12.60	16.50	11.00	7.50	27.80	17.30	24.60	48.00
1991	12.60	11.20	27.80	18.00	26.20	9.80	12.90	17.40	11.00	22.80	33.20	16.80	33.20
1992	15.50	5.50	7.80	15.20	10.50	4.20	5.00	18.70	15.50	3.60	17.00	14.40	18.70
1993	22.60	10.00		27.60	17.20	10.00	17.50	8.60	14.30	15.20	31.20	3.20	31.20
1994	24.20	12.20	17.00	21.50	16.80	16.60	17.00	15.20	18.60	25.20	20.40	2.50	25.20
1995	0.00	2.80	24.00	20.00	21.40	15.20	13.40	10.40	6.60		17.00	31.50	31.50
1996			22.80	24.20	42.20			12.20	16.80	25.20	11.00	12.00	42.20
1997	13.00	25.00	12.00		17.10	21.20	12.20	7.00	18.00		8.50	0.90	25.00
1998	0.00	6.40	18.00	14.50	46.20	24.00	15.50	17.50	14.90	16.60	10.00	10.30	46.20

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dici	Máx
1999	7.60	23.50	28.00	14.20	20.40	10.00	6.20	19.10		26.20	19.50	11.00	28.00
2000	20.00	27.00	24.40	10.20	18.00	32.20	15.00	21.80	20.00	27.50	13.00	16.80	32.20
2001	3.00	17.00	29.70	7.50	16.00	24.20	7.80	2.50	20.00	7.00	15.50	25.00	29.70
2002	6.00	6.00	12.00	23.50	17.70	27.50	13.00	7.20	28.50	24.20	17.20	14.20	28.50
2003	10.50	16.40	12.20	31.20	6.20	13.50	8.00	5.00	12.00	26.50		13.00	31.20
2004	3.00	15.50	15.60	39.00	27.40	22.30	10.00	7.60	35.00	38.00	22.00	15.50	39.00
2005	3.50	23.50		13.40		17.50	5.50	12.20	24.00	24.00	10.40	19.00	24.00
MAX	39.60	37.00	36.50	39.00	59.50	32.20	26.80	46.00	35.00	41.70	65.00	33.00	65.00

Fuente: POMCA río Bogotá

Tabla 125. Datos de Caudales máximos instantáneos de la estación La Isla para un periodo de (1991 – 2014) – POMCA del río Bogotá

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAX
1991	29.84	20.94	40	37.12	39.28	28.08	39.90	39.81	37.26	32.00	39.98	39.88	40
1992	26.6	32.05	35.04	36.03	38.26	19.67	38.76	34.79	33.80	22.47	38.02	38.02	38.76
1993	39.75	25.86	31.8	38.51	39.75	44.48	40	30.05	39.26	37.52	39.5	40	44.48
1994	30.55	35.78	39.75	40.00	40.00	40.00	39.75	39.75	33.80	40.00	40.00	34.30	40
1995	16.8	19.01	50.76	42.8	56.36	61.78	25.65	33.87	32.65	38.46	39.51	54.45	61.78
1996	26.65	32.65	70.33	38.81	128.84	31.51	74.96	34.17	35.4	50.29	47.89	54.82	128.84
1997	57.23	28.69	27.36	24.42	24.65	51.89	69.55	24.40	41.85	31.25	35.3	18.76	69.55
1998	17.36	36.11	39.55	38.77	105.71	56.22	68.12	58.2	35.67	61.35	87.26	78.39	105.71
1999	33.51	60.17	45.3	48.98	49.61	31.35	25.84	37.34	51.47	57.75	66.55	34.88	66.55
2000	23.15	53.77	48.99	32.36	34.17	32.78	36.03	42.07	41.53	35.27	43.93	17.45	53.77

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	MAX
2001	13.43	16.41	30.16	19.90	25.18	27.60	24.13	26.32	36.97	18.88	29.95	32.91	36.97
2002	18.74	26.06	25.82	53.13	64.49	66.19	40.31	35.51	29.53	45.22	34.80	42.14	66.19
2003	28.28	19.82	38.76	41.42	26.77	26.63	37.56	31.49	38.54	43.03	43.95	55.76	55.76
2004	20.91	39.69	36.90	50.35	47.08	43.95							50.35
2006	46.15	22.39	47.75	61.35	82.86	65.22	47.52	37.89	30.37	50.74	68.63	38.10	82.86
2007	24.80	27.87	38.76	51.20	35.92	48.21	40.31	37.89	49.59	57.54	53.77	60.87	60.87
2008	28.90	34.63	48.21	54.00	83.51	55.88	59.92	46.61	41.87	43.88	57.06	62.07	83.51
2009	35.49	48.89	47.29	57.06	42.76	36.08	35.69	29.36	28.76	54.31	45.85	26.73	57.06
2010	21.39	19.15	17.64	60.56	59.68	56.99	60.66	47.38	34.00	53.91	83.57	86.48	86.48
2011	46.51	43.75	71.75	84.55	86.8	80.44	48.27	43.62	34.93	70.21	79.49	87.43	87.43
2012	34.48	32.76	50.62	77.82	58.27	36.34	45.54	51.02	34.65	54.75	40.29	31.64	77.82
2013	17.92	52.37	53.30	48.43	43.21	44.56	29.11	37.67	22.19	33.12	58.96	56.83	58.96
2014	29.11	26.42		50.95									50.95
MED	29.02	32.84	42.54	47.33	55.14	44.81	44.17	38.06	36.39	44.38	51.16	47.23	
MAX	57.23	60.17	71.75	84.55	128.84	80.44	74.96	58.20	51.47	70.21	87.26	87.43	
MIN	13.43	16.41	17.64	19.90	24.65	19.67	24.13	24.40	22.19	18.88	29.95	17.45	

Tabla 126. Datos de Precipitación máxima en 24 horas de la estación El Mua para un periodo de (1967 – 2002) – POMCA del río Bogotá

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	MaY	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Máx
1967	16.00	22.00	18.00	14.00	15.00	15.00	7.00	5.00	6.00	46.00	19.00	15.00	46.00
1968	4.00	11.00	18.00	23.00	8.00	11.00	5.00	3.00	26.00	19.00	12.00	5.00	26.00
1969	8.00	5.00	4.00	42.00	12.00	13.00	3.00	7.00	20.00	33.00	13.00	8.00	42.00

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	MaY	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Máx
1970	17.00	9.00	3.00	7.00	20.00	6.00	9.00	5.00	30.00	18.00	10.00	16.00	30.00
1971	15.00	18.0, g0	42.00	25.00	18.00	23.00	7.00	8.00	14.00	28.00	13.00	15.00	42.00
1972	19.00	7.00	19.00	17.00	14.00	32.00	14.00	4.00	2.00	15.00	31.00	13.00	32.00
1973	3.00	3.00	22.00	11.00	23.00	10.00	11.00	26.00	30.00	23.00	18.00	10.00	30.00
1974	14.00	9.00	9.00	15.00	30.00	6.00	3.00	7.00	11.00	15.00	18.00	8.00	30.00
1975	14.00	24.00	17.00	10.00	16.00	13.00	14.00	13.00	20.00	12.00	17.00	13.00	24.00
1976	9.00	8.00	18.00	11.00	29.00	15.00	2.00	7.00	18.00	13.00	15.00	13.00	29.00
1977	9.00	1.00	17.00	12.00	9.00	9.00	9.00	13.00	12.00	29.00	10.00	5.00	29.00
1978	0.00	5.00	14.00	11.00	30.00	10.00	8.00	6.00	9.00	9.00	13.00	17.00	30.00
1979	10.00	12.00	17.00	20.00	37.00	15.00	17.00	39.00	10.00	19.00	18.00	16.00	39.00
1980	2.00	9.00	3.00	13.00	10.00	13.00	3.00	6.00	5.00	16.00	43.00	9.00	43.00
1981	1.00	2.00	10.00	26.00	31.00	11.00	3.00	31.00	10.00	29.00	21.00	4.00	31.00
1982	16.00	18.00	15.00	34.00	25.00	3.00	7.00	3.00	10.00	30.00	9.00	9.00	34.00
1983	3.00	6.00	9.00	24.00	14.00	4.00	10.00	8.00	11.00	14.00	9.00	3.00	24.00
1984	9.00	16.00	23.00	9.00	8.00	10.00	8.00	8.00	13.00	10.00	10.00	9.00	23.00
1985	3.00	8.00	6.00	9.00	7.00	9.00	3.00	8.00	16.00	10.00	10.00	2.00	16.00
1986	6.00	15.00	22.00	15.00	36.00	35.00	7.00	4.00	23.00	10.00	18.00	9.00	36.00
1991	1.00	0.00	28.00	25.00	17.00	4.00	8.00	9.00	16.00	9.00	17.00	34.00	34.00
1992	13.00	11.00	7.00	16.00	8.00	4.00	3.00	10.00	18.00	50.00	16.00	16.00	50.00
1993	28.00	23.00	12.00	16.00	34.00	3.00	7.00	4.00	12.00	12.00	17.00	5.00	34.00
1994	12.00	13.00	25.00	15.00	14.00	10.00	8.00	6.00	11.00	37.00	46.00	2.00	46.00
1995	1.00	4.00	11.00	29.00	39.00	8.00	6.00	10.00	16.00	7.00	18.00	22.00	39.00

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	MaY	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic	Máx
1996	9.00	23.00	24.00	19.00	24.00	12.00	18.00	7.00	14.00	7.00	7.00	8.00	24.00
1997	10.00	4.00	12.00	22.00	9.00	17.00	3.00	5.00	11.00	10.00	13.00	1.00	22.00
1998	0.00	10.00	44.00	20.00	26.00	7.00	10.00	11.00	13.00	16.00	24.00	10.00	44.00
1999	12.00	11.00	21.00	16.00	24.00	33.00	5.00	11.00	9.00	16.00	22.00	17.00	33.00
2000	12.00	44.00	20.00	7.00	14.00	18.00	34.00	18.00	15.00	18.00	20.00	15.00	44.00
2001	28.00	2.00	23.00	9.00	24.00	18.00	7.00	0.00	22.00	14.00	18.00	28.00	28.00
2002	0.00	9.00	14.00	26.00	21.00	28.00	3.00	7.00	21.00	13.00	12.00	19.00	28.00
MAX	28.00	44.00	44.00	42.00	39.00	35.00	34.00	39.00	30.00	50.00	46.00	34.00	

Fuente: POMCA río Bogotá

Tabla 127. Datos de Precipitación máxima en 24 horas de la estación Sibat Apostlica para un periodo de (1971 – 2004)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	OCT	Nov	Dic	Máx
1971	16	16	29	24	22	22	8	10	18	40	32	22	40
1972	21	14	18	22	26	15	11	5	1	14	12	0	26
1973	0	3	13	12	25	7	10	29	29	21	26	47	47
1974	17	16	14	16	28	13	4	15	14	12	30	20	30
1975	16	17	15	16	35	14	18	8	42	22	17	25	42
1976	23	17	20	31	24	17	3	3	24	24	18	24	31
1977	17	2	39	16	9	13	7	21	33	15	15	11	39
1978	1	9	21	40	17	10	9	5	11	13	18	20	40
1979	13	14	12	30	19	24	23	19	19	29	51	10	51
1980	3	6	3	16	15	24	4						24
1982	23	17	16	30	16	7	10	5	4	20	20	11	30

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	OCT	Nov	Dic	Máx
1987	19	11	26	30	19	2	11	3	14	24	18	4	30
1988	8	15	4	21	13	29	14	18	19	25	31	16	31
1991	4	20	27	26	16	4	11	10	4	13	16	26	27
1992	5	4	28	8	9	3	4	7	11	13	18	7	28
1993	37	11	13	22	18	4	7	6	25	9	30	14	37
1994	17	19	27	9	18	10	10	4	19	19	44	1	44
1995	1	1	25	39	34	8	8	13	5	9	20	33	39
1996	16	20	22	18	37	22	12	6	13	13	16	12	37
1997	10	7	13	14	12	24	5	1	7	23	19	0	24
1998	0	9	5	7	27	3	9	8	0	19	11	15	27
1999	7	7	14	24	20	15	4	16	17	16	14	26	26
2000	6	27	8	5	14	30	14	16	25	10	16	54	54
2001	4	26	23	4	12	31	4	2	19	21	13	5	31
2002	7	18	14	22	15	20	8	3		15	13	19	22
2003	6	7	29	27	4	10	10	5	40	28	12	6	40
2004	7	21	14	25	32	6	5	5	16	18	20	14	32
2005	9	16	8	16	29	12	7	14	9	16	13	11	29
2006	18	1	16	17	30	12			8	27	16		30
2007	3	5	11	11	15	20	9	21	2	23	7	14	23
2008	7	12	28	22	2	26	18	17	7	32	16	20	32
2009	21	25	20	22	2	24	5	5	19	15	30	4	30

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	OCT	Nov	Dic	Máx
2010	4	16	6	44	24	13	25	7	13	19	27	21	44
2011	27	8	33	32	23	13	16	13	21	21	19	34	34
2012	4	17	18	23	8	22	10	7	6	25	6	23	25
2013	11	13	23	41	12	13	9	21	7	10	20	16	41
2014	14	12	38	11	8	5							40
MAX	28.00	44.00	44.00	42.00	39.00	35.00	34.00	39.00	30.00	50.00	46.00	34.00	

POMCA del río Bogotá

Tabla 128. Datos de Precipitación máxima en 24 horas de la estación GJA San Jorge para un periodo de (1961 – 2005)

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	AgO	Sep	Oct	Nov	Dic	Máx
1961	9.00	6.00	18.00	20.40	16.20	24.00	14.30	14.50	8.30	41.70	24.20	14.70	41.70
1962	22.90	2.00	36.50	31.20	21.00	16.50	9.80	11.00	7.20	20.80	23.50	6.30	36.50
1963	2.40	16.40	9.80	15.50	26.30	20.30	2.80	6.70	12.50	12.50	30.70	6.50	30.70
1965	10.50	20.50	18.50	26.50	33.50	10.50	8.80	10.50	2.50	19.50	39.70	6.00	39.70
1966	0.00	30.50	20.50	8.50	12.50	25.30	15.50	20.50	15.30	10.30	65.00	19.30	65.00
1967	7.70	17.70	20.20	16.70	23.70	13.90	13.20	11.30	16.30	26.30	14.10	7.60	26.30
1968	3.30	13.80	10.60	26.80	7.60	20.20	15.00	7.20	15.90	22.90	34.80	4.60	34.80
1969	10.80	8.60	2.10	33.80	13.50	10.60	6.00	7.80	13.50	34.60	12.90	12.90	34.60
1970	11.30	13.00	12.60	7.70	22.90	9.00	13.30	5.70	27.70	32.50	30.50	6.80	32.50
1971	21.60	37.00	20.20	25.60	58.70	25.50	14.30	5.80	18.50	17.40	13.80	11.50	58.70
1972	30.20	16.00	11.20	20.10	16.80	16.50	9.20	8.30	3.90	16.30	30.00	8.00	30.20
1973		3.20	4.70	22.90	39.30	13.30	11.70	20.00	16.00	15.50	36.10	19.00	39.30

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	AgO	Sep	Oct	Nov	Dic	Máx
1974	8.80	22.00	16.40	21.40	41.80	7.00	13.40	6.10	14.50	17.40	23.80	15.40	41.80
1975	1.00	19.60	17.20	21.50	37.50	23.00	11.40	46.00	14.80	24.80	20.30	19.30	46.00
1976	7.20	5.80	23.90	13.10	26.20	20.80	14.80	8.20	12.90	18.00	15.90	33.00	33.00
1977	0.20	4.70	16.60	26.50	9.50	11.30	12.00	10.20	17.00	14.80	28.20	10.50	28.20
1978	3.40	13.00	12.60	13.10	18.90	7.60	11.50	6.80	20.40	16.00	16.80	12.00	20.40
1979	12.50	6.60	11.30	31.10	26.70	18.00	23.90	23.80	28.80	30.20	27.90	9.70	31.10
1980	1.60	21.40	6.20	26.10	6.20	24.40	5.20	13.70	14.40	19.30	32.40	15.60	32.40
1981	0.30	5.60	10.40	26.50	31.00	21.90	3.80	18.30	21.10	17.70	32.60	14.60	32.60
1982	39.60	22.60	17.10	38.50	18.30	8.90	11.20	9.70	26.00	29.00	16.90	8.10	39.60
1983	1.20	12.70	23.20	29.60	18.70	5.00	26.80	12.10	18.60	27.80	16.50	13.20	29.60
1984	14.40	25.80	7.70	17.40	13.30	16.30	9.20	22.80	20.30	26.90	23.80	3.00	26.90
1985	3.50	2.20	11.00	16.50	59.50	13.60	8.60	13.80	18.20	23.40	11.60	9.00	59.50
1986	5.20	21.70	11.50	28.20	27.50	9.80	9.40	6.00	16.80	18.20	26.40	4.20	28.20
1987	5.80	12.30	10.80	20.80	25.20	3.60	21.70	8.60	5.40	20.00	1.40		25.20
1988		8.40	4.20	13.20	14.40	11.60		8.00	10.00	37.00	19.00	17.50	37.00
1989	2.20	11.20	19.60	14.70	12.90	17.40	9.00	9.80	12.40	15.20	19.50	18.50	19.60
1990	8.70	21.00	29.20	27.20	48.00	12.60	16.50	11.00	7.50	27.80	17.30	24.60	48.00
1991	12.60	11.20	27.80	18.00	26.20	9.80	12.90	17.40	11.00	22.80	33.20	16.80	33.20
1992	15.50	5.50	7.80	15.20	10.50	4.20	5.00	18.70	15.50	3.60	17.00	14.40	18.70
1993	22.60	10.00		27.60	17.20	10.00	17.50	8.60	14.30	15.20	31.20	3.20	31.20
1994	24.20	12.20	17.00	21.50	16.80	16.60	17.00	15.20	18.60	25.20	20.40	2.50	25.20
1995	0.00	2.80	24.00	20.00	21.40	15.20	13.40	10.40	6.60		17.00	31.50	31.50

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	AgO	Sep	Oct	Nov	Dic	Máx
1996			22.80	24.20	42.20			12.20	16.80	25.20	11.00	12.00	42.20
1997	13.00	25.00	12.00		17.10	21.20	12.20	7.00	18.00		8.50	0.90	25.00
1998	0.00	6.40	18.00	14.50	46.20	24.00	15.50	17.50	14.90	16.60	10.00	10.30	46.20
1999	7.60	23.50	28.00	14.20	20.40	10.00	6.20	19.10		26.20	19.50	11.00	28.00
2000	20.00	27.00	24.40	10.20	18.00	32.20	15.00	21.80	20.00	27.50	13.00	16.80	32.20
2001	3.00	17.00	29.70	7.50	16.00	24.20	7.80	2.50	20.00	7.00	15.50	25.00	29.70
2002	6.00	6.00	12.00	23.50	17.70	27.50	13.00	7.20	28.50	24.20	17.20	14.20	28.50
2003	10.50	16.40	12.20	31.20	6.20	13.50	8.00	5.00	12.00	26.50		13.00	31.20
2004	3.00	15.50	15.60	39.00	27.40	22.30	10.00	7.60	35.00	38.00	22.00	15.50	39.00
2005	3.50	23.50		13.40		17.50	5.50	12.20	24.00	24.00	10.40	19.00	
MAX	39.60	37.00	36.50	39.00	59.50	32.20	26.80	46.00	35.00	41.70	65.00	33.00	

POMCA del río Bogotá

Tabla 129. Datos de Precipitación máxima en 24 horas de la estación La Unión para un periodo de (1985 – 2015) – POMCA del río Bogotá

Año	Ene	Feb	Mar	Abr.	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Máx
1985			*	20.5	27.5	11.9	10.9	11.3	27.7	16.3	19.6	30	30
1986	18.2	23	12.5	17.2	20.3	30.5	24.2	13.3	11	25.4	26.6	2.2	30.5
1987	14	12.3	32	36.8	30.7	4.9	10	3.8	27.2	30.6	8.4	3.6	36.8
1988	6.9	12.5	3.4	19.2	9.5	31.9	15.8	26.9	14.5	24.1	27.3	14.6	31.9
1989	11	13.3	14.7	8.8	32.6	19.1	5.1	13.9	21.7	13.9	13.2	35.6	35.6
1990	6.1	13.2	11	8.1	19.3	8.6	24.1	6.1	5.3	14.2	15.4	24.4	24.4
1991	14.4	4.9	27.1	27.6	21.6	15.6	7.3	9.4	23.5	22.3	20.4	34.6	34.6
1992	2.8	12.5	5.3	6.4	13.6	1.7	7.6	6.8	11	8.3	16.7	10.4	16.7
1993	23	16	9.7	28.3	24	3.4	8.7	5.9	32.1	17.3	24.9	3.2	32.1
1994	18.9	26	21.9	15.2	22.1	12.1	11.9	4	16.2	22.5	24	2	26
1995	12.1	8.2	15.6	22.9	30	15.6	8.1	16.8	9.4	14.6	13.1	19.5	30
1996	15.9	19.7	21	18.5	25	15.6	16.7	12.1	24.4	17.6	9.5	6.5	25
1997	16.7	3.7	14.9	12.2	11.5	15	2.8	3.3	9.6	17.7	11	1.6	17.7
1998	1.6	8.7	12.1	9.9	28.6	15.1	13.7	26	9.2	19	21.7	18.7	28.6
1999	9.7	25.9	17.1	18.5	13.7	12.8	7.5	13.6	12.7	11.2	19.1	20.3	25.9
2000	11.5	29.3	27.1	9.7	14.2	20.3	9.9	14.8	25.6	7.8	14.8	9.8	29.3
2001	1.5	16.1	18.3	2.5	19.1	28.2	3.9	2.4	22.5	16.5	13.4	35.2	

Año	Ene	Feb	Mar	Abr.	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Máx
2002	11.3	9.6	15	27.9	14.2	21.5	6.5	4.9	20.4	11.5	22.5	15.2	27.9
2003	7.1	9.5	7.8	28.1	4.4	10.6	15.2	13.1	36.8	25.4	12.3	7	36.8
2004	12.2	17.5	37.1	22	31.2	5.1	7	1.7	14.2	18.2	13.2	8.2	37.1
2005	4.3	11.7	11.4	17.6	23.7	16.5	8.9	13.7	4.2	12.5	12.5	2.4	23.7
2006	7.9	0.8	13.7	15.6	18.4	13.7	9.9	16.2	5.2	10.4	8.1	7.5	18.4
2007	2	0.2	5.4	7.7	7.9	10.6	4.7	10.7	1.4	6.9	5.7	4.9	10.7
2008	8.7	7.3	12.5	22.7	12.7	5.7		7.4	2.7	27.7	15.2	9.3	27.7
2009	2.9	6.9	6.7	8.2	4.7	12.3	4.9	3.7	9.3	7.2	20.2	5.6	20.2
2010	0.7	7.9	5.7	14.3	10.4	5.9	104.5	60.1	8.5	17.3	23	17.1	104.5
2011	12	22	20	39	29.8	21	13.6	24.5	14	43.5	28.5	9.2	43.5
2012	2.2	9.3	18	8.6	11	12	12.8	9.6	8	8.5	6.5	7.2	18
2013	8.6	14.5	16	24	18.6	9.6	8.6	12.7	8.6	13.6	16.8	11.8	24
2014	12.6	14.8	15.6	9.6	13.8	13	6.8	12.8	13.5	19.6	21.2	22.4	22.4
2015	18.6	19.2	22.4	18.6	12.8	14.6	12	13.6	12				22.4
MAX	23	29.3	37.1	39	32.6	31.9	104.5	60.1	36.8	43.5	28.5	35.6	

Fuente: POMCA río Bogotá

Tabla 130. Datos de Precipitación máxima en 24 horas de la estación El Mua para un periodo de (1967 – 2002) – POMCA del río Bogotá

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Máx
1967	16.00	22.00	18.00	14.00	15.00	15.00	7.00	5.00	6.00	46.00	19.00	15.00	46.00
1968	4.00	11.00	18.00	23.00	8.00	11.00	5.00	3.00	26.00	19.00	12.00	5.00	26.00
1969	8.00	5.00	4.00	42.00	12.00	13.00	3.00	7.00	20.00	33.00	13.00	8.00	42.00
1970	17.00	9.00	3.00	7.00	20.00	6.00	9.00	5.00	30.00	18.00	10.00	16.00	30.00
1971	15.00	18.00	42.00	25.00	18.00	23.00	7.00	8.00	14.00	28.00	13.00	15.00	42.00
1972	19.00	7.00	19.00	17.00	14.00	32.00	14.00	4.00	2.00	15.00	31.00	13.00	32.00
1973	3.00	3.00	22.00	11.00	23.00	10.00	11.00	26.00	30.00	23.00	18.00	10.00	30.00
1974	14.00	9.00	9.00	15.00	30.00	6.00	3.00	7.00	11.00	15.00	18.00	8.00	30.00
1975	14.00	24.00	17.00	10.00	16.00	13.00	14.00	13.00	20.00	12.00	17.00	13.00	24.00
1976	9.00	8.00	18.00	11.00	29.00	15.00	2.00	7.00	18.00	13.00	15.00	13.00	29.00
1977	9.00	1.00	17.00	12.00	9.00	9.00	9.00	13.00	12.00	29.00	10.00	5.00	29.00

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Máx
1978	0.00	5.00	14.00	11.00	30.00	10.00	8.00	6.00	9.00	9.00	13.00	17.00	30.00
1979	10.00	12.00	17.00	20.00	37.00	15.00	17.00	39.00	10.00	19.00	18.00	16.00	39.00
1980	2.00	9.00	3.00	13.00	10.00	13.00	3.00	6.00	5.00	16.00	43.00	9.00	43.00
1981	1.00	2.00	10.00	26.00	31.00	11.00	3.00	31.00	10.00	29.00	21.00	4.00	31.00
1982	16.00	18.00	15.00	34.00	25.00	3.00	7.00	3.00	10.00	30.00	9.00	9.00	34.00
1983	3.00	6.00	9.00	24.00	14.00	4.00	10.00	8.00	11.00	14.00	9.00	3.00	24.00
1984	9.00	16.00	23.00	9.00	8.00	10.00	8.00	8.00	13.00	10.00	10.00	9.00	23.00
1985	3.00	8.00	6.00	9.00	7.00	9.00	3.00	8.00	16.00	10.00	10.00	2.00	16.00
1986	6.00	15.00	22.00	15.00	36.00	35.00	7.00	4.00	23.00	10.00	18.00	9.00	36.00
1988	0.00												
1991	1.00	0.00	28.00	25.00	17.00	4.00	8.00	9.00	16.00	9.00	17.00	34.00	34.00
1992	13.00	11.00	7.00	16.00	8.00	4.00	3.00	10.00	18.00	50.00	16.00	16.00	50.00
1993	28.00	23.00	12.00	16.00	34.00	3.00	7.00	4.00	12.00	12.00	17.00	5.00	34.00
1994	12.00	13.00	25.00	15.00	14.00	10.00	8.00	6.00	11.00	37.00	46.00	2.00	46.00
1995	1.00	4.00	11.00	29.00	39.00	8.00	6.00	10.00	16.00	7.00	18.00	22.00	39.00
1996	9.00	23.00	24.00	19.00	24.00	12.00	18.00	7.00	14.00	7.00	7.00	8.00	24.00
1997	10.00	4.00	12.00	22.00	9.00	17.00	3.00	5.00	11.00	10.00	13.00	1.00	22.00
1998	0.00	10.00	44.00	20.00	26.00	7.00	10.00	11.00	13.00	16.00	24.00	10.00	44.00
1999	12.00	11.00	21.00	16.00	24.00	33.00	5.00	11.00	9.00	16.00	22.00	17.00	33.00
2000	12.00	44.00	20.00	7.00	14.00	18.00	34.00	18.00	15.00	18.00	20.00	15.00	44.00
2001	28.00	2.00	23.00	9.00	24.00	18.00	7.00	0.00	22.00	14.00	18.00	28.00	28.00
2002	0.00	9.00	14.00	26.00	21.00	28.00	3.00	7.00	21.00	13.00	12.00	19.00	28.00

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Máx
MAX	28.00	44.00	44.00	42.00	39.00	35.00	34.00	39.00	30.00	50.00	46.00	34.00	50

Fuente: (CAR, 2019)

Tabla 131. Datos de Precipitación máxima en 24 horas de la estación GJA San Jorge para un periodo de (1961 – 2005) – POMCA del río Bogotá

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Máx
1961	9.00	6.00	18.00	20.40	16.20	24.00	14.30	14.50	8.30	41.70	24.20	14.70	41.70
1962	22.90	2.00	36.50	31.20	21.00	16.50	9.80	11.00	7.20	20.80	23.50	6.30	36.50
1963	2.40	16.40	9.80	15.50	26.30	20.30	2.80	6.70	12.50	12.50	30.70	6.50	30.70
1965	10.50	20.50	18.50	26.50	33.50	10.50	8.80	10.50	2.50	19.50	39.70	6.00	39.70
1966	0.00	30.50	20.50	8.50	12.50	25.30	15.50	20.50	15.30	10.30	65.00	19.30	65.00
1967	7.70	17.70	20.20	16.70	23.70	13.90	13.20	11.30	16.30	26.30	14.10	7.60	26.30
1968	3.30	13.80	10.60	26.80	7.60	20.20	15.00	7.20	15.90	22.90	34.80	4.60	34.80
1969	10.80	8.60	2.10	33.80	13.50	10.60	6.00	7.80	13.50	34.60	12.90	12.90	34.60
1970	11.30	13.00	12.60	7.70	22.90	9.00	13.30	5.70	27.70	32.50	30.50	6.80	32.50
1971	21.60	37.00	20.20	25.60	58.70	25.50	14.30	5.80	18.50	17.40	13.80	11.50	58.70
1972	30.20	16.00	11.20	20.10	16.80	16.50	9.20	8.30	3.90	16.30	30.00	8.00	30.20
1973		3.20	4.70	22.90	39.30	13.30	11.70	20.00	16.00	15.50	36.10	19.00	39.30
1974	8.80	22.00	16.40	21.40	41.80	7.00	13.40	6.10	14.50	17.40	23.80	15.40	41.80
1975	1.00	19.60	17.20	21.50	37.50	23.00	11.40	46.00	14.80	24.80	20.30	19.30	46.00
1976	7.20	5.80	23.90	13.10	26.20	20.80	14.80	8.20	12.90	18.00	15.90	33.00	33.00

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Máx
1977	0.20	4.70	16.60	26.50	9.50	11.30	12.00	10.20	17.00	14.80	28.20	10.50	28.20
1978	3.40	13.00	12.60	13.10	18.90	7.60	11.50	6.80	20.40	16.00	16.80	12.00	20.40
1979	12.50	6.60	11.30	31.10	26.70	18.00	23.90	23.80	28.80	30.20	27.90	9.70	31.10
1980	1.60	21.40	6.20	26.10	6.20	24.40	5.20	13.70	14.40	19.30	32.40	15.60	32.40
1981	0.30	5.60	10.40	26.50	31.00	21.90	3.80	18.30	21.10	17.70	32.60	14.60	32.60
1982	39.60	22.60	17.10	38.50	18.30	8.90	11.20	9.70	26.00	29.00	16.90	8.10	39.60
1983	1.20	12.70	23.20	29.60	18.70	5.00	26.80	12.10	18.60	27.80	16.50	13.20	29.60
1984	14.40	25.80	7.70	17.40	13.30	16.30	9.20	22.80	20.30	26.90	23.80	3.00	26.90
1985	3.50	2.20	11.00	16.50	59.50	13.60	8.60	13.80	18.20	23.40	11.60	9.00	59.50
1986	5.20	21.70	11.50	28.20	27.50	9.80	9.40	6.00	16.80	18.20	26.40	4.20	28.20
1987	5.80	12.30	10.80	20.80	25.20	3.60	21.70	8.60	5.40	20.00	1.40		25.20
1988		8.40	4.20	13.20	14.40	11.60		8.00	10.00	37.00	19.00	17.50	37.00
1989	2.20	11.20	19.60	14.70	12.90	17.40	9.00	9.80	12.40	15.20	19.50	18.50	19.60
1990	8.70	21.00	29.20	27.20	48.00	12.60	16.50	11.00	7.50	27.80	17.30	24.60	48.00
1991	12.60	11.20	27.80	18.00	26.20	9.80	12.90	17.40	11.00	22.80	33.20	16.80	33.20
1992	15.50	5.50	7.80	15.20	10.50	4.20	5.00	18.70	15.50	3.60	17.00	14.40	18.70
1993	22.60	10.00		27.60	17.20	10.00	17.50	8.60	14.30	15.20	31.20	3.20	31.20
1994	24.20	12.20	17.00	21.50	16.80	16.60	17.00	15.20	18.60	25.20	20.40	2.50	25.20
1995	0.00	2.80	24.00	20.00	21.40	15.20	13.40	10.40	6.60		17.00	31.50	31.50

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Máx
1996			22.80	24.20	42.20			12.20	16.80	25.20	11.00	12.00	42.20
1997	13.00	25.00	12.00		17.10	21.20	12.20	7.00	18.00		8.50	0.90	25.00
1998	0.00	6.40	18.00	14.50	46.20	24.00	15.50	17.50	14.90	16.60	10.00	10.30	46.20
1999	7.60	23.50	28.00	14.20	20.40	10.00	6.20	19.10		26.20	19.50	11.00	28.00
2000	20.00	27.00	24.40	10.20	18.00	32.20	15.00	21.80	20.00	27.50	13.00	16.80	32.20
2001	3.00	17.00	29.70	7.50	16.00	24.20	7.80	2.50	20.00	7.00	15.50	25.00	29.70
2002	6.00	6.00	12.00	23.50	17.70	27.50	13.00	7.20	28.50	24.20	17.20	14.20	28.50
2003	10.50	16.40	12.20	31.20	6.20	13.50	8.00	5.00	12.00	26.50		13.00	31.20
2004	3.00	15.50	15.60	39.00	27.40	22.30	10.00	7.60	35.00	38.00	22.00	15.50	39.00
2005	3.50	23.50		13.40		17.50	5.50	12.20	24.00	24.00	10.40	19.00	
MAX	39.60	37.00	36.50	39.00	59.50	32.20	26.80	46.00	35.00	41.70	65.00	33.00	65

Fuente: (CAR, 2019)

Tabla 132. Datos de Precipitación máxima en 24 horas de la estación Pasquilla para un periodo de (1982 – 2015) – POMCA del río Bogotá

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Máx
1982	11.00	12.00	7.00	21.00	23.00	5.00	11.00	8.00	15.00	20.00	12.10	12.40	23.00
1983	10.00	7.20	9.80	26.10	18.70	16.20	14.20	13.40	21.30	12.40	13.40	15.50	26.10
1984	6.60	40.50	6.30	18.30	13.10	18.20	28.10	12.30	39.90	27.60	44.50	9.30	44.50
1985		9.10	9.60	30.10	65.00	27.00	10.50	20.70	20.20	10.90	22.30	*	65.00
1986	8.80	31.20	12.80	3.20	14.90	12.80	10.40	7.00	5.00	2.10	2.80	9.10	31.20
1987	5.70	12.90	16.20	17.00	9.80	6.50	30.20	9.80	8.30	9.80	9.40	6.80	30.20

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Máx
1988	5.80	11.60	5.20	19.30	10.50	11.20	12.00	12.50	9.00	14.40	28.70	6.00	28.70
1989	4.50	18.60								8.60		24.00	
1990	11.00	14.00	20.00	14.00	18.00	17.00	9.00	16.00	10.00	15.00	14.00	18.00	20.00
1991	0.00	7.00	20.00	22.00	20.00	11.00	16.00	19.00	10.00	5.00	17.00	11.00	22.00
1992	10.00	9.00	15.00	17.00	7.00	6.00	9.00	11.00	20.00	9.00	18.00	6.00	20.00
1993	4.00	9.00	19.00	17.00	17.00	14.00	16.00	10.00	20.00	11.00	17.00	3.00	20.00
1994	21.00	5.00	18.00	12.00	29.00	15.00	21.10	14.00	9.70	16.30	11.00	4.50	29.00
1995	0.00	8.90	4.60	13.30	24.50	10.40	7.10	29.30	6.60	8.80	10.00	30.50	30.50
1996	16.50	14.00	20.50	14.50	32.70	9.70	17.00	8.60	26.20	21.80	14.90	17.20	32.70
1997	14.90	5.70	32.20	13.50	12.20	9.80	22.00	11.40	13.10	16.20	14.00	2.20	32.20
1998	7.40	7.50	25.50	10.20	38.50	16.50	15.70	20.20	8.50	18.50	26.50	20.60	38.50
1999	11.10	23.80	23.00	11.00	15.50	15.70	4.30	31.10	17.20	17.90	20.50	3.50	31.10
2000	5.70	11.50	25.70	17.00	13.70	13.50	10.80	16.40	20.10	12.70	14.90	11.70	25.70
2001	0.00	14.70	17.60	6.30	21.70	10.00	12.10	10.30	14.80	6.50	15.20	23.20	23.20
2002	3.40	3.60	7.80	26.50	27.50	32.80	10.30	12.70	26.50	20.90	16.90	10.50	32.80
2003	2.40	11.50	10.20	23.80	11.50	17.30	12.00	16.90	20.30	20.30	28.50	28.80	28.80
2004	2.00	10.40	8.50	19.20	26.60	14.20	11.40	12.70	18.30	29.30	12.90	5.10	29.30
2005	2.40	12.30	5.00	10.30	35.80	12.00	13.10	7.00	10.70	29.80	10.40	1.80	35.80
2006	7.80	7.70	15.20	19.70	21.70	19.80	4.50	9.70	9.50	25.80	30.20	1.70	30.20
2007	0.30	13.40	11.50	14.20	10.50	15.70					22.90	6.20	22.90
2008	5.90	4.50	11.80	22.60	32.90	*		15.00	11.50	26.50	14.60	17.60	32.90
2009	14.50	11.70	10.20	24.50	21.90	19.60	24.60	8.60	9.80	22.10	16.80	6.50	24.60

Año	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Máx
2010	1.00	16.10	14.60	19.70	21.70	22.70	20.70	7.30	13.20	23.00	32.10	22.60	32.10
2011	9.00	31.00	22.80	21.80	20.90	12.40	11.20	7.00	12.00	38.70	20.70	18.90	38.70
2012	2.70	8.60	12.80	25.70	20.60	7.30	13.90	7.10	10.90	26.80	9.80	12.50	26.80
2013	14.00	24.50	12.60	24.70	15.10	9.20	20.10	35.70	11.50	10.30	24.80		35.70
2014		16.70	8.20	12.30	17.50	21.50	12.60	8.90	4.20	14.70	11.50	7.70	21.50
2015	7.90	20.40	15.60	22.00	10.70	10.60	9.20	7.80	13.30	7.20	12.30		22.00
MAX	21.00	40.50	32.20	30.10	65.00	32.80	30.20	35.70	39.90	38.70	44.50	30.50	65

Fuente: (CAR, 2019)

3.9.2.2. HIDROLOGÍA

El análisis hidrológico contempla el cálculo de los parámetros que influyen directamente en la modelación e interpretación de los resultados, parámetros como caudal, precipitación, morfometría, pendiente, clima, uso del suelo, coeficiente de escorrentía, entre otros, son la base del modelo. A partir de dicha información se estiman los caudales máximos y caudal de diseño para cada escenario (periodo de retorno). La información utilizada para realizar la caracterización hidrológica de los cauces seleccionados corresponde a información hidrológica tomada del POMCA del río Bogotá

Para los cauces seleccionados se obtuvieron los hidrogramas sintéticos utilizando el método desarrollado por el Soil Conservation Service – SCS (1972).

En el caso de estos drenajes analizados en el área de estudio se utilizó la metodología computacional de HEC HMS - Modelo continuo de simulación hidrológica que utiliza parámetros para obtener el hidrograma de creciente en el punto de interés, del cual se extrae el caudal pico para determinado periodo de retorno (IDEAM, 2017). Para el cálculo del hidrograma y la estimación de las crecientes máximas es necesario conocer la escorrentía que produce una determinada tormenta. Las estimaciones de la escorrentía a partir de la precipitación pueden realizarse de varias formas, pero básicamente todos los métodos tratan de descontar de la lluvia caída sobre una cuenca, todas aquellas pérdidas que son debidas a factores como la infiltración, la evapotranspiración, etc. Sin embargo, el método más generalizado y quizá el más flexible es el método del número de curva CN del "Soil Conservation Service", este método es fácil de adaptar a nuestras condiciones pues toma en cuenta la cobertura del suelo, la pendiente, el porcentaje de área impermeable, el tipo de suelo, etc.

3.9.2.2.1. NÚMERO DE CURVA

El Número de Curva (CN) es un parámetro empírico que se calcula con el método desarrollado por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS), con el objetivo de determinar la retención potencial máxima del suelo en una cuenca y toma en cuenta los valores de humedad antecedente del suelo (seco, normal y húmedo) determinada a partir de la precipitación total en los 5 días previos. Todos estos factores tienen un comportamiento directo sobre la cantidad de escorrentía producida por una cuenca hidrográfica (Monserrrat, Rodríguez, & Estrella, 1995).

Para la determinación del Número de Curva se debe tener en cuenta el grupo hidrológico, el cual se encuentra en función de las unidades geológicas superficiales con propiedades de drenaje. De acuerdo con Monserrrat, Rodríguez, & Estrella, (1995) el SCS establece cuatro grupos hidrológicos A, B, C y D

Grupo A (Bajo potencial de escorrentía). En ellos el agua se infiltra rápidamente, aun cuando estén muy húmedos. Profundos y de texturas gruesas (arenosas o areno-limosas), están excesivamente drenados. Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión del agua.

Grupo B: (Moderadamente bajo potencial de escorrentía). Cuando están muy húmedos tienen una capacidad de infiltración moderada. La profundidad de suelo es de media a profunda y su textura es franco-arenosa, franca, francoarcillosa o franco-limosa. Están bien o moderadamente drenados. Son suelos con transmisión del agua moderada.

Grupo C: (Moderadamente alto potencial de escorrentía). Cuando están muy húmedos la infiltración es lenta. La profundidad de suelo es inferior a la media y su textura es franco-arcillosa, francoarcillo - limosa o arcillo-arenosa. Esos suelos pueden ser pobremente drenados o bien a moderadamente bien drenados, con estratos de permeabilidad lenta a muy lenta a poca profundidad (50-100 cm).

Grupo D: (Alto potencial de escorrentía). Cuando están muy húmedos la infiltración es muy lenta. Tienen horizontes de arcilla en la superficie o próximos a ella y están pobremente o muy pobremente drenados. También se incluyen aquí los terrenos con nivel freático permanentemente alto y suelos de poco espesor (litosuelos). Estos suelos tienen una tasa de transmisión de agua muy lenta.

Para el área de estudio se calcularon los Número de Curva (CN), a partir de la metodología basada en Sistemas de Información Geográfica (SIG), los cuales permiten trabajar con datos de diversa índole que se den en una misma localización geográfica. La generación del mapa de Número de Curva se realiza mediante la aplicación de tablas de reclasificación y operaciones de superposición

de las distintas capas de información de las que depende (Ferrér, Rodríguez, & Estrela, 1995). El Número de Curva se obtuvo del POMCA del Río Bogotá, en la Tabla 32 se presenta en Número de Curva, para cada cauce.

Tabla 133. Número de curva para los cauces seleccionados en el área de estudio.

Cuenca	CN
Quebrada_01	88
Quebrada_01.1	88
Quebrada_01.2	88
Quebrada_01.3	88
Quebrada_02	88
Quebrada_03	88
Quebrada_04	88
Quebrada_05	89
Quebrada_06	90
Quebrada_07	88
Quebrada_08	87
Quebrada_09	88
Quebrada_10	89
Quebrada_11	89
Rio_Soacha	82

Fuente: POMCA río Bogotá

3.9.2.2.2. PARÁMETROS MORFOMÉTRICOS

Las características físicas de la cuenca tienen una relación estrecha con el comportamiento de los caudales que transitan por ella. Los parámetros morfométricos de una cuenca integran un conjunto de estimaciones realizadas, en la mayoría de los casos, al iniciar un estudio hidrológico, con fines de aprovechamiento o control (Cardona, 2016)

a. Longitud del cauce principal

Se define como la distancia media que el agua debería escurrir sobre la cuenca para llegar a un cauce (Cahuana & Weimar, 2009). También se puede definir como la longitud del cuerpo de agua que le da nombre a la cuenca de estudio, en este parámetro se tienen en cuenta la sinuosidad del cauce; este parámetro se expresa normalmente en kilómetros.

b. Pendiente media del cauce principal

La pendiente de un tramo del río es la relación que existe entre los extremos inicial y final y la distancia horizontal de dicho tramo.

De acuerdo con el criterio de Taylor y Schwarz, se considera que el río puede estar formado por una serie de tramos de igual longitud y bien por tramos de longitud variable (Breña Puyol & Jacobo, 2006). La pendiente media, se puede calcular mediante la siguiente formula:

Donde

$$s = \left\{ \sum \frac{Li}{\left(\frac{1}{\sqrt{Si}}\right)} \right\}^2$$

$s =$ Pendiente media del cauce principal (m/m)

$Li =$ Longitud del tramo en (m) entre las curvas de nivel

$Si =$ Pendiente media del tramo (m/m)

c. Área de la cuenca

Es la medida de la superficie de la cuenca, encerrada por la divisoria topográfica. Una cuenca puede catalogarse como: grande, media o pequeña de acuerdo con la extensión de su área y puede considerarse como un criterio de magnitud del caudal (IDEAM, 2007)

d. Tiempo de Concentración o tiempo de respuesta

El tiempo requerido para que, durante un aguacero uniforme, ise alcance el estado estacionario; es decir, el tiempo necesario para que todo el sistema (toda la cuenca) contribuya eficazmente a la generación de flujo en el sitio de desagüe (Vélez & Botero, 2011). Es el tiempo que tarda en llegar una gota de lluvia desde el punto más alejado de la cuenca hasta la salida de esta, o más estrictamente, desde el punto donde la gota, circulando superficialmente, tarda más en llegar a la salida. Es pues, también, el tiempo desde el final de la lluvia neta hasta el final de la curva de descenso o inicio de la curva de agotamiento (Escuder, y otros, 2009). Además, debe tenerse claro que el tiempo de concentración de una cuenca no es constante ya que depende ligeramente de las características de la lluvia (Vélez & Botero, 2011).

A continuación, se presenta las ecuaciones que se utilizaran el presente estudio:

- **Método Passini**

$$T_C = 0.108 * A^{0.333} * L^{0.5} * S^{-0.5}$$

Donde:

A: Área de la cuenca (Km^2)

T_C: Tiempo de concentración (h)

L: Longitud del cauce (Km)

S: Pendiente promedio de cauce $(^m/_m)$

- **Método Temez**

$$T_c = 0.3 * \left[\frac{L}{S^{0.25}}\right]^{0.76}$$

Donde:

T_C: Tiempo de concentración (h)

L: Longitud del cauce (Km)

S: Pendiente promedio de cauce $(^m/_m)$

- **Método Bransby-Williams**

$$T_c = 14.6 * \frac{L}{A^{0.1} * S^{0.2}}$$

Donde:

T_C: Tiempo de concentración (min)

L: Longitud del cauce (Km)

S: Pendiente promedio de cauce $(^m/_m)$

A: Área de la cuenca (Km^2)

- **Método SCS**

$$T_c = \frac{100{L_P}^{0.8} * \left(\left({}^{100}/_{CN}\right) - 9\right)^{0.7}}{1900 * S_0^{0.5}}$$

Donde:

T_C: Tiempo de concentración (min)

L_P: Longitud del cauce $(pies)$

S_0: Pendiente media del cauce $(\%)$

CN: Número de curva del método SCS, adimensional

- **Método Kirpich**

$$T_C = 3.98\left(\frac{L^{0.5}}{S}\right)^{0.77}$$

Donde:

T_C: Tiempo de concentración (h)

L: Longitud del cauce principal (Km)

S: Pendiente promedio de cauce $({}^{m}/_{m})$

- **Método California C P**

$$T_C = 60\left[\frac{0.87075 * L^3}{H}\right]^{0.385}$$

- **Método Clark**

$$T_C = 0.335\left(\frac{A}{S^{0.5}}\right)^{0.593}$$

e. Tiempo de Retardo

El Tiempo de retardo o rezago es el tiempo transcurrido entre el centroide del hietograma y el centroide del hidrograma de escorrentía. También se encuentra definido en la literatura que el tiempo de rezago es el tiempo transcurrido entre el centroide del hietograma y el caudal de punta (Vélez & Botero, 2011). De acuerdo con Vélez & Botero, (2011) para el tiempo de retardo se encuentra en la literatura la relación propuesta por el "Soil Conservation Service" SCS, quien propone que es 0.6 veces el tiempo de concentración y los autores comprobaron en un artículo que la propuesta del SCS es válida para cuencas de media montaña típica de la zona andina colombiana.

El tiempo de concentración y el tiempo de retardo son variables utilizadas extensivamente en el diseño hidrológico para determinar la capacidad hidráulica máxima de las diferentes estructuras; se trata de variables que son propias de cada sitio y que dependen de las características geomorfológicas de la cuenca y de la lluvia (Vélez & Botero, 2011). En las siguientes tablas se puede observar los parámetros morfométricos para los cauces seleccionados.

Tabla 134. Parámetros morfométricos para los cauces seleccionados en el suelo urbano de Soacha

Cuenca	Área (km²)	Perímetro (km)	Longitud cauce principal (km)	Pendiente cauce principal (m/m)	Índice de compacidad Kc	Forma	Factor de forma Kf
Quebrada_01	1.73	7.02	1.85	0.10	1.51	Oval - Redonda a oval oblonga	0.51
Quebrada_01.1	0.48	3.60	1.23	0.11	1.46	Oval - Redonda a oval oblonga	0.32
Quebrada_01.2	0.43	3.40	1.05	0.14	1.46	Oval - Redonda a oval oblonga	0.39
Quebrada_01.3	0.23	2.30	0.64	0.15	1.34	Oval - Redonda a oval oblonga	0.56
Quebrada_02	0.21	2.70	1.03	0.21	1.65	Oval - oblonga a rectangular oblonga	0.20

Cuenca	Área (km²)	Perímetro (km)	Longitud cauce principal (km)	Pendiente cauce principal (m/m)	Índice de compacidad Kc	Forma	Factor de forma Kf
Quebrada_03	0.24	2.92	1.16	0.23	1.67	Oval - oblonga a rectangular oblonga	0.18
Quebrada_04	0.45	3.11	1.06	0.17	1.31	Oval - Redonda a oval oblonga	0.40
Quebrada_05	0.12	1.85	0.30	0.28	1.50	Oval - Redonda a oval oblonga	1.40
Quebrada_06	0.13	1.99	0.45	0.28	1.57	Oval - oblonga a rectangular oblonga	0.63
Quebrada_07	0.17	2.14	0.80	0.27	1.48	Oval - Redonda a oval oblonga	0.26
Quebrada_08	0.12	1.83	0.72	0.30	1.52	Oval - oblonga a rectangular oblonga	0.22
Quebrada_09	0.16	1.93	0.63	0.16	1.36	Oval - Redonda a oval oblonga	0.41
Quebrada_10	0.66	5.61	1.99	0.11	1.94	Oval - oblonga a rectangular oblonga	0.17
Quebrada_11	4.32	11.43	3.90	0.08	1.55	Oval - oblonga a rectangular oblonga	0.28
Rio_Soacha	33.02	40.73	16.51	0.06	2.00	Oval - oblonga a rectangular oblonga	0.12

Fuente: Siglo XXII SAS

Tabla 135. Parámetros morfométricos del Río Bogotá, 3 Drenajes innominados del CPR Chacua -Cabrera y 1 Drenaje innominado del CPR El Charquito

Subcuencas	Río Bogotá	Drenaje innominado 1 – CPR Chacua - Cabrera	Drenaje innominado 2 -CPR Chacua - Cabrera	Drenaje innominado 3 – CPR Chacua - Cabrera	Drenaje innominado 1 -CPR El Charquito
Área (Km2)		0.23	0.53	0.71	4.37

Subcuencas	Río Bogotá	Drenaje innominado 1 – CPR Chacua - Cabrera	Drenaje innominado 2 -CPR Chacua - Cabrera	Drenaje innominado 3 – CPR Chacua - Cabrera	Drenaje innominado 1 -CPR El Charquito
Longitud del cauce principal (Km)	2.45	0.59	1.76	1.66	4.15
Pendiente media del cauce principal (m/m)	0.0469	0.18	0.17	0.14	0.05
Tiempo de retardo (horas)	0.614	0.13	0.27	0.23	0.94

Fuente: Siglo XXII SAS

Tabla 136. Parámetros morfométricos del Drenaje Innominado del centro poblado rural

Subcuencas	Drenaje innominado
Área (Km2)	0.54
Longitud del cauce principal (Km)	1.39
Pendiente media del cauce principal (m/m)	0.1150
Tiempo de retardo (horas)	0.276

Fuente: Siglo XXII SAS

3.9.2.2.3. CURVAS DE INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA

Las curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia permiten la estimación de volúmenes de drenaje superficial mediante modelos de lluvia - escorrentía en cuencas pequeñas donde no existe registro de caudal o ante la ausencia de una estación. Las curvas IDF son el resultado de unir los puntos representativos de la intensidad media en intervalos de diferente duración, y correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o periodo de retorno (Témez, 1978)

Para el presente estudio se determinará las curvas IDF mediante un análisis de frecuencia de lluvia, usando la distribución de valores extremos tipo I o Gumbel, donde para cada una de las duraciones seleccionadas, las profundidades de lluvias máximas anuales se extraen de los registros históricos de lluvias y luego se aplica en análisis de frecuencia a la información anual (Chow, 1994).

Esta función es invertible y la estimación de los cuantiles, para determinados periodos de retorno, está dada por la siguiente ecuación:

$$X_T = \mu + \alpha Y_T$$

Donde X_T es el cuantil estimado a partir de la función, Y_T es la variable reducida de la función, μ puede ser calculado a partir de la muestra de datos, en términos del Método de Momentos, mediante la ecuación μ= x □+0.5772α y α mediante α=√6/π*S, donde x □ es la media de los datos y S la desviación de estos.

Cuando no se dispone de registros limnimétricos y limnigráficos, como es el caso de la zona de estudio, se pueden hacer uso de ecuaciones que permitan estimar las curvas IDF a partir de información pluviométrica, lo que constituye una buena alternativa para aquellas zonas que disponen de registro de lluvias a nivel diario o totalizado de 24 horas. En las siguientes figuras se puede ver la curva IDF obtenidas para las estaciones trabajadas.

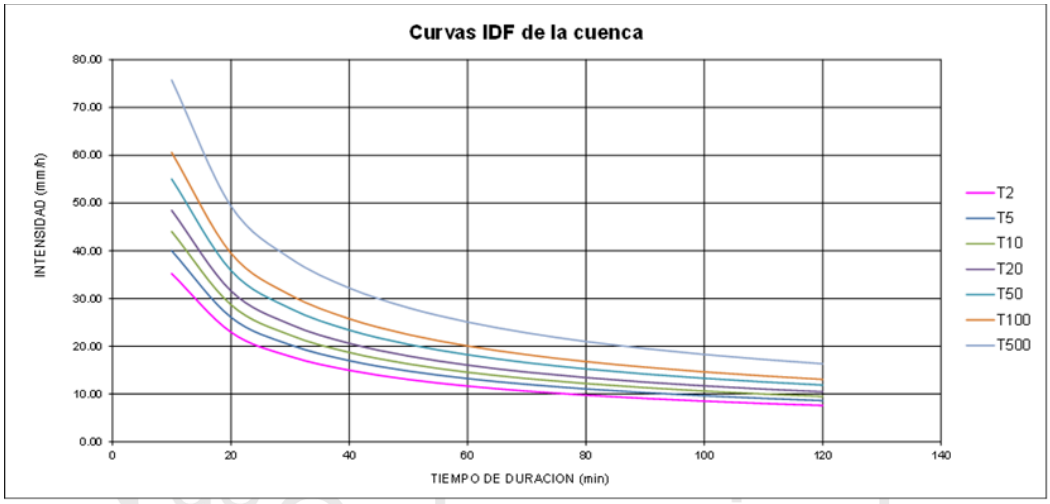


Figura 248. Curva IDF para la estación El Mua
Fuente: Siglo XXII SAS

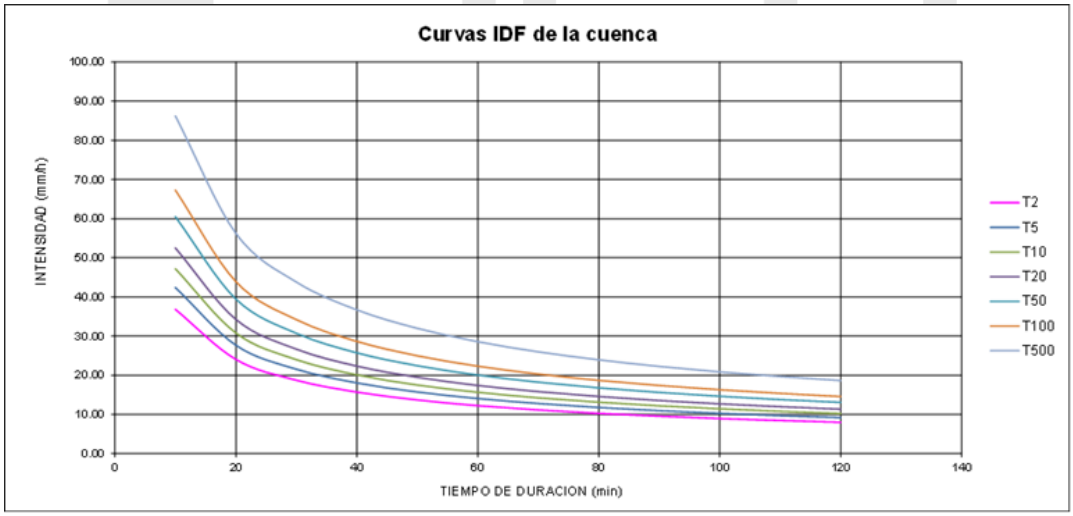


Figura 249. Curva IDF para la estación GJA San Jorge
Fuente: Siglo XXII SAS

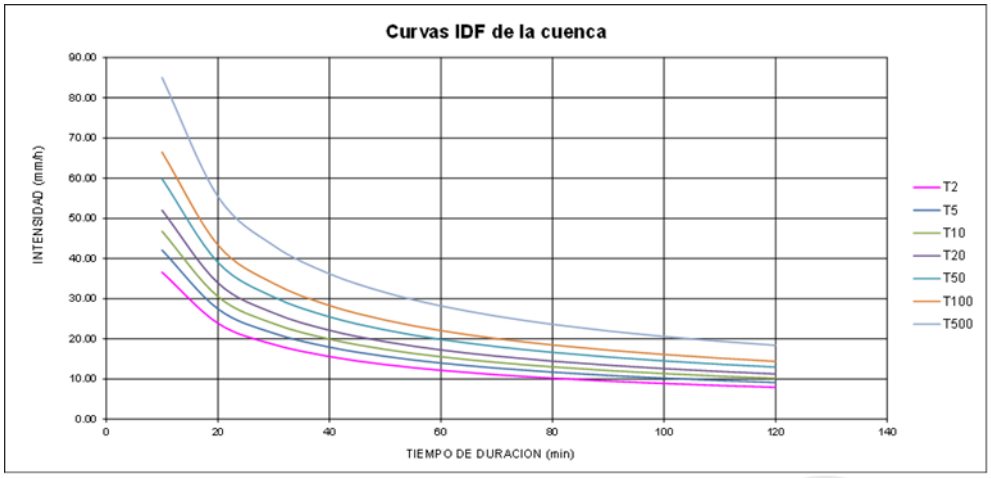
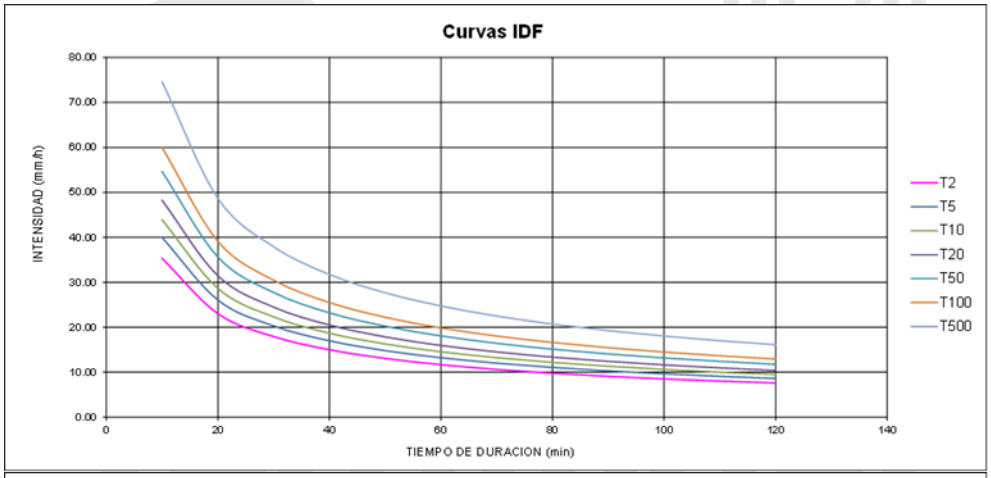
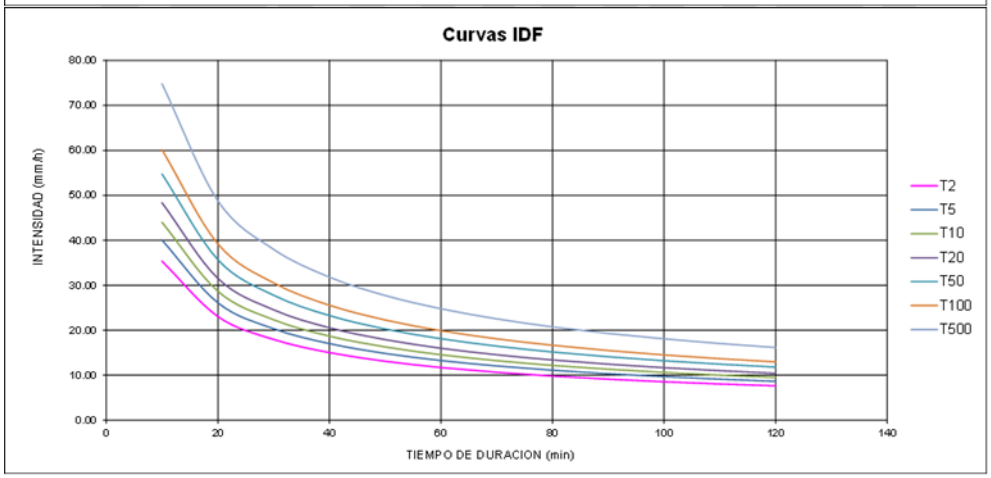


Figura 250. Curva IDF para la estación Ponderada
Fuente: Siglo XXII SAS





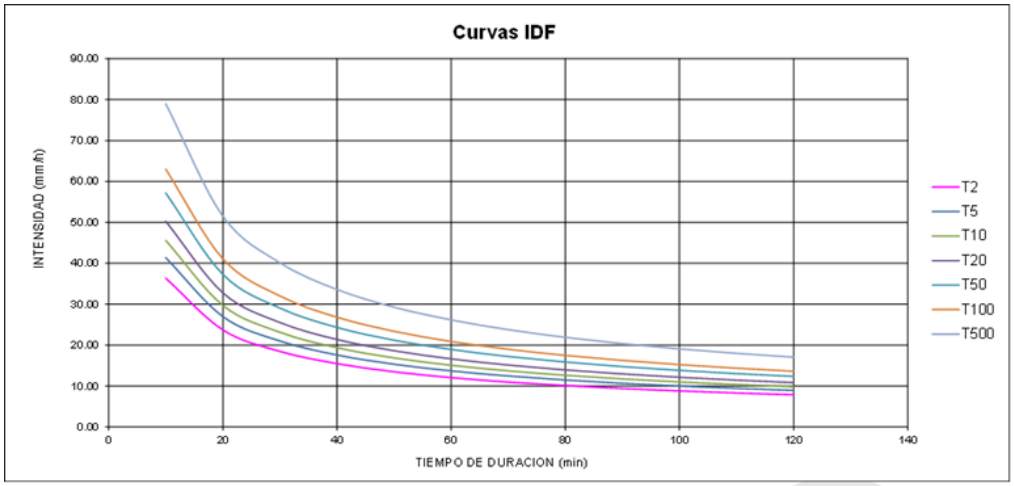


Figura 251. Curva IDF para los 3 drenajes innominados en el CPR Chacua – Cabrera
Fuente: Siglo XXII SAS

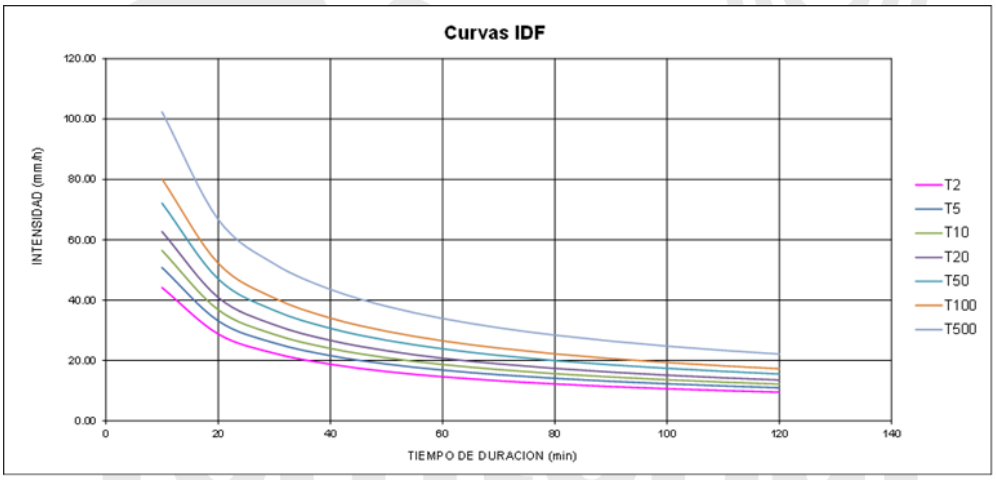


Figura 252. Curva IDF para el drenaje innominado en el CPR El Charquito
Fuente: Siglo XXII SAS

3.9.2.2.4. HIETOGRAMAS

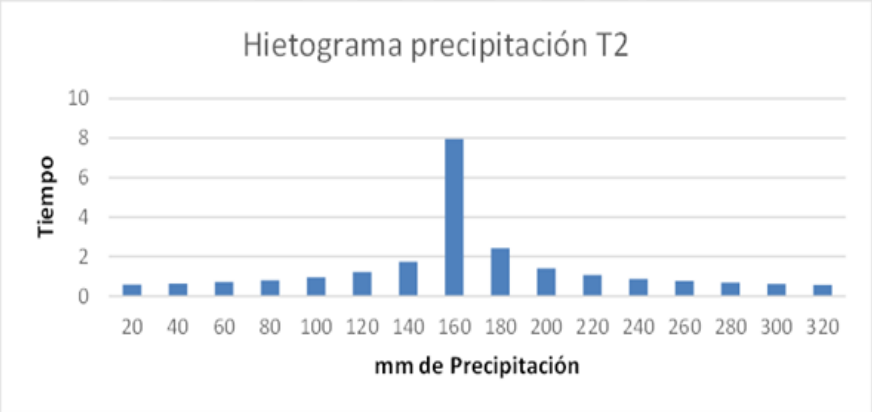
Se obtuvieron los hietogramas de diseño para los drenajes seleccionados, los cuales fueron agrupados de acuerdo con los parámetros morfométricos, tiempo de concentración y estación meteorológica obteniendo así, 6 tipos de hietogramas. En la Tabla 36 se muestran los datos que fueron tenidos en cuenta, para la obtención de los hietogramas de diseño.

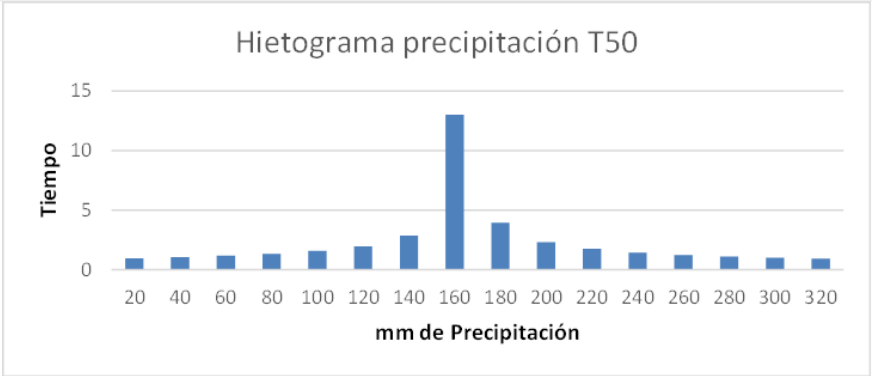
Tabla 137. Datos para la obtención de los Hietogramas de diseño

Tipo hietograma por Tc	Tiempo de concentración Tc (min)	Tiempo de retardo (min)	Estación meteorológica	CN	Área (km²)
A	320.90	192.54	PONDERADA	82	33.02
B	78.63	47.18	SAN JORGE GJA	89	4.32
C	35.03	21.02	SAN JORGE GJA	89	0.66
D	39.42	23.65	MUA EL	88	1.73
E	18.57	11.14	MUA EL	88	0.34
F	10.13	6.08	MUA EL	88	0.14

Fuente: Siglo XXII SAS

Utilizando el método de bloques alternos, que requiere la información de las Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) de las estaciones El Mua, GJA San Jorge y el tiempo de concentración del cuerpo de agua, se construyeron los hietogramas necesarios para definir la precipitación de diseño en los modelos de HEC-HMS. En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se pueden ver los hietogramas de diseño para el río Soacha, los demás hietogramas se pueden ver en el ANEXO C.





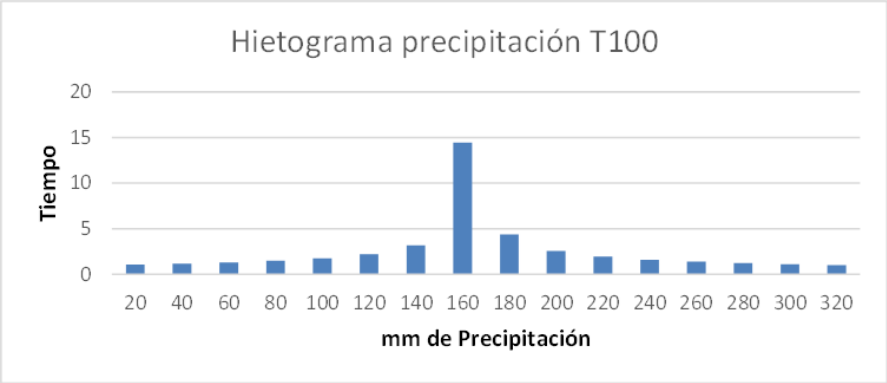
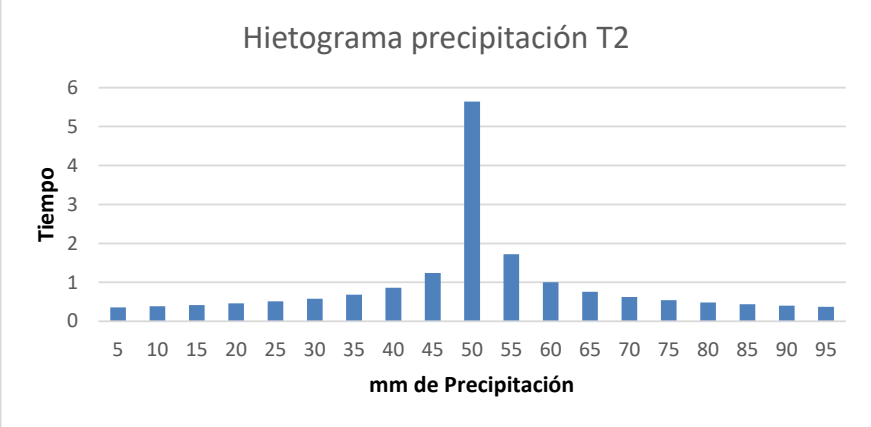
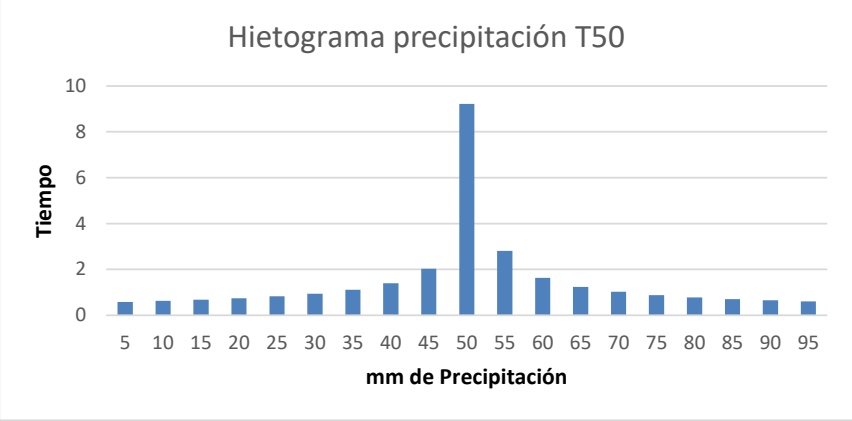


Figura 253. Hietogramas de diseño para Río Soacha – Periodos de retorno de 2, 50 y 100 años

Fuente: Siglo XXII SAS





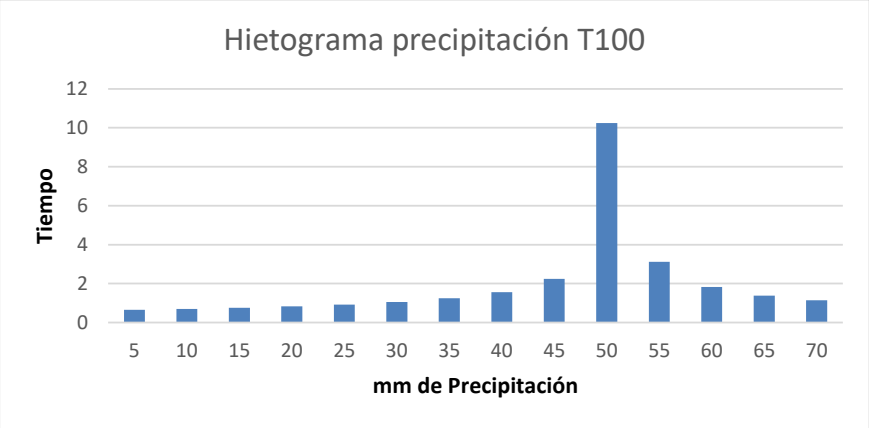
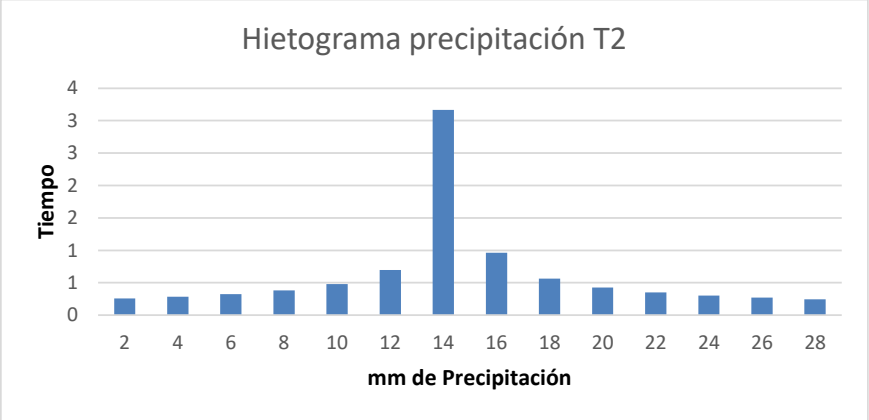
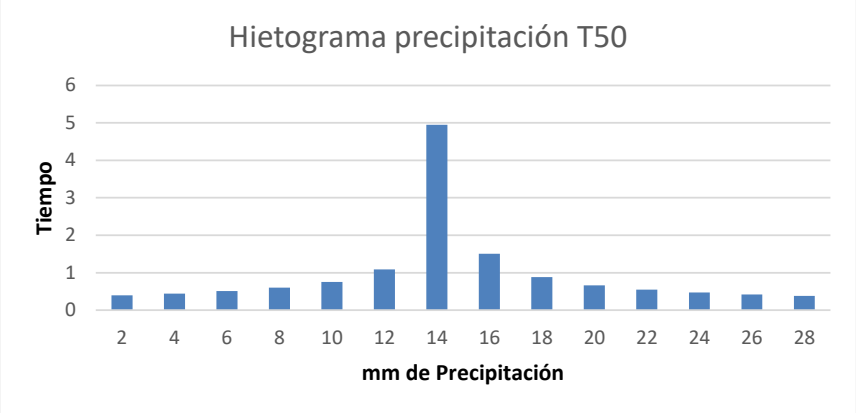


Figura 254. Hietogramas de diseño para el Drenaje innominado en el CPR El Charquito – Periodos de retorno de 2, 50 y 100 años

Fuente: Siglo XXII SAS





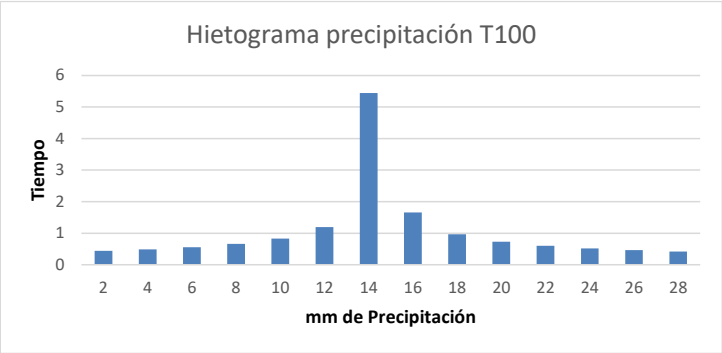


Figura 255. Hietogramas de diseño para Drenaje innominado en el CPR Alto de La Florida – Periodos de retorno de 2, 50 y 100 años
Fuente: Siglo XXII SAS

3.9.2.2.5. HIDROGRAMAS DE DISEÑO

Como resultado de la modelación en HEC -. HMS se obtienen los caudales máximos para diferentes periodos de retorno para los drenajes seleccionados, usando el Método del Hidrograma Unitario SCS. Los datos de entrada para el hidrograma son: hietograma, tiempo de retardo o rezago y el número de curva. Los componentes del modelo se basan en relaciones matemáticas simples para tratar de representar los procesos que intervienen en la generación y circulación de los hidrogramas de escorrentía, pérdidas, transformación del exceso de lluvia en caudal de salida de la cuenca, adición del flujo base, circulación del hidrograma por el cauce, etc. Para el presenta modelo no se incluyó la escorrentía subsupercial al no disponer los valores de los parámetros que caracterizan el mismo. En la Figura 51 se observan los hidrogramas de diseño para el río Soacha, los demás hietogramas se pueden ver en el ANEXO D.

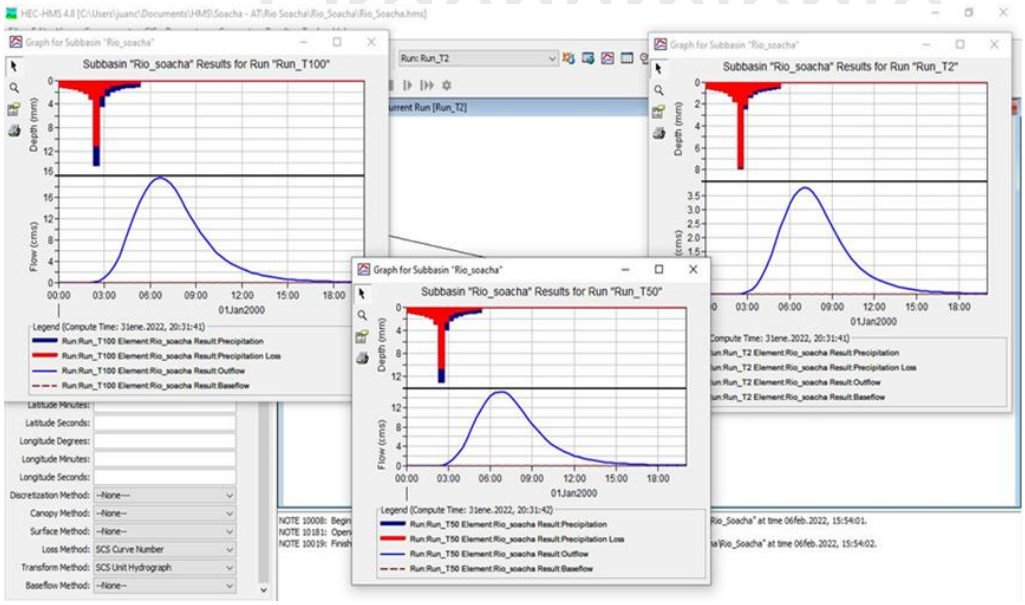
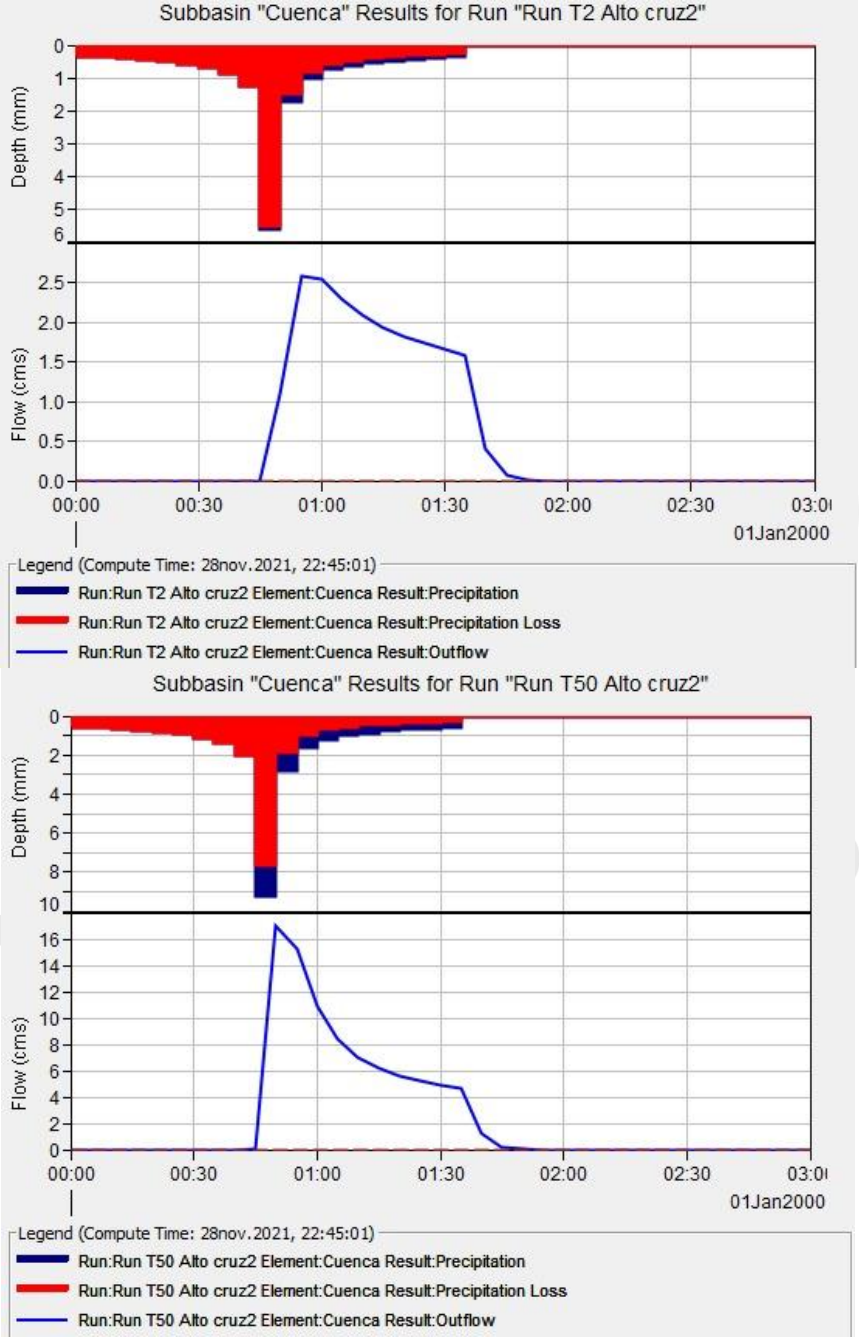


Figura 256. Hidrogramas de diseño para el Río Soacha -- Periodos de retorno de 2, 50 y 100 años
Fuente: Siglo XXII SAS


Subbasin "Cuenca" Results for Run "Run T2 Alto cruz2"
Depth (mm)
Flow (cms)
00:00
00:30
01:00
01:30
02:00
02:30
01Jan2000
Legend (Compute Time: 28nov.2021, 22:45:01)
Run:Run T2 Alto cruz2 Element:Cuenca Result:Precipitation
Run:Run T2 Alto cruz2 Element:Cuenca Result:Precipitation Loss
Run:Run T2 Alto cruz2 Element:Cuenca Result:Outflow
Subbasin "Cuenca" Results for Run "Run T50 Alto cruz2"
Depth (mm)
Flow (cms)
00:00
00:30
01:00
01:30
02:00
02:30
01Jan2000
Legend (Compute Time: 28nov.2021, 22:45:01)
Run:Run T50 Alto cruz2 Element:Cuenca Result:Precipitation
Run:Run T50 Alto cruz2 Element:Cuenca Result:Precipitation Loss
Run:Run T50 Alto cruz2 Element:Cuenca Result:Outflow

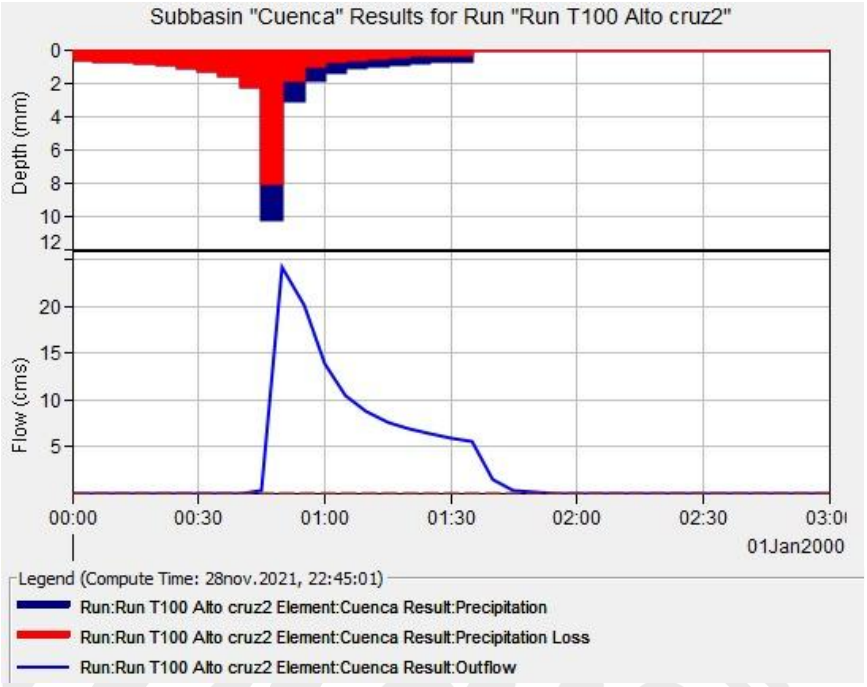
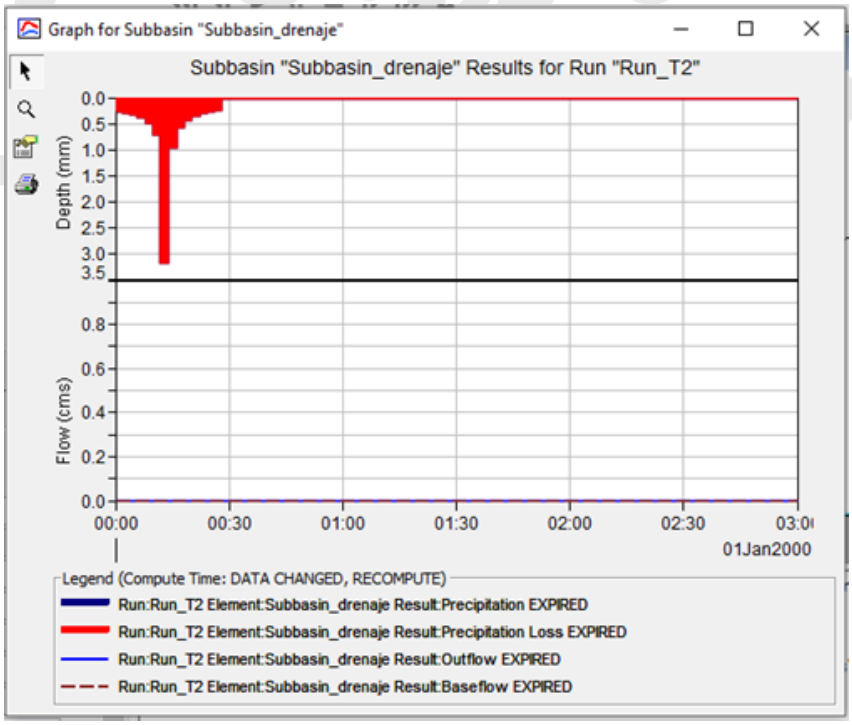


Figura 257. Hidrogramas de diseño para el Drenaje innominado en el CPR El Charquito- Periodos de retorno de 2, 50 y 100 años
Fuente: Siglo XXII SAS



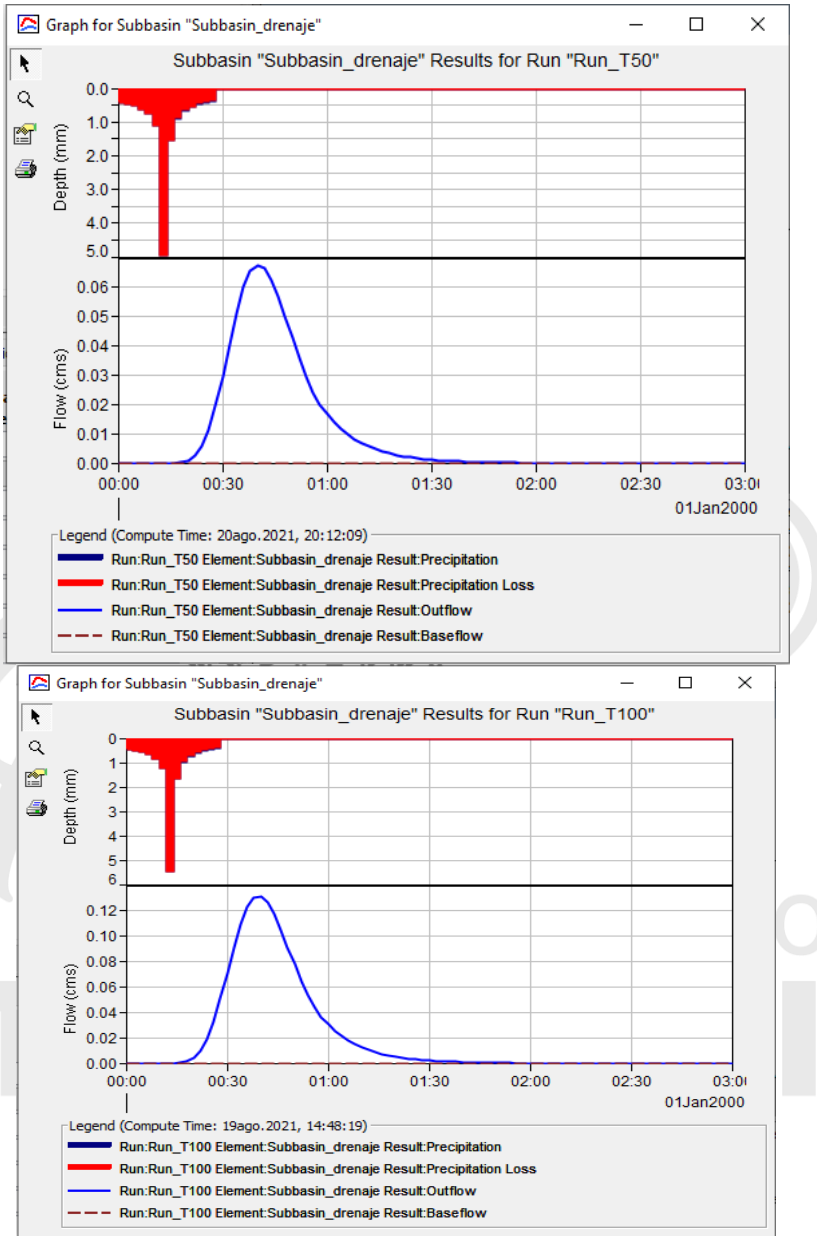


Figura 258. Hidrogramas de diseño para el Drenaje innominado – AHR Altos de La Florida - Periodos de retorno de 2, 50 y 100 años
Fuente: Siglo XXII SAS

3.9.2.3. HIDRÁULICA

La herramienta utilizada para el análisis hidráulico es el software HEC RAS 5.0.1. El Hydrologic Engineering Centers River Analysis System (HEC - RAS) es un programa de uso libre usado para la modelación de inundaciones, en ríos naturales y otros canales; ya que permite la simulación de

flujos en cauces naturales o artificiales para determinar el nivel del agua, es decir hacer una predicción de las áreas de inundación para diferentes periodos de retorno.

HEC-RAS permite simular el flujo de agua combinando modelos 1D/2D, así como totalmente 2D y basa su aplicación en las ecuaciones de Onda Difusiva y Sant Venant (a criterio del usuario) las cuales resuelve mediante el algoritmo de Volúmenes Finitos Implícitos. (Lluen & Blade, 2015)

HEC-RAS 2D, hace referencia a dos formas para elegir el valor de este parámetro. Estas se basan en el Número de Courant, y se aplicarán según se emplee la ecuación de Saint Venant u Onda Difusa para resolver el modelo, como se muestra en la siguiente formulación:

Ecuación de Saint Venant:

$$C = \frac{V * \Delta T}{\Delta X} \leq 1.0$$

Máximo Valor de C =3.0

Donde:

C = Número de Courant

V = Velocidad de Flujo

ΔT = Paso de tiempo computacional

ΔX = Promedio de tamaño de celda

Ecuación de Onda Difusa:

$$C = \frac{V * \Delta T}{\Delta X} \leq 2.0$$

Máximo Valor de C =5.0

HEC-RAS, a través de su herramienta RAS Mapper, ofrece la posibilidad de visualizar mapas de zonas inundadas, así como la animación del flujo de agua cuando acontece la inundación. Dicho proceso se basa en función del terreno subyacente y no en el tamaño de celda computacional de la malla generada (Lluen & Blade, 2015).

El procedimiento de cálculo se basa en la solución de la ecuación unidimensional de energía. Se evalúan las pérdidas de la energía longitudinales por la fricción (ecuación de Manning) y las locales (por la contracción/expansión utilizando un coeficiente que multiplica el cambio de la velocidad). La ecuación del momento se utiliza en situaciones donde el perfil de la superficie del agua es

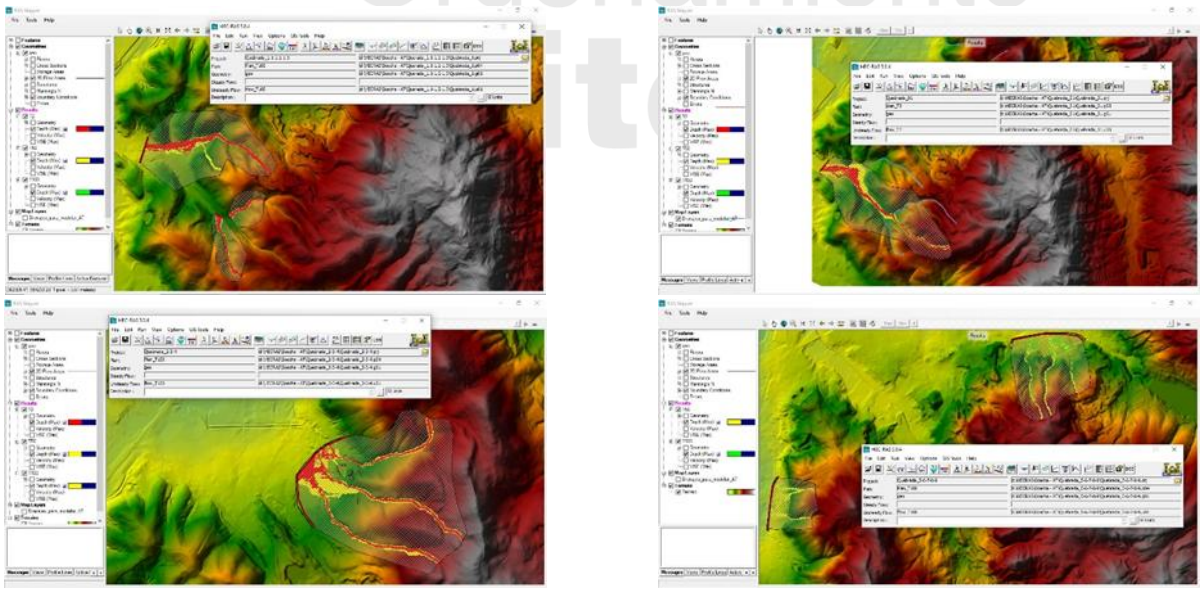
rápidamente variado. Estas situaciones incluyen cálculos de régimen de flujo mixto (es decir, saltos hidráulicos), hidráulica de puentes y evaluación en las confluencias de ríos (Marco, 2015)

Para establecer el nivel de inundación y la respuesta del cauce a diferentes eventos extremos de precipitación se debe tener en cuenta algunas características que pueden causar incertidumbre en el modelo, como es el caso de la rugosidad o la posición de la sección de contorno. Adicionalmente se van a presentar grandes variaciones, que pueden ser a largo plazo o estacionales, en las condiciones de contorno para un periodo de diseño; por esta razón, el nivel del agua más que un cálculo exacto es una estimación y lo más aconsejable, es preferir trabajar con los niveles históricos de las lecturas en estaciones limnimétricas; siempre que sea posible.

3.9.2.3.1. MODELACIÓN HIDRÁULICA CON HEC RAS

El resumen del proceso de modelación en HEC RAS se puede resumir en los siguientes pasos: 1) Creación del proyecto, 2) Introducir los datos geométricos, 3) Introducir los datos de caudal y las condiciones de contorno, 4) Desarrollo de los cálculos hidráulicos y 5) Visualización e interpretación de resultados.

Una vez obtenido los hidrogramas de diseño para los cauces seleccionados, se importa los MDT al HEC RAS, a fin de extraer la topografía y definir el área de modelación, posteriormente al área de modelación escogida, se le ingresan los atributos geográficos (es decir la altura) y definir el intervalo de la malla. También es muy importante para el modelo, la selección de las condiciones de borde. Una vez definida la geometría, se ingresan los datos de flujo no estacionario no permanente, definir el tiempo de inicio y finalmente correr el modelo. En la Figura 54 se puede ver algunas imágenes de la modelación hidráulica.



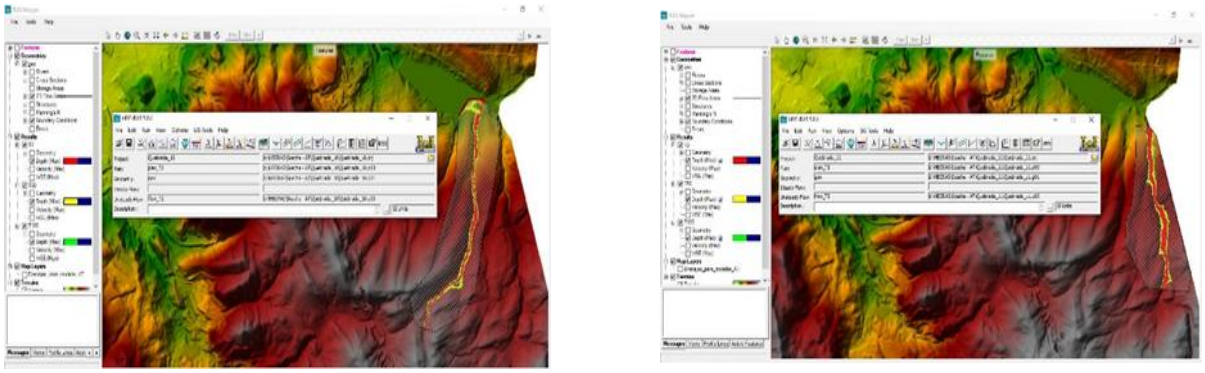


Figura 259. Imágenes del proceso de modelación en HEC RAS

Fuente: Siglo XXII SAS

3.9.2.3.2. PARÁMETROS RELATIVOS AL RELIEVE

La altura y elevación es uno de los parámetros más determinantes de la oferta hídrica y del movimiento del agua a lo largo de la un área de drenaje. De ella dependen en gran medida la cobertura vegetal, la biota, el clima, el tipo y uso del suelo y otras características fisiográficas de un territorio. Como uno de los insumos principales para realizar los cálculos y obtener pendiente de cada una de las cuencas se usaron los modelos de elevación digital para cada una de la unidad hidrográfica en estudio.

Pendiente promedio: Referencia a la pendiente en porcentaje de la superficie de la cuenca de estudio. Conforme a la cuenca se presenta un predominio de pendientes bajas (tonos verdes) hacia la parte inferior de la cuenca donde confluye el drenaje. Las pendientes más altas (tonos naranja y rojo) se concentran en la zona este de la cuenca, debido a que en esta zona es donde están las áreas elevadas.

Tabla 138. Clasificación de pendientes

Pendiente	Clasificación
0-3	Plano
3-7	Ligeramente Inclinada
7-12	Inclinada
12-25	Fuertemente inclinada
25-50	Fuertemente quebrada
50-75	Escarpado
>75	Muy escarpado

Fuente: Valero 2017

3.9.2.3.3. CÁLCULO DE CAUDALES MÁXIMOS UTILIZANDO EL MÉTODO RACIONAL

Este método permite determinar el caudal máximo que escurrirá por una determinada sección, bajo el supuesto que éste acontecerá para una lluvia de intensidad máxima constante y uniforme en la cuenca correspondiente a una duración D igual al tiempo de concentración de la sección. La fórmula del método racional es:

$$Q = CiA$$

donde, Q, es el gasto máximo, C el coeficiente de escurrimiento que es adimensional y equivalente al cociente del escurrimiento entre la lluvia, i la intensidad de la lluvia y A el área de cuenca. El método Racional es una descripción muy simple del proceso lluvia-escurrimiento, en la cual los efectos de la lluvia y del área de cuenca son tomados explícitamente y los efectos de las condiciones físicas de la cuenca se toman en cuenta de manera indirecta a través del Tc y del valor de C. La infiltración y otras pérdidas no se consideran de una manera física real, sino indirecta global en el coeficiente de escurrimiento C. El almacenamiento temporal del escurrimiento sobre el terreno y en los cauces, así como las variaciones temporales y espaciales de la lluvia son ignoradas completamente, por lo cual el método sólo es válido cuando tales efectos son pequeños.

3.9.2.3.3.1. COEFICIENTE DE ESCURRIMIENTO

El coeficiente de escurrimiento C representa la fracción de la lluvia que escurre en forma directa y toma valores entre cero y uno, y varía apreciablemente entre una cuenca y otra, y de una tormenta a otra, debido a las condiciones de humedad iníciales. Sin embargo, es común tomar valores de C representativos de acuerdo con ciertas características de las cuencas como la vegetación, pendientes del terreno y uso de suelos.

La evaluación de los coeficientes de escorrentía se encuentra asociados a tres parámetros:

a. Uso del suelo de la cuenca, en la cual existen algunas tablas propuestas por diversos autores, en las cuales se asocia un coeficiente para cada tipo de cobertura y uso de suelo, para cada tipo hidrológico del suelo.
b. El tipo de suelo y su clasificación hidrológica, los cuales han sido clasificados en cuatro grupos A, B, C, y D, de acuerdo con el potencial de escurrimiento
c. (Bajo potencial de escorrentía). Suelos que tienen alta tasa de infiltración incluso cuando estén muy húmedos. Consisten en arenas o gravas profundas, bien a excesivamente drenadas. Estos suelos tienen una alta tasa de transmisión de agua.
d. (Moderadamente bajo potencial de escorrentía). Suelos con tasa de infiltración moderada cuando están muy húmedos. Suelos moderadamente profundos a profundos, moderadamente bien drenados a bien drenados, suelos con texturas moderadamente finas

a moderadamente gruesas, y permeabilidad moderadamente lenta a moderadamente rápida. Son suelos con tasas de transmisión de agua moderadas.

e. (Moderadamente alto potencial de escorrentía). Suelos con infiltración lenta cuando están muy húmedos. Consisten en suelos con un estrato que impide el movimiento del agua hacia abajo; suelos de texturas moderadamente finas a finas; suelos con infiltración lenta debido a sales o álcalis o suelos con niveles freáticos moderados. Esos suelos pueden ser pobremente drenados o bien a moderadamente bien drenados, con estratos de permeabilidad lenta a muy lenta a poca profundidad (50-100 cm).
f. Alto potencial de escorrentía). Suelos con infiltración muy lenta cuando están muy húmedos. Consisten en suelos arcillosos con alto potencial de expansión; suelos con nivel freático alto permanente; suelos con estrato arcilloso superficial; suelos con infiltración muy lenta debido a sales o álcalis y suelos poco profundos sobre material casi impermeable. Estos suelos tienen una tasa de transmisión de agua muy lenta.
g. La pendiente de la cuenca, la cual se estimó en función de la topografía y el DEM utilizado, donde las tablas a utilizar identifican tres rangos planos (pendiente 0 – 5%), ondulado (pendiente 5 – 10%) y montañoso (pendiente 10 – 30%).

Tabla 139. Valores de número de curva para diferentes grupos hidrológicos y de usos del suelo

VEGETACIÓN Y TOPOGRAFÍA Y	TEXTURA DEL SUELO		
	FRANCO ARENOSO	FRANCO LIMO ARCILLOSO	ARCILLOSO
BOSQUES			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.25	0.35	0.50
Montañoso	0.30	0.50	0.60
PASTOS			
Plano	0.10	0.30	0.40
Ondulado	0.16	0.36	0.55
Montañoso	0.22	0.42	0.60
TIERRAS CULTIVADAS			
Plano	0.30	0.50	0.60
Ondulado	0.40	0.60	0.70
Montañoso	0.52	0.72	0.82
Nota: Plano (pendiente 0 - 5%); Ondulado (pendiente 5 - 10%); Montañoso (pendiente 10 - 30%). Para valores mayores al 30 %, a falta de datos, utilizar los valores para pendientes entre el 10 y el 30 %.			

Fuente: Tomado de INVIAS 2009

3.9.2.3.3.2. TIEMPO DE CONCENTRACIÓN

El tiempo requerido para que, durante un aguacero uniforme, ise alcance el estado estacionario; es decir, el tiempo necesario para que todo el sistema (toda la cuenca) contribuya eficazmente a la generación de flujo en el sitio de desagüe (Vélez & Botero, 2011). Es el tiempo que tarda en llegar una gota de lluvia desde el punto más alejado de la cuenca hasta la salida de esta, o más estrictamente, desde el punto donde la gota, circulando superficialmente, tarda más en llegar a la salida. Es pues, también, el tiempo desde el final de la lluvia neta hasta el final de la curva de descenso o inicio de la curva de agotamiento (Escuder, y otros, 2009). ADTMás, debe tenerse claro que el tiempo de concentración de una cuenca no es constante ya que depende ligeramente de las características de la lluvia (Vélez & Botero, 2011).

A continuación, se presenta las ecuaciones que se utilizaran el presente estudio:

a. Método Passini

$$T_C = 0.108 * A^{0.333} * L^{0.5} * S^{-0.5}$$

Donde:

A: Área de la cuenca (Km^2)

T_C: Tiempo de concentración (h)

L: Longitud del cauce (Km)

S: Pendiente promedio de cauce $(^m/_m)$

b. Método Temez

$$T_c = 0.3 * \left[\frac{L}{S^{0.25}}\right]^{0.76}$$

Donde:

T_C: Tiempo de concentración (h)

L: Longitud del cauce (Km)

S: Pendiente promedio de cauce $(^m/_m)$

c. Método Bransby-Williams

$$T_c = 14.6 * \frac{L}{A^{0.1} * S^{0.2}}$$

Donde:

T_C: Tiempo de concentración (min)

L: Longitud del cauce (Km)

S: Pendiente promedio de cauce $(^m/_m)$

A: Área de la cuenca (Km^2)

d. Método SCS

$$T_c = \frac{100{L_P}^{0.8} * \left(\left(^{100}/_{CN}\right) - 9\right)^{0.7}}{1900 * S_0^{0.5}}$$

Donde:

T_C: Tiempo de concentración (min)

L_P: Longitud del cauce $(pies)$

S_0: Pendiente media del cauce $(\%)$

CN: Número de curva del método SCS, adimensional

e. Método Kirpich

$$T_C = 3.98\left(\frac{L^{0.5}}{S}\right)^{0.77}$$

Donde:

T_C: Tiempo de concentración (h)

L: Longitud del cauce principal (Km)

S: Pendiente promedio de cauce $(^m/_m)$

Método California C P

$$T_C = 60\left[\frac{0.87075 * L^3}{H}\right]^{0.385}$$

f. Método Clark

$$T_C = 0.335\left(\frac{A}{S^{0.5}}\right)^{0.593}$$

- **Tiempo de Retardo**

El Tiempo de retardo o rezago es el tiempo transcurrido entre el centroide del hietograma y el centroide del hidrograma de escorrentía. También se encuentra definido en la literatura que el tiempo de rezago es el tiempo transcurrido entre el centroide del hietograma y el caudal de punta (Vélez & Botero, 2011). De acuerdo con Vélez & Botero, (2011) para el tiempo de retardo se encuentra en la literatura la relación propuesta por el "Soil Conservation Service" SCS, quien propone que es 0.6 veces el tiempo de concentración y los autores comprobaron en un artículo que la propuesta del SCS es válida para cuencas de media montaña típica de la zona andina colombiana.

El tiempo de concentración y el tiempo de retardo son variables utilizadas extensivamente en el diseño hidrológico para determinar la capacidad hidráulica máxima de las diferentes estructuras; se trata de variables que son propias de cada sitio y que dependen de las características geomorfológicas de la cuenca y de la lluvia (Vélez & Botero, 2011). En las siguientes tablas se puede observar los parámetros morfométricos para los drenajes al sur del suelo urbano, el Río Bogotá, 3 Drenajes innominados en el CPR Cachua – Cabrera y 1 Drenaje innominado en el CPR El Charquito.

Tabla 140. Tiempo de concentración y tiempo de retardo para los cauces seleccionados en el suelo urbano de Soacha

	Tiempo de concentración Tc (h)						
Cuenca	**Passini**	**Bransby-Williams**	**SCS**	**Clark**	**Promedio**	**Tiempo de concentración Tc (min)**	**Tiempo de retardo (min)**
Quebrada_01	0.56	0.68	0.54	0.92	0.66	39.42	23.65
Quebrada_01.1	0.28	0.50	0.37	0.42	0.41	24.80	14.88
Quebrada_01.2	0.22	0.41	0.29	0.36	0.34	20.39	12.23
Quebrada_01.3	0.14	0.26	0.19	0.25	0.23	13.81	8.29

	Tiempo de concentración Tc (h)						
Cuenca	Passini	Bransby-Williams	SCS	Clark	Promedio	Tiempo de concentración Tc (min)	Tiempo de retardo (min)
Quebrada_02	0.14	0.40	0.23	0.21	0.27	16.11	9.67
Quebrada_03	0.15	0.43	0.24	0.22	0.28	17.09	10.25
Quebrada_04	0.21	0.40	0.26	0.35	0.32	19.23	11.54
Quebrada_05	0.06	0.11	0.07	0.14	0.11	6.43	3.86
Quebrada_06	0.07	0.17	0.10	0.14	0.14	8.22	4.93
Quebrada_07	0.10	0.30	0.16	0.17	0.20	12.25	7.35
Quebrada_08	0.08	0.28	0.15	0.13	0.18	10.84	6.51
Quebrada_09	0.12	0.27	0.18	0.20	0.21	12.88	7.73
Quebrada_10	0.41	0.79	0.53	0.51	0.58	35.03	21.02
Quebrada_11	1.19	1.34	1.01	1.66	1.31	78.63	47.18
Rio_Soacha	5.96	5.05	5.08	6.28	5.35	320.90	192.54

Fuente: Siglo XXII SAS

Tabla 141. Tiempo de concentración para el Río Bogotá, 3 Drenajes innominados del área Chacua -Cabrera y 1 Drenaje innominado del área El Charquito

Tiempo de Concentración (h)	Río Bogotá	Drenaje innominado 1 – CPR Chacua - Cabrera	Drenaje innominado 2 – CPR Chacua - Cabrera	Drenaje innominado 3 – CPR Chacua - Cabrera	Drenaje innominado 1 – CPR El Charquito
(Método Passini)		0.12	0.28	0.33	1.61
(Método Temez)	1.06	0.28	0.64	0.64	1.56
(Método Bransby-Williams)		0.24	0.65	0.62	1.59
(Método Kirpich)	0.99	0.21	0.32	0.36	1.15
(Método Clark)		0.23	0.39	0.49	1.95
Promedio	1.02	0.22	0.46	0.39	1.57

Fuente: Siglo XXII SAS

Tabla 142. Tiempo de concentración para el Drenaje Innominado en el AHR ALTOS DE LA FLORIDA

Tiempo de Concentración (h)	Drenaje innominado
(Método Passini)	0.31
(Método Temez)	0.58

Tiempo de Concentración (h)	Drenaje innominado
(Método Bransby-Williams)	0.55
(Método SCS)	0.48
(Método Kirpich)	0.40
(Método California C P)	-
(Método Clark)	0.44
Promedio	0.46

Fuente: Siglo XXII SAS

3.9.2.3.3.3. CAUDALES MÁXIMOS INSTANTÁNEOS

De acuerdo con la ecuación relacionada al inicio del numeral 3.3.3 los caudales máximos instantáneos calculados por el método racional para los diferentes tiempos de retorno para los drenajes identificados se resumen en las siguientes tablas.

Tabla 143. Caudales máximos instantáneos para diferentes periodos de retorno para los drenajes del suelo urbano de Soacha

Tiempo de retorno (años)	Caudal máximo instantáneo Q (m³/s) – Río Soacha Tipo A	Caudal máximo instantáneo Q (m³/s) – Tipo B	Caudal máximo instantáneo Q (m³/s) – Tipo C	Caudal máximo instantáneo Q (m³/s) – Tipo D	Caudal máximo instantáneo Q (m³/s) - Tipo E	Caudal máximo instantáneo Q (m³/s) – Tipo F
2	3.8	1.34	0.13	0.19	0.12	0
50	15.3	5.2	0.79	1.6	0.59	0.03
100	19.6	6.58	1.06	1.8	0.76	0.07

Fuente: Siglo XXII SAS

Tabla 144. Caudales máximos instantáneos para diferentes periodos de retorno Río Bogotá en el CPR El Charquito

T (años)	Q (m³/s)
2	75.51
5	100.32
15	126.01
20	132.49
25	137.49
50	152.88
100	168.16

Fuente: Siglo XXII SAS

Tabla 145. Caudales máximos instantáneos para diferentes periodos de retorno drenajes CPR Chacua Cabrera

T (años)	Q (m³/s) D1	Q (m³/s) D2	Q (m³/s) D3
2	1.19	1.65	2.18
5	1.35	1.87	2.48
15	1.48	2.05	2.73
20	1.62	2.25	3.01
25	1.84	2.55	3.43
50	2.02	2.80	3.78
100	2.51	3.49	4.73

Fuente: Siglo XXII SAS

Tabla 146. Caudales máximos instantáneos para diferentes periodos de retorno para el Drenaje Innominado en el AHR ALTOS DE LA FLORIDA

Tiempo de retorno (años)	Caudal máximo instantáneo Q (m³/s)
2	0
20	0.018
50	0.0875
100	0.1625

Fuente: Siglo XXII SAS

3.9.2.3.3.4. CICLO DE SEDIMENTOS

El ciclo de sedimentación hace referencia a un ciclo que comprende la meteorización de una roca existente seguida de su erosión, transporte y sedimentación. Los sedimentos del primer ciclo se caracterizan por la presencia de minerales y fragmentos de roca menos resistentes. Si este material es retrabajado durante un segundo ciclo, los minerales o fragmentos de roca menos resistentes serán eliminados. Cuantos más ciclos sedimentarios sufre un sedimento, éste se hace más maduro y estará dominado por minerales resistentes, bien redondeados.

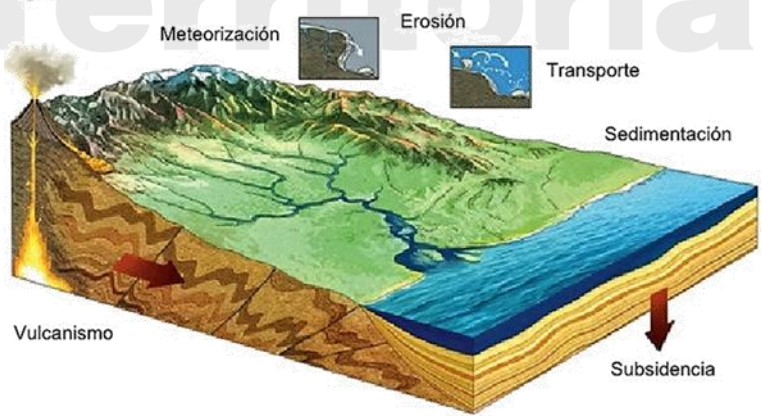


Figura 260. Ciclo sedimentario en una cuenca hidrográfica
Fuente: Tomado de https://prezi.com/rlrtoq9mbwzl/ciclo-biogeoquimico/ Biología y geología 4to. SANTILLANA.

3.9.2.3.3.4.1. SEDIMENTOS, FLUJOS Y AUMENTO DE VOLUMEN

El transporte de sedimentos en suspensión se compone principalmente de limos y arenas finas que son de fácil movilidad a través del flujo de agua. La concentración de sedimentos en suspensión cambia durante periodos estacionales y eventos de lluvia, pero también considerando las concentraciones antes y después del caudal máximo durante una crecida (Iroumé y Uyttendaele, 2006). Williams (1989) señala que la mayor cantidad de sedimentos se trasladan durante crecidas individuales, y eventualmente existe un atraso entre la máxima concentración de sedimentos y el máximo caudal líquido. Durante una crecida, la relación entre el aumento de la concentración sólida con el caudal líquido se puede representar gráficamente, estas se llaman relaciones de histéresis. La relación más común y simple corresponde con la lineal. Esta se obtiene cuando el peak de la relación entre la concentración de sedimentos en suspensión y el caudal líquido es simultáneo. Este tipo de histéresis corresponde a la relación más simple ya que evidencia una proporcionalidad directa entre las dos variables.

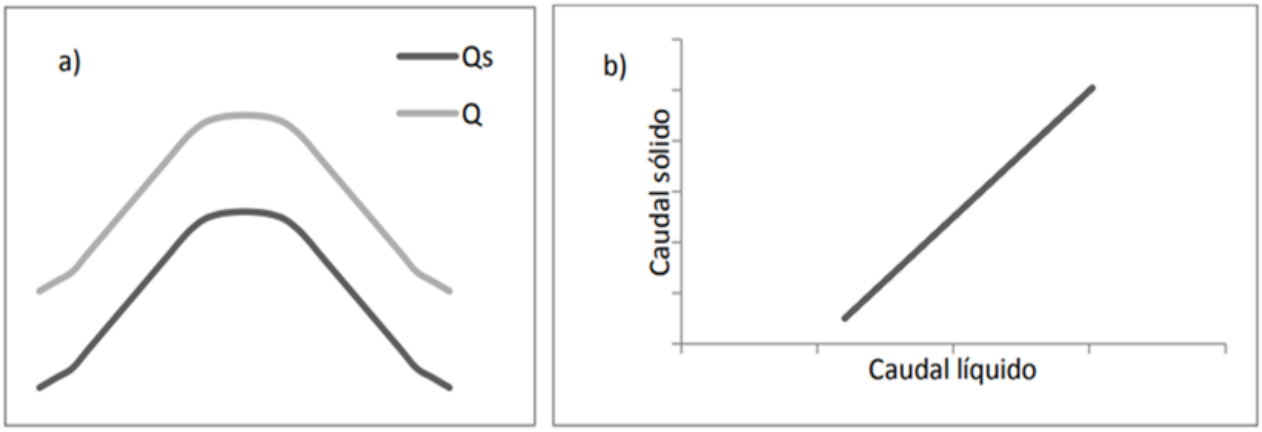


Figura 261. Hidrograma y sedimentograma, b. Relación lineal entre caudal sólido y líquido.

Fuente: (Gusman, 2009).

El aumento de volumen en corrientes de agua (Bulking en inglés) se ha definido como el aumento de la descarga de agua teniendo en cuenta las altas concentraciones de sedimento en el flujo. Flujos de lodo y escombros, que pueden Aumentar el volumen de flujo transportado desde una cuenca, ocurre con mayor frecuencia en áreas montañosas sujetas a erosión del suelo, y en regiones áridas cerca de abanicos aluviales y otras zonas de actividad geomorfológica y geológica (Gusman, 2009).

El termino bulking es el incremento en la taza de flujo al incluir el sedimento y detritos all flujo. Para cuantificar este aumento existe el facto de Bulking (BF) que generalmente es aplicado al flujo pico obtenido en la modelación del flujo. El flujo pico, cuando toda la cuenca contribuye con sedimentos puede expresarse con la siguiente ecuación:

$$Q_B = Q_W + Q_S$$

Donde:

- QB = Descarga máxima acumulada
- QW= Descarga máxima de agua
- QS= Descarga Volumétrica de sedimentos

Por lo cual el factor de Bulking (BF) es la relación entre la descarga teniendo en cuenta el aumento volumétrico del sedimento y la descarga con agua sin sedimentos

$$BF = (Q_W + Q_S)/Q_W$$

3.9.2.3.3.4.2. CLASIFICACIÓN DE SEDIMENTO / FLUJO DE AGUA

Dentro de los diversos flujos donde se tiene un porcentaje volumétrico de concentración de sedimentos, se pueden encontrar, Flujos de Detritos, Flujos Hiperconcentrados y Flujos de Lodos, cada uno diferenciado por el porcentaje de sólidos y sedimentos transportados, una recopilación de estos tipos de flujo se encuentra en la siguiente figura.

Los flujos con caudal normal o Normal Streamflow contienen entre un 0% y 40% en peso de sedimentos Es importante entonces señalar la definición de flujo con caudal normal, como una mezcla de agua y sedimentos, en donde prima el transporte fluvial, en comparación con el transporte de detritos; estos fluidos tienen un porcentaje volumétrico de sedimentos que oscila entre el 0 y 20%, y la mayoría de estos sedimentos se transportan en suspensión, manteniendo esta capacidad de transporte, dependiendo de la velocidad de flujo y las características de la turbulencia en la sección. Suceden en su mayoría en cauces con pendientes bajas o cauces de zonas levemente onduladas.

Los flujos hiperconcentrados generalmente tienen una concentración de sedimentos entre 20 y 40 % por volumen. Esta cantidad de sedimentos suspendidos es lo suficientemente grande para afectar las propiedades de los fluidos y su comportamiento. Estos flujos hiperconectados son turbulentos y presentan una resistencia al flujo dependiendo de la rugosidad de los bordes por donde discurre, este comportamiento es similar a los flujos tipo Streamflow.

Source	Concentration percent by weight (100% by WT = 1,000,000 ppm): 23	40	52	63	72	80	87	93	97	100 — Concentration percent by volume (G. = 2.65): 10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Beverage and Culbertson (1964)	High	Extreme	Hyperconcentrated				Mud Flow			
Costa (1984)	Water Flood		Hyperconcentrated			Debris Flow				
O'Brien and Julien (1985) using National Research Council (1982)	Water Flood		Mud Flood		Mud Flow		Landslide			
Takahashi (1981)	Fluid Flow			Debris or Grain Flow				Fall, Landslide, Creep, Sturzstrom, Pyroclastic Flow		
Chinese Investigators (Fan And Dou, 1980)	←----------Hyperconcentrated Flow----------→ Sediment Laden			←----------Debris or Mud Flow----------→						
Pierson and Costa (1984)	STREAMFLOW Normal: Hyperconcentrated				SLURRY FLOW (Debris Torrent), Debris Mud Flow, Solifluction			GRANULAR FLOW Sturzstrom, Debris Avalanche, Earthflow, Soil Creep		

Figura 262. Clasificación de flujos realizada por varios autores

Fuente: Modificado de Bradley & McCutcheon, 1986 en (Gusman, 2009)

Los flujos de detritos contienen una gran cantidad de material grueso, su concentración de sedimentos esta entre 40% y 55% del volumen. Algunos autores incluso identifican el límite en 65%. Los flujos de detritos pueden presentar una alta velocidad en cañones con pendiente alta, transportando grandes bloques y causando daños catastróficos a su paso (Gusman, 2009).

Bulking Factor							
0	1.11	1.25	1.43	1.67	2.00	2.50	> 3.33
Sediment Concentration by Weight (100% by WT = 1 x 10^6 ppm)							
0	23	40	52	63	72	80	87 to 100
Sediment Concentration by Volume (specific gravity = 2.65)							
0	10	20	30	40	50	60	70 to 100
Normal Streamflow		Hyperconcentrated Flow			Debris Flow/ Mud Flow		Landslide

Figura 263. Clasificación de flujos por concentración de sedimentos

Fuente: (Gusman, 2009)

Al realizar las visitas a campo y el análisis de zonas de inicio, transporte y depositación, se puede apreciar que el área de estudio presenta un comportamiento torrencial, el cual de acuerdo a estas clasificaciones se asocia a una concentración de sedimentos de 0% a 20%, por esta razón se determina que, ante un evento de lluvias intensas, el flujo se comporta como un flujo de corriente normal (Normal Streamflow) lo que le asigna un factor Bulking de 1.25 (drenajes innominados)

del suelo urbano, los drenajes de los centros poblados Chacua Cabrera y Altos de la Florida y el Río Soacha, por otro lado se tiene un factor de hasta 1.67 para el Río Bogotá, de acuerdo a la clasificación de flujos por concentración de sedimentos presentada en O'Brien, 1986 (Gusman, 2009).

Tabla 147. Caudales máximos instantáneos ajustados con el factor de Bulking para diferentes periodos de retorno para los drenajes del suelo urbano de Soacha

Tiempo de retorno (años)	Caudal máximo instantáneo Q (m³/s) – Río Soacha Tipo A	Factor de Bulkin Q (m³/s) – Río Soacha Tipo A	Caudal máximo instantáneo Q (m³/s) – Tipo B	Factor de Bulkin Q (m³/s) Tipo B	Caudal máximo instantáneo Q (m³/s) – Tipo C	Factor de Bulkin Q (m³/s) Tipo C	Caudal máximo instantáneo Q (m³/s) – Tipo D	Factor de Bulkin Q (m³/s) Tipo D	Caudal máximo instantáneo Q (m³/s) - Tipo E	Factor de Bulkin Q (m³/s) Tipo E	Caudal máximo instantáneo Q (m³/s) – Tipo F	Factor de Bulkin Q (m³/s) Tipo F
2	3.8	4.75	1.34	1.675	0.13	0.16	0.19	0.2375	0.12	0.15	0	0.00
50	15.3	19.13	5.2	6.5	0.79	0.99	1.6	2	0.59	0.7375	0.03	0.04
100	19.6	24.5	6.58	8.225	1.06	1.33	1.8	2.25	0.76	0.95	0.07	0.09

Fuente: Siglo XXII SAS

Tabla 148. Caudales máximos instantáneos ajustados con el factor de Bulking para diferentes periodos de retorno Río Bogotá en el CPR El Charquito

T (años)	Q (m³/s)	Factor de Bulkin Q (m³/s)
2	75.51	126.10
5	100.32	167.53
15	126.01	210.43
20	132.49	221.26
25	137.49	229.61
50	152.88	255.32
100	168.16	280.83

Fuente: Siglo XXII SAS

Tabla 149. Caudales máximos instantáneos ajustados con el factor de Bulking para diferentes periodos de retorno drenajes CPR Chacua Cabrera

T (años)	Q (m³/s) D1	Factor de Bulkin Q (m³/s) D1	Q (m³/s) D2	Factor de Bulkin Q (m³/s) D2	Q (m³/s) D3	Factor de Bulkin Q (m³/s) D3
2	1.19	1.49	1.65	2.06	2.18	2.72
5	1.35	1.68	1.87	2.33	2.48	3.10
15	1.48	1.85	2.05	2.56	2.73	3.42
20	1.62	2.03	2.25	2.82	3.01	3.76
25	1.84	2.30	2.55	3.19	3.43	4.28
50	2.02	2.52	2.80	3.50	3.78	4.72
100	2.51	3.14	3.49	4.36	4.73	5.92

Fuente: Siglo XXII SAS

Tabla 150. Caudales máximos instantáneos ajustados con el factor de Bulking para diferentes periodos de retorno para el Drenaje Innominado en el AHR ALTOS DE LA FLORIDA

Tiempo de retorno (años)	Caudal máximo instantáneo Q (m³/s)	Caudal ajustado con factor de Bulking (m3/s)
2	0	0
20	0.018	0.0225
50	0.0875	0.0875
100	0.1625	0.1625

Fuente: Siglo XXII SAS

3.9.2.4. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES A ESCALA 1:2.000

La zonificación de ala amenaza por avenidas torrenciales se presenta en este apartado, las categorías de la zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales obtenidas a partir de la modelación hidrológica – hidráulica se detalla en la siguiente tabla.

Tabla 151. Zonificación y descripción de la amenaza por avenidas torrenciales

Categorización de la amenaza	Descripción
Amenaza alta	Zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del cauce calculado para el caudal de creciente de la avenida torrencial para un periodo de retorno de 2 años, con duración, caudal y velocidad con efectos potencialmente dañinos graves.
Amenaza media	Zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del cauce calculado para el caudal de creciente entre los periodos de retorno de 50 años,

Categorización de la amenaza	Descripción
	con duración, caudal y velocidad con efectos potencialmente dañinos moderados.
Amenaza baja	Zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del cauce calculado para el caudal de creciente de un periodo de retorno mayor o igual a 100 años y con un a profundidad de lámina de agua con efectos dañinos leves.

Fuente: Siglo XXII S.A.S. a partir de (IDEAM, Guía Metodológica para la Elaboración de mapas de inundación, 2017; Bregoli, Medina, & Bateman, 2018)

3.9.2.4.1. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES PARA EL SUELO URBANO DE SOACHA A ESCALA 1:2.000

Hacia el sur del suelo urbano del municipio de Soacha se presentan cauces con comportamiento torrencial, estos corresponden a drenajes sencillos y el Río Soacha y a partir de los modelamientos se obtuvieron las zonificaciones de amenaza alta, media y baja para el suelo en mención.

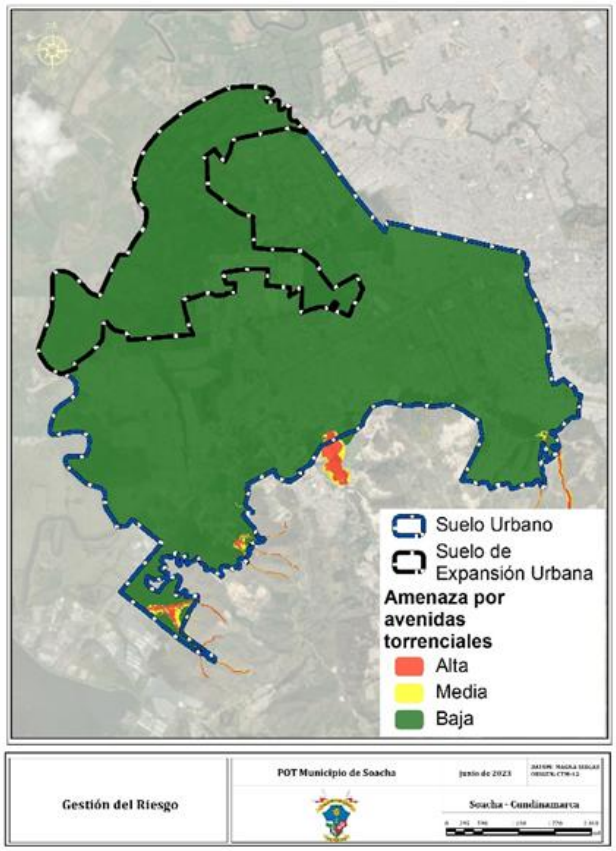


Figura 264. Zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales en el suelo urbano de Soacha
Fuente: Siglo XXII SAS

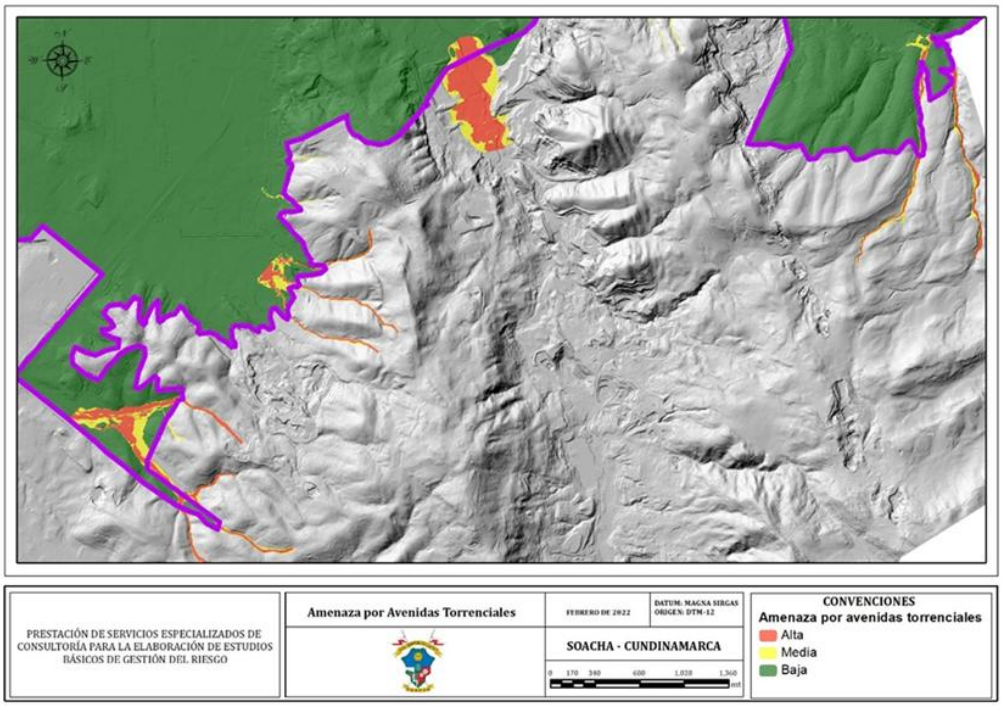


Figura 265. Zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales en el suelo urbano de Soacha. Zoom al sur del perímetro urbano.
Fuente: Siglo XXII SAS

Tabla 152. Zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales en el suelo urbano y de expansión urbana

Suelo	Amenaza Baja		Amenaza Media		Amenaza Alta		Total	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	(%)
Urbano	2980,00	99,15	11,55	0,38	14,01	0,47	3005,56	77,82
Expansión Urbana	856,56	100,00	0,00	0,00	0,00	0,00	856,56	22,18
Total	3836,56	99,34	11,55	0,30	14,01	0,36	3862,11	100

Fuente: Siglo XXII SAS

3.9.2.4.2. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES CPR ALTO DE LA CRUZ

El centro poblado rural Alto de La Cruz no es atravesado por algún cauce natural, así mismo tampoco se encuentra en cercanías de la terminación de alguno, por lo tanto, su zonificación de amenaza por avenidas torrenciales es de tipo baja.

Figura 266. Zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales CPR Alto de La Cruz
Fuente: Siglo XXII SAS

3.9.2.4.3. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES CPR EL CHARQUITO A ESCALA 1:2.000

En suelo que conforma el CPR El Charquito se presenta zonificaciones de amenaza por avenidas torrenciales de tipo alta, media y baja, tal y como se presenta en las siguientes figura y tabla.

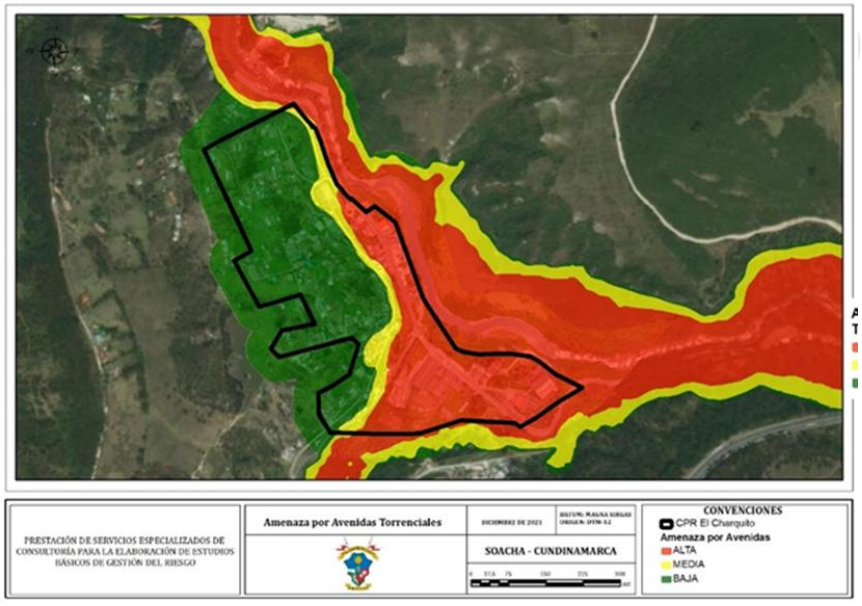


Figura 267. Zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales CPR El Charquito
Fuente: Siglo XXII SAS

Tabla 153. Zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales en el CPR Charquito

Categorización Amenaza	Área (Ha)	(%)
Alta	7.52	38.34
Media	1.77	9.04
Baja	10.32	52.62
Total	19.61	100

Fuente: Siglo XXII SAS

3.9.2.4.4. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES CPR CHACUA CABRERA A ESCALA 1:2.000

En suelo que conforma el CPR Chacua Cabrera se presenta zonificaciones de amenaza por avenidas torrenciales de tipo alta, media y baja, tal y como se presenta en las siguientes figura y tabla.

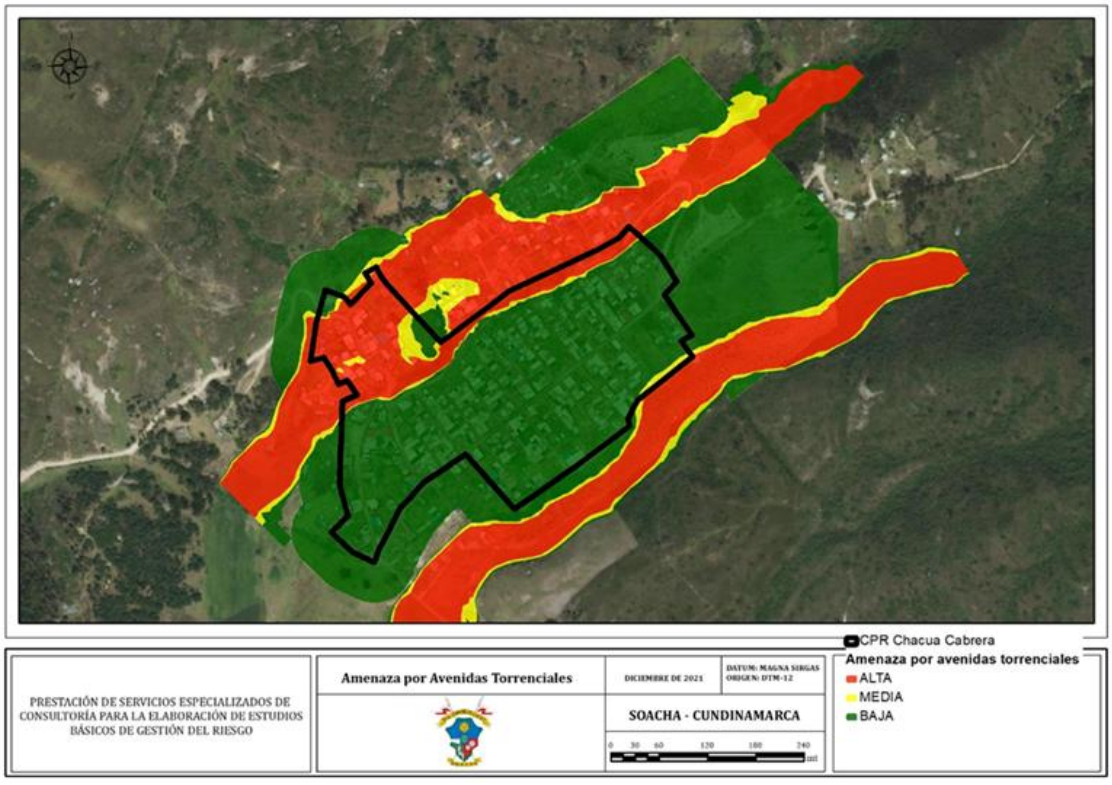


Figura 268. Zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales CPR Chacua Cabrera

Fuente: Siglo XXII SAS

Tabla 154. Zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales en el CPR Charquito

Categorización Amenaza	Área (Ha)	(%)
Alta	1.81	17.74
Media	0.34	3.31
Baja	8.04	78.96
Total	10.19	100

Fuente: Siglo XXII SAS

3.9.2.4.5. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES AHR ALTOS DE LA FLORIDA A ESCALA 1:2.000

El asentamiento humano rural Altos de Florida es atravesado un cauce natural innominado, sus caudales son bajos y por ende su capacidad de transportar sedimentos también, sin embargo, se presenta una zonificación de amenaza de tipo media y baja en el área de estudio para la zonificación de amenaza por avenidas torrenciales.

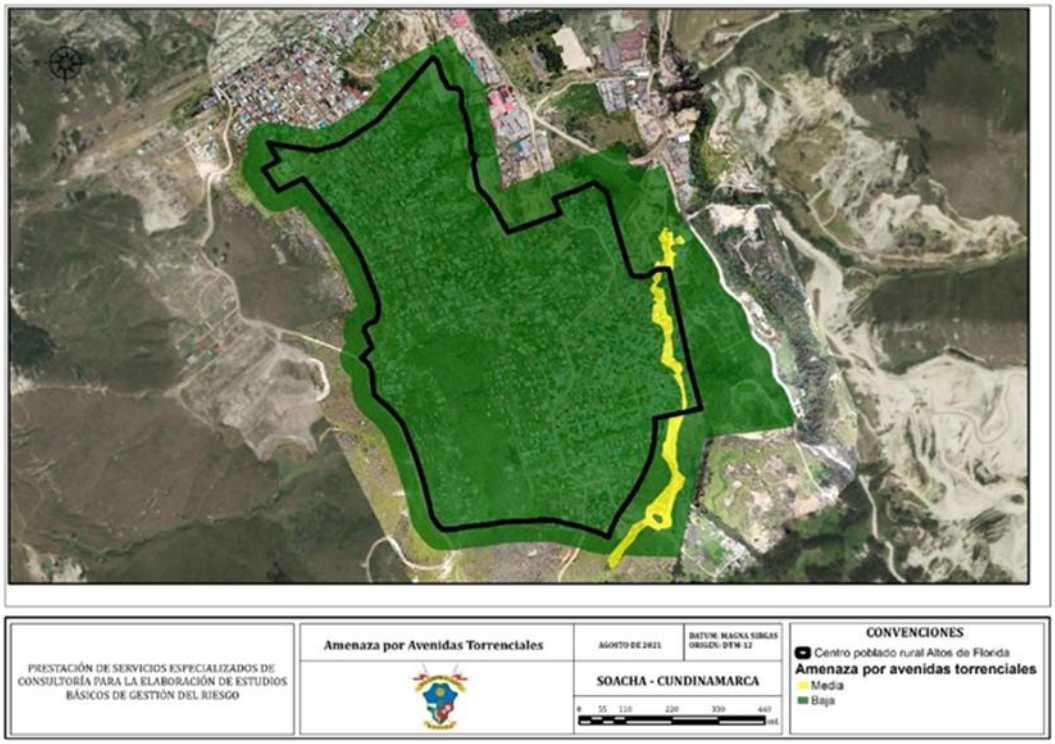


Figura 269. Zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales para el asentamiento humano rural Altos de Florida

Fuente: Siglo XXII SAS

3.9.2.5. ÁREAS CON CONDICIÓN

Según lo establecido en el Articulo 2.2.2.1.3.1.3 del Decreto 1077 DE 2015 indica que lo Estudios básicos para la revisión o expedición de Planes de Ordenamiento Territorial (POT). De conformidad con lo dispuesto en el artículo anterior para la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los planes de ordenamiento territorial o la expedición de nuevos planes, se deben elaborar estudios en los suelos urbanos, de expansión urbana y rural para los fenómenos de inundación, avenidas torrenciales y movimientos en masa, que contienen:

a. La delimitación y zonificación de las áreas de amenaza.

b. La delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza en las que se requiere adelantar los estudios detallados a que se refiere el siguiente artículo.

c. La delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo en las que se requiere adelantar los estudios detallados a que se refiere el siguiente artículo.

d. La determinación de las medidas de intervención, orientadas a establecer restricciones y condicionamientos mediante la determinación de normas urbanísticas.

3.9.2.5.1. 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. La identificación de estas áreas se realizará a partir del análisis de las áreas zonificadas como de amenaza media y alta sin ocupar en los estudios básicos con aquellas que se consideren como objeto de desarrollo.”

Dadas las definiciones normativas, a continuación, se presentan las áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales identificadas para el suelo urbano y los centros poblados rurales El Charquito, Chacua Cabrera y Alto de La Cruz.

Para el suelo urbano se tiene un total de 24.32 Ha de áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales.

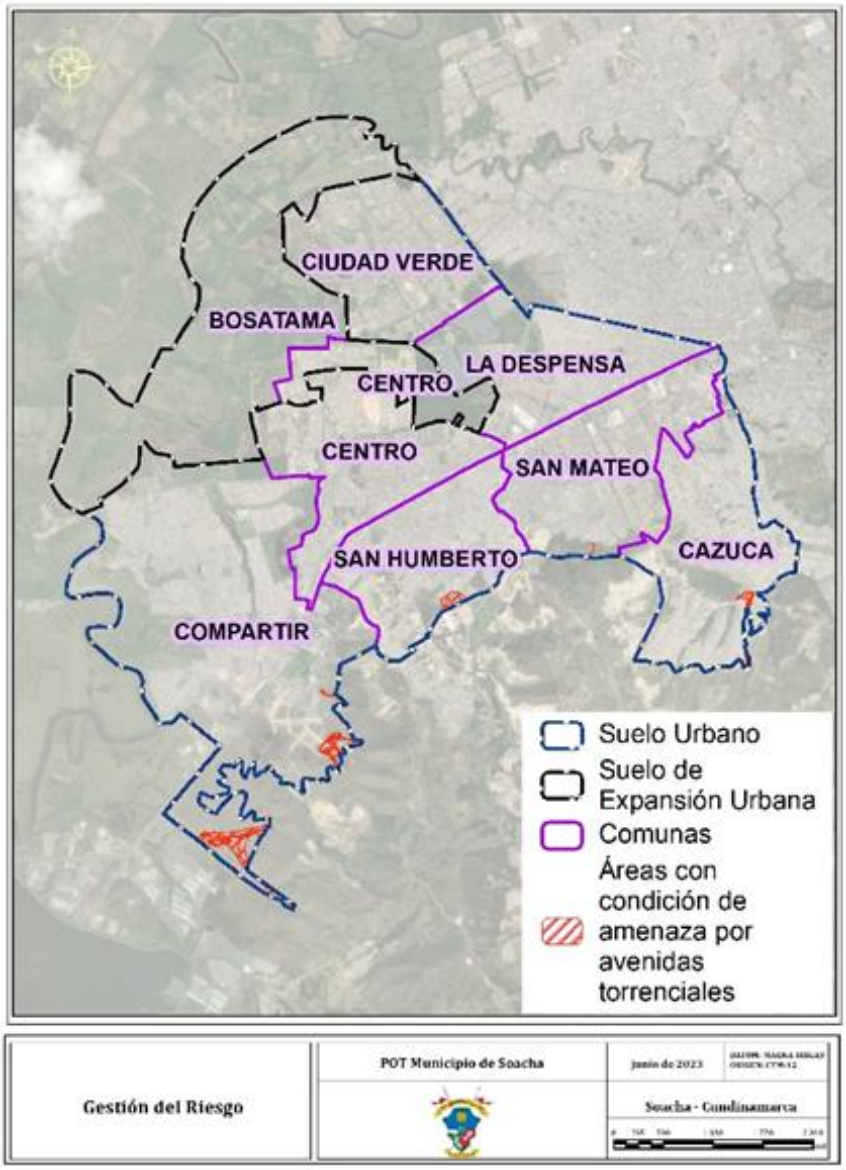


Figura 270. Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el suelo urbano de Soacha
Fuente: Siglo XXII SAS

Para el CPR El Charquito se tiene un total de 5.01 Ha con condición de amenaza por avenidas torrenciales.

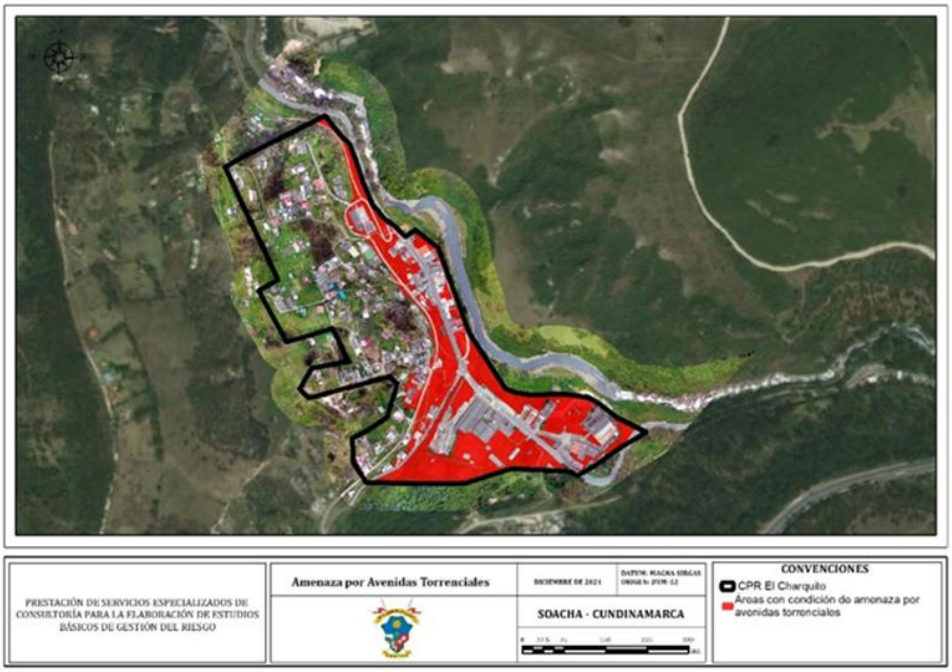


Figura 271. Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales CPR El Charquito
Fuente: Siglo XXII SAS

Para el CPR El Chacua Cabrera se tiene un total de 1.59 Ha con condición de amenaza por avenidas torrenciales.

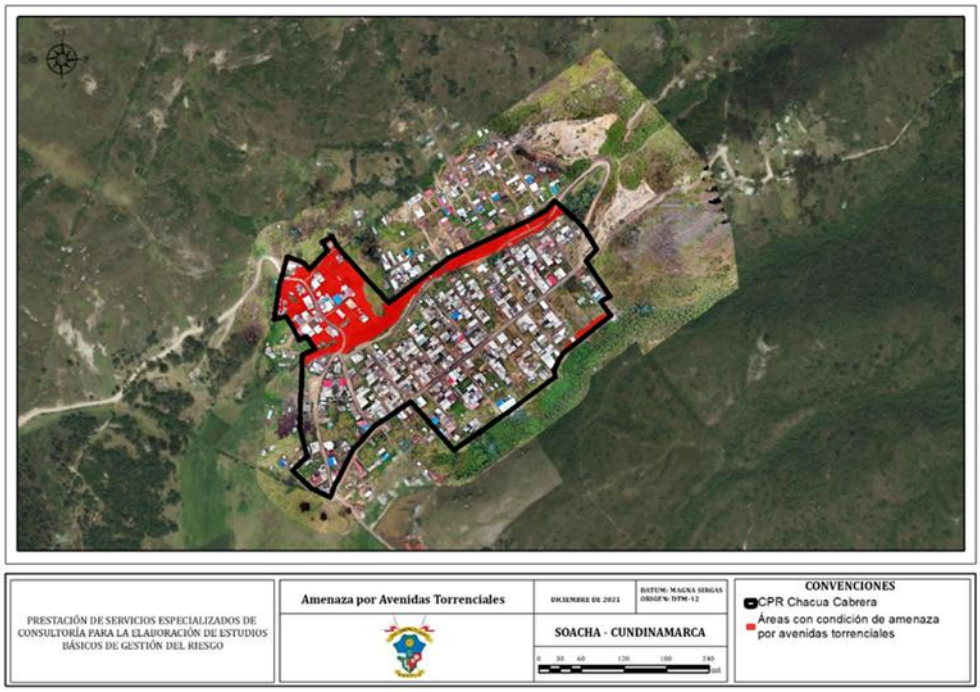


Figura 272. Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales CPR Chacua Cabrera
Fuente: Siglo XXII SAS

Para el asentamiento humano rural Altos de Florida se presentan 0.39 Ha de áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales.

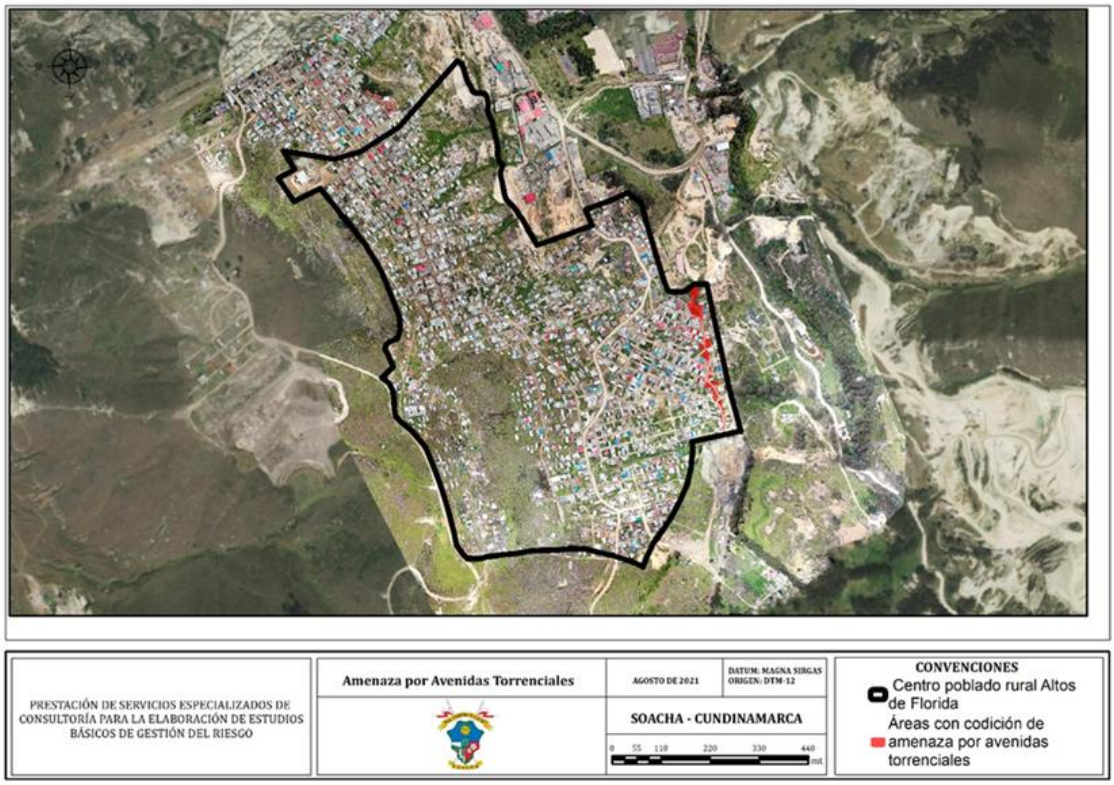


Figura 273. Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales
Fuente: Siglo XXII SAS

3.9.2.5.2. ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO

La identificación de las áreas con condición de riesgo se realizará a partir del análisis de las áreas zonificadas como de amenaza alta en los estudios básicos, con la información cartográfica (predial o catastral, entre otras) disponible que permita 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".

Dadas las definiciones normativas, a continuación, se presentan las áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales identificadas para los centros poblados rurales El Charquito y Chacua – Cabrera cuyos elementos expuestos corresponden a infraestructura vial y tejido urbano continuo. Para el suelo urbano los elementos expuestos corresponden a la franja de protección de líneas de alta tensión, vías urbanas arteriales y construcciones urbanas.

Para el suelo urbano del municipio de Soacha se tiene un total de 1.13 Ha con condición de riesgo por avenida torrenciales.

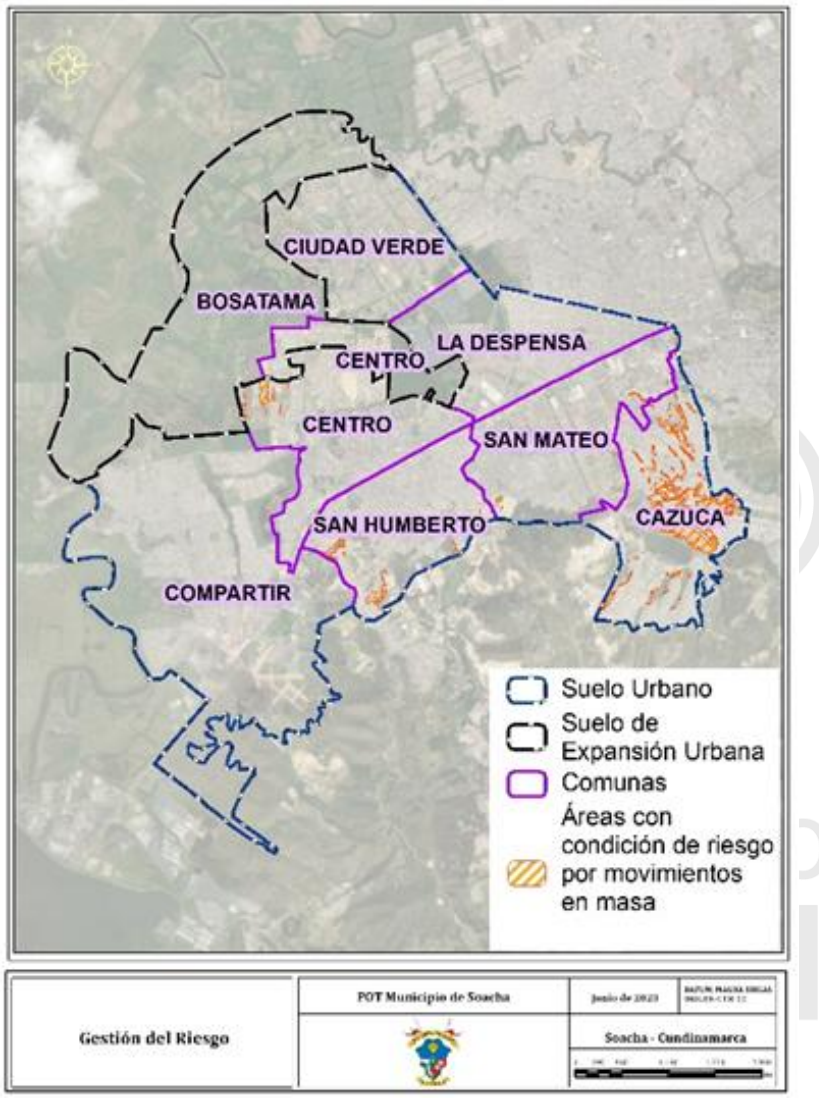


Figura 274. Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el suelo urbano del municipio de Soacha

Fuente: Siglo XXII SAS

Para el CPR El Charquito se tiene un total de 3.54 Ha con condición de riesgo por avenidas torrenciales.

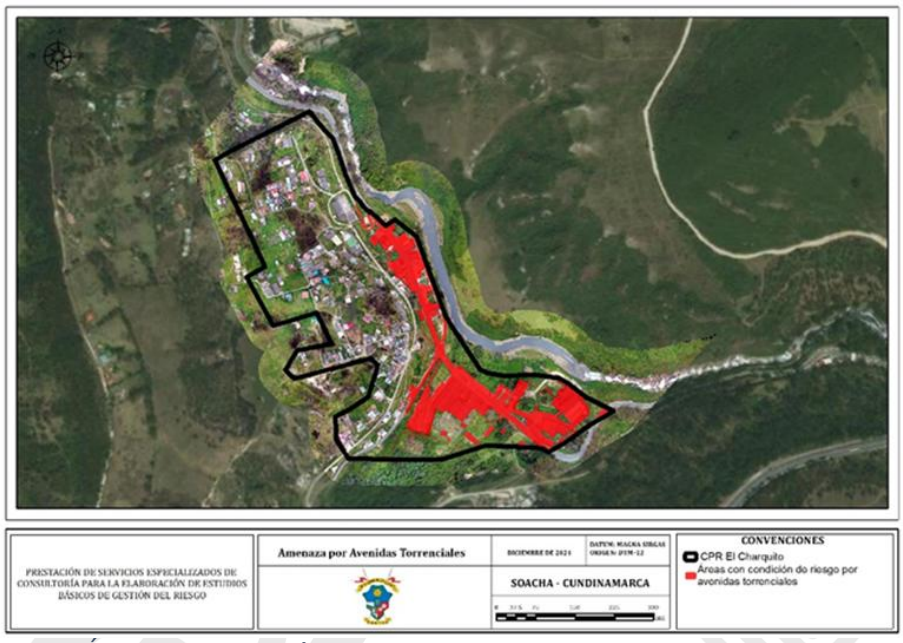


Figura 275. Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales CPR El Charquito
Fuente: Siglo XXII SAS

Para el CPR El Chacua Cabrera se tiene un total de 0.47 Ha con condición de riesgo por avenidas torrenciales.

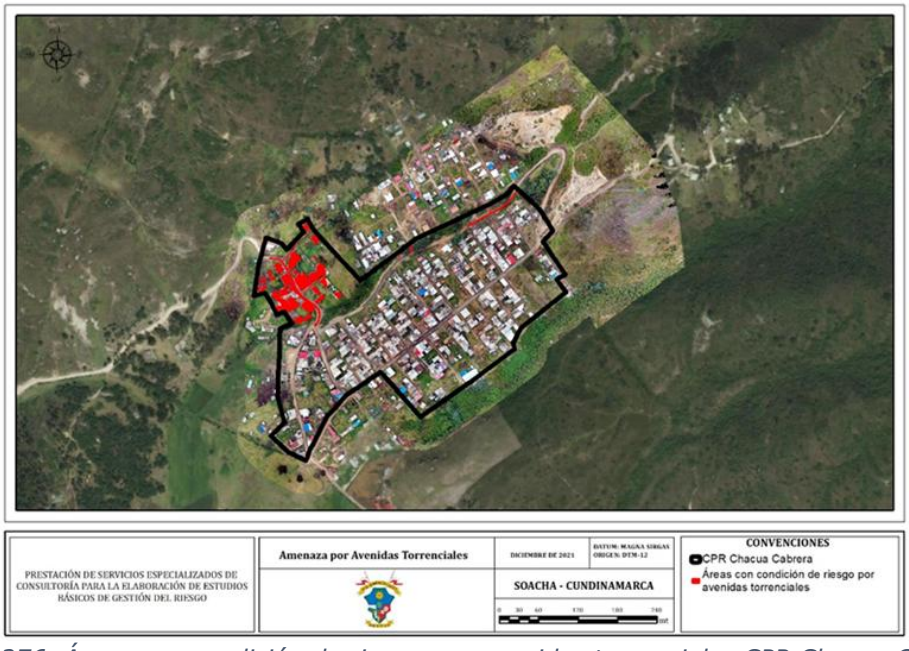


Figura 276. Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales CPR Chacua Cabrera
Fuente: Siglo XXII SAS

3.9.2.6. MEDIDAS DE INTERVENCIÓN

Las medidas de intervención, orientadas a establecer restricciones y condicionamientos mediante la determinación de normas urbanísticas para las áreas con condición de amenazas identificadas se presentan en los ítems de medidas no estructurales y estructurales

3.9.2.6.1. MEDIDAS NO ESTRUCTURALES

a. Se deberán realizar estudios detallados de vulnerabilidad y riesgo por avenidas torrenciales para las áreas con condición de amenaza y riesgo por avenidas torrenciales teniendo en cuenta lo establecido en el Artículo 2.2.2.1.3.1.4. Estudios detallados del Decreto 1077 de 2015 teniendo en cuenta que dichos están orientados a determinar la categorización del riesgo y establecer las medidas de mitigación correspondientes.
b. El Concejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (PMGRD), deberá prepararse y actualizar el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres.
c. Diseñar e implementar campañas de educación ambiental enfocadas a la gestión del riesgo por parte de las comunidades y sus representantes en apoyo con las autoridades competentes.
d. Diseñar, implementar y mantener una base de datos documental y cartográfica con el inventario de eventos desastrosos producto de avenidas torrenciales.
e. A partir de las etapas de desarrollo y de los productos obtenidos en la evaluación y zonificación de la amenaza por eventos de avenidas torrenciales, se observó la falta o necesidad de información que puede ser de gran relevancia para precisar las zonas identificadas como amenaza media y alta en el municipio y tener así una mejor caracterización de estos sectores con un mejor detalle.
f. Adquirir imágenes satelitales de alta resolución en diferentes periodos de tiempo para identificar con mayor precisión las geoformas asociadas a este tipo de eventos en zonas con alto índice de relieve.
g. Implementar un sistema de registro completo de los eventos amenazantes por avenidas torrenciales que puedan dar información técnica de las causas de los eventos, como localización, origen del evento (antrópico como intervenciones a cauces naturales), procesos desencadenantes, zonas afectadas, duración. Este tipo de trabajos se deben desarrollar por las autoridades municipales y departamentales encargadas de atender este tipo de eventos.

3.9.2.6.2. MEDIDAS ESTRUCTURALES

La administración municipal, en base a los sectores críticos identificados en el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres y del estudio detallado en áreas con condición de riesgo, gestará la conformación de un programa de mitigación del riesgo, bajo el cual se diseñarán y construirán

las medidas estructurales a implementar en las áreas de riesgo mitigable determinadas en los estudios detallados.

4. ESTUDIO BÁSICO DE AMENAZA POR INCENDIOS FORESTALES

4.1. INTRODUCCIÓN

Dada la importancia que el municipio de Soacha representa en cuanto a proyección de futuros desarrollos inmobiliarios, se desea conocer la exposición del territorio ante diferentes fenómenos naturales, para el caso el de incendios forestales; por esta razón el presente documento busca conocer las condiciones de amenaza y riesgo del Municipio frente a posibles eventos asociados con incendios de la cobertura vegetal; Además del interés de tener un diagnóstico certero de las zonas del Municipio que puedan verse afectadas por este fenómeno, se busca que este estudio pueda ser de utilidad para el municipio de Soacha como insumo para la toma de decisiones.

El Decreto 1807 de 2014, derogado por el Decreto 1077 de 2015, estableció las condiciones para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial (POT, PBOT, EOT) de los municipios del país; este decreto establece en su Artículo 2.2.2.1.3.1.3. "Estudios básicos para la revisión, o expedición de Planes de Ordenamiento Territorial - POT" que *"(...) se deben elaborar estudios en los suelos urbanos, de expansión urbana, y rural para los fenómenos de inundación, avenidas torrenciales y movimientos en masa (...)",* no obstante, el mismo Decreto manifiesta que aquellas entidades territoriales que se encuentren expuestas a amenazas por otros fenómenos naturales deberán adelantar los respectivos estudios para obtener las correspondientes zonificaciones de amenaza.

Por esta razón, y dada la cantidad de eventos registrados en los municipios que se localizan en jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR, relacionados con el fenómeno de incendios forestales, esta entidad ha determinado que los municipios en su jurisdicción deben también realizar la zonificación de amenaza por incendios forestales, para lo cual ha generado la metodología denominada "Memoria técnica para la zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR", la cual se generó tomando como base metodológica el "Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios forestales de la cobertura vegetal escala 1:100.000".

Partiendo de este hecho, en el presente documento se generará la zonificación de amenazas y riesgos por incendios de la cobertura vegetal o incendios forestales para el municipio de Soacha, dando alcance a la metodología emitida por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, adoptado por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR para los municipios que se encuentran en su jurisdicción; Además, a partir de los resultados obtenidos del cálculo de la zonificación de amenaza, se aplicará la metodología descrita en los Artículos 2.2.2.1.3.2.1.4 y 2.2.2.1.3.2.1.5 del Decreto 1077 de 2015 para identificar las áreas del

municipio de Soacha que se encuentran en condición de amenaza y en condición de riesgo, articulando de esta manera la zonificación de amenaza por incendios de la cobertura vegetal con la propuesta de ordenamiento territorial, dando alcance de esta manera a los requerimientos técnicos exigidos por la CAR para la incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial.

4.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo principal del presente estudio técnico es el de generar un diagnóstico de las posibles amenazas y riesgos por incendios forestales en el municipio de Soacha, y generar zonificación de amenaza por este fenómeno implementando la "Memoria técnica para la zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR", la cual a su vez se soporta metodológicamente en el Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios forestales de la cobertura vegetal escala 1:100.000 del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM.

4.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Los objetivos específicos definidos para el proyecto se establecieron teniendo en cuenta que, para obtener la zonificación de amenazas y riesgos por incendios de la cobertura vegetal para el municipio de Soacha, es necesaria la elaboración de productos intermedios necesarios para dar alcance al objetivo principal; por tanto, serán objetivos específicos del proyecto:

a. Determinar la susceptibilidad total de la vegetación del municipio de Soacha a incendios de la cobertura vegetal.

b. Determinar la amenaza total de la vegetación del municipio de Soacha a incendios de la cobertura vegetal.

c. Identificar las zonas del Municipio que presentan condición de amenaza y condición de riesgo por incendios de la cobertura vegetal siguiendo el marco técnico normativo especificado en el Decreto 1077 de 2015.

d. Articular la zonificación de amenazas por incendios de la cobertura vegetal con la propuesta de ordenamiento del territorio del Municipio, dando alcance a lo establecido en el Decreto 1077 de 2015.

e. Determinar la Vulnerabilidad total de la vegetación del municipio de Soacha a incendios de la cobertura vegetal (Anexo 1).

f. Determinar el riesgo total de la vegetación del municipio de Soacha a incendios de la cobertura vegetal (Anexo 1).

g. Cumplir con los parámetros técnicos exigidos por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR para la generación de la zonificación de amenazas y riesgos por el fenómeno de incendios forestales, permitiendo identificar las zonas del municipio de Soacha que pueden verse afectadas por este tipo de fenómeno.

4.4. ZONIFICACIÓN DE AMENAZAS Y RIESGOS A INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL PARA EL MUNICIPIO DE SOACHA – CUNDINAMARCA

4.4.1. ASPECTOS GENERALES

Conforme lo establece la UNGRD (UNGRD, 2019), un incendio de la cobertura vegetal, también conocido como incendio forestal, hace referencia al fuego que se presenta sobre la cobertura vegetal y que se propaga sin control sobre la misma, generando perturbaciones ecológicas en zonas urbanas o rurales, y cuya área afectada varía según diferentes factores, como los que serán analizados en este documento técnico; Las causas que generan el fuego que origina un incendio natural pueden ser atribuibles a factores naturales (precipitación, temperatura, velocidad del viento, radiación solar, pendientes topográficas), o a factores humanos (Accesibilidad, asentamientos humanos, etc.), razón por la cual la metodología que será implementada para la zonificación de amenazas y riesgos por este fenómeno contempla factores de ambos tipos para la definición de la amenaza total por incendios forestales.

Frente al fenómeno de los incendios de la cobertura vegetal existe un marco normativo tendiente a la prevención de los mismos, el cual obliga que sea el mismo Estado el encargado de garantizar la protección y conservación de las áreas naturales, previniendo que estás sean degradadas por diferentes factores, dentro de los que por supuesto se encuentran las actividades antrópicas; El marco normativo sobre los incendios forestales tiene como base a la Constitución Política de Colombia, a partir de la cual han surgido diferentes reglamentaciones relacionadas con el tema; A continuación, se realiza una breve descripción de ellas:

Tabla 155. Marco Normativo – Incendios Forestales

Marco Normativo – Incendios Forestales	
Norma	**Aspectos relacionados**
Constitución Política	Artículo 79: "Todas las personas tienen derecho a gozar de un ambiente sano", "es deber del Estado proteger la diversidad e integridad del Ambiente, conservar las áreas de especial importancia ecológica y fomentar la educación para el logro de estos fines".

Marco Normativo – Incendios Forestales	
Norma	**Aspectos relacionados**
	Artículo 80. "El Estado planificará el manejo y aprovechamiento de los recursos naturales, para garantizar su desarrollo sostenible, su conservación, restauración o sustitución. Además, deberá prevenir y controlar los factores de deterioro ambiental, imponer las sanciones legales y exigir la reparación de los daños causados."
Decreto Ley 2811 de 1974[2]	Artículo 241: "Se organizarán medidas de prevención y control de incendios forestales y quemas en todo el territorio Nacional, con la colaboración de todos los cuerpos y entidades públicas, que darán especial prioridad a labores de extinción de incendios forestales." Artículo 242: "Toda persona está obligada a comunicar inmediatamente la existencia de un incendio forestal a la autoridad más próxima." Artículo 243: "Los propietarios, poseedores…están obligados a permitir el tránsito y la permanencia dentro de las fincas a los funcionarios, y a todas las demás personas que colaboren en la prevención o extinción del incendio." Artículo 244: "Los propietarios, poseedores, tenedores y ocupantes de predios rurales están obligados a adoptar las medidas que se determinen para prevenir y controlar los incendios en esos predios." Artículo 245: "La administración deberá expedir la reglamentación que considere necesaria para prevenir y controlar incendios forestales y recuperar los bosques destruidos por éstos.". Artículo 305: "Corresponde a los funcionarios impartir las órdenes necesarias para la vigilancia y defensa de los recursos naturales renovables y del ambiente." Artículo 306: "El incendio u otro caso semejante, que amenace perjudicar los recursos naturales renovables o el ambiente se adoptarán las medidas indispensables para evitar, contener o reprimir el daño, que durarán lo que dure el peligro."

[2] **Decreto Ley 2811 de 1974**: Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente.

Marco Normativo – Incendios Forestales	
Norma	**Aspectos relacionados**
Ley 99 de 1993[3]	Artículo 1: Principios Generales Ambientales. 7. El Estado fomentará la incorporación de los costos ambientales y el uso de instrumentos económicos para la prevención, corrección y restauración del deterioro ambiental y para la conservación de los recursos naturales renovables. 9. La prevención de desastres será materia de interés colectivo y las medidas tomadas para mitigar los efectos de su ocurrencia serán de obligatorio cumplimiento. 10. La acción para la protección y recuperación ambientales del país es una tarea conjunta y coordinada entre el Estado, la comunidad, las organizaciones no gubernamentales y el sector privado. El Estado apoyará la conformación de organismos no gubernamentales para la protección ambiental y podrá delegar en ellos algunas de sus funciones.
Decreto 948 de 1995[4]	Reglamenta la Ley 99 de 1993 estipulando: Artículo 28: Queda prohibida la quema de bosque natural y de vegetación natural protectora en todo el territorio nacional. Artículo 29: Queda prohibido dentro del perímetro urbano de ciudades, poblados y asentamientos humanos, y en las zonas aledañas que fije la autoridad competente, la práctica de quemas abiertas. Las fogatas domésticas o con fines recreativos estarán permitidas siempre que no causen molestia a los vecinos. Artículo 30: Las quemas abiertas en áreas rurales que se hagan para la preparación del suelo en actividades agrícolas, el descapote del

[3] **Ley 99 de 1993**: Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones.

[4] **Decreto 948 de 1995:** Por el cual se reglamentan, parcialmente, la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 76 del Decreto - Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire.

Marco Normativo – Incendios Forestales	
Norma	**Aspectos relacionados**
	terreno en actividades mineras, la recolección de cosechas o disposición de rastrojo, estarán controladas y sujetas a las reglas que al efecto establezca el Ministerio del Medio Ambiente".
Decreto 2340 de 1997[5]	Reglamenta la Ley 99 de 1993 estipulando: Artículo 9: Los departamentos y los municipios, distritos y áreas metropolitanas cuya población urbana sea superior a un millón (1.000.000) de habitantes, deberán crear comisiones para la prevención y mitigación de incendios forestales. La secretaría técnica de estas comisiones será ejercida en los departamentos por una corporación autónoma regional o de desarrollo sostenible y en los municipios, distritos y áreas metropolitanas cuya población urbana sea superior a un millón (1.000.000) de habitantes, por la autoridad ambiental.
Ley 599 de 2000[6]	Artículo 350: El que con peligro común prenda fuego en cosa mueble, incurrirá en prisión de uno a ocho años y multa de diez a cien SMMLV (salarios mínimos legales mensuales vigentes). Si la conducta se realizare en inmueble o en objeto de interés científico, histórico, cultural, artístico o en bien de uso público, la prisión será de dos a diez años y multa de cien a quinientos SMLV. La pena señalada se aumentará hasta en la mitad si la conducta se cometiere en edificio habitado o en inmueble público, o en establecimiento comercial, industrial o agrícola, o en terminal de transporte, o en depósito de mercancías, alimentos, o en materias o sustancias explosiva, inflamables, asfixiantes o similares, o en bosque, recurso florístico o en áreas de especial importancia ecológica.

[5] **Decreto 2340 de 1997:** Por el cual se dictan unas medidas para la organización en materia de prevención y mitigación de incendios forestales y se dictan otras disposiciones"

[6] **Ley 599 de 2000**: Por el cual se expide el Código Penal.

Marco Normativo – Incendios Forestales	
Norma	**Aspectos relacionados**
Ley 1333 de 2009[7]	Artículo 1: El Estado es el titular de la potestad sancionatoria. En materia ambiental es a través del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, las corporaciones autónomas regionales, las de desarrollo sostenible, las unidades ambientales de los grandes centros urbanos a que se refiere el artículo 66 de la Ley 99 de 1993, los establecimientos públicos ambientales a que se refiere el artículo 13 de la Ley 768 de 2002 y la Unidad Administrativa Especial del Sistema de Parques Nacionales Naturales, UAESPNN. Artículo 5: Se considera infracción en materia ambiental toda acción u omisión que viole las normas contenidas en el Decreto – Ley 2811 de 1974, en la Ley 99 de 1993, en la Ley 165 de 1994, y en las demás disposiciones ambientales vigentes. Artículo 40: Se impondrán al infractor de las normas ambientales, de acuerdo con la gravedad de la infracción. Las sanciones van de acuerdo con la gravedad de la infracción que pueden ser multas diarias hasta por cinco mil SMLV, restitución de especímenes de especies de fauna y flora silvestre y/o trabajo comunitario según condiciones establecidas por la autoridad ambiental
Ley 1523 de 2012[8]	Artículo 1: La gestión del riesgo de desastres, en adelante la gestión del riesgo, es un proceso social orientado a la formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible. Artículo 2: La gestión del riesgo es responsabilidad de todas las autoridades y de los habitantes del territorio colombiano.

[7] **Decreto 2340 de 1997:** Por el cual se dictan unas medidas para la organización en materia de prevención y mitigación de incendios forestales y se dictan otras disposiciones"

[8] **Ley 1523 de 2012**: Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones

Marco Normativo – Incendios Forestales	
Norma	**Aspectos relacionados**
	En cumplimiento de esta responsabilidad, las entidades públicas, privadas y comunitarias desarrollarán y ejecutarán los procesos de gestión del riesgo, entiéndase: conocimiento del riesgo, reducción del riesgo y manejo de desastres, en el marco de sus competencias, su ámbito de actuación y su jurisdicción, como componentes del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres. Por su parte, los habitantes del territorio nacional, corresponsables de la gestión del riesgo, actuarán con precaución, solidaridad, autoprotección, tanto en lo personal como en lo de sus bienes, y acatarán lo dispuesto por las autoridades.
Decreto – Ley 0019 de 2012	Artículo 189. Con el fin de promover medidas para la sostenibilidad ambiental del territorio, sólo procederá la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo del plan de ordenamiento territorial o la expedición del nuevo plan de ordenamiento territorial cuando se garantice la delimitación y zonificación de las áreas de amenaza y la delimitación y zonificación de las áreas con condiciones de riesgo además de la determinación de las medidas específicas para su mitigación, la cual deberá incluirse en la cartografía correspondiente.

Fuente: Tomado de: (UNGRD, 2019); Adaptado por Siglo XXII SAS

Frente a cada una de las normas que son mencionadas en la tabla anterior, han venido surgiendo documentos técnicos, cartillas informativas, normas y una serie de documentos que permiten articular fenómenos como el de los incendios de la cobertura vegetal con el territorio; uno de estos fue el Decreto 1807 de 2014 que posteriormente fue compilado en el Decreto 1077 de 2015, y en el cual se dictan las medidas para articular en los planes de ordenamiento territorial el componente de gestión del riesgo; al respecto este Decreto establece los lineamientos técnicos mínimos exigibles para la elaboración de los estudios básicos de amenaza por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, y deja abierta la posibilidad para que las entidades territoriales elaboren estudios de amenaza por otros tipos de fenómenos como los incendios de la cobertura vegetal.

Si bien, en el Decreto 1077 de 2015 se definen las escalas de trabajo, los productos mínimos entregables y la manera en que se debe articular el ordenamiento del territorio con las zonificaciones de amenaza, no define cuales son las metodologías que deben ser aplicables para cada uno de los fenómenos que se analizan, es por esta razón que según el fenómeno que se pretenda estudiar se debe seleccionar una metodología adecuada que será validada por un equipo especializado perteneciente a cada una de las corporaciones autónomas regionales del país, para el caso de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, este equipo lo conforma la Dirección de Gestión del Ordenamiento Ambiental y Territorial.

No obstante, y a pesar de que en el Decreto 1077 de 2015 no se especifican las metodologías a implementar para cada uno de los fenómenos analizados, existen metodologías que han sido desarrolladas por diferentes entidades con el ánimo de estandarizar el cálculo de la zonificación de amenazas, tal es el caso de la metodología desarrollada por el Servicio Geológico Colombiano – SGC para el fenómeno de movimientos en masa, y la desarrollada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM para el fenómeno de incendios forestales, esta última será aplicada para la obtención de la zonificación de amenazas por incendios de la cobertura vegetal del Municipio de Soacha.

4.4.1.1. CARACTERÍSTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

4.4.1.1.1. ÁREA DE ESTUDIO: MUNICIPIO DE SOACHA – CUNDINAMARCA

El municipio de Soacha se localiza hacia el costado sur del departamento de Cundinamarca; limita hacia el norte con los municipios de Bojacá y Mosquera, al oriente con la ciudad de Bogotá, al sur con el municipio de Pasca y al occidente con los municipios de Sibaté, Granada y San Antonio del Tequendama. El municipio hace parte de la provincia denominada con el mismo nombre, la cual está conformada por los municipios de Soacha y Sibaté.

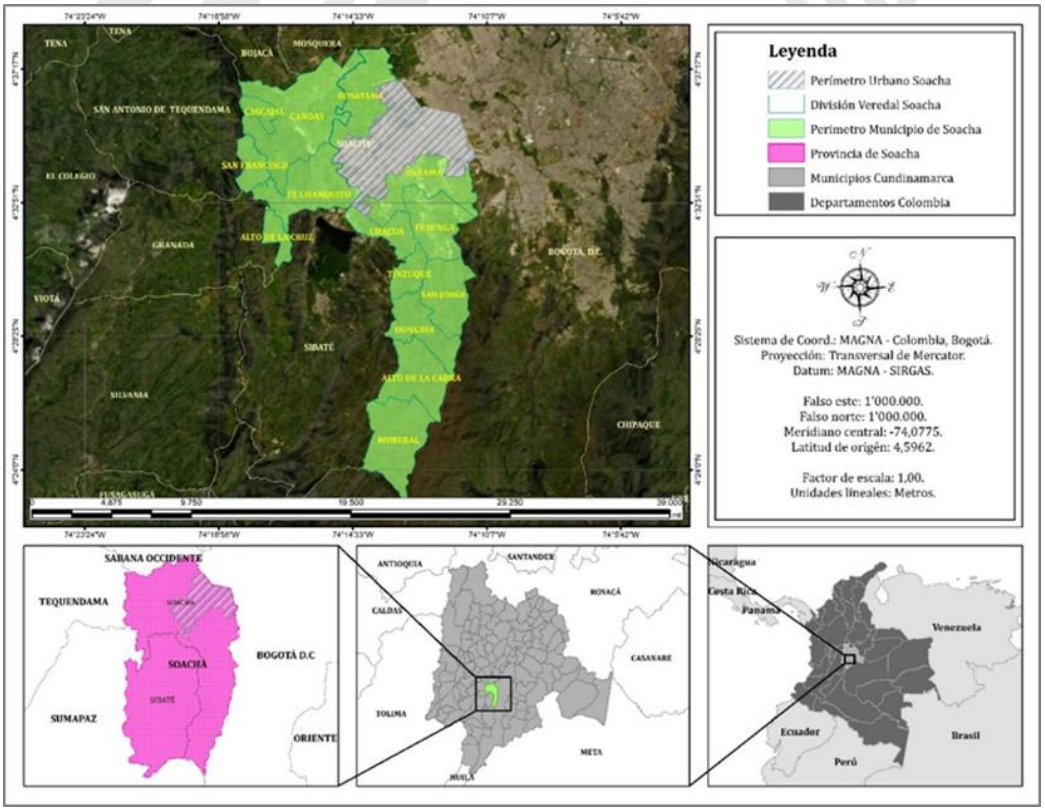


Figura 277. Localización general del municipio de Soacha, Cundinamarca

Fuente: Siglo XXII SAS

El municipio de Soacha cuenta con una extensión superficial de 18.336,76 hectáreas (183,37 Km2), de las cuales 3.162,18 hectáreas, equivalentes al 17,25% del territorio, hacen parte de la zona urbana, mientras que el excedente, es decir 15.174,59 hectáreas (82,75%), conforman la parte rural del Municipio.

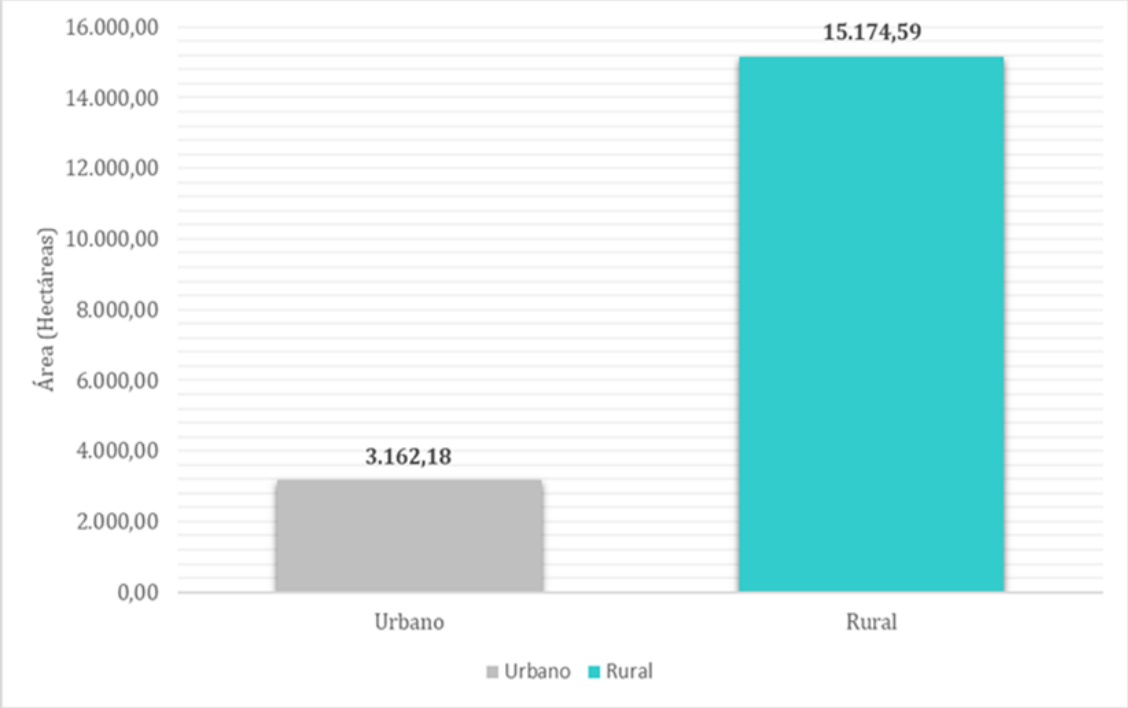


Figura 278. Clasificación del municipio de Soacha en suelo urbano y rural

Fuente: Siglo XXII SAS

Político administrativamente el Municipio está conformado por un (1) Casco Urbano Principal, dos (2) centros poblados denominados: i). Chacua – La Cabrera y ii). El Charquito, y catorce (14) veredas denominadas: i). Panamá (25754000000000001); ii). Fusunga (25754000000000002); iii). Chacua (25754000000000003); iv). Tinzuque (25754000000000004); v). San Jorge (25754000000000002); vi). Hungría (25754000000000006); vii). Alto del Cabra (25754000000000007); viii). Romeral (25754000000000008); ix). Alto de la Cruz (25754000000000009); x). El Charquito (25754000000000010); xi). San Francisco (25754000000000011); xii). Canoas (25754000000000012); xiii). Cascajal; y xiv). Bosatama (25754000000000013); en la Tabla 2 y en la Figura 2 se observa la extensión superficial de cada una de ellas.

Tabla 156. División política – veredal y extensión superficial por vereda

Zonificación Climática por Veredas Municipio de Soacha			
Código Vereda	**Vereda**	**Área (Ha)**	**% Municipio**
25754000000000001	PANAMA	1.288,692	6,883%
25754000000000002	FUSUNGA	1.187,464	6,342%
25754000000000003	CHACUA	646,507	3,453%
25754000000000004	TINZUQUE	465,978	2,489%
25754000000000005	SAN JORGE	1.121,646	5,991%
25754000000000006	HUNGRIA	997,717	5,329%
25754000000000007	ALTO DEL CABRA	1.620,720	8,656%
25754000000000008	ROMERAL	1.640,318	8,761%
25754000000000009	ALTO DE LA CRUZ	340,426	1,818%
25754000000000010	EL CHARQUITO	1.579,716	8,437%
25754000000000011	SAN FRANCISCO	364,365	1,946%
25754000000000012	CANOAS	2.839,339	15,165%
25754000000000013	CASCAJAL	267,983	1,431%
25754000000000014	BOSATAMA*	500,242	2,672%
EXPANSIÓN URBANA	EXPANSIÓN URBANA	856,558	4,575%
ZONA URBANA	CABECERA MUNICIPAL	3.005,556	16,053%
Total		**18.723,227**	**100%**

Fuente: Siglo XXII SAS

Como puede observarse, la vereda Canoas es la vereda que mayor superficie ocupa en cuanto a extensión superficial, abarcando un área de 2.839,339 hectáreas equivalentes al 15,16% del área total del Municipio, le sigue la vereda Romeral con 1.640,318 hectáreas (8,76%) y El Charquito con 1.579,716 hectáreas (8,43%); por su parte, la vereda Cascajal es la que menos superficie abarca, cubriendo una extensión superficial de 267,983 hectáreas, equivalentes al 1,43% del territorio, seguida por las veredas Alto de La Cruz (1,81%) y San Francisco (1,94%), las cuales tienen un área de 340,426 hectáreas y 364,365 hectáreas, respectivamente; Las demás veredas cuentan con áreas que están en el rango de las 461,02 a las 1.286,60 hectáreas.

Cabe resaltar que Soacha tiene la particularidad de que su Casco Urbano Principal cuenta con una extensión superficial mayor a la de la vereda más grande el Municipio, encontrándose que la zona urbana cubre 3.162,18 hectáreas (17,25% del territorio), mientras que la vereda Canoas cubre 2.794,59 hectáreas (15,24% del territorio); aspecto que permite dimensionar la magnitud del crecimiento de la huella urbana del Municipio en las últimas décadas.

4.4.1.1.2. DEMOGRAFÍA

Según datos demográficos del DANE (DANE, 2018) Soacha cuenta con una población total de 660.179 habitantes, de los cuales 655.025 se localizan en la zona urbana del Municipio, y el excedente (5.154 habitantes) se encuentra distribuidos en la zona rural, esto significa que el 99,22% de la población del Municipio se localiza en la zona urbana, y tan solo el 0,78% se localiza en la zona rural.

Si se tiene en cuenta que la zona urbana del Municipio tiene una extensión superficial de 3.162,18 hectáreas se puede determinar que la densidad de población por hectárea en el Municipio es de ≈ 207 habitantes, la cual resulta ser una de las densidades poblacionales más altas de América Latina y la más alta de Cundinamarca; la población urbana de Soacha está distribuida en seis (6) comunas que agrupan un total de 368 barrios de los cuales el 23% aproximadamente están sin legalizar, localizándose en su mayoría en zonas marginales de alto riesgo donde se evidencia el más alto índice de pobreza urbano del Municipio (Gobernación de Cundinamarca, 2016). Por su parte, la población rural se distribuye entre las 14 veredas y los dos centros poblados del Municipio (Chacua y El Charquito).

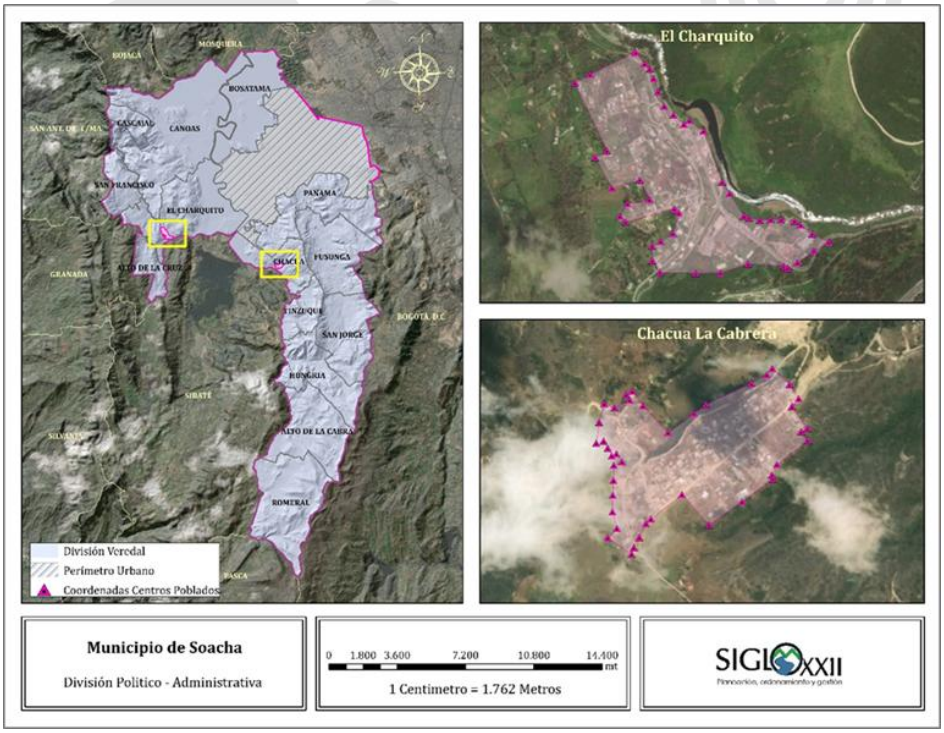


Figura 279. División político – administrativa del municipio de Soacha
Fuente: Siglo XXII SAS

Para la elaboración de la zonificación de amenazas y riesgos en el municipio de Soacha se tuvo en cuenta la huella urbana del Casco Urbano Principal, entendiendo está como el polígono dentro del que se relacionan y articulan los diferentes componentes que conforman la zona urbana (Construcciones, vías, equipamientos, etc.); Su delimitación fue posible gracias a que la totalidad

de la zona urbana cuenta con una imagen de done capturada recientemente la cual permitió delimitarla detalladamente; para la delimitación de la huella urbana del Municipio se tuvieron en cuenta además imágenes satelitales de alta resolución de geoportales como Google Earth (Satélites COPERNICUS, LANDSAT, MAXAR TECHNOLOGIES, CNES/AIRBUS), el basemap del software ArcGIS, entre otros con el ánimo de identificar posibles desarrollos presentados entre el 2017 y el 2020.

Una vez delimitada la huella urbana del Municipio fue posible establecer que de las 3.162,18 hectáreas que conforman el Casco Urbano Principal, 2183,79 hectáreas correspondientes al 69,06% de la zona urbana, conforman la huella urbana del Municipio, el área excedente la conforman zonas no urbanizadas en las que se identifican coberturas asociadas con pastos limpios, pastos enmalezados, herbazales y zonas pertenecientes a la estructura ecológica principal del Municipio.

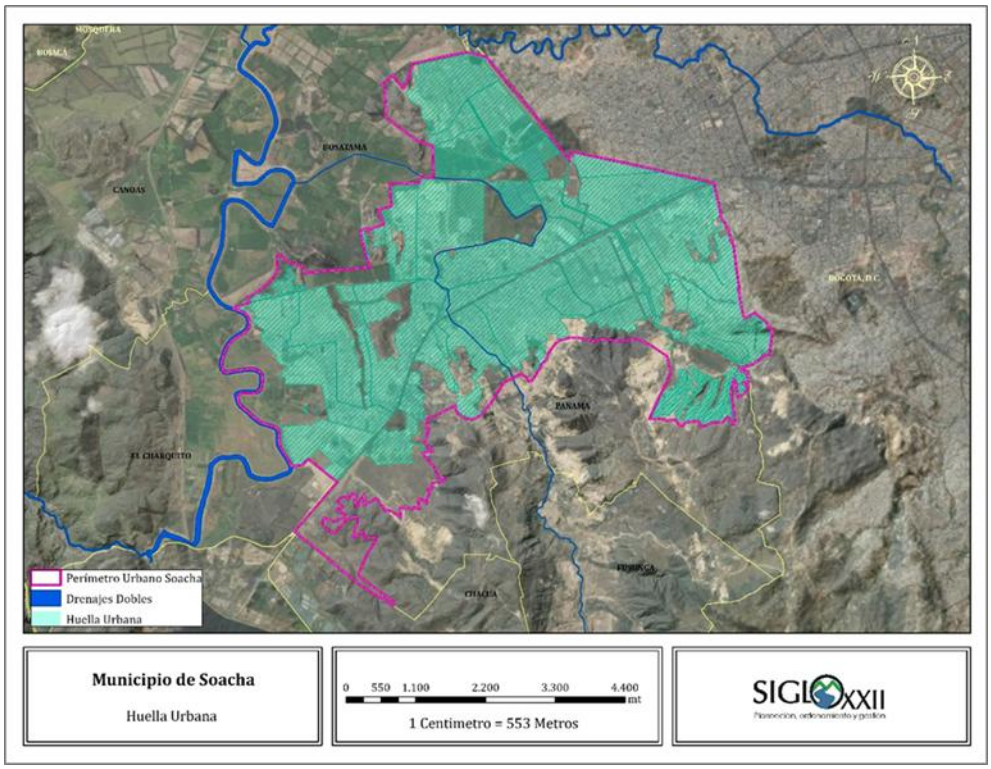


Figura 280. Huella urbana municipio de Soacha
Fuente: Siglo XXII SAS

4.4.1.1.2.1. DISTRIBUCIÓN DE LAS VIVIENDAS RURALES EN EL MUNICIPIO DE SOACHA

Conocer la distribución espacial de las construcciones habitables y no habitables en suelo rural del municipio de Soacha permite determinar el grado de exposición que tienen este tipo de infraestructuras, y por supuesto, el de las personas que las habitan, ante la eventual ocurrencia

de un fenómeno de incendios forestales. Dado que el Municipio de Soacha proporcionó al equipo consultor un insumo de muy elevado nivel de detalle como lo es imágenes de drone que cubren la totalidad del territorio municipal, el equipo consultor ha restituido, a partir de dicho insumo, todas las construcciones localizadas en suelo rural, teniendo como base la capa de construcciones generada por el IGAC como parte de los insumos del convenio interadministrativo 2975 de 2008 celebrado entre dicha entidad, la CAR y la Gobernación de Cundinamarca (IGAC, 2008), resultando en la obtención de un insumo cartográfico detallado que será de gran importancia al momento de identificar las viviendas localizadas en zonas con condición de amenaza y condición de riesgo por fenómenos de la cobertura vegetal, así como para el cálculo de insumos como el de vulnerabilidad poblacional Anexo 3 y Anexo 4.

Durante la restitución de las infraestructuras identificadas en suelo rural se asignó una categoría a cada construcción teniendo en cuenta las características asociadas a cada una (residencial, industrial, obras hidráulicas, cultivos confinados, otras), encontrándose la siguiente distribución en el Municipio:

Tabla 157. Distribución espacial de las construcciones en suelo rural

Distribución de las construcciones en suelo rural

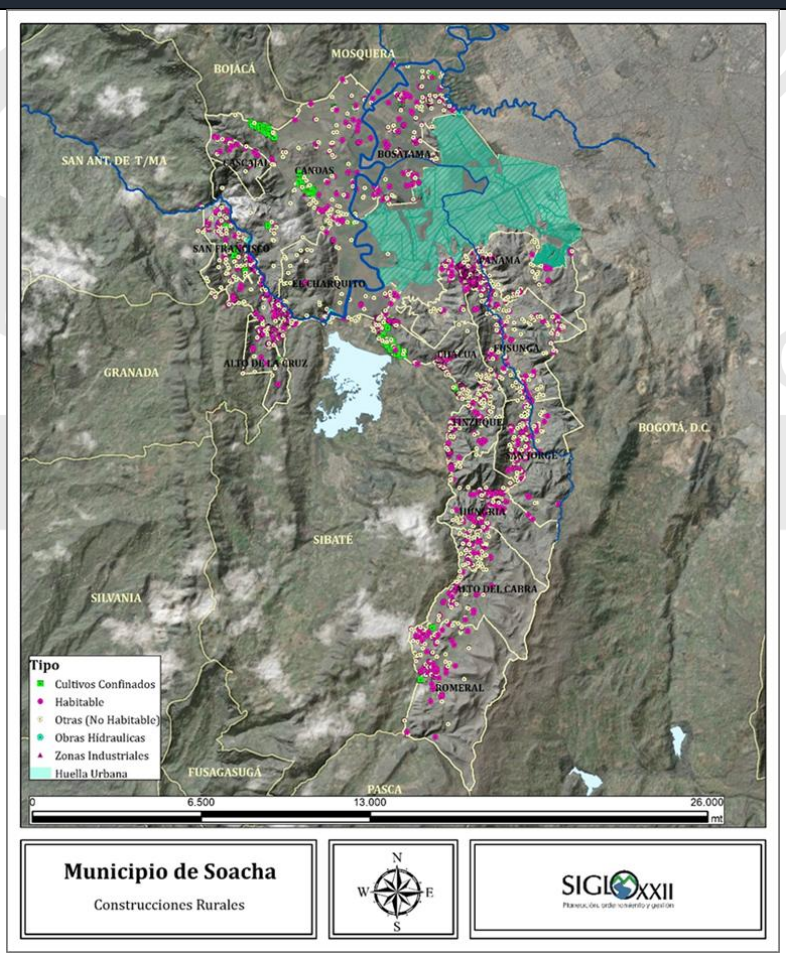


Figura 281. Distribución espacial de las construcciones rurales en el Municipio de Soacha

Distribución de las construcciones en suelo rural						
Vereda	**Habitable**	**Otras (No Habitable)**	**Obras Hidráulicas**	**Zonas Industriales**	**Cultivos Confinados**	**Total**
Panamá	1.329	291	0	9	0	1.629
Fusunga	331	295	0	18	2	646
Chacua	584	371	0	1	42	998
Tinzuque	205	202	0	0	0	407
San Jorge	192	212	0	0	2	406
Hungría	143	131	0	0	0	274
Alto del Cabra	142	163	0	0	0	305
Romeral	97	70	0	0	1	168
Alto de La Cruz	92	60	0	0	1	153
El Charquito	731	455	1	1	1	1.189
San Francisco	209	187	1	0	12	409
Canoas	87	183	0	1	54	325
Cascajal	23	22	0	0	0	45
Bosatama	195	215	1	0	6	417
	4.360	2.857	3	30	121	7.371

Fuente: Siglo XXII SAS

Figura 282. Sup. Izquierda cultivos confinados en la vereda Canoas; Sup. Derecha zona industrial en la vereda Panamá; Inf. Izquierda: Zonas habitables en la vereda Panamá; Inf. Derecha: Otras Construcciones (No Habitables) en la vereda Canoas.

Como se ha mencionado, la elaboración de este insumo se relaciona con la necesidad de conocer la distribución espacial de las infraestructuras en el territorio municipal, para así determinar su vulnerabilidad ante un fenómeno asociado con incendios de la cobertura vegetal; igualmente su elaboración se hizo necesaria para la construcción del insumo denominado vulnerabilidad poblacional, para el cual es necesaria la información de población por vereda, dato con el que no se contaba y que fue necesario generarlo, por lo que a manera estimativa y tal como se explicará en la sección 4.4.8.1.1.5 del Anexo 1, se utilizará junto con la cifra de población rural del DANE para estimar un valor aproximado del número de habitantes por vereda.

4.4.1.1.3. SISTEMA VIAL

Gran parte de los incendios de la cobertura vegetal son ocasionados directa o indirectamente por las actividades antrópicas, por esta razón, cuanto más asequible sea una zona al ingreso de personas y por tanto, al desarrollo de actividades antrópicas, mayor será su riesgo de presentar un fenómeno asociado con la cobertura vegetal; la necesidad de contar con una capa en la que se identificaran detalladamente las vías, su distribución espacial y su recorrido al interior del Municipio, conllevo a la necesidad de restituir todo el sistema vial rural del Municipio, haciendo uso de la imagen de alta resolución proporcionada por la Secretaría de Planeación y Ordenamiento Territorial, y de capas elaboradas por entidades como el IGAC, las cuales fueron ajustadas a la escala de la imagen mencionada.

Figura 283. Detalle de la escala a la que fueron restituidas las vías rurales, urbanas arteriales y conectoras urbano – rurales
Fuente: Siglo XXII SAS

Restituidas las vías de la zona rural del municipio de Soacha fue posible establecer que en total las vías de primer orden, segundo orden, tercer orden y las vías de acceso, senderos y caminos suman un área de 213,61 hectáreas; por su parte, se estableció que las vías urbanas arteriales principales y las vías conectoras urbano – rurales implementadas para este estudio, cubren un área de 72,78 hectáreas; en la siguiente figura se observa su distribución espacial en el Municipio:

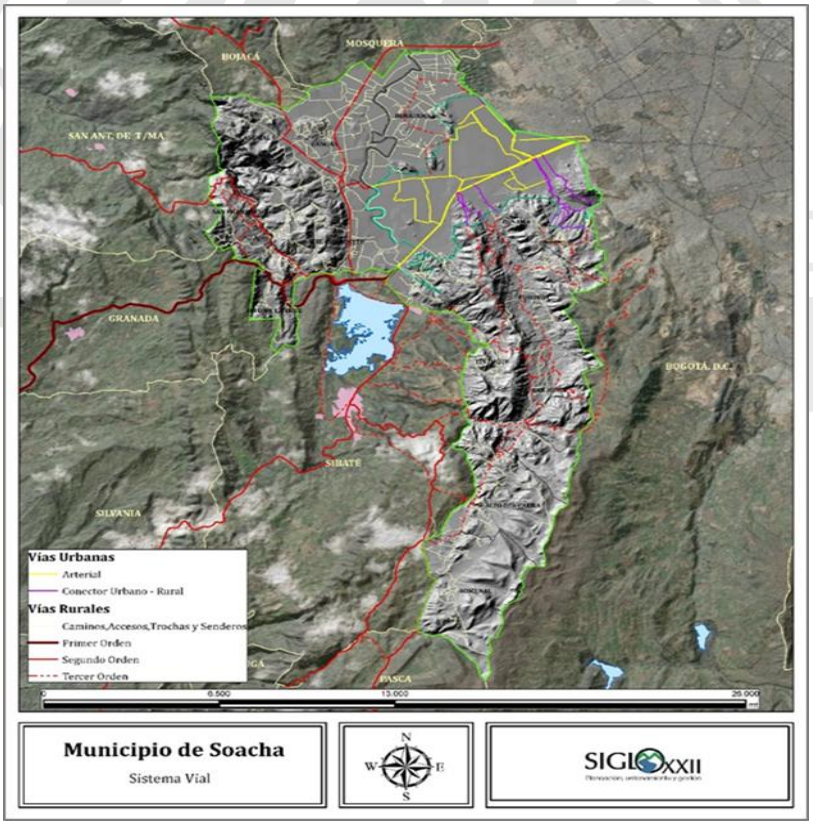


Figura 284. Sistema vial del municipio de Soacha
Fuente: Siglo XXII SAS

4.4.1.1.4. TOPOGRAFÍA Y RELIEVE

El municipio de Soacha se encuentra localizado sobre la cordillera central, razón por la cual es de esperarse que en su jurisdicción se presenten zonas montañosas con relieves escarpados a muy escarpados; se podría indicar de manera general que en el Municipio se presentan dos tipos característicos de relieves, el primero de ellos corresponde a un relieve plano que hace parte del valle del Río Bogotá, comprendiendo alturas que van de los 1980 msnm a los 2583 msnm, y que se localiza principalmente en las veredas Bosatama, Canoas y El Charquito, y el segundo corresponde a un relieve montañoso que se localiza hacia la parte sur del Municipio en la veredas Panamá, Chacua, Fusunga, Tinzuque, San Jorge, Hungría, Alto del Cabra y Romeral, y hacia la parte occidental del Municipio en las veredas Cascajal, Alto de La Cruz, San Francisco y parte de la vereda El Charquito, comprendiendo alturas que van de los 2583 msnm a los 3790 msnm (Ver Figura 10).

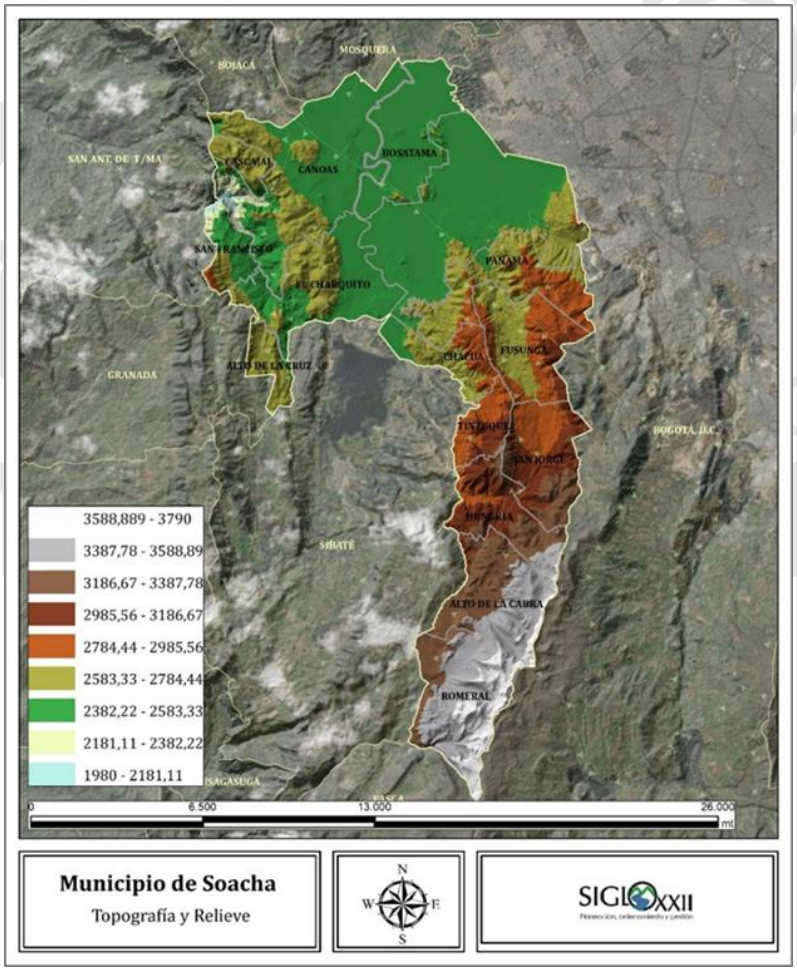


Figura 285. Relieve municipio de Soacha; Fuente: Municipio de Soacha & ALOS PALSAR Fuente: Siglo XXII SAS

Realizando un análisis del relieve del Municipio es posible encontrar una correlación entre este y las zonas en donde se observan la mayor cantidad de coberturas boscosas, encontrándose que las zonas en donde se encuentran las zonas más escarpadas del Municipio es donde se localizan este tipo de coberturas; como es de esperarse, esto se debe a que los relieves escarpados y muy escarpados actúan como un limitante natural frente a las distintas actividades antrópicas que pueden ser desarrolladas en el territorio (vivienda, agricultura, etc.); Adicionalmente se ha encontrado que, las zonas del Municipio en donde se presentan los mayores escarpes (zonas sur y oriental) hacen parte de zonas de reserva con declaratoria, aspecto que restringe en gran parte el desarrollo de actividades humanas que puedan afectar las coberturas boscosas.

4.4.1.1.4.1. PENDIENTES TOPOGRÁFICAS

La topografía se refiere a la forma tridimensional en la que puede ser representado un terreno, permitiendo describir su geomorfología; a pesar de ser tridimensional (3D) requiere para su generación de un insumo bidimensional (2D) denominado "Curvas de Nivel"; las curvas de nivel fueron generadas a partir de un levantamiento topográfico mediante plataforma aérea no tripulada – Drone realizado para todo el municipio de Soacha; a partir de las curvas de nivel se generó mediante geoprocesamiento un modelo digital de elevación – DEM con tamaño de pixel de 1 mt x 1 mt, y de la misma manera (geoprocesamiento) se obtuvo el insumo denominado pendientes.

Las pendientes topográficas pueden ser clasificadas en rangos que varían de acuerdo a la metodología a implementar o a las condiciones que se desean simular; para el caso de la metodología desarrollada para la zonificación de incendios forestales se tendrán en cuenta los rangos definidos en la Sección 5.5.2. Categorías de amenaza a incendios de la cobertura vegetal de la metodología "Memoria técnica: Mapa zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal para la corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR"; dichos rangos se presentan a continuación:

Tabla 158. Categorización por rangos para las pendientes topográficas; Fuente: (IDEAM & CAR, 2014)

Definición de rangos – Pendientes topográficas	
Clasificación Porcentaje (%)	**Clasificación Grados (°)**
0 % a 7 %	0° a 3,15°
7 % a 12 %	3,16° a 5,40°
12 % a 25 %	5,41°a 11,25°
25 % a 75 %	11,26° a 33,75°
Mayor a 75 %	Mayor a 33,76°

Fuente: Siglo XXII SAS

Obtenidas las pendientes topográficas para el municipio de Soacha y asignados los rangos definidos en la metodología para la zonificación de incendios de la cobertura vegetal, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 159. Pendientes topográficas para el municipio de Soacha

Pendientes topográficas – Municipio de Soacha		
Rango (Grados)	**Área (Hectáreas)**	**% del Municipio**
0° a 3,15°	5.089,907	27,76%
3,16° a 5,40°	1.193,339	6,51%
5,41°a 11,25°	3.129,422	17,07%
11,26° a 33,75°	7.964,949	43,44%
Mayor a 33,76°	959,146	5,23%

Fuente: Siglo XXII SAS

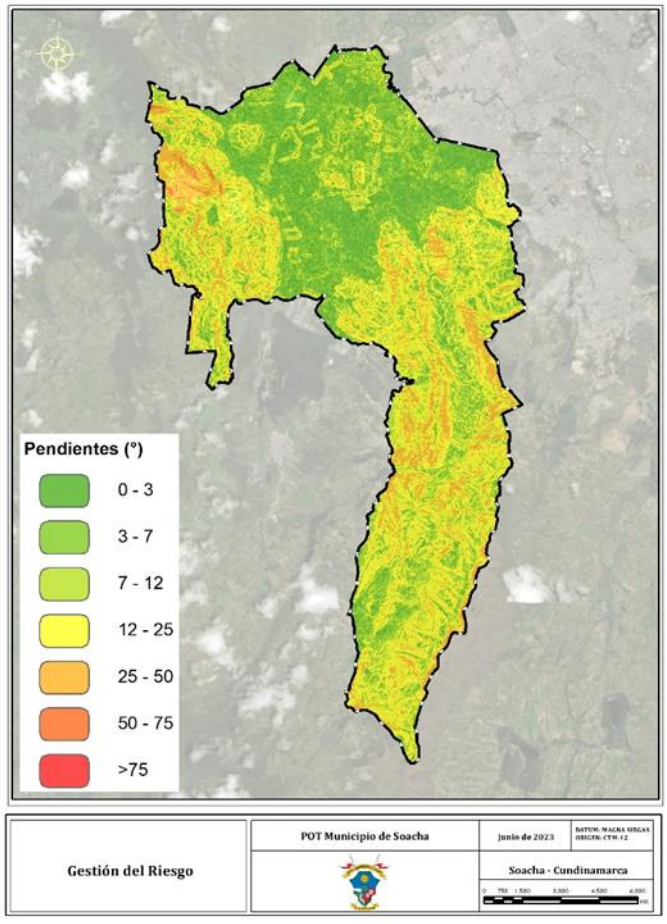


Figura 286. Pendientes topográficas para el municipio de Soacha

Fuente: Siglo XXII SAS

4.4.1.1.5. CONDICIONES ATMOSFÉRICAS

Las condiciones atmosféricas hacen referencia a los componentes que caracterizan el clima de una determinada zona sobre la superficie terrestre; las condiciones atmosféricas están conformadas por diferentes variables de las cuales serán analizadas para el presente estudio, las que según la "Memoria técnica: Mapa zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca", pueden influir como detonantes en la ocurrencia de un incendio de la cobertura vegetal; dichas variables son la precipitación, temperatura, radiación solar y velocidad de los vientos.

4.4.1.1.5.1. PRECIPITACIÓN

La precipitación hace referencia a la cantidad de agua líquida que cae sobre el territorio municipal en forma de lluvia como parte del ciclo del agua; para su elaboración fueron consultadas 13 estaciones hidroclimatológicas de la CAR y el IDEAM a partir de las cuales se obtuvo el valor de precipitación media anual en milímetros para el municipio de Soacha; la distribución de la precipitación en el Municipio se presenta a continuación:

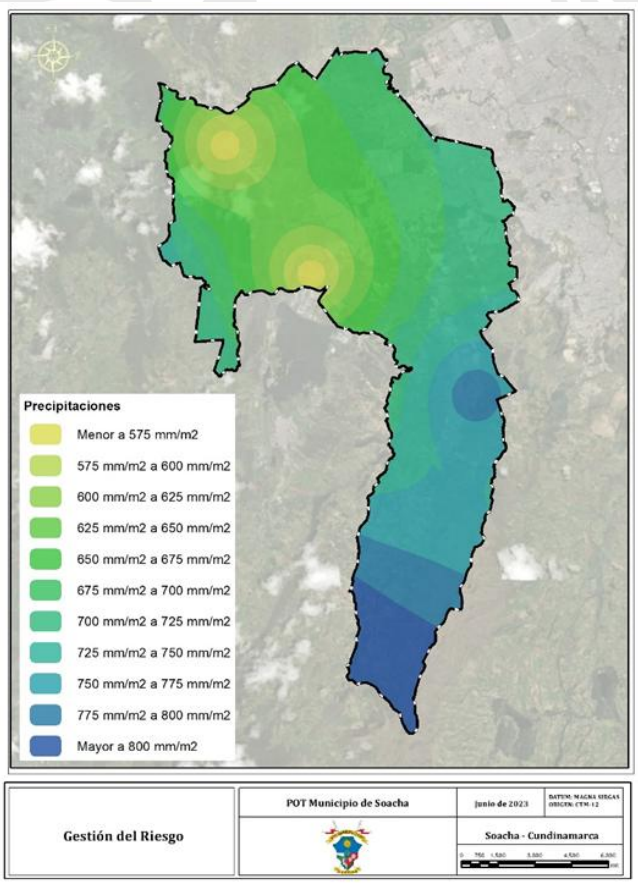


Figura 287. Precipitación municipio de Soacha
Fuente: Siglo XXII SAS

Las estaciones implementadas para el cálculo de la precipitación presentan registros históricos de hasta 60 años, estas fueran consultadas no solo para la jurisdicción del Municipio, sino también para las entidades territoriales localizadas en el área de influencia de Soacha como Sibaté, Pasca, Silvania, Granada, San Antonio del Tequendama, Mosquera, entre otros; para la generación y tratamiento del mapa de precipitación y de las isoyetas asociadas al mismo, fueron utilizadas herramientas de geoprocesamiento espacial y de interpolación (método Spline); A continuación, se presenta la información implementada para la generación del mapa de precipitación:

Tabla 160. Estaciones implementadas para la elaboración del mapa de precipitación.

Estaciones mapa de precipitación					
Nombre	**Código**	**Localización**		**Entidad Territorial**	**Precipitación media anual (mm)**
		Nortes	Estes		
SIBATÉ APOSTÓLICA	2120051	990.032,00	981.566,00	Sibaté	661,67
BOJACÁ	2120075	1.014.960,00	970.616,00	Bojacá	571,03
DOÑA JUANA	2120630	989.457,44	993.357,71	Bogotá D.C	654,56
EL FUTE	2120166	1.000.160,00	977.324,00	Soacha	569,18
EL MUÑA	2120561	994.893,38	980.858,35	Sibaté	557,992
EL BATAN	2119046	963.023,00	973.901,00	Pasca	1.208,30
GUARANÍ EL PENON	2120060	981993,68	975305,84	Sibaté	1.010,07
HACIENDA LA MESA	2119047	967.850,00	977,664,00	Pasca	947,795
LA CASITA	2120112	1.004.410,00	1.006.370,00	La Calera	1.002,67
LA RAMADA	2120516	1.013.322,242	988.259,191	Funza	742,02
PARAISO PERDIDO	2120634	989.110,00	976.291,00	Sibaté	686,34
PEÑAS BLANCAS	2120182	996.363,00	966.630,00	El Colegio	1.504,40
SAN JORGE GJA	2120172	989.998,83	987.596,03	Soacha	672,78

Fuente: CAR, IGAC

Se observa que la precipitación media anual en el municipio de Soacha toma valores que se encuentran en el rango de los 558 milímetros a los 851 milímetros; la zona en donde se presenta la mayor concentración de precipitación se localiza hacia el costado sur del Municipio, en las veredas Romeral, Alto del Cabra, San Jorge y Tinzuque, mientras que las zonas del Municipio en donde se presenta la menor concentración de precipitación es hacia las veredas Canoas, El Charquito y Cascajal; Categorizada la precipitación según lo establece la guía metodológica (IDEAM & CAR, 2014), se encuentra que el 100% del territorio presenta precipitación media anual inferior a los 2.000 milímetros.

4.4.1.1.5.2. TEMPERATURA

Para que la combustión que da origen a un incendio de la cobertura vegetal se produzca es necesaria la presencia de tres elementos en la apropiada adecuada, dichos elementos son el oxígeno, el combustible y el calor y en conjunto forman lo que se conoce como el triángulo de fuego; Ahora bien, en relación con el calor se debe mencionar que es una forma de energía conformada por partículas en movimiento que interactúan con el medio ambiente (DMA Aragon, 2006). Esta actividad molecular es medida por la temperatura, la cual para el caso de la metodología implementada se mide en grados centígrados.

Para la elaboración de la capa de precipitación fue implementada la información de 13 estaciones hidroclimatológicas de la CAR y el IDEAM, las cuales se localizan en jurisdicción del municipio de Soacha y en municipios aledaños y cuentan con registros históricos de más de 10 años; dicha información fue procesada a partir del uso de herramientas de geoprocesamiento mediante las cuales se realizó interpolación de los datos implementando el método Spline para obtener la capa raster que describe la temperatura media del Municipio. La información de las estaciones consultadas se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 161. Estaciones implementadas para la elaboración del mapa de temperatura.

Estaciones mapa de temperatura					
Nombre	**Código**	**Localización**		**Entidad Territorial**	**Temperatura media (°C)**
		Nortes	**Estes**		
PASCA	21195070	968.367,961	973.997,472	Pasca	15,40
MISIONES	21206070	996.737,935	975.310,337	El Colegio	19,50
BASE AEREA	21205770	1.014.675,940	978.366,937	Madrid	13,40
HDA LA MESA K2	24015508	967.754,502	978.521,521	Pasca	13,73
EL MUÑA	2120561	994.893,382	980.858,352	Sibaté	12,90
TIBAITATA	21205420	1.010.530,530	985.411,070	Mosquera	12,20
SAN JORGE GJA	21205720	989.998,829	987.596,025	Soacha	11,60
LA RAMADA	2120516	1.013.322,242	988.259,191	Funza	13,50
DOÑA JUANA	2120630	989.457,440	993.357,705	Bogotá	12,64
JARDIN BOTANICO	21205710	1.008.087,199	997.208,574	Bogotá	14,40
VITELMA	21205240	996.734,127	1.001.203,037	Bogotá	9,40
VENADO ORO VIVERO	21205580	1.000.235,880	1.001.757,802	Bogotá	12,20
LAS MERCEDES	21205660	998.439,162	950.158,100	Anapoima	24,60

Fuente: CAR, IGAC

Obtenido el mapa de temperatura a partir de las estaciones consultadas fue posible establecer que para el municipio de Soacha se presentan temperaturas comprendidas entre los 9,5 °C (mínima) y los 21°C (máxima); realizando una comparación entre el mapa de precipitaciones y el mapa de temperaturas es posible establecer una correlación inversamente proporcional

consistente en que, en las zonas en donde se presentan las menores temperaturas es en donde se presentan las mayores precipitaciones, con lo cual la capacidad pirogénica de la vegetación es menor, toda vez que se mantiene húmeda y la evaporación no es tan acelerada; de igual manera, las zonas en donde se presentan las mayores temperaturas en el Municipio son las mismas en donde se presentan las menores precipitaciones, situación que se observa en la zona norte y noroccidental en las veredas Cascajal, San Francisco y Alto de La Cruz, y parte de las veredas El Charquito y Canoas y en donde, a diferencia de la primera situación, esta representa un factor de amenaza pues además de que la precipitación es baja la temperatura presenta los registros más altos del Municipio, con lo cual la humedad de la estructura vegetal es baja y además los procesos de evaporación de la humedad son mucho más elevados, aumentando de esta manera la susceptibilidad del combustible de iniciar una combustión. Al respecto debe mencionarse que, precisamente hacia la zona noroccidental del Municipio, en límites con el municipio de Sibaté, se cuenta con registros de fuertes eventos asociados con incendios forestales.

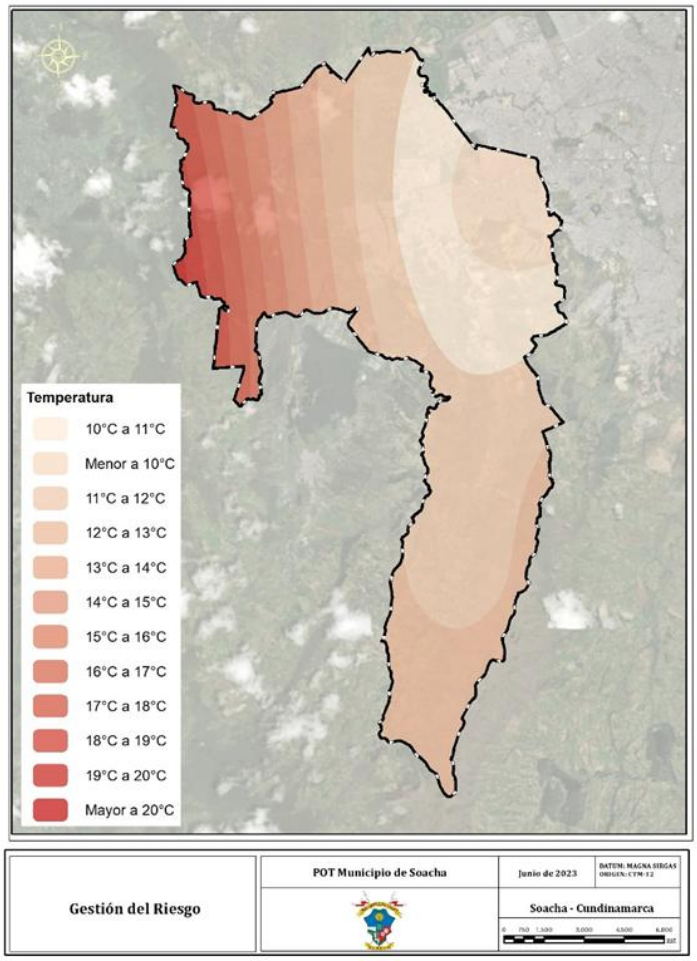


Figura 288. Temperatura municipio de Soacha
Fuente: Siglo XXII SAS

Categorizada la temperatura según lo establece la guía metodológica (IDEAM & CAR, 2014), se encuentra que un área de 10.201.43 hectáreas, correspondientes al 55,63% del Municipio, presentan temperaturas inferiores a los 12°C; igualmente, se estableció que un área de 7.189,66 hectáreas (39,21%) presenta temperaturas comprendidas entre los 12°C y los 18 °C; Finalmente se estableció que una superficie de 945,66 hectáreas presenta temperaturas superiores a los 18°C.

4.4.1.1.5.3. VIENTOS

Los vientos contribuyen en el proceso de evaporación del agua contenida en la estructura vegetal del combustible por lo que ocasiona que se aumente su capacidad pirogénica; adicionalmente el fuego acelera la propagación del fuego al proporcionar oxígeno, y provoca nuevos focos de incendios forestales al transportar chispas que inician conflagraciones en zonas con combustibles que no están ardiendo por delante del fuego principal (DMA Aragon, 2006). El mapa de vientos para el municipio de Soacha fue construido a partir de la consulta y procesamiento de la información obtenida de 12 estaciones hidroclimatológicas operadas por la CAR y el IDEAM, las cuales se localizan en jurisdicción del municipio de Soacha y en municipios aledaños, y en las que se han registrado datos históricos de más de diez años; dicha información fue procesada y analizada mediante el uso de herramientas de geoprocesamiento a partir de las cuales se realizó interpolación de los datos mediante el método Spline, obteniendo de esta manera la capa raster que describe la velocidad de los vientos en el Municipio. La información de las estaciones consultadas se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 162. Estaciones implementadas para la elaboración del mapa de velocidad de los vientos.

Estaciones velocidad de los vientos					
Nombre	Código	Localización		Entidad Territorial	Velocidad viento (m/s)
		Nortes	Estes		
EL MUÑA	2120561	994.893,382	980.858,352	Sibaté	2,54
DOÑA JUANA	2120630	989.457,440	993.357,705	Bogotá	4,14
DELIRIO EL	2120543	991.879,334	963.542,007	El Colegio	1,720
APTO GUAYMARAL	2120559	1.021.541,318	1.002.666,601	Bogotá	1,767
MESA LA	2120639	1.003.157,649	955.145,138	La Mesa	1,537
CACHIPAY	2120552	1.014.781,468	960.751,239	Cachipay	0,830
MESITAS	2120646	998.089,230	959.879,539	El Colegio	2,018
ESPERANZA LA	2120647	1.012.160,543	960.860,857	La Mesa	1,851
ESC SAMPER MADRID	2120641	986.407,658	949.145,860	Apulo	0,974
MERENGO	21205515	988.248,491	986.750,950	Soacha	3,95
ARGELIA	2160644	973.649,818	925.265,197	Ricaurte	2,27

AGUAS CLARAS	2119517	950.045,989	961.044,530	San Bernardo	1,37

Fuente: CAR & IGAC

Obtenido el mapa de velocidad media multianual de los vientos a partir de la información consultada en la CAR y el IDEAM, fue posible establecer que, en la jurisdicción del municipio de Soacha, el viento presenta velocidades mínimas de 2,13 m/s y máximas de 4,01 m/s; se observa que la velocidad es mayor hacia las zona sur del Municipio y va disminuyendo en dirección norte y noroccidente, presentando los menores valores hacia las veredas Canoas, Cascajal, San Francisco, El Charquito y Alto de La Cruz, y los mayores valores hacia las veredas Fusunga, Tinzuque, San Jorge y Hungría.

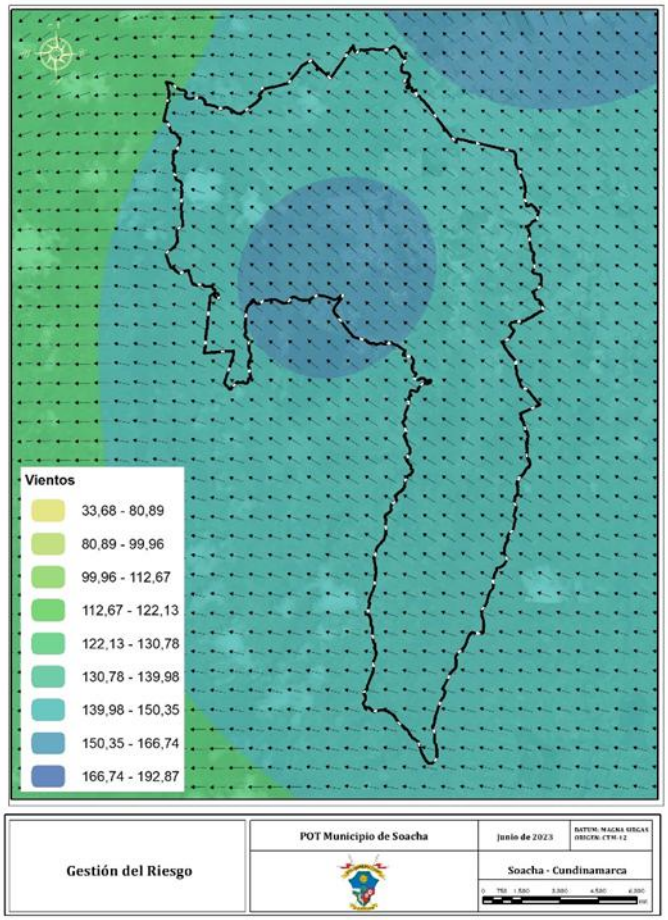


Figura 289. Velocidad de los vientos municipio de Soacha
Fuente: Siglo XXII SAS

Aplicando la distribución de rangos según lo establece la guía metodológica (IDEAM & CAR, 2014), se encuentra que el 53,99% del territorio, correspondiente a 9.899,49 hectáreas, presenta velocidades medias menores a los 3,0 m/s, mientras que el 46,01% del territorio presenta velocidades del viento comprendidas entre los 3,0m/s y los 4,0 m/s.

Como se puede observar, en el Municipio no se registran velocidades superiores a los 4 m/s, por lo que como se mostrara más adelante, la amenaza por velocidad de los vientos resulta ser baja para todo el territorio, pues la baja velocidad de los vientos no influye de manera significativa en la incidencia de este tipo de eventos.

4.4.1.1.5.4. BRILLO SOLAR (RADIACIÓN SOLAR)

Tal como lo establece el IDEAM (IDEAM & MINAMBIENTE, 2020), la radiación solar hace referencia a la energía que emite el Sol, la cual tiene la propiedad de propagarse en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Esta radiación solar es fundamental para los procesos biológicos que se dan sobre la superficie terrestre, siendo algunos de los más importantes el proceso de fotosíntesis y la generación de energía limpia mediante el uso de paneles solares. A pesar de ser fundamental para los procesos que se dan sobre la superficie terrestre, en ocasiones la radiación solar también incide en la ocurrencia de fenómenos que ponen en peligro a la población y a las infraestructuras, uno de estos fenómenos son los incendios forestales.

Para la elaboración del mapa de brillo solar, fue necesario consultar información secundaría, toda vez que la información de las estaciones hidroclimáticas consultadas para los mapas de precipitación, temperatura y brillos solar no contenía datos suficientes en relación con esta variable; lo datos fueron obtenidos de la plataforma web WorldClim9 , en la que se presentan datos climáticos históricos para toda la superficie terrestre con una temporalidad de treinta años; para el caso fue descargada la información relativa a la capa raster de radiación solar, posteriormente se aplicaron técnicas de geoprocesamiento para realizar el recorte de la zona de análisis correspondiente al Municipio de Soacha.

Luego de obtener la capa raster que contiene la información del brillo solar fue necesario realizar un proceso inverso, toda vez que la capa raster descargada de WorldClim presenta las unidades de medida en kilojulios (Kj/m2/día-1), y la metodología exige que las unidades de medida para esta variable sean en kilovatios (KWh/m2/año; para realizar este ajuste fue extraída de la capa raster inicial, implementando la herramienta Extract by Mask de ArcGIS, una nube de puntos conformada por 46 puntos coordenados con información relativa a radiación solar; posteriormente desde la tabla de atributos de esta nube de puntos se realizó la respectiva conversión y a continuación, se procedió a realizar la respectiva interpolación mediante el método Spline, obteniendo la capa raster que contiene la información de la radiación solar del Municipio en las unidades establecidas en la metodología; la nube de puntos implementada se presenta en la siguiente tabla:

[9] WorldClim: https://www.worldclim.org/data/worldclim21.html

Tabla 163. Nube de puntos implementada para el cálculo del brillo solar.

Nube de puntos – Brillo Solar				
ID	**Nortes**	**Estes**	**Kilojulios**	**Kilovatios**
BS-01	966.021,611	1.000.507,719	15.330,000	4,258
BS-02	966.063,945	977.436,006	15.414,000	4,282
BS-03	981.236,249	977.528,472	15.429,250	4,286
BS-04	981.172,742	962.111,309	15.589,833	4,331
BS-05	973.726,293	985.056,021	15.602,417	4,334
BS-06	965.979,278	985.225,355	15.822,833	4,395
BS-07	973.726,293	1.008.339,401	15.828,583	4,397
BS-08	1.019.293,985	962.174,809	15.860,583	4,406
BS-09	988.881,657	1.008.254,734	16.032,250	4,453
BS-10	973.768,627	992.803,037	16.046,667	4,457
BS-11	999.033,395	975.842,368	16.091,417	4,470
BS-12	981.380,360	983.703,683	16.103,167	4,473
BS-13	983.310,763	986.624,689	16.112,000	4,476
BS-14	996.433,939	962.174,809	16.147,500	4,485
BS-15	988.909,182	977.660,764	16.167,500	4,491
BS-16	998.322,193	978.052,172	16.215,500	4,504
BS-17	984.923,667	985.303,887	16.252,917	4,515
BS-18	981.049,975	1.000.550,052	16.322,583	4,534
BS-19	992.734,182	976.629,769	16.330,667	4,536
BS-20	1.004.079,354	1.008.127,734	16.352,500	4,542
BS-21	1.019.488,718	992.803,037	16.362,833	4,545
BS-22	1.019.319,385	977.563,006	16.389,084	4,553
BS-23	1.011.784,036	1.000.550,052	16.409,166	4,558
BS-24	973.578,127	969.837,157	16.431,166	4,564
BS-25	988.877,424	969.794,824	16.463,750	4,573
BS-26	996.459,339	1.000.507,719	16.466,000	4,574
BS-27	1.019.404,051	1.008.212,401	16.483,666	4,579
BS-28	1.011.695,136	969.858,324	16.496,416	4,582
BS-29	1.004.079,354	992.803,037	16.496,916	4,582
BS-30	1.001.427,702	977.065,980	16.510,916	4,586
BS-31	988.881,657	992.803,037	16.528,334	4,591
BS-32	994.149,000	985.980,339	16.529,500	4,592
BS-33	989.952,877	985.075,286	16.550,084	4,597
BS-34	1.001.255,723	984.262,661	16.562,166	4,601
BS-35	1.011.741,703	985.098,354	16.573,334	4,604
BS-36	997.959,713	983.334,324	16.574,834	4,604
BS-37	1.001.649,600	982.306,681	16.595,416	4,610
BS-38	991.704,245	987.212,771	16.606,500	4,613
BS-39	965.936,945	962.111,309	16.613,834	4,615
BS-40	995.236,087	988.364,593	16.617,834	4,616
BS-41	997.737,463	984.651,952	16.621,834	4,617
BS-42	1.004.248,688	977.520,673	16.628,916	4,619
BS-43	996.696,590	975.601,067	16.631,416	4,620

Nube de puntos – Brillo Solar				
ID	**Nortes**	**Estes**	**Kilojulios**	**Kilovatios**
BS-44	993.265,290	981.907,865	16.636,416	4,621
BS-45	996.023,489	979.677,775	16.689,250	4,636
BS-46	1.004.075,121	962.153,642	17.005,334	4,724

Fuente: WorldClim

Aplicando la distribución de rangos según lo establece la guía metodológica (IDEAM & CAR, 2014), se establece que el Municipio se encuentra en el rango comprendido entre los 4,36 KWh/m2/año (mínimo) y los 4,69 KWh/m2/año.

La distribución espacial del brillo solar en el municipio de Soacha calculada a partir de la información obtenida de la herramienta climática WorldClim, se presenta en la siguiente figura:

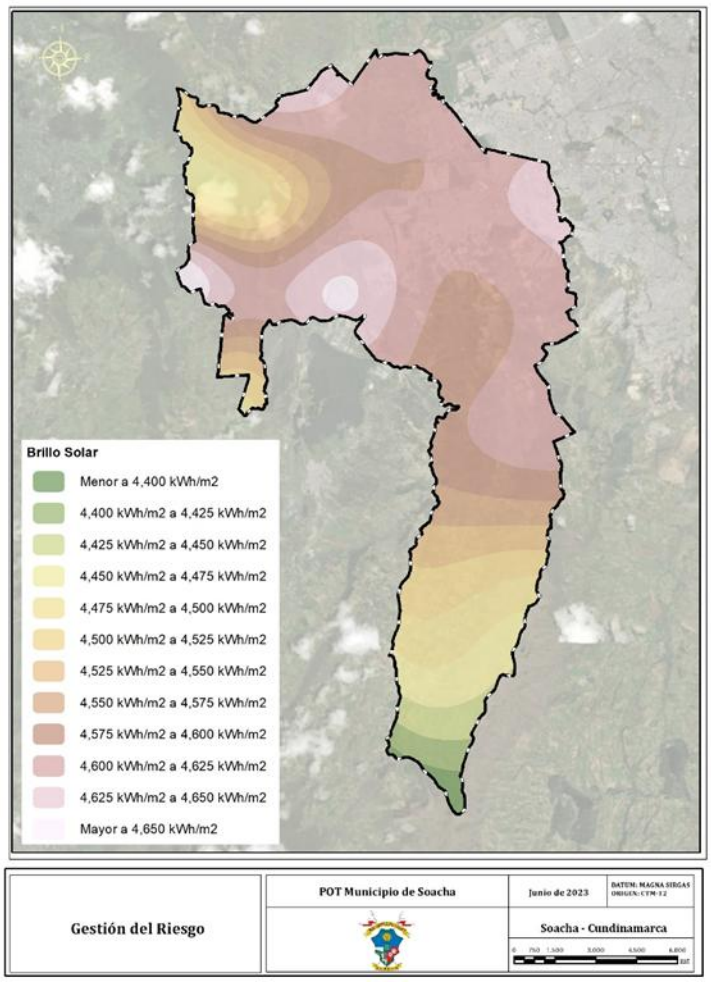


Figura 290. Radiación solar municipio de Soacha
Fuente: Siglo XXII SAS

Se observa que los menores valores de brillo solar se concentran hacia la zona sur en las veredas Romeral y Alto del Cabra, y hacia la zona noroccidente en la vereda Cascajal, mientras que los mayores valores se distribuyen por la mayor parte del territorio desde la vereda Hungría (Sur del Municipio) hasta las veredas Canoas y San Francisco (Norte y noroccidente del Municipio).

4.4.1.1.6. ESTRUCTURA ECOLÓGICA PRINCIPAL

El municipio de Soacha como se mencionó, cuenta con un (1) Casco Urbano Principal que abarca 3.162,18 hectáreas el cual ha sido altamente antropizado, predominando coberturas como el tejido urbano continuo y el tejido urbano discontinuo; de igual manera cuenta con una zona rural conformada por catorce (14) veredas en la que ha sido posible identificar la presencia de cinco coberturas predominantes: los cultivos, los pastos, los herbazales, los arbustales, y las zonas boscosas.

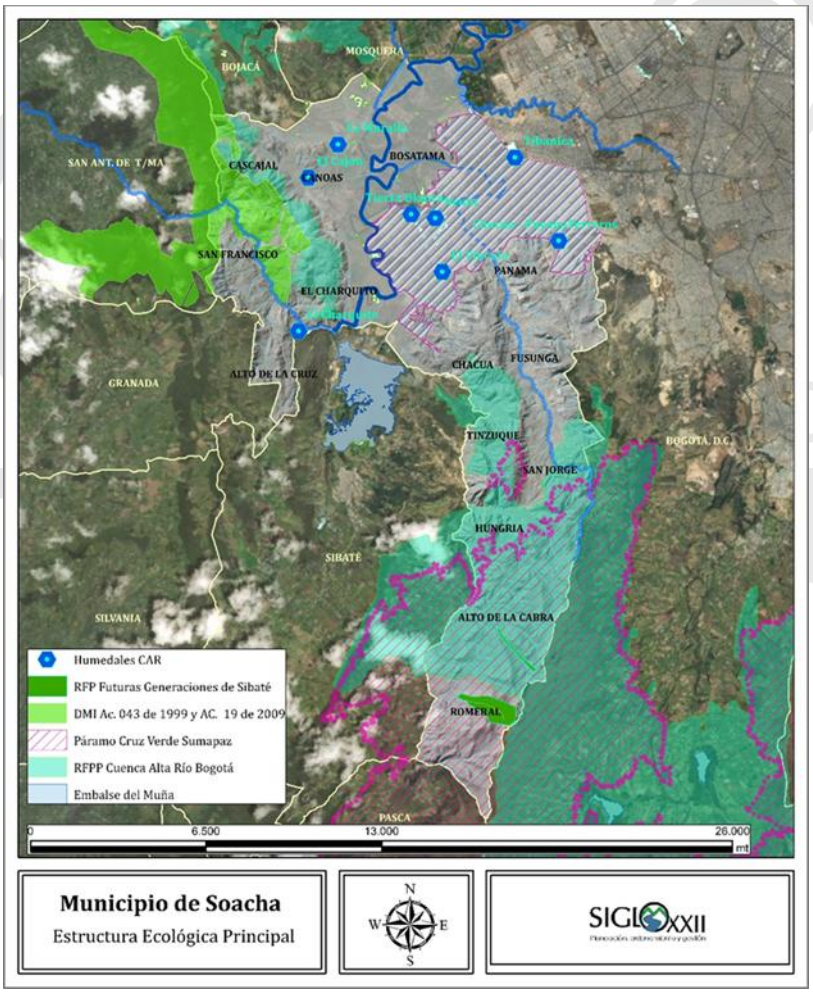


Figura 291. Estructura ecológica principal del municipio de Soacha
Fuente: Siglo XXII SAS

Frente a las zonas boscosas debe mencionarse que el Municipio de Soacha, a pesar de presentar zonas fuertemente intervenidas por actividades humanas, cuenta en su jurisdicción con zonas de gran importancia ambiental como lo son el sistema de páramos Cruz Verde – Sumapaz, la reserva forestal protectora productora de la Cuenca Alta del Río Bogotá, la reserva forestal protectora Futuras Generaciones de Sibaté, y el distrito integrado de manejo Sector Salto de Tequendama-Cerro Manjuí; estas zonas cuentan con declaratoria de áreas protegidas y en ellas se puede encontrar una cantidad importante de especies, tanto a nivel de fauna como de flora, las cuales además de conformar la estructura ecológica principal del Municipio, hacen parte de la estructura ecológica regional, conformando corredores ambientales que tienen jurisdicción en varios Municipios.

A nivel hídrico Soacha cuenta con dos (2) drenajes principales que son el Río Bogotá que fluye en sentido Nororiental – Suroccidental, atravesando las veredas de Bosatama, Canoas y El Charquito, y el Río Soacha que fluye en sentido Suroriental – Noroccidental, recorriendo las veredas Alto del Cabra, San Jorge, Fusunga, Panamá y Bosatama, en donde desemboca en el Río Bogotá a la altura del punto con coordenadas 999.999,38 N – 981.602,23 E. Durante su recorrido por el Municipio, en estos dos drenajes desembocan los cuerpos de agua provenientes de las zonas montañosas localizadas hacia el costado oriental y occidental del territorio. Además, Soacha cuenta con una cantidad importante de humedales como lo son el Neuta, Tibanica o Potrero Grande, Tierra Blanca, San Isidro, Maiporé - El Vínculo, Chucuita – Hogamora (Hacienda Puyana), Terreros, La Muralla y El Cajón (CAR, 2011). Los cuerpos hídricos del Municipio se han visto seriamente afectados debido al vertimiento en sus cauces de aguas residuales que no han sido previamente tratadas, a la captación en la zona rural para actividades agropecuarias y a la alteración de sus cauces debido a actividades extractivas, principalmente en las veredas Panamá y Fusunga (ECOFOREST, 2013).

El municipio de Soacha por tanto puede concebirse como una entidad territorial en la que se dan diversos escenarios, desde zonas en las que se presentan fuertes fenómenos de conurbación, altos niveles de densidad poblacional y centros de actividad industrial, pasando por numerosas zonas en las que se realiza explotación de recursos naturales, hasta llegar a zonas en las que se identifican actividades propias del suelo rural como lo son las actividades agropecuarias y las de conservación de los recursos naturales; Esta diversidad de factores incidirá directamente en la manera en cómo se espacializa la amenaza, vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de incendios de la cobertura vegetal, y permitirá conocer, como se mostrara durante el desarrollo del presente documento, que zonas del Municipio están más expuestas a ser afectadas ante la ocurrencia de un incendio forestal.

4.4.1.1.7. COBERTURAS DE LA TIERA: METODOLOGÍA CORINE LAND COVER

La capa de coberturas de la tierra para el municipio de Soacha fue elaborada a partir de la metodología denominada "Leyenda Nacional de Coberturas de La Tierra", la cual fue adaptada por

el IDEAM para el territorio Nacional a partir de la metodología Corine (Coordination of Information on the Enviromental) Land Cover del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA); Esta metodología tiene como propósito la asignación de categorías estandarizadas para realizar el inventario de las coberturas de la tierra que se presentan en determinada zona del territorio nacional, para el caso, el Municipio de Soacha.

La leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra clasifica las coberturas presentes en el territorio en cinco (5) grandes categorías a saber: i). Territorios Artificializados, ii). Territorios Agrícolas, iii). Bosques y Áreas Seminaturales, iv). Áreas Humedales y v). Superficies de Agua; Cada una de estas categorías está conformada a su vez por categorías y subcategorías, de manera que, entre mayor sea la calidad de la información que se implemente para la identificación de las coberturas, mayor nivel de detalle se les pueda asignar.

Esta metodología está estructurada de manera jerárquica, derivando las unidades de coberturas de la tierra con base en criterios fisonómicos de altura y densidad, definidos y aplicables a todas las unidades consideradas para un grupo de coberturas del mismo tipo; para el caso de esta metodología se definen niveles de categorización de 1 a 6, en donde una cobertura clasificada en el nivel uno le corresponde una categoría muy general, mientras que a una cobertura clasificada en el nivel 6 le corresponde una categoría muy detallada.

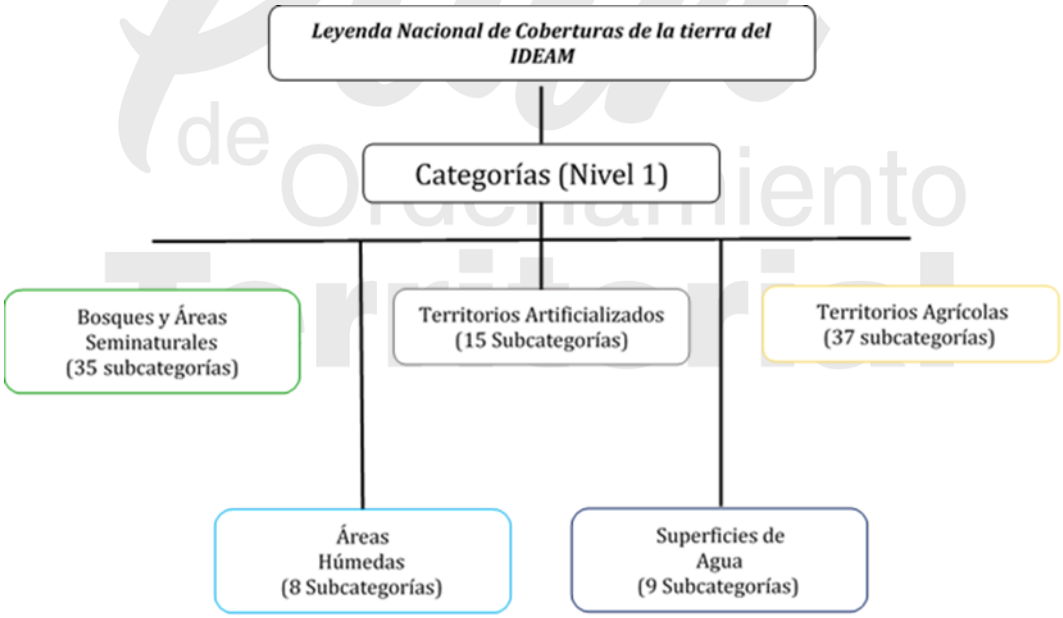


Figura 292. Categorías que conforman la Leyenda Nacional de Coberturas de La Tierra

La construcción de la capa de coberturas para el municipio de Soacha se realizó implementando como insumo base una imagen de muy alta resolución que cubre la totalidad del territorio urbano y rural, sobre la que se foto interpretaron las coberturas presentes en territorio; adicionalmente,

y tal como se presenta en la siguiente sección, la fotointerpretación fue calibrada mediante visitas de campo en diferentes zonas del municipio, las cuales fueron realizadas por profesionales expertos en identificación de coberturas, permitiendo validar si las interpretaciones realizadas sobre las imágenes implementadas coincidían con la realidad del territorio; dado que para la elaboración de esta capa se contó con información de muy alto nivel de detalle, la cual se validó mediante visitas en campo, fue posible categorizar las coberturas en categorías detalladas y muy detalladas que van del nivel 3 al nivel 6 de la metodología; A continuación, se presentan los resultados obtenidos luego de realizar la asignación de categorías a cada una de las coberturas identificadas:

Tabla 164. Categorías asociadas a los territorios artificializados en el municipio de Soacha.

Territorios Artificializados							
Nivel 1	**Nivel 2**	**Nivel 3**	**Nivel 4**	**Nivel 5**	**Nivel 6**	**Categoría Máxima Asignada**	**Área (Ha)**
1	1.1	1.1.1	--	--	--	1.1.1. Tejido Urbano Continuo.	2.158,689
	1.1	1.1.2	--	--	--	1.1.2. Tejido Urbano Discontinuo.	66,864
	1.2	1.2.1	--	--	--	1.2.1. Zonas Industriales o Comerciales.	44,873
	1.2	1.2.2	--	--	--	1.2.2. Red Vial Ferroviaria y Terrenos Asociados.	257,224
	1.3	1.3.1	1.3.1.1	--	--	1.3.1.1. Explotación de Materiales de Construcción.	567,046

Fuente: (IDEAM &Otros, 2010)

Tabla 165. Categorías asociadas a los territorios agrícolas en el municipio de Soacha.

Territorios Agrícolas							
Nivel 1	**Nivel 2**	**Nivel 3**	**Nivel 4**	**Nivel 5**	**Nivel 6**	**Categoría Máxima Asignada**	**Área (Ha)**
2	2.1	2.1.2	2.1.2.2	--	--	2.1.2.2. Maíz	79,746
	2.2	2.2.5	--	--	--	2.2.5. Cultivos Confinados	112,920
	2.3	2.3.1	--	--	--	2.3.1. Pastos Limpios	667,420
	2.3	2.3.3.	--	--	--	2.3.3. Pastos Enmalezados	27,257
	2.4	2.4.2	--	--	--	2.4.2. Mosaico de Pastos y Cultivos	2.916,475
	2.4	2.4.3	--	--	--	2.4.3. Mosaico de Cultivos, Pastos y Espacios Naturales	2.231,159
	2.4	2.4.4	--	--	--	2.4.4. Mosaico de Pastos con Espacios Naturales	140,553

Territorios Agrícolas							
Nivel 1	**Nivel 2**	**Nivel 3**	**Nivel 4**	**Nivel 5**	**Nivel 6**	**Categoría Máxima Asignada**	**Área (Ha)**
	2.4	2.4.5	--	--	--	2.4.5. Mosaico de Cultivos y Espacios Naturales	21,314

Fuente: (IDEAM &Otros, 2010)

Tabla 166. Categorías asociadas a los bosques y áreas seminaturales en el municipio de Soacha.

Bosques y Áreas Seminaturales							
Nivel 1	**Nivel 2**	**Nivel 3**	**Nivel 4**	**Nivel 5**	**Nivel 6**	**Categoría Máxima Asignada**	**Área (Ha)**
3	3.1	3.1.1	3.1.1.1	--	--	3.1.1.1. Bosque Denso Alto de Tierra Firme	2.235,747
	3.1	3.1.3	--			3.1.3. Bosque Fragmentado	78,092
	3.1	3.1.4	--	--	--	3.1.4. Bosque de Galería y Ripario	9,636
	3.1	3.1.4	3.1.4.1	--	--	3.1.4.1. Vegetación de Ronda Hídrica	49,525
	3.1	3.1.5		--	--	3.1.5. Plantación Forestal	4,991
	3.1	3.1.5	3.1.5.2	--	--	3.1.5.2. Plantación de Latifoliadas	375,973
	3.2	3.2.1	3.2.1.1	--	--	3.2.1.1. Herbazal Denso	1.013,050
	3.2	3.2.1	3.2.1.1	3.2.1.1.1	3.2.1.1.1.1	3.2.1.1.1.1. Herbazal Denso de Tierra Firme no Arbolado	1.373,615
	3.2	3.2.1	3.2.1.1	3.2.1.1.1	3.2.1.1.1.2	3.2.1.1.1.2. Herbazal Denso de Tierra Firme Arbolado	503,791
	3.2	3.2.1	3.2.1.1	3.2.1.1.1	3.2.1.1.1.3	3.2.1.1.1.3. Herbazal Denso de Tierra Firme con Arbustos	285,995
	3.2	3.2.2	3.2.2.1	--	--	3.2.2.1. Arbustal Denso	100,547
	3.2	3.2.2	3.2.2.2	3.2.2.2.1	--	3.2.2.2.1. Arbustal Abierto Mesófilo	1.823,783
	3.2	3.2.2	3.2.2.2	3.2.2.2.2	--	3.2.1.2.2. Herbazal Abierto Rocoso	315,083

Bosques y Áreas Seminaturales							
Nivel 1	**Nivel 2**	**Nivel 3**	**Nivel 4**	**Nivel 5**	**Nivel 6**	**Categoría Máxima Asignada**	**Área (Ha)**
	3.2	3.2.3	--	--	--	3.2.3. Vegetación Secundaría o en Transición	1,372
	3.3	3.3.3	--	--	--	3.3.3. Tierras Desnudas y Degradadas	412,887
	3.3	3.3.3	3.3.3.1	--	--	3.3.3.1. Ronda Río Bogotá (Adecuación Hidráulica)	116,382

Fuente: (IDEAM &Otros, 2010)

Tabla 167. Categorías asociadas a las áreas húmedas en el municipio de Soacha.

Áreas Húmedas							
Nivel 1	**Nivel 2**	**Nivel 3**	**Nivel 4**	**Nivel 5**	**Nivel 6**	**Categoría Máxima Asignada**	**Área (Ha)**
4	4.1	4.1.1	--	--		4.1.1. Zonas Pantanosas	93,062

Fuente: (IDEAM &Otros, 2010)

Tabla 168. Categorías asociadas a las superficies de agua en el municipio de Soacha.

Superficies de Agua							
Nivel 1	**Nivel 2**	**Nivel 3**	**Nivel 4**	**Nivel 5**	**Nivel 6**	**Categoría Máxima Asignada**	**Área (Ha)**
5	5.1	5.1.1	--	--	--	5.1.1. Ríos	122,306
	5.1	5.1.2	5.1.2.1	--	--	5.1.2.1. Lagunas	15,024
	5.1	5.1.3	--	--	--	5.1.3. Canales	49,014
	5.1	5.1.4	--	--	--	5.1.4. Cuerpos de Agua Artificiales	8,282
	5.1	5.1.5	--	--	--	5.1.5. Humedales	55,848

Fuente: (IDEAM &Otros, 2010)

La distribución espacial de las coberturas en el Municipio de Soacha luego de aplicar las categorías mencionadas en la metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia, es presentada en la siguiente figura:

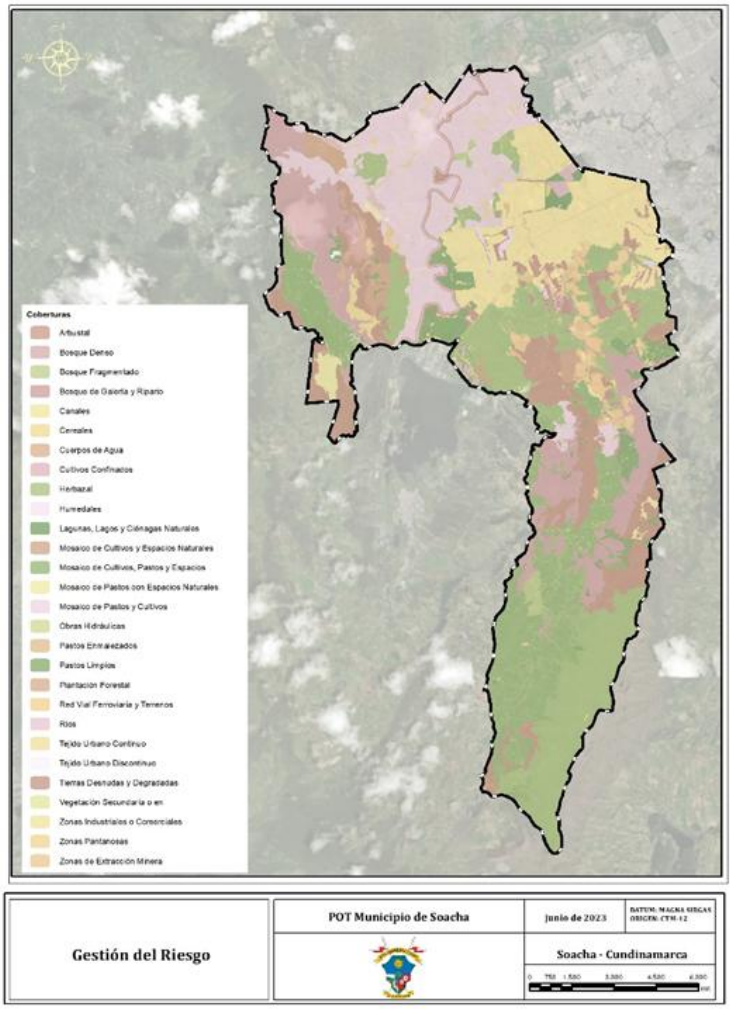


Figura 293. Coberturas de la Tierra (Corine Land Cover) municipio de Soacha

Fuente: Siglo XXII SAS

Realizada la asignación de categorías según los niveles definidos en la Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra (IDEAM & Otros, 2010), es posible establecer que la categoría que cubre la mayor área superficial en el municipio de Soacha es la relacionada con los Bosques y Áreas Seminaturales con 8.700,46 hectáreas equivalentes al 47,45% del territorio; al respecto cabe mencionar que las coberturas que priman dentro de esta categoría no son precisamente los bosques pues estos cubren apenas el 12,94% del territorio, esto debido en parte a que el clima, la precipitación y las condiciones del suelo en muchas de las zonas rurales (zonas rocosas, baja capacidad agrológica, etc., no favorecen el desarrollo de este tipo de coberturas, y en parte debido a la fuerte intervención de las actividades antrópicas en áreas aledañas a zonas boscosas, principalmente derivadas del aumento de la frontera agrícola la cual ha derivado en la perdida de

la cobertura boscosas en amplias zonas del suelo rural; La cobertura más representativa de esta categoría son los herbazales y arbustos.

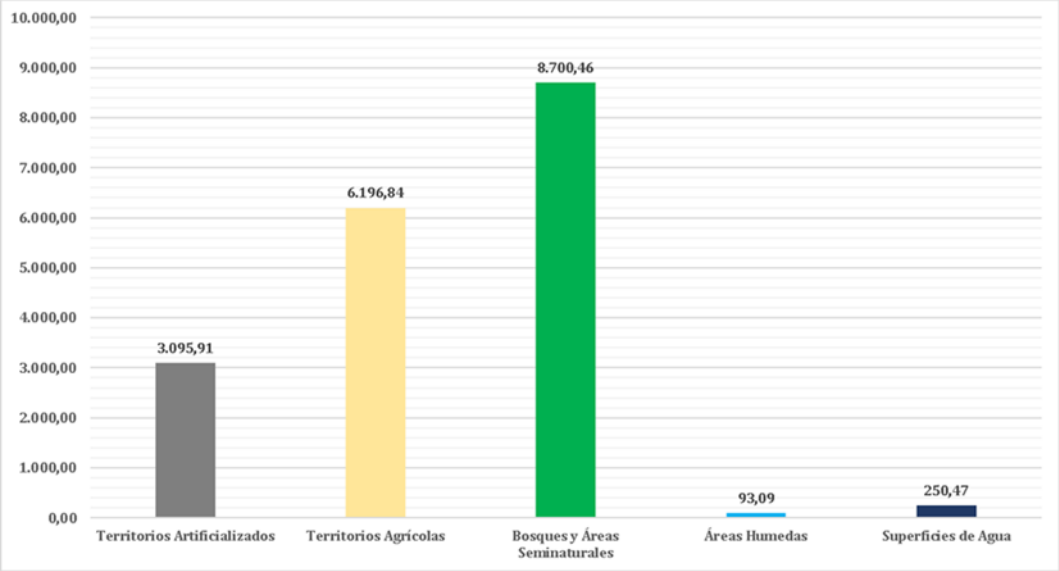


Figura 294. Área superficial por tipo de cobertura en el municipio de Soacha.

Después de la categoría Bosques y Áreas Seminaturales, la categoría que abarca mayor extensión superficial corresponde a los Territorios Agrícolas, con 6.196,84 hectáreas que equivalen al 33,79% del Municipio; estas coberturas se localizan principalmente hacia la zona norte del Municipio, en las veredas Canoas y Bosatama, en donde esta actividad se ha vuelto intensiva: también se identifican amplias zonas asociadas con esta actividad hacia la zona sur del Municipio, en las veredas Romeral, Alto del Cabra, Hungría, San Jorge y Tinzuque, en las que este tipo de actividad ha impactado de manera importante zonas de reserva forestal con declaratoria que se encuentran ubicadas en esta zona.

La tercera categoría que mayor área abarca en el Municipio corresponde a los Territorios Artificializados que cubren 3.095,91 hectáreas equivalentes al 16,88% del territorio; esta cobertura como es de esperarse abarca esta extensión dado el tamaño y el grado de densificación del área urbana, a la que se suman las construcciones rurales, el sistema de vías de primer, segundo y tercer orden del Municipio, las vías arteriales urbanas y conectoras urbano – rurales, las zonas industriales y las zonas en las que se desarrollar actividades relacionadas con la extracción de materiales para construcción.

Finalmente, en relación con las categorías denominadas Áreas Húmedas y Superficies de Agua, se encuentran que estas cubren un área de 93,09 Ha (0,51%) y 250,47% (1,37%), respectivamente; la cobertura más representativa corresponde a l Río Bogotá, seguido de los humedales y los canales artificiales.

4.4.1.1.7.1. VALIDACIÓN DE COBERTURAS MEDIANTE TRABAJO DE CAMPO

Como se ha explicado, la identificación de coberturas de la tierra implementando la metodología CORINE LAND COVER se realiza mediante la fotointerpretación de los elementos identificados sobre imágenes de alta resolución, obtenidas a partir de sensores remotos (imágenes aéreas, satelitales, drone); sin embargo, la fotointerpretación de una imagen puede conllevar en ocasiones a que el intérprete clasifique erróneamente una cobertura, debido a que la imagen en si no proporciona la información necesaria para asignar la categoría indicada, situación que se presenta principalmente en las zonas con abundante cobertura vegetal.

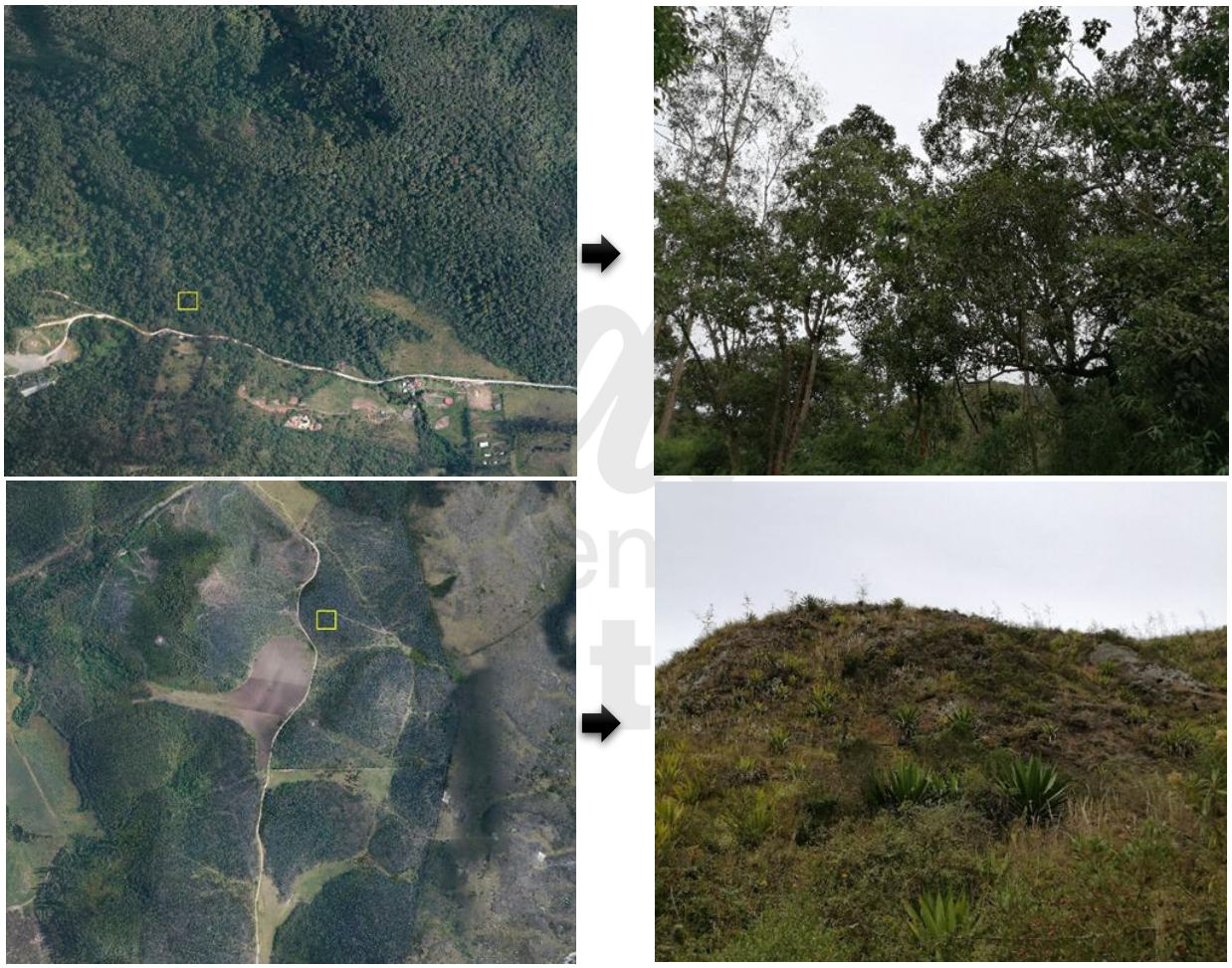


Figura 295. Comparación de coberturas observadas en un ortomosaico de alta resolución (izquierda) y en campo (Derecha)
Fuente: Siglo XXII SAS

La Figura 20 muestra un claro ejemplo de las posibles confusiones que pueden conllevar a un foto interprete a tomar una decisión errónea frente a la clasificación de una cobertura; en la parte superior izquierda de la imagen se muestra una zona con cobertura vegetal predominante,

aparentemente una zona boscosa localizada en la vereda Canoas, que se podría clasificar según la metodología CORINE LAND COVER - CLC como un bosque denso alto; Por su parte, en la parte inferior izquierda se presenta una zona localizada en la vereda El Charquito que visualmente presenta características similares a las observadas en la imagen superior izquierda, por lo que se podría asumir que esta cobertura también podría tratarse de una zona con predominancia de cobertura asociada al bosque denso; Sin embargo al visitar en campo ambas zonas (recuadro amarillo) se observa que, si bien la categoría asignada a la imagen de la parte superior izquierda efectivamente corresponde a un bosque denso alto, la clasificación asignada a la imagen inferior izquierda no se corresponde a la que realmente se debería asignar, pues se trata de un herbazal denso, vegetación con características muy diferentes a las de una zona boscosa.

Teniendo en cuenta que la aplicación de la metodología CLC se verá directamente reflejada en la calidad del producto denominado "Susceptibilidad total de la vegetación", el cual se calcula mediante el cruce de los insumos carga, duración y tipo de combustible, y el cual tiene una importante incidencia en el cálculo de la amenaza por incendios de la cobertura vegetal, se ha considerado pertinente que la fotointerpretación del ortofotomosaico capturado mediante plataforma aérea no tripulada, sea respaldado mediante la validación en campo de puntos de control que garanticen que la asignación de categorías se corresponda con la realidad del territorio. Por este motivo, durante la elaboración de la capa de coberturas de la tierra para el Municipio de Soacha fueron identificadas 22 zonas del territorio en las que se consideró pertinente realizar visitas de campo con el ánimo de validar las coberturas presentes; A continuación, se presentan las zonas visitadas:

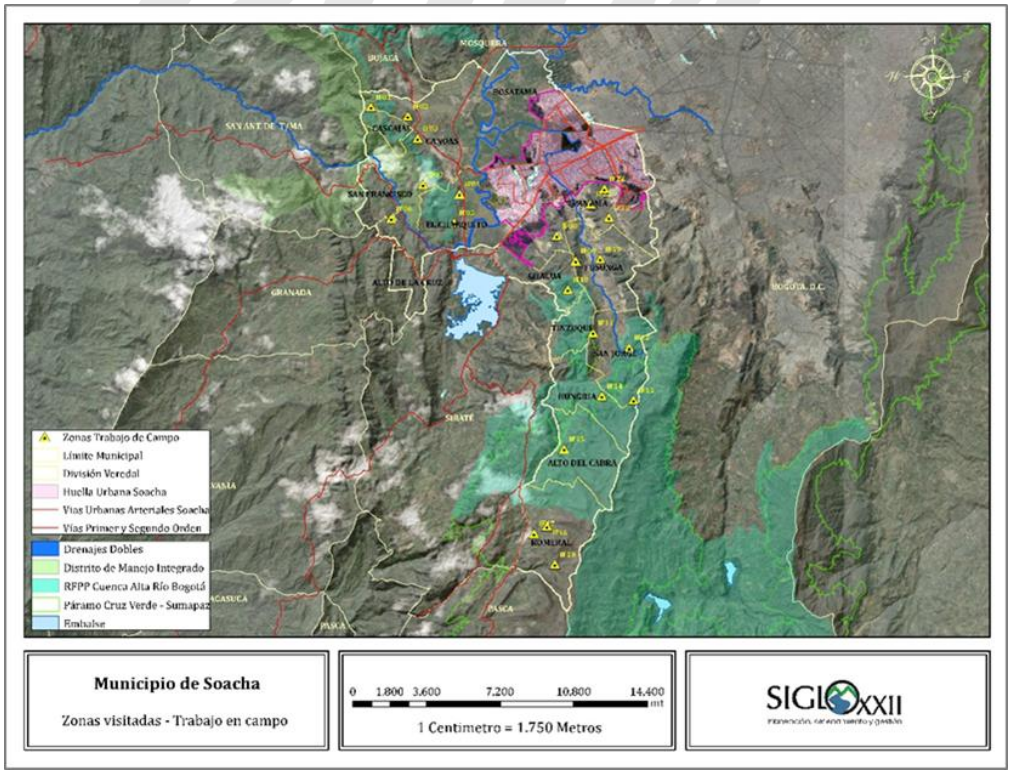


Figura 296. Zonas visitadas en campo para validación de coberturas
Fuente: Siglo XXII SAS

Como se observa, la distribución de las zonas en las que se realizó trabajo de campo se hizo teniendo en cuenta la distribución de la vegetación que presenta predominancia en el territorio, es decir, las zonas en donde se observan importantes extensiones de cobertura vegetal; si se observa la distribución de las zonas en las que se realizó trabajo de campo se podrá observar que zonas de veredas como Bosatama no fueron visitadas, esto debido a que allí predominan coberturas asociadas con cultivos y pastos, las cuales no tienen inconvenientes al momento de realizar la fotointerpretación; A continuación, se presentan los datos de las zonas visitadas:

Tabla 169. Zonas visitadas en campo para validación de coberturas

Zonas visitadas en campo para validación de coberturas			
ID Zona	Coordenadas		Vereda
	Nortes	Estes	
IF-01	1.001.258,730	975.258,757	CANOAS
IF-02	1.000.805,673	977.074,203	CANOAS
IF-03	999.701,405	977.545,829	CANOAS
IF-04	996.940,785	979.598,474	EL CHARQUITO
IF-05	995.512,032	979.335,781	EL CHARQUITO
IF-06	995.721,809	976.265,474	EL CHARQUITO
IF-07	997.408,796	977.810,946	CANOAS
IF-08	994.867,581	984.357,204	PANAMA
IF-09	993.621,497	985.281,252	FUSUNGA
IF-10	992.197,128	984.900,251	CHACUA
IF-11	990.063,449	986.129,054	SAN JORGE
IF-12	989.318,834	987.901,766	SAN JORGE
IF-13	986.712,683	988.108,142	HUNGRIA
IF-14	986.916,790	986.567,508	HUNGRIA
IF-15	984.285,769	984.718,444	ALTO DEL CABRA
IF-16	980.451,570	983.880,243	ROMERAL
IF-17	980.087,503	983.246,451	ROMERAL
IF-18	978.564,709	984.265,779	ROMERAL
IF-19	993.719,771	986.490,778	FUSUNGA
IF-20	995.780,879	986.912,601	PANAMA
IF-21	996.460,104	986.022,087	PANAMA
IF-22	997.204,718	986.687,326	PANAMA

Fuente: Siglo XXII SAS

La restitución de información realizada mediante trabajo de campo permitió identificar que en el Municipio de Soacha no existe una cobertura boscosa predominante, esto en parte debido a que el clima del Municipio en algunas zonas tiende a ser seco, lo cual promueve el desarrollo de vegetación subxerofítica dominada por especies con características morfológicas que le permiten una mayor adaptación a las sequias (Ariza, Carvajal, & Hernández, 2009); también contribuye a esta situación el hecho de que el Municipio cuenta con un área importante de zonas categorizadas como de páramo y subpáramo, localizadas en las veredas Romeral, Alto del Cabra y Hungría, en las que predominan especies de familias como Asteraceae, Poaceae, Melastomataceae y Solanácea, las cuales se caracterizan principalmente por su porte herbáceo, siendo las especies más abundantes la paja (Calamagrostis effusa) y el frailejón (Espeletia grandiflora) (Ariza et al. 2009). Además de estos factores, existe una causa adicional que contribuye a la baja presencia de coberturas boscosas en el Municipio, la cual está relacionada a la fuerte intervención antrópica que se presenta en la zona rural y que está asociada con la expansión de la frontera agrícola, viéndose reflejada en amplias extensiones del territorio que han sido deforestadas generando como consecuencia la perdida de la biodiversidad y el cambio en las dinámicas del uso del suelo.

Figura 297. Vegetación de páramo en la vereda Romeral

Fuente: Trabajo de campo

Figura 298. Vegetación subxerofítica en la vereda Canoas
Fuente: Trabajo de campo

Figura 299. Vegetación arbustiva/herbácea en la vereda El Charquito

Fuente: Trabajo de campo

Figura 300.Deforestación por expansión de la frontera agrícola en la vereda Alto del Cabra
Fuente: Trabajo de campo

Figura 301. Vegetación boscosa en límites entre los municipios de Soacha y San Antonio del Tequendama
Fuente: Trabajo de campo

En el Anexo 2 que hace parte integral de este documento, se presenta la información relativa a los datos de los puntos visitados en la fase de trabajo de campo.

4.4.1.1.8. PATRIMONIO HISTÓRICO Y CULTURAL DEL MUNICIPIO DE SOACHA

Una de las consecuencias de los incendios forestales es que además de afectar la cobertura vegetal, pueden afectar también zonas de invaluable valor histórico, patrimonial y cultural; por esta razón, para la identificación de las zonas que conforman el patrimonio histórico y cultural del Municipio que pueden ser afectadas por la eventual ocurrencia de un incendio forestal, fueron identificadas y especializadas las zonas que presentan este tipo de elementos; Esta información fue proporcionada por la Secretaría de Planeación y Ordenamiento Territorial de Soacha, y se resalta el compromiso del Municipio en cuanto a la identificación y gestión de su patrimonio histórico y cultural.

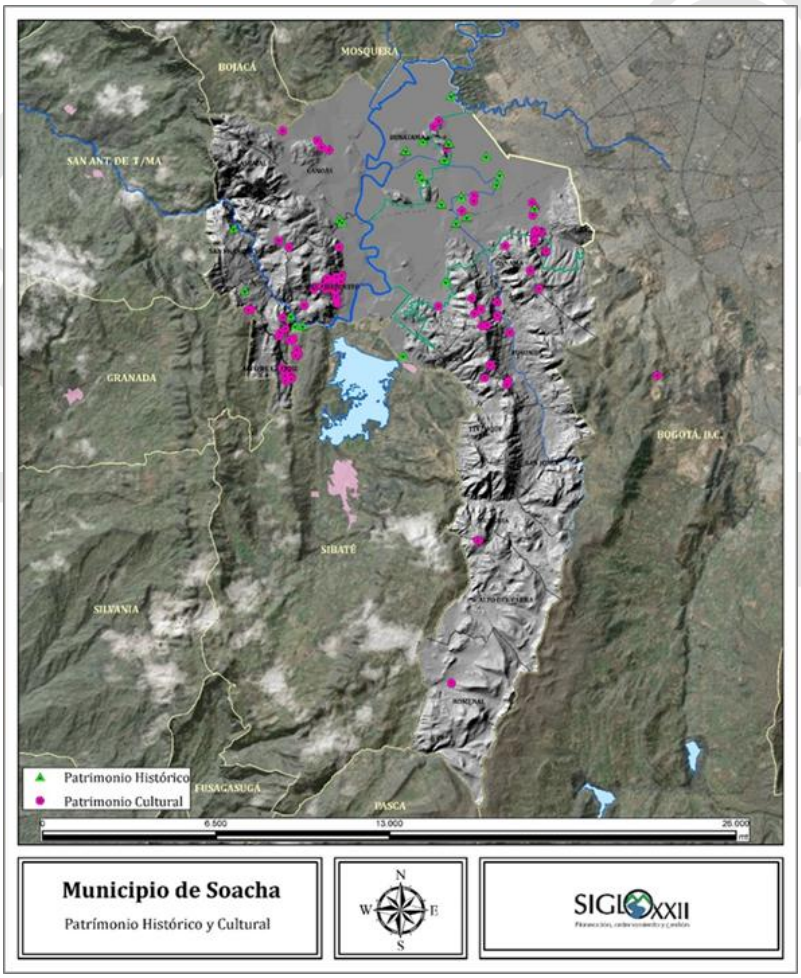


Figura 302. Patrimonio histórico y cultural municipio de Soacha
Fuente: Siglo XXII SAS

Los elementos asociados con el patrimonio histórico del municipio de Soacha se presentan, junto con su localización, en la siguiente tabla:

Tabla 170. Patrimonio histórico del municipio de Soacha.

Patrimonio Histórico			
ID	**Nombre**	**Localización**	
		Nortes	**Estes**
01	Hacienda Canoas Sáenz.	998.112,501	979.649,621
02	Hacienda Canoas Gómez.	998.022,093	979.744,670
03	Estación del Ferrocarril.	998.205,853	984.408,657
04	Hacienda Terreros.	998.539,490	986.941,786
05	Hacienda El Vínculo.	995.801,231	983.619,413
06	Hacienda Cincha.	995.471,562	976.105,196
07	Estación del Ferrocarril.	994.530,082	977.827,093
08	Termoeléctrica El Charquito.	994.158,876	978.269,186
09	Casa de la hacienda Las Huertas.	998.699,124	983.462,046
10	Casa de la Hacienda de la Familia Puyana.	999.607,470	982.739,281
11	Casa de la Hacienda Potrero Grande.	999.780,202	985.641,036
12	Hacienda Ogamora Nueva.	1.000.671,636	982.127,817
13	Casa y capilla de la Hacienda Chucuita Vargas.	1.000.332,372	983.570,024
14	Casa de la Hacienda La Chucuita.	1.000.944,458	983.754,336
15	Iglesia del Secretariado.	998.949,752	984.204,545
16	Iglesia y casona de El Charquito.	994.148,302	977.984,379
17	Hotel del Salto.	997.790,445	975.682,561
18	Hacienda Ogamora Vieja.	1.001.022,387	982.773,529
19	Hacienda Bosatama.	1.002.713,323	983.815,227
20	Hacienda Logroño.	1.000.468,721	985.125,690
21	Hacienda Malachi.	999.419,350	985.522,787
22	Caballerizas Hacienda Puyana.	999.801,728	982.642,141
23	Capilla Hacienda Chucuita.	1.000.934,972	983.723,818
24	Hacienda Puerta Grande.	993.039,349	982.024,136
25	Puente Ferroviario.	997.990,314	984.006,743

Fuente: SPOT Soacha

Los elementos asociados con el patrimonio cultural del municipio de Soacha se presentan, junto con su localización, en la siguiente tabla:

Tabla 171. Patrimonio cultural del municipio de Soacha.

Patrimonio Cultural			
ID	Nombre	Localización	
		Nortes	Estes
1	0001 Tequendama (Arte Rupestre).	993.068,128	978.096,125
2	0002 Tequendama (Arte Rupestre).	993.043,250	978.062,613
3	0003 Tequendama (Arte Rupestre).	993.052,273	978.045,324
4	0004 Tequendama (Arte Rupestre).	993.072,358	978.082,257
5	0005 Tequendama (Arte Rupestre).	993.079,609	978.106,844
6	0006 Tequendama (Arte Rupestre).	993.246,862	978.051,712
7	0001 Piedra Gorda (Arte Rupestre).	997.110,631	985.849,934
8	Nueva esperanza (SITAR).	997.302,981	977.367,255
9	Abrigos Rocosos Tequendama (SITAR).	993.031,377	978.007,252
10	Ruinas Tuso (Arte Rupestre).	994.892,021	978.332,655
11	Aguazuque (Arte Rupestre).	1.001.389,941	977.534,876
12	Tibanica (Arte Rupestre).	998.260,072	986.871,031
13	Terreros (Arte Rupestre).	998.533,512	986.969,775
14	Cerezos (Arte Rupestre).	998.726,028	986.849,969
15	Torres del Camino (Arte Rupestre).	998.769,880	984.674,692
16	Portalegre (Arte Rupestre).	998.986,833	984.692,079
17	Panamá (Arte Rupestre).	993.883,787	986.025,369
18	Potrero Alto (Arte Rupestre).	1.000.680,862	979.263,211
19	0001 Alto cruz (Arte Rupestre).	994.756,663	976.341,910
20	Patrimonio Gastronómico (Inmaterial).	998.411,875	984.233,495
21	0001 Infinito (Arte Rupestre).	994.856,013	983.346,099
22	SOA-Can-01 (Piedra del Zig-Zag)	994.965,578	979.571,100
23	SOA-Can-02 (Piedra del Rayo)	995.048,519	979.552,626
24	SOA-Can-03 (Piedra "N")	995.101,975	979.523,047
25	SOA-Can-04 (Piedra de los Dedos)	995.207,027	979.524,924
26	SOA-Can-05 (Piedra de la Carita)	995.498,332	979.114,407
27	SOA-Can-06 (Piedra del Oso)	995.588,671	978.996,061
28	SOA-Can-07 (Piedra del Ojo)	995.597,883	979.010,860
29	SOA-Can-08 (Piedra de la Pala)	995.616,316	978.997,918
30	SOA-Can-09 (Piedra "Negro - Rojo")	995.702,895	979.166,246
31	SOA-Can-10 (Piedra Rombos)	995.654,952	979.256,860
32	SOA-Can-11 (Piedra del Pez)	995.564,624	979.332,666
33	SOA-Can-12 (Piedra del Peine)	995.573,800	979.484,328

Patrimonio Cultural			
ID	Nombre	Localización	
		Nortes	Estes
34	SOA-Can-13 (Piedra de los Puntos)	995.422,681	979.449,149
35	SOA-Can-14 (Piedra Humanito)	995.420,827	979.489,838
36	SOA-Can-15 (Piedra Humanito 2)	995.463,212	979.508,344
37	SOA-Can-16 (Piedra de los Soles)	995.734,193	979.293,870
38	SOA-Can-17 (Piedra de la Luz)	995.699,170	979.316,055
39	SOA-Can-18	995.754,459	979.323,468
40	SOA-Can-19 (Piedra Simba)	995.782,080	979.417,800
41	SOA-Can-20 (Piedra Espirales)	995.798,668	979.415,954
42	SOA-Can-21 (Piedra - Extraterrestres)	995.826,340	979.312,389
43	SOA-Can-22 (Piedra Abrigo Cueva)	995.853,985	979.312,396
44	SOA-Can-23 (Piedra de la Llave)	995.876,110	979.280,960
45	SOA-Can-24 (Piedra de "Pi")	995.916,677	979.201,442
46	SOA-Can-25 (Piedra Mayor que ">")	995.879,745	979.478,858
47	SOA-Can-26 (Piedra de los Círculos)	995.758,048	979.700,768
48	SOA-Can-027 (Piedra de las Cruces)	995.791,222	979.702,626
49	SOA-Can-28 (Piedra "W")	995.789,378	979.706,324
50	SOA-Can-29 (Piedra Colibrí)	996.005,620	979.736,588
51	SOA-Can-30 (Leopardo)	995.953,452	979.533,129
52	SOA-Can-31 (Piedra del Tuso)	995.591,197	978.737,747
53	SOA-Can-32 (Piedra verde)	995.499,055	978.700,732
54	SOA-Can-33 (Mariposa)	997.059,741	977.776,409
55	SOA-Can-34 (Piedra Corbatines)	997.059,247	979.628,969
56	SOA-Inv-01 (Piedra del indio 1)	996.879,490	987.350,490
57	SOA-INV-02 (Piedra del indio 2)	996.891,775	987.362,822
58	SOA-INV-03 (Piedra Partida del Indio)	996.894,846	987.368,987
59	SOA-INV-04 (Piedra del indio 3)	996.904,061	987.368,989
60	SOA-INV-05 (Piedra del Indio 4)	996.897,917	987.368,988
61	SOA-INV-06 (Piedra Partida del Indio 2)	996.907,131	987.378,237
62	SOA-Cal-01 (El Toro)	1.001.034,266	978.819,341
63	SOA-Cal-02 (Tridente)	1.000.779,271	978.975,546
64	SOA-CHU-01 (1)	1.000.756,665	983.655,418
65	SOA-CHU-02 (2)	1.000.747,450	983.658,499
66	SOA-CHU-03 (Nicho)	1.001.555,413	983.171,665
67	SOA-CHU-04 (Cuadritos)	1.001.758,106	983.362,809
68	SOA-Char-01 (Piedra del cementerio)	993.671,591	977.926,516
69	SOA-Char-02 (Submarino)	993.585,594	977.886,419
70	SOA-Char-03 (Piedra roja)	993.619,412	977.781,620

Patrimonio Cultural			
ID	Nombre	Localización	
		Nortes	Estes
71	SOA-Char-04 (El chulo)	994.031,064	977.633,770
72	SOA-Char-05 (Piedra paraíso)	994.448,844	977.538,327
73	SOA-Char-06 (Las Cruces)	993.748,534	977.387,084
74	SOA-Char-07(El gato)	993.883,675	977.439,526
75	SOA-Fus-01 (Varón del Sol)	995.162,885	984.606,771
76	SOA-Fus-02 (Piedra Gorda)	994.600,745	984.696,057
77	SOA-Fus-03 (El Rastrico)	994.757,355	984.942,691
78	SOA-Fus-04 (Ochito)	994.146,081	984.967,236
79	SOA-Fus-05 (2 Rayas)	994.142,982	985.109,034
80	SOA-Fus-06 (Rayito)	994.164,472	985.173,772
81	SOA-Fus-07 (Rayones)	995.027,559	985.522,257
82	SOA-Fus-08 (El nicho)	995.006,052	985.549,996
83	SOA-Fus-09 (La Macarena)	994.474,644	985.562,230
84	SOA-Fus-10 (Cuca)	994.468,503	985.549,899
85	SOA-Fus-11 (El Bicho)	994.517,650	985.552,991
86	SOA-Pan-01 (Jehová)	996.200,732	986.798,618
87	SOA-Pan-02 (2)	996.194,590	986.786,287
88	SOA-Pan-03 (Esparto)	995.524,905	987.106,758
89	SOA-Pom-01	992.501,302	977.796,724
90	SOA-Pom-02 (Piedra Cien pies)	992.503,763	977.785,627
91	SOA-Pom-03 (Piedra de los Disparos)	992.501,917	977.793,025
92	SOA-Pom-04 (La "S")	992.292,418	977.824,410
93	SOA-Pom-05 (la quemada / Paloquemao)	992.455,231	977.778,216
94	SOA-Pom-06 (Piedra de los Paralelos)	992.188,594	977.824,382
95	SOA-Pom-07 (Piedra de los Rombos)	992.172,002	977.839,174
96	SOA-Pom-08 (Junto a la Cuadrícula)	992.160,324	977.861,366
97	SOA-Pom-09 (Piedra de la cuadrícula)	992.146,198	977.844,716
98	SOA-Pom-10 (Piedra de la Leona)	992.092,811	977.626,449
99	SOA-Pom-11 (La serpiente)	992.264,831	977.611,700
100	SOA-Pom-12 (Piedra Perdida)	992.564,664	977.491,561
101	SOA-SFR-01 (La manito)	994.734,887	976.243,734
102	SOA-SMA-01 (Muexca)	997.635,196	986.946,812
103	SOA-SMA-02 (La Rayita)	997.613,695	986.937,561
104	SOA-SMA-03 (El "Pi")	997.447,825	986.925,204
105	SOA-SMA-04 (La "17")	997.306,525	986.934,428
106	SOA-SMA-05 (La "15")	997.300,380	986.943,675
107	SOA-SMA-06 (La "14")	997.269,661	986.952,917

Patrimonio Cultural			
ID	Nombre	Localización	
		Nortes	Estes
108	SOA-SMA-07 (La "10")	997.570,649	987.196,478
109	SOA-SMA-08 (La "9")	997.641,297	987.205,737
110	SOA-SMA-09 (La "8")	997.607,513	987.177,990
111	SOA-SMA-10 (La "7")	997.641,312	987.113,264
112	SOA-SMA-11 (La "6")	997.672,036	987.070,115
113	SOA-SMA-12 (la "5" - Cabeza de Serpiente)	997.656,679	987.060,865
114	SOA-SMA-13 (La "4"/ Cabeza de serpiente 2)	997.668,965	987.063,950
115	SOA-SMA-14 (El sapo / La "3")	997.665,894	987.060,867
116	SOA-SMA-15 (El Abuelo)	997.690,472	987.036,211
117	SOA-SMA-16 (La 1)	997.693,546	987.023,882
118	SOA-Rom-01 (Piedra Gorda / Las serpientes)	980.824,195	983.837,253
119	SOA-Rom-02 (La pequeña)	980.849,616	983.825,545
120	SOA-Hun-01 (La Cueva)	986.144,489	984.866,860
121	Cueva, sin datos	986.143,839	984.816,545
122	SOA-Fus-12 (Piedra manchada)	992.286,228	991.542,910
123	SOA-Fus-13 (Piedra de las orquídeas)	992.103,171	985.955,176
124	SOA-Fus-14 (Las manchaditas)	992.095,556	985.960,532
125	Vivienda abandonada S.XVIII	992.065,435	985.956,633
126	SOA-Fus-15 (Piedra alta/nicho manchado)	991.945,102	985.906,890
127	SOA-VN-01 (Alto pedregal)	992.631,251	985.330,896
128	SOA-VN-02 (La manito)	992.695,089	985.281,608
129	SOA-VN-03 (El nicho y la cueva)	992.193,216	985.071,519

Fuente: SPOT Soacha

4.4.1.1.9. REGISTRO DE EVENTOS HISTÓRICOS RELACIONADOS CON INCENDIOS FORESTALES EN EL MUNICPIO DE SOACHA

La información relacionada con los eventos históricos acontecidos en el Municipio de Soacha permite conocer cuál ha sido su distribución en el territorio, si al momento de la ocurrencia se presentaban picos de temperatura, o si fueron desencadenados directa o indirectamente por actividades antrópicas; esta información no siempre resulta ser de fácil consecución pues no siempre se cuenta con un reporte detallado que incluya coordenadas de su localización; no obstante para el Municipio de Soacha, y a partir de la consulta de diversas fuentes de información como la CAR, habitantes de diferentes veredas durante la fase de trabajo de campo, archivos históricos de noticias relacionadas con el tema y la Secretaría de Planeación y Ordenamiento Territorial, fue posible identificar que, al interior del Municipio y en su área de influencia, se han

presentado un total de 54 eventos asociados con este tipo de fenómenos, de los cuales 20 han tenido lugar en la jurisdicción de Soacha entre el año 2009 y el 2020.

Tabla 172. Localización de eventos asociados con incendios de la cobertura vegetal.

Fuente	Zona	Localización		Año
		Nortes	Estes	
Otras fuentes10	Urbana (San Mateo)	986470,047	997592,866	2009
CAR	Vereda San Jorge	988644,000	988167,000	2013
CAR	Vereda Panamá	984524,000	995248,000	2013
CAR	Vereda Alto del Cabra	984930,000	986058,000	2013
Visita campo	Vereda Romeral	984216,230	978972,779	2013
CAR	Vereda Panamá	986711,023	997362,056	2014
CAR	Vereda Tinzuque	984599,000	990930,000	2014
CAR	Urbana (Humedal Neuta)	983008,000	997320,000	2014
CAR	Urbana (Ciudad Verde)	983235,000	1001553,000	2014
CAR	Vereda Chacua	982275,000	992885,000	2014
CAR	Vereda Fusunga	985257,000	994270,000	2016
CAR	Vereda El Charquito	980479,000	996643,000	2017
CAR	Urbana (Humedal Tierra Blanca)	982276,000	997956,000	2017
Otras fuentes	Vereda Alto de La Cruz	977831,575	992055,627	2018
Visita campo	Vereda El Charquito	979588,401	994756,491	2019
Visita campo	Vereda El Charquito	979268,728	994874,931	2019
Otras fuentes	Vereda Bosatama	983579,904	1000368,386	2019
Visita Campo	Urbana (Humedal Neuta)	983379,336	998202,715	2020
Otras fuentes	Urbana (Hogares – Ciudad Verde)	984023,003	1000163,909	2020

[10] Hace referencia a fuentes consultadas relacionadas con medios de comunicación y archivos históricos.

Fuente	Zona	Localización		Año
		Nortes	Estes	
Otras fuentes	Urbana (Compartir)	981244,927	996383,63	2020

Fuente: CAR, SPOT Soacha, Trabajo de campo, Archivos históricos

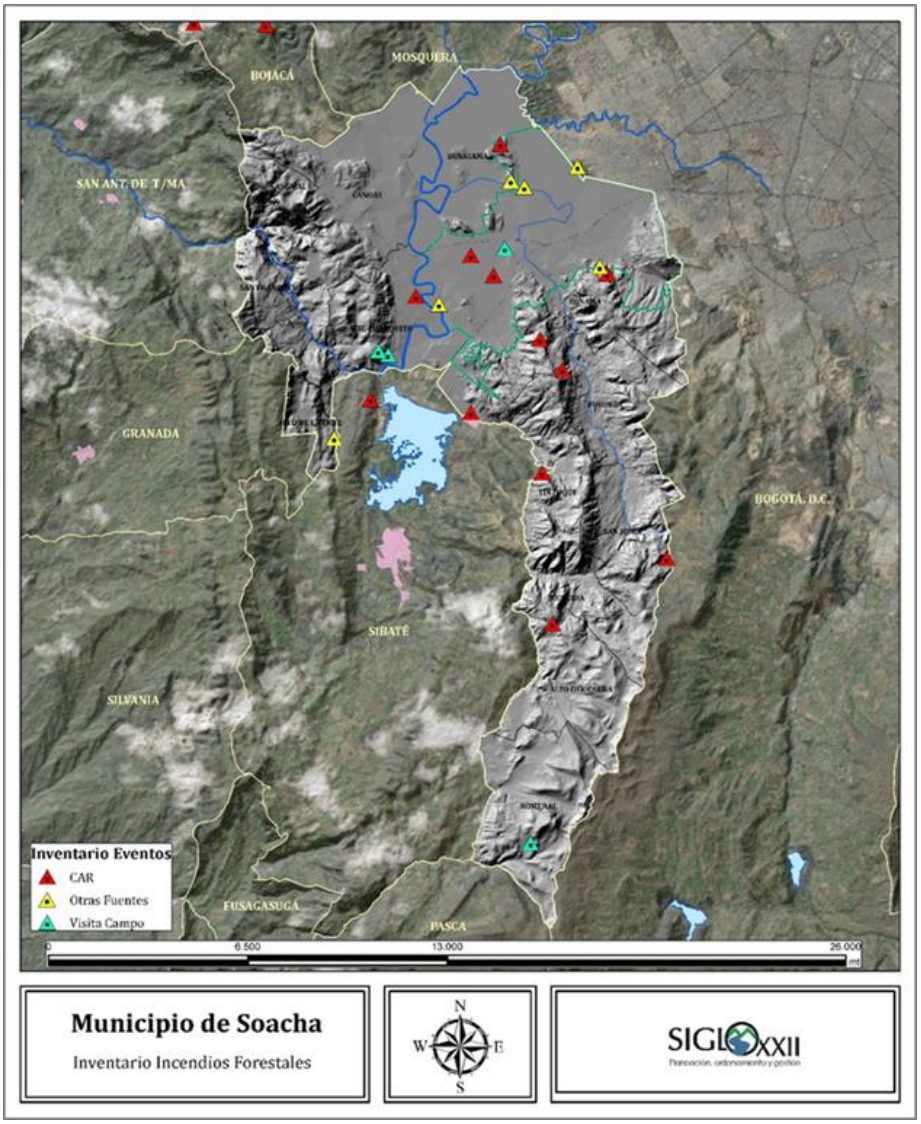


Figura 303. Distribución espacial de los incendios forestales ocurridos entre el 2009 y el 2020 en el Municipio de Soacha.

Fuente: Siglo XXII SAS

Como se puede observar, la mayoría de los incendios forestales se han presentado en la zona rural del Municipio de Soacha, siendo algunos de ellos particularmente recordados por su intensidad, tal es el caso del incendio presentado en el año 2014 en límites entre Soacha (Sector El Vínculo) y Sibaté el cual requirió del apoyo de personal capacitado de otros municipios para controlarlo (Periodismo Público Soacha, 2014).

Al interior de la zona urbana, se tienen registros de incendios de la cobertura vegetal ocurridos en su gran mayoría en zonas potrerizadas debido a actividades antrópicas; algunos incendios como el acontecido en febrero de 2020 han generado afectaciones a elementos de la estructura ecológica principal, como lo fue el caso del humedal Neuta en el sector conocido como Quintas de la Laguna, otros han generado afectaciones al patrimonio histórico del Municipio, como lo fue el caso del incendio de la cobertura vegetal ocurrido en el año 2019 en la vereda Bosatama que destruyo la casa y la capilla de la Hacienda Chucuita.

4.4.1.2. DETERMINACIÓN DE LA ESCALA DE TRABAJO Y FICHA TÉCNICA DE LA INFORMACIÓN BASE

El Decreto 1077 de 2015, que compilo al Decreto 1807 de 2014, establece en la Sección 3. Incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial, Subsección 1. Disposiciones Generales, Artículo 2.2.2.1.3.1. Estudios básicos para la revisión o expedición de planes de ordenamiento territorial, Parágrafo 1 (definiciones), que la Zonificación de amenazas por fenómenos naturales consiste en la "(…) representación cartográfica de áreas con características homogéneas debe realizarse bajo el sistema de coordenadas oficial definido por la autoridad cartográfica nacional, y su precisión estará dado en función de la escala de trabajo"; al respecto, este mismo Decreto establece en el Artículo 2.2.2.1.3.1.5 las siguientes escalas de trabajo:

Tabla 173. Escalas de trabajo según el Decreto 1077 de 2015

Tipo de estudio	Clase de Suelo	Escala
Estudio Básico	Urbano	1:5.000
	Expansión Urbana	1:5.000
	Rural	1:25.000
Estudio Detallado	Urbano	1:2.000
	Expansión Urbana	1:2.000
	Rural Suburbano	1:2.000

Fuente: Decreto 1077 de 2015

En el mismo sentido, el Parágrafo 1 de este mismo Artículo establece que "Los municipios o distritos que cuenten con información a una escala de mayor detalle deben emplearla para el desarrollo de los respectivos estudios"; al respecto, el municipio de Soacha adelanto la generación de una imagen de alta resolución y de un modelo digital de elevación (DEM) con escala 1:1.000 mediante la implementación de plataformas aéreas no tripuladas (drone), cuya cobertura es del 100% del territorio; dicha imagen permite identificar de manera detallada los elementos presentes en el Municipio, aspecto que es fundamental para la generación de insumos básicos como la capa de coberturas de la tierra (CORINE LAND COVER); este ortofotomosaico permite además la restitución de infraestructuras (vías, construcciones, cuerpos de agua, etc) y el ajuste en la escala de la cartografía base generada por entidades como la CAR y el IGAC, permitiendo como se podrá observar en este documento técnico y en la respectiva cartografía, contar con insumos básicos detallados que tendrán influencia en los productos generados en las fases de susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad, riesgo y en el cálculo de las condiciones de amenaza y riesgo. Por lo anterior, la escala de trabajo del presente estudio será inferior a 1:25.000 pues insumos como el de coberturas, infraestructuras y relieve, a partir de los cuales se construyen los insumos temáticos de susceptibilidades por tipo, duración y carga, las amenazas por accesibilidad y por pendientes topográficas, y las vulnerabilidades de infraestructura, económica, territorial, física y ecológica, fueron realizados con información básica a escala 1:1.000 (detallada); la escala de elaboración de los demás insumos dependerá de la escala de la información que sea proporcionada o consultada en diferentes entidades, la cual, de ser posible será ajustada asignándole el mayor detalle posible.

Además de la importancia de contar con información a una escala apropiada para la elaboración de los diferentes productos básicos a partir de los cuales serán desarrolladas las fases de susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo, es importante contar con la información mínima requerida para dar alcance a cada uno de los insumos temáticos de las fases mencionadas; En la siguiente tabla, se presenta la ficha técnica de los insumos básicos implementados para la elaboración de la zonificación de amenazas y riesgos por incendios de la cobertura vegetal en el municipio de Soacha:

Tabla 174. Insumos y ficha técnica de la información implementada para la elaboración de la zonificación de amenazas y riesgos por incendios forestales

Insumos y Ficha Técnica de la Información				
Etapa	**Componente**	**Descripción**	**Información Secundaría y/o Complementaría**	**Fuente**
Preparación (Insumos	Límites político administrativos	División veredal, centros poblados, límite municipal y límite urbano del municipio de Soacha.	Límites departamentales y límites municipales.	IGAC, DANE, SPOT[11] Soacha.

[11] **SPOT** Soacha: Secretaría de Planeación y Ordenamiento Territorial del municipio de Soacha - Cundinamarca.

Insumos y Ficha Técnica de la Información				
Etapa	**Componente**	**Descripción**	**Información Secundaría y/o Complementaría**	**Fuente**
	Topografía (Curvas de nivel)	Curvas de nivel indicando la variación en alturas para el municipio de Soacha, obtenidas a partir del modelo digital de elevación proporcionado por el Municipio y construido mediante implementación de PANT[12], el cual tiene una resolución de 1 mt x 1 mt (tamaño de pixel).	En caso de no contar con información como la proporcionada por el Municipio, se pueden obtener mediante la implementación del modelo digital de elevación generado por el sensor ALOS-PALSAR del ASF[13] que tiene una resolución de 12,5 mt x 12,5 mt (tamaño de pixel).	SPOT, ASF, POMCA Río Bogotá.
	Estructura Ecológica Principal	Zonas con declaratoria de áreas protegidas emitidas por entidades oficiales (MADS, POMCA, CAR, SINAP, etc.), que tengan jurisdicción en el municipio de Soacha; Elementos que conformen la estructura ecológica principal del municipio de Soacha como drenajes, humedales, pantanos, lagunas, zonas declaradas por el Municipio, etc.	Se podrán consultar geoportales como el del IDECA de Bogotá en donde aparezca información ambiental relacionada con el Municipio, y con posibilidad de descarga; en caso de no contar con información en formato shapefile se deberán consultar las declaratorias de cada una de las zonas de reserva con influencia en el Municipio, y georreferenciar las coordenadas que definen el perímetro de la zona de reserva.; también se podrá restituir esta información mediante la implementación de imágenes de alta resolución.	SPOT Soacha, MADS, CAR, RUNAP, SINAP, IGAC, POMCA Río Bogotá

[12] PANT: Plataforma Aérea No Tripulada (DRONE).

[13] ASF: (Alaska Satellite Facility); Geovisor que permite la descarga imágenes satelitales y modelos digitales de elevación de alta resolución de forma gratuita (https://search.asf.alaska.edu/#/).

Insumos y Ficha Técnica de la Información				
Etapa	**Componente**	**Descripción**	**Información Secundaría y/o Complementaría**	**Fuente**
	Distribución de construcciones en suelo rural	Dispersión espacial de construcciones habitables y no habitables en el suelo rural del Municipio, restituidas a partir de imágenes de drone de alta resolución que cubren la totalidad del territorio municipal, y teniendo como guía la capa de construcciones rurales generada por el IGAC.	De no contar con una imagen de muy alta resolución que permita la restitución de este tipo de infraestructuras, se podrá implementar la capa de construcciones generada por el IGAC disponible para descarga en formato shapefile (.SHP) en el geoportal de dicha entidad.	IGAC, SPOT Soacha (Imagen), Equipo Consultor.
	Huella Urbana	Identificación de las zonas del área urbana del Municipio en las que se identifiquen coberturas que hayan sido antropizadas; para su elaboración se tendrán en cuenta imágenes de drone de alta resolución que cubran la totalidad del Casco Urbano Principal del Municipio.	De no contar con una imagen de muy alta resolución que permita la restitución de este tipo de infraestructuras se podrán implementar imágenes aéreas y/o satelitales recientes, en las que se identifiquen claramente este tipo de coberturas.	IGAC, SPOT Soacha (Imagen), Equipo Consultor.
	Sistema Vial	Capa cartográfica del sistema vial del municipio de Soacha categorizada según lo establece la Ley 1228 de 2008 en vías de primero, segundo y tercer orden, restituidas y/o ajustadas en escala a partir de imágenes de alta resolución (drone) para garantizar su coincidencia con el terreno y teniendo como base la capa del sistema vial generada por el IGAC y la capa del sistema vial proporcionada por el Municipio de Soacha.	De no contar con una imagen de muy alta resolución que permita la restitución de este tipo de infraestructuras se podrán implementar imágenes aéreas y/o satelitales recientes, en las que se identifique claramente el sistema vial del Municipio.	IGAC, SPOT Soacha (Imagen), Equipo Consultor.

Insumos y Ficha Técnica de la Información				
Etapa	**Componente**	**Descripción**	**Información Secundaría y/o Complementaría**	**Fuente**
	Imagen aérea de alta resolución	Imagen (es) aérea (s) de alta resolución con cobertura total de la zona urbana y rural del municipio de Soacha, generada mediante la implementación de PANT y con una antigüedad de máximo tres (3) años.	Como complemento se podrán implementar imágenes aéreas de alta resolución de entidades como el IGAC, mapas base de softwares como ArcGIS (Basemap - Imagery), o de geoportales como el de Google Earth.	SPOT Soacha, IGAC, ArcGIS, Google Earth.
	Patrimonio Histórico y Cultural	Identificación de las zonas del Municipio en las que se localizan áreas que deben ser protegidas por presentar vestigios arqueológicos, o que por diferentes razones hacen parte del patrimonio histórico del territorio.	De no contar el Municipio con un inventario detallado de esta información, se puede consultar el Instituto Colombiano de Antropología e Historia (ICANH).	SPOT Soacha, ICANH
	Coberturas de la tierra (CORINE LAND COVER)	Capa cartográfica que contiene la identificación de las coberturas de la tierra del Municipio de Soacha; se construyó a partir de imágenes de muy alta resolución proporcionadas por el Municipio, y teniendo como base metodológica la Leyenda Nacional de Coberturas de La Tierra (Metodología Corine Land Cover) del IDEAM; por ser un insumo transversal a todo el proceso de elaboración de la zonificación de incendios de la cobertura vegetal, se recomienda que la escala a la que sea construida sea la más detallada posible.	De no contar con imágenes de muy alta resolución (drone) pueden ser implementadas imágenes aéreas consultadas en el IGAC, o también pueden ser implementadas imágenes satelitales en geoportales que permitan su descarga y geoprocesamiento; en todo caso la capa de coberturas debe siempre realizarse teniendo en cuenta la metodología del IDEAM (Leyenda Nacional de Coberturas de La Tierra).	IDEAM, equipo consultor, ArcGIS (BASEMAP), IGAC, geoportales de visualización y descarga de imágenes satelitales.

Insumos y Ficha Técnica de la Información				
Etapa	**Componente**	**Descripción**	**Información Secundaría y/o Complementaría**	**Fuente**
	Estaciones Hidroclimatológicas	Información proporcionada por entidades como la CAR Cundinamarca o el IDEAM, quienes tienen a su cargo el manejo de la información y análisis de los datos climáticos que son capturados por este tipo de estaciones.	De no contar con información, o no tener datos suficientes para la elaboración de los insumos del componente climático (vientos, precipitación, radiación solar, temperatura), se podrá consultar información de plataformas como el WorldClim14, en la que se pueden descargar datos climáticos de cualquier parte de la superficie terrestre.	CAR, IDEAM, WorldClim, Otros.
	Inventario de incendios forestales	Identificación de los eventos acontecidos en el territorio municipal asociados con incendios de la cobertura vegetal ocurridos como mínimo en los últimos diez (10) años; dichos eventos deben estar georreferenciados para conocer con exactitud la zona en la que se presentó el evento. Esta información puede ser consultada en la oficina encargada a nivel municipal de la gestión del riesgo y desastres, en entidades como la CAR (registros históricos de eventos naturales), o en plataformas digitales como el DESINVENTAR.	De no contar con un inventario de incendios forestales presentados en el Municipio, esta información se puede generar mediante trabajo de campo consultando a habitantes de las diferentes veredas sobre eventos de este tipo ocurridos en el territorio; igualmente se pueden consultar geoportales como el FIRMS15 de la NASA o identificar mediante análisis multitemporales de imágenes aéreas y/o satelitales zonas del Municipio en donde se observen zonas quemadas.	SPOT Soacha, CAR, DESINVENTAR, trabajo de campo, análisis multitemporal de imágenes, equipo consultor.

Fuente: Siglo XXII SAS

[14] **WorldClim:** https://www.worldclim.org/data/index.html

[15] **FIRMS** (Fire Information for Resource Management System): https://firms.modaps.eosdis.nasa.gov/map/#d:2020-11-04..2020-11-05;@0.0,0.0,3z.

4.4.2. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO PARA LA ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA Y EL RIESGO POR INCENDIOS FORESTALES

En esta sección se presentan las características de los insumos que serán implementados para la obtención de la zonificación de amenazas y riesgos por incendios de la cobertura vegetal; de igual manera se presenta el marco metodológico definido por entidades como la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, para la definición de la susceptibilidad total, la amenaza total, las zonas con condición de amenaza y las zonas con condición de riesgo por el fenómeno de incendios forestales que serán identificadas en el municipio de Soacha.

4.4.2.1. MARCO METODOLÓGICO

Como marco metodológico de obligatoria aplicación se tendrá la "Memoria técnica – Mapa zonificación de riesgo a incendios de la cobertura vegetal para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR", la cual se soporta metodológicamente en el "Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal escala 1:100.000", el cual fue objeto de un ajuste realizado en el año 2015 por la Subdirección de Ecosistemas – Grupo de Bosques, del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM.

Partiendo de estas metodologías e implementando insumos detallados, como una imagen obtenida a partir del uso de plataformas aéreas no tripuladas (drone) que cubre la totalidad del Municipio, se obtendrá la susceptibilidad total y la amenaza total por incendios de la cobertura vegetal para el municipio de Soacha.

Tabla 175. Zonificación de susceptibilidad y amenaza por incendios forestales

Zonificación de susceptibilidad y amenaza por incendios forestales según metodología CAR - IDEAM		
Zonificación	**Categoría**	**Calculo según Metodología**
Susceptibilidad	Susceptibilidad por tipo de combustible (S_{TC}).	STotal= CAL(STC)+ CAL(SDC) + CAL(SCC)
	Susceptibilidad por duración del combustible (S_{DC}).	
	Susceptibilidad por carga total del combustible (S_{CC}).	
Amenaza	Amenaza por precipitación (A_{PP}).	

Zonificación de susceptibilidad y amenaza por incendios forestales según metodología CAR - IDEAM		
Zonificación	**Categoría**	**Calculo según Metodología**
	Amenaza por temperatura (A_{TP}).	ATotal = (STotal*0,17)+(APP*0,20)+(ATP*0,20)+(APT*0,07)+(AFH*0,10)+(AAc*0,10)+(AVT*0,10)+(ARS*0,07)
	Amenaza por vientos (A_{VT}).	
	Amenaza por radiación solar(A_{RS}).	
	Amenaza por pendientes Topográficas (A_{PT}).	
	Amenaza por accesibilidad (A_{Ac}).	
	Amenaza por Factores históricos o Frecuencia (A_{FH}).	
Vulnerabilidad	Vulnerabilidad poblacional (V_{PB}).	VTotal = (VIT*0,05)+(VPT*0,20)+(VPB*0,31)+(VTT*0,20)+(VIN*0,06)+(VEC*0,18)
	Vulnerabilidad física (V_{FC}).	
	Vulnerabilidad ecológica (V_{EG}).	
	Vulnerabilidad territorial (V_{TT}).	
	Vulnerabilidad infraestructura (V_{IN}).	
	Vulnerabilidad económica (V_{EC}).	
	Vulnerabilidad patrimonial (V_{PT}).	
	Vulnerabilidad institucional (V_{IT}).	
Riesgo	Zonificación de riesgo por incendios forestales.	RTotal = (ATOTAL * VTOTAL)

Fuente: (IDEAM & CAR, 2014)

También, a partir del resultado obtenido del cálculo de la amenaza total por incendios de la cobertura vegetal, se dará alcance a lo establecido en los Artículos 2.2.2.1.3.2.1.4 y

2.2.2.1.3.2.1.5 del Decreto 1077 de 2015 en lo que se refiere a identificación de las zonas con condición de amenaza y condición de riesgo, garantizando de esta manera la articulación de la zonificación de amenaza por incendios forestales con la propuesta de ordenamiento territorial; A continuación, se describe la metodología que será implementada para el cálculo de las áreas con condición de amenaza y condición de riesgo del municipio de Soacha:

a. ARTICULO 2.2.2.1.3.2.1.4 (Decreto 1077 de 2015). 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. La identificación de estas áreas se realizará a partir del análisis de las áreas zonificadas como de amenaza alta y media sin ocupar en los estudios básicos con aquellas que se consideren como objeto de desarrollo. En todo caso el desarrollo de las zonas de amenaza media y alta sin ocupar quedará sujeto a los resultados de los estudios detallados. Con esta información se elabora el mapa con la delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza y se establecen los criterios para la caracterización y delimitación de las unidades de análisis en las áreas que serán objeto de estudios detallados.

b. ARTICULO 2.2.2.1.3.2.1.5 (Decreto 1077 de 2015). Delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo. Con fundamento en la delimitación y zonificación de amenazas, se delimitan y zonifican las áreas con condición de riesgo, a fin de priorizar las áreas en las cuales se deben realizar estudios detallados. La identificación de las áreas con condición de riesgo se realizará a partir del análisis de las áreas zonificadas como de amenaza alta en los estudios básicos, con la información cartográfica (predial o catastral, entre otras) disponible que permita 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. Con esta información se elabora el mapa con la delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo y se establecen los criterios para la caracterización y delimitación de las unidades de análisis que dependen del fenómeno a estudiar y la priorización para la realización de los estudios detallados que permitirán categorizar el riesgo.

4.4.2.2. CONTROL DE LA CALIDAD DE LA INFORMACIÓN

Cada una de las capas que conforman la cartografía básica y temática del presente estudio fueron objeto de un control de calidad, a partir de la evaluación de sus cualidades y características; el control de calidad en dos fases, una relacionada con el control de calidad temático, y otra relacionada con el control cartográfico, como se presenta a continuación:

Tabla 176. Control de calidad Temático durante el desarrollo del proyecto

Control de calidad Temático	
Tipo de Control	**Descripción**
Escala de trabajo	La escala debe permitir generar información que se adecue a las necesidades planteadas dentro de los objetivos y alcance del producto a desarrollar, por lo cual se consideró la información en la escala mínimo 1:25.000; no obstante, como se observará durante el desarrollo del presente estudio, muchos de los insumos implementados cuentan con escalas detalladas inferiores a 1:2.000.
Exactitud temática	En este punto se busca evaluar la fidelidad con que se clasifican y representan los rasgos en la base de datos de atributos. Esta variable es muy importante porque permite poder tener la confiabilidad de la información espacial y su base temática. Por esta razón, para el análisis temático se utilizó la información generada por fuentes oficiales, con el fin de garantizar el mayor grado de confiabilidad. En los casos que se generaron capas temáticas propias, fueron realizadas teniendo en cuenta las metodologías oficiales para el caso específico, siendo el caso más importante el en presente análisis, la capa de coberturas del municipio de Soacha, así como la restitución de las infraestructuras y las vías del Municipio.
Temporalidad	Hace referencia al periodo de tiempo al que corresponde la información, el cual puede causar o no interpretaciones erróneas de los riesgos que se van a estimar. De acuerdo a la capa temática, es importante resaltar que algunas de estas se mantienen vigentes en periodos de tiempo prolongados y su variabilidad es mínima (por ejemplo geología), a diferencia de otras temáticas que son mucho más dinámicas y pueden variar en periodos de tiempo más cortos (por ejemplo, el uso del suelo, la población, infraestructura, conflictos de uso, etc.), de manera tal que en el control de calidad se tuvo en cuenta la fecha de la generación de la información a fin de evaluar la vigencia y utilidad para la generación de la capa de zonificación de amenaza por incendios de la cobertura vegetal. De igual manera, se tuvieron en cuentas las indicaciones mencionadas en la metodología (IDEAM & CAR, 2014) respecto a la temporalidad de insumos básicos como el de precipitación, temperatura, vientos, brillo solar, y factores históricos, de los que se pide sean como mínimo de los últimos diez años.

Control de calidad Temático	
Tipo de Control	**Descripción**
Información mínima requerida	Se realizó la evaluación de los insumos a implementar dentro del proceso de generación de las capas de amenaza por incendios de la cobertura vegetal, estableciendo por cada capa temática los insumos necesarios para su elaboración y las fuentes oficiales de donde se podrían conseguir.
Polígonos adyacentes con el mismo código,	para la generalización de polígonos adyacentes con el mismo código se pueden seguir dos procedimientos, cuya selección dependerá del producto que se esté trabajando. Una consiste en la realización de la generalización de los polígonos adyacentes con el mismo código de forma automatizada utilizando la herramienta disponible en el programa para tal fin (merge, erase, eliminate para el caso de ArcGis), la cual permite unir automáticamente polígonos adyacentes con el mismo código, esto solo se debe hacer en el caso de que se tenga la certeza de que la calificación realizada para cada uno de los polígonos es correcta. La otra es la generalización mediante revisión visual en pantalla, esta se utiliza en aquellos casos en que se puedan haber presentado errores en la asignación de valores de calificación y permite tomar una decisión acerca de si debe unir al polígono y a qué polígono se debe hacer, o si por el contrario se le debe asignar un nuevo valor de calificación al mismo; esta última operación se debe realizar conjuntamente entre el profesional SIG que maneja el software y el profesional encargado de la aplicación de la metodología.
Unidad mínima cartografiable	Se relaciona directamente con la escala de trabajo y hace referencia a la unidad cartografiable o elemento mínimo, que se puede apreciar a determinada escala en la salida gráfica, lo que permite la coherencia en la representación espacial, eficiencia en la lectura y utilidad de la capa.

Fuente: Adaptado de (IDEAM & CAR, 2014)

Tabla 177. Control de calidad Cartográfico durante el desarrollo del proyecto

Control de calidad Cartográfico	
Tipo de Control	**Descripción**
Concordancia de límites.	Se evaluó que la información a utilizar cubriera la totalidad del municipio de Soacha, con el fin de no generar vacíos en los resultados.
Control topológico de la información.	para este punto se hace referencia a la detección y corrección de huecos y superposiciones que puedan presentarse entre los polígonos que conforman las capas. En este sentido, se utilizó la

Control de calidad Cartográfico	
Tipo de Control	**Descripción**
	herramienta topológica disponible en el programa que se esté empleando, la cual permite detectar los errores que se presenten para que puedan ser corregidos. Para garantizar que las capas temáticas corresponden al área de estudio y no se han presentado errores cartográficos, el operador del sistema de información geográfica siempre debe calcular al final de cada geoproceso el área resultante, la cual siempre deberá ser igual a la del perímetro del Municipio.
Comprobación del sistema de proyección cartográfica.	Toda la información fue generada con el sistema de referencia MAGNA SIRGAS origen Bogotá (MAGNA COLOMBIA BOGOTÁ); las coordenadas que describen localizaciones o polígonos fueron creadas en el sistema de coordenadas planas.
Almacenamiento de la información	Para garantizar que la información cartográfica este correctamente almacenada, no se pierda información y, sea de fácil manejo por terceros, esta será almacenada en bases de datos.
"Efecto borde"	Este problema se presenta cuando al trabajar con información raster se realizan geoprocesos como recortes o conversión a capas vectoriales; al realizar estos procedimientos los bordes del raster toman la forma del pixel que describe el límite de la capa, lo cual puede generar inconsistencias en el cálculo de áreas; para el presente proyecto y durante elaboración de las capas raster mediante los diferentes métodos de interpolación realizados, se garantizó que la capa raster cubriera un área de por lo menos 100 metros más que la del límite del Municipio, de manera que al recortar la capa o transformarla, no se presentará este problema.

Fuente: Adaptado de (IDEAM & CAR, 2014)

4.4.2.3. NORMALIZACIÓN, CLASIFICACIÓN CALIFICACIÓN Y CATEGORIZACIÓN DE LOS FACTORES DE SUCEPTIBILIDAD, AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO

Conforme lo establece la metodología para zonificación de incendios de la cobertura vegetal es necesario establecer un criterio coherente para integrar las variables con las cuales serán obtenidos los mapas de amenaza, vulnerabilidad y riesgo; de igual manera, es necesario establecer una ponderación para cada una de las variables en función de su importancia como factor detonante en la ocurrencia de un incendio de la cobertura vegetal (IDEAM & CAR, 2014).

Teniendo en cuenta lo anterior, el presente estudio parte de un marco metodológico que es la "Memoria técnica: Mapa zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR", la cual a su vez se basa en el *"Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal"* del IDEAM; por tanto, la definición de puntajes, categorías y rangos, así como la normalización de los datos, se realizará siguiendo las especificaciones establecidas en esta metodología.

4.4.2.3.1. NORMALIZACIÓN DE VARIABLES Y FACTORES

La normalización de las variables y factores es de suma importancia para la obtención de los resultados finales del presente estudio, pues tal como lo establece la guía metodológica, los insumos intermedios presentan diferencias entre las escalas sobre las cuales se miden las variables y factores, y por tanto es necesario definir un procedimiento que permita integrarlas, de manera que al momento de realizar el procedimiento denominado algebra de mapas, los datos ya estén correlacionados y arrojen resultados que puedan ser agrupados adecuadamente. Para la normalización de los datos, y tal como lo indica la metodología, se hace uso de la lógica difusa (Fuzzy), utilizando la siguiente ecuación:

$$Factor\ Normalizado = \frac{(X - Min)}{(Max - Min)}$$

Donde:

X: Valor que adquiere el factor en un lugar específico del área de estudio.

Min: Valor mínimo del factor en toda el área de estudio.

Max: Valor máximo presentado por el factor en toda el área de estudio.

4.4.2.3.2. ESTANDARIZACIÓN DE DATOS

Una vez han sido normalizadas las variables y los factores se procede a realizar una agrupación de los mismos bajo una distribución de frecuencias; el "Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal" establece que los datos normalizados deben ser agrupados en 5 rangos, generando el tamaño de cada rango a partir de la amplitud de los valores generados mediante la siguiente ecuación:

$$Amplitud\ del\ rango = \frac{(Max\ 1 - Min\ 1)}{N}$$

Donde:

N: Número total de datos de cada factor.

Min: Valor mínimo normalizado del factor en toda el área de estudio.

Max: Valor máximo normalizado del factor en toda el área de estudio.

De esta manera se establecen los criterios de calificación necesarios para realizar la integración de variables, generando cinco (5) rangos que corresponden a seis (6) categorías de amenaza y una categoría denominada "sin información", tal como se presenta a continuación:

Tabla 178. Estandarización de datos según metodología IDEAM (2011)

Calificación	Categoría susceptibilidad total
0	Sin riesgo
1	Muy baja
2	Baja
3	Moderada
4	Alta
5	Muy alta
6	Sin información

Fuente: Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgosa incendios de la cobertura vegetal; IDEAM

No obstante, la "Memoria técnica: Mapa zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR", que es el marco metodológico seguido para la elaboración del presente estudio, ya asigna los valores de asignación para categorizar las variables en determinado grupo o categoría; A continuación, se presentan las categorías definidas por la guía metodológica para la agrupación de datos:

Tabla 179. Estandarización de datos según metodología IDEAM – CAR (2014)

Ponderación susceptibilidad total	Calificación susceptibilidad total	Categoría susceptibilidad total
0	0	Sin riesgo
0,01 – 0,20	1	Muy baja
0,21 – 0,40	2	Baja
0,41 – 0,60	3	Moderada
0,61 – 0,80	4	Alta
0,81 – 1,00	5	Muy alta
Sin información	Sin información	Sin información

Fuente: Memoria técnica: Mapa zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR; IDEAM - CAR

A pesar de que la guía metodológica establece que los rangos de frecuencia deben categorizarse tal como se presentan en la tabla anterior, es necesario realizar un ajuste en los rangos de frecuencia, de manera que los datos al ser agrupados, den alcance a lo establecido en el Decreto 1807 de 2014, compilado en el Decreto 1077 de 2015, en cuanto a que la zonificación de los estudios básicos de amenaza debe ser agrupados en tres (3) categorías denominadas Baja, Media y Alta; por tanto, dando alcance a la guía metodológica y a lo mencionado en el Decreto 1077 de 2015, el equipo consultor realizó la siguiente categorización de las variables:

Tabla 180. Estandarización de datos propuesta por Siglo XXII SAS

Ponderación susceptibilidad total	Guía Metodológica		Siglo XXII SAS	
	Calificación susceptibilidad total	Categoría susceptibilidad total	Calificación susceptibilidad total	Categoría susceptibilidad total
0	0	Sin riesgo	0	Sin riesgo
0,01 – 0,20	1	Muy baja	1	Baja
0,21 – 0,40	2	Baja		
0,41 – 0,60	3	Moderada	2	Media
0,61 – 0,80	4	Alta	3	Alta
0,81 – 1,00	5	Muy alta		
Sin información	Sin información	Sin información	Sin información	Sin información[16]

Fuente: Siglo XXII SAS; Adaptado de (IDEAM &CAR, 2014)

4.4.2.3.3. PONDERACIÓN DE LAS VARIABLES (PESOS)

Como se mencionó al comienzo de esta sección, además de la normalización y estandarización de datos es necesario definir pesos a cada una de las variables, según su grado de importancia en la ocurrencia de un incendio de la cobertura vegetal; al respecto, la guía metodológica, a partir de procedimientos cualitativos basados en ponderaciones realizadas por expertos, define las siguientes ecuaciones y ponderaciones para el cálculo de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo:

a. Amenaza total: Producto resultante de realizar la suma ponderada entre las amenazas por precipitación (20%), Temperatura (20%), Vientos (10%), Brillo solar (7%), Pendientes Topográficas (7%), Frecuencia (10%), Accesibilidad (9%) y Susceptibilidad Total (17%).

[16] Esta categoría no se tendrá en cuenta en el presente estudio, toda vez que el Municipio no cuenta con zonas que no dispongan de información o que estén afectadas por elementos como nubosidad, sombras u otras.

$$\boldsymbol{A_{Total}} = A_{PP} + A_{TP} + A_{VT} + A_{BS} + A_{PT} + A_{FR} + A_{AC} + Sus_{Total17}$$

b. Vulnerabilidad Total: Producto resultante de realizar la suma ponderada entre las vulnerabilidades Institucional (5%), Patrimonial (20%), Poblacional (31%), Territorial (20%), Infraestructura (6%) y Económica (18%).

$$\boldsymbol{V_{Total}} = V_{IT} + V_{PT} + V_{PB} + V_{TT} + V_{IF} + V_{EC}$$

c. Riesgo Total: Producto resultante de la multiplicación entre la vulnerabilidad total y la amenaza total por incendios de la cobertura vegetal.

$$\boldsymbol{Riesgo_{Total}} = Amenaza_{Total} + Vulnerabilidad_{Total}$$

La manera en cómo serán efectuadas las ecuaciones descritas anteriormente será mediante el uso de herramientas de geoprocesamiento (Algebra de mapas).

4.4.3. SUSCEPTIBILIDAD DE LAS COBERTURAS A INCENDIOS FORESTALES

Conforme lo establece el Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno del Niño – CIIFEN, la susceptibilidad hace referencia al grado de fragilidad interna de un sujeto, objeto o sistema para enfrentar una amenaza y recibir un posible impacto debido a la ocurrencia de un evento adverso (CIIFEN, 2020); El análisis de la susceptibilidad para el fenómeno de incendios forestales del municipio de Soacha, busca identificar las características pirogénicas de los tipos de combustibles presentes en las coberturas que tienen jurisdicción en su territorio, permitiendo identificar las zonas del Municipio que pueden llegar a ser más o menos susceptibles ante la incidencia de factores externos que puedan desencadenar un fuego, bien sea este producto de una acción natural o antrópica (IDEAM & CAR, 2014).

Para la identificación de la susceptibilidad de la vegetación a un incendio de la cobertura vegetal se tendrán en cuenta tres (3) factores a saber: i). Facilidad con que se inflaman los combustibles ante la presencia de fuego (Tipo de combustible); ii). Cantidad de biomasa para cada tipo de combustible (Carga de combustible); y iii). Tiempo que duran dichos combustibles en ignición (Duración del combustible).

[17] La susceptibilidad se obtendrá a partir de la suma ponderada entre el tipo, duración y carga del combustible conforme lo establece la metodología.

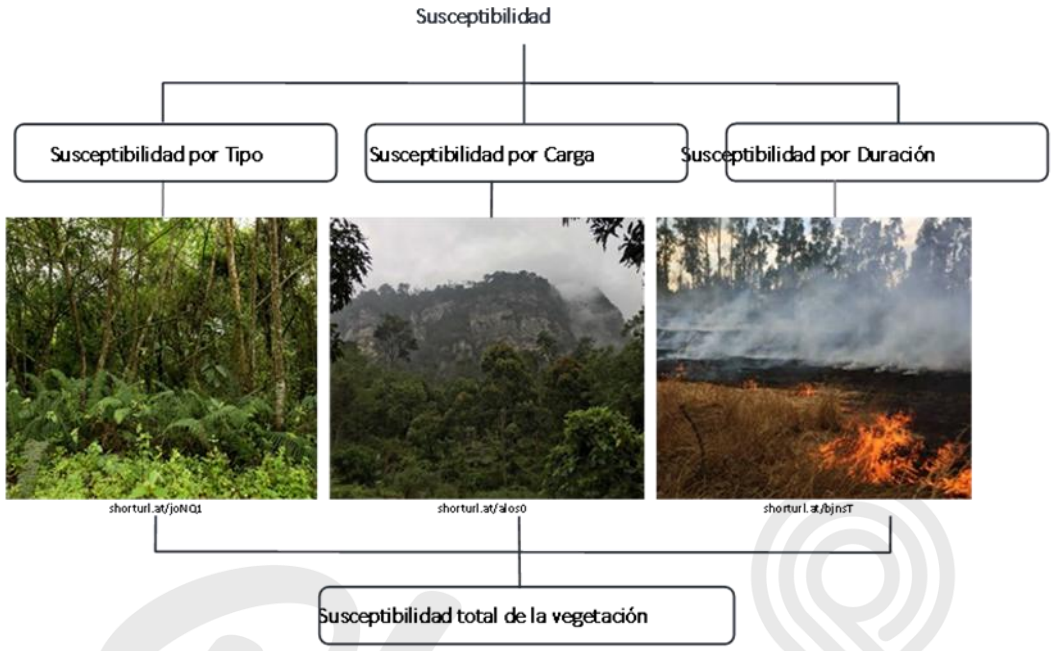


Figura 304. Factores para el cálculo de la Susceptibilidad por incendios de la cobertura vegetal; Fuente: (IDEAM, 2015)

Fuente: Siglo XXII SAS

Izquierda. Diversidad de vegetación en el bosque Renace - Soacha; Centro. Ejemplo de carga de biomasa en el parque Chicaque – Soacha; Derecha. Incendio forestal presentado en enero de 2019 en el sector El Bosque – San Mateo.

Los resultados obtenidos de la aplicación del algebra de mapas para la obtención de la Susceptibilidad Total del municipio de Soacha, deberán ser normalizados, ponderados y categorizados, conforme lo establece el Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal (IDEAM, Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal , 2015), tal como se explica en la sección 2 del presente documento.

4.4.3.1. SUSCEPTIBILIDAD POR TIPO DE COMBUSTIBLE

La susceptibilidad por tipo de combustible busca determinar la facilidad con que un combustible, entiéndase para el caso de esta metodología la cobertura vegetal, puede comenzar su ignición ante la influencia de un agente externo (IDEAM & CAR, 2014); La susceptibilidad por tipo de combustible fue elaborada a partir de la capa cartográfica de coberturas de la tierra (Corine Land Cover) que, para el caso del municipio de Soacha, fue generada a partir de imágenes de muy alta resolución (Drone) para todo el territorio, y fue calibrada mediante visitas en campo; la evaluación

de cada una de las coberturas se realizó teniendo en cuenta los puntajes definidos en la guía metodológica, la cual a partir de la información obtenida del análisis de la condición pirogénica de la vegetación colombiana, basada en el modelo de combustibles desarrollado para Colombia (Páramo G.E, 2007), determina las siguientes categorías y puntajes:

Tabla 181. Categorización de la susceptibilidad por tipo de combustible según metodología.

Cobertura	Tipo de combustible	Calificación	Categoría de susceptibilidad
Suelos desnudos, roca, nieves perpetuas, cuerpos de agua, zonas urbanas y todas aquellas coberturas no naturales	No combustibles	0	Sin riesgo
Bosques densos y abiertos, altos y bajos	Árboles	1	Muy Baja
Bosques fragmentados	Árboles/arbustos	2	Baja
Arbustales	Arbustos	3	Moderada
Arbustal abierto y herbazal con arbustos y/o arbolado	Arbustos/Hierbas – árboles/hierbas – pastos/hierbas/arbustos/árboles		
Herbazales y cultivos herbáceos	Hierbas/ cultivos herbáceos	4	Alta
Pastos enmalezados	Hierbas – Pastos	5	Muy alta
Pastos limpios y zonas verdes urbanas	Pastos – zonas verdes urbanas		
Zonas con presencia de nubes o sombras	Sin información	6	Sin información

Fuente: (IDEAM & CAR, 2014)

Teniendo como base la tabla de calificación y puntaje por tipo de combustible presentada en la guía metodológica, se asignó a cada una de las coberturas identificadas en el Municipio el respectivo puntaje; A continuación, se presenta la calificación y la categoría asignada:

Tabla 182. Calificación y categorización por tipo de combustible para el municipio de Soacha.

Calificación por Tipo de Combustible				
Cobertura	**Código**	**Calificación**	**Categoría CAR-IDEAM**	**Área (Ha)**
Arbustal Abierto Mesófilo	3.2.2.2.1	3	Moderada	1.823,783
Arbustal Denso	3.2.2.1	3	Moderada	100,547
Bosque Denso Alto de Tierra Firme	3.1.1.1	1	Muy Baja	2.235,747
Bosque Fragmentado	3.1.3	2	Baja	78,092

Calificación por Tipo de Combustible				
Cobertura	**Código**	**Calificación**	**Categoría CAR-IDEAM**	**Área (Ha)**
Bosque de Galería y Ripario	3.1.4	1	Muy Baja	9,636
Canales	5.1.3	0	Sin Riesgo	49,014
Cuerpos de Agua Artificiales	5.1.4	0	Sin Riesgo	8,282
Cultivos Confinados	2.2.5	0	Sin Riesgo	112,920
Explotación de Materiales de Construcción	1.3.1.1	0	Sin Riesgo	567,046
Herbazal Abierto Rocoso	3.2.1.2.2	4	Alta	315,083
Herbazal Denso	3.2.1.1	4	Alta	1.013,050
Herbazal Denso de Tierra Firme Arbolado	3.2.1.1.1.2	3	Moderada	503,791
Herbazal Denso de Tierra Firme con Arbustos	3.2.1.1.1.3	3	Moderada	285,995
Herbazal Denso de Tierra Firme no Arbolado	3.2.1.1.1.1	4	Alta	1.373,615
Humedales	5.1.5	0	Sin Riesgo	55,848
Lagunas	5.1.2.1	0	Sin Riesgo	15,024
Maíz	2.1.2.2	4	Alta	79,746
Mosaico de Cultivos y Espacios Naturales	2.4.5	4	Alta	21,314
Mosaico de Cultivos, Pastos y Espacios Naturales	2.4.3	4	Alta	2.231,159
Mosaico de Pastos con Espacios Naturales	2.4.4	5	Muy Alta	140,553
Mosaico de Pastos y Cultivos	2.4.2	4	Alta	2.916,475
Obras Hidráulicas	1.2.5	0	Sin Riesgo	1,215
Pastos Enmalezados	2.3.3	5	Muy Alta	27,257
Pastos Limpios	2.3.1	5	Muy Alta	667,420
Plantación Forestal	3.1.5	2	Baja	4,991
Plantación de Latifoliadas	3.1.5.2	2	Baja	375,973
Red Vial Ferroviaria y Terrenos Asociados	1.2.2	0	Sin Riesgo	257,224
Ronda Río Bogotá (Adecuación Hidráulica)	3.3.3.1	0	Sin Riesgo	116,382
Ríos	5.1.1	0	Sin Riesgo	122,306

Calificación por Tipo de Combustible				
Cobertura	**Código**	**Calificación**	**Categoría CAR-IDEAM**	**Área (Ha)**
Tejido Urbano Continuo	1.1.1	0	Sin Riesgo	2.158,689
Tejido Urbano Discontinuo	1.1.2	0	Sin Riesgo	66,864
Tierras Desnudas y Degradadas	3.3.3	0	Sin Riesgo	412,887
Vegetación Secundaría o en Transición	3.2.3	1	Muy Baja	1,372
Vegetación de Ronda Hídrica	3.1.4.1	3	Moderada	49,525
Zonas Industriales o Comerciales	1.2.1	0	Sin Riesgo	44,873
Zonas Pantanosas	4.1.1	0	Sin Riesgo	93,062

Fuente: Siglo XXII SAS

Definidos los puntajes para la generación del mapa por tipo de combustible conforme lo establece la metodología, y realizada la respectiva normalización de los datos, es necesario efectuar una recategorización de los rangos para dar alcance a lo establecido en el Decreto 1807 de 2014, compilado en el Decreto 1077 de 2015, en lo que respecta a la definición de tres rangos (Alto, Medio y Bajo); A continuación, se presenta la definición de los rangos propuesta por el equipo consultor:

Tabla 183. Definición de categorías y puntajes para la susceptibilidad por tipo de combustible

Definición de rangos y puntajes – Susceptibilidad por tipo de combustible				
Rangos Ponderación Amenaza Total	**Categorización Metodología (IDEAM & CAR, 2014)**		**Categorización Ajustada**	
	Calificación	**Categoría**	**Calificación**	**Categoría**
0	0	Sin Riesgo	0	Sin Riesgo
0 a 0,20	1	Muy Baja	1	Baja
0,21 a 0,40	2	Baja		
0,41 a 0,60	3	Moderada	2	Media
0,61 a 0,80	4	Alta	3	Alta
0,81 a 1,00	5	Muy Alta		

Fuente: Siglo XXII SAS: Adaptado de: (IDEAM & CAR, 2014)

La distribución espacial de la susceptibilidad por tipo de combustible para el municipio de Soacha se presenta a continuación:

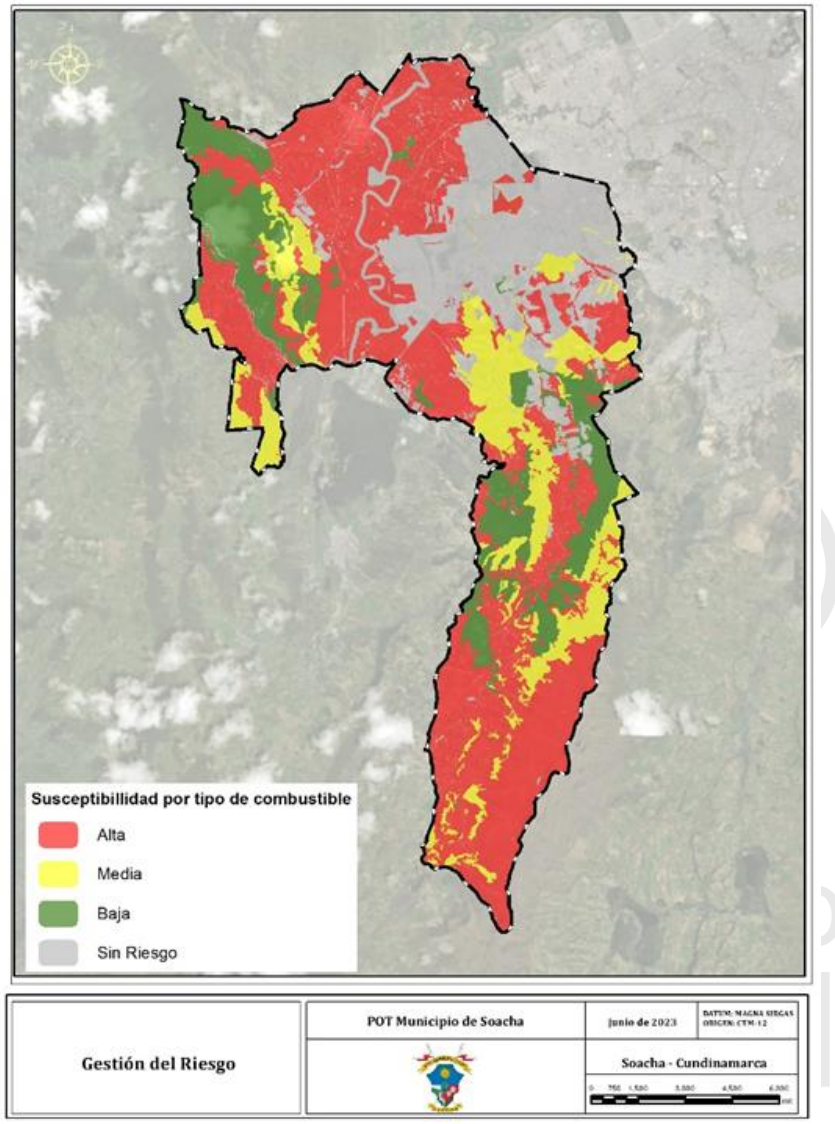


Figura 305. Susceptibilidad por tipo de combustible
Fuente: Siglo XXII SAS

Asignadas las respectivas categorías y puntajes para la susceptibilidad por tipo de combustible, y espacializada esta información, se encuentra que una superficie de 8.785,67 hectáreas, equivalente al 47,91% de municipio de Soacha presenta susceptibilidad alta por tipo de combustible, mientras que el 15,07% (2.763,64 Ha) y el 14,76% (2.705,81 Ha) del territorio, presentan susceptibilidad media y baja, respectivamente. Además, fue posible determinar que una superficie de 4.081,64 hectáreas correspondientes al 22,26% del territorio no presenta riesgo por tipo de combustible.

4.4.3.2. SUSCEPTIBILIDAD POR CARGA DE COMBUSTIBLE

El análisis de susceptibilidad por carga de combustible busca establecer la cantidad de biomasa disponible en el territorio para ser consumida por el fuego en caso de presentarse un incendio de la cobertura vegetal (IDEAM & CAR, 2014); para su elaboración fue implementada la capa de coberturas de la tierra (Corine Land Cover) elaborada para el municipio de Soacha, mientras que para su categorización y calificación, se tuvieron en cuenta los valores establecidos en la "Memoria técnica: Mapa de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR", los cuales se presentan a continuación:

Tabla 184. Categorización de la susceptibilidad por carga de combustible según metodología.

Cobertura	Carga total de Combustibles	Calificación	Categoría de Susceptibilidad
Suelos desnudos o degradados, roca, nieves perpetuas, cuerpos de agua, zonas urbanas y todas aquellas coberturas no naturales	No combustibles	0	Sin riesgo
zonas verdes urbanas	<1 ton/ha	1	Baja
Herbazales / cultivos herbáceos / pastos enmalezados / pastos limpios	1-50 ton/Ha	2	Moderada
Arbustal abierto y herbazal con arbustos y/o arbolado	50 a 100 ton/ha	3	Alta
Arbustos			
Bosques fragmentados	>100 ton/Ha	4	Muy alta
Bosques densos y abiertos, altos y bajos			
Sin información (zonas en las que no se tiene información por presencia de nubes o sombras)	Sin información	6	Sin información

Fuente: (IDEAM & CAR, 2014)

Teniendo como base la tabla de calificación y puntaje por carga de combustible presentada en la guía metodológica, se asignó a cada una de las coberturas identificadas en el Municipio el respectivo puntaje; A continuación, se presenta la calificación y la categoría asignada:

Tabla 185. Calificación y categorización por carga de combustible para el municipio de Soacha.

Calificación por Carga del Combustible				
Cobertura	**Código**	**Calificación**	**Categoría CAR-IDEAM**	**Área (Ha)**
Arbustal Abierto Mesófilo	3.2.2.2.1	3	Alta	1.823,783
Arbustal Denso	3.2.2.1	3	Alta	100,547
Bosque Denso Alto de Tierra Firme	3.1.1.1	4	Muy Alta	2.235,747
Bosque Fragmentado	3.1.3	4	Muy Alta	78,092
Bosque de Galería y Ripario	3.1.4	4	Muy Alta	9,636
Canales	5.1.3	0	Sin Riesgo	49,014
Cuerpos de Agua Artificiales	5.1.4	0	Sin Riesgo	8,282
Cultivos Confinados	2.2.5	0	Sin Riesgo	112,920
Explotación de Materiales de Construcción	1.3.1.1	0	Sin Riesgo	567,046
Herbazal Abierto Rocoso	3.2.1.2.2	2	Moderada	315,083
Herbazal Denso	3.2.1.1	2	Moderada	1.013,050
Herbazal Denso de Tierra Firme Arbolado	3.2.1.1.1.2	3	Alta	503,791
Herbazal Denso de Tierra Firme con Arbustos	3.2.1.1.1.3	3	Alta	285,995
Herbazal Denso de Tierra Firme no Arbolado	3.2.1.1.1.1	2	Moderada	1.373,615
Humedales	5.1.5	0	Sin Riesgo	55,848
Lagunas	5.1.2.1	0	Sin Riesgo	15,024
Maíz	2.1.2.2	2	Moderada	79,746
Mosaico de Cultivos y Espacios Naturales	2.4.5	2	Moderada	21,314
Mosaico de Cultivos, Pastos y Espacios Naturales	2.4.3	2	Moderada	2.231,159
Mosaico de Pastos con Espacios Naturales	2.4.4	2	Moderada	140,553

Calificación por Carga del Combustible				
Cobertura	**Código**	**Calificación**	**Categoría CAR-IDEAM**	**Área (Ha)**
Mosaico de Pastos y Cultivos	2.4.2	2	Moderada	2.916,475
Obras Hidráulicas	1.2.5	0	Sin Riesgo	1,215
Pastos Enmalezados	2.3.3	2	Moderada	27,257
Pastos Limpios	2.3.1	2	Moderada	667,420
Plantación Forestal	3.1.5	4	Muy Alta	4,991
Plantación de Latifoliadas	3.1.5.2	4	Muy Alta	375,973
Red Vial Ferroviaria y Terrenos Asociados	1.2.2	0	Sin Riesgo	257,224
Ronda Río Bogotá (Adecuación Hidráulica)	3.3.3.1	0	Sin Riesgo	116,382
Ríos	5.1.1	0	Sin Riesgo	122,306
Tejido Urbano Continuo	1.1.1	0	Sin Riesgo	2.158,689
Tejido Urbano Discontinuo	1.1.2	0	Sin Riesgo	66,864
Tierras Desnudas y Degradadas	3.3.3	0	Sin Riesgo	412,887
Vegetación Secundaría o en Transición	3.2.3	4	Muy Alta	1,372
Vegetación de Ronda Hídrica	3.1.4.1	3	Alta	49,525
Zonas Industriales o Comerciales	1.2.1	0	Sin Riesgo	44,873
Zonas Pantanosas	4.1.1	0	Sin Riesgo	93,062

Fuente: Siglo XXII SAS

Definidos los puntajes para la generación del mapa por carga de combustible conforme lo establece la metodología, se realizó una la reclasificación de los rangos para dar alcance a lo establecido en el Decreto 1077 de 2015, definiendo de esta manera la susceptibilidad alta, media y baja por carga de combustible, tal como se presenta en la siguiente figura:

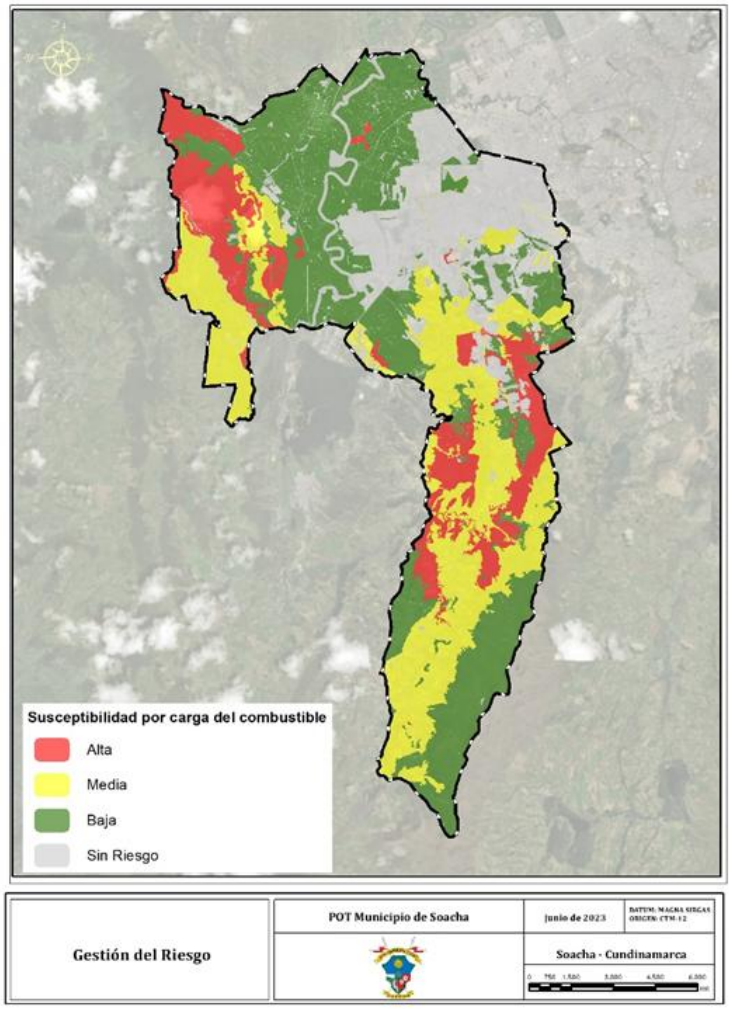


Figura 306. Susceptibilidad por carga del combustible

Fuente: Siglo XXII SAS

Realizada la respectiva normalización de los datos, el equipo consultor procede a definir los rangos, calificaciones y categorías a partir de lo establecido en la guía metodológica, tal como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 186. Definición de categorías y puntajes para la susceptibilidad por carga de combustible

Definición de rangos y puntajes – Susceptibilidad por carga del combustible				
Rangos Ponderación Amenaza Total	**Categorización Metodología (IDEAM & CAR, 2014)**		**Categorización Ajustada**	
	Calificación	**Categoría**	**Calificación**	**Categoría**
0	0	Sin Riesgo	0	Sin Riesgo

Definición de rangos y puntajes – Susceptibilidad por carga del combustible				
Rangos Ponderación Amenaza Total	Categorización Metodología (IDEAM & CAR, 2014)		Categorización Ajustada	
	Calificación	Categoría	Calificación	Categoría
0 a 0,20	1	Muy Baja	1	Baja
0,21 a 0,40	2	Baja		
0,41 a 0,60	3	Moderada	2	Media
0,61 a 0,80	4	Alta	3	Alta
0,81 a 1,00	5	Muy Alta		

Fuente: Siglo XXII SAS; Adaptado de: (IDEAM & CAR, 2014)

Asignadas las respectivas categorías y puntajes para la susceptibilidad por carga de combustible, y espacializada esta información, se encuentra que un área de 5.469,45 hectáreas, equivalente al 29,83% de municipio de Soacha presenta susceptibilidad alta por carga de combustible, mientras que el 47,91% (8.785,67 Ha) presenta susceptibilidad media. Además, fue posible determinar que una superficie de 4.081,64 hectáreas correspondientes al 22,26% del territorio no presenta riesgo por carga de combustible.

4.4.3.3. SUSCEPTIBILIDAD POR DURACIÓN DEL COMBUSTIBLE

La susceptibilidad por duración del combustible analiza el tiempo que puede durar un combustible en ignición como consecuencia de un incendio de la cobertura vegetal (IDEAM & CAR, 2014); tal como se realizó en el caso de la susceptibilidad por tipo y carga, para su elaboración se utilizó como insumo la capa de coberturas de la tierra realizada para el Municipio de Soacha; de igual manera, los puntajes y categorías se asignaron conforme a lo establecido en la "Memoria técnica: Mapa de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR", tal como se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 187. Categorización de la susceptibilidad por duración del combustible según metodología.

Cobertura	Duración de los combustibles	Calificación	Categoría de susceptibilidad
Suelos desnudos o degradados, roca, nieves perpetuas, cuerpos de agua, zonas urbanas y todas aquellas coberturas no naturales	No combustibles	0	Sin riesgo
Zonas verdes urbanas / pastos limpios	1 hora	1	Baja
Herbazales / cultivos herbáceos / pastos enmalezados			
Arbustal abierto / herbazal con arbustos y/o arbolado	10 horas	2	Moderada
Arbustales / mosaicos con espacios naturales			

Cobertura	Duración de los combustibles	Calificación	Categoría de susceptibilidad
Bosques fragmentados	100 horas	3	Alta
Bosques densos y abiertos, altos y bajos			
Zonas en las que no se tiene información por presencia de nubes o sombras)	Sin información	6	Sin información

Fuente: (IDEAM & CAR, 2014)

Teniendo como base la tabla de calificación y puntaje por duración del combustible presentada en la guía metodológica, se asignó a cada una de las coberturas identificadas en el Municipio el respectivo puntaje; A continuación, se presenta la calificación y la categoría asignada:

Tabla 188. Calificación y categorización por duración del combustible para el municipio de Soacha.

Calificación por Duración del Combustible				
Cobertura	**Código**	**Calificación**	**Categoría CAR-IDEAM**	**Área (Ha)**
Arbustal Abierto Mesófilo	3.2.2.2.1	2	Moderada	1.823,783
Arbustal Denso	3.2.2.1	2	Moderada	100,547
Bosque Denso Alto de Tierra Firme	3.1.1.1	3	Alta	2.235,747
Bosque Fragmentado	3.1.3	3	Alta	78,092
Bosque de Galería y Ripario	3.1.4	3	Alta	9,636
Canales	5.1.3	0	Sin Riesgo	49,014
Cuerpos de Agua Artificiales	5.1.4	0	Sin Riesgo	8,282
Cultivos Confinados	2.2.5	0	Sin Riesgo	112,920
Explotación de Materiales de Construcción	1.3.1.1	0	Sin Riesgo	567,046
Herbazal Abierto Rocoso	3.2.1.2.2	1	Baja	315,083
Herbazal Denso	3.2.1.1	1	Baja	1.013,050
Herbazal Denso de Tierra Firme Arbolado	3.2.1.1.1.2	2	Moderada	503,791
Herbazal Denso de Tierra Firme con Arbustos	3.2.1.1.1.3	2	Moderada	285,995
Herbazal Denso de Tierra Firme no Arbolado	3.2.1.1.1.1	1	Baja	1.373,615

Calificación por Duración del Combustible				
Cobertura	**Código**	**Calificación**	**Categoría CAR-IDEAM**	**Área (Ha)**
Humedales	5.1.5	0	Sin Riesgo	55,848
Lagunas	5.1.2.1	0	Sin Riesgo	15,024
Maíz	2.1.2.2	1	Baja	79,746
Mosaico de Cultivos y Espacios Naturales	2.4.5	2	Moderada	21,314
Mosaico de Cultivos, Pastos y Espacios Naturales	2.4.3	2	Moderada	2.231,159
Mosaico de Pastos con Espacios Naturales	2.4.4	2	Moderada	140,553
Mosaico de Pastos y Cultivos	2.4.2	1	Baja	2.916,475
Obras Hidráulicas	1.2.5	0	Sin Riesgo	1,215
Pastos Enmalezados	2.3.3	1	Baja	27,257
Pastos Limpios	2.3.1	1	Baja	667,420
Plantación Forestal	3.1.5	3	Alta	4,991
Plantación de Latifoliadas	3.1.5.2	3	Alta	375,973
Red Vial Ferroviaria y Terrenos Asociados	1.2.2	0	Sin Riesgo	257,224
Ronda Río Bogotá (Adecuación Hidráulica)	3.3.3.1	0	Sin Riesgo	116,382
Ríos	5.1.1	0	Sin Riesgo	122,306
Tejido Urbano Continuo	1.1.1	0	Sin Riesgo	2.158,689
Tejido Urbano Discontinuo	1.1.2	0	Sin Riesgo	66,864
Tierras Desnudas y Degradadas	3.3.3	0	Sin Riesgo	412,887
Vegetación Secundaría o en Transición	3.2.3	3	Alta	1,372
Vegetación de Ronda Hídrica	3.1.4.1	2	Moderada	49,525
Zonas Industriales o Comerciales	1.2.1	0	Sin Riesgo	44,873
Zonas Pantanosas	4.1.1	0	Sin Riesgo	93,062

Fuente: Siglo XXII SAS

Definidos los puntajes para la generación del mapa por duración del combustible conforme lo establece la metodología, se realizó una la reclasificación de los rangos para dar alcance a lo establecido en el Decreto 1077 de 2015, definiendo de esta manera la susceptibilidad alta, media y baja por duración del combustible, tal como se presenta en la siguiente figura:

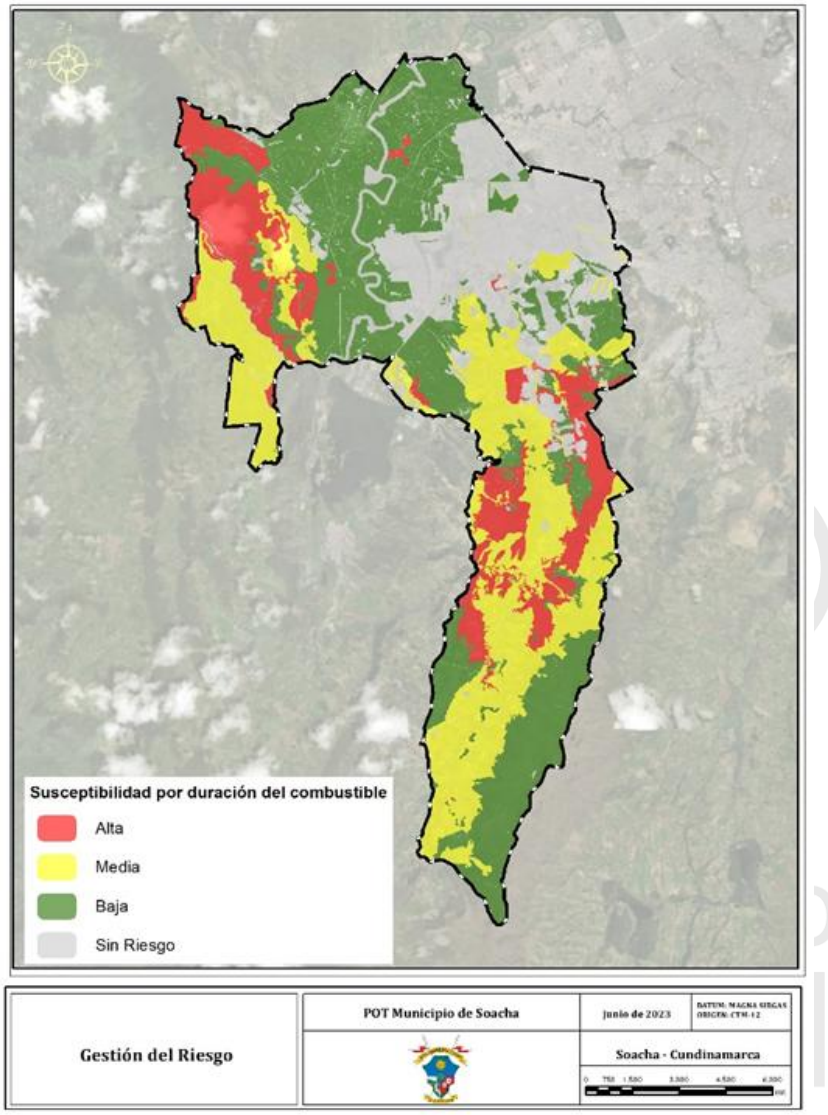


Figura 307. Susceptibilidad por duración del combustible

Fuente: Siglo XXII SAS

Realizada la respectiva normalización de los datos, el equipo consultor procede a definir los rangos, calificaciones y categorías a partir de lo establecido en la guía metodológica, tal como se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 189. Definición de categorías y puntajes para la susceptibilidad por duración de combustible

Definición de rangos y puntajes – Susceptibilidad por duración del combustible				
Rangos Ponderación Amenaza Total	**Categorización Metodología (IDEAM & CAR, 2014)**		**Categorización Ajustada**	
	Calificación	**Categoría**	**Calificación**	**Categoría**
0	0	Sin Riesgo	0	Sin Riesgo
0 a 0,20	1	Muy Baja	1	Baja
0,21 a 0,40	2	Baja		
0,41 a 0,60	3	Moderada	2	Media
0,61 a 0,80	4	Alta	3	Alta
0,81 a 1,00	5	Muy Alta		

Fuente: Siglo XXII SAS; Adaptado de: (IDEAM & CAR, 2014)

Asignadas las respectivas categorías y puntajes para la susceptibilidad por duración del combustible, y espacializada esta información, se encuentra que un área de 2.705,81 hectáreas, equivalente al 14,76% de municipio de Soacha presenta susceptibilidad alta por duración del combustible, mientras que el 28,12% (5.156,67 Ha) y el 34,86% (6.392,64 Ha) del territorio, presentan susceptibilidad media y baja, respectivamente. Además, fue posible determinar que una superficie de 4.081,64 hectáreas correspondientes al 22,26% del territorio no presenta riesgo por tipo de combustible.

4.4.3.4. SUSCEPTIBILIDAD TOTAL DE LA VEGETACIÓN A INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL

La susceptibilidad total de la vegetación busca analizar mediante la identificación y valoración de la condición pirogénica de la cobertura vegetal, cuál sería su comportamiento en caso de presentarse un incendio de la cobertura vegetal, para ello y mediante el uso de herramientas de geoprocesamiento, se debe realizar una superposición espacial de los insumos temáticos presentados en las secciones 4.4.3.1, 4.4.3.2 y 4.4.3.3 del presente documento.

A partir de los mapas generados para la determinación de la susceptibilidad por tipo, carga y duración del combustible, se procede a realizar el mapa de susceptibilidad total mediante la suma ponderada de estas tres variables; el peso asignado a cada una de las variables se definió asignando mayores valores a las variables que fueron corroboradas en campo (Tipo y Duración).

Tabla 190. Pesos definidos para el cálculo de susceptibilidad total

Ponderación de Variables	
Variable	**Peso (%)**
Tipo	35 %

Ponderación de Variables	
Variable	**Peso (%)**
Duración	35 %
Carga	30 %

Fuente: Siglo XXII SAS

Para la obtención de la susceptibilidad total se hizo uso de la herramienta algebra de mapas implementando la ecuación que para tal fin se define en la guía metodológica (IDEAM & CAR, 2014):

$$\boldsymbol{Susc_{Total}} = Susc_{Tipo} * (0{,}35) + Susc_{Duración}(0{,}35) + Susc_{Carga}(0{,}30)$$

Realizada la operación de algebra de mapas entre las variables de susceptibilidad por tipo, duración y carga de combustible se procedió a normalizar los datos de manera que, el resultado obtenido de en un rango de 0 a 1 para posteriormente clasificarlos el número de categorías deseadas; la guía metodológica establece que el resultado obtenido se debe distribuir en cinco niveles o frecuencias (Muy bajo, Bajo, Moderado, Alto y Muy Alto), sin embargo, dando alcance a lo establecido en el Decreto 1077 de 2015, que compilo al Decreto 1807 de 2014, el resultado será dividido en tres (3) niveles (Bajo, Medio y Alto) y para el caso de la susceptibilidad total se tendrá en cuenta un nivel adicional que corresponde a aquellas zonas del Municipio que no presentan riesgo por susceptibilidad de combustibles, debido a que sus coberturas han sido completamente intervenidas por la acción del hombre y carecen de cobertura vegetal (Vías, construcciones, zonas industriales y similares); A continuación, se presenta la asignación de rangos, puntajes y categorías por susceptibilidad total:

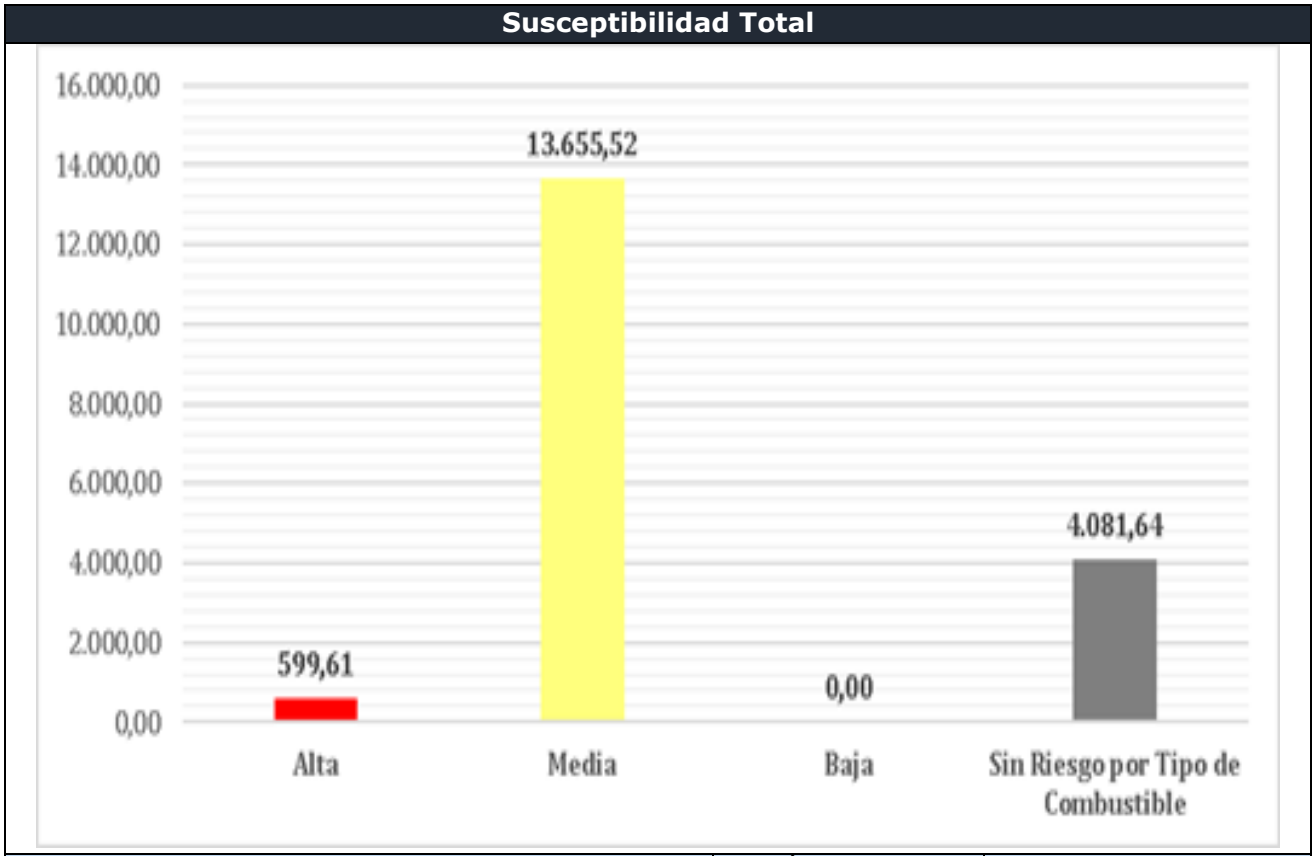
Tabla 191. Rangos y puntajes y categoría para la susceptibilidad total.

Definición de rangos y puntajes – Susceptibilidad Total				
Rangos Ponderación Amenaza Total	**Categorización Metodología (IDEAM & CAR, 2014)**		**Categorización Ajustada**	
	Calificación	**Categoría**	**Calificación**	**Categoría**
0	0	Sin Riesgo	0	Sin Riesgo
0 a 0,20	1	Muy Baja	1	Baja
0,21 a 0,40	2	Baja		
0,41 a 0,60	3	Moderada	2	Media
0,61 a 0,80	4	Alta	3	Alta
0,81 a 1,00	5	Muy Alta		

Fuente: Siglo XXII SAS; Adaptado de: (IDEAM & CAR, 2014)

Realizada la operación de algebra de mapas y asignados los respectivos puntajes y categorías se obtiene que el municipio de Soacha presenta una susceptibilidad relativamente baja en relación con la categoría alta por susceptibilidad total, encontrándose que un 3,27% del Municipio se encuentra en este rango de susceptibilidad; de igual manera se encuentra que el 74,47% (13.655,52 Ha) del territorio presenta susceptibilidad media y el 22,26% (4.081,64 Ha) no presenta riesgo por susceptibilidad del combustible.

Tabla 192. Áreas y porcentajes susceptibilidad total en el municipio de Soacha.



Categoría	Área (Ha)	% Municipio
Alta	599,610	3,27%
Media	13.655,516	74,47%
Baja	0,000	0,00%
Sin Riesgo por Tipo de Combustible	4.081,638	22,26%

Fuente: Siglo XXII SAS

Realizados los correspondientes tratamientos cartográficos se encuentra que, la distribución espacial de la susceptibilidad total para el municipio de Soacha es la siguiente:

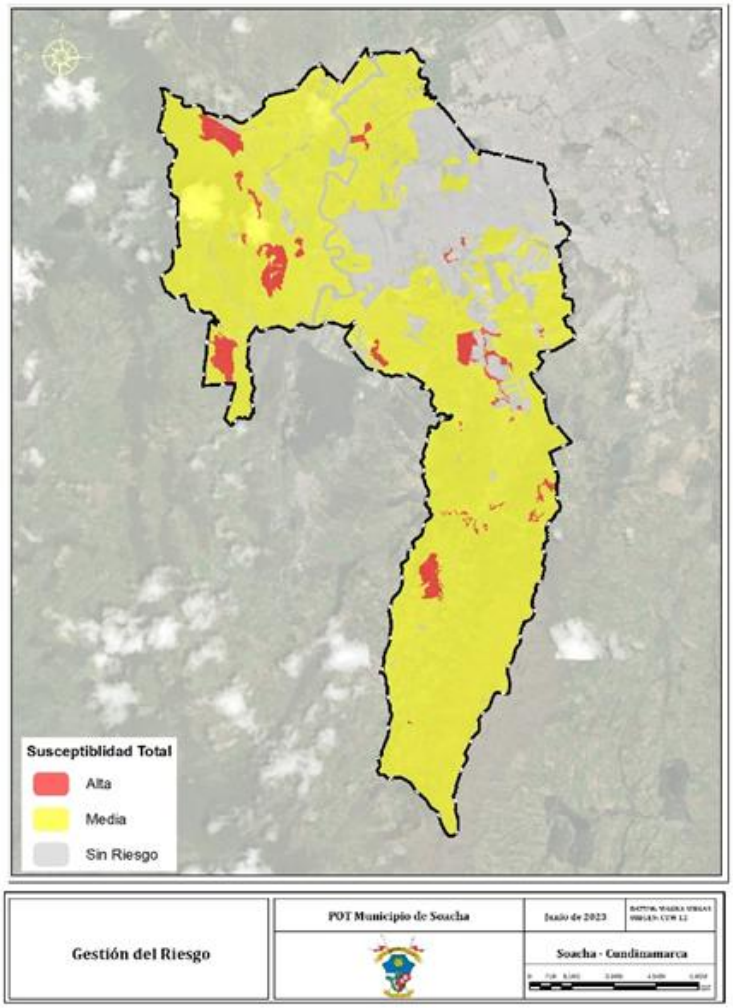


Figura 308. Susceptibilidad total de la vegetación

Fuente: Siglo XXII SAS

Se observa que en el Municipio la distribución de la susceptibilidad es predominantemente media, esto debido a que las coberturas con mayor extensión en el territorio corresponden a herbazales, arbustales, pastos y cultivos, los cuales abarcan en conjunto más de 10.000 hectáreas, las cuales, a pesar de ser factores potencialmente desencadenantes de un incendio forestal, no representan el mismo riesgo que una cobertura boscosa, pues su carga y duración es mucho menor; por otra parte, se observa que la distribución de las zonas susceptibilidad alta se presenta hacia las zonas con coberturas boscosas localizadas principalmente hacia el costado noroccidental del Municipio, en límites con los municipios de San Antonio del Tequendama, Granada y Sibaté, en zonas en donde se tienen reportes de incendios forestales.

En relación con la susceptibilidad baja se encuentra que estas no tienen presencia en el Municipio debido a que, al hacer la ponderación de variables, las coberturas calificadas con susceptibilidad baja por tipo, carga o duración pasan a hacer parte de las categorías medias o altas de susceptibilidad total. En relación con las zonas del Municipio que no presentan susceptibilidad por incendios de la cobertura vegetal, se observa que a esta categoría pertenecen las áreas del Municipio conformadas por las zonas urbanas, las zonas de explotación de materiales para construcción, las tierras desnudas y degradadas y demás coberturas desprovistas de vegetación que pueda ser susceptible ante un incendio forestal; estas zonas cubren una superficie de 4.081,64 hectáreas, equivalentes al 22,26% del Municipio.

Tabla 193. Distribución de la susceptibilidad en el municipio de Soacha

Distribución de la Susceptibilidad por vereda					
Vereda	**Baja**	**Media**	**Alta**	**Sin Susceptibilidad**	**Área (Ha)**
Panamá	0,00	834,615	2,354	449,635	1.286,604
Fusunga	0,00	748,944	111,026	328,722	1.188,693
Chacua	0,00	558,285	23,505	51,122	632,913
Tinzuque	0,00	451,511	1,744	7,762	461,016
San Jorge	0,00	1.075,193	27,871	19,879	1.122,942
Hungría	0,00	962,895	16,146	5,698	984,740
Alto del Cabra	0,00	1.187,887	26,459	13,391	1.227,737
Romeral	0,00	1.605,195	1,030	13,911	1.620,137
Alto de La Cruz	0,00	242,302	97,645	3,292	343,239
El Charquito	0,00	1.290,728	122,812	157,482	1.571,023
San Francisco	0,00	441,266	0,000	12,189	453,455
Canoas	0,00	2.382,338	137,843	274,405	2.794,587
Cascajal	0,00	275,758	0,000	1,792	277,551
Bosatama	0,00	1.028,858	23,284	157,809	1.209,951
Zona Urbana	0,00	569,741	7,889	2.584,547	3.162,177

Fuente: Siglo XXII SAS

La distribución de la susceptibilidad total por vereda permite identificar que la zona urbana, como es de esperarse, presenta la mayor cantidad de áreas sin susceptibilidad del Municipio, toda vez que aproximadamente el 70% del Casco Urbano se encuentra urbanizado; no obstante, para la zona urbana se observa que un área de 577,63 Ha presenta susceptibilidad alta y media, la cual coincide con zonas en las que se han registrado eventos asociados con incendios de la cobertura vegetal, como lo es el caso del sector San Mateo -El Bosque en la Comuna 5 del Municipio.

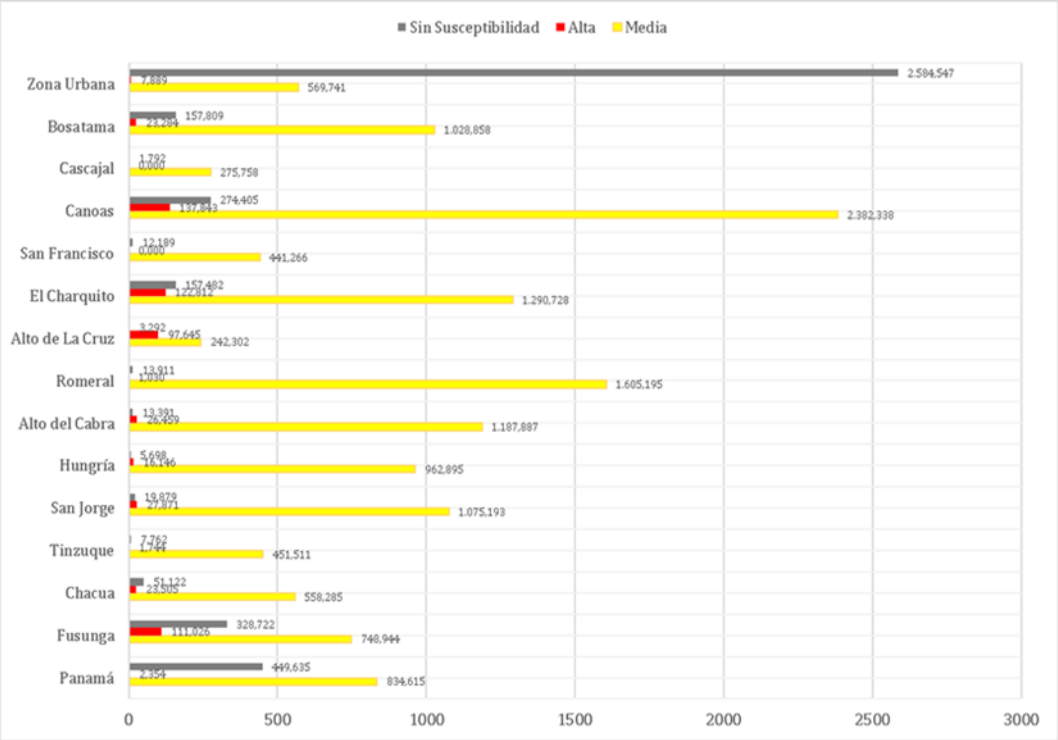


Figura 309. Diagrama de barras de la distribución de la susceptibilidad por vereda en el Municipio de Soacha.

En relación con la zona rural, se observa que la vereda que presenta la mayor cantidad de áreas categorizadas como de amenaza baja es la vereda Canoas con 2.382,34 hectáreas, seguida por la vereda Romeral con 1.605,19 hectáreas y la vereda El Charquito con 1.290,73 hectáreas; En relación con la susceptibilidad alta, la vereda que presenta la mayor cantidad de áreas en esta categoría es la vereda Canoas con 137,84 hectáreas, seguida por la vereda El Charquito con 122,81 hectáreas y la vereda Fusunga con 111,03 hectáreas.

Como se explicará más adelante, la susceptibilidad total por incendios de la cobertura vegetal será uno de los insumos implementados para la generación del mapa por amenaza total, de aquí la importancia de que el insumo denominado coberturas de la tierra (Corine Land Cover) se realice a partir de información detallada, pues con este insumo se construyen las capas de susceptibilidad por tipo, duración y carga, con las cuales se obtiene la susceptibilidad total de la vegetación a incendios de la cobertura vegetal.

4.4.4. AMENAZA POR INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL

La amenaza hace referencia a un fenómeno, sustancia, actividad humana o condición peligrosa que puede ocasionar la muerte, lesiones u otros impactos a la salud, al igual que daños a la

propiedad, la pérdida de medios de sustento y de servicios, trastornos sociales y económicos, o daños ambientales (CIIFEN, 2020); Con la identificación de las amenazas presentes en el municipio de Soacha que puedan potenciar el fenómeno de incendios forestales, se busca determinar cuáles son los factores presentes en el territorio que de alguna manera pueden contribuir en el origen, intensificación y durabilidad de un incendio forestal, así como las consecuencias que podría tener en el territorio.

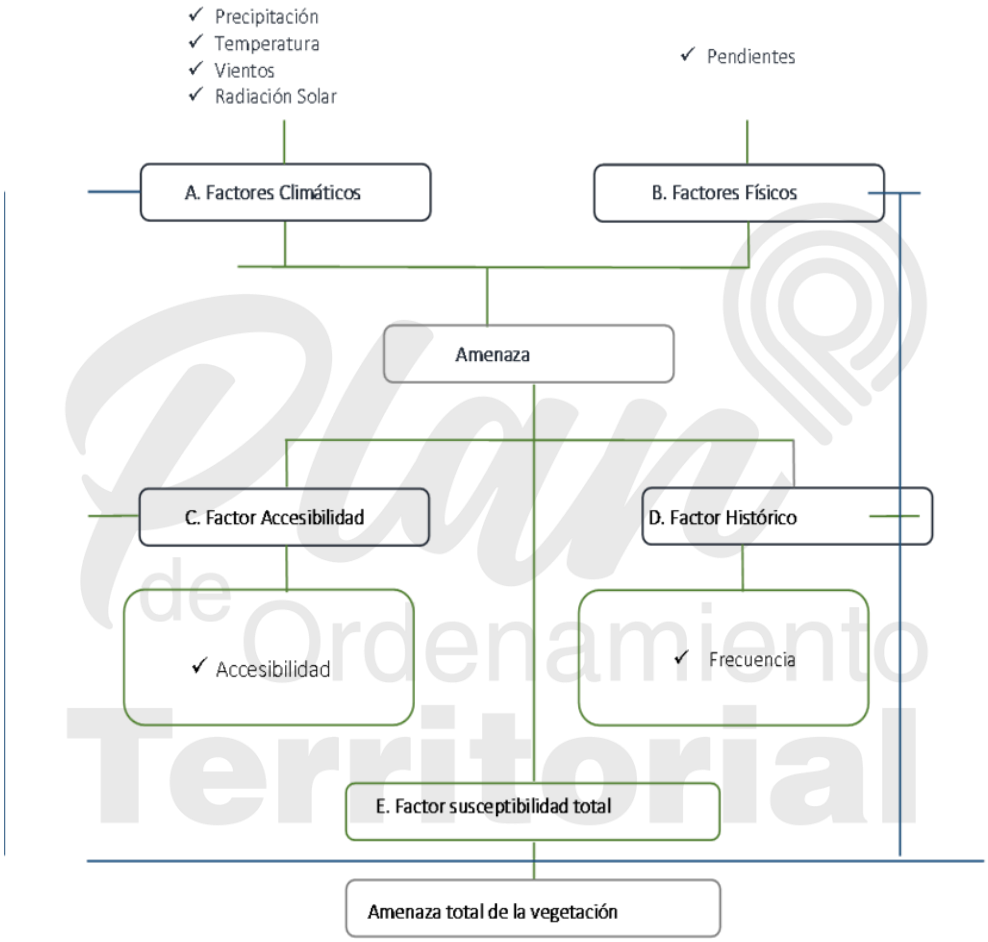


Figura 310. Factores implementados para el cálculo de la Amenaza por incendios de la cobertura vegetal

Fuente: Siglo XXII SAS

Conforme lo establece la Memoria Técnica – Mapa zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR (IDEAM & CAR, 2014), para la determinación de la amenaza por incendios de la cobertura vegetal se tendrán en cuenta ocho (8) factores a saber (Ver Figura 35*): i. Accesibilidad; ii). Pendientes Topográficas; iii). Frecuencia o factores históricos; iv). Precipitación; v). Radiación solar; vi). Temperatura; vii).*

Vientos; y viii). Susceptibilidad total de la vegetación, agrupados en cinco (5) categorías (Factores climáticos, Factores físicos, Factor accesibilidad, Factor histórico y Factor susceptibilidad); a cada uno de estos factores se le asignará un peso, posteriormente se realizará una suma ponderada y finalmente se realizará la respectiva categorización (Ver Sección 2).

4.4.4.1. FACTORES CLIMÁTICOS

El clima es uno de los factores de fundamental importancia en la generación y propagación de los incendios forestales, ya que determina la duración y la severidad de las estaciones secas y calurosas en un área geográfica determinada, lo cual influye directamente sobre la humedad y la cantidad de combustible disponible de fácil ignición y con mayor probabilidad de ser afectado por el fuego (IDEAM, 2015).

Los factores climáticos que se analizarán para el cálculo de la amenaza por incendios de la cobertura vegetal, hacen referencia a fenómenos que varían de unas zonas geográficas a otras, y que pueden influir directamente en la ocurrencia de desastres naturales como las inundaciones, los movimientos en masa, y para el caso los incendios forestales. Dentro de los factores climáticos que serán analizados para el cálculo de la amenaza, se encuentran la precipitación (**Sección 4.1.1**), la temperatura (**Sección 4.1.2**), el viento (**Sección 4.1.3**), y el brillo solar (**Sección 4.1.4**).

4.4.4.1.1. AMENAZA POR PRECIPITACIÓN

El mapa de amenaza por precipitación fue elaborado a partir del mapa de precipitación que se presenta en la Sección 1.1.5.1 del presente documento; para el municipio de Soacha fue posible establecer que se presentan valores de precipitación media anual comprendidos entre los 558 milímetros a los 851 milímetros; para la clasificación de las categorías y la asignación de puntajes se implementaron los rangos establecidos en la "Memoria Técnica: Mapa para zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca "; estos rangos fueron ajustados para dar alcance a lo establecido en el Decreto 1807 de 2014, compilado por el Decreto 1077 de 2015, tal como se presenta a continuación:

Tabla 194. Definición de rangos y puntajes – Amenaza por Precipitación

Definición de rangos y puntajes – Amenaza por Precipitación				
Precipitación Media Anual (Milímetros)	**Categorización Metodología (IDEAM & CAR, 2014)**		**Categorización Ajustada**	
	Calificación	**Categoría**	**Calificación**	**Categoría**
Mayor a 7.000 mm	1	Muy Baja	1	Baja
3.000 mm a 7.000 mm	2	Baja		
2.000 mm a 3.000 mm	3	Moderada	2	Media
1.000 mm a 2.000 mm	4	Media	3	Alta
Menor a 1.000 mm	5	Alta		

Fuente: Adaptado de (IDEAM & CAR, 2014); Elaboró: Siglo XXII SAS.

El Municipio de Soacha presenta precipitaciones medias anuales máximas que no superan los 851 milímetros, lo que se considera una precipitación baja; dado que la humedad de los tejidos vegetales es mayor en cuanto mayor precipitación se presente, y esto disminuye la capacidad pirogénica de las coberturas vegetales, es de entenderse que la amenaza por precipitación en todo el Municipio sea alta, pues lo valores medios anuales de precipitación son inferiores a los 1.000 milímetros, rango que según la metodología le asigna la categoría muy alta por amenaza por precipitación, o categoría alta según los ajustes realizados a las categorías para dar alcance a lo establecido en el Decreto 1077 sobre categorización de la amenaza.

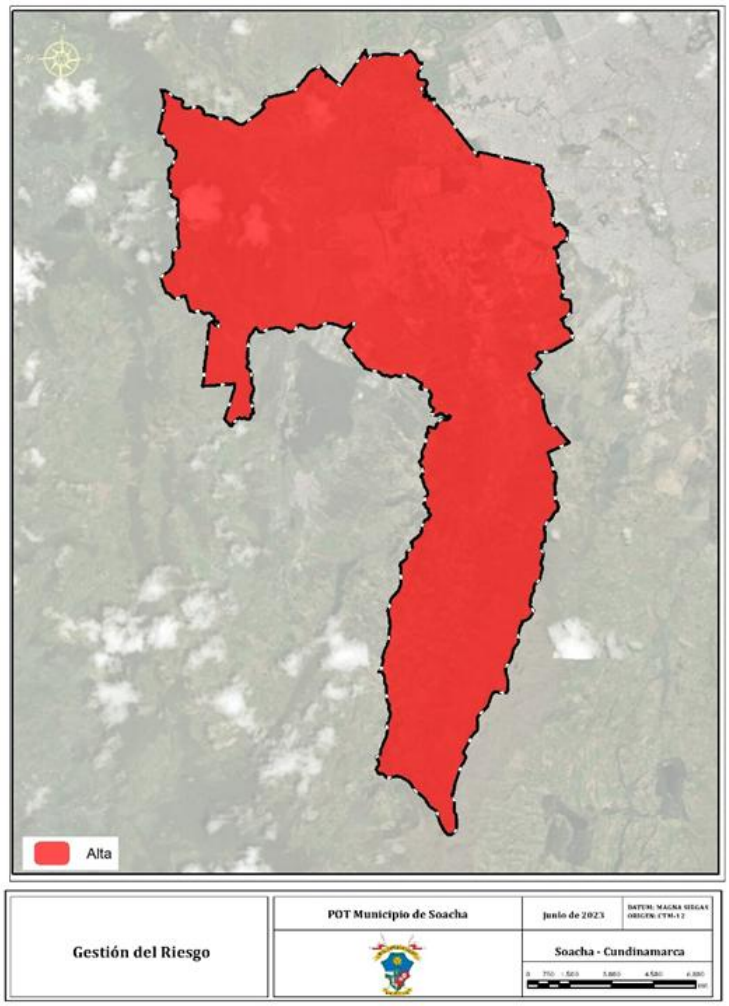


Figura 311. Amenaza por precipitación

Fuente: Siglo XXII SAS

De esta manera puede mencionarse que la baja precipitación media anual en el municipio de Soacha actúa como un factor potenciador de fenómenos asociados a los incendios de la cobertura

vegetal, no solo porque la baja precipitación aumenta la capacidad pirogénica de la vegetación, sino también porque las bajas precipitaciones inciden directamente en la temperatura del agua, aumentando el riesgo de que se presente un fenómeno de este tipo (Moscovich, 2010).

4.4.4.1.2. AMENAZA POR TEMPERATURA

El mapa de amenaza por temperatura fue elaborado a partir del mapa de temperatura que se presenta en la Sección 4.4.1.1.5.2 del presente documento; para el municipio de Soacha fue posible establecer que se presentan temperaturas comprendidas entre los 9,5 °C (mínima) y los 21°C (máxima); para la clasificación de las categorías y la asignación de puntajes se implementaron los rangos establecidos en la "Memoria Técnica: Mapa para zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca "; estos rangos fueron ajustados para dar alcance a lo establecido en el Decreto 1807 de 2014, compilado por el Decreto 1077 de 2015, tal como se presenta a continuación:

Tabla 195. Definición de rangos y puntajes para la amenaza por temperatura.

Definición de rangos y puntajes – Amenaza por Temperatura				
Temperatura media anual (Grados Centígrados)	**Categorización Metodología (IDEAM & CAR, 2014)**		**Categorización Ajustada**	
	Calificación	**Categoría**	**Calificación**	**Categoría**
Menor a 6°C	1	Muy Baja	1	Baja
6°C a 12°C	2	Baja		
12°C a 18°C	3	Moderada	2	Media
18°C a 24°C	4	Media	3	Alta
Mayor a 24°C	5	Alta		

Fuente: Adaptado de (IDEAM & CAR, 2014); Elaboró: Siglo XXII SAS.

Dado que la amenaza por temperatura analiza cómo influyen en el contenido de humedad de la vegetación factores exógenos relacionados con el aumento del punto de evaporación del agua de la estructura vegetal, la guía metodológica realiza la categorización de la variable de temperatura teniendo en cuenta que, a mayor temperatura, mayor es la probabilidad de que el combustible vegetal aumente su capacidad pirogénica debido a la perdida de la humedad, aproximándose de esta manera a su temperatura de ignición, es decir, la temperatura a la cual el combustible mantendrá y aumentara su combustión, incluso después de que el foco de calor exterior, como una cerilla o un encendedor, sea retirado (DMA Aragon, 2006).

De esta manera, y teniendo como base la categorización y calificación definida en la "Memoria Técnica: Mapa para zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, fueron definidos tres (3) rangos de amenaza para la temperatura, tal como se presenta a continuación:

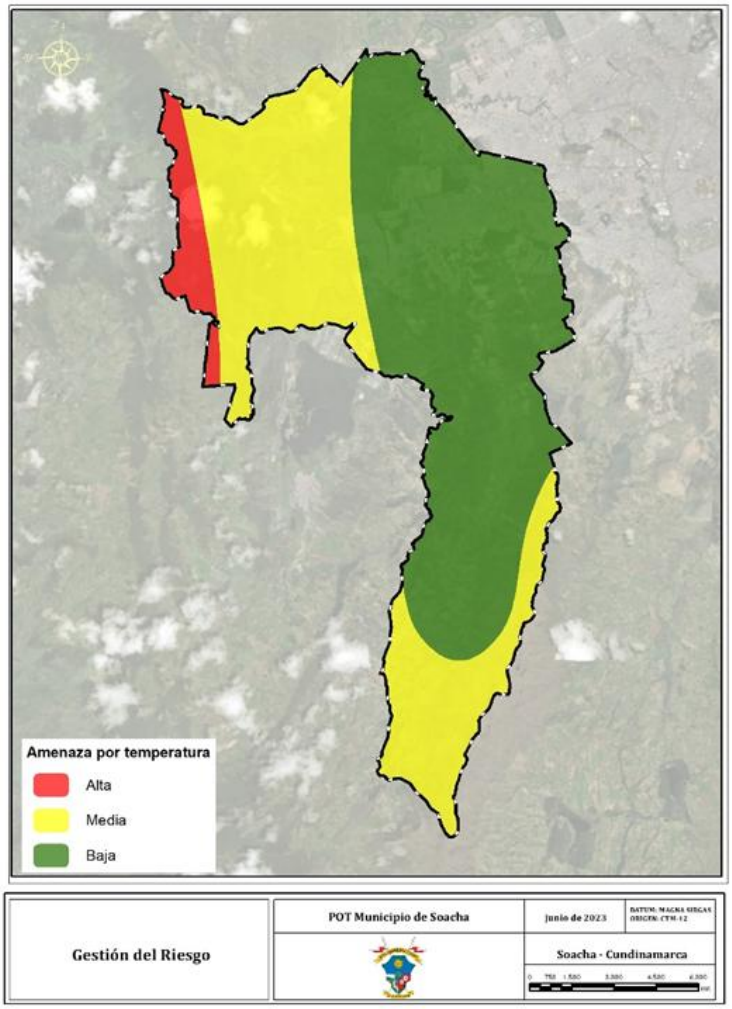


Figura 312. Amenaza por temperatura

Fuente: Siglo XXII SAS

La distribución espacial de la amenaza por temperatura en el Municipio muestra que, 10.201,43 hectáreas correspondientes al 55,63% del Municipio, presentan amenaza baja toda vez que su temperatura es inferior a los 12°C, mientras que 7.189,66 hectáreas (39,21%) se categorizan como de amenaza media, presentando temperaturas comprendidas entre los 12°C y los 18 °C. En relación con la amenaza alta por esta variable, la cual se localiza hacia la zona noroccidental y cubre una extensión superficial de 945,66 hectáreas equivalentes al 5,16% del territorio debe mencionarse que, en la zona en donde se localiza esta amenaza se tienen registros de fuertes incendios de la cobertura vegetal presentados entre el año 2014 y el año 2018, por lo que, si bien esta amenaza no constituye por sí sola un factor desencadenante de un fenómeno de este tipo, si puede influir de manera importante en su ocurrencia.AMENAZA PORVELOCIDAD DEL VIENTO

El mapa de amenaza por velocidad del viento fue elaborado a partir del mapa de velocidad del viento que se presenta en la Sección 1.1.5.3 del presente documento; para el municipio de Soacha fue posible establecer que el viento presenta velocidades medias mínimas de 2,13 m/s y máximas de 4,01 m/s, lo cual se corresponde con velocidades relativamente bajas, por lo que su incidencia en la ocurrencia de un incendio de la cobertura vegetal se considera baja en más del 50% del territorio municipal.

Para la clasificación de las categorías y la asignación de puntajes se implementaron los rangos establecidos en la "Memoria Técnica: Mapa para zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca"; estos rangos fueron ajustados para dar alcance a lo establecido en el Decreto 1807 de 2014, compilado por el Decreto 1077 de 2015, tal como se presenta a continuación:

Tabla 196. Definición de rangos y puntajes para la amenaza por vientos.

Definición de rangos y puntajes – Amenaza por Vientos				
Velocidad media multianual (metros/segundo)	**Categorización Metodología (IDEAM & CAR, 2014)**		**Categorización Ajustada**	
	Calificación	**Categoría**	**Calificación**	**Categoría**
Menor a 2 m/s	1	Muy Baja	1	Baja
2,0 m/s a 3,0 m/s	2	Baja		
3,0 m/s a 4,0 m/s	3	Moderada	2	Media
4,0 m/s a 5,0 m/s	4	Media	3	Alta
Mayor a 5,0 m/s	5	Alta		

Fuente: Adaptado de (IDEAM & CAR, 2014); Elaboró: Siglo XXII SAS.

El viento resulta ser un factor decisivo en el comportamiento del fuego, siendo uno de los factores responsables de que el incendio de la cobertura vegetal superé las barreras de defensa y genere fuegos de copa, los cuales se hacen muy difíciles de controlar, además contribuye en aspectos como la desecación del combustible forestal al acelerar la transpiración de las plantas, incremento de la intensidad del incendio forestal al añadir determinadas cantidades de oxígeno, inclinación de la llama ocasionando la combustión de zonas que no habían iniciado su conflagración, incremento ladera arriba de la eficacia de la transmisión de energía, entre otros (Universidad Politécnica de Valencia, 2010).

Para el Municipio de Soacha fue posible establecer que el viento no juega un papel decisivo como detonante en la ocurrencia de un incendio forestal, toda vez que por una parte presenta valores bajos de velocidad, y por otra parte en las zonas en donde es mayor su velocidad, es decir, hacia la zona sur del Municipio, otros factores de amenaza como la precipitación o la temperatura no potencian en conjunto este tipo de eventos; A continuación se presenta la distribución espacial de la amenaza por vientos en el municipio de Soacha:

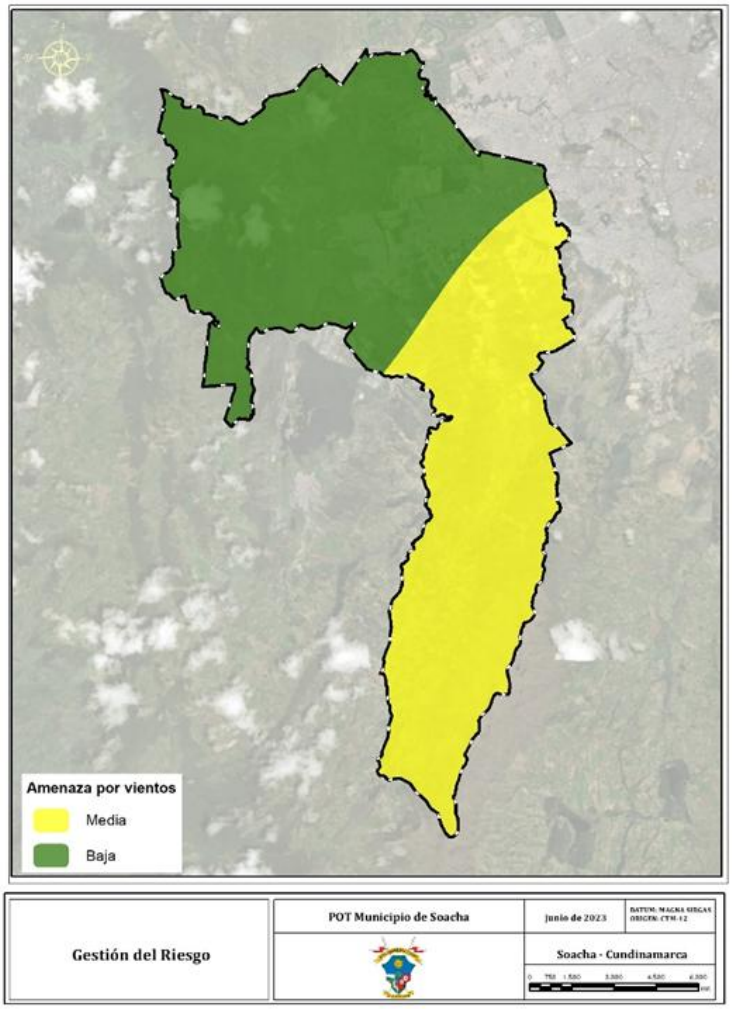


Figura 313. Amenaza por Vientos

Fuente: Siglo XXII SAS

Teniendo como base la categorización y calificación definida en la *"Memoria Técnica: Mapa para zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca*, fueron definidos tres (3) rangos de amenaza para la velocidad, dando alcance al Decreto 1077 de 2015.

De esta manera es posible determinar que un área de 9.899,49 hectáreas, equivalente al 53,99% del territorio, presenta amenaza baja por vientos, mientras que el área excedente del Municipio (8.437,26 hectáreas) presenta amenaza media.

4.4.4.1.3. AMENAZA POR BRILLO SOLAR

A medida que el sol asciende y que la radiación solar es absorbida por la superficie de la tierra durante el día, el aire localizado sobre la superficie de la tierra, se calienta por conducción al contacto al contacto de esta (DMA Aragon, 2006); este proceso contribuye a la evapotranspiración de la vegetación y disminuye el contenido de humedad de su estructura vegetal, lo cual aumenta la capacidad pirogénica del combustible; para el municipio de Soacha fue posible establecer que el brillo solar se encuentra en el rango comprendido entre los 4,36 KWh/m2/año (mínimo) y los 4,69 KWh/m2/año.

Obtenido el mapa de brillo solar que se presenta en la Sección 1.1.5.4 del presente documento se procedió a realizar la categorización y calificación de la información, teniendo en cuenta los rangos establecidos en la "Memoria Técnica: Mapa para zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca"; estos rangos fueron ajustados para dar alcance a lo establecido en el Decreto 1807 de 2014, compilado por el Decreto 1077 de 2015, tal como se presenta a continuación:

Tabla 197. Definición de rangos y puntajes para la amenaza por radiación solar

Definición de rangos y puntajes – Amenaza por Radiación Solar				
Radiación media anual (KWh/m2/año)	**Categorización Metodología (IDEAM & CAR, 2014)**		**Categorización Ajustada**	
	Calificación	**Categoría**	**Calificación**	**Categoría**
Menor a 3,0	1	Muy Baja	1	Baja
3,0 a 4,0	2	Baja		
4,0 a 5,0	3	Moderada	2	Media
5,0 a 6,0	4	Media	3	Alta
Mayor a 6,0	5	Alta		

Fuente: Adaptado de (IDEAM & CAR, 2014); Elaboró: Siglo XXII SAS.

Asignadas la categorías y puntajes según los rangos mencionados en la tabla anterior, es posible establecer que los valores de brillo solar para el Municipio se encuentran en el rango de los 4,0 KWh/m2/año a los 5,0 KWh/m2/año, lo que corresponde a la categoría de amenaza media por brillo solar.

La espacialización de la amenaza por brillo solar (radiación solar) para el municipio de Soacha es presentada en la siguiente figura:

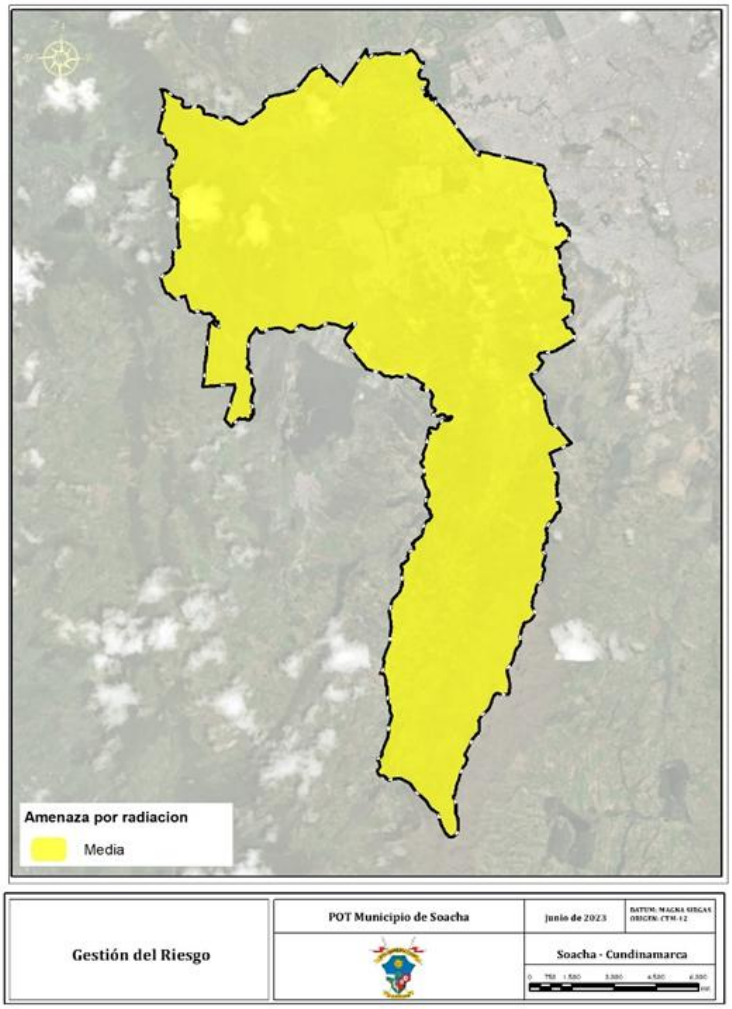


Figura 314. Amenaza por Radiación Solar

Fuente: Siglo XXII SAS

4.4.4.2. FACTORES FÍSICOS

Entender la importancia de los factores físicos es de gran ayuda para comprender el comportamiento que puede tener un incendio de la cobertura vegetal, no solo porque a mayor pendiente topográfica se reducen de manera importante las intervenciones que se le pueden realizar al territorio y que por tanto derivan en una mayor carga de combustible vegetal, sino también porque el tipo de relieve asociado con las pendientes topográficas puede influir en la velocidad del viento o en la manera en que unas coberturas reciben mayor radiación solar por su ubicación sobre el relieve, factor que potencia este tipo de fenómenos; Un claro ejemplo de la influencia de las pendientes en los incendios forestales se da cuando un fenómeno de este tipo se

forma en zonas montañosas con pendientes escarpadas, allí los picos de las montañas pueden formar remolinos de fuego que pueden poner en peligro la vida del personal encargado de controlar la conflagración o aumentar la intensidad del fenómeno; igual pasa cuando partes de los combustibles que están ardiendo descienden por acción de la gravedad por zonas con pendientes escarpadas, iniciando conflagraciones en las zonas bajas de la ladera (DMA Aragon, 2006).

4.4.4.2.1. AMENAZA POR PENDIENTES TOPOGRÁFICAS

Para la determinación de la amenaza por pendientes topográficas se implementó el insumo mencionado en la sección 1.1.4.1 del presente documento, el cual fue reclasificado según los rangos establecidos en la Memoria técnica: Mapa zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal para la corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR; conforme lo establece la metodología, la calificación asignada se realiza de acuerdo con la facilidad con que se propaga un incendio por este factor, teniendo en cuenta que a mayor pendiente se favorece la continuidad de las coberturas y por consiguiente se aumenta la facilidad con que el fuego se propaga dentro de la cobertura (IDEAM & CAR, 2014). Las categorías para el cálculo de la amenaza por pendientes topográficas fueron ajustadas de cinco (5) a tres (3) variables para dar alcance a lo establecido en el Decreto 1077 de 2015.

Tabla 198. Definición de rangos y puntajes para la amenaza por pendientes topográficas.

Definición de rangos y puntajes – Amenaza por Pendientes topográficas					
Clasificación Porcentaje (%)	**Clasificación Grados (°)**	**Categorización Metodología (IDEAM & CAR, 2014)**		**Categorización Ajustada**	
		Calificación	**Categoría**	**Calificación**	**Categoría**
0 % a 7 %	0° a 3,15°	1	Muy Baja	1	Baja
7 % a 12 %	3,16° a 5,40°	2	Baja		
12 % a 25 %	5,41°a 11,25°	3	Moderada	2	Media
25 % a 75 %	11,26° a 33,75°	4	Media	3	Alta
Mayor a 75 %	Mayor a 33,76°	5	Alta		

Fuente: Adaptado de (IDEAM & CAR, 2014); Elaboró: Siglo XXII SAS.

Realizada la calificación y categorización de las pendientes topográficas fue posible establecer que la categoría que mayor superficie abarca es la amenaza alta por pendientes topográficas, encontrándose que está cuenta con una extensión superficial de 8.924,095 hectáreas, equivalentes al 48,67% del territorio; al respecto se encuentra que este porcentaje es consecuente con el relieve del Municipio pues a partir del trabajo realizado en campo y el análisis de los modelos digitales de elevación fue posible observar que, efectivamente, una gran parte del territorio presenta relieves escarpados a muy escarpados, principalmente hacia las zona nororiente del

Municipio. En relación con la amenaza media y baja por pendientes topográficas se identificó que estas cubren una extensión de 3.129,42 hectáreas (17,07%) y 6.283,246 hectáreas (34,27%), respectivamente; respecto a la amenaza baja se encuentra que esta se localiza en su gran mayoría en la zona norte del Municipio, en donde se localizan las veredas Canoas, El Charquito, Bosatama y el Casco Urbano Principal, dicha zona plana está conformada por el valle de los Ríos Bogotá y Soacha.

En la siguiente figura se presenta la distribución de las amenazas baja, media y alta por pendientes topográficas en el municipio de Soacha:

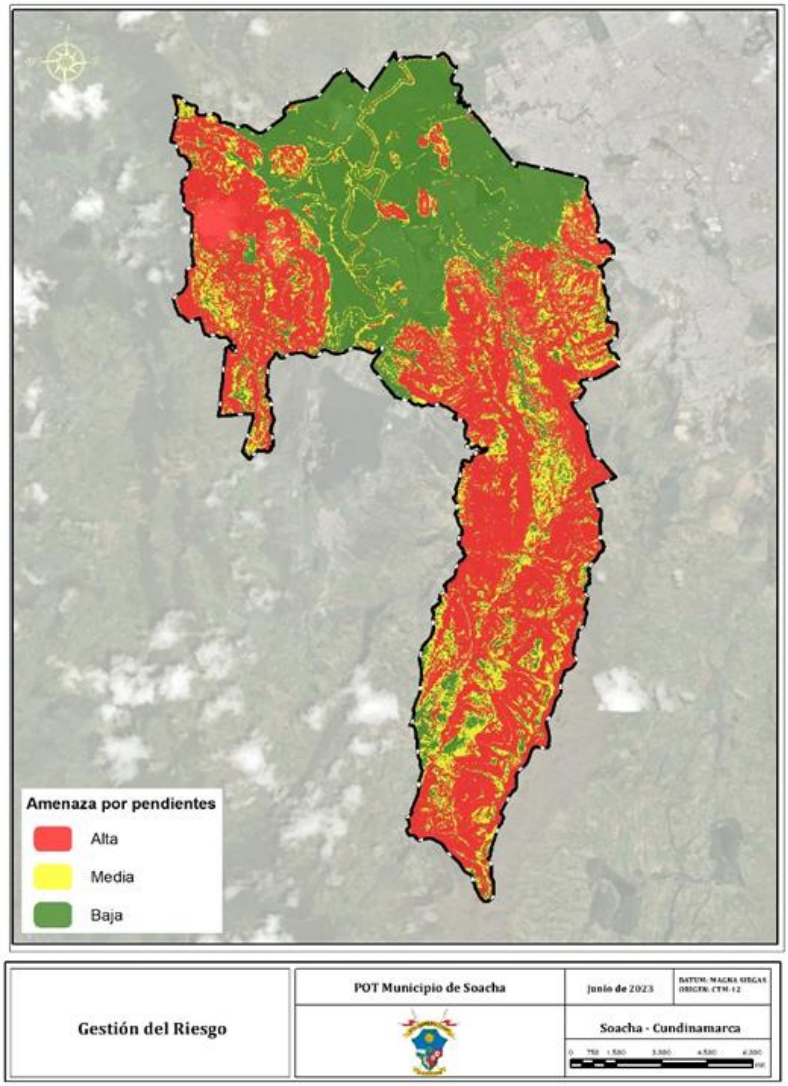


Figura 315. Amenaza por pendientes topográficas

Fuente: Siglo XXII SAS

4.4.4.3. FACTOR ACCESIBILIDAD

Conforme lo establece el *Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal* (IDEAM, 2015), este factor se considera parte de la amenaza debido a que es fundamental en la generación de la probabilidad de que la población pueda acceder a zonas con presencia de coberturas vegetales susceptibles a este fenómeno y generar focos de incendio.

4.4.4.3.1. AMENAZAPOR ACCESIBILIDAD

Según el Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal (IDEAM, 2015), la amenaza por accesibilidad para el municipio de Soacha se puede determinar de dos (2) maneras, una que se realiza mediante análisis y evaluación de la accesibilidad por cercanía a las vías y que se expresa como la cercanía de las vías a coberturas vegetales susceptibles de ser incendiadas, y otra que se realiza mediante análisis y evaluación de la accesibilidad por densidad vial, la cual corresponde a los kilómetros de vía por unidad de superficie en un área determinada.

Dado que para el Municipio de Soacha se restituyo todo el sistema vial rural a partir de una imagen de muy alta resolución que fue generada para todo el territorio, permitiendo obtener, tal como se muestra en la Sección 1.1.3. Sistema Vial, un insumo muy detallado que se articula perfectamente con la realidad del territorio, para la obtención de la amenaza por accesibilidad se hará uso del análisis y evaluación de la accesibilidad por cercanía a las vías; para este análisis se tendrán en cuenta las vías que según la Ley 1228 de 2008 y la Resolución 1240 de 2013 están categorizadas como de Primer Orden (Nacionales), Segundo Orden (Departamentales) y Tercer Orden (Veredales), asignando las calificaciones y los puntajes que se presentan a continuación, los cuales, han sido ajustados en tres rangos de frecuencia para dar alcance a lo establecido en el Decreto 1077 de 2015.

Tabla 199. Definición de rangos y puntajes para la amenaza por accesibilidad de vías rurales.

Amenaza por Accesibilidad: Definición de rangos y puntajes para vías rurales			
Tipo vía	**Distancia a la vía (Metros)**	**Calificación**	**Categoría de amenaza**
Orden Vía 1	750	1	Baja
	500	2	Media
	250	3	Alta
Orden Vía 2	300	1	Baja
	200	2	Media
	100	3	Alta
Orden Vía 3	150	1	Baja

Amenaza por Accesibilidad: Definición de rangos y puntajes para vías rurales			
Tipo vía	**Distancia a la vía (Metros)**	**Calificación**	**Categoría de amenaza**
	100	2	Media
	50	3	Alta
Sin Amenaza por Accesibilidad	0	0	Sin amenaza

Fuente: Adaptado de (IDEAM & CAR, 2014); Elaboró: Siglo XXII SAS.

Adicionalmente, y dado que la zonificación de incendios de la cobertura vegetal presentada en este informe también analiza la zona urbana, toda vez que en su interior se han presentado fenómenos de este tipo, se tuvieron en cuenta las vías urbanas arteriales principales y las vías que permiten la conexión entre el sector urbano y el sector rural del Municipio, asignándoles los puntajes y categorías que se presentan a continuación:

Tabla 200. Definición de rangos y puntajes para la amenaza por accesibilidad de vías conectoras urbano-rurales.

Amenaza por Accesibilidad : Definición de rangos y puntajes para vías conectoras urbano - rurales			
Tipo vía	**Distancia a la vía (Metros)**	**Calificación**	**Categoría de amenaza**
Conector Urbano – Rural Arterial (Autopista Sur)	750	1	Baja
	500	2	Media
	250	3	Alta
Conector Urbano – Rural No Arterial	300	1	Baja
	200	2	Media
	100	3	Alta

Fuente: Adaptado de (IDEAM & CAR, 2014); Elaboró: Siglo XXII SAS.

Por tanto, uno de los factores que incide en la ocurrencia de un fenómeno de la cobertura vegetal está relacionado con las actividades antrópicas, y con la probabilidad de que la población pueda acceder a sitios en donde de manera directa o indirecta pueda generar un fenómeno de este tipo; por esta razón, la guía metodológica (IDEAM & CAR, 2014) asigna mayores calificaciones en tanto más asequible sea una zona y cuanto más próxima se encuentre de alguna de las vías mencionadas anteriormente.

Una vez asignados los respectivos puntajes y categorías fue posible establecer que la amenaza por accesibilidad alta cubre una superficie de 2.299,91 hectáreas, equivalentes al 12,54% del

territorio, seguida por la amenaza media que cubre una superficie de 2.127,62 hectáreas que corresponden al 11,60% del área del Municipio; en relación con la amenaza baja por accesibilidad, se encontró que esta cubre una superficie de 2.021.77 hectáreas equivalentes al 11,03% del Municipio.

En total, la amenaza baja, media y alta por accesibilidad cubre, una superficie de 6.449,29 hectáreas (35,17%); el área excedente que corresponde a 11.887,47 hectáreas (64,83%) está representada por las zonas que, según la metodología, se encuentran fuera de los rangos de distancia establecidos para cada una de las vías y que por tanto no presentan amenaza por accesibilidad. La especialización de las categorías baja, media, alta y sin amenaza por accesibilidad son presentadas en la siguiente figura:

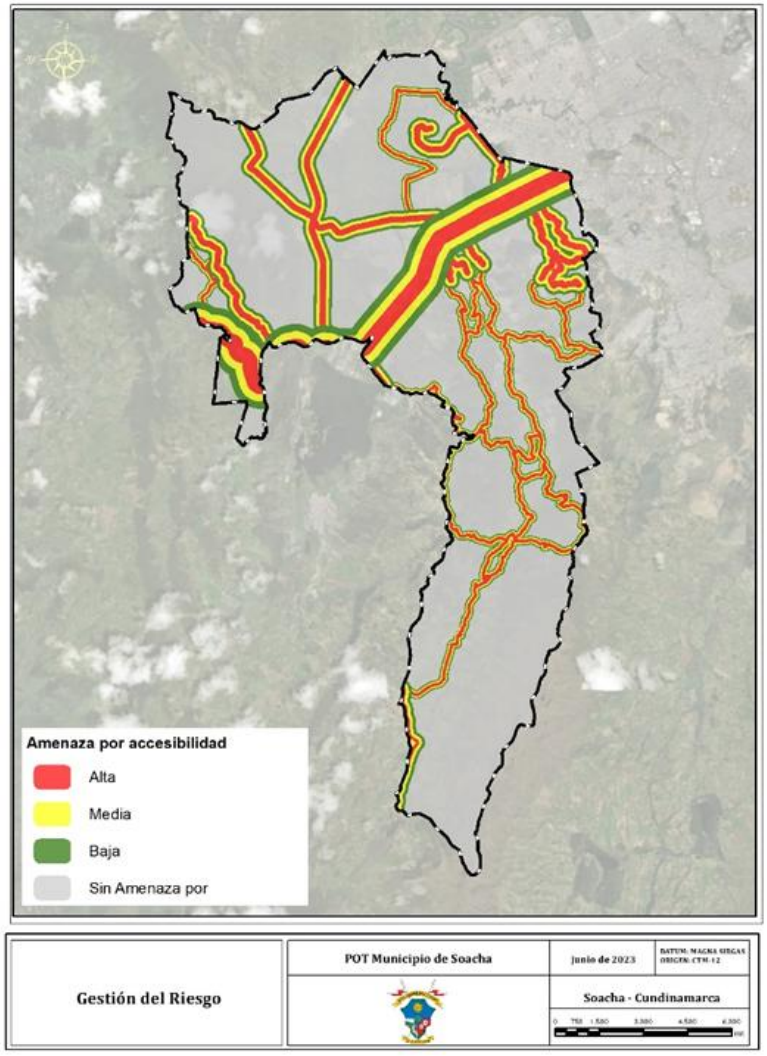


Figura 316. Amenaza por Accesibilidad

Fuente: Siglo XXII SAS

Se observa que la mayor cantidad de amenazas por accesibilidad se localizan hacia el costado norte del Municipio, principalmente en las veredas El Chaquito, San Francisco, Alto de La Cruz, y el Casco Urbano Principal, esto debido a que por este costado atraviesa la vía de primer orden conocida como Autopista Sur, y a ella se conectan vías de segundo y tercer orden provenientes de diferentes veredas como Canoas, Chacua y Panamá.

4.4.4.4. FACTOR HISTÓRICO (FRECUENCIA)

A partir de la información contenida en los reportes acaecidos durante un determinado periodo de tiempo, que se recomienda sea de por lo menos 10 años, se realiza el análisis de amenaza por frecuencia de incendios forestales (IDEAM & CAR, 2014); La identificación de las zonas en donde se presentaron incendios de la cobertura vegetal permite establecer si existe una correlación en la temporalidad de estos eventos, si se han presentado en zonas específicas del territorio, e incluso, si se cuenta con el reporte realizado, si estos han sido ocasionados por factores naturales o antrópicos.

4.4.4.4.1. AMENAZA POR FRECUENCIA DE INCENDIOS FORESTALES

La elaboración de la amenaza por frecuencia o por factores históricos fue realizada teniendo en cuenta los fenómenos asociados con incendios de la cobertura vegetal acontecidos en jurisdicción del Municipio y en sus zonas limítrofes; el inventario de incendios forestales fue obtenido a partir de la consulta en entidades como la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR y el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM; Adicionalmente fueron consultados archivos históricos de diferentes medios de comunicación, así como habitantes del Municipio durante la etapa de trabajo de campo; el resultado de este proceso permitió obtener un registro con una temporalidad de al menos 10 años, de más de 40 eventos acontecidos en la zona de estudio, de los cuales 20 se produjeron al interior del Municipio. En la sección 1.1.9 del presente documento se presenta la espacialización y la identificación de cada uno de estos puntos.

De los 20 incendios forestales registrados en el Municipio entre los años 2009 y el 2020, se realizó un análisis de los 11 eventos reportados por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR, de los cuales se realizó informe por los funcionarios de esta entidad; según se consigna en dichos informes, de los 11 incendios que se presentaron 7 fueron ocasionados por actividades antrópicas principalmente asociadas con quemas

de basuras; 3 fueron ocasionados por causas naturales, y de 1 se desconoce el motivo que le dio inicio; así las cosas, es posible establecer la relación que existe entre los incendios de la cobertura vegetal y las actividades humanas, y del porque la metodología los incluye dentro de la ecuación para el cálculo de la amenaza total.

Conocida la distribución espacial de los fenómenos históricos acontecidos en el Municipio de Soacha relacionados con incendios de la cobertura vegetal, se procedió a realizar la modelación de esta amenaza, para ello se implementó la función núcleo o kernel que es una función de densidad bivariante y simétrica, empleada en la estimación de funciones de densidad de probabilidad de variables aleatorias, esta función calcula la magnitud de determinada variable por unidad de área a partir de una nube de puntos, que para el caso corresponde a los eventos registrados en el Municipio; Obtenida la capa raster que describe la frecuencia de incendios en el Municipio, se procedió a realizar la categorización y calificación de la información, teniendo en cuenta los rangos establecidos en la "Memoria Técnica: Mapa para zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca"; estos rangos fueron ajustados para dar alcance a lo establecido en el Decreto 1807 de 2014, compilado por el Decreto 1077 de 2015, tal como se presenta a continuación:

Tabla 201. Definición de rangos y puntajes para la amenaza por frecuencia de incendios

Definición de rangos y puntajes – Amenaza por Frecuencia de Incendios				
Clasificación (Incendios por periodos de 10 años)	**Categorización Metodología (IDEAM & CAR, 2014)**		**Categorización Ajustada**	
	Calificación	**Categoría**	**Calificación**	**Categoría**
Menor a 1	1	Muy Baja	1	Baja
1,1 a 2,0	2	Baja		
2,1 a 4,0	3	Moderada	2	Media
4,1 a 6,0	4	Media	3	Alta
Mayor a 6,1	5	Alta		

Fuente: Adaptado de (IDEAM & CAR, 2014); Elaboró: Siglo XXII SAS.

La distribución espacial de la amenaza por frecuencia de incendios de la cobertura vegetal para el municipio de Soacha se presenta en la siguiente figura:

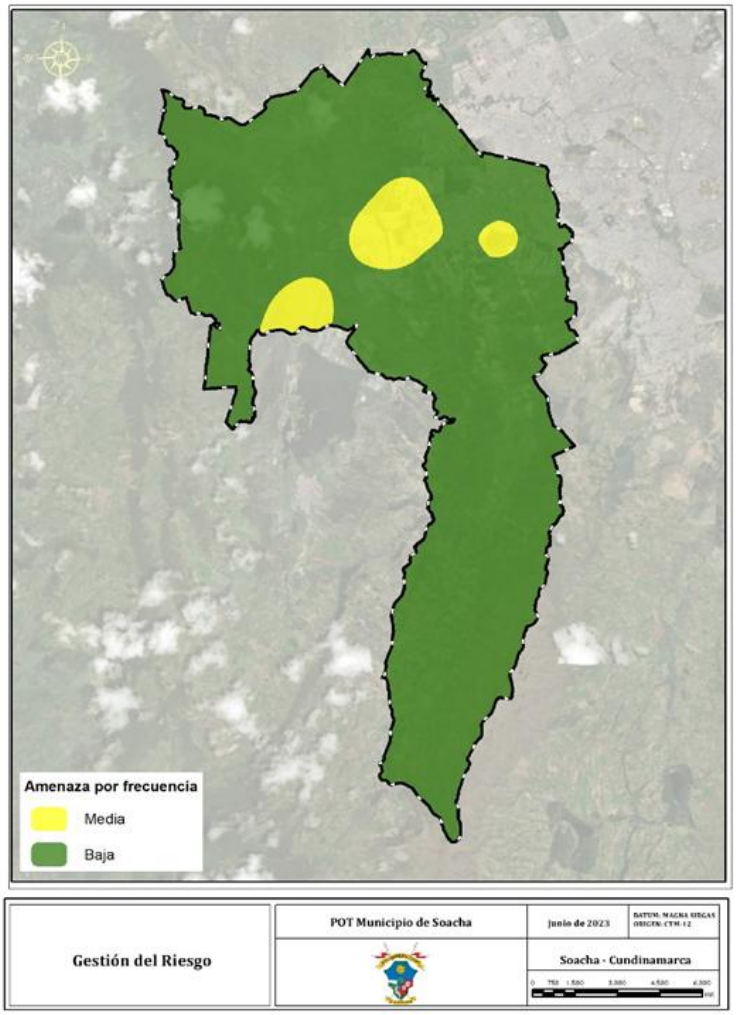


Figura 317. Amenaza por frecuencia
Fuente: Siglo XXII SAS

El resultado de la amenaza por frecuencia de incendios de la cobertura vegetal arroja que en el municipio de Soacha un área de 17.049,96 hectáreas que equivalen al 92,98% del Municipio, presentan amenaza baja, mientras que el área excedente (1.286,802 hectáreas) presenta amenaza media.

Si bien este tipo de eventos se ha presentado en diferentes veredas, debe mencionarse que el resultado obtenido tiene sentido, toda vez que como se mencionó, los incendios forestales en su gran mayoría tienen un origen antrópico y no natural, adicionalmente, los eventos registrados han sucedido en diferentes partes del territorio, por lo que la función Kernel no encuentra una correlación espacial para eventos como los que se registran en las veredas Romeral, Alto del Cabra, San Jorge y Fusunga.

Es importante que el Municipio adelante un inventario detallado de los sitios en donde se han presentados eventos asociados con este tipo de fenómenos, no solamente indicando aspectos cualitativos en los informes de cada evento, sino también aspectos asociados a la espacialización, no solo de un punto coordenado que ayude a localizar el evento, sino también del polígono que describe el área afectada por el incendio forestal.

4.4.4.5. SUSCEPTIBILIDAD DE LA VEGETACIÓN

El mapa de susceptibilidad total de la vegetación fue obtenido a partir de la suma ponderada de las variables tipo, duración y carga del combustible que se presentan en las secciones 3.1, 3.2 y 3.3 del presente documento, las cuales fueron operadas mediante algebra de mapas implementando la siguiente ecuación:

$$\boldsymbol{Susc_{Total}} = Susc_{Tipo} * (0{,}35) + Susc_{Duración}(0{,}35) + Susc_{Carga}(0{,}30)$$

El cálculo del mapa de susceptibilidad total arrojo que el municipio de Soacha presenta una susceptibilidad relativamente baja en relación con la categoría alta por susceptibilidad total, encontrándose que un 3,27% del Municipio se encuentra en este rango de susceptibilidad; de igual manera se encuentra que el 74,47% (13.655,52 Ha) del territorio presenta susceptibilidad media y el 22,26% (4.081,64 Ha) no presenta riesgo por tipo de combustible. El resultado obtenido del cálculo del mapa de susceptibilidad total se presenta en la Sección 3.4 del presente documento.

4.4.4.6. AMENAZA TOTAL DE LA VEGETACIÓN A INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL

La amenaza total de la vegetación busca identificar las zonas del territorio que presentan un peligro latente debido a la posible ocurrencia de un incendio de la cobertura vegetal, produciendo efectos adversos en las personas, la producción, la infraestructura, los bienes & servicios, y en el medio ambiente (IDEAM, 2015). para la generación de mapa de amenaza total se hizo uso de herramientas de geoprocesamiento a partir de las cuales se realizó superposición espacial entre los insumos intermedios implementados para su generación (Amenazas por precipitación, temperatura, velocidad del viento, brillo solar, pendientes topográficas, accesibilidad, frecuencia y Susceptibilidad de la vegetación); la generación de cada uno de los insumos implementados se presenta en las secciones 4.1.1, 4.1.2, 4.1.3, 4.1.4, 4.2.1, 4.3.1, 4.4.1 y 4.5 del presente documento.

A partir de los mapas generados para la determinación de la amenaza por precipitación, temperatura, velocidad del viento, brillo solar, pendientes topográficas, accesibilidad, frecuencia y Susceptibilidad de la vegetación, se procede a realizar el mapa de amenaza total mediante la

suma ponderada de estas ocho (8) variables; el peso asignado a cada una de las variables es definido por la guía metodológica de la siguiente manera:

Tabla 202. Pesos definidos para el cálculo de la amenaza total

Ponderación de Variables		
ID	**Variable**	**Peso (%)**
Factor Susceptibilidad	Susceptibilidad Total (S_t)	0,17
Factor Climático	Precipitación (A_{PP})	0,20
	Temperatura (A_{TP})	0,20
	Vientos (A_{VT})	0,10
	Brillo Solar (A_{BS})	0,07
Factor Físico	Pendientes (A_{PT})	0,07
Factor Histórico	Frecuencia (A_{FR})	0,10
Factor Accesibilidad	Accesibilidad (A_{AC})	0,09
Total		**1,00**

Fuente: Siglo XXII SAS

Para la obtención de la amenaza total se hizo uso de la herramienta algebra de mapas implementando la ecuación que para tal fin se define en la guía metodológica (IDEAM & CAR, 2014):

$$\boldsymbol{A_{Total}} = A_{PP} + A_{TP} + A_{VT} + A_{BS} + A_{PT} + A_{FR} + A_{AC} + Sus_{Total}$$

Realizada la operación de algebra de mapas entre las variables se procedió a normalizar los datos de manera que, el resultado obtenido de en un rango de 0 a 1 para posteriormente clasificarlos en el número de categorías deseadas; la guía metodológica establece que el resultado obtenido se debe distribuir en cinco niveles o frecuencias (Muy bajo, Bajo, Moderado, Alto y Muy Alto), sin embargo, dando alcance a lo establecido en el Decreto 1077 de 2015, que compilo al Decreto 1807 de 2014, el resultado será dividido en tres (3) niveles (Bajo, Medio y Alto) ; A continuación, se presenta la asignación de rangos, puntajes y categorías por susceptibilidad total:

Tabla 203. Categorización y calificación de variables para la amenaza total.

Categorización y calificación de variables – Amenaza Total				
Rangos Ponderación Amenaza Total	**Categorización Metodología (IDEAM & CAR, 2014)**		**Categorización Ajustada**	
	Calificación	**Categoría**	**Calificación**	**Categoría**
0 a 0,20	1	Muy Baja	1	Baja
0,21 a 0,40	2	Baja		
0,41 a 0,60	3	Moderada	2	Media
0,61 a 0,80	4	Alta	3	Alta
0,81 a 1,00	5	Muy Alta		

Fuente: Siglo XXII SAS; Adaptado de: (IDEAM & CAR, 2014)

Realizada la normalización, calificación y categorización de la zonificación de amenaza por incendios de la cobertura vegetal, y el respectivo control cartográfico, se obtiene el mapa que representa espacialmente la distribución de la amenaza total en el Municipio:

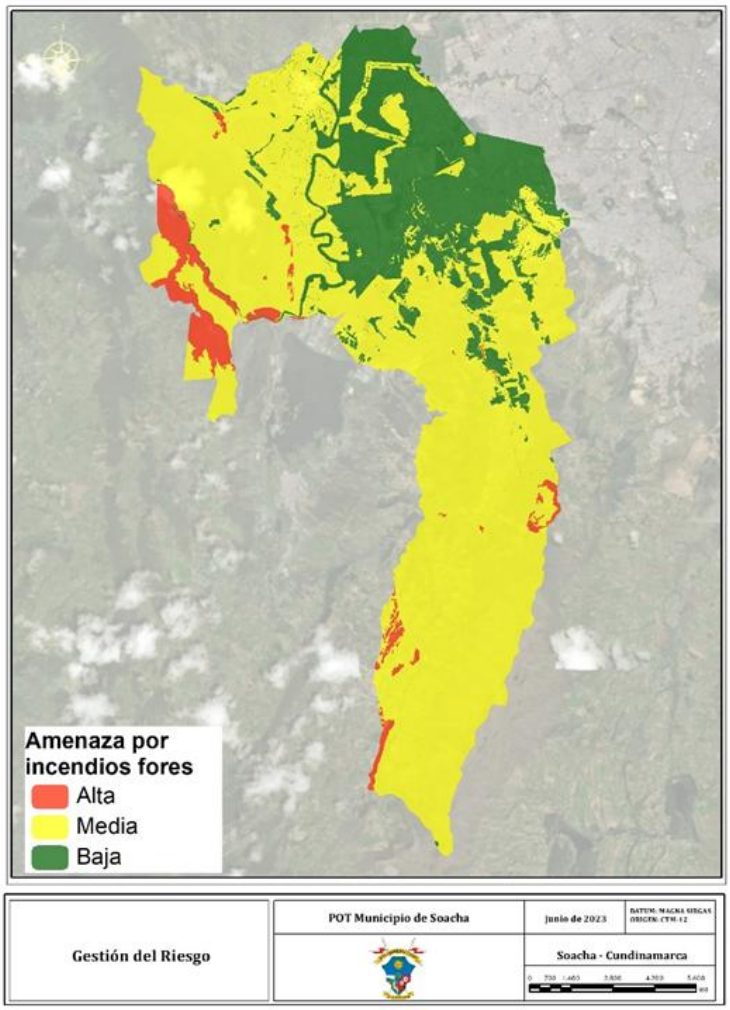


Figura 318. Amenaza Total
Fuente: Siglo XXII SAS

Obtenido el mapa de amenaza total a incendios de la cobertura vegetal se obtiene que, el municipio de Soacha presenta una amenaza predominantemente media ante este tipo de fenómenos, identificándose que un área de 13.560,14 hectáreas que equivalen al 72,42% del territorio esta categorizada como tal; también se observa que la amenaza baja es la segunda amenaza con mayor presencia en el territorio, cubriendo una superficie de 3.430,77 hectáreas (18,32%); finalmente, la amenaza alta es la que menos extensión ocupa, abarcando 1.731,32 hectáreas que equivalen al 9,25% del territorio.

Tabla 204. Áreas y porcentajes por amenaza total en el municipio de Soacha.

Zonificación de Amenaza Rural: Incendios Forestales (Hectáreas)									
Código Vereda	Nombre Vereda	Amenaza Baja		Amenaza Media		Amenaza Alta		Área (Ha)	% Municipio
		Área (Ha)	% Vereda	Área (Ha)	% Vereda	Área (Ha)	% Vereda		
25754000000000001	PANAMA	384,99	29,87	903,70	70,13	0,00	0,00	1.288,69	0,07
25754000000000002	FUSUNGA	263,61	22,20	918,53	77,35	5,33	0,45	1.187,46	0,06
25754000000000003	CHACUA	25,04	3,87	619,84	95,88	1,63	0,25	646,51	0,03
25754000000000004	TINZUQUE	0,00	0,00	465,978209	100,00	0,00	0,00	465,98	0,02
25754000000000005	SAN JORGE	5,03	0,45	1066,32	95,07	50,29	4,48	1.121,65	0,06
25754000000000006	HUNGRIA	0,05	0,00	994,26	99,65	3,41	0,34	997,72	0,05
25754000000000007	ALTO DEL CABRA	0,00	0,00	1555,26	95,96	65,46	4,04	1.620,72	0,09
25754000000000008	ROMERAL	1,52	0,09	1583,01	96,51	55,79	3,40	1.640,32	0,09
25754000000000009	ALTO DE LA CRUZ	0,00	0,00	211,34	62,08	129,08	37,92	340,43	0,02
25754000000000010	EL CHARQUITO	115,20	7,29	1227,11	77,68	237,40	15,03	1.579,72	0,08
25754000000000011	SAN FRANCISCO	6,59	1,81	150,95	41,43	206,83	56,76	364,37	0,02
25754000000000012	CANOAS	275,93	9,72	2525,89	88,96	37,52	1,32	2.839,34	0,15
25754000000000013	CASCAJAL	0,00	0,00	267,98	100,00	0,00	0,00	267,98	0,01
25754000000000014	BOSATAMA*	0,00	0,00	417,22	30,77	938,58	69,23	1.355,80	0,07
EXPANSIÓN URBANA	EXPANSIÓN URBANA	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
ZONA URBANA	CABECERA MUNICIPAL	2352,82	78,28	652,73	21,72	0,00	0,00	3.005,56	0,16
Total		**3.430,77**	**18,32**	**13.560,14**	**72,42**	**1.731,32**	**9,25**	**18.722,22**	**1,00**

Fuente: Siglo XXII SAS

La zonificación de amenazas por incendios de la cobertura vegetal permite determinar que la identificación de las categorías baja, media y alta describe adecuadamente la condición del territorio Municipal frente a este tipo de eventos; se evidencia que las zonas con amenaza baja coinciden con las zonas desprovistas de coberturas que puedan desencadenar un incendio forestal; igualmente se observa que las zonas con amenaza alta y media coinciden con eventos ocurridos en el territorio, como el presentado en límites entre Soacha y Sibaté en el año 2014; Los resultados obtenidos indican que el 72,42% del Municipio (13.560,14 hectáreas), se encuentra categorizado como de amenaza media, lo cual se corresponde con la realidad del territorio toda vez que el Municipio cuenta con extensas áreas de herbazales, arbustales, pastos y zonas agrícolas, las cuales si bien representan una importante capacidad pirogénica a nivel de tipo de combustible, no generan riesgos tan graves a nivel de carga y duración, además de que las zonas en donde se encuentran localizadas (zona sur del Municipio) presentan características como bajas temperaturas, baja ocurrencia de eventos históricos y baja amenaza por accesibilidad.

Es importante tener especial cuidado con las zonas que presentan amenaza media y alta que se localizan hacia el costado norte y nor-occidente del Municipio, en las zonas conocidas como Salto del Tequendama, Cerro Las Escuadras, y Cerros del Tequendama localizados en las veredas San Francisco, Canoas, Alto de La Cruz, y El Charquito, así como con la zona limítrofe entre el Municipio de Soacha y los municipios de Granada, Sibaté y San Antonio del Tequendama, toda vez que como resultado del desarrollo de la metodología fue posible establecer que, estas zonas además de presentar coberturas altamente susceptibles en cuanto a tipo, duración y carga de combustibles, se encuentran localizadas cerca de infraestructuras que podrían llegar a ser afectadas ante la ocurrencia de un evento de este tipo, poniendo en riesgo la vida de las personas y de líneas vitales como redes de energía de alta tensión; Adicionalmente, estas zonas ya presentan registros históricos relacionados con la ocurrencia de este tipo de eventos y se suma el hecho de que presentan las más altas temperaturas que se registran en el Municipio.

A continuación, se presenta la leyenda del mapa de amenaza por incendios de la cobertura vegetal identificada al interior del municipio de Soacha, una vez implementada la metodología establecida por el IDEAM y la CAR:

Tabla 205. Leyenda de amenaza por incendios de la cobertura vegetal Municipio de Soacha.

Categorías de la amenaza	Descripción	Área total (Ha)	% Municipio
Alta	Áreas del territorio cuya incidencia de factores climáticos y físicos aumenta la ocurrencia de la amenaza ante el fenómeno de incendios de la cobertura vegetal, debido a la alta combustibilidad de la materia orgánica del suelo favoreciendo la propagación de incendios de la cobertura vegetal sobre el territorio.	1.731,32	9,25%

Categorías de la amenaza	Descripción	Área total (Ha)	% Municipio
Media	Áreas del territorio cuya incidencia de factores climáticos y físicos media la ocurrencia de la amenaza ante el fenómeno de incendios de la cobertura vegetal, debido a la duración de 10 horas con una carga entre 50 y 100 Ton/ha; Aumentando la combustibilidad de la materia orgánica del suelo y la posibilidad de propagación de incendios de la cobertura vegetal sobre el territorio.	13.560,14	72,42%
Baja	Áreas del territorio cuya incidencia de factores climáticos y físicos disminuye la ocurrencia de la amenaza ante el fenómeno de incendios de la cobertura vegetal, debido a la baja combustibilidad de la materia orgánica del suelo, baja accesibilidad o pendientes planas o suaves, o poca o nula presencia de coberturas susceptibles y/o detonantes de un fenómeno de este tipo, estrechando la posibilidad de propagación de incendios de la cobertura vegetal sobre el territorio.	3.430,77	18,32%

Fuente: Siglo XXII SAS

4.4.5. ARTICULACIÓN DE LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR INCENDIOS FORESTALES CON EL ORDENAMIENTO DEL TERRITORIO

Previo a la descripción de la manera en cómo se articuló la zonificación de amenaza con la propuesta de ordenamiento territorial del Municipio, es importante realizar una aclaración frente a la estructura del presente documento; Si bien, la "Memoria técnica: Mapa de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca", establece la metodología para obtener las zonas del territorio que se encuentran en áreas categorizadas como de amenaza media y alta, esta solo tiene en cuenta los elementos existentes en el territorio, pero no los elementos que en el corto, mediano y/o largo plazo serán objeto de desarrollo y que consecuentemente contendrán infraestructuras y población que será vulnerable ante un incendio de la cobertura vegetal, dichos elementos correspondientes a las áreas sin ocupar del suelo urbano, las zonas suburbanas y los suelos de expansión, deben ser tenidos en cuenta necesariamente de manera que la zonificación de amenazas no solo tenga en cuenta los elementos existentes, sino también los elementos sujetos de desarrollo.

Al respecto, el Decreto 1077 de 2015, da alcance a este aspecto mediante la exigencia del cálculo de las zonas con condición de amenaza (elementos susceptibles de ser desarrollados) y con condición de riesgo (Elementos existentes en el territorio), las cuales son calculadas a partir de la zonificación total obtenida; Además, dicho decreto dicta el procedimiento para articular la gestión

del riesgo con el ordenamiento del territorio, procedimiento exigido por la autoridad ambiental competente para la concertación de los asuntos ambientales del POT, por lo que es necesario tener en cuenta los lineamientos que establece en relación con el componente de amenazas y riesgos. En el siguiente esquema se indica el procedimiento a seguir luego de haber obtenido la zonificación total de amenazas:

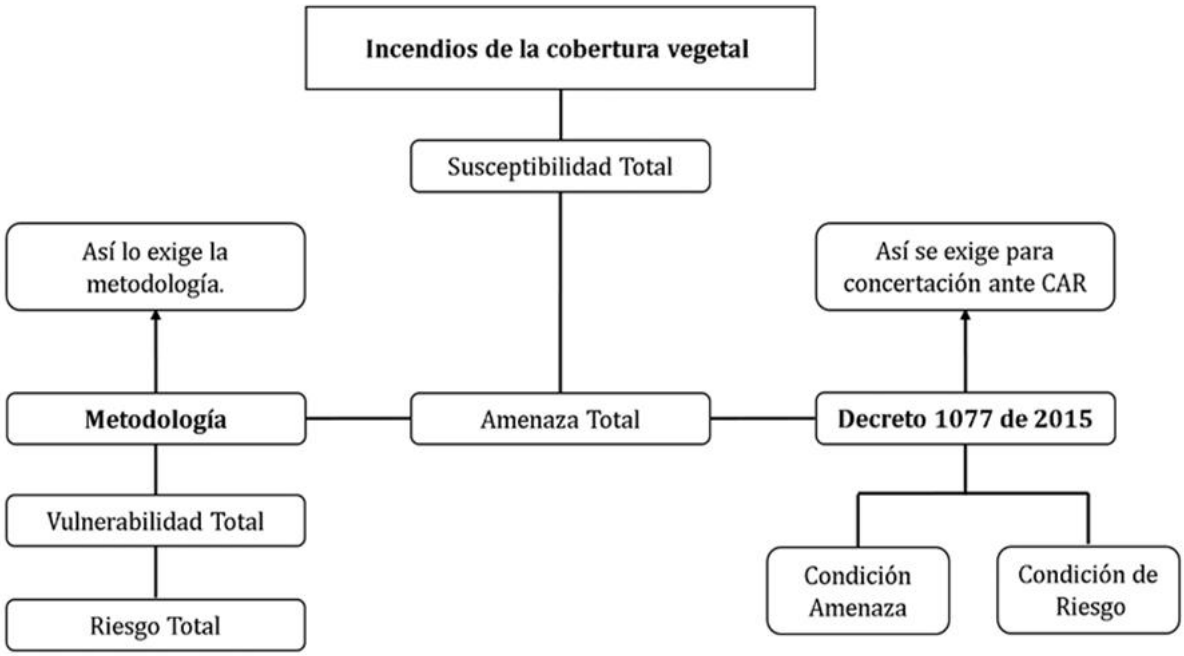


Figura 319. Procedimiento a seguir luego de la obtención de la zonificación total

Fuente: (IDEAM & CAR, 2014) y Decreto 1077 de 2015.

Por las razones mencionadas y una vez obtenida la zonificación total de amenazas, el presente estudio dará alcance en este capítulo al procedimiento mencionado en el Decreto 1077 de 2015 respecto al cálculo de las zonas con condición de amenaza y con condición del riesgo y, en el Anexo 1, dará alcance al cálculo de vulnerabilidad y riesgo tal como lo establece la guía metodológica.

El Artículo 2.2.2.1.3.1.3 del Decreto 1077 de 2015 establece que, además de la delimitación y zonificación de amenaza presentada en el capítulo anterior, los fenómenos analizados dentro del componente de amenazas y riesgos del POT, deben contener:

a. La delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza.
b. La delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo.
c. La determinación de las medidas de intervención, orientadas a establecer restricciones y condicionamientos mediante la determinación de normas urbanísticas

Si bien, la amenaza por incendios forestales no condiciona el desarrollo urbanístico del territorio, la identificación de las zonas en condición de amenaza y riesgo por este fenómeno es fundamental para conocer las zonas del Municipio en las que se deben establecer medidas de prevención y mitigación, permitiendo tomar decisiones acertadas ante la ocurrencia de un evento de este tipo; En el siguiente esquema se presenta la metodología para el cálculo de las zonas con condición, tal como lo establece la Sección 3. Incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial, del Decreto 1077 de 2015:

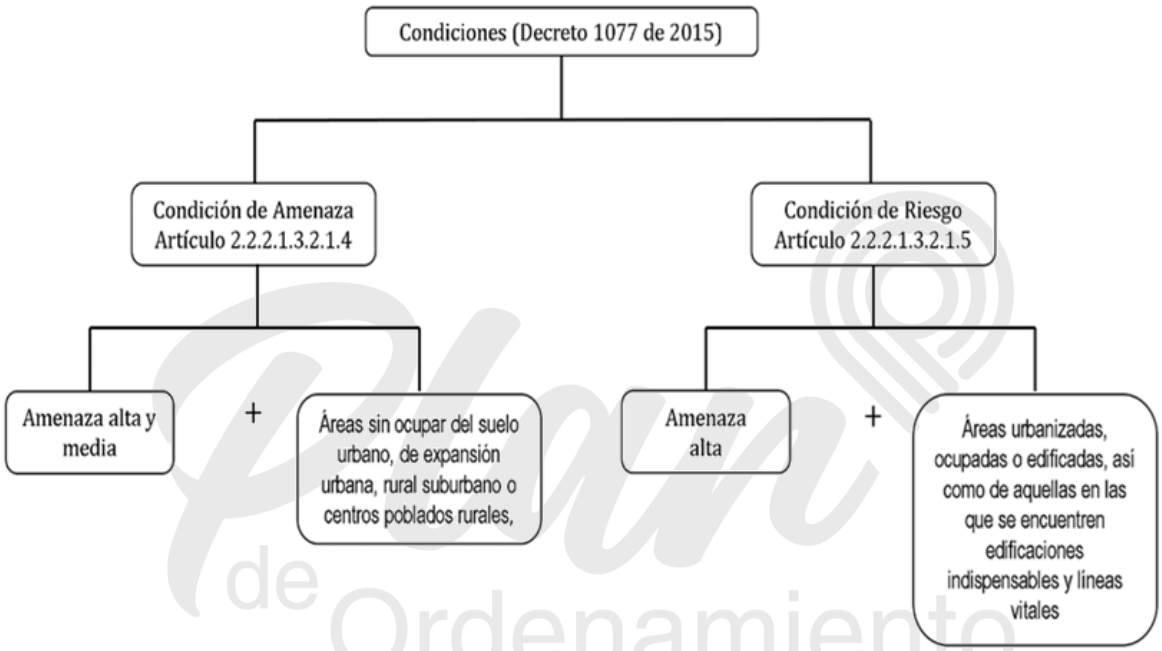


Figura 320. Esquema para el cálculo de las condiciones de amenaza y riesgo según lo establece el Decreto 1077 de 2015.

En la sección 5.1 y 5.2 se presenta la delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza y riesgo, y en la sección 5.3 se presentan las respectivas medidas de manejo.

4.4.5.1. ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA POR INCENDIOS FORESTALES

Al calcular la zonificación de amenaza por incendios de la cobertura vegetal para el municipio de Soacha fue posible determinar que el 71,74% del territorio, equivalente a 13.155,33 hectáreas, esta categorizado con amenaza media por este fenómeno, mientras que el 4,45% que corresponde a 815,75 hectáreas están zonificadas como de amenaza alta; conocida la zonificación, y tal como lo estable el Decreto 1077 de 2015, se realizó el cruce entre las zonas de amenaza media y alta con las zonas en donde se localizan centros poblados, suelos suburbanos, suelos de expansión urbana y áreas urbanas si ocupar, estas zonas son presentadas en la siguiente figura:

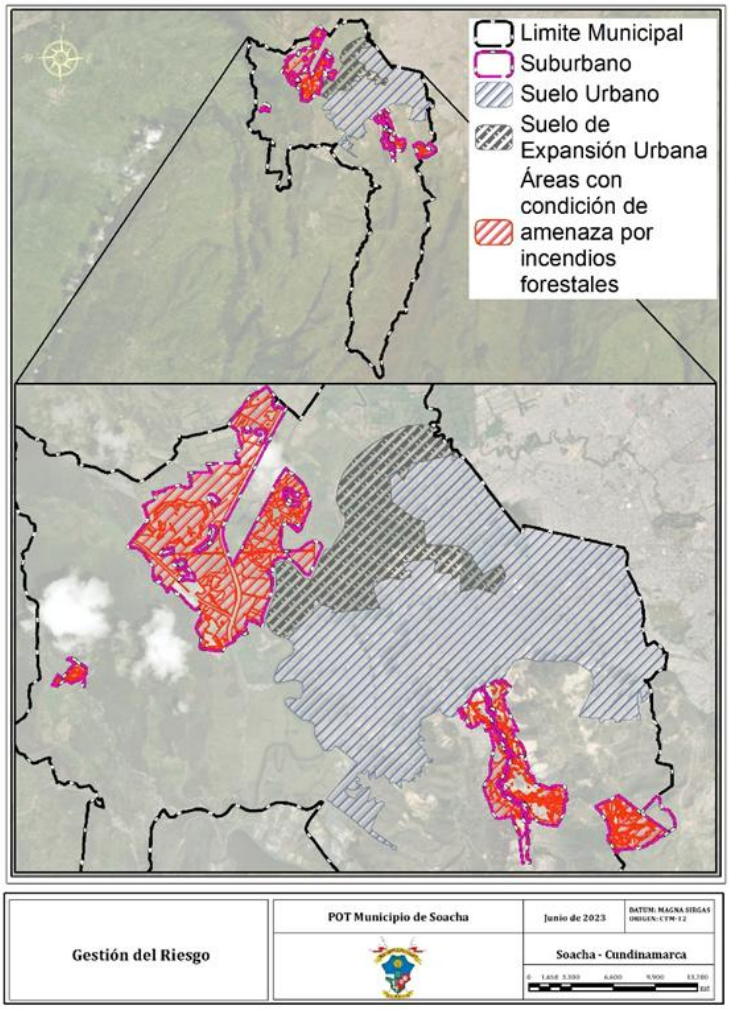


Figura 321. Zonas expuestas a condición de amenaza por incendios de la cobertura vegetal. Fuente: Siglo XXII SAS

Realizado el cruce entre la zonificación de amenaza media y alta, y las zonas no ocupadas, se tiene un total de 1027,16 hectáreas, catalogadas como áreas con condición de amenaza por incendios de la cobertura vegetal; en la siguiente figura se presenta la coordenada al centro de cada uno de estos polígonos para describir su localización espacial:

4.4.5.2. ÁREAS CON CONDICIÓN DE RIESGO POR INCENDIOS FORESTALES

Al calcular la zonificación de amenaza por incendios de la cobertura vegetal para el municipio de Soacha fue posible determinar que 101,10 hectáreas, esta categorizado con amenaza alta por este fenómeno; conocida la zonificación de amenaza, y tal como lo estable el Decreto 1077 de 2015, se realizó el cruce entre las zonas de amenaza alta con las zonas en donde se localizan

"elementos expuestos, de áreas urbanizadas, ocupadas o edificadas, así como de aquellas en las que se encuentren edificaciones indispensables y líneas vitales"; para el presente estudio, fueron restituidas todas las construcciones rurales por lo que el análisis aquí realizado no solo se hizo para infraestructuras específicas, sino para todas las existentes en suelo rural; de igual manera a las vías de primero, segundo y tercer orden se les aplico un buffer de 60, 45 y 30 metros, respectivamente, que conforme lo establece la Ley 1228 de 2008 representa su faja de retiro vial; finalmente a las líneas de alta tensión se les aplico un buffer de 30 metros que representa la zona de aislamiento definida en el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas – RETIE; igualmente, fueron implementadas las infraestructuras de servicios públicos proporcionadas por el Municipio; Las zonas expuestas a condición de amenaza por riesgo son presentadas en la siguiente figura:

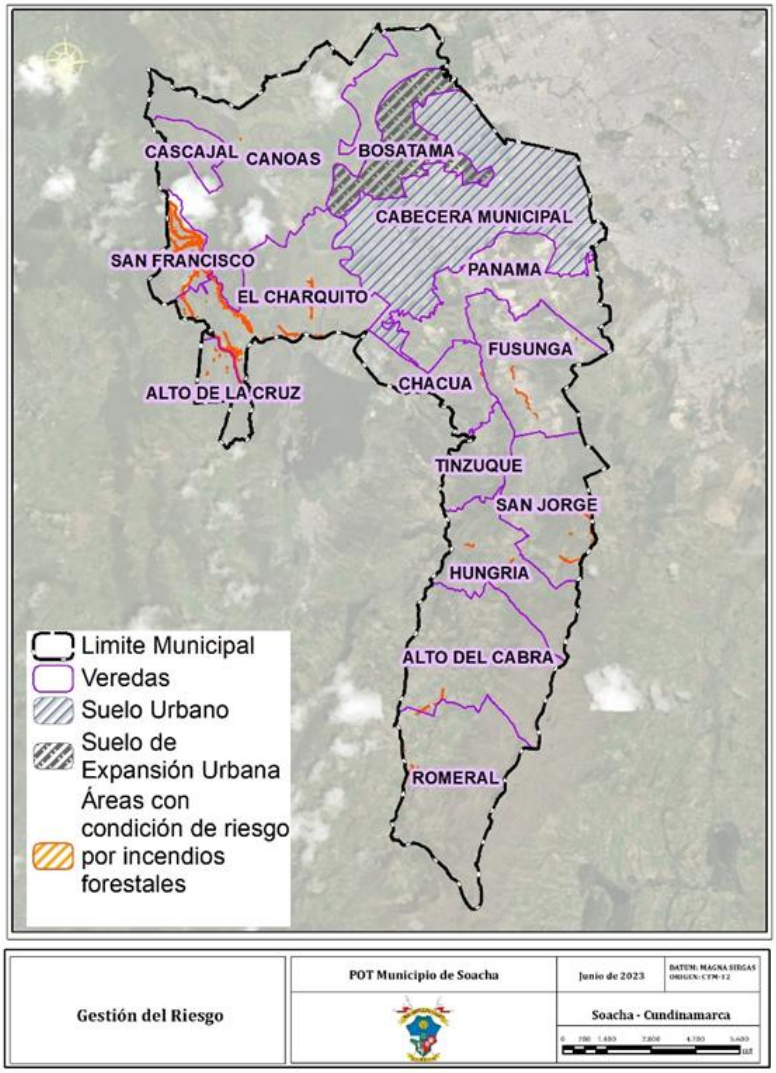


Figura 322. Zonas expuestas a condición de riesgo por incendios de la cobertura vegetal. Fuente: Siglo XXII SAS

4.4.6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Con base en los resultados obtenidos de la zonificación de la susceptibilidad por tipo, duración y carga del combustible; de la amenaza total y las variables implementadas para calcularla (Temperatura, Precipitación, Vientos, Radiación Solar, Accesibilidad, Frecuencia, Pendientes Topográficas y Susceptibilidad Total); del cálculo de las condiciones de amenaza y riesgo; y de las medidas de prevención y mitigación es posible establecer los siguientes aspectos en relación con la zonificación de amenazas y riesgos para el municipio de Soacha:

a. Es fundamental que el Municipio cuente con un archivo histórico en donde se reporte todo tipo de evento que haya requerido la atención y acción de los organismos de atención de emergencias, en relación con el control de conatos y/o incendios forestales, ya que estos reportes hacen parte fundamental del análisis de ocurrencia de este tipo de eventos y permiten determinar la causalidad de los mismos, generando medidas de prevención y mitigación más eficientes. Dicho archivo necesariamente debe incluir la espacialización del evento con las coordenadas de la zona que fue afectada.
b. La ocurrencia de incendios de la cobertura vegetal en el Municipio de Soacha son producto en su mayoría consecuencia del acelerado proceso en los cambios de uso del suelo, en donde el incremento de elementos como la frontera agrícola mediante las recurrentes "quemas controladas", o de la expansión de la huella urbana, han generado diversos eventos que han ocasionado importantes pérdidas en las áreas de vegetación natural del Municipio; por lo tanto es necesario que la Administración Municipal tome medidas al respecto, que permitan controlar este tipo de dinámicas.
c. Se deben incorporar en el plan de ejecución del plan de ordenamiento territorial, acciones dirigidas a la prevención, a través de la capacitación de la población localizada en áreas vulnerables por parte de los organismos de atención del riesgo y el desastre.
d. El Municipio como responsable del manejo y cuidado de sus recursos naturales debe emprender la tarea de concientizar mediante cátedras (Educación Ambiental) en instituciones educativas urbanas y rurales a la población en etapa escolar, de manera que desde pequeños se apersonen de la importancia que tiene el cuidado de los recursos naturales y del papel que juegan como actores que ayudan en la prevención y mitigación de este tipo de fenómeno.
e. El análisis de las coberturas de la tierra y las visitas realizadas en campo permitieron identificar que amplias zonas boscosas incluidas en áreas de reserva forestal con declaratoria, han sido seriamente deforestadas, esto ha contribuido por una parte en la aparición de herbazales y arbustales cuya capacidad pirogénica es alta, y por otra en el aumento de actividades antrópicas que pueden detonar de manera directa o indirecta un incendio forestal; al respecto es necesario que las autoridades municipales contemplen medidas de control ente este tipo de situaciones y garanticen el cumplimiento de los usos establecidos en los planes de manejo ambiental de cada una de las zonas de reserva con jurisdicción en el Municipio.

f. Es importante comprender que, en la amenaza por incendios forestales algunos elementos que son considerados como vulnerables, pasan a ser elementos que potencian la amenaza ante la eventual ocurrencia de un incendio forestal. Tal es el caso de las vías, las cuales dejan de ser elementos expuestos y se convierten en elementos amenazantes debido la posibilidad de acceso que dan a la población para facilitar la generación de focos de incendios forestales; Aspecto que también sucede con las redes eléctricas, de las cuales es muy importante verificar constantemente que se realiza un adecuado manejo por parte de las empresas responsables de su operación, en cuanto al control de la vegetación que crece bajo las líneas de alta tensión y sobre el estado de las infraestructuras, toda vez que una chispa generada en una de estas redes podría ocasionar fácilmente un incendio forestal; se recomienda tener especial atención en zonas como el Salto del Tequendama o el Cerro de las Escuadras en las veredas Canoas, Cascajal, San Francisco y El Charquito, al igual que en la vereda San Jorge, en donde las redes de alta tensión cruzan zonas densamente boscosas.
g. El conocimiento del territorio es fundamental para tomar las decisiones adecuadas que permitan mitigar y prevenir incendios de la cobertura vegetal; al respecto, para la zonificación de amenazas y riesgos fue realizado un insumo muy detallado que describe e identifica las coberturas presentes en el territorio a partir de la metodología Corine Land Cover, siendo muchas de las coberturas restituidas a partir de más de 20 visitas realizadas en campo; no obstante, será labor del Municipio garantizar que la capa de coberturas realizada para el presente estudio sea constantemente actualizada, no solo mediante fotointerpretación, sino también mediante muchas más visitas en campo que permitan realizar una caracterización detallada de todas las coberturas de Soacha.
h. Los factores climáticos que registran aumento en las temporadas secas (Fenómeno del niño) son detonantes para los incendios forestales, por lo que es importante mantener un estricto control en la práctica de quemas y/o actividades antrópicas que, puedan desencadenar un incendio de la cobertura vegetal en áreas en donde los resultados de susceptibilidad total de la vegetación resultaron altos.
i. Desde la oficina de Gestión Municipal del Riesgo y Desastres de la Secretaría de Planeación y Ordenamiento Territorial del Municipio, se debe contar con un sistema de alertas tempranas para la atención de eventos asociados con incendios de la cobertura vegetal, en donde se tenga previsto claramente el papel que tiene cada una de las entidades del Municipio ante situaciones de posible ocurrencia, inminente ocurrencia u ocurrencia de este tipo de fenómeno.
j. Se recomienda que el Municipio, desde la oficina de Gestión del Riesgo y Desastres, cuente con un plan estratégico actualizado que de alcance al "Plan nacional de prevención de control de incendios forestales y restauración de áreas afectadas", en relación con los programas para el fortalecimiento de la capacidad institucional (subprogramas de Planificación; Modernización de la gestión; Detección y respuesta temprana; Capacitación y entrenamiento), Programa de educación e información pública (Subprogramas de educación ambiental; Entrenamiento para la prevención y atención de incendios forestales), Programa para la investigación y mejoramiento en incendios forestales

(Subprogramas de investigación; Mejoramiento de insumos, equipos y técnicas de control; Protocolos de restauración y evaluación de impactos ambientales generados por los incendios forestales), y Programa de Silvicultura preventiva, restauración ecológica y manejo de quemas controladas.

k. Es fundamental que el Municipio tenga actualizados los planes de contingencia por incendios forestales en épocas de sequía y que, mediante cuñas radiales, perifoneo, disposición de líneas de atención y otros medios de comunicación, informe a la comunidad sobre los riesgos que tiene en estas épocas realizar diferentes actividades que puedan desencadenar un incendio de la cobertura vegetal

l. El monitoreo de las variables climáticas (vientos, precipitaciones, temperatura, brillo solar, caudales, etc.) es fundamental no solo para la predicción del comportamiento del fuego, sino también para su control, además de que sirve para supervisar otros tipos de fenómenos (Inundaciones, sequias, avenidas torrenciales, heladas, etc), por esta razón se eleva la recomendación de materializar una red de estaciones de monitoreo climatológicas a nivel Municipal que permita mejorar el nivel de detalle de los datos climáticos para el Municipio.

m. Las coberturas, cumplen una doble función en la acción del fuego pues no solo aportan el material combustible durante un incendio convirtiéndose en un elemento de la amenaza (como ya fue analizado), sino que además son altamente vulnerables al ser un elemento amenazado y del cual las pérdidas son casi irrecuperables. La vulnerabilidad en las coberturas es analizada desde tres puntos de vista: lo físico, que hace referencia a las condiciones propias de la cobertura y la afinidad que tienen con las prácticas de quema; lo ecológico, que refiere la importancia ecosistémica de las coberturas, dada por la representatividad que hacen de los diferentes bosques en cuanto a su estructura y composición, así como de la fauna que los habita; y por último, lo económico, que representa el nivel de producción de bienes y servicios que puede ofertar una cobertura, los cuales tienen una relación directa con aquellas áreas donde su uso actual representa la generación de ingresos al propietario y por ende un abastecimiento a la economía del Municipio.

n. Se recomienda a las autoridades municipales que el presente documento técnico junto a su cartografía sea socializado y puesto a disposición de la comunidad, funcionarios, entidades encargadas de la gestión del riesgo y el desastre y se realicen mesas de trabajo con las entidades territoriales que colindan con el Municipio, esto con el ánimo de que sean definidas estrategias que permitan establecer medidas de prevención y mitigación ante fenómenos de la cobertura vegetal, así como que se permita conocer las zonas del Municipio que presentan mayos amenaza ante la ocurrencia de un fenómeno de este tipo.

o. Es fundamental que las autoridades ambientales en consonancia con las autoridades municipales, evalúen las condiciones locales en materia de quemas agrícolas, fogatas y cualquier actividad que pueda generar incendios forestales y tomar las medidas para su regulación en prevención, control y seguimiento y divulgación entre la comunidad rural y urbana, así como las sanciones administrativas y penales a que haya lugar.

p. Conforme lo establecen diferentes cartillas orientadoras en materia de incendios forestales, es importante motivar la creación de la red de vigías rurales en incendios forestales con la participación de comunidades locales, con el fin de que se pueda detectar a tiempo la presencia de fuego y de esta manera se tomen inmediatamente las acciones necesarias, tendientes a controlarlo en el menor tiempo posible y exponiendo a la menor cantidad de personas e infraestructuras; igualmente la creación de esta red de vigías permitirá controlar y prevenir este tipo de fenómenos a partir del control y avisó oportunidad a las autoridades competentes, sobre actividades de la población que puedan desencadenar un incendio de la cobertura vegetal.

4.4.7. ANEXOS

Los anexos que conforman el presente estudio sobre la zonificación de amenazas y riesgos para el Municipio de Soacha están conformados por los siguientes documentos:

Tabla 206. Listado de Anexos.

Listado de Anexos	
Anexo	**Descripción**
Anexo 1	Cálculo de la vulnerabilidad y el riesgo de incendios de la cobertura vegetal, como complemento al análisis de amenaza presentado en el capítulo 4 del presente documento y dando alcance a la "Memoria técnica: Mapa de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR".
Anexo 2	Fichas técnicas realizadas durante el trabajo de campo en la fase de construcción de la capa de coberturas de la tierra del Municipio.
Anexo 3	Archivo Excel con las coordenadas que describen cada uno de los polígonos que se encuentran en condición de amenaza por incendios de la cobertura vegetal en el municipio de Soacha.
Anexo 4	Archivo Excel con las coordenadas que describen cada uno de los polígonos que se encuentran en condición de riesgo por incendios de la cobertura vegetal en el municipio de Soacha.

4.4.7.1. ANEXO 1: VULNERABILIDAD Y RIESGO POR INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL

El presente estudio busca articular al componente de gestión del riesgo del plan de ordenamiento territorial – POT del municipio de Soacha el fenómeno de incendios de la cobertura vegetal; por tanto, es necesario dar alcance a lo establecido en el Decreto 1077 de 2015 en lo que respecta a la zonificación de las áreas que presentan amenaza baja, media y alta por fenómenos de incendios de la cobertura vegetal, así como las zonas que presentan condición de amenaza y condición de riesgo, junto con las respectivas medidas de prevención y mitigación que eviten en lo posible la ocurrencia de este tipo de eventos.

Por esta razón durante el desarrollo del presente documento se generó en primer lugar el mapa de susceptibilidad de la cobertura vegetal ante un incendio forestal, y posteriormente se generó la zonificación de amenazas por este fenómeno, dando alcance a lo establecido en la "Memoria técnica: Mapa de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR"; una vez obtenida la zonificación de amenaza, y dando alcance a lo establecido en el Decreto 1077 de 2015, que compilo al Decreto 1807 de 2014, se realizó el cálculo de las zonas con condición de amenaza y con condición del riesgo, y se definieron las respectivas medidas tendientes a su prevención y mitigación, cumpliendo de esta manera los lineamientos definidos por el Decreto mencionado para la revisión del fenómeno analizado por parte de la autoridad ambiental competente.

No obstante, para el presente estudio y, dado que se contaba con información que permitía dar alcance a la totalidad de la metodología en lo que respecta al cálculo de la vulnerabilidad y el riesgo, y teniendo en cuenta que su cálculo puede arrojar análisis adicionales a los obtenidos hasta este punto que pueden ser de gran utilidad para el Municipio, se decidió dar alcance en el presente Anexo a las dos variables restantes que se presentan en la guía metodológica; por esta razón, en la estructura principal del documento se presenta la susceptibilidad, la amenaza y el cálculo de las zonas con condición de amenaza y riesgo, y, evitando confusiones en la estructura del documento, se desarrollan en el presente Anexo la vulnerabilidad y el riesgo.

Dando alcance a la "Memoria técnica: Mapa de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR", para el cálculo de la vulnerabilidad total por este fenómeno se calcularán los mapas de vulnerabilidad poblacional, física, ecológica, territorial, infraestructura, económica, patrimonial e institucional, y posteriormente, haciendo uso de la vulnerabilidad obtenida y de la amenaza total, se obtendrá el riesgo por incendios de la cobertura vegetal; en la siguiente tabla se presentan las ponderaciones y las fórmulas que se deberán aplicar conforme lo indica la guía metodológica.

Tabla 207. Ecuaciones y pesos para el cálculo de la vulnerabilidad y el riesgo según metodología.

Cálculo de la vulnerabilidad y el riesgo		
Vulnerabilidad	Vulnerabilidad	VTotal = (VIT*0,05)+(VPT*0,20)+(VPB*0,31)+(VTT*0,20)+(VIN*0,06)+(VEC*0,18)
	Vulnerabilidad física	
	Vulnerabilidad	
	Vulnerabilidad	
	Vulnerabilidad	
	Vulnerabilidad	
	Vulnerabilidad	
	Vulnerabilidad	
Riesgo	Zonificación de riesgo	RiesgoTotal = (Amenaza TOTAL * Vulnerabilidad

Fuente: (IDEAM & CAR, 2014).

4.4.7.1.1. VULNERABILIDAD ANTE LA OCURRENCIA DE INCENDIOS DE LACOBERTURA VEGETAL

Conforme lo establece el Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno del Niño – CIIFEN, la vulnerabilidad hace referencia a las características y las circunstancias de una comunidad, sistema o infraestructura que los hacen susceptibles a los efectos dañinos de una amenaza (CIIFEN, 2020); El análisis de la vulnerabilidad para el fenómeno de incendios forestales del municipio de Soacha, busca identificar la predisposición de un elemento a ser afectado, a sufrir daño, y a encontrar dificultad de recuperarse; por tanto, corresponde a la probabilidad de una potencial afectación física, económica, política o social a la que se expone un territorio y los elementos que lo conforman de sufrir efectos adversos derivados, para el caso de este estudio, de incendios de la cobertura vegetal, sean estos de origen antrópico o natural (IDEAM & CAR, 2014).

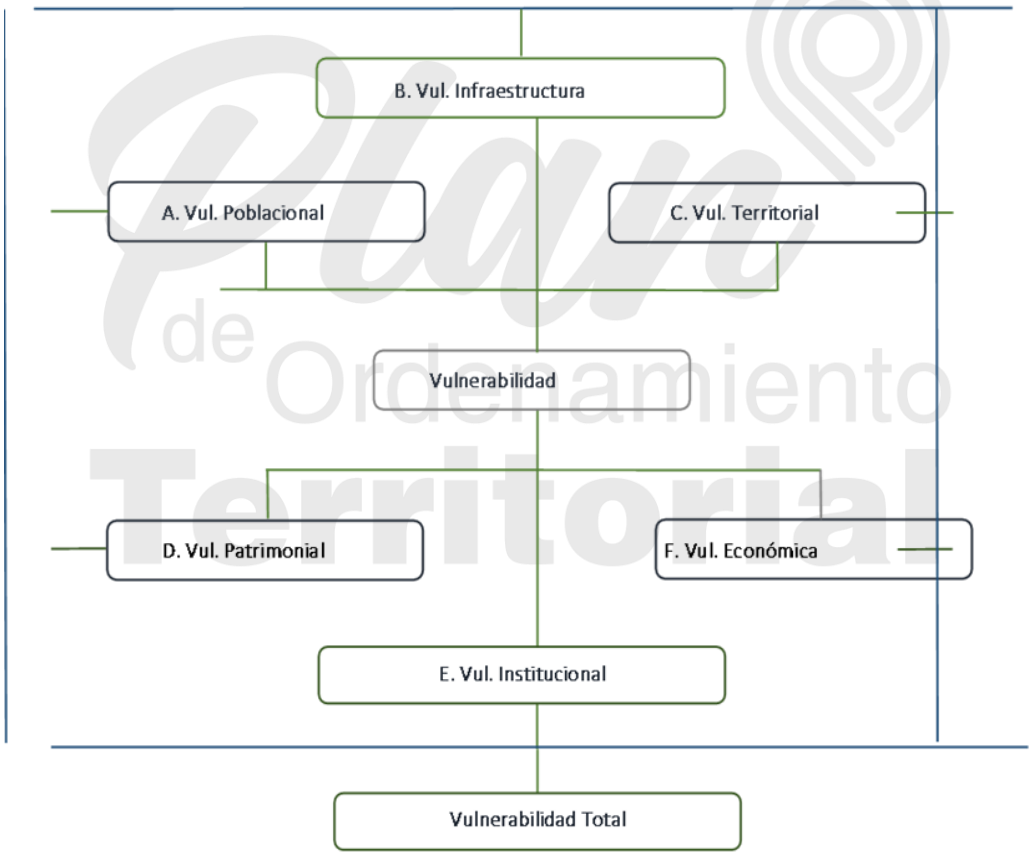


Figura 323. Factores implementados para el cálculo de la vulnerabilidad por incendios de la cobertura vegetal

Fuente: (IDEAM, 2015)

Para la identificación de la vulnerabilidad de la vegetación a un incendio de la cobertura vegetal se tendrán en cuenta seis (6) factores a saber: *i). Vulnerabilidad económica; ii). Vulnerabilidad de la infraestructura; iii). Vulnerabilidad institucional; iv). Vulnerabilidad patrimonial; v). Vulnerabilidad Poblacional; y vi). Vulnerabilidad Territorial.*

4.4.7.1.2. VULNERABILIDAD POBLACIONAL

Según lo establece la metodología (IDEAM & CAR, 2014), la vulnerabilidad de la población puede evaluarse a partir de uno de los siguientes indicadores: i). Colindancia, ii), Ocupación y/o iii). Dispersión; para el caso del presente documento se evaluará este tipo de vulnerabilidad mediante el análisis de ocupación, el cual se realiza a partir de la cantidad de habitantes por km2 de un área determinada, teniendo como base el promedio poblacional de la Corporación y a partir del cual la metodología establece los siguientes rangos de frecuencia:

Tabla 208. Categorización vulnerabilidad poblacional según metodología

Rangos de densidad poblacional	Rangos de población	Calificación	Categoría vulnerabilidad
Sin población	0	0	Sin riesgo
<1/2 del promedio de la corporación	<0,225	1	Muy baja
De ½ al promedio de la corporación	0,226 – 0,450	2	Baja
Promedio de la corporación	0,451 – 0,672	3	Moderada
Promedio de la corporación al doble de este	0,673 – 0,901	4	Alta
Al doble del promedio de la corporación	>0,901	5	Muy alta

Fuente: (IDEAM & CAR, 2014)

Conforme lo establece la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca en su página WEB, la población que tiene jurisdicción en su área es de 2'071.972 habitantes (CAR Cundinamarca, 2020); Teniendo en cuenta que su área abarca una superficie de 18.658 Km2 se puede establecer que el promedio de habitantes por kilómetro cuadrado (Km2) es de 111 Hab/km2; partiendo de este dato y teniendo en cuenta que, como se ha venido mencionando, los valores de categorización que se presentan en la metodología deben ser ajustados de tal manera que se puedan articular con las especificaciones técnicas del Decreto 1807 de 2014, compilado en el Decreto 1077 de 2015, en donde se estable que los resultados de las zonificaciones deben ser categorizados en tres (3) rangos (Alta, Media y Baja), se presenta a continuación la categorización ajustada en tres (3) rangos de frecuencia para la vulnerabilidad poblacional:

Tabla 209. Clasificación, calificación y categorización propuesta para la vulnerabilidad poblacional.

Definición de rangos y puntajes – Vulnerabilidad poblacional					
Densidad poblacional	**Rangos (Hab/Km2)**	**Categorización Metodología**		**Categorización Ajustada**	
		Calificación	**Categoría**	**Calificación**	**Categoría**
Sin Población / Sin Dato	0	0	Sin Riesgo	0	Sin Riesgo
<1/2 del promedio de la Corporación	0 a 56	1	Muy Baja	1	Baja
De ½ al promedio de la Corporación	57 a 111	2	Baja		
Promedio de la Corporación	112 a 167	3	Moderada	2	Media
Promedio de la Corporación al doble de este	168 a 222	4	Alta	3	Alta
Al doble del promedio de la Corporación y Superior	mayor a 222	5	Muy Alto		

Fuente: Siglo XXII SAS; Adaptado de: (IDEAM & CAR, 2014)

Una vez definidos los rangos que serán implementados para la definición de la vulnerabilidad poblacional se procede a estimar el promedio de Hab/km2 para la zona rural del Municipio de Soacha; para ello se tuvo en cuenta la población que registra el DANE según censo del año 2018 la cual equivale a 5.154 habitantes y el número de construcciones habitables identificadas para cada vereda según la restitución realizada a partir de imagen de drone, la cual asciende a 4.360 viviendas en suelo rural; la fórmula para determinar el número de habitantes por construcción habitable se presenta a continuación:

$$\boldsymbol{Hab.por\ Construcción} = \frac{Población\ Rural\ DANE\ 2018}{Número\ de\ Construcciones\ (Restitución)}$$

Aplicada la ecuación anterior fue posible estimar que el número de habitantes por construcción habitable es de 1,88 (≈2) personas; conocido este dato se procede a determinar la población total por vereda y posteriormente el promedio de habitantes por vereda:

Tabla 210. Estimación del promedio de habitantes/km2 para el municipio de Soacha

Promedio de habitantes / Km2				
Vereda	**Área (Km2)**	**Construcciones Habitables (Restitución)**	**Población por Vereda (Estimada)**	**Promedio Hab/Km2**
Panamá	12,86604	1329	1571,02	122,11
Fusunga	11,88691	331	391,28	32,92
Chacua	6,32913	584	690,35	109,08
Tinzuque	4,61016	205	242,33	52,56
San Jorge	11,22942	192	226,97	20,21

Promedio de habitantes / Km2				
Vereda	**Área (Km2)**	**Construcciones Habitables (Restitución)**	**Población por Vereda (Estimada)**	**Promedio Hab/Km2**
Hungría	9,8474	143	169,04	17,17
Alto del Cabra	12,27737	142	167,86	13,67
Romeral	16,20137	97	114,66	7,08
Alto de La Cruz	3,43239	92	108,75	31,68
El Charquito	15,71023	731	864,12	55,00
San Francisco	4,53455	209	247,06	54,48
Canoas	27,94587	87	102,84	3,68
Cascajal	2,77551	23	27,19	9,80
Bosatama	12,09951	195	230,51	19,05
Subtotal	**151,74586**	**4360**	**5154,00**	**548,49**

Fuente: Siglo XXII SAS

Conocido el promedio de habitantes/km2 para la zona rural del Municipio, se procede a calificar y categorizar cada una de las veredas según el valor obtenido y teniendo en cuenta los rangos definidos en la metodología y el ajuste realizado por el equipo consultor; una vez realizada la categorización y calificación se obtienen los siguientes valores para la vulnerabilidad poblacional:

Tabla 211. Vulnerabilidad poblacional para el municipio de Soacha

Áreas y Porcentajes – Vulnerabilidad Poblacional				
Clasificación	**Calificación**	**Categoría**	**Área (Hectáreas)**	**% Municipio**
Sin Población / Sin Dato	0	Sin Riesgo	3.162,177	17,25%
<1/2 del promedio de la Corporación / De 1/2 al promedio de la Corporación	1	Baja	13.887,983	75,74%
Promedio de la Corporación	2	Media	1.286,603	7,02%
Promedio de la Corporación al doble de este / Al doble del promedio de la Corporación y Superior	3	Alta	0,000	0,00%
	Total		18.336,763	100%

Fuente: Siglo XXII SAS

En cuanto a la distribución espacial de la vulnerabilidad poblacional, en la siguiente figura se presentan los resultados obtenidos:

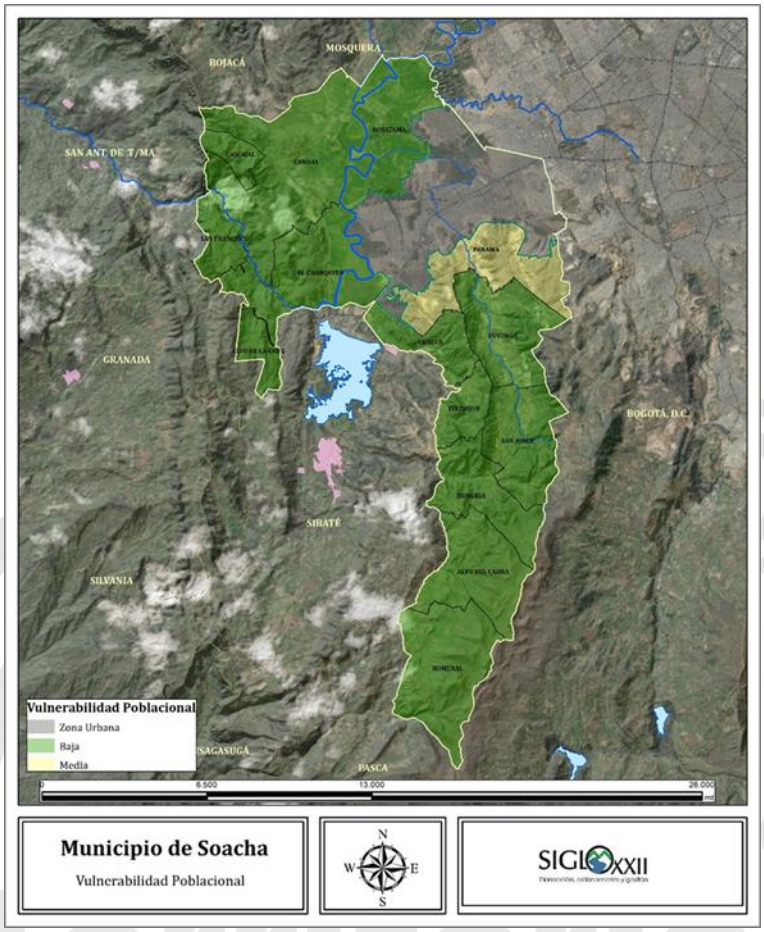


Figura 324. Vulnerabilidad poblacional
Fuente: Siglo XXII SAS

Los valores asignados a cada vereda para la construcción del mapa de vulnerabilidad poblacional se presentan en la siguiente tabla. Cabe mencionar que en relación al Casco Urbano Principal se asignó la calificación de cero (0) esto debido a que no se tiene consenso de la población total urbana, además de que, por su tamaño, densidad poblacional y el peso que tiene la variable dentro de la ecuación de vulnerabilidad total, esta puede actuar como un valor atípico que tendrá con seguridad un efecto desproporcionado en el resultado final del cálculo de la vulnerabilidad total para la zona urbana.

Tabla 212. Calificación y categorización por vereda para la vulnerabilidad poblacional.

Calificación por densidad poblacional			
Vereda	**Densidad Hab/Km2**	**Calificación Consultoría**	**Categoría Consultoría**
Panamá	122,11	2	Media

Calificación por densidad poblacional			
Vereda	**Densidad Hab/Km2**	**Calificación Consultoría**	**Categoría Consultoría**
Fusunga	32,92	1	Baja
Chacua	109,08	1	Baja
Tinzuque	52,56	1	Baja
San Jorge	20,21	1	Baja
Hungría	17,17	1	Baja
Alto del Cabra	13,67	1	Baja
Romeral	7,08	1	Baja
Alto de La Cruz	31,68	1	Baja
El Charquito	55,00	1	Baja
San Francisco	54,48	1	Baja
Canoas	3,68	1	Baja
Cascajal	9,80	1	Baja
Bosatama	19,05	1	Baja
Zona Urbana	--	0	Alta

Fuente: Siglo XXII SAS

Como se mencionó en la sección 1.1.2.1. Distribución de las viviendas rurales en el municipio de Soacha este insumo fue realizado debido a la necesidad de conocer la distribución espacial de las infraestructuras en el territorio municipal, para así determinar su vulnerabilidad ante un fenómeno asociado con incendios de la cobertura vegetal; igualmente, su elaboración se hizo necesaria para estimar la información de población por vereda, dato con el que no se contaba y que fue necesario estimarlo.

4.4.7.1.2.1. VULNERABILIDAD ECONÓMICA

La vulnerabilidad económica se expresa como las áreas de importancia en la producción de bienes y servicios que pudiesen ser afectadas en mayor o menor grado por la incidencia de incendios de la cobertura vegetal (áreas de producción agrícola, ganadera, forestal, minera, etc.) (IDEAM, 2015); para su elaboración fue implementado el mapa de coberturas de la tierra y posteriormente se asignaron los respectivos puntajes y categorías dando alcance a los rangos establecidos en la "Memoria Técnica: Mapa para zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca "- CAR; posteriormente estos rangos fueron ajustados en tres (3) categorías de manera que, al realizar el cálculo de la vulnerabilidad total, y posteriormente esta se cruce con la amenaza total para la obtención del riesgo, las capas tengan los mismos niveles de frecuencia y no se generen inconsistencias cartográficas; a continuación se presenta la categorización y calificación para la vulnerabilidad económica:

Tabla 213. Definición de rangos y puntajes – Vulnerabilidad económica

Definición de rangos y puntajes – Vulnerabilidad Económica				
Clasificación	**Categorización Metodología (IDEAM & CAR, 2014)**		**Categorización Ajustada**	
	Calificación	**Categoría**	**Calificación**	**Categoría**
Zonas agrícolas y ganaderas	5	Muy alta	3	Alta

Definición de rangos y puntajes – Vulnerabilidad Económica				
Clasificación	**Categorización Metodología (IDEAM & CAR, 2014)**		**Categorización Ajustada**	
	Calificación	**Categoría**	**Calificación**	**Categoría**
Zonas forestales y de cultivos arbóreos	4	Alta		
Zonas mineras, industriales y comerciales	3	Moderada	2	Media
Zonas naturales y de conservación	2	Baja	1	Baja
Zonas urbanas, cuerpos de agua y otros	1	Muy baja		

Fuente: Adaptado de (IDEAM & CAR, 2014); Elaboró: Siglo XXII SAS.

La espacialización de la vulnerabilidad económica para el municipio de Soacha es presentada en la siguiente figura:

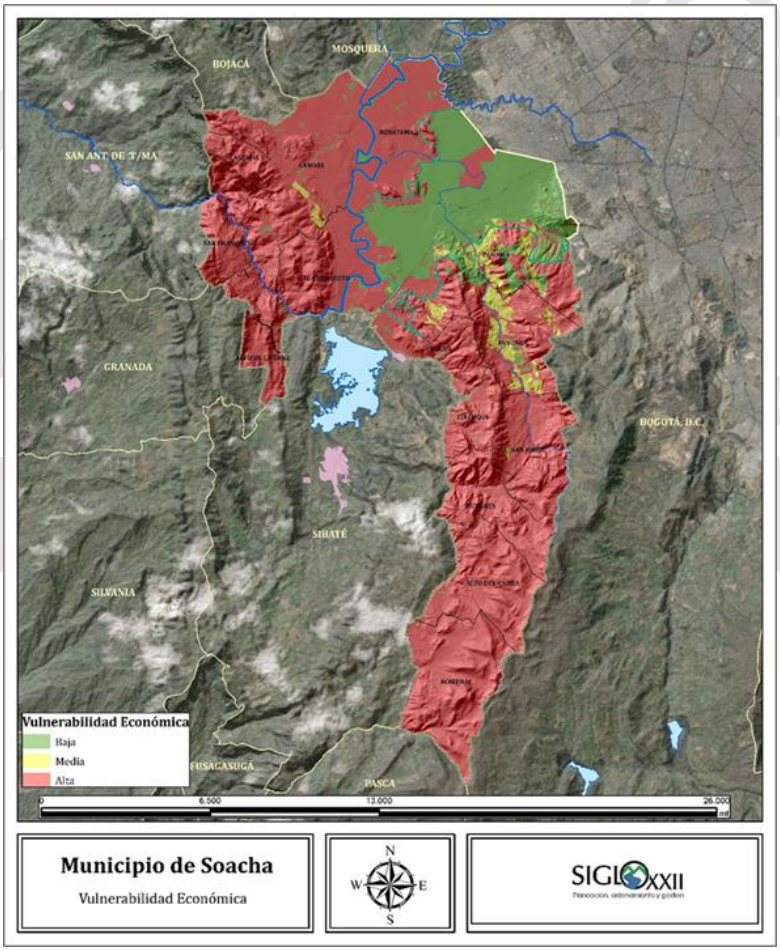


Figura 325. Vulnerabilidad Económica

Fuente: Siglo XXII SAS

A partir de los resultados obtenidos para esta vulnerabilidad fue posible establecer que el 78,36% del municipio que equivale a un área de 14.368,05 hectáreas, presenta alta vulnerabilidad económica, esto debido a que una gran parte de las actividades económicas que se presentan en el Municipio están relacionadas con las actividades agrícolas y ganaderas, y según la metodología, las coberturas asociadas a este tipo de actividades, resultan ser altamente susceptibles ante eventos asociados con fenómenos de la cobertura vegetal.

Tabla 214. Áreas y porcentajes obtenidos para la vulnerabilidad económica.

Áreas y Porcentajes – Vulnerabilidad Económica				
Clasificación	**Calificación**	**Categoría**	**Área (Hectáreas)**	**% Municipio**
Zonas agrícolas y ganaderas / Zonas forestales y de cultivos arbóreos	3	Alta	14.368,046	78,36%
Zonas mineras, industriales y comerciales	2	Media	611,920	3,34%
Zonas naturales y de conservación / zonas urbanas, cuerpos de agua y otros	1	Baja	3.356,798	18,31%
	Total		18.336,763	100%

Fuente: Siglo XXII SAS

Se observa que las zonas que presentan vulnerabilidad baja y media por este tipo de fenómenos, las cuales abarcan una superficie de 3.356,80 hectáreas y 611,92 hectáreas, respectivamente, corresponden a zonas en las que se localizan actividades cuya dinámica no se vería seriamente afectada en caso de que se presentara un incendio de la cobertura vegetal, toda vez que su superficie se encuentra desprovista de coberturas que sean combustibles en caso de presentarse un evento de este tipo. Las zonas en donde se localizan las vulnerabilidades medias y bajas se localizan en las veredas Fusunga, Panamá y Chacua, en donde funcionan las zonas de extracción de materiales para construcción, y en la zona urbana.

4.4.7.1.2.2. VULNERABILIDAD DE LA INFRAESTRUCTURA

Este componente evalúa la vulnerabilidad de edificaciones e infraestructuras y otros elementos pertenecientes al sistema de servicios públicos, sistema vial, equipamientos y demás infraestructuras que pueden ser afectadas en mayor o menor grado ante la ocurrencia de un incendio de la cobertura vegetal (IDEAM, 2015).

Para el cálculo de la vulnerabilidad de la infraestructura se implementaron las construcciones rurales, restituidas para todo el Municipio a partir de una la imagen de muy alta resolución, complementada a partir del uso de imágenes satelitales de alta resolución; cabe resaltar que esta capa cartográfica contiene todas las construcciones, habitables y no habitables del Municipio, por tanto, su implementación garantiza tener en cuenta no solamente construcciones relacionadas con equipamientos, sino también todas aquellas que se puedan ver afectadas por un incendio de la cobertura vegetal a nivel de su infraestructura, o que ponga en riesgo la integridad física de las personas. De igual manera se implementó la capa de vías rurales de primer, segundo y tercer

orden, ajustadas en escala a partir de la restitución de la imagen de drone para todo el Municipio y teniendo como base la capa de vías del IGAC; además se tuvieron en cuenta las vías arteriales urbanas y las vías conectoras urbano – rurales; finalmente fue utilizada información relacionada con infraestructura de servicios públicos que fue proporcionada por el Municipio de Soacha en donde se espacializan redes eléctricas, subestaciones eléctricas, tanques de almacenamiento y plantas de tratamiento de agua potable.

Una vez han sido espacializadas las infraestructuras que pueden verse afectadas ante la ocurrencia de un incendio forestal, la guía establece que se deben generar buffers o radios de vulnerabilidad, a partir de los cuales se evalúa la susceptibilidad de las infraestructuras respecto a cuanto más cerca se pueda presentar el incendio; de esta manera fueron asignados los respectivos puntajes y categorías dando alcance a los rangos establecidos en la "Memoria Técnica: Mapa para zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca "- CAR; posteriormente estos rangos fueron ajustados en tres (3) categorías de manera que, al realizar el cálculo de la vulnerabilidad total, y posteriormente esta se cruce con la amenaza total para la obtención del riesgo, las capas tengan los mismos niveles de frecuencia y no se generen inconsistencias cartográficas; a continuación se presenta la categorización y calificación para la vulnerabilidad de la infraestructura:

Tabla 215. Definición de rangos y puntajes – Vulnerabilidad de la infraestructura

Definición de rangos y puntajes – Vulnerabilidad Infraestructura				
Distancia Infraestructura (Metros)	**Categorización Metodología (IDEAM & CAR, 2014)**		**Categorización Ajustada**	
	Calificación	**Categoría**	**Calificación**	**Categoría**
0 – 500	5	Muy alta	3	Alta
500 – 1000	4	Alta		
1000 – 1500	3	Moderada	2	Media
1500 – 2000	2	Baja	1	Baja
>2000	1	Muy baja		

Fuente: Adaptado de (IDEAM & CAR, 2014); Elaboró: Siglo XXII SAS.

Generado el mapa de vulnerabilidad de las infraestructuras ante un incendio de la cobertura vegetal fue posible establecer que un área de 13.427,10 hectáreas, equivalente al 73,23% del territorio presenta vulnerabilidad alta, un 2,85% (522,84 hectáreas) presenta vulnerabilidad media, y un 23,92% (4.386,824 hectáreas) presenta vulnerabilidad baja.

Tabla 216. Áreas y porcentajes obtenidos para la vulnerabilidad de la infraestructura.

Áreas y Porcentajes – Vulnerabilidad Infraestructura				
Distancia Infraestructura (Metros)	**Calificación**	**Categoría**	**Área (Hectáreas)**	**% Municipio**
Menor a 1.000	3	Alta	13.427,100	73,23%
1.000 a 1.500	2	Media	522,839	2,85%
Mayor a 1.500	1	Baja	4.386,824	23,92%
	Total		18.336,763	100%

Fuente: Siglo XXII SAS

La distribución de la vulnerabilidad alta el territorio tiene que ver con los buffers que asigna la metodología a cada una de las infraestructuras, los cuales son generosos, y debido a que fueron consideradas todas las construcciones presentes en el territorio, lo cual como se presenta en el mapa de vulnerabilidad de la infraestructura, deriva en que gran parte del territorio presente este tipo de vulnerabilidad. En relación con la vulnerabilidad media y baja por este tipo de variable se encontró que esta se presenta hacia la zona suroriental del Municipio, en las veredas Romeral, Alto del Cabra y Hungría, en las zonas de páramo del Municipio, en donde la falta de infraestructura vial y su topografía escarpada y muy escarpada, y las bajas temperaturas, han contribuido en que no se presenten desarrollos antrópicos en estas zonas. En la siguiente figura se presenta la distribución de la vulnerabilidad de la infraestructura en el Municipio de Soacha:

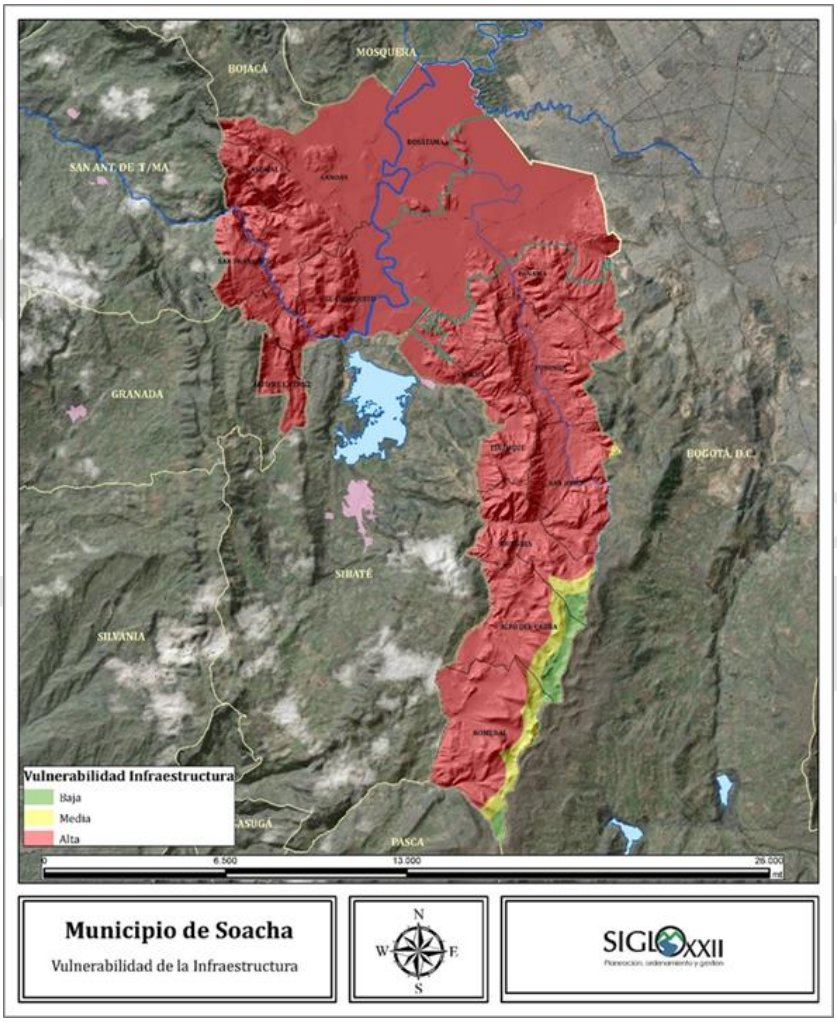


Figura 326. Vulnerabilidad de las infraestructuras

Fuente: Siglo XXII SAS

4.4.7.1.2.3. VULNERABILIDAD INSTITUCIONAL

La vulnerabilidad institucional analiza las debilidades institucionales para la atención de contingencias en incendios de la cobertura vegetal, las cuales pueden relacionarse con la falta de organización y eficiencia de las instituciones a cargo de la gestión del riesgo, respecto a la deficiente cobertura de organismos de control y asistencia de desastres, así como por la falta de dotación de equipos especializados para la atención de emergencia; para el análisis de esta vulnerabilidad se consideran los tiempos de desplazamiento desde las zonas en donde se localizan infraestructuras que pueden atender una emergencia relacionada con este fenómeno (Bomberos, Defensa Civil, Policía, Hospitales, etc.), hasta las zonas que presentan mayor amenaza, mediante la generación de isócronas (IDEAM, 2015).

Para la elaboración de la vulnerabilidad institucional, y teniendo en cuenta lo mencionado en la guía metodológica (IDEAM & CAR, 2014), se realizó un análisis de isócronas o áreas de tiempo de desplazamiento; mediante dicho análisis se evaluó el tiempo necesario requerido para desplazarse desde una infraestructura que puede prestar apoyo a un evento relacionado con el fenómeno de incendios de la cobertura vegetal, hasta una zona en donde según el mapa de amenaza total de la vegetación, existe amenaza media o alta para que se presente un evento de este tipo.

Para este análisis fue necesaria la identificación y espacialización de las infraestructuras con jurisdicción en el Municipio de Soacha que, en caso de presentarse un incendio de la cobertura vegetal, pueden prestar algún tipo de apoyo, bien sea mediante disposición de recurso humano, maquinaría, toma de decisiones, etc, que permita ayudar a controlar y consecuentemente detener el incendio forestal; a continuación, se presenta el listado de entidades identificadas en el Municipio:

Tabla 217. Listado de infraestructuras para la atención de riesgos y desastres en el municipio de Soacha.

Entidad	Dirección	Localización	
		Nortes	Estes
Despacho Alcalde	Calle 13 No. 7 – 30 Piso 5	998438,675	984289,587
Inspección Primera Municipal de Policía.	Calle 26 Sur No. 12C - 20	997193,609	982059,719
Inspección Segunda Municipal de Policía.	Carrera 8 No. 17-37 Barrio Lincoln	998695,454	985128,67
Inspección Tercera Municipal de Policía.	Calle 48 No. 8-45 León XIII	999753,841	987120,487
Inspección Cuarta Municipal de Policía.	Carrera 3 No. 59-08 Cazucá	999775,334	988117,747
Inspección Quinta Municipal de Policía – Comando Especial de Policía.	Autopista Sur No. 34-70 Casa de la Justicia Comuna 5	999352,159	986920,364

Entidad	Dirección	Localización	
		Nortes	Estes
Inspección Sexta Municipal de Policía.	Carrera 1ª Este No. 16-20 Triunfo	997665,495	984871,642
Comando de Atención Inmediata – CAI Hogares	Calle 9ª No. 17D-31	999407,395	983464,471
Comando de Atención Inmediata – CAI San Mateo	Calle 30ª Bis con Carrera 6F Este	998204,646	986255,607
Comando de Atención Inmediata – CAI El Arroyo	Calle 37 # 18b Sur - 05	997930,16	987935,182
Comando de Atención Inmediata – CAI Tres Reyes	Carrera 77C con Transversal 13 Este	998869,838	988548,405
Comando de Atención Inmediata – CAI Ciudad Verde	Carrera 33 con Calle 37	1001201,86	984794,186
Estación de Policía Cazucá	Carrera 17 Este No. 48-23	998738,49	987840,82
Estación de Policía Compartir	Carrera 13 No. 9C Sur - 12	996584,073	982254,458
Estación de Policía Cazucá – Ciudadela Sucre	Carrera 45 Este con Calle 38	996762,557	987910,704
Estación de Policía Ciudad Verde	Avenida Tierra Negra (Carrera 36) con Calle 17	1001075,99	984216,37
Gestión Municipal del Riesgo y Desastres	Calle 13 No. 7 – 30 Piso 3	998438,675	984289,587
Secretaria de Salud	Carrera 1 No. 12 F-05 San Marcos	997766,566	984668,046
Bomberos Voluntarios de Soacha	Carrera 12G No. 11C-02	997262,317	982391,405
Bomberos Oficiales de Soacha	Calle 22 No. 9-01	998828,03	984984,021
Defensa Civil (Compartir)	Calle 26 Sur entre carreras 13 H y 13 G Compartir Soacha	997277,979	982021,418
Defensa Civil	Carrera 7 No. 32-35 Centro Comercial Mercurio 1 piso	999173,671	985915,949
Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses	Carrera 6 No. 15-96 Barrio San Luis	998328,864	984600,681
Fiscalía General de La Nación - Sede Soacha	Calle 13 No 4ª-11	998147,523	984354,421
Unidad de Reacción Inmediata - URI	Calle 11 No. 6-70 Piso 2	998307,109	984076,597

Entidad	Dirección	Localización	
		Nortes	Estes
Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – Sede Soacha	Transversal 7F No. 26-38 Barrio El Nogal	998789,098	985406,519
Hospital Mario Gaitán Yanguas	Calle 13 No. 10-85	998797,001	984230,021
Hospital Cardiovascular de Soacha	Carrera 4 Este No. 31-88 San Mateo	998475,831	986363,757
Base Militar FAGECOR	Carrera 7 No. 22ª - 01	998350,514	981435,531
Distrito Militar No. 59 de Soacha	Calle 19 No. 5-25	998459,395	984848,360
Cruz Roja Colombiana - Soacha	Carrera 7ª No. 17-43	998548,88	984695,5

Fuente: Alcaldía de Soacha y Otros

Además de las infraestructuras mencionadas en la tabla anterior, se implementó la cartografía de vías urbanas que permiten la conexión con la zona rural, y la cartografía de vías rurales; cabe resaltar que la cartografía del sistema vial fue elaborada teniendo como base la cartografía del IGAC, y restituida a escala 1:1.000 para todo el territorio de Soacha a partir de la imagen de drone que fue proporcionada para el Municipio, por lo que su nivel de precisión se ajusta a las necesidades del análisis de isócronas.

Teniendo en cuenta que es necesario determinar un parámetro de velocidad media de desplazamiento, simulando la velocidad a la que se desplazaría un vehículo por una vía rural hasta llegar a determinada zona del Municipio en donde se presenta un incendio de la cobertura vegetal, se definieron los siguientes parámetros de velocidad:

Tabla 218. Velocidad media de desplazamiento propuesta para un vehículo que se desplaza hacia determinada zona

Velocidad Promedio de Desplazamiento	
Tipo	**Velocidad Promedio (Km/h)**
Vías Arteriales Urbanas	80 Km/h
Conectores Urbano - Rurales	60 Km/h
Vías de Primer Orden	80 Km/h
Vías de Segundo Orden	50 Km/h
Vías de Tercer Orden	40 Km/h

Fuente: Siglo XXII SAS

Una vez definida la velocidad media de desplazamiento, y obtenida la longitud de cada una de las vías, se procede a calcular en la tabla de atributos de la capa cartográfica de vías el tiempo de

desplazamiento, para ello se hará uso de la siguiente ecuación, la cual permite obtener una conversión en términos de tiempo:

$$Tiempo\ de\ Desplazamiento = 0{,}06 * \frac{Distancia}{Velocidad}$$

Calculados estos valores dentro de la tabla de atributos de la capa de vías se procede a realizar el análisis espacial de isócronas, para ello se hace uso de la herramienta de geoprocesamiento denominada "New Network Dataset", la cual permitió realizar el análisis de relación espacial entre las instituciones en el Municipio que pueden prestar atención ante la ocurrencia de un incendio forestal y los tiempos de desplazamiento desde cada una de estas instituciones hasta una determinada zona del Municipio. Dado que la metodología hace alusión a la importancia de generar estas isócronas, pero no menciona los rangos de tolerancia definidos, estos rangos fueron propuestos a partir de la experticia del equipo técnico, tal como se presenta a continuación:

Tabla 219. Definición de categorías frente a la respuesta en tiempo de organismos de atención de riesgos y desastres.

Categoría	Tiempo de Recorrido (Minutos)
Baja	Menor a 10
Media	10 a 20
Alta	Mayor a 20

Fuente: Siglo XXII SAS

Una vez han sido obtenidas las isócronas se procede a la generación del mapa de vulnerabilidad definitivo, para ello, y mediante el uso de herramientas de geoprocesamiento, se cruza el resultado obtenido del análisis de isócronas con el de la amenaza total por incendios forestales, esto con el ánimo de identificar la relación espacial que existe entre el tiempo de desplazamiento de una institución que pueda prestar atención frente a un fenómeno de incendio de la cobertura vegetal, y la zona hasta en donde se puede presentar dicho fenómeno; Una vez realizado el cruce entre las isócronas y la amenaza se asignan los respectivos puntajes y categorías dando alcance a los rangos establecidos en la "Memoria Técnica: Mapa para zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca "- CAR; posteriormente estos rangos son ajustados en tres (3) categorías de manera que, al realizar el cálculo de la vulnerabilidad total, y posteriormente esta se cruce con la amenaza total para la obtención del riesgo, las capas tengan los mismos niveles de frecuencia y no se generen inconsistencias cartográficas; a continuación se presenta la categorización y calificación para la vulnerabilidad institucional:

Tabla 220. Definición de rangos y puntajes – Vulnerabilidad Institucional

Definición de rangos y puntajes – Vulnerabilidad Institucional				
Rangos Ponderación	Categorización Metodología (IDEAM & CAR, 2014)		Categorización Ajustada	
	Calificación	Categoría	Calificación	Categoría
0 a 0,20	1	Muy Baja	1	Baja
0,21 a 0,40	2	Baja		

Definición de rangos y puntajes – Vulnerabilidad Institucional				
Rangos Ponderación	**Categorización Metodología (IDEAM & CAR, 2014)**		**Categorización Ajustada**	
	Calificación	**Categoría**	**Calificación**	**Categoría**
0,41 a 0,60	3	Moderada	2	Media
0,61 a 0,80	4	Alta	3	Alta
0,81 a 1,00	5	Muy Alta		

Fuente: Adaptado de (IDEAM & CAR, 2014); Elaboró: Siglo XXII SAS.

Generada la calificación y categorización de la información se obtiene el mapa de vulnerabilidad institucional por incendios de la cobertura vegetal; su espacialización se presenta en la siguiente figura:

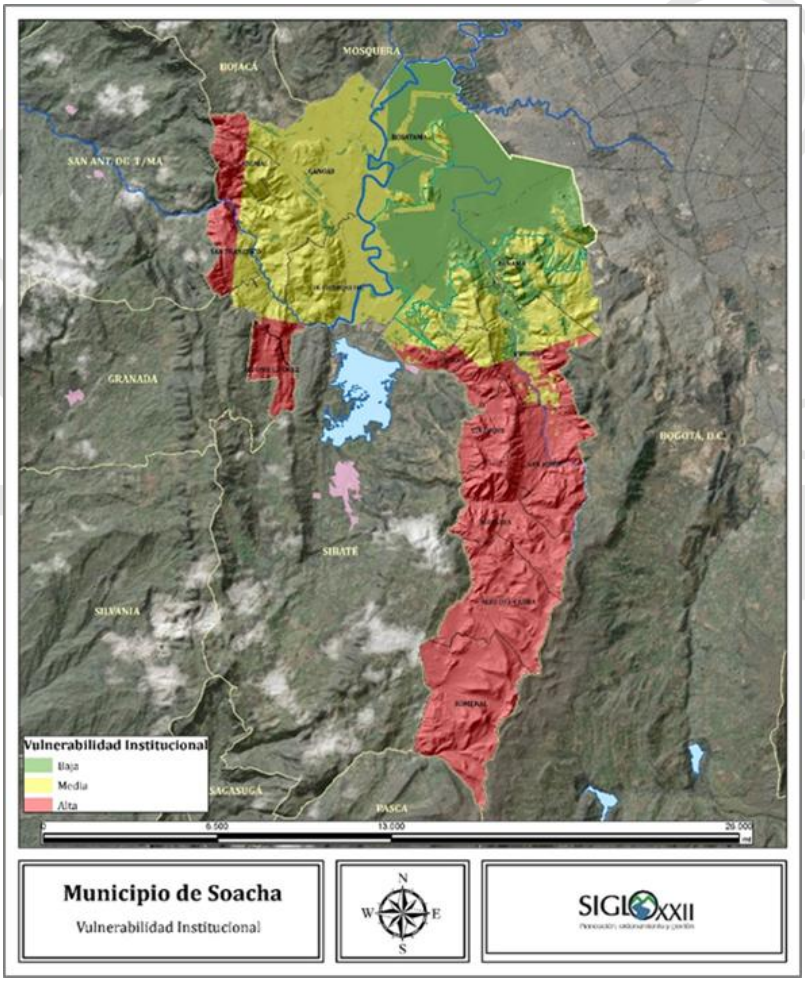


Figura 327. Vulnerabilidad institucional

Fuente: Siglo XXII SAS

El mapa de vulnerabilidad institucional permite identificar que un área de 4.522,55 hectáreas, equivalente al 24,66% del territorio, presenta vulnerabilidad institucional baja, mientras que un área de 6.480,40 hectáreas (35,34%) presenta vulnerabilidad media; en relación con la vulnerabilidad alta por este tipo de variable se encontró que el 40% del territorio se encuentra en esta categoría de vulnerabilidad.

Tabla 221. Áreas y porcentajes obtenidas para la vulnerabilidad institucional

Áreas y Porcentajes – Vulnerabilidad Institucional				
Clasificación	**Calificación**	**Categoría**	**Área (Hectáreas)**	**% Municipio**
0 a 0,40	1	Baja	4.522,549	24,66%
0,41 a 0,60	2	Media	6.480,397	35,34%
0,61 a 1	3	Alta	7.333,817	40,00%
	Total		18.336,763	100%

Fuente: Siglo XXII SAS

Se encuentra que la vulnerabilidad institucional en el Municipio es menor hacia la zona norte y va aumentando conforme se avanza hacia la zona sur desde las veredas Chacua, Tinzuque y Fusunga, igual sucede hacia la zona noroccidental del Municipio; esto se debe a que la totalidad de las infraestructuras que pueden prestar atención ante la ocurrencia de un incendio forestal se encuentran localizadas en la zona urbana, por lo que el tiempo de respuesta ante un evento de este tipo dependerá de la distancia a la que se presente el evento en relación con el Casco Urbano Principal.

4.4.7.1.2.4. VULNERABILIDAD PATRIMONIAL

Evalúa la fragilidad de las áreas de importancia patrimonial, tanto natural (Parques nacionales, reservas forestales, áreas de páramo, cuencas abastecedoras, etc.), como de importancia histórica, artística, cultural o religiosa (parques arqueológicos, monumentos, haciendas, iglesias, etc.), ante la ocurrencia de un incendio de la cobertura vegetal (IDEAM, 2015).

Para el caso del patrimonio ambiental se tuvieron en cuenta las zonas con jurisdicción en el Municipio conformadas por el páramo Cruz Verde – Sumapaz, la Reserva Forestal Protectora Productora de la Cuenca Alta del Río Bogotá, el Distrito de Manejo Integrado que se localiza hacia la zona noroccidental de Soacha, el sistema de humedales, las microcuencas abastecedoras, la ronda de protección del Río Bogotá declarada mediante Acuerdo 017 de 2009, la zona de protección de transición entre el suelo urbano y rural y el sistema de cerros de protección del Municipio; identificadas estas zonas y teniendo en cuenta que estas áreas deben contar con una zona de amortiguación que reduzca la presión antrópica sobre ellas, se estableció un buffer de 200 metros que se categorizó como de bajo valor patrimonial y otro de 100 metros categorizado

como medio valor patrimonial, no se tienen en cuenta buffer para alto valor patrimonial porque el propio polígono del patrimonio ambiental lo constituye.

En relación con el patrimonio histórico y cultural, fue proporcionada por el Municipio la cartografía en donde se espacializan todas las zonas pertenecientes a estas categorías, las cuales están conformadas por 26 zonas que hacen parte del patrimonio histórico y 129 zonas que hacen parte del patrimonio cultural, se resalta la gestión del Municipio en cuanto a la identificación de su patrimonio; dado que la información espacial referente al patrimonio cultural corresponde a una nube de puntos, fueron establecidas áreas de influencia para las zonas con presencia de patrimonio histórico y cultural; para el caso se definió un buffer de 300 metros para la categoría bajo valor patrimonial, 200 metros para medio valor patrimonial y 100 metros para alto valor patrimonial.

Definidas las áreas que conforman el patrimonio ambiental y cultural del Municipio, se asignan los respectivos puntajes y categorías dando alcance a los rangos establecidos en la "Memoria Técnica: Mapa para zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca "- CAR; posteriormente estos rangos son ajustados en tres (3) categorías de manera que, al realizar el cálculo de la vulnerabilidad total, y posteriormente esta se cruce con la amenaza total para la obtención del riesgo, las capas tengan los mismos niveles de frecuencia y no se generen inconsistencias cartográficas; a continuación se presenta la categorización y calificación para la vulnerabilidad patrimonial:

Tabla 222. Definición de rangos y puntajes – Vulnerabilidad Patrimonial

Definición de rangos y puntajes – Vulnerabilidad Patrimonial				
Clasificación	**Categorización Metodología (IDEAM & CAR, 2014)**		**Categorización Ajustada**	
	Calificación	**Categoría**	**Calificación**	**Categoría**
Sin Valor patrimonial	1	Muy Baja	1	Baja
Bajo valor patrimonial	2	Baja		
Medio Valor patrimonial	3	Moderada	2	Media
Alto Valor patrimonial	4	Alta	3	Alta

Fuente: Adaptado de (IDEAM & CAR, 2014); Elaboró: Siglo XXII SAS.

Realizada la categorización y calificación de la información se obtuvo el mapa de vulnerabilidad patrimonial; a continuación, se presenta su distribución espacial en el Municipio:

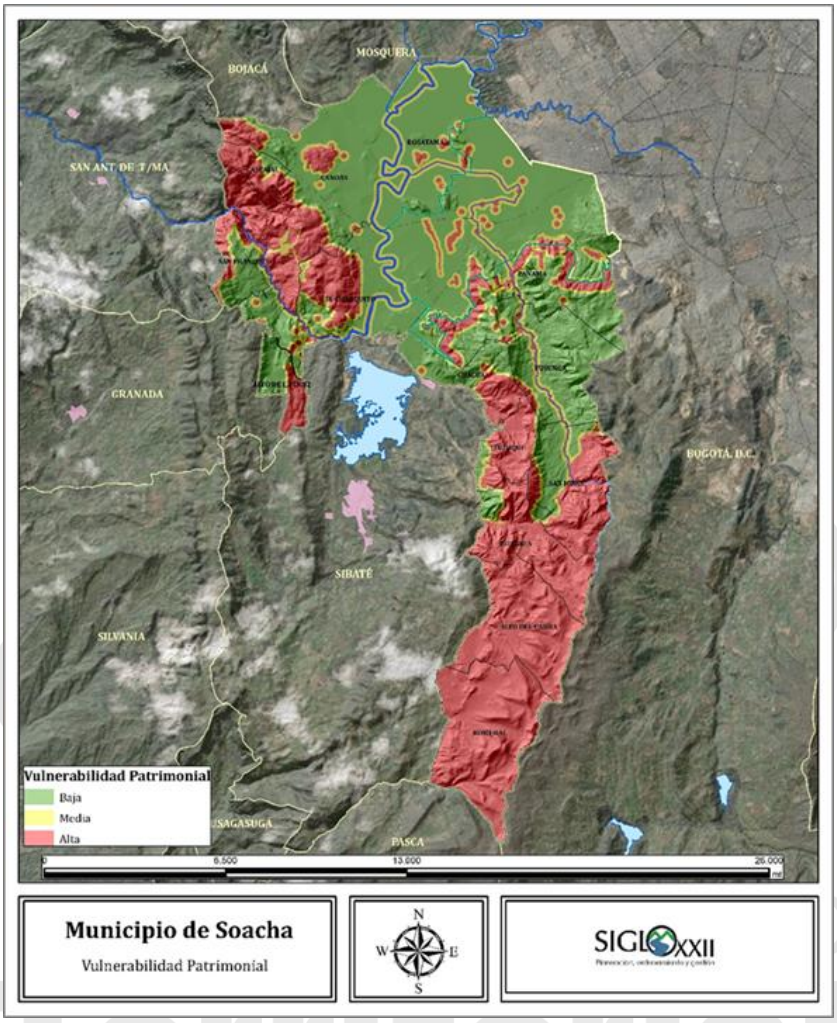


Figura 328. Vulnerabilidad patrimonial

Fuente: Siglo XXII SAS

El mapa de vulnerabilidad patrimonial permite identificar que un área de 8.201,22 hectáreas, equivalente al 44,73% del territorio, esta categorizada como zonas sin o con bajo valor patrimonial, por lo que su presentan vulnerabilidad baja por esta variable; por su parte el 11,63% del territorio (2.132,12 hectáreas) presenta vulnerabilidad patrimonial media.

En relación con la vulnerabilidad alta, que se presenta hacia la zona sur del Municipio, en las veredas Romeral, Alto del Cabra, Hungría, San Jorge y Tinzuque, hacia la zona noroccidental en las veredas Cascajal, Canoas, San Francisco, El Charquito y Alto de La Cruz, hacia la zona norte del territorio en la vereda Bosatama, y hacia la zona oriental del Casco Urbano Principal, en límites con las veredas Chacua y Panamá, así como en su interior, se encuentra que esta categoría abarca una extensión de 8.003,42 hectáreas que equivalen al 43,65% del territorio.

Tabla 223. Áreas y porcentajes obtenidas para la vulnerabilidad patrimonial.

Áreas y Porcentajes – Vulnerabilidad Patrimonial				
Clasificación	**Calificación**	**Categoría**	**Área (Hectáreas)**	**% Municipio**
Sin Valor patrimonial / Bajo valor patrimonial	1	Baja	8.201,224	44,73%
Medio Valor patrimonial	2	Media	2.132,120	11,63%
Alto Valor patrimonial	3	Alta	8.003,419	43,65%
	Total		18.336,763	100%

Fuente: Siglo XXII SAS

4.4.7.1.2.5. VULNERABILIDAD TERRITORIAL

Se entiende como los cambios físicos del suelo ocasionados por factores naturales y antrópicos, estos últimos asociados a las dinámicas de los asentamientos humanos y las dinámicas socioeconómicas que degradan el territorio o el paisaje, así como las características del medio ambiente natural, que disminuyen su nivel de protección frente a las amenazas a que están expuestos (IDEAM, 2015). Conforme lo establece la propuesta metodológica, la vulnerabilidad territorial será el resultado de la suma ponderada de dos componentes: *i). Componente Físico y ii). Componente Ecológico.*

4.4.7.1.2.5.1. VULNERABILIDAD FÍSICA

Evaluada a partir de la consideración de los conflictos de uso del suelo, que pueden potencializar la gravedad de una amenaza presente en el territorio; se realiza mediante la categorización y clasificación del peso que un conflicto de uso del suelo tiene para que un área determinada sea más o menos vulnerable a las amenazas presentes en el entorno. Esta clasificación se realiza sobre el mapa de conflictos de uso del suelo y se califica mediante consulta a personas que conozcan las dinámicas y problemáticas a nivel del uso del suelo en el territorio (IDEAM, 2015).

Para el mapa de vulnerabilidad física fue consultada la capa de conflictos de uso del suelo disponible para descarga en formato shapefile en la subdirección de Agrología del Instituto Geográfico Agustín Codazzi18 , una vez evaluada la información disponible en esta entidad se encontró que la escala a la que se elaboró es muy pequeña por lo que algunos aspectos no representan adecuadamente la realidad del territorio, de igual manera se identificó que debido a las fuertes dinámicas que se presentan en el Municipio, varias de las zonas del territorio ya presentan condiciones diferentes por lo que parte de la información de la capa de conflictos del

[18] Datos abiertos IGAC – Subdirección de Agrología: https://geoportal.igac.gov.co/contenido/datos-abiertos-agrologia

uso del suelo del IGAC para el Municipio de Soacha se encuentra desactualizada; esta situación motivo el ajuste de este insumo a nivel de escala y temporalidad, para lo que se implementó el mapa de coberturas de la tierra elaborado para el Municipio de Soacha, las zonas de reserva definidas por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo sostenible, y la cartografía de usos del suelo del plan de ordenamiento territorial del Municipio.

Definidas las áreas en las que se identificaron compatibilidades e incompatibilidades a nivel de usos del suelo, se asignan los respectivos puntajes y categorías dando alcance a los rangos establecidos en la "Memoria Técnica: Mapa para zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca "- CAR; posteriormente estos rangos fueron ajustados en tres (3) categorías de manera que, al realizar el cálculo de la vulnerabilidad total, y posteriormente esta se cruce con la amenaza total para la obtención del riesgo, las capas tengan los mismos niveles de frecuencia y no se generen inconsistencias cartográficas; a continuación se presenta la categorización y calificación para la vulnerabilidad física:

Tabla 224. Definición de rangos y puntajes para la vulnerabilidad física

Definición de rangos y puntajes – Vulnerabilidad Física				
Influencia del Fuego en los Sistemas	**Categorización Metodología (IDEAM & CAR, 2014)**		**Categorización Ajustada**	
	Calificación	**Categoría**	**Calificación**	**Categoría**
Uso Adecuado	1	Baja	1	Baja
Subutilización	2	Moderada	2	Media
Sobreutilización	3	Alta	3	Alta
Conflictos en Tierras de régimen jurídico especial	4	Muy Alta		

Fuente: Adaptado de (IDEAM & CAR, 2014); Elaboró: Siglo XXII SAS.

El análisis de la vulnerabilidad física permitió determinar que en el 61,24% del territorio, esto es 11.228,61 hectáreas, se identifican usos adecuados del suelo; por otra parte, fue posible establecer que en el 3,99% del territorio (731,85 hectáreas) se presenta subutilización, y que en el 34,77% del territorio (6.376,30 hectáreas) se presenta sobreutilización o existen conflictos en tierras de régimen jurídico especial.

Tabla 225. Definición de áreas y porcentajes para la vulnerabilidad física.

Áreas y Porcentajes – Vulnerabilidad Física				
Clasificación	**Calificación**	**Categoría**	**Área (Hectáreas)**	**% Municipio**
Uso Adecuado	1	Baja	11.228,611	61,24%
Subutilización	2	Media	731,851	3,99%
Sobreutilización / Conflictos en Tierras de régimen jurídico especial	3	Alta	6.376,301	34,77%
	Total		18.336,763	100%

Fuente: Siglo XXII SAS

Respecto a las zonas que presentan vulnerabilidad física alta se encuentra que, la zona en donde se presenta sobreutilización del suelo se da hacia la zona norte del Municipio, en las veredas Bosatama, Canoas y el Charquito, en donde a partir de la fotointerpretación y las visitas en campo se identificó la presencia de actividades relacionadas con agricultura intensiva en zonas que según el POT pueden realizar únicamente agricultura tradicional o semi-intensiva; por otra parte, la zona que presenta conflictos en tierras de régimen jurídico especial, esto es áreas con declaratoria de protección para el caso del Municipio, se localiza hacia la zona sur del territorio, en las veredas Romeral, Alto del Cabra, Hungría, San Jorge y Tinzuque, en donde fue posible identificar como las actividades agropecuarias han impacto seriamente la estructura ambiental de zonas declaradas como lo son el Páramo Cruz Verde – Sumapaz y la Reserva Foresta Protectora Productora Cuenca Alta del Río Bogotá. A continuación, se presenta la distribución espacial de la vulnerabilidad física en el Municipio de Soacha.

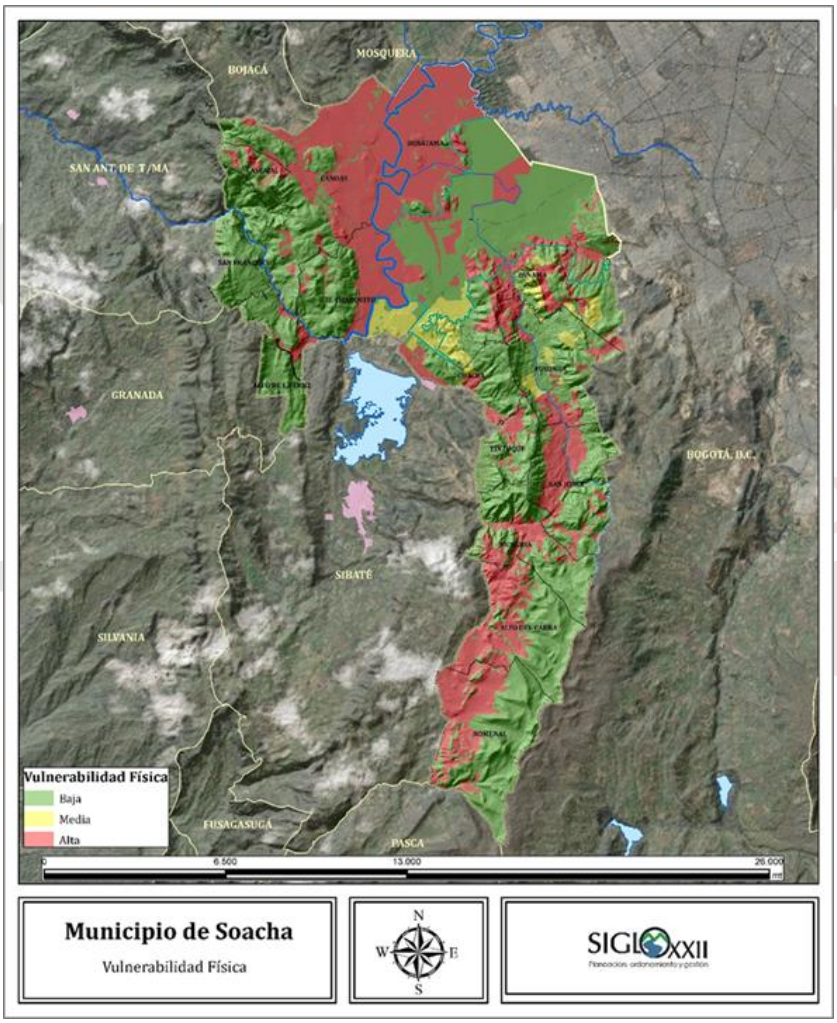


Figura 329. Vulnerabilidad física

Fuente: Siglo XXII SAS

4.4.7.1.2.5.2. VULNERABILIDAD ECOLÓGICA

Evaluada como la adaptación de los ecosistemas al fuego, es decir, los regímenes del fuego (papel que ejerce el fuego en el desarrollo, renovación y conservación de un ecosistema) a los cuales se encuentran sometidos los biomas y ecosistemas presentes en el territorio, y que los hacen más o menos adaptados a la ocurrencia de un evento (IDEAM, 2015); para la realización de esta vulnerabilidad la guía metodológica se basó en la clasificación de la influencia del fuego en los ecosistemas, consignada en el libro "Incendios de la cobertura vegetal en Colombia (Campo, Bernal, Páramo, & Morales & Otros, 2011)", en donde se presenta la clasificación de los ecosistemas de acuerdo a las cinco (5) categorías de influencia que el fuego ejerce sobre ellas: i). No influidos por el fuego; ii). Independientes del fuego; iii). Sensibles al fuego; iv). Influidos por el fuego; y v). Dependientes del fuego.

Para su elaboración fue implementado el mapa de coberturas realizado para este proyecto a partir de imágenes de muy alta resolución y que fue calibrado mediante visitas en campo realizadas por profesionales idóneos; una vez clasificadas las coberturas de acuerdo a la influencia que sobre ella tiene el fuego, se asignan los respectivos puntajes y categorías dando alcance a los rangos establecidos en la "Memoria Técnica: Mapa para zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca "- CAR; posteriormente estos rangos fueron ajustados en tres (3) categorías de manera que, al realizar el cálculo de la vulnerabilidad total, y posteriormente esta se cruce con la amenaza total para la obtención del riesgo, las capas tengan los mismos niveles de frecuencia y no se generen inconsistencias cartográficas; a continuación se presenta la categorización y calificación para la vulnerabilidad ecológica:

Tabla 226. Definición de rangos y puntajes para la vulnerabilidad ecológica

Definición de rangos y puntajes – Vulnerabilidad Ecológica				
Influencia del Fuego en los Sistemas	**Categorización Metodología (IDEAM & CAR, 2014)**		**Categorización Ajustada**	
	Calificación	**Categoría**	**Calificación**	**Categoría**
No influidos por el fuego / No combustibles	0	Sin Riesgo	0	Sin Riesgo
Dependientes del Fuego	1	Baja	1	Baja
Influidos por el fuego	2	Moderada	2	Media
Sensibles al fuego	3	Alta	3	Alta

Definición de rangos y puntajes – Vulnerabilidad Ecológica				
Influencia del Fuego en los Sistemas	**Categorización Metodología (IDEAM & CAR, 2014)**		**Categorización Ajustada**	
	Calificación	**Categoría**	**Calificación**	**Categoría**
Independientes del fuego	4	Muy Alta		

Fuente: Adaptado de (IDEAM & CAR, 2014); Elaboró: Siglo XXII SAS.

Realizada la calificación y categorización de la información fue posible establecer que el 19,11% del territorio, equivalente a 3.504,82 hectáreas no presentan riesgo, toda vez que el fuego no tiene influencia sobre las coberturas allí presentes; las zonas que hacen parte de la categoría sin riesgo se localizan principalmente hacia la zona norte del Municipio en donde se encuentra la zona urbana y hacia el contado nororiental en donde se localizan varias zonas de extracción de materiales para construcción.

Tabla 227. Definición de áreas y porcentajes para la vulnerabilidad ecológica.

Áreas y Porcentajes – Vulnerabilidad Ecológica				
Clasificación	**Calificación**	**Categoría**	**Área (Hectáreas)**	**% Municipio**
No influidos por el fuego / No combustibles	0	Sin Riesgo	3.504,817	19,11%
Dependientes del fuego	1	Baja	520,973	2,84%
Influidos por el fuego	2	Media	3.639,743	19,85%
Sensibles al fuego / Independientes del fuego	3	Alta	10.671,230	58,20%
Total			**18.336,763**	**100%**

Fuente: Siglo XXII SAS

En relación con las demás categorías se encuentra que el 2,84% del territorio (520,97 hectáreas) presenta vulnerabilidad baja, el 19,85% del territorio (3.639,74 hectáreas) presenta vulnerabilidad media, y el 58,20% del territorio (10.671,23 hectárea) presenta vulnerabilidad alta; A continuación, se presenta la distribución de la vulnerabilidad ecológica en el Municipio de Soacha:

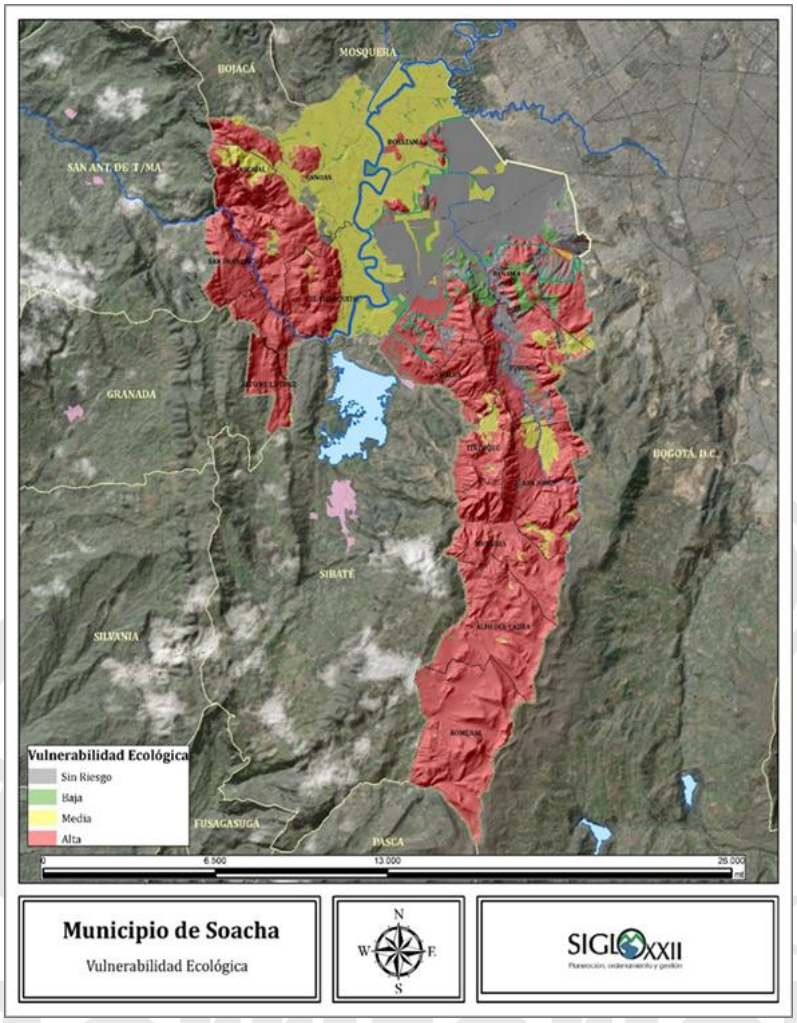


Figura 330. Vulnerabilidad ecológica

Fuente: Siglo XXII SAS

4.4.7.1.2.5.3. VULNERABILIDAD TERRITORIAL TOTAL

La vulnerabilidad territorial se entiende como los cambios físicos del suelo ocasionados por factores naturales y antrópicos, (estos últimos asociados a las dinámicas de los asentamientos humanos y a las dinámicas socioeconómicas), así como a las características del medio ambiente natural que disminuyen su nivel de protección frente a las amenazas a que están expuestos (IDEAM, 2015); Para el cálculo de la vulnerabilidad territorial se realizó una suma ponderada entre la vulnerabilidad ecológica y la vulnerabilidad física, tal como lo establece la metodología empleada; al resultado obtenido se le asignan los respectivos puntajes y categorías dando alcance a los rangos establecidos en la "Memoria Técnica: Mapa para zonificación de riesgos a incendios de la cobertura

vegetal para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca ”- CAR; posteriormente estos rangos fueron ajustados en tres (3) categorías de manera que, al realizar el cálculo de la vulnerabilidad total, y posteriormente esta se cruce con la amenaza total para la obtención del riesgo, las capas tengan los mismos niveles de frecuencia y no se generen inconsistencias cartográficas; a continuación se presenta la categorización y calificación para la vulnerabilidad territorial:

Tabla 228. Definición de rangos y puntajes para la vulnerabilidad ecológica

Definición de rangos y puntajes – Vulnerabilidad Territorial				
Rangos Ponderación	**Categorización Metodología (IDEAM & CAR, 2014)**		**Categorización Ajustada**	
	Calificación	**Categoría**	**Calificación**	**Categoría**
0 a 0,20	1	Muy Baja	1	Baja
0,21 a 0,40	2	Baja		
0,41 a 0,60	3	Moderada	2	Media
0,61 a 0,80	4	Alta	3	Alta
0,81 a 1,00	5	Muy Alta		

Fuente: Adaptado de (IDEAM & CAR, 2014); Elaboró: Siglo XXII SAS.

Realizada la respectiva calificación y categorización de la información, así como la normalización de los datos, fue posible obtener la vulnerabilidad territorial; a partir de los resultados obtenidos es posible establecer que el 17,20% del territorio municipal, esto es 3.153,71 hectáreas, presenta vulnerabilidad territorial baja, localizándose esta categoría principalmente en las veredas Canoas, Panamá y Fusunga, en zonas en donde se desarrollan actividades relacionadas en zonas de extracción de materiales para construcción, es decir, en zonas desprovistas de coberturas que puedan ser susceptibles de iniciar una combustión ante la ocurrencia de un incendio forestal; esta categoría también se presenta en donde se localiza la zona urbana.

En relación con la vulnerabilidad territorial media se observa que, esta cubre una extensión de 3.153,71 hectáreas, equivalentes al 3,34% del territorio municipal, mientras que la amenaza alta cubre un área de 14.569,92 hectáreas que equivale al 79,45% del Municipio, siendo la categoría con mayor presencia en el territorio.

Tabla 229. Definición de áreas y porcentajes para la vulnerabilidad territorial.

Áreas y Porcentajes – Vulnerabilidad Territorial				
Clasificación	**Calificación**	**Categoría**	**Área (Hectáreas)**	**% Municipio**
0 a 0,40	1	Baja	3.153,712	17,199%
0,41 a 0,60	2	Media	613,135	3,344%

Áreas y Porcentajes – Vulnerabilidad Territorial				
Clasificación	**Calificación**	**Categoría**	**Área (Hectáreas)**	**% Municipio**
0,61 a 1	3	Alta	14.569,916	79,457%
Total			18.336,763	100%

Fuente: Siglo XXII SAS

La distribución espacial de la vulnerabilidad territorial por incendios de la cobertura vegetal en el Municipio de Soacha, se presenta a continuación.

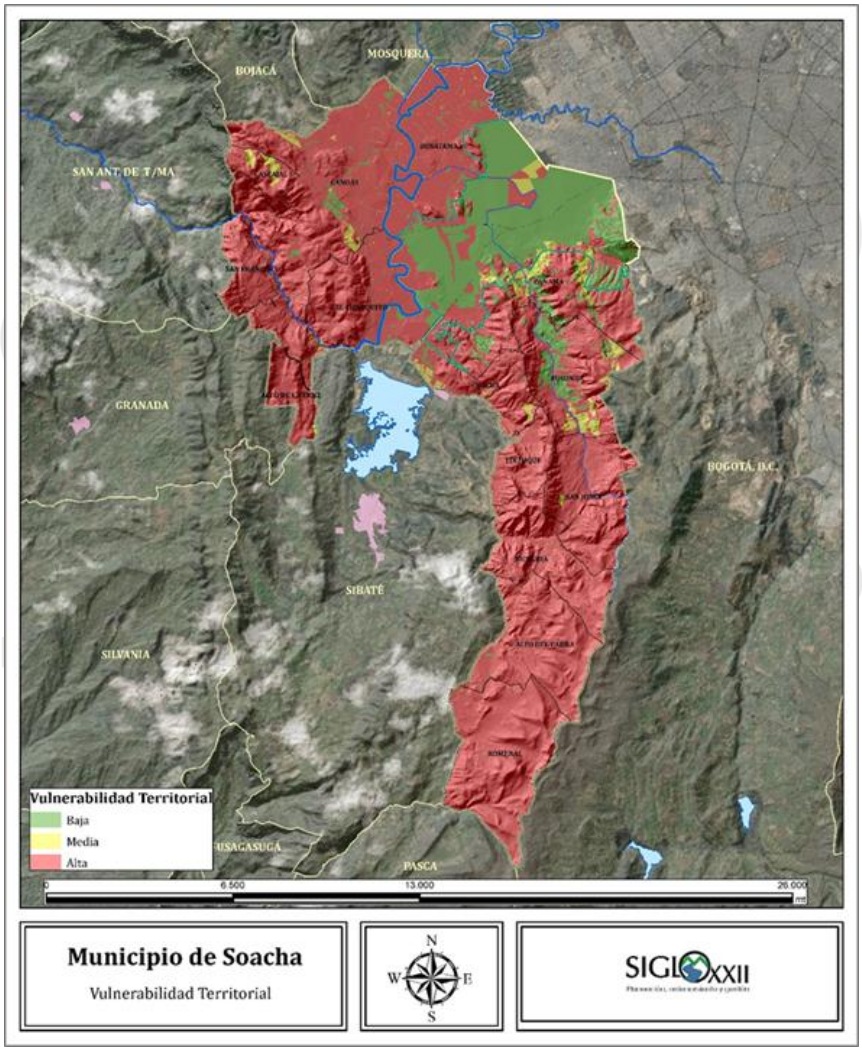


Figura 331. Vulnerabilidad Territorial

Fuente: Siglo XXII SAS

4.4.7.1.2.6. VULNERABILIDAD TOTAL DELA VEGETACIÓN A INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL

La vulnerabilidad total de la vegetación busca identificar las posibles pérdidas o daños que pueden sufrir, ante un incendio forestal, la población, los bienes y el medio ambiente (IDEAM & CAR, 2014); la guía metodológica implementada para la elaboración de este informe interpreta la vulnerabilidad a partir de la población, los valores de protección de infraestructuras e instalaciones, las actividades económicas, el patrimonio natural, histórico y cultural, y la acción institucional, así como de algunos aspectos territoriales. para la generación del mapa de vulnerabilidad total se hizo uso de herramientas de geo procesamiento a partir de las cuales se realizó superposición espacial entre los insumos intermedios implementados para su generación; dichos insumos intermedios se presentan en las secciones 8.1.1.1, 8.1.1.2, 8.1.1.3, 8.1.1.4, 8.1.1.5 y 8.1.1.6 del presente documento.

A partir de los mapas generados para la determinación de la vulnerabilidad Institucional, Patrimonial, Poblacional, Territorial (Física y Ecológica), de la Infraestructura y Económica, se procede a realizar el mapa de vulnerabilidad total mediante la suma ponderada de estas ocho (8) variables; el peso asignado a cada una de las variables es definido por la guía metodológica de la siguiente manera:

Tabla 230. Pesos definidos para el cálculo de la vulnerabilidad total

Ponderación de Variables	
Vulnerabilidad	**Peso**
Institucional (V_{IT})	0,05
Patrimonial (V_{PT})	0,2
Poblacional (V_{PB})	0,31
Territorial (V_{TT})	0,2
Infraestructura (V_{IF})	0,06
Económica(V_{EC})	0,18
Total	1

Fuente: Siglo XXII SAS

Para la obtención de la vulnerabilidad total se hizo uso de la herramienta algebra de mapas implementando la ecuación que para tal fin se define en la guía metodológica (IDEAM & CAR, 2014), asignando los pesos presentados en la tabla anterior:

$$\boldsymbol{V_{Total}} = V_{IT} + V_{PT} + V_{PB} + V_{TT} + V_{IF} + V_{EC}$$

Realizada la operación de algebra de mapas entre las variables que definen la vulnerabilidad total se procedió a normalizar los datos de manera que, el resultado obtenido de en un rango de 0 a 1 para posteriormente clasificarlo en el número de categorías deseadas; la guía metodológica establece que el resultado obtenido se debe distribuir en cinco niveles o frecuencias (Muy bajo, Bajo, Moderado, Alto y Muy Alto), sin embargo, estos rangos fueron ajustados en tres (3) categorías de manera que, al realizar el cálculo de la vulnerabilidad total, y posteriormente esta se cruce con la amenaza total para la obtención del riesgo, las capas tengan los mismos niveles de frecuencia y no se generen inconsistencias cartográficas; a continuación, se presenta la categorización y calificación para la vulnerabilidad total:

Tabla 231. Categorización y calificación de variables para la vulnerabilidad total.

Definición de rangos y puntajes – Vulnerabilidad Total				
Rangos Ponderación Vulnerabilidad Total	**Categorización Metodología (IDEAM & CAR, 2014)**		**Categorización Ajustada**	
	Calificación	**Categoría**	**Calificación**	**Categoría**
0 a 0,20	1	Muy Baja	1	Baja
0,21 a 0,40	2	Baja		
0,41 a 0,60	3	Moderada	2	Media
0,61 a 0,80	4	Alta	3	Alta
0,81 a 1,00	5	Muy Alta		

Fuente: Siglo XXII SAS; Adaptado de: (IDEAM & CAR, 2014)

Realizada la normalización, calificación y categorización de la zonificación de vulnerabilidad por incendios de la cobertura vegetal, y hecho el respectivo control cartográfico, se obtiene el mapa que representa espacialmente la distribución de la Vulnerabilidad total en el Municipio:

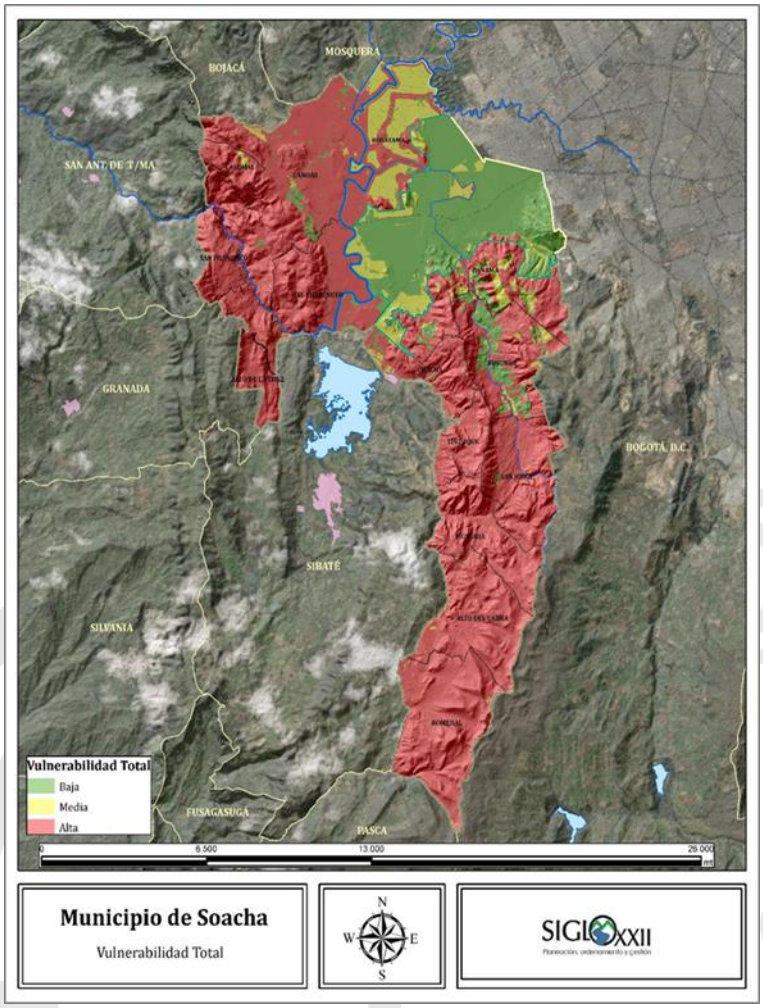


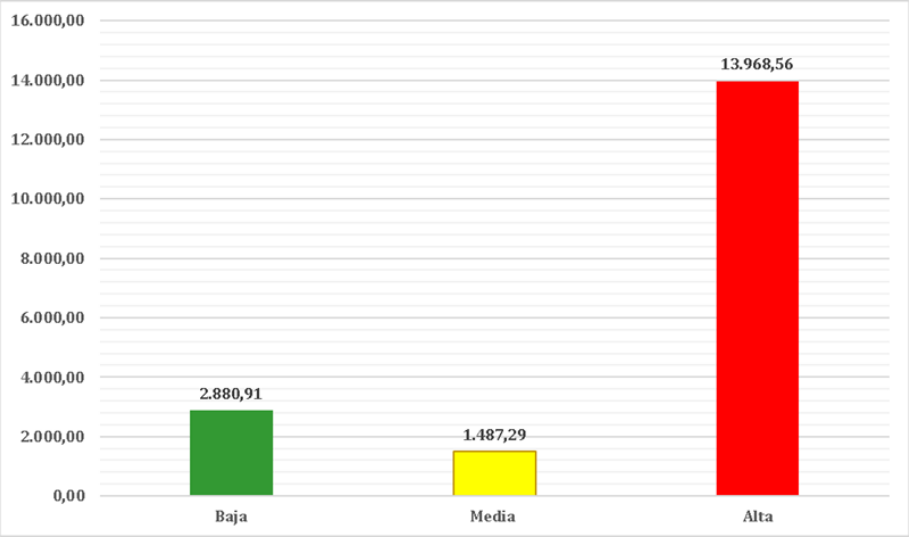
Figura 332. Vulnerabilidad total

Fuente: Siglo XXII SAS

Obtenido el mapa de vulnerabilidad total a incendios de la cobertura vegetal se obtiene que, el municipio de Soacha presenta una amenaza predominantemente alta ante este tipo de fenómenos, identificándose que un área de 13.968,56 hectáreas que equivalen al 76,18% del territorio esta categorizada como tal; también se observa que la amenaza baja es la segunda amenaza con mayor presencia en el territorio, cubriendo una superficie de 2.880,91 hectáreas (15,71%); finalmente, la amenaza media es la que menos extensión ocupa, abarcando 1.487,29 hectáreas que equivalen al 8,11% del territorio.

Tabla 232. Áreas y porcentajes vulnerabilidad total en el municipio de Soacha.

Áreas y Porcentajes – Vulnerabilidad Total



Clasificación	Calificación	Categoría	Área (Hectáreas)	% Municipio
0 a 0,40	1	Baja	2.880,908	15,71%
0,41 a 0,60	2	Media	1.487,293	8,11%
0,61 a 1	3	Alta	13.968,562	76,18%
Total			**18.336,763**	**100%**

Fuente: Siglo XXII SAS

Como se observa, una parte importante del territorio esta categorizada con vulnerabilidad alta, al respecto debe recordarse que tal como lo establece la metodología implementada, la vulnerabilidad no mide efectos, sino que determina el grado de fragilidad, así como el valor y posibles pérdidas que un elemento del territorio puede sufrir ante la ocurrencia de un incendio de la cobertura vegetal; la distribución de la vulnerabilidad total por vereda se presenta en la siguiente tabla:

Tabla 233. Distribución de la vulnerabilidad en el municipio de Soacha

Distribución de la vulnerabilidad por vereda				
Vereda	**Baja**	**Media**	**Alta**	**Área (Ha)**
Panamá	128,746	169,272	988,586	1.286,604
Fusunga	299,599	65,418	823,675	1.188,693
Chacua	24,355	29,256	579,302	632,914
Tinzuque	1,303	4,877	454,836	461,016
San Jorge	14,730	5,148	1.103,064	1.122,942
Hungría	1,038	4,660	979,042	984,740

Distribución de la vulnerabilidad por vereda				
Vereda	**Baja**	**Media**	**Alta**	**Área (Ha)**
Alto del Cabra	0,000	13,386	1.214,351	1.227,737
Romeral	0,000	13,858	1.606,278	1.620,137
Alto de La Cruz	1,667	1,626	339,946	343,239
El Charquito	144,387	13,268	1.413,368	1.571,023
San Francisco	8,792	3,397	441,266	453,455
Canoas	248,426	81,501	2.464,660	2.794,587
Cascajal	0,486	16,606	260,459	277,551
Bosatama	135,747	585,843	488,361	1.209,951
Zona Urbana	2.581,236	527,038	53,902	3.162,176
Total	4.365,676	13.155,334	815,753	18.336,763

Fuente: Siglo XXII SAS

Se observa que la vulnerabilidad alta por incendios de la cobertura vegetal tiene mayor incidencia en la vereda Canoas, en donde una superficie de 2.466,66 hectáreas presenta esta categoría, la sigue la vereda Romeral con 1.606,28 hectáreas y la vereda El Charquito con 1.413,37.

Figura 333. Diagrama de barras de la distribución de la vulnerabilidad por vereda en el Municipio de Soacha.

En relación con la vulnerabilidad media se encuentra que la vereda Bosatama presenta la mayor área en esta categoría con una superficie de 585,84 hectáreas, la siguen la zona urbana con 527,038 hectáreas y la vereda Panamá con 169,27 hectáreas.

4.4.7.1.3. RIESGOS ANTE LA OCURRENCIA DE INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL

El Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno del Niño – CIIFEN define el riesgo como la combinación de la probabilidad de que se produzca un evento y sus consecuencias negativas (CIIFEN, 2020); Conforme a la metodología desarrollada por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, adoptado por la CAR Cundinamarca para los municipios en su jurisdicción, el análisis de riesgo por el fenómeno de incendios de la cobertura vegetal busca determinar la probabilidad de que se presenten consecuencias económicas, sociales o ambientales en un territorio, durante un lapso definido de tiempo, por la acción de un evento adverso de origen antrópico o natural, para el caso un incendio forestal (IDEAM & CAR, 2014).

Según la Memoria técnica – Mapa zonificación de riesgo a incendios de la cobertura vegetal para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR, el riesgo por incendios de la cobertura vegetal es el resultado de relacionar la amenaza con la vulnerabilidad de los elementos expuestos del territorio.

Figura 334. Factores implementados para el cálculo del riesgo por incendios de la cobertura vegetal

Fuente: (IDEAM, 2015)

Izquierda: Incendio forestal presentado en septiembre de 2014 en límites entre Soacha y Sibaté (Zona rural); Derecha: Incendio forestal presentado en febrero de 2020 entre los sectores de Hogares y Ciudad Verde

4.4.7.1.3.1. ANEXO 2: ZONIFICACIÓN DE RIESGOS A INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL

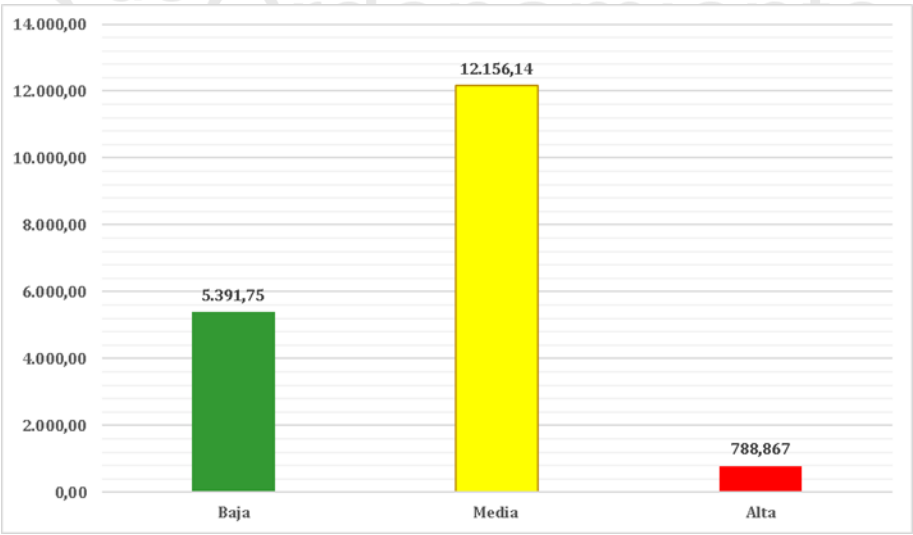
Tal como lo establece el protocolo para la zonificación de incendios de la cobertura vegetal, la zonificación del riesgo corresponde al producto ponderado entre la amenaza total y la vulnerabilidad total, calculadas cada una a partir de variables intermedias que son presentadas en las secciones 4. Amenaza por incendios de la cobertura vegetal y 8.1.1 Vulnerabilidad ante la ocurrencia de incendios de la cobertura vegetal; la formula mediante la cual se calcula el riesgo total se presenta a continuación:

$$\boldsymbol{Riesgo}_{\boldsymbol{Total}} = Vulnerabilidad_{\ Total} + Amenaza_{\ Total}$$

Realizada la operación de algebra de mapas entre las variables que definen el Riesgo total se procedió a normalizar los datos de manera que, el resultado obtenido de en un rango de 0 a 1 para posteriormente clasificarlo en el número de categorías deseadas; la guía metodológica establece que el resultado obtenido se debe distribuir en cinco niveles o frecuencias (Muy bajo, Bajo, Moderado, Alto y Muy Alto), sin embargo, estos rangos fueron ajustados en tres (3) categorías de manera que, al realizar el cruce entre la amenaza total y la vulnerabilidad total para la obtención del riesgo, las capas tengan los mismos niveles de frecuencia y no se generen inconsistencias cartográficas; a continuación, se presenta la categorización y calificación para el riesgo total:

Tabla 234. Áreas y porcentajes vulnerabilidad total en el municipio de Soacha.

Riesgo Total por Incendios Forestales



Calificación	Rango		Riesgo	Área (Ha)	% Municipio
1	0	0,4	Baja	5.391,751	29,40%
2	0,41	0,6	Media	12.156,144	66,29%

Riesgo Total por Incendios Forestales					
3	0,61	1	Alta	788,867	4,30%
Total				**18.336,762**	**100,00%**

Fuente: Siglo XXII SAS

La zonificación de riesgos en el municipio de Soacha permite determinar que predomina el riesgo medio, el cual cubre una superficie de 12.156,14 hectáreas que equivalen al 66,29% del territorio; lo sigue el riesgo bajo con una superficie de 5.391,75 hectáreas (29,40%) y el riesgo alto con un área de 788,76 hectáreas (4,30%); Realizada la normalización, calificación y categorización de la zonificación de riesgo por incendios de la cobertura vegetal, y hecho el respectivo control cartográfico, se obtiene el mapa que representa espacialmente la distribución de la Vulnerabilidad total en el Municipio:

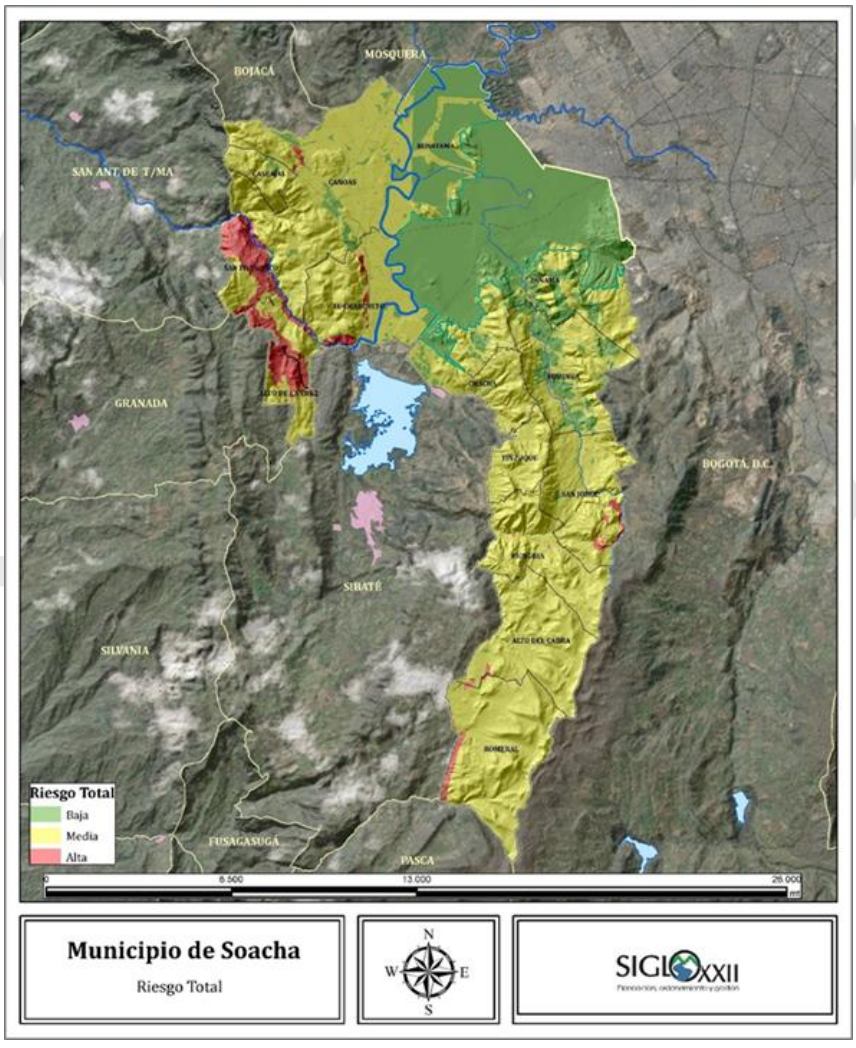


Figura 335. Riesgo total
Fuente: Siglo XXII SAS

Como se ha mencionado, el riesgo hace referencia a la probabilidad de ocurrencia o de daños producto de la interacción de los elementos dinámicos que cambiantes que constituyen la amenaza y la vulnerabilidad; La distribución de la vulnerabilidad total por vereda en el Municipio permite identificar como es de esperarse que, la zona urbana presenta la mayor superficie categorizada como de riesgo bajo, esto debido a que más del 70% de la zona urbana esta desprovista de coberturas vegetales que puedan desencadenar un incendio forestal capaz de generar daños a las infraestructuras localizadas en su interior; después de la zona urbana, las veredas Bosatama y Panamá son las que presentan las áreas más grandes categorizadas como riesgo bajo con 829,32 hectáreas y 426,85 hectáreas, esto debido a que en ellas se desarrollan actividades extensivas relacionadas con la extracción de materiales para construcción, actividad que implica la remoción de la cobertura vegetal y que como consecuencia ocasiona que en estas zonas no se hayan riesgos de que se presente un incendio de la cobertura vegetal.

Tabla 235. Distribución del riesgo en el municipio de Soacha

Distribución de la vulnerabilidad por vereda				
Vereda	**Baja**	**Media**	**Alta**	**Área (Ha)**
Panamá	426,854	859,750	0,000	1.286,604
Fusunga	365,447	818,131	5,115	1.188,693
Chacua	54,978	577,225	0,711	632,914
Tinzuque	6,180	454,836	0,000	461,016
San Jorge	22,454	1.051,172	49,317	1.122,942
Hungría	5,617	975,797	3,326	984,740
Alto del Cabra	13,074	1.204,531	10,132	1.227,737
Romeral	13,417	1.547,731	58,988	1.620,137
Alto de La Cruz	2,845	212,421	127,973	343,239
El Charquito	156,840	1.191,496	222,686	1.571,023
San Francisco	8,935	173,257	271,263	453,455
Canoas	357,370	2.397,860	39,357	2.794,587
Cascajal	17,092	260,459	0,000	277,551
Bosatama	829,318	380,633	0,000	1.209,951
Zona Urbana	3.111,328	50,848	0,000	3.162,176
Total	**4.365,676**	**13.155,334**	**815,753**	**18.336,763**

Fuente: Siglo XXII SAS

Se observa que en el Municipio la distribución del riesgo es predominantemente media; como se ha venido mencionando esto se debe a que las coberturas con mayor extensión en el territorio corresponden a herbazales, arbustales, pastos y cultivos, los cuales abarcan en conjunto más de 10.000 hectáreas, las cuales, a pesar de ser factores potencialmente desencadenantes de un incendio forestal, no representan el mismo riesgo que una cobertura boscosa, pues su carga y duración es mucho menor; adicionalmente la densidad de infraestructuras en estas zonas no es

muy alta, por lo que ante la ocurrencia de un incendio forestal, las infraestructuras que podrían ser afectadas poniendo en riesgo la vida de las personas serian pocas; las veredas Canoas, Romeral y Alto del Cabra son las que presentan mayor riesgo medio ante la ocurrencia de un incendio forestal.

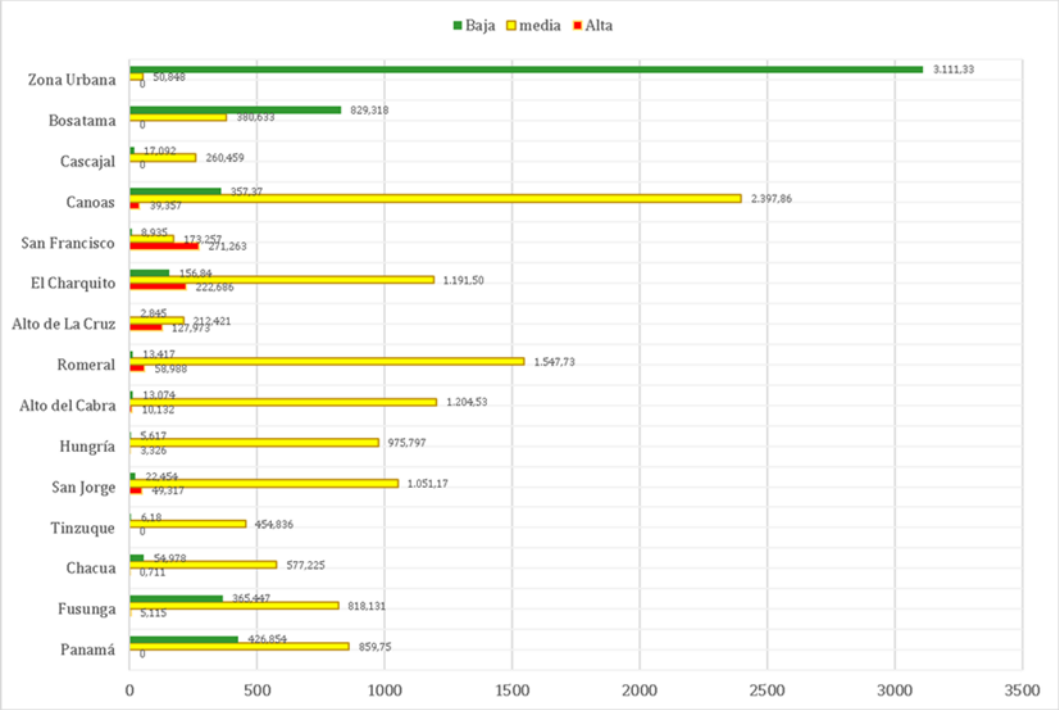


Figura 336. Diagrama de barras de la distribución del riesgo por vereda en el Municipio de Soacha.

En relación con el riesgo alto se encuentra que las veredas con mayor porcentaje de área en esta categoría son San Francisco, El Charquito y Romeral, abarcando 271,26 hectáreas, 222,69 hectáreas y 58,99 hectáreas, respectivamente; Al respecto, se debe prestar especial atención con las zonas localizadas hacia el noroccidente del Municipio, en las veredas San Francisco, El Charquito y Alto de La Cruz, toda vez que tanto en la zonificación de amenaza, en la de vulnerabilidad y en la de riesgos, los análisis arrojan que presentan altas probabilidades de presentar incendios de la cobertura vegetal que pongan en riesgo las infraestructuras y la vida de sus habitantes, aspecto que es respaldado por eventos históricos asociados con incendios de la cobertura vegetal presentados en la zona.

5. MEDIGAS DE MITIGACIÓN

El grupo de investigación Biogestión de la Universidad Nacional de Colombia, en base a los resultados de los estudios básicos de amenaza realizados, desarrollaron un documento de medidas de mitigación, intervención y plan preliminar de ejecución el cual será guía del presente

documento. Estas medidas integran los 3 fenómenos naturales que presentan una amenaza en el territorio con la gestión del cambio climático. Las medidas de mitigación se resumen a continuación:

5.1. MEDIDAS DE MITIGACIÓN URBANAS

5.1.1. MEDIDAS DE MITIGACIÓN NO ESTRUCTURALES, RESTRICCIONES O CONDICIONAMIENTOS Y NORMAS URBANISTICAS

Tabla 236. Medidas de mitigación no estructurales, restricciones o condicionamientos y normas urbanísticas componente urbano

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
AMENAZA Y RIESGO POR INUNDACIONES				
EVITAR LA CONTAMINACIÓN EN LOS CURSOS Y CUERPOS DE AGUA	Disminuir el riesgo de desbordamiento en los cuerpos de agua localizados en el área urbana por efecto de disminución de la capacidad hidráulica de los cauces.	La descontaminación de cuerpos de agua es un componente crítico de la fase de recuperación de un sistema hídrico. Caso de estudio se presenta a lo largo del R. Soacha y Q. Tibanica, donde debido a la deposición de basuras trae como consecuencia el taponamiento de tuberías, ocasionando desbordamientos.	a. Implementar campañas de limpieza en los cursos y cuerpos de agua. b. Ejercer monitoreo y control de la cantidad total de carga contaminante. c. Aplicación estricta de estudios de impacto ambiental, rechazando los proyectos de construcción que no encajan con las políticas encargadas de proteger el ambiente. d. Multas y/o cierre de empresas que en sus procesos de producción generan una grave contaminación ambiental. e. Promoción de la producción limpia en las empresas en relación con la	ALTA

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
			innovación tecnológica. f. Generar campañas para el desarrollo de la agricultura ecológica y orgánica. g. Conversión de aguas residuales en recursos reutilizables. h. Construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas. i. Monitorear de manera continua la calidad del agua de las fuentes hídricas vulnerables (R. Soacha y Q. Tibanica)	
PROTECCIÓN DE LA CABECERA DE CUENCAS	Garantizar el abastecimiento de agua y la disponibilidad de áreas de amortiguación hídrica durante crecientes.	Conservación de los nacimientos de los ríos y quebradas en las partes alta de la cuenca, regulando la cantidad y la calidad del agua utilizada para el abastecimiento de poblaciones aguas abajo. Los suelos con bosques pueden tener una capacidad significativa para almacenar el exceso de precipitación y limitar o prevenir las crecientes. También controlan la erosión, deslizamientos y producción de sedimentos en la parte alta de la cuenca lo cual beneficia las condiciones aguas	a. Generar campañas de fortalecimiento ambiental en la zona rural del municipio, veredas Fusungá y Panamá b. Comprar y mantener los predios que pertenezcan a las zonas altas de las cuencas con el fin de declarar estas zonas como zonas protegidas. c. Realizar un estudio de impacto ambiental que involucre un análisis hidrogeológico de la cabecera de las cuencas. d. Realizar acciones de conservación como reforestación en estas áreas	

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
		abajo, regulando los caudales. En el caso de las veredas de Fusungá y Panamá donde la actividad de canteras afectó la disposición natural de los drenajes que alimentan el R. Soacha. En estos lugares se observa en los resultados del estudio un riesgo a partir de la erosión que presentan, lo cual puede a su vez relacionarse con eventos de remoción en masa y avenidas torrenciales.		
AMENAZA Y RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA Y AVENIDAS TORRENCIALES				
SUSPENSIÓN TEMPORAL DE REVISIÓN DE PLANES PARCIALES	Realizar la suspensión temporal de la revisión de planes parciales o proyectos urbanísticos que se encuentren ubicados directamente en las inmediaciones de los cuerpos de agua, así como en las zonas que históricamente han sido zonas de amortiguamiento hidráulico o que se encuentren en una longitud medida desde el eje del cuerpo de	Debido a los procesos de eventos de lluvias intensos y a la inadecuada canalización de los cuerpos de agua, especialmente del Canal Tibanica y Rio Soacha, se han generado eventos en los cuales el nivel del agua supera las cotas máximas del sistema de alcantarillado existente, generando inundaciones y represamientos en los barrios circundantes a los cuerpos de agua. Los estudios parciales pueden resolver problemáticas puntuales, sin embargo, pueden	a. Detener temporalmente el análisis de planes parciales en el municipio de Soacha, hasta tanto no se realicen los estudios y diseños de detalle que determinen las zonas de amortiguamiento hidráulico y zonas de ronda de los cuerpos de agua que están presentes en el casco urbano y rural del municipio de Soacha. b. Una vez establecidos los resultados de estos estudios, realizar la respectiva socialización y aprobación por parte del concejo	ALTA

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
	agua de mínimo 50 metros de ancho.	considerarse como contraproducentes al incrementar riesgos por inundación aguas abajo. Por ello se plantean medidas de mitigación en el presente trabajo como ESTUDIOS DETALLADOS Y DISEÑOS PARA REALIZAR OBRAS DE PROTECCIÓN DE INUNDACIÓN, el cual busca realizar un diseño integral de los canales Tibanica y Rio Soacha hasta la desembocadura del Rio Bogotá.	municipal, para que sirva de soporte técnico y legal para la revisión de futuros proyectos urbanísticos en el municipio de Soacha.	

Fuente: Universidad Nacional de Colombia

5.1.2. MEDIDAS DE MITIGACIÓN ESTRUCTURALES

Tabla 237. Medidas de mitigación estructurales componente urbano

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
AMENAZA Y RIESGO POR INUNDACIONES				
ESTUDIOS DETALLADOS Y DISEÑOS PARA REALIZAR OBRAS DE PROTECCIÓN DE INUNDACIÓN	Realizar los estudios hidrológicos e hidráulicos detallados hasta la desembocadura del Rio Bogotá para la Quebrada Tibanica y el Rio Soacha, así como elaborar el plan de acción que permita la determinación de alternativas	**RÍO SOACHA** Comuna 6 - Tramo 1 entre los barrios El Cardal, Llano Grande, La Florida, La Pradera I, La Pradera II, Cien Familias, La Florida II, El Paraíso, Cohabitar, San Marcos, El Rincón de San Alejo II, Ubaté, Villas del Progreso. Comuna 2 - Tramo 1 entre los barrios Parque de las	a. Levantamiento topográfico detallado de las zonas alrededor de canales del Rio Soacha, quebrada Tibanica y vereda Bosatama con las escalas definidas por el decreto 1807 de 2014. b. Levantamiento batimétrico detallado en secciones transversales de	ALTA

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
	para la reducción o mitigación del riesgo por inundación en áreas urbana para caudales con periodo de retorno hasta 100 años (amenaza alta, media y baja).	Flores, Ciudad Satélite, La Unión, Universidad de Cundinamarca, Minnesota, Villas De Santa Rosa, Cobec, La Fragua, Eugenio Díaz Castro, El Silo, Las Huertas (P.P La Oportunidad I, La Oportunidad II, La Confianza, La Ilusión, La Ilusión II), Los Condominios I de Tejares, El Rosal. - Tramo 2 entre los barrios Los Condominios II de Tejares, Portalegre, Nueva Portalegre, El Sol de Portalegre, Portalegre Real, Portalegre Real I, Portalegre Real II, El Prado de Las Vegas, El Carmen, San Miguel de la Cañada. Comuna 2 y Vereda Bosatama ☐ Tramo 3 entre los barrios El Danubio, Las Huertas (La Esperanza I, La Esperanza II, La Esperanza III, El Triunfo I, Grandeza II, El Tesoro, Vida Nueva I, Vida Nueva II). Comuna 3 - Tramo 1 entre los barrios Hogar del Sol, Balcones de Mercurio, La Sabana, Portal de la Hacienda, Portal	los canales del rio Soacha y la Quebrada Tibanica y vereda Bosatama. La batimetría y la topografía deben ser realizadas de manera integrada. c. Realizar estudios de suelo detallados, para identificar las propiedades mecánicas de los diques existentes en los cauces del río Soacha, la quebrada Tibanica y vereda Bosatama. d. Realizar un inventario y caracterización de las estructuras de control de inundación existentes sobre el río Soacha y quebrada Tibanica. e. Determinar escenarios para el control de inundaciones y presentar medidas de mitigación apropiadas adecuadas al riesgo presentado. f. Como un capítulo adicional se deberán proyectar las obras de rehabilitación y mantenimiento de	

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
		del Nogal, Finca Malachí. QUEBRADA TIBANICA Comuna 3 - Tramo 1 entre los Cerezos Kr 4E 36 61, Atacadao, Terragrande, Centro Comercial Mercurio, Santa María del Rincón, El Rincón de Santa Fe. - Tramo 2 entre los barrios Los Olivares, El Trébol, Altos de Pinar I, Altos de Pinar II, Altos de Pinar III, Prado de los Rosales, Jardín de los Rosales, León XIII Tercer Sector, Pablo VI, Los Ocales, Potrero Grande, Los Olivos II, Los Olivos IV, La María.	las estructuras de retención hidráulica existentes (jarillones). g. Realizar la socialización del estudio y adoptarlo para su aplicación en el análisis de proyectos urbanísticos.	
OBRAS DE ADECUACIÓN DE CANALES DEL RÍO SOACHA Y QUEBRADA TIBANICA	Realizar las obras de ingeniería necesarias propuestas por los estudios detallados, para corregir o mejorar la capacidad hidráulica de los cauces del río Soacha y Quebrada Tibanica.	Los cauces del río Soacha y quebrada Tibanica presentan las siguientes condiciones: - Secciones hidráulicas irregulares. En algunos sectores del centro del municipio no se respetan márgenes mínimos de proximidad al espejo de agua lo que dificulta la implementación de soluciones de ingeniería y aumenta la condición de	a. Programa continuo de limpieza de sedimentos, basuras y vegetación de los cauces. Aunado al programa de educación ambiental propuesto en las medidas transversales del presente estudio. b. Reconformación del cauce de tal forma que facilite el movimiento del agua. c. Diseño de estructuras	ALTA

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
		vulnerabilidad de la población. - Acumulación pastos, sedimentos provenientes de las partes altas, al igual que basuras por mala disposición de residuos sólidos. - Se presentan estructuras que limitan el movimiento del agua para altos caudales, tales como puentes o alcantarillados.	hidráulicas como puentes, sifones que mejoren el flujo del agua a través de los canales. d. Verificación de la correcta implementación de las obras realizadas. e. Implementar los tipos de revestimiento aconsejados en el estudio detallado de inundación.	
ESTUDIO DE RESTAURACIÓN ECOLÓGICA, HIDROLÓGICA E HIDRÁULICA DE LOS HUMEDALES: TIERRA BLANCA, NEUTA, MAIPORÉ Y PUYANA CON ENFASIS EN LA CONEXIÓN HIDRÁULICA ENTRE SÍ Y AL RIO SOACHA	Disminuir el riesgo por inundación en zonas urbanas y de expansión mediante el restablecimiento de la función ecológica, hidrológica e hidráulica de los humedales presentes en el municipio de Soacha.	Teniendo en cuenta el estudio CAR (2006) sobre Revisión y Ajuste de los Planes de Manejo Ambiental de los Humedales de Neuta, Tierra Blanca, Laguna de la Herrera y Humedal El Yulo de Acuerdo con lo Establecido en la Resolución 157 De 2004 del MAVDT, el cual hace énfasis en la delimitación de los cuerpos de agua por sus rondas para un periodo de retorno de 100 años, se hace necesario plantear alternativas desde una perspectiva integral y regional, que considere la conexión hidrológica e hidráulica que existió entre estos	a. Estudios para la delimitación de la zona de amortiguamiento hidráulico de los cuerpos de agua del Municipio de Soacha. b. Estudios hidrológicos e hidráulicos detallados para la determinación de alternativas de conectividad hidráulica e hidrológica entre los humedales: Tierra Blanca, Neuta, Maiporé y Puyana con el Rio Soacha y canal Canoas. c. Levantamientos topográficos y de batimetría de los humedales: Tierra	ALTA

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
		ecosistemas a nivel regional. De otro lado, la actividad de urbanización ha generado presión en los humedales presentes en el municipio, eliminando sus fuentes de alimentación y salida de agua, lo cual genera normalmente sedimentación, reduciendo la capacidad que tienen de amortiguación de caudales como de almacenamiento de agua. La reconformación de los vasos de los humedales permite mejorar las propiedades hidráulicas de los mismos, recuperando los servicios ambientales que estos prestan. La propuesta plantea la necesidad de realizar estudios que permitan diseñar y construir un sistema que los integre con el fin de darle una sostenibilidad ambiental a este grupo de humedales o ecosistemas. Se considera importante este tipo de medidas para la preservación del humedal de	Blanca, Neuta, Maiporé y Puyana. d. Levantamientos topográficos y de batimetría del canal Canoas, el cual conecta los humedales Tierra Blanca y Neuta e. Planteamiento de alternativas técnico-económicas de obras de conexión hidráulica entre los humedales: Tierra f. Blanca, Neuta, Maiporé y Puyana. g. Restauración ecológica de los humedales Tierra Blanca, Neuta, Maiporé y Puyana y el mantenimiento de su capacidad de almacenamiento de agua. h. Compra de predios i. Diseño de planes de turismo pasivo para el disfrute de la población aledaña a estos cuerpos de agua.	

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
		Maiporé y otros cuerpos de agua. Igualmente, se considera que el riesgo por inundación derivado del Rio Soacha puede ser contrarrestado a partir de la conexión con estos cuerpos amortiguadores de crecientes. Sin embargo, todo ello podría ser evaluado en estudios detallados. A su vez, el Canal de Canoas que en este momento conecta a los humedales Tierra Blanca y Neuta requiere de un estudio detallado para la definición de obras de mitigación con el fin de evitar riesgos de inundación. Estas acciones son Fundamentales atendiendo a que estos cuerpos de agua se encuentran en zonas urbanas y de expansión del municipio que a su vez pueden causar beneficios en el mejoramiento de la calidad de vida de las comunidades, tal como se hace visible en el humedal de Neuta, en la actualidad.		

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
SEGUIMIENTO AL PSMV DEL MUNICIPIO DE SOACHA SOBRE LAS CONEXIONES ERRADAS DE ALCANTARILLADO SANITARIO Y PLUVIAL EN LOS RÍOS BOGOTÁ Y SOACHA, QUEBRADA TIBANICA Y HUMEDALES	Dar seguimiento a los planteamientos del Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimiento PSMV del municipio de Soacha (E.A.A.B, 2014) donde mediante la resolución 1433 de 2004 definen: "El conjunto de programas, proyectos y actividades, con sus respectivos cronogramas e inversiones necesarias para avanzar en el saneamiento y tratamiento de los vertimientos, incluyendo la recolección, transporte, tratamiento y disposición final de las aguas residuales descargadas al sistema público de alcantarillado, tanto sanitario como pluvial, los cuales deberán estar articulados con los objetivos y las metas de calidad y uso que defina la autoridad	Varios sectores del sistema de alcantarillado pluvial en el municipio de Soacha presentan conexiones hidráulicas a los ríos Soacha y Bogotá, Quebrada Tibanica y humedales, que generan procesos de inundación cuando el nivel del río está elevado. Estas inundaciones se presentan afectando las casas y calles en épocas de altas precipitaciones y altos caudales en estas corrientes. - Conexión errada entre el Río Bogotá - barrios Ciudad latina I, II y III: este vertimiento será conectado al Interceptor Soacha, el cual tiene como propósito interceptar todos los sistemas menores y principales de la zona Sur – Occidental del casco urbano del municipio, recogiendo las líneas de drenaje de los interceptores Muña I, Muña II, Ciudad Latina, Ciudad de Quito y Canoas; actualmente este interceptor se encuentra construido pero fuera de	a. Dar seguimiento a la formulación del Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimientos para el casco urbano del municipio de Soacha de acuerdo con los objetivos de calidad para la cuenca media del río Bogotá a lograr en el año 2020 establecidas por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca CAR en el Acuerdo No. 43 de 2006, dentro de la que se establecen programas y proyectos a corto plazo como la construcción de los interceptores carrera 13, Interceptor Luis Carlos Galán e Interceptor Potrero Grande, los cuales actualmente se encuentran en construcción. A medio plazo se determina la eliminación de las conexiones erradas y eliminación de vertimientos de las fuentes hídricas del río Soacha, laguna Terreros y la quebrada Tibanica	ALTA

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
	ambiental competente para la corriente, tramo o cuerpo de agua. El PSMV será aprobado por la autoridad ambiental competente.”	funcionamiento, una vez se construya la PTAR Canoas este entrará en operación. El interceptor Soacha inicia en el costado Oriental del perímetro urbano en el Río Bogotá, con sentido norte hasta entregar sus aguas al interceptor Tunjuelo Canoas, el cual entrega a la planta de tratamiento de aguas residuales Canoas. LA PTAR SE PROYECTA QUE ESTE CONSTRUIDA Y EN FUNCIONAMIENTO EN EL AÑO 2020 (ESTO DE ACUERDO A LA SENTENCIA 428 DE MARZO DE 2014 DONDE SE BUSCA LA DESCONTAMINACIÓN DEL RÍO BOGOTÁ). Este vertimiento se eliminará a largo plazo, ya que se encuentra sujeto a la operación del interceptor Tunjuelo - Canoas. - Conexión errada entre el Río Soacha - barrios San Carlos y Villa Juliana: este vertimiento será conectado al Interceptor Río Soacha Occidental, el cual tiene como propósito interceptar todos los sistemas	y a largo plazo, se determina la eliminación de los vertimientos del río Bogotá, eliminación conexiones erradas del humedal Neuta y reubicación de la población que actualmente se encuentra invadiendo las rondas hidráulicas del río Claro y los Humedales Tierra Blanca, Puyana y El Vínculo. Para el largo plazo se contempla la puesta en marcha de la PTAR Canoas, pero esta no se encuentra bajo la responsabilidad del municipio sino de la Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá EAAB.	

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
		menores que se encuentran descargando actualmente en la zona aferente paralela al río Soacha. Este interceptor se encuentra pendiente por construir en el barrio El Cardal y en este momento se encuentra construido desde el Barrio Llano Grande hasta el Barrio Colmena I (antes de pasar la Autopista Sur), este tiene un trazado paralelo al río por el costado occidental hasta entregar al interceptor Luis Carlos Galán en la en la Calle 13 con Carrera 13. El vertimiento será eliminado a mediano plazo y sus aguas serán transportadas hasta el Interceptor Tunjuelo - Canoas a través de los Interceptores Soacha Occidental, Interceptor Carrera 13, Interceptor Luis Carlos Galán y el Interceptor Cuidad de Cali, descargando temporalmente al Río Bogotá hasta poner en funcionamiento el Interceptor Tunjuelo - Canoas en el		

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
		horizonte de largo plazo. Actualmente el vertimiento es generado por la conexión errada al sistema de alcantarillado pluvial en los Barrios San Carlos y Villa Juliana; por tal razón se recomienda la eliminación de las conexiones erradas a través de la conexión de los alcantarillados de estos barrios a la red matriz del municipio. - Conexión sobre el Río Soacha de la empresa de Acueducto y Alcantarillado EMAR – sector Malachí: se identifica una descarga en tubería Novafort de 8" y de 20" de diámetro, esta proviene de la estación de bombeo N°1 y N°2 respectivamente, de jurisdicción de la empresa prestadora de Servicio de Acueducto y Alcantarillado el Rincón EMAR, la cual descarga de manera periódica al Río Soacha, sin ningún tipo de tratamiento, tan solo se tienen en el interior de la estación de bombeo		

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
		rejillas de retención de sólidos. - Conexiones erradas entre el Río Soacha – costado derecho e izquierdo del rio: estos vertimientos serán conectado al Interceptor Río Soacha Oriental, el cual tiene como propósito interceptar todos los sistemas menores que se encuentran descargando actualmente en la zona aferente paralela al río Soacha en este costado. Este interceptor se encuentra pendiente por construir en el barrio El Cardal y en este momento se encuentra construido desde el Barrio Llano Grande hasta el Barrio La Fragua, este tiene un trazado paralelo al río por el costado oriental hasta entregar al interceptor Canoas. El vertimiento será eliminado a mediano plazo y sus aguas se transportarán por el interceptor CANOAS hasta llegar al Interceptor Tunjuelo - Canoas. La descarga del interceptor Canoas se realizará temporalmente al Río		

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
		Bogotá hasta poner en funcionamiento el Interceptor Tunjuelo - Canoas en el horizonte de largo plazo. Este vertimiento es generado por conexiones erradas por tal razón se deben eliminar estas del sistema de alcantarillado pluvial del municipio. - Conexiones errada entre la Quebrada Tibanica - barrios El Oasis, Los Robles, La Isla, El Mirador de Corinto, El Progreso, Altos del Pino, El Arroyo, Santo Domingo y Luis Carlos Galán – urbanizaciones Terreros – parte de la Comuna 4 desde la zona industrial de Cazucá, Las Acacias II y Nuevo Colón hasta Luis Carlos Galán II, Julio Rincón II, Terranova, Villa Mercedes I y Villa Sandra - urbanización Nueva Terreros: verificación de conexiones erradas en el interceptor Terreros es el eje principal de drenaje de las aguas residuales del sector oriental de Soacha, denominado		

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
		Interceptor Terreros, el cual intercepta todos los flujos provenientes de la cuenca; comienza su recorrido exactamente en la confluencia de los interceptores Terreros Derecho e Izquierdo, en el paradero de buses del sector de San Mateo. El drenaje se realiza siguiendo la tendencia sur – norte hasta su entrega al interceptor Tunjuelo Bajo, en la cual habrá drenado un área de 978 ha, beneficiando de esta forma a 202.146 habitantes, sus diámetros varían entre 30" a 1.30 m, este Interceptor en la actualidad se encuentra construido y en funcionamiento. - Conexiones errada entre Humedal El Vínculo – Maiporé: se debe eliminar la conexión errada de las transportadoras que se encuentran descargando al humedal Vinculo, sus domiciliarias y conectarlas al alcantarillado principal del municipio; para con esto evitar la contaminación de		

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
		este cuerpo lentico. - Conexiones errada entre Humedal Puyana - barrio la Veredita y San Isidro: este vertimiento será desviado al interceptor Luis Carlos Galán. Tiene como propósito interceptar todos los sistemas menores localizados en la zona aferente del Proyecto del Plan Parcial Las Huertas y Las Vegas, así mismo, el drenaje de los interceptores Rio Soacha Oriental y Carrera 13, el interceptor inicia en la calle 13 con carrera 13, y su tendido realiza sobre la avenida Luis Carlos Galán sentido sur al norte hasta entregar sus aguas al interceptor Ciudad de Cali 13. El vertimiento será eliminado a mediano plazo y sus aguas serán transportadas hasta el Interceptor Tunjuelo - Canoas a través del Interceptores Ciudad de Cali, descargando temporalmente al Río Bogotá hasta poner en funcionamiento el Interceptor Tunjuelo - Canoas en el		

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
		horizonte de largo plazo. - Conexiones errada entre Humedal Neuta - Lagos de Malibú, Maranatha II Y Quintas de La Laguna: la cuenca hidrográfica NEUTA – TIERRA BLANCA está conformada por los canales Canoas I y II, colector Canoas, colector Muña y colector Altico, la zona eferente la compone el área que drena las aguas lluvias a los Humedales Neuta y Tierra Blanca, que limita por el nororiente con la cuenca hidrográfica del Río Soacha, por el sur con los cerros del vínculo- Altaico y urbanización Maiporé, por el occidente con los barrios Compartir y Nuevo Compartir, por el norte vía Indumil.		
ESTUDIO AMBIENTAL Y ECONÓMICO DE ALTERNATIVAS PARA DISMINUIR EL RIESGO POR INUNDACIÓN	Asegurar la calidad y eficacia de las obras implementadas como medidas de mitigación del riesgo.	Con el objetivo de establecer las adecuadas medidas de mitigación del riesgo por inundación de forma integral sobre los principales cauces del municipio de Soacha, se deben implementar estudios totales donde se evalúen las	a. Levantamiento topográfico y de batimetría. b. Modelamiento hidrológico e hidráulico que detallen el comportamiento aguas abajo de la medida implementada.	MEDIA

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
		condiciones hidrológicas e hidráulicas de la corriente de estudios desde la zona de riesgo hasta su desembocadura en el Río Bogotá, evitando la implementación de estudios parciales que no tomen en cuenta las consecuencias aguas abajo de la zona estudio que afectan urbanizaciones actuales y futuras, mejorando la calidad de vida de los habitantes y disminuyendo el impacto ambiental.	c. Evaluación del impacto ambiental. d. Análisis de vulnerabilidad y riesgo sobre las urbanizaciones actuales y futuras. e. Planteamiento de alternativas integrales para disminuir el riesgo por inundación.	
PLANIFICACIÓN DE SISTEMAS DE DRENAJE URBANO SOSTENIBLE (SDUS)	Diseñar la estrategia en conjunto con las empresas de servicios públicos de acueducto y alcantarillado para la implementación de sistemas de drenaje urbano sostenibles.	Los SDUS buscan esencialmente tres finalidades: a) La disminución de los caudales pico en las épocas de invierno o lluvias; b) Mejorar la calidad del agua que llega a los ríos o quebradas por la acción de procesos de infiltración y c) mediante el aumento de la infiltración incentivar el aporte de agua a los acuíferos d) Otra de las estrategias que es reportada en este tipo de esquemas lo constituye la creación de humedales. Los SDUS hacen	a. Solicitar a las empresas de servicios públicos la creación de una estrategia conjunta que permita diseñar y construir SDUS. b. Presentar a las empresas de acueducto y alcantarillado del municipio una visión de estratégica del municipio para desarrollar SDUS. c. Presentar propuestas por parte del municipio que incentiven la implementación de techos verdes en	

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
		referencia a una serie de opciones flexibles donde la selección de los sistemas se determina a partir de las circunstancias de un sitio	las edificaciones del municipio. d. Dar seguimiento al Plan de Saneamiento y Manejo de Vertimiento del municipio de Soacha sobre las conexiones erradas en las urbanizaciones por construir (Retomar medida de mitigación al respecto: "Seguimiento al PSMV del municipio de Soacha sobre las conexiones erradas de alcantarillado sanitario y pluvial en los ríos Bogotá y Soacha, Quebrada Tibanica y humedales"	
IMPLEMENTACIÓN Y ADECUACIÓN DE HUMEDALES – HUMEDAL TERREROS y EMBALSES DE LA ISLA	Generar zonas de amortiguación de caudales pico en las épocas de lluvia y generar áreas de reserva del recurso hídrico con posibilidad de potabilización para consumo por parte de habitantes del municipio.	Atendiendo a la necesidad dentro de un esquema de SDUS construir o conservar los humedales y en sí mismo el recurso hídrico. Existen embalses o lagunas artificiales concebidos para amortiguación del caudal como los presentes en la estación de bombeo de la Isla y otro embalse construido con la finalidad de almacenar agua como el embalse de Terreros, se	Embalse de Terreros a. Topografía y batimetría detallada del embalse. b. Diseño hidrológico e hidráulico del embalse. c. Eliminar los aportes de aguas residuales al embalse producto de las conexiones erradas alrededor del humedal. d. Diseñar la red del sistema de alcantarillado pluvial para	ALTA

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
		recomienda diseñar una estrategia conjunta que permita a estos embalses actualmente construidos concebirlos como humedales mediante apropiados diseños arquitectónicos y de paisaje de tal forma que sean integrados al municipio para beneficio de la comunidad.	alimentar al humedal. e. Diseñar el sistema para que las aguas limpias de la Quebrada Tibanica aguas arriba del embalse lleguen al humedal f. Diagnóstico, diseño y construcción de las obras de evacuación de aguas (Compuertas, construcción, manejo y operación). g. Diagnóstico, diseño y construcción de los vertederos de excesos. h. Diagnóstico, diseño y construcción de obras de estabilización de taludes. i. Diseño arquitectónico y de paisaje del entorno del humedal. j. Embalses de la Isla k. Diseño arquitectónico y de paisaje del entorno de los embalses.	
AMENAZA Y RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA Y AVENIDAS TORRENCIALES				
ESTUDIOS GEOLÓGICOS, GEOTÉCNICOS, DE VULNERABILIDAD Y RIESGO POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA Y	Evaluar las alternativas de mitigación para la comuna 6 del Municipio de Soacha	Dentro del marco de los trabajos contratados con la INMOBILIARIA CUNDINAMARCA para le ejecución de estudios tendientes a dar claridad a la	Realizar análisis de los elementos expuestos que permitan su georreferenciación y su caracterización. Normalmente este tipo de información no está fácilmente disponible	ALTA

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS DE MITIGACIÓN PARA LOS BARRIOS DE LA COMUNA VI EN EL MUNICIPIO DE SOACHA – CUNDINAMARCA		Gobernación de Cundinamarca y la Alcaldía de Soacha respecto de la legalización y posterior titulación de predios en los sectores de ladera del municipio de Soacha en el departamento de Cundinamarca, GEOCING S.AS., realizó los estudios de vulnerabilidad y riesgo de la Comuna VI, para posteriormente efectuar recomendaciones y diseños de obras de control y mitigación. Este informe involucra los avances obtenidos en la evaluación de la vulnerabilidad, paso previo para la evaluación del riesgo y las alternativas planteadas de mitigación para dos sitios específicos.	por lo cual es necesario diseñar procedimientos aproximados que con base en información básica permitan realizar estimativos confiables de los parámetros relevantes para la caracterización de la exposición y la asignación de la vulnerabilidad. En particular, el inventario debe incluir información referente a los siguientes temas específicos: - Ubicación con coordenadas geográficas respectivas. - Caracterización geométrica en planta del bien mediante un archivo en formato Shape (puntos, polilínea, polígonos). Esta información se utiliza principalmente fenómeno amenazante. - Valoración económica del bien y ocupación humana. - Parámetros que caracterizan la vulnerabilidad del bien, o directamente la asignación de una función de vulnerabilidad establecida. La vulnerabilidad debe especificarse en términos del daño físico (incluidos los	

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
			contenidos) y/o en términos de la afectación humana (normalmente el número esperado de víctimas). - Realizar la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo dentro del marco metodológico.	
OBRAS CORRECTIVAS BARRIO LA CAPILLA – MUNICIPIO DE SOACHA	Prevenir afectaciones en los predios existentes frente a procesos de inestabilidad identificados en el Barrio la Capilla	Dado que en esta zona ha sido posible identificar cuatro tipos de procesos que podrían generar riesgo en la comunidad, como lo son: Erosión Diferencial: se presenta en la parte alta del talud. Bloques de tamaños variables de arenisca de tamaños variables entre 0,4 y 0,6 m se desprenden del escarpe debido a la erosión que se presenta en los estratos de arcillolita que sirven de soporte. - Flujos de detritos: ocasionados por el desprendimiento de suelos residuales y roca meteorizada los flujos están constituidos por limos arenosos que al ganar humedad se desplazan en una masa fluida por el talud. Igualmente se	- En las terrazas generadas por el muro de suelo reforzado, se localizarán cunetas interceptoras que capten el flujo de agua superficial y lo conduzcan de forma adecuada y segura hacia uno de los flancos del deslizamiento. En el contacto relleno/terreno natural se conformarán filtros interceptores cuya función principal será el control de aguas subsuperficiales infiltradas desde la parte alta del talud. - Como producto de los análisis de estabilidad realizados se obtendría el diseño de la estructura, y se establecerán las longitudes de los refuerzos de geomalla y su separación. - El material para la conformación del talud deberá tener características que garanticen lograr los parámetros de	

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
		presenta en el sector noroccidental - Deslizamientos Compuestos: conformados principalmente por un espesor de suelo residual y roca muy alterada que durante diferentes eventos han acumulado materiales en la ladera, esta condición ha hecho que se generen superficies de falla con tendencia a la rotación. Este mecanismo de falla del terreno se localiza en el sector suroriental. - Avenidas torrenciales: conformados principalmente por un flujo concentrado con material coluvial heterogéneo inestable con altos procesos erosivos el cual fue descargado por la corriente hídrica permanente que termina en el sector de la Capilla. Con base en las características del área de estudio y las propiedades geotécnicas de los materiales, se determinó que la solución más adecuada desde el punto de vista técnico	resistencia geomecánica. - El material a emplear para constituir el relleno del muro se deberá compactar por capas como máximo de 0.25 m de espesor hasta lograr como mínimo una densidad superior al 95% del peso unitario seco máximo obtenido en la prueba de compactación Proctor. La zona del frente de cada estructura se deberá compactar con equipo liviano. La compactación de la capa se deberá verificar a una distancia no menor de 1.50 m del frente del talud. - Para la fachada, se recomienda dejar por detrás de la geomalla, sacos llenos con suelo orgánico y semillas, los cuales servirán como elementos de confinamiento lateral durante el proceso constructivo y, como sustrato de la vegetación durante la etapa de servicio. Por fuera de la geomalla se recomienda colocar el manto temporal para control de erosión. - Para el ajuste de la geomalla y del manto a cada una de las superficies, se	

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
		para mejorar las condiciones actuales de estabilidad del talud es la construcción de un muro de suelo reforzado, usando como relleno los materiales del sitio y Geo sintéticos (Geomallas y geotextiles de alto módulo). Se deberá considerar que este estudio geotécnico está basado en el análisis de la información básica existente en el Instituto Geográfico Agustín Codazzi (Cartografía y fotografías aéreas), reconocimientos Geológicos Geotécnicos y exploración del subsuelo. Esta solución Geotécnica presenta la ventaja de la utilización de los materiales ya deslizados en el talud, condición que minimiza al máximo la disposición de sobrantes en botadero. Igualmente permitirá obtener una geometría adecuada de la ladera, con incremento en el factor de seguridad actual.	recomienda utilizar ganchos metálicos figurados en forma de U en varilla de f 3/8" de 10 cm x 10 cm x 10 cm. - Se recomienda construir un sistema de drenaje con geodrén laminar entre la masa de suelo reforzado y el talud del terreno perfilado. - Se recomienda instalar drenes horizontales saliendo de la masa de suelo reforzado, con tuberías de PVC de diámetro 4", ranuradas o perforadas, envueltas en geotextil. - Se recomienda cubrir la superficie de las terrazas con tierra negra y grama, con pendiente hacia el interior del talud. En este sitio específico se recomienda la construcción de cunetas interceptoras de concreto para evacuar el agua hacia el drenaje.	

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
		Se establece que los procesos de inestabilidad existentes en el área de estudio, están asociados con la actividad minera realizada a través del tiempo. Esta actividad ha dejado en la ladera taludes de alta pendiente que se han alterado y han producido deslizamientos y flujos de lodos. Existen flujos de agua provenientes de las calles superiores al talud, que se infiltran y producen exceso de presiones hidrostáticas en los planos de discontinuidades de la roca, condición que ha contribuido a los desprendimientos de masas de terreno hacia el barrio en la parte baja.		
ACTUALIZACIÓN Y/O COMPLEMENTACIÓN DEL ESTUDIO GEOTÉCNICO Y DE DEFINICIÓN DE OBRAS DE ESTABILIDAD DE LA ZONA DE EMERGENCIA DEL BARRIO EL ARROYO – VILLA ESPERANZA EL BARRENO DEL MUNICIPIO DE	Realizar la actualización de los estudios que resultaron de la invitación No 814 del 26 de diciembre de 2012 es la "Actualización estudio geotécnico y de definición de obras de estabilidad de la	Debido al deslizamiento ocurrido en febrero de 2012, donde el proceso de inestabilidad presente en el área de estudio tuvo una retrogresión de 50 metros afectando la vía por lo cual se requiere actualizar la definición de las características	- A partir del estudio realizado por Geocing S.A.S del año 2010, se debe realizar la actualización de los estudios en los aspectos de Topografía, Geología, Geomorfología, exploración del subsuelo, modelo geológico – geotécnico y diseño de obras.	ALTA

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
SOACHA, CUNDINAMARCA, Y POSTERIOR EJECUCIÓN.	zona de emergencia del barrio el arroyo – villa esperanza el barreno del municipio de Soacha, Cundinamarca" elaborado por GEOCING S.A.S en el año de 2010, y su correspondiente ejecución.	geológicas, geotécnicas y ambientales que permitan realizar un diagnóstico de los problemas lo más preciso posible y la actualización de un diseño efectivo de solución, actualizando los parámetros básicos que afectan la estabilidad de la ladera, talud o deslizamiento consiste en obtener toda la información posible Las viviendas localizadas en el sector se han visto afectadas y se encuentran ubicadas en zonas de antiguas canteras y zonas de alto riesgo por deslizamiento, todo lo anterior asociado a altas pendientes, lo cual causa afectaciones directas a los predios e infraestructura ubicada en la parte superior del talud donde ocurrieron los movimientos de remoción en masa, el mal manejo de aguas residuales y lluvias ha acelerado estos procesos de inestabilidad generando	- En razón a la actualización, se realizará de carácter obligatorio, la topografía de detalle a escala 1:500 del área de influencia de los estudios. - Con base a este trabajo de topografía, se analizará la información existente y se establecerá los posibles cambios en cada uno de los aspectos antes relacionados. - Si los cambios son sustanciales tal que, puedan modificar las hipótesis de diseño, los modelos de estabilidad, o cualquier otra actividad relacionada con la definición de obras, se realizará el ajuste o complementación correspondiente. - Se validarán o diseñarán las obras a realizar, ajustando el presupuesto aproximado a precios de ejecución de la futura obra, teniendo en cuenta el IBC. - Una vez realizado la actualización y/o complementación de los estudios y diseño de obras, se procederá a realizar la ejecución de las obras definidas.	

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
		retrogresión de estos procesos, los taludes presentes en la zona cuenta con pendientes mayores a 75° y alturas mayores a 20 metros, sin ningún tipo de vegetación.		
OBRAS DE ESTABILIZACIÓN Y OBRAS DE URBANISMO DEL BARRIO LA ISLA, COMUNA 4 DEL MUNICIPIO DE SOACHA – CUNDINAMARCA	"Estudios y diseños de obras de estabilización y obras de urbanismo del barrio la isla, comuna 4 del municipio de Soacha - Cundinamarca." se pretenden realizar los estudios y diseños completos de obras de estabilización para mitigación del riesgo por fenómenos de remoción en masa y de las obras de urbanismo comprendidas como redes de servicios públicos hidrosanitaria, vías urbanas (calzada vehicular, andenes y senderos peatonales), de las en las zonas	Debido a los procesos activos de remoción en masa se deben definir los parámetros, especificaciones técnicas, costos del proyecto y lo más esencial definir la alternativa para solucionar la problemática existente a fin de mitigar la amenaza y desarrollar las obras urbanísticas de redes hidrosanitarias.	- Definir las acciones técnicas para resolver una necesidad utilizando un conjunto de recursos disponibles, los cuales pueden ser, recursos humanos, materiales y tecnológicos, está formado por una serie de estudios que permiten al emprendedor que tiene la idea y a las instituciones que lo apoyan saber si la idea es viable, se puede realizar y cumple con la finalidad social que se pretende satisfacer. - Elaboración de la propuesta de trabajo de acuerdo a pautas y procedimientos sistemáticos, un buen diseño debe identificar a los beneficiarios y actores claves; establecer un diagnóstico de la situación problema; definir estrategias posibles para enfrentarla y la justificación de la estrategia asumida;	ALTA

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
	de vía pública del Barrio La Isla en la Comuna 4 del municipio de Soacha, a fin de implementar posteriormente su construcción.		objetivos del proyecto (generales y específicos); resultados o productos esperados y actividades y recursos mínimos necesarios. Definir los parámetros, especificaciones técnicas, costos del proyecto y lo más esencial definir la alternativa para solucionar la problemática existente a fin de mitigar la amenaza por fenómenos de remoción en masa y desarrollar las obras urbanísticas y de redes hidrosanitarias del barrio. - Realizar y presentar los diagnósticos de laderas, taludes y muros de contención necesarios para establecer el alcance de los estudios y diseños a realizar. - Realizar y presentar los diagnósticos de pavimentos y redes necesarios para establecer el alcance de los estudios y diseños por realizar. - Realizar los estudios de Geología, topografía, tránsito, geotecnia, redes de acueducto, alcantarillado de acuerdo a las mejores	

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
			prácticas nacionales e internacionales aplicables al Municipio de Soacha. - Realizar todos los diseños, entre ellos, los de estabilización de terreno y mitigación de la amenaza por remoción en masa, urbanismo y geometría de vías, andenes, estructuras de pavimentos, redes y urbanismo de acuerdo a las mejores prácticas nacionales e internacionales aplicables al Municipio de Soacha. - Realizar la revisión, adquisición, recopilación y análisis de información esencial para el proyecto, ejecución de la totalidad de revisiones y verificaciones de campo, ensayos geotécnicos, levantamientos topográficos y demás que el contratista considere necesarios. - Elaborar los estudios y diseños hidrosanitarios, conforme a las necesidades de la Empresa de Acueducto, Alcantarillado y Aseo de Bogotá- EAB - Realizar los planos detallados de implementación del	

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
			proyecto en cuanto a obras de estabilización y taludes de relleno o corte, urbanismo y/o geometría de vías, pavimentos, redes y demás, y generar los cuadros de cantidades, especificaciones de materiales y presupuestos para obra. - El CONSULTOR deberá indicar qué documentos, permisos y licencias se requieren para el inicio de las obras de construcción de dicho proyecto, con el fin de cumplir de con todas las normas vigentes de las entidades Municipales, Departamentales y Nacionales. - Ejecutar los diseños con el rigor técnico y científico de la más alta calidad, en el tiempo previsto y entregar al municipio en medio físico y magnético todos los planos, cálculos, memorias de diseño y ensayos de suelos necesarios para la correcta construcción del acueducto y alcantarillado y las demás obras accesorios que interfieran con el proyecto. - Llevar registro fotográfico, fotocopia de la bitácora o libro de	

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
			trabajo, archivos y controles que se requieran para brindar información oportuna y confiable respecto de las obligaciones a su cargo.	
EJECUCIÓN DE OBRAS PARA LA MATERIALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS QUE TIENEN POR OBJETO LA DEFINICIÓN DE LAS ZONAS DE AMORTIGUAMIENTO HIDRÁULICO Y ZONAS DE RONDA DE LOS CUERPOS DE AGUA EXISTENTES EN EL MUNICIPIO DE SOACHA	Realizar la ejecución de adecuaciones y obras producto de los estudios y diseños que tienen por objeto la definición de las zonas de amortiguamiento hidráulico y zonas de ronda de los cuerpos de agua existentes en el municipio de Soacha	Una vez establecido las zonas de amortiguamiento hidráulico y zonas de ronda en el municipio, es necesario realizar la delimitación, obras y otro tipo de actividades para la materialización de los estudios y diseños propuestos.	- Si se requiere, realizar la compra de predios definidos en el estudio. - Realizar la delimitación de la zona de amortiguamiento hidráulico y zonas de ronda de los cuerpos de agua del Municipio de Soacha, por medio de la materialización de mojones plenamente identificados y georreferenciados. - Ejecutar las obras o adecuaciones hidráulicas que tengan lugar, de acuerdo a los estudios y diseños.	MEDIA
MANTENIMIENTO Y REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS DE RETENCIÓN HIDRÁULICA EXISTENTES	Realizar el mantenimiento y rehabilitación de estructuras de retención hidráulica existentes.	De acuerdo a la revisión de las estructuras de retención hidráulica existentes (jarillones), estos presentan algunas fallas que deben ser tratadas para mantener las estructuras existentes y evitar situaciones de riesgo.	- Realizar la intervención inmediata de las zonas donde se ha presentado o está activo un proceso de socavación lateral en los jarillones. Esta adecuación y protección lateral se puede realizar con muros de gravedad tipo Hidroblock, o por medio de un muro tipo tablestacado, solución que será definida y evaluada en estudios y diseños a realizar.	ALTA

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
			- En la cara húmeda de los jarillones donde no se presenta cobertura vegetal o cespedón, realizar la protección con un manto tipo terratrac o similar y semillas de pasto. Asimismo, esta solución se viabilizará por medio de los estudios y diseños respectivos. - Desde el punto de vista de monitoreo, se deberá realizar la verificación de los jarillones y determinar las zonas donde se evidencia la perdida de cespedón natural, y proceder a su remplazo y protección por medio de un manto terratrac o similar. - Realizar mantenimiento periódico de retiro de materiales de arrastre y basuras presentes en el canal.	
ESTUDIOS Y DISEÑOS PARA LA REHABILITACIÓN O RECONSTRUCCIÓN DEL JARILLÓN DE LA MARGEN DERECHA DEL SECTOR DE LA TRANSVERSAL 10 (BARRIO RINCÓN DE SANTAFÉ Y OTROS)	Realizar los estudios y diseños para la rehabilitación o reconstrucción del jarillón de la margen derecha del sector de la transversal 10	Teniendo en cuenta la revisión realizada, y los casos reportados de grietas en el jarillón existente es necesario realizar dichos estudios de manera inmediata.	-Estos estudios deberán tener el estudio hidrológico, hidráulico, topografía de detalle en la zona de estudio, componente ambiental, social, definición geométrica del jarillón, etapas detalladas de la rehabilitación o reconstrucción del jarillón, definición de especificaciones	ALTA

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
			técnicas de construcción, procedimiento constructivo, protección contra socavación lateral y erosión superficial, entre otros. - Diseño de los tipos de obras planteadas. - Realizar la socialización del estudio.	
EJECUCIÓN DE OBRAS PARA LA MATERIALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS QUE TIENEN POR OBJETO LA REHABILITACIÓN O RECONSTRUCCIÓN DEL JARILLÓN DE LA MARGEN DERECHA DEL SECTOR DE LA TRANSVERSAL 10 (BARRIO RINCÓN DE SANTAFÉ Y OTROS)	Realizar la ejecución de obras producto de los estudios y diseños que tienen por objeto la rehabilitación o reconstrucción del jarillón de la margen derecha del sector de la transversal 10 (barrio Rincón de Santafé y otros).	Una vez establecido las obras para la materialización de los estudios y diseños propuestos, ya que este jarillón posee una condición tendiente a ser inestable.	- Ejecutar las obras que tengan lugar, de acuerdo con los estudios y diseños	ALTA
ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ESTRUCTURALES PARA LA ESTABILIZACIÓN DE LADERAS	Realizar estudios para la mitigación de la amenaza en los sectores de Comunas VI y I, afectando los barrios Zona industrial El salitre, la Florida, el Divino Niño I, la Cristalina, San Martin, Altos de la florida (El retiro, I, II), San Rafael, Las	La estabilización de dichas laderas o escarpes derivas de actividad minera disminuye la a ocurrencia de avenidas torrenciales y de movimientos en masa. Actualmente son laderas inestables donde históricamente se tiene registro de avenidas torrenciales de pequeña magnitud, pero de fuerte impacto por	- Plantear la modalidad de intervención según la posibilidad de mitigar la amenaza. - Diseño de las obras planteadas según estudio. - Realizar la socialización del estudio.	ALTA

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
	Margaritas y el Barreno; para las comunas IV y V entre la calle 48 a la calle 37sur y carrera 20b hasta la diagonal 2, especialmente los barrios: La Capilla, El Barreno, El Arroyo, San Rafael, Las Margaritas y El Progreso.	ser sectores con alta densidad poblacional.		

Fuente: Universidad Nacional de Colombia

Las medidas de intervención, orientadas a establecer restricciones y condicionamientos mediante la determinación de normas urbanísticas para las áreas con condición de amenazas identificadas se presentan en los ítems de medidas no estructurales y estructurales

5.2. MEDIDAS DE MITIGACIÓN RURALES

5.2.1. MEDIDAS DE MITIGACIÓN NO ESTRUCTURALES, RESTRICCIONES O CONDICIONAMIENTOS Y NORMAS URBANISTICAS

Medidas de mitigación no estructurales, restricciones o condicionamientos y normas urbanísticas componente rural.

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
AMENAZA Y RIESGO POR INUNDACIONES				
EVITAR LA CONTAMINACIÓN EN LOS CURSOS Y CUERPOS DE AGUA	Disminuir el riesgo de desbordamiento en los cuerpos de agua localizados en el área urbana por efecto de disminución de	La descontaminación de cuerpos de agua es un componente crítico de la fase de recuperación de un sistema hídrico. Caso de estudio se	a) Implementar campañas de limpieza en los cursos y cuerpos de agua. b) Ejercer monitoreo y control de la cantidad total de carga contaminante.	ALTA

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
AMENAZA Y RIESGO POR INUNDACIONES				
	la capacidad hidráulica de los cauces.	presenta a lo largo del R. Soacha y Q. Tibanica, donde debido a la deposición de basuras trae como consecuencia el taponamiento de tuberías, ocasionando desbordamientos.	c) Aplicación estricta de estudios de impacto ambiental, rechazando los proyectos de construcción que no encajan con las políticas encargadas de proteger el ambiente. d) Multas y/o cierre de empresas que en sus procesos de producción generan una grave contaminación ambiental. e) Promoción de la producción limpia en las empresas en relación con la innovación tecnológica. f) Generar campañas para el desarrollo de la agricultura ecológica y orgánica. g) Conversión de aguas residuales en recursos reutilizables. h) Construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales urbanas.	

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
AMENAZA Y RIESGO POR INUNDACIONES				
			i) Monitorear de manera continua la calidad del agua de las fuentes hídricas vulnerables (R. Soacha y Q. Tibanica)	
PROTECCIÓN DE LA CABECERA DE CUENCAS	Garantizar el abastecimiento de agua y la disponibilidad de áreas de amortiguación hídrica durante crecientes.	Conservación de los nacimientos de los ríos y quebradas en las partes alta de la cuenca, regulando la cantidad y la calidad del agua utilizada para el abastecimiento de poblaciones aguas abajo. Los suelos con bosques pueden tener una capacidad significativa para almacenar el exceso de precipitación y limitar o prevenir las crecientes. También controlan la erosión, deslizamientos y producción de sedimentos en la parte alta de la cuenca lo cual beneficia las condiciones aguas abajo,	a) Generar campañas de fortalecimiento ambiental en la zona rural del municipio, veredas Fusungá y Panamá b) Comprar y mantener los predios que pertenezcan a las zonas altas de las cuencas con el fin de declarar estas zonas como zonas protegidas. c) Realizar un estudio de impacto ambiental que involucre un análisis hidrogeológico de la cabecera de las cuencas. d) Realizar acciones de conservación como reforestación en estas áreas	ALTA

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
AMENAZA Y RIESGO POR INUNDACIONES				
		regulando los caudales. En el caso de las veredas de Fusungá y Panamá donde la actividad de canteras afectó la disposición natural de los drenajes que alimentan el R. Soacha. En estos lugares se observa en los resultados del estudio un riesgo a partir de la erosión que presentan, lo cual puede a su vez relacionarse con eventos de remoción en masa y avenidas torrenciales.		

Fuente: Universidad Nacional de Colombia

5.2.2. MEDIDAS DE MITIGACIÓN ESTRUCTURALES

Tabla 238. Medidas de mitigación estructurales componente rural

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
AMENAZA Y RIESGO POR INUNDACIONES				
OBRAS DE ADECUACIÓN DE CANALES DEL RÍO SOACHA Y	Realizar las obras de ingeniería necesarias propuestas por	Los cauces del río Soacha y quebrada Tibanica presentan las	a) Programa continuo de limpieza de sedimentos, basuras y	ALTA

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
QUEBRADA TIBANICA	los estudios detallados, para corregir o mejorar la capacidad hidráulica de los cauces del río Soacha y Quebrada Tibanica.	siguientes condiciones: - Secciones hidráulicas irregulares. En algunos sectores del centro del municipio no se respetan márgenes mínimos de proximidad al espejo de agua lo que dificulta la implementación de soluciones de ingeniería y aumenta la condición de vulnerabilidad de la población. - Acumulación pastos, sedimentos provenientes de las partes altas, al igual que basuras por mala disposición de residuos sólidos. - Se presentan estructuras que limitan el movimiento del agua para altos caudales, tales como puentes o alcantarillados.	vegetación de los cauces. Aunado al programa de educación ambiental propuesto en las medidas transversales del presente estudio. b) Reconformación del cauce de tal forma que facilite el movimiento del agua. c) Diseño de estructuras hidráulicas como puentes, sifones que mejoren el flujo del agua a través de los canales. d) Verificación de la correcta implementación de las obras realizadas. e) Implementar los tipos de revestimiento aconsejados en el estudio detallado de inundación.	

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
CONTROL E INSPECCIÓN DEL DRENAJE O DESAGÜES EN ZONAS AGROPECUARIAS Y DE ALMACENAMIENTO	Evitar la intervención de propietarios de predios agropecuarios o diversos agentes, sin conocimiento técnico, que causen afectaciones en los diques que protegen de inundación las áreas aledañas a los márgenes de ríos Bogotá, Soacha y la quebrada Tibanica.	Se han presentado eventos de inundación en diferentes sectores de los ríos producto de la intervención no técnica de los propietarios que buscan drenar sus respectivos predios o intervenir con diques estructuras sin conocimiento de los impactos de dichas acciones. - Evento de inundación Remolino y pradera – Rio Bogotá (Evento 20-04-2011) - Bosques de canoas – Rio Bogotá (Evento 15-05-2017) - Embalse Terreros – Quebrada Tibanica (Evento 08-01-2015).	a) Instaurar un sistema continuo de monitoreo y supervisión de las salidas de los drenajes de los cuerpos de agua y de los diques que están mitigando el riesgo por inundación en el municipio. b) Identificar los respectivos puntos de intervención generados a lo largo de los canales o desagües. c) Determinar medidas coercitivas, de educación y correctivas de los problemas identificados.	ALTA

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
CONTROL E INSPECCIÓN DEL DRENAJE O DESAGÜES EN ZONAS AGROPECUARIAS Y DE ALMACENAMIENTO	Evitar la intervención de propietarios de predios agropecuarios o diversos agentes, sin conocimiento técnico, que causen afectaciones en los diques que protegen de inundación las áreas aledañas a los márgenes de ríos Bogotá, Soacha y la quebrada Tibanica.	Se han presentado eventos de inundación en diferentes sectores de los ríos producto de la intervención no técnica de los propietarios que buscan drenar sus respectivos predios o intervenir con diques estructuras sin conocimiento de los impactos de dichas acciones. - Evento de inundación Remolino y pradera – Rio Bogotá (Evento 20-04-2011) - Bosques de canoas – Rio Bogotá (Evento 15-05-2017) - Embalse Terreros – Quebrada Tibanica (Evento 08-01-2015).	a) Instaurar un sistema continuo de monitoreo y supervisión de las salidas de los drenajes de los cuerpos de agua y de los diques que están mitigando el riesgo por inundación en el municipio. b) Identificar los respectivos puntos de intervención generados a lo largo de los canales o desagües. c) Determinar medidas coercitivas, de educación y correctivas de los problemas identificados.	ALTA
ESTUDIO AMBIENTAL Y ECONÓMICO DE ALTERNATIVAS PARA DISMINUIR EL	Asegurar la calidad y eficacia de las obras implementadas como medidas	Con el objetivo de establecer las adecuadas medidas de mitigación del	a) Levantamiento topográfico y de batimetría. b) Modelamiento hidrológico e	MEDIA

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
RIESGO POR INUNDACIÓN	de mitigación del riesgo.	riesgo por inundación de forma integral sobre los principales cauces del municipio de Soacha, se deben implementar estudios totales donde se evalúen las condiciones hidrológicas e hidráulicas de la corriente de estudios desde la zona de riesgo hasta su desembocadura en el Río Bogotá, evitando la implementación de estudios parciales que no tomen en cuenta las consecuencias aguas abajo de la zona estudio que afectan urbanizaciones actuales y futuras, mejorando la calidad de vida de los habitantes y disminuyendo el impacto ambiental.	hidráulico que detallen el comportamiento aguas abajo de la medida implementada. c) Evaluación del impacto ambiental. d) Análisis de vulnerabilidad y riesgo sobre las urbanizaciones actuales y futuras. e) Planteamiento de alternativas integrales para disminuir el riesgo por inundación.	

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
IMPLEMENTACIÓN Y ADECUACIÓN DE HUMEDALES – HUMEDAL TERREROS y EMBALSES DE LA ISLA	Generar zonas de amortiguación de caudales pico en las épocas de lluvia y generar áreas de reserva del recurso hídrico con posibilidad de potabilización para consumo por parte de habitantes del municipio.	Atendiendo a la necesidad dentro de un esquema de SDUS construir o conservar los humedales y en sí mismo el recurso hídrico. Existen embalses o lagunas artificiales concebidos para amortiguación del caudal como los presentes en la estación de bombeo de la Isla y otro embalse construido con la finalidad de almacenar agua como el embalse de Terreros, se recomienda diseñar una estrategia conjunta que permita a estos embalses actualmente construidos concebirlos como humedales mediante apropiados diseños arquitectónicos y de paisaje de tal	Embalse de Terreros a) Topografía y batimetría detallada del embalse. b) Diseño hidrológico e hidráulico del embalse. c) Eliminar los aportes de aguas residuales al embalse producto de las conexiones erradas alrededor del humedal. d) Diseñar la red del sistema de alcantarillado pluvial para alimentar al humedal. e) Diseñar el sistema para que las aguas limpias de la Quebrada Tibanica aguas arriba del embalse lleguen al humedal f) Diagnóstico, diseño y construcción de las obras de evacuación de aguas (Compuertas, construcción,	ALTA

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
		forma que sean integrados al municipio para beneficio de la comunidad.	manejo y operación). g) Diagnóstico, diseño y construcción de los vertederos de excesos. h) Diagnóstico, diseño y construcción de obras de estabilización de taludes. i) Diseño arquitectónico y de paisaje del entorno del humedal. Embalses de la Isla j) Diseño arquitectónico y de paisaje del entorno de los embalses.	
AMENAZA Y RIESGO POR REMOCIÓN EN MASA Y AVENIDAS TORRENCIALES				
ESTUDIOS Y DISEÑOS DE OBRAS DE MITIGACION PARA LAS VEREDAS DEL MUNICIPIO DE SOACHA – DEPARTAMENTO DE CUNDINAMARCA	Si bien los gaviones son usados principalmente para controlar los procesos de movimientos en masa, como estructuras filtrantes para regular corrientes o estructuras que	Esta alternativa se contempla por su fácil instalación en los lugares de difícil acceso, teniendo en cuenta la integración al entorno logrando que inclusive la vegetación pueda desarrollarse en ella, presentando	- Para la construcción de los gaviones se emplearán, básicamente, solo dos materiales (roca y malla hexagonal a doble torsión). Dentro de las consideraciones de diseño se deberán tomar los	ALTA

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
	proveen estabilidad; se propone realizar un pre diseño de estructuras en gavión de pared escalonada cuyo único objetivo será el de contener el material que pueda desprenderse de las laderas localizadas en la parte superior de algunos corregimientos como por ejemplo la vereda del Charquito y Canoas	así, un paisaje agradable contraponiéndose a otras soluciones. Este tipo de estructuras de contención permiten que se pueda realizar un esquema modular, lo que facilita la configuración de una amplia variedad de posibilidades de acuerdo a las diferentes geometrías del terreno. Se deberá considerar en el análisis y diseño que estos gaviones trabajan como muros de gravedad, para el empuje activo del terreno, dado que, por su flexibilidad, es de esperar que se den las deformaciones del suelo suficientes para que se alcance	gaviones como muros de gravedad, soportando la carga del terreno y las sobrecargas sin que se generen rotura o deformaciones excesivas en su estructura, de su cimentación o del terreno sostenido. - Debe suponerse una cierta geometría del muro basada en el peso específico de los gaviones que, a su vez, varía según el tipo de bloques que se utilicen y del grado de acomodo que se logre. Se realizan las respectivas revisiones de estabilidad. Entre las mismas se analizan: la seguridad contra el deslizamiento de la base, contra el volcamiento, la excentricidad y las presiones sobre la fundación, así como las	

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
		esta condición, con la correspondiente reducción de la resistencia cortante, en relación a la condición de reposo.	estabilidades interna y global. - Para la construcción de este tipo de estructuras de contención se deberá demarca topográficamente la localización de las secciones de gavión, preparando las terrazas y el mejoramiento con una capa de recebo compactado de 20 cm. - En obra, los gaviones se unirán con costura manual en alambre, por las características físicas de la roca de relleno se debe prever que dicho material no sea susceptible a disgregación o meteorización. La malla de gavión deberá tener una dimensión de mínimo una a dos veces la menor dimensión de la malla, para	

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
			asegurar la mayor densidad posible. Los gaviones pueden estar divididos por diafragmas formando celdas cuya longitud no debe ser mayor a una vez y medio el ancho de la malla. Usualmente, esta separación es de 1 m. - Debido a que la estructura estará sometida a tensiones producidas por asentamientos diferenciales del terreno, empujes externos, entre otros, no se recomienda utilizar gaviones con aberturas de malla mayores a 8 x 10 cm. Una abertura de malla mayor reduciría el área de acero de los gaviones y provocaría, en consecuencia, el debilitamiento de la estructura. La tolerancia en las dimensiones de la	

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
			abertura de la malla es de +- 10 %. - El gavión es una estructura drenante, por eso no se consideran empujes a causa del agua. Sin embargo, debe verificarse esta condición en obra, de manera que se tenga garantía de que no existan elementos que permitan la acumulación de agua tras el muro. - Una vez establecida la geometría final de los gaviones, se deberán llevar a cabo las verificaciones de estabilidad, tales como: - Coeficiente de Seguridad al deslizamiento - Coeficiente de seguridad al volcamiento - Coeficiente de seguridad estabilidad global. - Esfuerzos en la cimentación	

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
			- Distribución de esfuerzos y excentricidad - Esfuerzos internos - Se debe realizar una demarcación topográfica detallada, que indique claramente la línea de nivel bajo la cual se dispondrán los gaviones, en el diseño se considera que los gaviones estarán apoyados sobre la superficie del terreno natural, con el objetivo de evitar sobrecostos de excavaciones y rellenos. -Se deben preparar las terrazas o niveles a fin de garantizar máxima disposición de líneas de gaviones de 30 m de longitud, con el objetivo de usar el máximo material posible. Esta acomodación será definida	

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
			finalmente en obra de acuerdo a las características del terreno, manteniendo las dimensiones del diseño acá planteado. - Es de vital importancia colocar las secciones de gaviones sobre terreno horizontal, para evitar que la inclinación del terreno origine esfuerzos no calculados en el sentido longitudinal. La distribución de los tensores en las cajas de gavión debe ser de al menos 6 und/m², en filas de 2 tensores colocados a 30, 60 y 90 cm de altura. Para llenar los cajones se debe dejar el menor volumen de vacíos posible de manera que se logre el peso máximo considerado en el diseño para que	

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
			funcione por gravedad. - Por último, es de vital importancia amarrar las mallas del módulo siguiente a las mallas debidamente cerradas del módulo inferior; ya que, si se dejaran sueltas se generaría un plano de falla y el muro no funcionaría como una unidad estructural	
EJECUCIÓN DE OBRAS PARA LA MATERIALIZACIÓN DE LOS ESTUDIOS QUE TIENEN POR OBJETO LA DEFINICIÓN DE LAS ZONAS DE AMORTIGUAMIENTO HIDRÁULICO Y ZONAS DE RONDA DE LOS CUERPOS DE AGUA EXISTENTES EN EL MUNICIPIO DE SOACHA	Realizar la ejecución de adecuaciones y obras producto de los estudios y diseños que tienen por objeto la definición de las zonas de amortiguamiento hidráulico y zonas de ronda de los cuerpos de agua existentes en el municipio de Soacha	Una vez establecido las zonas de amortiguamiento hidráulico y zonas de ronda en el municipio, es necesario realizar la delimitación, obras y otro tipo de actividades para la materialización de los estudios y diseños propuestos.	- Si se requiere, realizar la compra de predios definidos en el estudio. - Realizar la delimitación de la zona de amortiguamiento hidráulico y zonas de ronda de los cuerpos de agua del Municipio de Soacha, por medio de la materialización de mojones plenamente identificados y georreferenciados.	MEDIA

MEDIDA	OBJETIVO	JUSTIFICACIÓN	ACTIVIDADES CLAVE	PRIORIDAD
			- Ejecutar las obras o adecuaciones hidráulicas que tengan lugar, de acuerdo a los estudios y diseños.	

Fuente: Universidad Nacional de Colombia

5.2.3. MEDIDAS DE PREVENCIÓN Y DE MITIGACIÓN ANTE LA OCURRENCIA DE UN FENÓMENO DE INCENDIOS DE LA COBERTURA VEGETAL.

En torno a los incendios de la cobertura vegetal, existe un marco normativo que busca prevenir la ocurrencia de este tipo de fenómenos, pero que también busca establecer medidas sancionatorias y compensatorias en caso de que el detonante del mismo se deba a la negligencia humana; en la Sección 1. Aspectos Generales del presente documento se mencionan en detalle los artículos relacionados con la prevención y mitigación, como también los artículos relacionados con la sanción y compensación según el marco normativo existente en materia de incendios de la cobertura vegetal; a continuación, se citan las normas que aplican en la materia:

a. Constitución Política de Colombia (Artículo 79 y 80).
b. Decreto Ley 2811 de 1974: Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente (Artículos 241, 242, 243, 244, 245, 305 y 306).
c. Ley 99 de 1993: Por la cual se crea el Ministerio del Medio Ambiente, se reordena el Sector Público encargado de la gestión y conservación del medio ambiente y los recursos naturales renovables, se organiza el Sistema Nacional Ambiental, SINA y se dictan otras disposiciones (Artículo 1).
d. Decreto 948 de 1995: Por el cual se reglamentan, parcialmente, la Ley 23 de 1973, los artículos 33, 73, 74, 75 y 76 del Decreto - Ley 2811 de 1974; los artículos 41, 42, 43, 44, 45, 48 y 49 de la Ley 9 de 1979; y la Ley 99 de 1993, en relación con la prevención y control de la contaminación atmosférica y la protección de la calidad del aire (Artículos 28, 29 y 30).
e. Decreto 2340 de 1997: Por el cual se dictan unas medidas para la organización en materia de prevención y mitigación de incendios forestales y se dictan otras disposiciones" (Artículo 9).

f. Ley 599 de 2000: Por el cual se expide el Código Penal (Artículo 350).
g. Ley 1333 de 2009: Por la cual se establece el procedimiento sancionatorio ambiental y se dictan otras disposiciones (Artículos 1, 5 y 40).
h. Ley 1523 de 2012: Por la cual se adopta la política nacional de gestión del riesgo de desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres y se dictan otras disposiciones (Artículos 1 y 2).
i. Decreto – Ley 0019 de 2012: Por el cual se dictan normas para suprimir o reformar regulaciones, procedimientos y trámites innecesarios existentes en la administración pública.
j. Decreto 1077 de 2015: "Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio" (Artículos 2.2.2.1.3.1.1 a 2.2.2.1.3.4.2).

Además de los instrumentos normativos que buscan de alguna manera prevenir y mitigar los incendios de la cobertura vegetal, diferentes entidades como el Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible – MADS, el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres - SNGRD, la Asociación de Corporaciones Autónomas Regionales – ASOCARS, la misma Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca, entre otras entidades, publican constantemente guías metodológicas para la prevención y mitigación de incendios forestales, guías para el manejo que se debe seguir en caso de que se presente un fenómeno de este tipo, guías para la restauración de zonas afectadas por incendios de la cobertura vegetal, lineamientos para la elaboración de planes de contingencia frente a este fenómeno, y un conjunto de elementos adicionales que deben ser tenidos en cuenta por las entidades territoriales en post de prevenir la ocurrencia de este fenómeno.

Un ejemplo claro de la importancia que representan las guías emitidas por diferentes entidades frente a la prevención y mitigación de incendios forestales, y de cómo estas pueden orientar a los municipios y a sus habitantes en la materia, es la "Cartilla para la reducción del riesgo en incendios forestales" de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CARC, 2013), la cual establece medidas claras para los municipios y sus habitantes como:

- ✓ **¿QUÉ HACER PARA PREVENIR LA OCURRENCIA DE INCENDIOS FORESTALES? Recuerde…**
  a. No realice quemas agrícolas y efectúe los siguientes pasos para la adecuación del terreno, como una alternativa sustentable que beneficia a todos y previene la ocurrencia de incendios forestales.
  b. Planifique y defina con suficiente tiempo a las áreas dentro de su predio donde va a cultivar, con el fin de evitar que el rastrojo crezca demasiado y dificulte e incremente los costos en la adecuación del terreno.
  c. Realice rocería en terrenos con rastrojos de menos de un año para que su acondicionamiento sea menos costoso.

d. Una vez tenga el área rozada con machete o guadaña, pique el rastrojo y déjelo quieto durante 20 días con el fin de que se acomode y comience el proceso de descomposición e incorporación al suelo.
e. Realice la siembra directamente sobre la cobertura de rastrojo o material vegetal utilizando, según su criterio, barretón, chuzo o sembradora manual (matraca).
f. Realice Las limpias con machete o guadaña, esparciendo el material cortado como cobertura del suelo. No utilice azadón.
g. Al utilizar el rastrojo como cobertura del suelo se aumenta la fertilidad natural debido al aporte de la materia orgánica descompuesta, tal como ocurre en un bosque.
h. Por ningún motivo realice quemas para adecuación de terrenos como áreas cultivables, son la mayor causa de los incendios forestales y la pérdida de valor de su suelo.
i. **No encienda fogatas,** puede causar grandes incendios. Si encuentra restos de fogata, no los abandone hasta que se encuentres totalmente apagados. Informe de su ocurrencia a la autoridad más cercana.
j. **Sea precavido,** si su vivienda se encuentra cerca de una zona de cobertura vegetal susceptible a los incendios forestales, mantenga una faja de terreno completamente limpia, del ancho suficiente que sirva como barrera cortafuego; esto impide el avance de las llamas.
k. **Establezca y ubique claramente las fuentes de agua** disponibles, para utilizarlas en caso de presentarse un incendio forestal.
l. **NO arroje al suelo colillas, fósforos, vidrios o desperdicios de cualquier tipo de material combustible.** Una chispa o llama puede causar un incendio forestal.
m. **Al observar personas sospechosas que puedan causar un incendio**, dé aviso inmediato a la autoridad municipal.

✓ **¡PREPÁRESE!**

a. **Consulte con el Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo en Desastres (CMGRD) de su municipio,** los planes de contingencia para incendios forestales y la estrategia de respuesta.
b. **Organice y coordine con su comunidad las principales** acciones a seguir frente a la ocurrencia de un incendio forestal.
c. **Cuando vea una columna de humo** o sospeche que se pudiera estar iniciando un incendio, establezca su ubicación y dé aviso inmediato a la policía o a los bomberos de su ciudad o municipio.

✓ **¿CÓMO ACTUAR FRENTE A UN INCENDIO FORESTAL?**

Tenga en cuenta lo siguiente, si lo aplica puede salvar su vida y evitar mayores daños al ambiente. Si detecta el inicio de un incendio forestal, dé aviso a las autoridades, a los siguientes números (Información adaptada para el municipio de Soacha):

Tabla 239. Líneas de atención de emergencia municipio de Soacha

Entidad	No. de Contacto
Bomberos - Soacha	119
	5754827
Gestión Municipal de Gestión del Riesgo y Desastres	3223488584
Gobernación de Cundinamarca	4205911
Policía Nacional - Soacha	321 390 2080
Defensa Civil - Soacha	311 246 2593
Hospital Mario Gaitán Yanguas	7309230
Hospital Cardiovascular Soacha	5922979
Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – Sede Soacha	5801111 ext. 3700

Tenga a la mano el número de la alcaldía de su municipio para dar aviso en caso de un incendio.

Tel: 7305500 Ext. 113 - 104

a. **NO asuma riesgos inútiles, mantenga la calma.** Espere las instrucciones del personal especializado en combatir los incendios forestales.
b. **Actúe según el plan de contingencia en incendios forestales de su municipio**; este plan debe responder a cada situación específica y será guiado por el jefe del control del incendio forestal (Bombero) y se activará según el mecanismo de monitoreo, alerta y alarma establecido previamente
c. **Se debe establecer una línea de defensa o línea cortafuego** programada, ubicada y dirigida por el comandante o jefe del control del incendio forestal para ese momento (Bomberos). Se define teóricamente como el trabajo de eliminación del combustible (material vegetal), preparando una faja de terreno completamente limpia que se interponga como barrera entre el fuego y el área que se desea proteger. Dicha línea debe dejar visible y limpio el suelo y tener un ancho mayor a la altura de los árboles que bordearán la línea de defensa.

La información presentada en esta cartilla es de suma utilidad para la prevención y mitigación de eventos relacionados con incendios de la cobertura vegetal, pues ayuda a las entidades territoriales a definir líneas estratégicas, programas y proyectos que permiten reducir la ocurrencia de este tipo de eventos en el territorio, convirtiéndose de esta manera en instrumentos de gestión; A continuación, se relacionan varios de estos instrumentos:

a. **Plan nacional de prevención,** control de incendios forestales y restauración de áreas afectadas (MADS -2002): Plan de carácter estratégico, concomitante con el Plan Nacional de Prevención y Atención de Desastres y el Plan Nacional de Desarrollo Forestal y a su vez articulado, entre otros, con el Plan Nacional de Desarrollo Agropecuario y el Plan Nacional de Lucha Contra las Drogas. Se caracteriza por ser preventivo, trascender el corto plazo y

convertirse así en un Plan enmarcado en una política de Estado, con cobertura nacional y responsabilidades comunes en las áreas fronterizas.

b. **Cartilla orientadora para la gestión del riesgo en incendios forestales (MADS - 2012):** Busca orientar básicamente a las Autoridades Locales, para involucrar en la gestión del riesgo de desastres a nivel municipal, las acciones tendientes a prevenir los incendios forestales, en la que también todos los actores locales deben participar, en el marco de la Ley 1523 de 2012 y de los fundamentos de la política ambiental de Colombia.
c. **Estrategia de corresponsabilidad social en la lucha contra los incendios forestales (MADS - 2014):** Documento guía de la gestión para la prevención de los incendios forestales y la vinculación de los actores del sector público, privado y público – privados, además de la comunidad y diferentes organizaciones no gubernamentales que buscan de manera conjunta establecer bases legales, marcos técnicos y líneas estratégicas en relación con la prevención y mitigación de los incendios forestales.
d. **Cartilla para la prevención de incendios forestales (MinAmbiente - 2014):** La cartilla Prevención de Incendios Forestales, va dirigida a todos los actores y en especial a la comunidad en general que por omisión o acción facilitan la generación de los incendios forestales en Colombia, generando impactos negativos a los ecosistemas boscosos, al ambiente, a la salud de las personas y a la economía del país.
e. **Lineamientos operativos para la atención, control y liquidación de incendios forestales (CONIF & MAVDT - 2014):** Plegable, en el cual se indica ante un incendio forestal los lineamientos y acciones necesarias que deben tomar las instituciones que conforman el SNPAD, el SINA y el Sistema Nacional de Bomberos de acuerdo con el nivel de afectación y capacidad de respuesta.
f. **Guía para la preparación de planes de contingencia (MINSALUD - 2016):** documento dirigido a las instituciones y personal del sector salud encargado de la toma de decisiones y coordinación de situaciones de emergencia y/o desastre específico, particularmente Secretarías de Salud, Instituciones Prestadoras de Servicios de Salud (IPS) Centros Reguladores de Urgencias y Emergencias – CRUE, entre otros. Esta guía facilita la gestión de las organizaciones en la elaboración o actualización de sus planes de contingencias ante la ocurrencia de eventos relacionados con fenómenos naturales y desastre, cuyo documento se constituye en el marco de referencia para que sus integrantes conozcan y apliquen las acciones necesarias para minimizar los riesgos y reducir las pérdidas que ocasionan las emergencias.
g. **Lo que usted debe saber sobre incendios de la cobertura vegetal (UNGRD - 2019):** Esta cartilla tiene el propósito de informar, concienciar y promover la participación comunitaria en torno al conocimiento y gestión del riesgo relacionado con los incendios forestales. Así mismo, busca sensibilizar sobre la gravedad del problema, destacando la importancia de la organización y colaboración entre los distintos actores involucrados, tanto en las causas, como en la solución para la prevención de incendios forestales.

Los anteriores documentos son solo algunos de los muchos que han sido expedidos por entidades regionales, departamentales y nacionales, los cuales pueden ser consultados en los repositorios

documentales; queda la tarea para los organismos municipales encargados de prevenir y mitigar este tipo de fenómeno de actualizarse y capacitarse constantemente en la materia, incorporando nuevos elementos que permitan controlar adecuadamente y disminuir la ocurrencia de este tipo de fenómenos en el municipio de Soacha; De igual manera, se recomienda que la Administración Municipal establezca programas y proyectos que permitan poner en conocimiento a la comunidad sobre esta información.

5.3. MEDIDAS DE MITIGACIÓN EN CENTROS POBLADOS RURALES

5.3.1. MOVIMIENTOS EN MASA

Como se ha mencionado, Un fenómeno de remoción en masa es el proceso por el cual un volumen de material constituido por roca, suelo, escombros o una combinación de cualquiera de estos, se desplaza por una ladera o talud por acción de la Gravedad (IDIGER, 2017); Para este tipo de fenómenos se presentan en esta sección las medidas de mitigación enfocadas en los centros poblados rurales con jurisdicción en el Municipio.

5.3.1.1. MEDIDAS DE INTERVENCIÓN PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA PARA LOS CPR ALTO DE LA CRUZ, EL CHARQUITO, CHACUA CABRERA Y AHR ALTOS DE LA FLORIDA

Las medidas de intervención, orientadas a establecer restricciones y condicionamientos mediante la determinación de normas urbanísticas para las áreas con condición de amenazas identificadas se presentan en los ítems de medidas no estructurales y estructurales

5.3.1.2. MEDIDAS NO ESTRUCTURALES PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA PARA LOS CPR ALTO DE LA CRUZ, EL CHARQUITO, CHACUA CABRERA Y AHR ALTOS DE LA FLORIDA

a. Para las áreas zonificadas con condición de amenaza y condición de riesgo por movimientos en masa se deberán realizar estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo teniendo en cuenta lo establecido en el Artículo 2.2.2.1.3.1.4. Estudios detallados del Decreto 1077 de 2015 teniendo en cuenta que dichos están orientados a determinar la categorización del riesgo y establecer las medidas de mitigación correspondientes.
b. El Concejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (PMGRD), deberá prepararse y actualizar el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres.
c. Diseñar e implementar campañas de educación ambiental enfocadas a la gestión del riesgo por parte de las comunidades y sus representantes en apoyo con las autoridades competentes.

d. Diseñar, implementar y mantener una base de datos documental y cartográfica con el inventario de eventos desastrosos producto de movimientos en masa.
e. A partir de las etapas de desarrollo y de los productos obtenidos en la evaluación y zonificación de la amenaza por eventos de movimientos en masa, se observó la falta o necesidad de información que puede ser de gran relevancia para precisar las zonas identificadas como amenaza media y alta en el municipio y tener así una mejor caracterización de estos sectores con un mejor detalle.
f. Adquirir imágenes satelitales de alta resolución en diferentes periodos de tiempo para identificar con mayor precisión las geoformas asociadas a este tipo de eventos en zonas con alto índice de relieve.
g. Implementar un sistema de registro completo de los eventos amenazantes por movimientos en masa que puedan dar información técnica de las causas de los eventos, como localización, origen del evento (antrópico como intervenciones a taludes para el desarrollo de viviendas y otros, diques o natural como aumento de las precipitaciones), procesos desencadenantes, zonas afectadas, duración. Este tipo de trabajos se deben desarrollar por las autoridades municipales y departamentales encargadas de atender este tipo de eventos.

5.3.1.3. MEDIDAS ESTRUCTURALES PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA PARA LOS CPR ALTO DE LA CRUZ, EL CHARQUITO, CHACUA CABRERA Y ALTOS DE LA FLORIDA

La administración municipal, en base a los sectores críticos identificados en el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres y del estudio detallado en áreas con condición de riesgo, gestará la conformación de un programa de mitigación del riesgo, bajo el cual se diseñarán y construirán las medidas estructurales a implementar en las áreas de riesgo mitigable determinadas en los estudios detallados.

5.3.2. INUNDACIONES

Las inundaciones corresponden a fenómenos hidrológicos recurrentes potencialmente destructivos, que hacen parte de la dinámica de evolución de una corriente hídrica; Se producen por lluvias persistentes y generalizadas que generan un aumento progresivo del nivel de las aguas contenidas dentro de un cauce, superando la altura de las orillas naturales o artificiales, ocasionando un desbordamiento y dispersión de las aguas sobre las llanuras de inundación y zonas aledañas a los cursos de agua (IDEAM & MINAMBIENTE, 2017).; Para este tipo de fenómenos se presentan en esta sección las medidas de mitigación enfocadas en los centros poblados rurales con jurisdicción en el Municipio.

5.3.2.1. MEDIDAS DE INTERVENCIÓN POR INUNDACIÓN PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIONES PARA LOS CPR ALTO DE LA CRUZ, EL CHARQUITO, CHACUA CABRERA Y AHR ALTOS DE LA FLORIDA

Las medidas de intervención, orientadas a establecer restricciones y condicionamientos mediante la determinación de normas urbanísticas para las áreas con condición de amenazas identificadas se presentan en los ítems de medidas no estructurales y estructurales

5.3.2.2. MEDIDAS NO ESTRUCTURALES POR INUNDACIÓN PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIONES PARA LOS CPR ALTO DE LA CRUZ, EL CHARQUITO, CHACUA CABRERA Y AHR ALTOS DE LA FLORIDA

a. En los CPR Ato de la Cruz, El Charquito, Chacua - Cabrera y AHR Alto de La Cruz para las áreas zonificadas con amenaza media y alta y para las áreas con condición de amenaza y riesgo por inundaciones se deberán realizar estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo teniendo en cuenta lo establecido en el Artículo 2.2.2.1.3.1.4. Estudios detallados del Decreto 1077 de 2015 teniendo en cuenta que dichos están orientados a determinar la categorización del riesgo y establecer las medidas de mitigación correspondientes.
b. El Concejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (PMGRD), deberá prepararse y actualizar el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres.
c. Diseñar e implementar campañas de educación ambiental enfocadas a la gestión del riesgo por parte de las comunidades y sus representantes en apoyo con las autoridades competentes.
d. Diseñar, implementar y mantener una base de datos documental y cartográfica con el inventario de eventos desastrosos producto de inundaciones.
e. A partir de las etapas de desarrollo y de los productos obtenidos en la evaluación y zonificación de la amenaza por eventos de inundaciones, se observó la falta o necesidad de información que puede ser de gran relevancia para precisar las zonas identificadas como amenaza media y alta en el municipio y tener así una mejor caracterización de estos sectores con un mejor detalle.
f. Adquirir imágenes satelitales de alta resolución en diferentes periodos de tiempo para identificar con mayor precisión las geoformas asociadas a este tipo de eventos en zonas con bajo índice de relieve.
g. Implementar un sistema de registro completo de los eventos amenazantes por inundaciones que puedan dar información técnica de las causas de los eventos, como localización, origen del evento (antrópico como intervenciones en áreas cercanas a cuerpos de agua para el desarrollo de viviendas y otros, diques o natural como aumento de las precipitaciones), procesos desencadenantes, zonas afectadas, duración. Este tipo de

trabajos se deben desarrollar por las autoridades municipales y departamentales encargadas de atender este tipo de eventos.

5.3.2.3. MEDIDAS ESTRUCTURALES PARA LA ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIONES PARA LOS CPR ALTO DE LA CRUZ, EL CHARQUITO, CHACUA CABRERA Y ALTOS DE LA FLORIDA

La administración municipal, en base a los sectores críticos identificados en el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres y del estudio detallado en áreas con condición de riesgo, gestará la conformación de un programa de mitigación del riesgo, bajo el cual se diseñarán y construirán las medidas estructurales a implementar en las áreas de riesgo mitigable determinadas en los estudios detallados

5.3.3. AVENIDAS TORRENCIALES

Las avenidas torrenciales son un tipo de movimiento en masa que se desplazan generalmente por los cauces de las quebradas, llegando a transportar volúmenes importantes de sedimentos y escombros, con velocidades peligrosas para los habitantes e infraestructuras ubicados en las zonas de acumulación (Universidad Nacional, 2011). Para este tipo de fenómenos se presentan en esta sección las medidas de mitigación enfocadas en los centros poblados rurales con jurisdicción en el Municipio.

5.3.3.1. MEDIDAS DE INTERVENCIÓN PARA LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN LOS CENTROS POBLADOS RURALES

Las medidas de intervención, orientadas a establecer restricciones y condicionamientos mediante la determinación de normas urbanísticas para las áreas con condición de amenazas identificadas se presentan en los ítems de medidas no estructurales y estructurales

5.3.3.2. MEDIDAS NO ESTRUCTURALES PARA LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN LOS CENTROS POBLADOS RURALES

a. Se deberán realizar estudios detallados de vulnerabilidad y riesgo por avenidas torrenciales para las áreas con condición de amenaza y riesgo por avenidas torrenciales teniendo en cuenta lo establecido en el Artículo 2.2.2.1.3.1.4. Estudios detallados del Decreto 1077 de 2015 teniendo en cuenta que dichos están orientados a determinar la categorización del riesgo y establecer las medidas de mitigación correspondientes.
b. El Concejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (PMGRD), deberá prepararse y actualizar el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres.

c. Diseñar e implementar campañas de educación ambiental enfocadas a la gestión del riesgo por parte de las comunidades y sus representantes en apoyo con las autoridades competentes.
d. Diseñar, implementar y mantener una base de datos documental y cartográfica con el inventario de eventos desastrosos producto de avenidas torrenciales.
e. A partir de las etapas de desarrollo y de los productos obtenidos en la evaluación y zonificación de la amenaza por eventos de avenidas torrenciales, se observó la falta o necesidad de información que puede ser de gran relevancia para precisar las zonas identificadas como amenaza media y alta en el municipio y tener así una mejor caracterización de estos sectores con un mejor detalle.
f. Adquirir imágenes satelitales de alta resolución en diferentes periodos de tiempo para identificar con mayor precisión las geoformas asociadas a este tipo de eventos en zonas con alto índice de relieve.
g. Implementar un sistema de registro completo de los eventos amenazantes por avenidas torrenciales que puedan dar información técnica de las causas de los eventos, como localización, origen del evento (antrópico como intervenciones a cauces naturales), procesos desencadenantes, zonas afectadas, duración. Este tipo de trabajos se deben desarrollar por las autoridades municipales y departamentales encargadas de atender este tipo de eventos.

5.3.3.3. MEDIDAS ESTRUCTURALES PARA LA AMENAZA POR AVENIDAS TORRENCIALES EN LOS CENTROS POBLADOS RURALES

La administración municipal, en base a los sectores críticos identificados en el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres y del estudio detallado en áreas con condición de riesgo, gestará la conformación de un programa de mitigación del riesgo, bajo el cual se diseñarán y construirán las medidas estructurales a implementar en las áreas de riesgo mitigable determinadas en los estudios detallados.

6. BIBLIOGRAFÍA

Ariza, Carvajal, & Hernández. (2009). Soacha Biodiversa: Caracterización de flora y fauna en el Municipio de Soacha - Cundinamarca. Alcaldía Municipal de Soacha: Convenio 009-2009 - Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

Bregoli, F., Medina, V., & Bateman, A. (2018). TXT-tool 3.034-2.1: A Debris Flow Regional Fast Hazard Assessment Toolbox. En Landslide Dynamics: ISDR-ICL Landslide Interactive Teaching Tools (Sassa, Kyoji; Tiwari, Binod; Liu, Ko-Fei; McSaveney, Mauri; Strom, Alexander; Setiawan, Hendy ed., págs. 225--234). Springer International Publishing.

Breña Puyol, A., & Jacobo, M. A. (2006). Fundamentos de la Hidrología Superficial. Universidad Autónoma Metropolitana: Ciudad de México.

Cahuana, A., & Weimar, Y. (2009). Material de apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje de la asignatura Hidrología CIV-233. Trabajo de grado Licenciatura en Ingeniería Civil. Cochabamba: Universidad Mayor de San Simón.

Campo, Bernal, Páramo, & Morales & Otros. (2011). Incendios de la cobertura vehetal en Colombía. Cali - Colombia: Universidad Autónoma de OccidentE, Red Colombiana de Formación Ambiental y PNUMA.

CAR. (2019). Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Bogotá.

CAR Cundinamarca. (15 de Octubre de 2020). Jurisdicción CAR. Obtenido de https://bit.ly/35ZpOUZ

CAR, C. (2011). Humedales del Territorio CAR: Consolidación de humedales de la jurisdicción CAR. Municpios con jurisdicción en la CAR: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR.

CARC. (2013). Cartilla para la reducción del riesgo en incedios forestales. Municipios en jurisdicción CAR: Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR.

Cardona, B. (2016). Conceptos básicos de Morfometría de Cuencas Hidrográficas. Obtenido de http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/4482: http://www.repositorio.usac.edu.gt/id/eprint/4482

Chow, V. (1994). Hidrología Aplicada . Bogotá: McGRAW HILL.

CIIFEN. (15 de Agosto de 2020). Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno del Niño. Obtenido de Aproximación para el cálculo de riesgo.: http://www.ciifen.org/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=84&Itemid=336&lang=es#:~:text=RIESGO%20%3D%20AMENAZA%20x%20VULNERABILIDAD%20(1,relaci%C3%B3n%20en%20la%20siguiente%20f%C3%B3rmula.

DANE. (2018). Departamento Administrativo Nacional de Estadística: Información Para Todos. Obtenido de Censo Nacional de Población y Vivienda - CNPV 2018: https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/demografia-y-poblacion/censo-nacional-de-poblacion-y-vivienda-2018

DMA Aragon. (2006). Manual de incendios forestales para cuadrillas - Segunda Edición. Comunidad Autónoma de Aragon, España: Departamento de Medio Ambiente.

ECOFOREST. (2013). Elaboración del diagnóstico, prospectiva y formulación de la cuenca hidrográfica del Río Bogotá - Subcuenca del Río Soacha (2120-07). Soacha, Cundinamarca: ECOFOREST LTDA.

Ecoforest Ltda. (2006). Elaboración del Diagnóstico, Prospectiva y Formulación de la Cuenca Hidrográfica del río Bogotá - Subcuenca del Río Soacha - 2120-07. Bogotá: Planeación Ecológica Ltda.

Escuder, R., Fraile, J., Jordana, S., Ribera, F., Sánchez - Vila, X., & Vásquez - Suñe, E. (2009). Hidrogeología - Conceptos básicos de Hidrología Subterránea. Comisión Docente de Hidrología Subterránea: Barcelona.

Fellenius, W. (1927). Erdstatiche Bereshnungen mit . Berlin: Ernst.

Ferrér, M., Rodríguez, J., & Estrela, T. (1995). Generación Automática del Número de Curva con Sistemas de Información Geográfica. Ingeniería del Agua, 2(4), 43-58.

Gobernación de Cundinamarca. (2016). Plan de Desarrollo Departamental "Unidos Podemos Más 2016 - 2020": Apartes Especiales 1.0. Soacha. Bogotá: Gobernación de Cundinamarca.

Gusman, A. J. (2009). Estimating Sediment/Debris Bulking Factors. In Proceeding of 33rd IAHR Congress. Proceeding of 33rd IAHR Congress, Vancouver, British Columbia, Canada, 9-14.

Hernández, R., Barrios, H., & Ramírez, A. (2017). Análisis de riesgo por inundación: metodología y aplicación a la cuenca Atemajac. Tecnología y ciencias del agua, 8(3), 5-25.

IDEAM & CAR, I. d. (2014). Memoría Técnica: Mapa zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal para la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR. Cundinamarca: IDEAM.

IDEAM & MINAMBIENTE. (02 de 09 de 2020). Portal Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales. Obtenido de Tiempo y Clima - Quimica de la Atmósfera: Radiación Solar: http://www.ideam.gov.co/web/tiempo-y-clima/radiacion-solar

IDEAM & Otros. (2010). Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra: Metodología Corine Land Cover adaptada para Colombia. Orden Nacional: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales & Otros.

IDEAM. (2007). Protocolo para el monitoreo y seguimiento del agua. Bogotá: MINAMBIENTE.

IDEAM, I. d. (2015). Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal. Orden Nacional: IDEAM.

IDEAM, I. d. (2017). Guía Metodológica para la Elaboración de mapas de inundación. Bogotá.

IGAC, C. &. (2008). Convenio Interadministrativo 2975 de 2008. Departamento de Cundinamarca: Instituto Geográfico Agustín Codazzí - Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - Gobernación de Cundinamarca.

Lluen, W., & Blade, E. (2015). Aplicación de la nueva herramienta HEC RAS 5.0 para calculos bidimensionales del flujo de agua en ríos. Barcelona: Universidad PolItécnica de Cataluña.

Marco, F. (2015). Análisis y evaluación del transporte de sedimentos en la Rambla de Albujón. Cartagena: Universidad Politécnica de Cartagena.

Medina, V., Hürlimann, M., & Bateman, A. (2007). Application of FLATModel, a 2D finite volume code, to debris flows in the northeastern part of the Iberian Peninsula. Springer-Verlag.

Monserrrat, F., Rodríguez, J., & Estrella, T. (1995). Generación automática del Número de Curva con Sistemas de Información Geográfica. Ingeniería del agua, 2(24), 43-58.

Moscovich, I. &. (2010). Manual de combate de incendios forestales y manejo de fuego. Buenos Aires, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaría (INTA).

Páramo G.E. (2007). Análisis, diagnóstico y elaboración del mapa de susceptibilidad a los incendios de la cobertura vegetal en Colombia. Bogotá: Reporte final del contrato de consultoría N°. 2062372 (Convenio MAVDT-FONADE).

Periodismo Público Soacha. (12 de septiembre de 2014). "Se reactivaron operaciones para controlar incendio entre Soacha y Sibaté". Obtenido de https://periodismopublico.com/se-reactivaron-operaciones-para-controlar-incendio-entre-soacha-y-sibate

Pineda, H. (2019). Dinámica de cambio de las coberturas vegetales pertenecientes a la microcuenca del Río Soacha para el periodo de 1999 a 2040. Bogotá: Universidad Distrital Francisco de Paula Santander.

SGC. (2015). Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por Movimientos en Masa. Servicio Geológico Colombiano.

Témez, J. (1978). Cálculo Hidrometeorológico de caudales máximos en pequeñas cuencas naturales. Madrid, España: Dirección General de Carreteras.

UNGRD. (2019). "Lo que usted debe saber sobre incendios de cobertura vegetal". Orden Nacional: Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo del Desastre.

Universidad Politécnica de Valencia. (2010). Plan de defensa contra incendios forestales en el Parque Natural Serrania Alta de Cuenca. Valencia, España: Universidad Politécnica ed Valencia & Escuela Politécnica Superior de Gandia.

Vélez, J., & Botero, A. (2011). Estimación del Tiempo de concentración y tiempo de rezago en la Cuenca experimental urbana de la Quebrada San Luis, Manizales. Dyna - Ingeniería e Industria (165), 58-71.

Plan de Ordenamiento Territorial