CONVENIO INTERADMINISTRATIVO N° 070 DE 2018 CVC – UNIVALLE

MUNICIPIO DE ZARZAL

INFORME TÉCNICO
ZONIFICACIÓN DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y ESCENARIO DE AFECTACIÓN POR INUNDACIÓN Y MOVIMIENTO EN MASA MUNICIPIO DE ZARZAL

Universidad del Valle

CVC
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca

Santiago de Cali, 2020

PRESENTACIÓN

Para la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC, es una gran satisfacción aportar al municipio de Zarzal, la evaluación de la amenaza, vulnerabilidad y escenarios de afectación o daño (riesgo) en el componente urbano municipal, en cumplimiento de la función dada por la Ley 1523 de 2012 sobre el apoyo a los municipios en el conocimiento del riesgo.

Conocedores de la importancia y responsabilidad que reviste abordar el tema del conocimiento de las amenazas y los riesgos, la CVC llevó a cabo una alianza con el Observatorio Sismológico y Geofísico del Suroccidente, OSSO, adscrito a la Universidad del Valle, con el fin de obtener los mejores resultados en estas evaluaciones. De igual forma, es necesario reconocer el aporte, contribución y compromiso de las administraciones municipales y sus propios habitantes, a lo largo de la ejecución de este estudio.

Por medio de los estudios se fortalece el conocimiento que tenemos de nuestro entorno para tener certeza y articular una adecuada planificación y ocupación de nuestros territorios. Los estudios entregados son parte fundamental de la información que se requiere para que cada municipio formule su Ordenamiento Territorial de segunda generación y son evaluaciones que dan soporte para la reducción y la elaboración de planes de emergencia y contingencia.

La presente evaluación de las amenazas y riesgos deben estructuralmente permitirle al municipio reglamentar el uso del suelo en el componente urbano, de tal manera que, como lo define la política de gestión del riesgo y en esencia la Constitución Política Colombiana, se logre avanzar hacia un desarrollo sostenible, que ofrezca seguridad para la vida de los habitantes, sus bienes y medios de subsistencia, así como a toda la infraestructura del municipio.

Finalmente, la CVC con estas evaluaciones, a través de la Universidad, espera contribuir en la formación y fortalecimiento de la capacidad profesional de la región en este tipo de estudios.

MARCO ANTONIO SUÁREZ GUTIÉRREZ
Director General
CVC

AGRADECIMIENTO

Agradecimiento a la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, La subdirección Tecnica Ambiental DAR-BRUT, a la Secretaria de Gobierno, a la Secretaría de Planeación e Infraestructura Física y su Oficina de Gestión del Riesgo de Desastres adscrita a esta secretaria de la Administración Municipal, por la información suministrada y el acompañamiento durante las salidas de campo por parte de sus técnicos en el área de estudio, al Cuerpo de Bomberos Voluntarios, a la Defensa Civil Colombiana; a la Policía Nacional y líderes comunitarios del Municipio de Zarzal. De igual manera se agradece a cada una de las entidades que de una u otra manera puso a disposición la información necesaria para adelantar los estudios de amenaza, vulnerabilidad y escanarios de afectación (riesgo) de los fenómenos de inundación y movimiento en masa de la zona urbana del municipio en el marco del Convenio Interadministrativo N°070 de 2018 entre la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca CVC y La Universidad de Valle, el cual tiene como objeto *"Aunar Esfuerzos Técnicos y Recursos Económicos para la Elaboración de los Estudios de Zonificación de Amenaza y Vulnerabilidad y Escenarios de Afectación a nivel de detalle, para Áreas urbanas de los municipios de El Dovio, Obando, Pradera, Toro, Ulloa y Zarzal".*

CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL VALLE DEL CAUCA – CVC

DIRECTIVOS

MARCO ANTONIO SUÁREZ GUTIÉRREZ
Director General

ANA CECILIA COLLAZOS AEDO
Secretaria General

JUAN CAMILO VALLEJO LORZA
Director Técnico Ambiental

PAULA ANDREA SOTO QUINTERO
Directora Territorial – Dirección Ambiental Regional BRUT

YUNCELY GIMENA BASTIDAS B
Ingeniería Civil
Líder del proyecto 5001
Supervisora del Convenio Interadministrativo N° 068 de 2019 CVC-Univalle

EQUIPO TÉCNICO

NUBIA MADELEINE BASTIDAS B
Ingeniera Sanitaria

ANDRÉS CRUZ BERNATE
Ingeniero Topográfico

ANDRES MAURICIO CARMONA TOBAR
Administrador del Medio Ambiente y de los Recursos Naturales

DUVER HUMBERTO ARREDONDO
Ingeniero Forestal

MARÍA VICTORIA CROSS GARCÉS
Ingeniera Agrónoma
Especialista en Educación Ambiental

UNIVERSIDAD DEL VALLE

DIRECTIVOS

EDGAR VARELA BARRIOS
Rector

LILIANA ARIAS CASTILLO
Vicerrectora Académica

JAIME RICARDO CANTERA KINTZ
Vicerrector de Investigación

CLAUDIA SANTAMARÍA GAITÁN
Vicerrector de Bienestar Universitario

ANTONIO JOSÉ ECHEVERRY PÉREZ
Secretario General

INÉS MARÍA ULLOA VILLEGAS
Vicerrectora Administrativa

DARÍO HENAO RESTREPO
Decano - Facultad de Humanidades

EQUIPO TÉCNICO

ELKIN DE JESÚS SALCEDO HURTADO
Director - Observatorio Sismológico y Geofísico del Sur Occidente Colombiano - OSSO
Doctor (Ph. D.) en Física-Matemáticas

GRUPO DE HISTORICIDAD

JORGE ANDRÉS VÉLEZ CORREA
Doctor (C) en Ciencias Ambientales
Coordinador

ALBA NIDIA CASTAÑO CASTAÑO
Geógrafa.
MSc. en Desarrollo Sustentable

YELI CEIDY CASTILLO GONZÁLEZ
Geógrafa
Est. MSc en Políticas Públicas

KAREN ANDREA SÁNCHEZ E.
Geógrafa

LUISA MARÍA TEJADA POSSO
Est. Geografía

CINDY CASTAÑO MEDINA
Est. Geografía

LUIS ANDERSON CABRERA RIASCOS
Est. Ingeniería Topográfica

GRUPO DE CARTOGRAFÍA Y SIG

JHON JAIRO BARONA
Doctor en Ingeniería Geográfica
Coordinador

DANNY ALEXANDER COCUÑAME RICARDO
Geógrafo

VANESSA GARCÍA CARDONA
Ing. Topográfica

JORGE ANDRÉS DIAZ RENTERÍA
Geógrafo

PABLO ANDRÉS PITTO COLLO
Est. Ingeniería Topográfica

GRUPO DE GEOLOGÍA

SANDRA YACKELINE BEDOYA CUERVO
Geóloga

MAURICIO JAVIER CRUZ SÁNCHEZ
Geólogo
MSc en Administración de Empresa

DIANA MARISOL MAYA MAYA
Est. Ing Civil

GRUPO DE HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA

CARLOS RAMÍREZ CALLEJAS
Ing. Civil

ANDRÉS FABIÁN BARRIOS H.
Ing. Agrícola

CESAR ANDRÉS VIVAS MEDINA
Ing. Agrícola
Esp. Recursos Hídricos y Prevención
Atención y Reducción de Desastres

GRUPO DE TOPOGRAFÍA

JHON JAIRO BARONA
Doctor en Ing Geográfica
Coordinador

EVLIN MIREYA LÓPEZ
Ing. Topográfica

ALEXANDER PRETEL DIAZ
Est de Ing. Topográfica

GRUPO DE GEOTÉCNIA

JHONALBERTH PALACIOS SÁNCHEZ
MSc en Geotecnia

NISLEY ZÚÑIGA ESTACIO
Geógrafa

EDUAR ORLANDO MUÑOZ MUÑOZ
Est. Geografía

GRUPO DE VULNERABILIDAD

JORGE ANDRÉS VÉLEZ CORREA
Doctor (C) en Ciencias Ambientales
Coordinador

NATHALIE GARCÍA MILLAN
Doctora (C) en Ciencias Ambientales

ALBA NIDIA CASTAÑO CASTAÑO
Geógrafa.
MSc en Desarrollo Sustentable

YELI CEIDY CASTILLO GONZÁLEZ
Geógrafa
Est. MSc en Políticas Públicas

KAREN ANDREA SÁNCHEZ E.
Geógrafa

GRUPO DE ESTADÍSTICA

LEIDY LORENA TORRES RAMÍREZ
Estadística

DANIELA GÓMEZ SÁNCHEZ
Est. Estadística

GRUPO DE ECONOMÍA

JUAN JOSE CAMPIÑO MOSQUERA
Est. Economía

MARIANA LIBREROS OSPINA
Est. Economía

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN **38**
OBJETIVOS **40**
GENERAL 40
ESPECÍFICOS 40
ALCANCE **40**
1. GENERALIDADES DEL MUNICIPIO DE ZARZAL VALLE DEL CAUCA **41**
1.1. CONTEXTO HISTÓRICO DEL MUNICIPIO 41
1.2. CONTEXTO GEOGRÁFICO DEL MUNICIPIO 41
1.2.1. LÍMITES 41
1.2.2.1. ZONA URBANA 42
1.2.2.2. ZONA RURAL 45
1.2.3. DEMOGRAFÍA 47
1.2.4. ESTRUCTURA PRODUCTIVA 48
1.2.5. CLIMATOLOGÍA 49
1.2.6. HIDROLOGÍA 49
1.3. CONTEXTO FISIOGRÁFICO DEL MUNICIPIO 51
1.3.1. FISIOGRAFÍA Y RELIEVE 51
1.3.2. GEOLOGÍA Y MORFOLOGÍA 51
1.3.2.1. GEOLOGÍA REGIONAL 51
2. HISTORICIDAD DE EVENTOS DE INUNDACIÓN Y MOVIMIENTO EN MASA **57**
2.1. CONCEPTUALIZACIÓN DE INUNDACIÓN Y MOVIMIENTO EN MASA 57
2.1.1. INUNDACIÓN 57
2.1.1.1. TIPOS DE INUNDACIÓN 57
2.1.1.1.1. SEGÚN LA DURACIÓN 57
2.1.1.1.2. SEGÚN EL MECANISMO DE GENERACIÓN 58
2.1.2. MOVIMIENTO EN MASA 58
2.1.2.1. TIPOS DE MOVIMIENTO EN MASA 58
2.2. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE EVENTOS HISTÓRICOS 60
2.2.1. MÉTODOS INTENSIVISTA Y EXTENSIVISTA 60
2.2.2. ESPACIALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS DE HISTORICIDAD 61
2.2.2.1. DENSIDAD DE KERNEL DEFINICIÓN DE ÁREAS DE SUSCEPTIBILIDAD A INUNDACIÓN A PARTIR DE DATOS PUNTUALES DE HISTORICIDAD. 62
2.2.4. FUENTES DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTOS CONSULTADOS 65
2.2.4.1. ARCHIVO 65
2.2.4.2. BIBLIOGRÁFICAS 66
2.2.4.3. HEMEROGRÁFICA 66
2.2.4.4. BASES DE DATOS 66
2.2. EVENTOS POR INUNDACIÓN 68
2.2.1. REPORTES SOBRE EVENTOS POR INUNDACIÓN 68
2.2.1.1. DESCRIPCIÓN DE EVENTOS DE INUNDACIÓN 72
2.2.1.1.1. DIARIO EL PAÍS 72
2.2.1.1.2. ARCHIVO DEL CUERPO DE BOMBEROS VOLUNTARIOS DE ZARZAL 73
2.2.1.1.3. ACTAS - SECRETARÍA DE GOBIERNO- OFICINA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRE 100
2.2.1.2. TIPIFICACIÓN DE EVENTOS DE INUNDACIÓN 105

2.2.1.3. MAPAS DE INUNDACIONES HISTÓRICAS DEL MUNICIPIO DE ZARZAL PERIODO 1980- ABRIL DE 2019 107
2.2.1.4. INVENTARIO GENERAL DE REPORTES POR EVENTOS HISTÓRICOS DE INUNDACIONES DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL PERIODO 1980 HASTA ABRIL DE 2019 115
2.2. EVENTOS DE MOVIMIENTO EN MASA 135
2.2.1. REPORTE SOBRE EVENTOS POR MOVIMIENTO EN MASA 135
2.2.1.1. DESCRIPCIÓN DE EVENTOS DE MOVIMIENTOS EN MASA 135
2.2.1.1.1. ACTAS - SECRETARÍA DE GOBIERNO- OFICINA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRE 136
2.2.1.2. MAPAS HISTÓRICOS DE MOVIMIENTO EN MASA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL PERIODO 1980 HASTA ABRIL DE 2019 137
2.2.1.3. INVENTARIO GENERAL DE REPORTES POR EVENTOS HISTÓRICOS DE MOVIMIENTO EN MASA DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL PERIODO 1980-ABRIL DE 2019 139
2.3. TALLER DE SOCIALIZACIÓN Y VALIDACIÓN 141
2.3.1. SOCIALIZACIÓN DEL PROYECTO Y EJECUCIÓN DEL TALLER CON LOS ASISTENTES 141
3. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 149
3.1. GEOLOGIA REGIONAL 149
3.1.1. FORMACIÓN LA PAILA (TMP) 151
3.1.2. FORMACIÓN LA POBREZA (TMPO) 151
3.1.3. FORMACIÓN ZARZAL (TPZ) 152
3.1.4. FORMACIÓN ZARZAL (TPLZ) 153
3.1.5. DEPÓSITOS 155
3.1.5.1. CONOS ANTIGUOS – QPCA. 155
3.1.5.2. TERRAZAS – QTA, CONOS – QCA Y ALUVIONES – QAL 155
3.2. GEOLOGIA ESTRUCTURAL REGIONAL 156
3.2.1. FALLA CALI - PATÍA 156
3.3. GEOLOGÍA LOCAL 157
3.3.1. MAPA GEOLÓGICO LOCAL 157
3.3.1.1. FORMACIÓN LA PAILA (TMP) 160
3.3.1.2. FORMACIÓN ZARZAL (TPLZ) 164
3.3.1.3. TERRAZAS (QTA) Y ALUVIONES (QAL) 168
3.4. GEOLOGIA ESTRUCTURAL LOCAL 170
3.5. UNIDADES GEOLOGICAS SUPERFICIALES 171
3.5.1. UNIDAD DE ROCA DURA (RD) 171
3.5.2. UNIDAD DE ROCA BLANDA (RB) 171
3.5.3. UNIDAD DE SUELO TRANSPORTADO (ST) 171
3.6. GEOMORFOLOGÍA 173
3.6.1. FASE 1 173
3.6.2. FASE 2 175
3.6.3. FASE 3 182
3.6.3.1. ANÁLISIS, RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LA GEOMORFOLOGÍA 182
3.6.4. MOVIMIENTOS EN MASA Y EROSIÓN 184
3.6.5. EROSIÓN 186
3.6.6. INUNDACIONES 187
4. TOPOGRAFÍA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 195
4.1. SISTEMAS Y MARCOS DE REFERENCIA 195
4.2. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON ESTACIÓN TOTAL 199
4.3. TOPO BATIMETRÍA 202

4.4. DEFINICIÓN DE PRODUCTOS DE INFORMACIÓN GEOMÁTICA PRIMARIA 203
4.5. ANÁLISIS DE ESTÁNDARES DE CALIDAD DE CADA PRODUCTO 204
4.5.1. CARTOGRAFÍA BÁSICA DIGITAL 204
4.5.2. CONSTRUCCIÓN DE MODELOS DIGITALES DEL TERRENO 206
4.5.3. MUESTREO 208
4.5.3.1. MUESTREO ALEATORIO 208
4.5.3.2. MUESTREOS NO PROBABILÍSTICOS 209
4.5.3.3. MUESTREOS ESPACIALES 209
4.6. NÚMERO DE PUNTOS 211
4.6.1. DISTRIBUCIÓN DE PUNTOS DE CONTROL 212
4.6.2. UBICACIÓN DE LOS PUNTOS 212
4.7. DISEÑO DE PROCEDIMIENTOS 212
4.7.1. CONSTRUCCIÓN REDES DE CONTROL GNSS 212
4.7.2. MUESTREO 213
4.7.3. TOPOGRAFÍA CONVENCIONAL 214
4.7.3.1. MOVIMIENTOS EN MASAS 214
4.7.3.2. BATIMETRÍA FLUVIAL PARA CUERPOS DE AGUA PEQUEÑOS Y DRENAJES INTERMITENTES 214
4.8. TRABAJO DE CAMPO 214
4.8.1. RESULTADOS AMARRE A LA RED GEODÉSICA NACIONAL 215
4.8.2. EVALUACIÓN DE CALIDAD DE UN MODELO DE ELEVACIÓN DEL TERRENO 223
4.9. BATIMETRÍA 224
5. HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA 227
5.1. CONCEPTUALIZACIÓN 228
5.2. METODOLOGÍA 230
5.2.1. RESULTADOS DE LAS INVESTIGACIONES DE CAMPO 230
5.2.1.1. LEVANTAMIENTOS TOPOBATIMÉTRICOS 230
5.2.1.1.1. QUEBRADA LIMONES 231
5.2.2. CLIMATOLOGÍA 233
5.2.3. MORFOMETRÍA 234
5.2.4. HIDROLOGÍA 234
5.2.5. HIDRÁULICA 234
5.3. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA MUNICIPIO DE ZARZAL 234
5.3.1. ELEMENTOS Y VARIABLES CLIMATOLÓGICAS 235
5.3.1.1. RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS 235
5.3.1.2. TEMPERATURA MEDIA 236
5.3.1.3. BRILLO SOLAR 238
5.3.1.4. HUMEDAD RELATIVA 239
5.3.1.5. EVAPORACIÓN 240
5.3.1.7. PRECIPITACIÓN 242
5.3.1.7.1. ANÁLISIS TEMPORAL DE LAS PRECIPITACIONES 242
5.3.1.7.2. PRECIPITACIONES MÁXIMAS DIARIAS 245
5.3.1.7.3. PRECIPITACIONES MÁXIMAS ASOCIADAS A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO 246
5.3.1.7.4. CURVAS DE INTENSIDAD FRECUENCIA Y DURACIÓN IFD Y TORMENTA DE DISEÑO 249
5.4. ESTUDIO HIDROLÓGICO 252
5.4.1. MODELACIÓN HIDROLÓGICA 252
5.4.1.1.1. CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA 253

5.4.2. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO 261
5.4.2.1. DATOS DE ENTRADA DEL MODELO HEC-HMS 261
5.4.2.2. CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LAS SUBZONAS 261
5.5. ESTUDIO HIDRÁULICO 262
5.5.1. MODELACIÓN HIDRAULICA HEC GEO RAS 262
5.5.1.1. CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS 262
5.5.1.2. CÁLCULO DE PERFILES DE AGUA SUPERFICIAL 262
5.5.1.3. COEFICIENTE DE MANNING PARA EL CANAL PRINCIPAL 263
5.5.1.4. EVALUACIÓN DE LA CABEZA PRINCIPAL DE ENERGÍA CINÉTICA 264
5.5.1.5. EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS POR FRICCIÓN 264
5.5.1.6. EVALUACIÓN DE CONTRACCIONES Y EXPANSIONES 265
5.5.1.7. LIMITACIONES DEL PROGRAMA 265
5.5.1.8. INFORMACIÓN DE ENTRADA AL MODELO 265
5.5.1.9. CAUDALES DE MODELACIÓN 266
5.5.1.10. COEFICIENTE DE RUGOSIDAD 266
5.5.1.11. SECCIONES TRANSVERSALES 266
5.6. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA 266
5.7. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO HIDRAULICO HEC RAS 267
5.7.1.2. RUGOSIDAD DE LAS LLANURAS 268
5.7.1.3. ESQUEMATIZACIÓN DE LOS RÍOS Y CANALES 268
5.7.1.4. CONDICIONES DE FRONTERA 269
5.7.1.5. CONDICIONES INICIALES 269
5.7.1.6. SIMULACIÓN 270
5.7.1.7. CALIBRACIÓN 270
5.7.1.8. VERIFICACIÓN DEL MODELO 271
5.7.1.9. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD 271
6. AMENAZA POR INUNDACIÓN POR DESBORDAMIENTO 273
6.1. CONCEPTUALIZACIÓN 274
6.1.1. AMENAZA 274
6.1.2. ZONIFICACIÓN 274
6.2. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE NIVELES DE AMENAZA POR INUNDACIONES 274
6.2.1. ESTADO DEL ARTE 274
6.3. METODOLOGÍA ADOPTADA EN EL PRESENTE ESTUDIO 284
6.3.1. NIVELES DE FRECUENCIA DE LOS EVENTOS DE INUNDACIONES 285
6.3.2. NIVELES DE INTENSIDAD O MAGNITUD DE LOS EVENTOS DE INUNDACIONES 285
6.3.3. METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LOS NIVELES DE AMENAZA POR INUNDACIONES 285
6.3.4. DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE AMENAZA POR INUNDACIONES 286
6.4. MODELACIÓN MATEMÁTICA. GENERALIDADES DEL MODELO HIDRAULICO HEC – RAS 287
6.4.1. MODELACIÓN HIDRÁULICA HEC GEO RAS 288
6.4.1.1. CÁLCULO DE PERFILES DE AGUA SUPERFICIAL 288
6.4.1.2. COEFICIENTE DE MANNING PARA EL CANAL PRINCIPAL 289
6.4.1.3. EVALUACIÓN DE LA CABEZA PRINCIPAL DE ENERGÍA CINÉTICA 289
6.4.1.4. EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS POR FRICCIÓN 290
6.4.1.5. EVALUACIÓN DE CONTRACCIONES Y EXPANSIONES 290
6.4.1.6. LIMITACIONES DEL PROGRAMA 290

6.4.2. INFORMACIÓN DE ENTRADA AL MODELO 291
6.4.2.1. CAUDALES DE MODELACIÓN 291
6.4.2.2. COEFICIENTE DE RUGOSIDAD 291
6.4.2.3. SECCIONES TRANSVERSALES 291
6.5.1. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO HIDRAULICO HEC RAS 292
6.5.1.1. ESQUEMATIZACIÓN 292
6.5.1.1.1. DESCRIPCIÓN DE LA MALLA COMPUTACIONAL 292
6.5.1.1.2. RUGOSIDAD DE LAS LLANURAS 293
6.5.1.1.3. ESQUEMATIZACIÓN DE LOS RÍOS Y CANALES 293
6.5.1.1.4. CONDICIONES DE FRONTERA 294
6.5.1.1.5. CONDICIONES INICIALES 295
6.5.1.1.6. SIMULACIÓN 295
6.5.1.1.7. CALIBRACIÓN 295
6.5.1.1.8. VERIFICACIÓN DEL MODELO 296
6.5.1.1.9. ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD 297
6.6. RESULTADOS 298
6.6.1. DETERMINACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA DE AMENAZA POR INUNDACIÓN 298
6.6.2. CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LAS INUNDACIONES 299
6.6.3. MEDIDAS PARA EL CONTROL Y EL MANEJO DE INUNDACIONES 300
6.6.3.1. MEDIDAS ESTRUCTURALES 300
6.6.3.2. MEDIDAS NO ESTRUCTURALES 301
6.7. MAPA DE AMENAZA POR INUNDACIÓN POR DESBORDAMIENTO 301
6.7.1. CLASIFICACIÓN DE LA AMENAZA EN PLANICIES DE INUNDACIÓN 303
6.7.2. DETERMINACIÓN DE CAUDALES EXTREMOS 303
6.7.3. MODELACIÓN HIDRODINÁMICA Y GENERACIÓN DEL MAPA DE INUNDACIÓN POR DESBORDAMIENTO 304
6.8. GENERACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA DE AMENAZA GLOBAL POR INUNDACIONES 304
6.8.1. INTEGRACIÓN DE LOS MAPAS DE AMENAZA GLOBAL POR INUNDACIONES 305
7. AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA 307
7.1. CONCEPTUALIZACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIEMTO EN MASA 308
7.1.1. AMENAZA 308
7.1.2. ZONIFICACIÓN DE AMENAZA 308
7.1.3. LA CLASIFICACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA 309
7.2. METODOLOGÍA 310
7.2.1. EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA Y ENSAYOS DE LABORATORIO 316
7.2.2. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA: 323
7.3. ANÁLISIS FACTORES CONDICIONANTES 324
7.3.1. GEOLOGÍA 324
7.3.2. GEOMORFOLOGÍA 325
7.3.3. UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES (UGS) 325
7.3.4. COBERTURA Y USO DE LA TIERRA 329
7.3.5. INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA 333
7.3.6. EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA Y ENSAYOS DE LABORATORIO 335
7.3.6.1. PERFORACIONES A PERCUSIÓN 335
7.3.6.2. APIQUES 338
7.3.6.3. LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICA 342

7.3.6.4. ENSAYOS DE LABORATORIO 348
7.3.6.5. ENSAYO DE CORTE DIRECTO 352
7.3.6.6. ENSAYOS DE COMPRESIÓN INCONFINADA 352
7.3.6.7. PARÁMETROS GEOTÉCNICOS 353
7.4. MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO 353
7.5. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD 357
7.5.1. PARÁMETROS DE RESISTENCIA 357
7.5.2. AGENTES DETONANTES 357
7.5.2.1. LLUVIA Y AGUA SUBTERRÁNEA 358
7.5.2.2. SISMOS 361
7.5.2.3. ACTIVIDAD ANTRÓPICA 361
7.6. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA 361
7.6.1. ANÁLISIS PROBABILÍSTICOS DE ESTABILIDAD EN SUELOS ARCILLOSOS 362
7.6.2. MODELACIÓN MECANISMOS DE FALLA TRASLACIONALES SUPERFICIALES 363
7.6.3. ZONIFICACIÓN DE ESCENARIO 364
7.6.3.1. ESCENARIO 1. TALUD PARCIALMENTE SATURADO SIN SISMO 365
7.6.4. CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA 369
7.6.4.1. MAGNITUD 369
7.6.4.2. DISTANCIA DE VIAJE 370
7.6.4.3. INTENSIDAD 371
8. VULNERABILIDAD POR INUNDACIÓN Y MOVIMIENTO EN MASA EN EL MUNICIPIO DE ZARZAL 374
8.1. CONCEPTUALIZACIÓN DE VULNERABILIDAD 374
8.1.1. VULNERABILIDAD 374
8.1.2. ESCENARIO DE VULNERABILIDAD 375
8.1.3. EXPOSICIÓN 375
8.1.4. FRAGILIDAD 376
8.1.5. INTENSIDAD -TIPOS Y MODOS DE DAÑOS 376
8.2. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD 376
8.2.1. ESCENARIO DE VULNERABILIDAD 377
8.2.2. ESCENARIOS DE VULNERABILIDAD ANTE INUNDACIÓN 379
8.2.2.1. EXPOSICIÓN ANTE INUNDACIÓN 379
8.2.2.2. FRAGILIDAD ANTE INUNDACIÓN 380
8.2.2.2.1. INTENSIDAD DE LA INUNDACIÓN 380
8.2.2.2.2. FACTOR DE RESISTENCIA 384
8.2.2.3. CLASIFICACIÓN DE LOS POSIBLES EFECTOS EN LOS ELEMENTOS EXPUESTOS 389
8.2.3. ESCENARIOS DE VULNERABILIDAD ANTE MOVIMIENTO EN MASA 392
8.2.3.1. EXPOSICIÓN ANTE MOVIMIENTO EN MASA 392
8.2.3.2. FRAGILIDAD ANTE MOVIMIENTO EN MASA 393
8.2.3.2.1. INTENSIDAD ANTE MOVIMIENTOS EN MASA 393
8.2.3.2.2. FACTOR DE RESISTENCIA POR MOVIMIENTO EN MASA 397
8.2.3.3. CLASIFICACIÓN DEL TIPO Y MODO DE DAÑOS ANTE MOVIMIENTOS EN MASA 401
8.1. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD ANTE INUNDACIÓN 402
8.1.1. IDENTIFICACIÓN, LOCALIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ELEMENTOS EXPUESTOS ANTE INUNDACIONES 402
8.1.1.1. EXPOSICIÓN DE ELEMENTOS 402
8.1.1.1.1. EXPOSICIÓN CORPORAL 403

8.1.1.1.2. EXPOSICIÓN DE ESTRUCTURAL 405
8.1.1.1.3. EXPOSICIÓN DE LÍNEAS VITALES 415
8.1.1.2. FRAGILIDAD 423
8.1.1.2.1. INTENSIDAD 423
8.1.1.2.2. FACTOR DE RESISTENCIA DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS 426
8.1.1.2.3. FACTOR DE RESISTENCIA DE LÍNEAS VITALES 434
8.1.2. CÁLCULO Y ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD ANTE INUNDACIÓN 439
8.1.2.1. VULNERABILIDAD CORPORAL 439
8.1.2.2. VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL 442
8.1.2.3. VULNERABILIDAD DE LÍNEAS VITALES 445
8.1.3. CURVA DE FRAGILIDAD DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS POR INUNDACIÓN 449
8.2. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD ANTE MOVIMIMIENTO EN MASA 451
8.2.1. IDENTIFICACIÓN, LOCALIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ELEMENTOS EXPUESTOS ANTE MOVIMIENTO EN MASA 451
8.2.1.1. EXPOSICIÓN DE ELEMENTOS ANTE MOVIMIENTO EN MASA 451
8.2.1.1.1. EXPOSICIÓN CORPORAL 451
8.2.1.1.2. EXPOSICIÓN ESTRUCTURAL 453
8.2.1.1.3. EXPOSICIÓN DE LÍNEAS VITALES 462
8.2.1.2. FRAGILIDAD ANTE MOVIMIENTO EN MASA 467
8.2.2. INTENSIDAD 467
8.2.2.1. PRESIÓN DE IMPACTO ANTE MOVIMIENTOS EN MASA 467
8.2.2.1.1. FACTOR DE RESISTENCIA ANTE MOVIMIENTO EN MASA 472
8.2.3. CÁLCULO Y ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD ANTE MOVIMIENTOS EN MASA 484
8.2.3.1. VULNERABILIDAD CORPORAL 484
8.2.3.2. VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL 487
8.2.3.3. VULNERABILIDAD DE LAS LÍNEAS VITALES 489
8.2.4. CURVA DE FRAGILIDAD DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS POR INUNDACIÓN 493
9. ESCENARIOS DE AFECTACIÓN POR INUNDACIÓN Y MOVIMIENTO EN MASA DEL MUNCIPIO DE ZARZAL 495
9.1. CONCEPTUALIZACIÓN DE AFECTACIÓN O RIESGO 495
9.1.1. RIESGO 495
9.1.2. EVALUACIÓN DEL RIESGO 495
9.1.3. ESCENARIOS DE RIESGO 495
9.1.4. RIESGO ALTO NO MITIGABLE 495
9.1.5. RIESGO MITIGABLE 496
9.2. METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE AFECTACIÓN (RIESGO) POR INUNDACIÓN Y MOVIMIENTOS EN MASA 496
9.2.1. RIESGO ESPECÍFICO 496
9.2.2. RIESGO TOTAL 496
9.2.3. RIESGO ESPECÍFICO POR INUNDACIÓN 498
9.2.4. RIESGO ESPECÍFICO POR MOVIMIENTOS EN MASA 499
9.2.5. ESCENARIO DE AFECTACIÓN MITIGABLE Y NO MITIGABLE POR INUNDACIÓN 500
9.2.5.1. ZONAS DE AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE POR INUNDACIÓN 501
9.2.5.2. ZONAS DE AFECTACIÓN ALTA NO MITIGABLE POR INUNDACIÓN 501
9.2.6. ESCENARIO DE AFECTACIÓN MITIGABLE Y NO MITIGABLE POR MOVIMIENTO EN MASA 502
9.3. ESCENARIO DE AFECTACIÓN ANTE INUNDACIÓN 502
9.3.1. ESCENARIO DE AFECTACIÓN CORPORAL 502

9.3.2. ESCENARIOS DE AFECTACIÓN ESTRUCTURAL 503
9.3.3. ESCENARIOS DE AFECTACIÓN LÍNEAS VITALES 506
9.3.3.1. RED VIAL 506
9.3.3.2. RED ELÉCTRICA 508
9.4. ESCENARIO DE AFECTACIÓN ALTO MITIGABLE Y NO MITIGABLE POR INUNDACIÓN MUNICIPIO DE ZARZAL 510
9.4.1. ZONAS DE AFECTACIÓN (RIESGO) ALTO MITIGABLE Y NO MITIGABLE 510
9.5. ESCENARIO DE AFECTACIÓN ANTE MOVIMIENTO EN MASA 512
9.5.1. ESCENARIO DE AFECTACIÓN CORPORAL 512
9.5.2. ESCENARIO DE AFECTACIÓN ESTRUCTURAL 512
9.5.3. ESCENARIO DE AFECTACIÓN LÍNEAS VITALES 515
9.5.3.1. RED VIAL 515
9.5.3.2. RED ELECTRICA 517
9.6. ESCENARIO DE AFECTACIÓN MITIGABLE Y NO MITIGABLE POR MOVIMIENTO EN MASA MUNICIPIO DE ZARZAL 519
9.6.1. ZONAS DE ALTO RIESGO MITIGABLE Y NO MITIGABLE 519
9.7. CÁLCULO DE POSIBLES PERDIDAS ECONOMICAS POR INUNDACION Y MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 522
9.7.1. IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS EN ESCENARIO DE AFECTACIÓN ANTE INUNDACIÓN 523
9.7.1.1. EDIFICACIONES 523
9.7.1.2. INFRAESTRUCTURA SOCIAL 523
9.7.1.2.1. ESTIMACIÓN DEL COSTO DE LA ESTRUCTURA DE PREDIOS NO RESIDENCIALES 525
9.7.1.2.2. ESTIMACIÓN DEL COSTO DE LA ESTRUCTURA DE EDIFICACIONES RESIDENCIALES EN ZONA DE AFECTACIÓN ALTA, MEDIA Y BAJA 525
9.7.1.2.3. CONTENIDOS (ELECTRODOMÉSTICOS Y MOBILIARIOS) PROMEDIO EN HOGARES 526
9.7.1.2.4. ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DEL CONTENIDO DE LAS EDIFICACIONES 526
9.7.1.2.5. ESTIMACIÓN DEL COSTO TOTAL APROXIMADO POR DAÑOS DE CONTENIDO EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES 527
9.7.1.2.6. RESUMEN DE COSTOS APROXIMADOS DE DAÑO EN LA INFRAESTRUCTURA SOCIAL 527
9.7.1.3. POSIBLES PÉRDIDAS POR DAÑOS EN EDIFICACIONES ESENCIALES 528
9.7.1.3.1. ESTIMACIÓN DEL COSTO DE DAÑOS EN LA ESTRUCTURA DE LAS EDIFICACIONES ESENCIALES 528
9.7.1.4. ESTIMACIÓN DEL COSTO DE DAÑOS EN LAS ESTRUCTURAS Y EL CONTENIDO DE LAS INSTITUCIONES EDUCATIVAS. 530
9.7.1.5. ESTIMACIÓN DEL COSTO DE DAÑOS EN EL CONTENIDO DEL HOSPITAL SAN RAFAEL 533
9.7.1.6. ASISTENCIA GUBERNAMENTAL 534
9.7.1.6.1. POSIBLES COSTOS POR ASISTENCIAS DEL GOBIERNO A DAMNIFICADOS 534
9.7.2. LÍNEAS VITALES 535
9.7.2.1. AFECTACIÓN EN INFRAESTRUCTURA VIAL 535
9.7.2.2. COSTOS POR POSIBLES AFECTACIONES EN INFRAESTRUCTURA VIAL 535
9.7.2.3. AFECTACIONES EN POSTES DE ENERGÍA ELÉCTRICA 536
9.7.2.3.1. RESUMEN DE COSTOS APROXIMADOS DE AFECTACIÓN EN INFRAESTRUCTURA VIAL Y LÍNEAS VITALES 537
9.8. ESTIMACIÓN DEL RIESGO TOTAL (PÉRDIDAS ECONÓMICAS) ANTE INUNDACIÓN 538

9.8.1. TOTAL DE POSIBLES PÉRDIDA ECONÓMICAS EN EDIFICACIONES 538
9.8.2. COSTOS TOTALES DE POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN LINEAS VITALES (RED VIAL Y POSTES DE ENERGÍA) 538
9.8.3. RESUMEN TOTAL DE POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS POR INUNDACIÓN 539
9.8.4. IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS EN ESCENARIO DE AFECTACIÓN ANTE MOVIMIENTO EN MASA 540
9.8.4.1. EDIFICACIONES 540
9.8.4.2. INFRAESTRUCTURA SOCIAL 540
9.8.4.2.1. ESTIMACIÓN DEL COSTO DE LA ESTRUCTURA DE EDIFICACIONES NO RESIDENCIALES 541
9.8.4.2.2. ESTIMACIÓN DEL COSTO DE LA ESTRUCTURA DE EDIFICACIONES RESIDENCIALES EN AFECTACIÓN ALTO, MEDIO Y BAJO 542
9.8.4.2.3. CONTENIDO (ELECTRODOMÉSTICO Y MOBILIARIO) PROMEDIO EN HOGARES 543
9.8.4.2.4. COSTO APROXIMADO DEL CONTENIDO EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES 543
9.8.4.2.5. ESTIMACIÓN DEL COSTO TOTAL APROXIMADO POR DAÑOS DE CONTENIDO EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES 544
9.8.4.3. POSIBLES PÉRDIDAS POR DAÑOS EN LAS INSTITUCIONES EDUCATIVAS. 544
9.8.4.3.1. ESTIMACIÓN DEL COSTO DE DAÑOS EN LA ESTRUCTURA DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA EN CONSTRUCCIÓN. 544
9.8.4.3.2. ESTIMACIÓN DEL COSTO DE DAÑOS EN LA ESTRUCTURA DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA EN FUNCIONAMIENTO 545
9.8.4.4. RESUMEN DE COSTOS APROXIMADOS DE DAÑO EN LA INFRAESTRUCTURA SOCIAL 547
9.8.4.5. ASISTENCIA GUBERNAMENTAL 548
9.8.4.5.1. POSIBLES COSTOS POR ASISTENCIAS DEL GOBIERNO A DAMNIFICADOS 548
9.8.4.5.2. RESUMEN DE COSTOS APROXIMADOS DERIVADOS DE LA ASISTENCIA GUBERNAMENTAL 548
9.8.4.6. LÍNEAS VITALES 549
9.8.4.6.1. AFECTACIÓN EN INFRAESTRUCTURA VIAL 549
9.8.4.6.2. COSTOS POR POSIBLES AFECTACIONES EN INFRAESTRUCTURA VIAL 549
9.8.4.6.3. AFECTACIONES EN POSTES DE ENERGÍA ELÉCTRICA 550
9.8.5. RESUMEN DE COSTOS APROXIMADOS DE AFECTACIÓN EN INFRAESTRUCTURA SOCIAL Y LÍNEAS VITALES 551
9.9. ESTIMACIÓN DEL RIESGO TOTAL (PÉRDIDAS ECONÓMICAS) ANTE MOVIMIENTO EN MASA 552
9.9.1.1. ESTIMACIÓN DE POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN EDIFICACIONES Y LÍNEAS VITALES LOCALIZADAS EN LA ZONA DE AFECTACIÓN (RIESGO) 552
9.9.1.2. RESUMEN POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS TOTALES EN INFRAESTRUCTURA SOCIAL Y LÍNEAS VITALES EN ZONAS DE AFECTACIÓN ANTE MOVIMIENTO EN MASA 553
9.10. POSIBLES PÉRDIDAS EN EDIFICACIONES LOCALIZADAS EN ZONAS DE AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE ANTE INUNDACIÓN Y MOVIMIENTO EN MASA 554
9.10.1. CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y FUNCIONALES EN ZONAS DE AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE ANTE INUNDACIÓN 554
9.10.2. ESTIMACIÓN DEL COSTO DE LA ESTRUCTURA DE LAS EDIFICACIONES EN RIESGO ALTO MITIGABLE Y NO MITIGABLE ANTE INUNDACIÓN 554
9.10.3. POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN EDIFICACIONES LOCALIZADAS EN ZONA DE AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE ANTE INUNDACIÓN 555

9.10.4. CLASIFICACIÓN DE EDIFICACIONES EN AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE ANTE MOVIMIENTO EN MASA 556
9.10.4.1. ESTIMACIÓN DEL COSTO DE LA ESTRUCTURA DE LAS EDIFICACIONES EN AFECTACIÓN ALTO MITIGABLE Y NO MITIGABLE ANTE MOVIMIENTO EN MASA 556
9.10.5. POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN EDIFICACIONES LOCALIZADAS EN ZONA DE AFECTACIÓN (RIESGO) ALTO MITIGABLE Y NO MITIGABLE ANTE MOVIMIENTO EN MASA 557
CONCLUSIONES 558
RECOMENDACIONES 563
REFERENCIAS 565
ANEXOS 576

LISTA DE TABLA

TABLA 1.1. DIVISIÓN POLÍTICO-ADMINISTRATIVA DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 43
TABLA 1.2. DIVISIÓN POLÍTICO-ADMINISTRATIVA DE LA ZONA RURAL DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 45
TABLA 1.3. INFORMACIÓN ESTADÍSTICA DE POBLACIÓN, DENSIDAD DE POBLACIÓN Y DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE POBLACIÓN URBANA Y RURAL DEL CENSO 2005 Y PROYECCIÓN POBLACIONAL PARA EL AÑO 2019. 47
TABLA 2.1. LISTADO DE FUENTES DE INFORMACIÓN 67
TABLA 2.2. NÚMERO DE REPORTES SOBRE EVENTOS DE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL, VALLE DEL CAUCA, EN EL PERIODO COMPRENDIDO 1980 HASTA ABRIL DE 2019. 68
TABLA 2.3. TIPIFICACIÓN DE LOS REPORTES DE EVENTOS POR INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 105
TABLA 2.4. INVENTARIO DE INUNDACIONES EN EL MUNICIPIO DE ZARZAL DURANTE EL PERIODO 1980 HASTA ABRIL DE 2019 116
TABLA 2.5. NÚMERO DE REPORTES SOBRE EVENTOS DE MOVIMIENTOS EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL, VALLE DEL CAUCA, EN EL PERIODO COMPRENDIDO 1980- ABRIL DE 2019 135
TABLA 2.6. INVENTARIO DE EVENTOS POR MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL PERIODO DE 1980 ABRIL DE 2019 140
TABLA 3.1. EJEMPLOS DE NOMENCLATURAS DE ELEMENTOS GEOMORFOLÓGICOS. CARVAJAL (2012). 180
TABLA 4.1. RESOLUCIÓN ESPACIAL EXPRESADA EN GSD 205
TABLA 4.2. SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS MAGNA 205
TABLA 4.3. ORÍGENES DE COORDENADAS GAUSS KRUGER 205
TABLA 4.4. EXACTITUD ABSOLUTA DE POSICIÓN POR ESCALAS 206
TABLA 4.5. NIVEL DE TOLERANCIA POR ESCALA 206
TABLA 4.6. PRECISIÓN SEGÚN EL TERRENO 207
TABLA 4.7. NUMERO RECOMENDADO DE PUNTOS CHEQUEO BASADOS EN EL ÁREA 211
TABLA 4.8. AJUSTE DE RED 216
TABLA 5.1. LOCALIZACIÓN DEL PUENTE SOBRE LA QUEBRADA LIMONES 231
TABLA 5.2. ESTACIONES METEOROLÓGICAS SELECCIONADAS EN LA ZONA DE ESTUDIO 235
TABLA 5.3. VALORES PROMEDIOS MENSUALES MULTIANUALES DE DIFERENTES VARIABLES CLIMÁTICAS REGISTRADAS EN LAS ESTACIONES CENTRO ADMINISTRATIVO LA UNIÓN Y TIERRABLANCA 236
TABLA 5.4. PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL MULTIANUAL EN LAS ESTACIONES SELECCIONADAS (MM) 243
TABLA 5.5. PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL MULTIANUAL EN EL MUNICIPIO DE ZARZAL 245
TABLA 5.6. PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA 24 HORAS, 48 HORAS Y 72 HORAS CON INFORMACIÓN DE LAS ESTACIONES LOCALIZADAS EN INMEDIACIONES DEL MUNICIPIO DE ZARZAL. . 246
TABLA 5.7. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS (MM) PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO EN LA ESTACIÓN LA ELVIRA 246
TABLA 5.8. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS (MM) PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO. ESTACIÓN EL ORÉGANO 247
TABLA 5.9. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS (MM) PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO. ESTACIÓN MONTECRISTO 248

TABLA 5.10. VALORES DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS CON INTERVALOS DE TIEMPO DE 10 MINUTOS, CONSTRUIDAS A PARTIR DE LAS CURVAS IFD. ESTACIÓN CENTRO ADMINISTRATIVO LA UNIÓN 251
TABLA 5.11. CLASIFICACIÓN DE CLASES ANTECEDENTES DE HUMEDAD (AMC) PARA EL MÉTODO DE ABSTRACCIONES DE LLUVIA DEL SCS 257
TABLA 5.12. VALORES DE CN PARA VARIOS TIPOS DE USO DEL SUELO 257
TABLA 5.13. VALORES DE CN PARA VARIOS TIPOS DE USO DEL SUELO EN CUENCAS 258
TABLA 5.14. RUGOSIDAD HIDRÁULICA DE MANNING EN CAUCES SEGÚN CHOW (1959) Y COWAN (1956) 264
TABLA 5.15. CODIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA MODELACIÓN HIDRÁULICA. 266
TABLA 5.16. VALORES ESTIMADOS DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING EN LA PLANICIE ALUVIAL DE LA ZONA DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 268
TABLA 6.1. NIVELES DE RIESGOS DEFINIDOS EN LA METODOLOGÍA DEL PATRICOVA 278
TABLA 6.2. NIVEL DEL RIESGO DE ACUERDO CON EL PROCEDIMIENTO SIMPLIFICADO DEL PLAN MEDIOAMBIENTAL DEL RÍO EBRO Y TRAMO BAJO DEL RÍO CAUCA 279
TABLA 6.3. DEFINICIÓN DE RANGOS DE INTENSIDAD PARA INUNDACIONES ESTÁTICAS Y DINÁMICAS (INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES) 280
TABLA 6.4. CATEGORIZACIÓN DE LA INUNDACIÓN SEGÚN EL PERIODO DE RETORNO (INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES) 282
TABLA 6.5. MATRIZ DE NIVELES DE AMENAZA POR INUNDACIONES 282
TABLA 6.6. NIVEL DISCRETO DE AMENAZA 283
TABLA 6.7. DEFINICIÓN DE NIVEL DE AMENAZA 284
TABLA 6.8. INTENSIDAD DE LA INUNDACIÓN 284
TABLA 6.9. INTENSIDAD DE FLUJO DE LODOS 284
TABLA 6.10. NIVEL DE FRECUENCIA DE LOS EVENTOS DE INUNDACIONES 285
TABLA 6.11. NIVEL DE INTENSIDAD O MAGNITUD DEL EVENTO DE INUNDACIÓN 286
TABLA 6.12. NIVEL DE AMENAZA SEGÚN LA FRECUENCIA Y LA INTENSIDAD O MAGNITUD DE LA INUNDACIÓN 287
TABLA 6.13. CLASIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR INUNDACIONES 287
TABLA 6.14. RUGOSIDAD HIDRÁULICA DE MANNING EN CAUCES SEGÚN CHOW Y COWAN 290
TABLA 6.15. VALORES ESTIMADOS DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING EN LA PLANICIE ALUVIAL DE LA ZONA DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 293
TABLA 6.16. DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES OBRAS ESTRUCTURALES PARA CONTROL DE LAS CRECIENTES E INUNDACIONES 301
TABLA 7.1.CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA, RESOLUCIÓN 227 DE 2006 323
TABLA 7.2. COBERTURAS, ÁREA FÍSICA Y PORCENTAJE DE ÁREA DE COBERTURAS DE LA TIERRA DE ACUERDO CON EL NIVEL 3 DE CLC 331
TABLA 7.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIA DE LA COBERTURA DEL SUELO 332
TABLA 7.4. PROFUNDIDAD EFECTIVA DE LA COBERTURA DEL SUELO 332
TABLA 7.5. RELACIÓN DE LAS PERFORACIONES REALIZADAS, COORDENADAS (PLANAS MAGNA-SIRGAS), ALCANCE EN PROFUNDIDAD Y CANTIDAD DE MUESTRAS TOMADAS EN EL MUNICIPIO DE ZARZAL 337
TABLA 7.6. RELACIÓN DE LOS APIQUES REALIZADOS, COORDENADAS (PLANAS MAGNA SIRGAS), ALCANCE EN PROFUNDIDAD EN EL MUNICIPIO DE ZARZAL 340
TABLA 7.7. UBICACIÓN DE LAS LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICA REALIZADAS PARA EL PRESENTE ESTUDIO EN EL MUNICIPIO DE ZARZAL 344
TABLA 7.8. RELACIÓN ENTRE TIPO DE SUELO, VALOR N(SPT) Y VS (M/S) 346

TABLA 7.9. ESTRATOS, VELOCIDADES Y ESPESORES IDENTIFICADOS EN CADA UNA DE LAS LÍNEAS SÍSMICAS REALIZADAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO 347
TABLA 7.10. ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS PARA EL PRESENTE ESTUDIO 348
TABLA 7.11. RELACIÓN DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS A LAS MUESTRAS RECUPERADAS EN LAS LABORES DE EXPLORACIÓN EN EL MUNICIPIO DE ZARZAL. 350
TABLA 7.12. RESUMEN DE LOS PARÁMETROS GEOTÉCNICOS ESTABLECIDOS PARA LOS MATERIALES PRESENTES EN LA ZONA DE ESTUDIO 353
TABLA 7.13. PARÁMETROS DE RESISTENCIA PARA LOS DIFERENTES MATERIALES PRESENTES EN LA ZONA 357
TABLA 7.14. RESULTADOS DEL CÁLCULO DEL NIVEL FREÁTICO PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO SEGÚN LA UNIDAD GEOLÓGICA SUPERFICIAL 360
TABLA 7.15. PROBABILIDADES DE LOS AGENTES DETONANTES 361
TABLA 7.16. RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA SECCIÓN CC', CONDICIÓN SIN OBRAS. 363
TABLA 7.17. PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EMPLEADOS EN LA MODELACIÓN DE LA UGS EN EL MUNICIPIO DE ZARZAL 363
TABLA 7.18. VALORACIÓN INCERTIDUMBRE COEFICIENTES DE VARIACIÓN EN EL MUNICIPIO DE ZARZAL 364
TABLA 7.19. ESCENARIOS DE ANÁLISIS 364
TABLA 7.20. CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA, RESOLUCIÓN 227 DE 2006 365
TABLA 7.21. ÁREAS SEGÚN LOS NIVELES DE AMENAZA PARA LA CONDICIÓN FUTURA SIN SISMO EN EL MUNICIPIO DE ZARZAL 365
TABLA 7.22. ÁREAS SEGÚN LOS NIVELES DE AMENAZA PARA LA CONDICIÓN FUTURA EN EL MUNICIPIO DE ZARZAL 367
TABLA 7.23. PORCENTAJE DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR MÁS AFECTADOS 367
TABLA 7.24. ECUACIONES PARA DETERMINAR LA DISTANCIA DE VIAJE, OBTENIDAS EN HONG KONG 370
TABLA 7.25. ECUACIONES DE REGRESIÓN PARA LOG (H/L) = A + B * LOG V 371
TABLA 7.26. CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA PARA EL MUNICIPIO DE ZARZAL 373
TABLA 8.1. CLASIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD PARA ESTRUCTURAS Y LÍNEAS VITALES 378
TABLA 8.2. ZONAS Y VALORES DE EXPOSICIÓN PARA EL FENÓMENO DE INUNDACIÓN 379
TABLA 8.3. NIVEL DE INTENSIDAD O MAGNITUD DE LAS INUNDACIONES 380
TABLA 8.4. LÍMITE DE PRESIÓN HORIZONTAL SOPORTADA DE LAS ESTRUCTURAS 382
TABLA 8.5. NIVEL DE INTENSIDAD POR INUNDACIÓN PARA LAS REDES VIALES 383
TABLA 8.6. NIVEL DE DEFORMACIÓN DE LAS REDES ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO 384
TABLA 8.7. NIVEL DE INTENSIDAD POR INUNDACIÓN PARA LAS REDES ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO 384
TABLA 8.8. NIVEL DE INTENSIDAD POR INUNDACIÓN PARA LAS REDES ENERGÍA 384
TABLA 8.9. FACTOR DE RESISTENCIA POR TIPOLOGÍA DE LAS ESTRUCTURAS 385
TABLA 8.10. FACTOR DE RESISTENCIA POR ALTURA DE LAS ESTRUCTURAS 385
TABLA 8.11. FACTOR DE RESISTENCIA POR SERVICIO DE LAS ESTRUCTURAS 386
TABLA 8.12. VIDA ÚTIL DE LAS ESTRUCTURAS 386
TABLA 8.13. ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS 386
TABLA 8.14. PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE LA RED DE ACUEDUCTO 388
TABLA 8.15. PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE LA RED DE ALCANTARILLADO 388

TABLA 8.16. PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE LA RED ELÉCTRICA....388
TABLA 8.17. DETERMINACIÓN DE LOS POSIBLES EFECTOS ACORDE CON LA INTENSIDAD Y MAGNITUD DE LAS INUNDACIONES....390
TABLA 8.18. ZONAS Y VALORES DE EXPOSICIÓN PARA EL FENÓMENO DE MOVIMIENTO EN MASA....392
TABLA 8.19. NIVEL DE INTENSIDAD Y MAGNITUD DEL MOVIMIENTO EN MASA....393
TABLA 8.20. PRESIÓN LIMITE SOPORTADA POR LAS ESTRUCTURAS....395
TABLA 8.21. RELACIÓN DEFORMACIÓN/UMBRAL TOLERABLE....396
TABLA 8.22. RELACIÓN DEFORMACIÓN/UMBRAL TOLERABLE....396
TABLA 8.23. RELACIÓN ALTURA DEL DESLIZAMIENTO/ALTURA NOMINAL DEL POSTE....397
TABLA 8.24. FACTOR DE RESISTENCIA POR TIPOLOGÍA DE LAS ESTRUCTURAS....398
TABLA 8.25. FACTOR DE RESISTENCIA POR ALTURA DE LAS ESTRUCTURAS....398
TABLA 8.26. FACTOR DE RESISTENCIA POR SERVICIO DE LAS ESTRUCTURAS....398
TABLA 8.27. VIDA ÚTIL DE LAS ESTRUCTURAS....399
TABLA 8.28. ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS....399
TABLA 8.29. PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE LA RED DE ACUEDUCTO....400
TABLA 8.30. PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE LA RED DE ALCANTARILLADO....400
TABLA 8.31. PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE LA RED ELÉCTRICA....401
TABLA 8.32. DETERMINACIÓN DE LOS POSIBLES EFECTOS O DAÑOS ACORDE CON LA INTENSIDAD Y MAGNITUD DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA....402
TABLA 8.33. NÚMERO Y PROMEDIO DE HABITANTES EN LAS CONSTRUCCIONES EN QUE SE LOGRÓ EL ACCESO....404
TABLA 8.34. NÚMERO DE HABITANTES, TOTAL, DÍA Y NOCHE DE LA POBLACIÓN ENCUESTADA, EXPUESTOS ANTE INUNDACIÓN DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL....404
TABLA 8.35. NÚMERO DE PREDIOS EXPUESTOS A INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL....405
TABLA 8.36. NÚMERO DE PREDIOS SIN EDIFICACIONES, CON EDIFICACIONES Y NÚMERO DE EDIFICACIONES EXPUESTOS A INUNDACIÓN EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL.....406
TABLA 8.37. NÚMERO DE EDIFICACIONES POR BARRIO EXPUESTOS POR INUNDACIÓN EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL.....406
TABLA 8.38. USO DEL SUELO OBSERVADO EN LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A AMENAZA POR INUNDACIÓN EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL....407
TABLA 8.39. TIPOLOGÍA DE EDIFICACIONES....408
TABLA 8.40. TIPOLOGÍA DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A INUNDACIÓN EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL....409
TABLA 8.41. ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A INUNDACIÓN EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL....410
TABLA 8.42. EDAD O TIEMPO DE SERVICIO DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A INUNDACIÓN EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL....411
TABLA 8.43. NÚMERO DE PISOS DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A INUNDACIÓN EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL....412
TABLA 8.44. LÍNEAS VITALES EXPUESTAS ANTE INUNDACIÓN DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE....415
TABLA 8.45. DISTRIBUCIÓN DE LA LONGITUD (M) DE LA VÍA SEGÚN SU MATERIAL Y EXPOSICIÓN ANTE INUNDACIÓN EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL....416
TABLA 8.46. DISTRIBUCIÓN DE LA RED VIAL SEGÚN LONGITUD (M) Y ANCHO EN EXPOSICIÓN ANTE INUNDACIÓN EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL....417

TABLA 8.47. CANTIDAD DE POSTES EXPUESTOS ANTE INUNDACIÓN DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 421
TABLA 8.48. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL FACTOR DE RESISTENCIA CORPORAL ANTE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 426
TABLA 8.49. FACTOR DE RESISTENCIA SEGÚN TIPOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN DE LAS EDIFICACIONES 428
TABLA 8.50. FACTOR DE RESISTENCIA SEGÚN ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS EDIFICACIONES 429
TABLA 8.51. FACTOR DE RESISTENCIA SEGÚN LA EDAD O TIEMPO DE SERVICIO DE LAS EDIFICACIONES 430
TABLA 8.52. FACTOR DE RESISTENCIA SEGÚN LA ALTURA DE LAS EDIFICACIONES 431
TABLA 8.53. FACTOR DE RESISTENCIA DE LA RED VIAL SEGÚN SU MATERIAL ANTE INUNDACIÓN, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 434
TABLA 8.54. FACTOR DE RESISTENCIA DE LA RED VIAL SEGÚN SU ANCHO(M) ANTE INUNDACIÓN, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 435
TABLA 8.55. DISTRIBUCIÓN DEL NIVEL DE LA VULNERABILIDAD CORPORAL EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 439
TABLA 8.56. VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL ANTE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 442
TABLA 8.57. NIVEL DE VULNERABILIDAD DE LA RED VIAL POR INUNDACIÓN ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 445
TABLA 8.58. VULNERABILIDAD DE LA RED ELÉCTRICA ANTE EL FENÓMENO DE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 447
TABLA 8.59. NÚMERO Y PROMEDIO DE HABITANTES EN LAS EDIFICACIONES EN QUE SE LOGRÓ EL ACCESO AL INTERIOR 452
TABLA 8.60. NÚMERO TOTAL DE HABITANTES, DÍA Y DE NOCHE DE LA POBLACIÓN ENCUESTADA, EXPUESTOS A MOVIMIENTO EN MASA DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 452
TABLA 8.61. NÚMERO Y ÁREA (M2) DE LOS PREDIOS EXPUESTOS A MOVIMIENTO EN MASA EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 453
TABLA 8.62. NÚMERO DE PREDIOS SIN EDIFICACIONES, CON EDIFICACIONES EXPUESTOS A MOVIMIENTO EN MASA EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 453
TABLA 8.63. NÚMERO DE EDIFICACIONES POR BARRIO EXPUESTOS A MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 454
TABLA 8.64. USO DEL SUELO OBSERVADO EN LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A AMENAZA POR MOVIMIENTO EN MASA EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL. 455
TABLA 8.65. TIPOLOGÍA DE EDIFICACIONES 456
TABLA 8.66. TIPO DE CONSTRUCCIÓN DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 456
TABLA 8.67. ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 457
TABLA 8.68. EDAD O TIEMPO DE SERVICIO DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 458
TABLA 8.69. NÚMERO DE PISOS DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 459
TABLA 8.70. LÍNEAS VITALES EXPUESTAS A MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 462

TABLA 8.71. RED ELÉCTRICA EXPUESTA A MOVIMIENTO EN MASA DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 465
TABLA 8.72. CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 471
TABLA 8.73. INSUMOS PARA LA VULNERABILIDAD DE ZARZAL 471
TABLA 8.74. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL FACTOR DE RESISTENCIA CORPORAL POR MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 472
TABLA 8.75. FACTOR DE RESISTENCIA SEGÚN SU TIPOLOGÍA DE EDIFICACIÓN 474
TABLA 8.76. FACTOR DE RESISTENCIA SEGÚN ESTADO DE CONSERVACIÓN 475
TABLA 8.77. FACTOR DE RESISTENCIA SEGÚN RANGO DE EDAD O TIEMPO DE SERVICIO 476
TABLA 8.78. FACTOR DE RESISTENCIA SEGÚN ALTURA DE LAS EDIFICACIONES 476
TABLA 8.79. FACTOR DE RESISTENCIA DE LA RED VIAL SEGÚN SU MATERIAL ANTE MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 479
TABLA 8.80. FACTOR DE RESISTENCIA DE LA RED VIAL SEGÚN SU ANCHO(M) ANTE MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 479
TABLA 8.81. FACTOR DE RESISTENCIA DE POSTES SEGÚN SU MATERIAL Y CARGA NOMINAL 482
TABLA 8.82. DISTRIBUCIÓN DEL NIVEL DE VULNERABILIDAD CORPORAL DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 484
TABLA 8.83. VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL POR MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL, ... 487
TABLA 8.84. VULNERABILIDAD DE LA RED VIAL POR MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 489
TABLA 8.85. VULNERABILIDAD DE LA RED ELÉCTRICA POR MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 491
TABLA 9.1. PROBABILIDAD POR VIDA ÚTIL DEL MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN Y NIVEL DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL PARA LA INFRAESTRUCTURA SOCIAL DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 497
TABLA 9.2. VIDA ÚTIL, PROBABILIDAD POR VIDA DE LA LÍNEA VITAL Y NIVEL DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 498
TABLA 9.3. MATRIZ DE CLASIFICACIÓN DE LA AFECTACIÓN O RIESGO PARA LAS ESTRUCTURAS Y PERSONAS POR INUNDACIÓN 499
TABLA 9.4. MATRIZ DE CLASIFICACIÓN PARA CALCULAR LOS NIVELES DE ESCENARIO DE AFECTACIÓN EN ESTRUCTURAS Y PERSONAS POR EL FENÓMENO DE MOVIMIENTO EN MASA 500
TABLA 9.5. NIVEL DE AFECTACIÓN CORPORAL POR INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 502
TABLA 9.6. ESCENARIOS DE AFECTACIÓN ESTRUCTURAL POR INUNDACIÓN DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 503
TABLA 9.7. ESCENARIO DE AFECTACIÓN DE LA RED VIAL POR INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 506
TABLA 9.8. ESCENARIO DE AFECTACIÓN DE LA RED ELÉCTRICA POR INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 508
TABLA 9.9. ZONAS DE ALTA AFECACION MITIGABLE Y NO MITIGABLE ESTRUCTURAL POR INUNDACION, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 510
TABLA 9.10. AFECTACIÓN CORPORAL ANTE MOVIMIENTO EN MASA 512
TABLA 9.11. ESCENARIOS DE AFECTACIÓN ESTRUCTURAL POR ÁREA (M2) POR MOVIMIENTO EN MASA DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 513

TABLA 9.12. ESCENARIO DE AFECTACIÓN PARA LA RED VIAL POR MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 515
TABLA 9.13. ESCENARIO DE AFECTACIÓN EN LA RED ELÉCTRICA POR MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 517
TABLA 9.14. NIVEL DE AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y ALTA NO MITIGABLE ANTE EL FENÓMENO DE MOVIMIENTO EN MASA 519
TABLA 9.15. CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y FUNCIONALES EN AFECTACIÓN ALTA, MEDIA Y BAJA POR INUNDACIONES EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 523
TABLA 9.16. COSTO TOTAL DE EDIFICACIONES NO RESIDENCIALES EN AFECTACIÓN ALTA POR INUNDACIÓN 525
TABLA 9.17. COSTO TOTAL APROXIMADO DE EDIFICACIONES RESIDENCIALES EN AFECTACIÓN ALTA, MEDIA Y BAJA ANTE INUNDACIÓN 525
TABLA 9.18. VALOR APROXIMADO DEL CONTENIDO DE LAS VIVIENDAS 527
TABLA 9.19. COSTO TOTAL APROXIMADO POR DAÑOS DE CONTENIDO EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES CON AFECTACIÓN ALTA, MEDIA Y BAJA 527
TABLA 9.20. RESUMEN DE COSTOS APROXIMADOS DE DAÑO EN LA INFRAESTRUCTURA SOCIAL AFECTADA POR INUNDACIÓN 528
TABLA 9.21. ÁREA (M2) TOTAL CONSTRUIDA Y COSTO TOTAL APROXIMADO DE LA EDIFICACIÓN DESTINADA A USO EDUCATIVO EN RIESGO ANTE INUNDACIÓN. 529
TABLA 9.22. ÁREA (M2) TOTAL CONSTRUIDA Y COSTO TOTAL APROXIMADO DEL CENTRO DE DESARROLLO INFANTIL (CDI) EN RIESGO ANTE INUNDACIÓN. 529
TABLA 9.23. ÁREA (M2) TOTAL CONSTRUIDA Y COSTO TOTAL APROXIMADO DE LA REGISTRADURÍA EN RIESGO ANTE INUNDACIÓN. 529
TABLA 9.24. ÁREA (M2) TOTAL CONSTRUIDA Y COSTO TOTAL APROXIMADO DE LA NOTARÍA EN RIESGO ANTE INUNDACIÓN. 529
TABLA 9.25. ÁREA (M2) TOTAL CONSTRUIDA Y COSTO TOTAL APROXIMADO DEL JUZGADO EN RIESGO ANTE INUNDACIÓN. 530
TABLA 9.26. ÁREA (M2) TOTAL CONSTRUIDA Y COSTO TOTAL APROXIMADO DE OFICINAS DESCENTRALIZADAS DE LA ALCALDÍA EN RIESGO ANTE INUNDACIÓN. 530
TABLA 9.27. INSTITUCIONES EDUCATIVAS QUE SE ENCUENTRAN EN RIESGO ANTE LA OCURRENCIA DE UNA INUNDACIÓN. 530
TABLA 9.28. COSTO TOTAL APROXIMADO DE LA ESTRUCTURA DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA. PRECIOS DE 2019. 531
TABLA 9.29. MUESTRA DE PRECIO DE ALMACÉN PARA LA DETERMINACIÓN DEL COSTO DEL CONTENIDO 532
TABLA 9.30. COSTO TOTAL APROXIMADO DEL CONTENIDO DE LAS INSTITUCIONES EDUCATIVAS (PRECIOS DE 2019). 532
TABLA 9.31. COSTO TOTAL APROXIMADO POR INSTITUCIÓN EDUCATIVA EN FUNCIONAMIENTO EN AFECTACIÓN POR MOVIMIENTO EN MASA. 533
TABLA 9.32. ACTIVOS NO CORRIENTES DEL HOSPITAL SAN RAFAEL EN EL MUNICIPIO DE ZARZAL: PROPIEDADES, PLANTA Y EQUIPO. 534
TABLA 9.33. MONTOS DESIGNADOS POR EL GOBIERNO NACIONAL PARA ASISTENCIA ALIMENTARIA Y ASEO A DAMNIFICADOS DURANTE SITUACIONES DE DESASTRES (PRECIOS 2019) 534
TABLA 9.34. COSTOS APROXIMADOS POR ASISTENCIA A FAMILIAS POSIBLEMENTE AFECTADAS ANTE ESCENARIO DE INUNDACIÓN (PRECIOS 2019). 535

TABLA 9.35. COSTO PROMEDIO APROXIMADO POR CONSTRUCCIÓN, REHABILITAMIENTO Y MANTENIMIENTO VIAL 536
TABLA 9.36. COSTO TOTAL APROXIMADO DE MEJORAMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL POR POSIBLES DAÑOS ANTE ESCENARIO DE INUNDACIÓN 536
TABLA 9.37. COSTOS PROMEDIO APROXIMADOS DE REPOSICIÓN DE POSTES DE ENERGÍA POR POSIBLES DAÑOS ANTE ESCENARIO DE AFECTACIÓN POR INUNDACIÓN 537
TABLA 9.38. COSTOS TOTAL APROXIMADO DE REPOSICIÓN DE POSTES DE ENERGÍA POR POSIBLES DAÑOS ANTE ESCENARIO DE AFECTACIÓN POR INUNDACIÓN 537
TABLA 9.39. RESUMEN DE LOS COSTOS APROXIMADOS DERIVADOS DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y LÍNEAS VITALES POR INUNDACIÓN 537
TABLA 9.40. POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN EDIFICACIONES EN EL ESCENARIO DE AFECTACIÓN POR INUNDACIÓN 538
TABLA 9.41. APROXIMACIÓN DE POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURA VIAL AFECTADA POR INUNDACIÓN 539
TABLA 9.42. APROXIMACIÓN DE POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN LÍNEAS VITALES (RED DE ENERGÍA ELÉCTRICA) AFECTADA POR INUNDACIÓN 539
TABLA 9.43. APROXIMACIÓN DE POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURA DE REDES VITALES AFECTADA POR INUNDACIÓN 539
TABLA 9.44. RESUMEN DE LAS POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURAS Y ASISTENCIA DEL GOBIERNO EN ZONAS DE AFECTACIÓN (RIESGO) ANTE INUNDACIÓN. 540
TABLA 9.45. CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y FUNCIONALES EXPUESTOS ANTE MOVIMIENTO EN MASA DE AFECTACIÓN ALTO Y MEDIO EN EL MUNICIPIO DE ZARZAL 540
TABLA 9.46. COSTO TOTAL DE EDIFICACIONES NO RESIDENCIALES EN EL ESCENARIO DE AFECTACIÓN ALTA POR MOVIMIENTO EN MASA. 542
TABLA 9.47. COSTO TOTAL DE EDIFICACIONES RESIDENCIALES EN AFECTACIÓN ALTO, MEDIO Y BAJO ANTE MOVIMIENTO EN MASA 542
TABLA 9.48. VALOR APROXIMADO DEL CONTENIDO DE LAS EDIFICACIONES RESIDENCIALES 543
TABLA 9.49. COSTO TOTAL APROXIMADO POR DAÑOS DE CONTENIDO EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES CON AFECTACIÓN ALTO, MEDIO Y BAJO, ANTE MOVIMIENTO EN MASA 544
TABLA 9.50. ÁREA (M2) TOTAL CONSTRUIDA Y COSTO TOTAL APROXIMADO DE LA EDIFICACIÓN DESTINADA A USO EDUCATIVO EN RIESGO ANTE MOVIMIENTO EN MASA. 544
TABLA 9.51. INSTITUCIÓN EDUCATIVA QUE SE ENCUENTRA EN RIESGO ANTE LA OCURRENCIA DE UN MOVIMIENTO EN MASA. 545
TABLA 9.52. COSTO TOTAL APROXIMADO DE LA ESTRUCTURA DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA. PRECIOS DE 2019. 545
TABLA 9.53. MUESTRA DE PRECIO DE ALMACÉN PARA LA DETERMINACIÓN DEL COSTO DEL CONTENIDO 546
TABLA 9.54. COSTO TOTAL APROXIMADO DEL CONTENIDO DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA (PRECIOS DE 2019). 546
TABLA 9.55. COSTO TOTAL APROXIMADO POR INSTITUCIÓN EDUCATIVA EN FUNCIONAMIENTO EN RIESGO POR MOVIMIENTO EN MASA. 547
TABLA 9.56. RESUMEN DE COSTOS APROXIMADOS DE DAÑO EN LA INFRAESTRUCTURA SOCIAL AFECTADA POR MOVIMIENTO EN MASA 547
TABLA 9.57. MONTOS DESIGNADOS POR EL GOBIERNO NACIONAL PARA ASISTENCIA ALIMENTARIA Y ASEO A DAMNIFICADOS DURANTE SITUACIONES DE DESASTRES (PRECIOS 2019) 548

TABLA 9.58. COSTO APROXIMADO POR ASISTENCIA A FAMILIAS POSIBLEMENTE AFECTADAS ANTE ESCENARIOS DE MOVIMIENTO EN MASA (PRECIOS 2019) 548
TABLA 9.59. RESUMEN DE LOS COSTOS APROXIMADOS DERIVADOS DE LA ASISTENCIA DEL GOBIERNO PARA PREDIOS RESIDENCIALES AFECTADOS POR MOVIMIENTO EN MASA 549
TABLA 9.60. COSTO PROMEDIO APROXIMADO POR CONSTRUCCIÓN, REHABILITAMIENTO Y MANTENIMIENTO VIAL. 550
TABLA 9.61. COSTO TOTAL APROXIMADO DE MEJORAMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL POR POSIBLES DAÑOS ANTE ESCENARIO DE MOVIMIENTO EN MASA 550
TABLA 9.62. COSTOS PROMEDIO APROXIMADOS DE REPOSICIÓN DE POSTES DE ENERGÍA POR POSIBLES DAÑOS ANTE ESCENARIO DE AFECTACIÓN POR MOVIMIENTO EN MASA 551
TABLA 9.63. COSTOS TOTALES APROXIMADO DE REPOSICIÓN DE POSTES DE ENERGÍA POR POSIBLES DAÑOS ANTE ESCENARIO DE AFECTACIÓN POR MOVIMIENTO EN MASA 551
TABLA 9.64. RESUMEN DE LOS COSTOS APROXIMADOS DERIVADOS DE LA INFRAESTRUCTURA SOCIAL Y LÍNEAS VITALES POR MOVIMIENTO EN MASA 551
TABLA 9.65. APROXIMACIÓN DE POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES Y NO RESIDENCIALES AFECTADOS POR MOVIMIENTO EN MASA. 552
TABLA 9.66. APROXIMACIÓN DE POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURA VIAL AFECTADA POR MOVIMIENTO EN MASA. 552
TABLA 9.67. APROXIMACIÓN DE POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN LÍNEAS VITALES (RED DE ENERGÍA ELÉCTRICA) AFECTADA POR MOVIMIENTO EN MASA 553
TABLA 9.68. APROXIMACIÓN DE POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURA DE REDES VITALES AFECTADA POR MOVIMIENTO EN MASA 553
TABLA 9.69. RESUMEN DE LAS POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURA SOCIAL Y LÍNEAS VITALES CON AFECTACIÓN (RIESGO) ANTE UN MOVIMIENTO EN MASA 553
TABLA 9.70. CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y FUNCIONALES EXPUESTOS EN AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE ANTE INUNDACIÓN EN EL MUNICIPIO DE ZARZAL 554
TABLA 9.71. COSTO TOTAL DE LAS EDIFICACIONES EN AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE ANTE INUNDACIÓN 555
TABLA 9.72. APROXIMACIÓN DE POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN EDIFICACIONES CON RIESGO ALTO MITIGABLE Y NO MITIGABLE POR INUNDACIÓN 555
TABLA 9.73. CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES EXPUESTOS EN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE ANTE MOVIMIENTO EN MASA EN EL MUNICIPIO DE ZARZAL 556
TABLA 9.74. COSTO TOTAL DE LAS EDIFICACIONES EN AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE ANTE MOVIMIENTO EN MASA 557
TABLA 9.75. APROXIMACIÓN DE POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN EDIFICACIONES CON ALTO MITIGABLE Y NO MITIGABLE POR MOVIMIENTO EN MASA 557

LISTA DE FIGURA

FIGURA 1.1. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL, DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA 42
FIGURA 1.2. MAPA POLÍTICO ADMINISTRATIVO, ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 44
FIGURA 1.3. MAPA DIVISIÓN POLÍTICA DEL ÁREA RURAL DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 46
FIGURA 1.4. NÚMERO DE POBLACIÓN URBANA, RURAL Y TOTAL DEL CENSO DEL AÑO 2005 Y PROYECCIÓN POBLACIONAL DEL AÑO 2019 DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 47
FIGURA 1.5. DISTRIBUCIÓN DE POBLACIÓN DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 48
FIGURA 1.6. DENSIDAD DE POBLACIÓN DEL MUNICIPIO DE ZARZAL. 48
FIGURA 1.7. DISTRIBUCIÓN DE POBLACIÓN DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 48
FIGURA 1.8. DENSIDAD DE POBLACIÓN DEL MUNICIPIO DE ZARZAL. 48
FIGURA 1.9. MAPA DE HIDROLOGÍA DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 50
FIGURA 1.10. MAPA GEOLÓGICO PLANCHA 242 - ZARZAL, VALLE DEL CAUCA – COLOMBIA. 1992 INGEOMINAS, TRANSFORMADA A DATUM MAGNA SIRGAS 2013. 52
FIGURA 1.11. MAPA DE GEOLOGÍA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 56
FIGURA 2.1. FLUJOGRAMA DEL PROCESO METODOLÓGICO ESTUDIOS DE HISTORICIDAD. 61
FIGURA 2.2. ESQUEMA METODOLÓGICO DEL PROCESAMIENTO DE LOS REPORTES 62
FIGURA 2.3. FUNCIÓN DE DENSIDAD KERNEL A DIFERENTES ANCHOS DE BANDA 63
FIGURA 2.4. CLASIFICACIÓN DE LA DENSIDAD KERNEL 63
FIGURA 2.5. ESPACIALIZACIÓN DE INFORMACIÓN HISTÓRICA NO PUNTUAL SEGÚN CURVAS DE NIVEL 64
FIGURA 2.6. NÚMERO DE REPORTES SOBRE EVENTOS POR INUNDACIÓN, ENCONTRADOS EN EL PERIODO DE 1980 HASTA ABRIL DE 2019 EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL, VALLE DEL CAUCA 69
FIGURA 2.7. DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO DE EVENTOS POR INUNDACIÓN POR BARRIOS ENCONTRADOS EN EL PERIODO DE 1980 HASTA ABRIL DE 2019 EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 70
FIGURA 2.8. MAPA DE FRECUENCIA DE EVENTOS HISTÓRICOS DE INUNDACIÓN REGISTRADOS POR BARRIOS DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 71
FIGURA 2.9. CLASIFICACIÓN DE LOS REPORTES DE EVENTOS POR INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 106
FIGURA 2.10. MAPA DE HISTORICIDAD POR EVENTOS PUNTUALES DE INUNDACIÓN DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 108
FIGURA 2.11. MAPA DE DENSIDAD POR EVENTOS DE INUNDACIÓN FLUVIAL EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 109
FIGURA 2.12. MAPA DE DENSIDAD POR EVENTOS DE INUNDACIÓN PLUVIAL EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 110
FIGURA 2.13. MAPA DE REPORTES HISTÓRICOS DE EVENTOS DE INUNDACIÓN FLUVIAL Y PLUVIAL POR BARRIO EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 112
FIGURA 2.14. MAPA DE HISTORICIDAD DE SECTORES POSIBLEMENTE AFECTADOS POR EVENTOS DE INUNDACIÓN SEGÚN CURVAS DE NIVEL DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 113
FIGURA 2.15. MAPA CONSOLIDADO DE REPORTES HISTÓRICOS DE INUNDACIÓN FLUVIAL Y PLUVIAL EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 114
FIGURA 2.16. MAPA DE HISTORICIDAD POR EVENTOS HISTÓRICOS DE MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 138
FIGURA 2.17. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO POR PARTE DE LA CVC 141

FIGURA 2.18. PRESENTACIÓN DEL PROYECTO POR PARTE DE LA CVC.....142
FIGURA 2.19. GRUPO DE TRABAJO MESA 1.....143
FIGURA 2.20. GRUPO DE TRABAJO MESA 2.....143
FIGURA 2.21. CARTOGRAFÍA SOCIAL PARA LA VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS DE HISTORICIDAD DE EVENTOS DE INUNDACIÓN PERIODO 1980- ABRIL DEL 2019, ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 145
FIGURA 2.22. MAPA DE EVENTOS HISTÓRICOS POR INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL EN EL PERIODO 1980- ABRIL 2019.....146
FIGURA 2.23. CARTOGRAFÍA SOCIAL PARA LA VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS DE HISTORICIDAD DE EVENTOS DE MOVIMIENTOS EN MASA PERIODO 1980- ABRIL DEL 2019, ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 147
FIGURA 2.24. MAPA DE EVENTOS HISTÓRICOS POR MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL EN EL PERIODO 1980- ABRIL 2019.....148
FIGURA 3.1. MAPA GEOLÓGICO PLANCHA 242 - ZARZAL, VALLE DEL CAUCA – COLOMBIA 150
FIGURA 3.2. MAPA DE ESTACIONES DE CAMPO ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DEL ZARZAL. 158
FIGURA 3.3. MAPA GEOLÓGICO DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DEL ZARZAL. 159
FIGURA 3.4. Z045: A. PANORÁMICA DEL AFLORAMIENTO DONDE SE APRECIA LA PARTE INFERIOR DE LA FM. LA PAILA (TMP) DESCRITA EN ESTE INFORME. B. ZOOM DEL CONGLOMERADO. C. ZOOM DEL CONGLOMERADO EN DISCONFORMIDAD CON LA ARENISCA.....160
FIGURA 3.5. Z074: A. ESTRATO GRUESO DE ARENISCA DE LA FM. LA PAILA (TMP). B. ZOOM DONDE SE APRECIA MEJOR LAS CONCRECIONES DE CARBONATO. 161
FIGURA 3.6. Z074: A. ESTRATO GRUESO DE ARENISCA DE LA FM. LA PAILA (TMP). B. ZOOM DONDE SE APRECIA MEJOR LAS CONCRECIONES DE CARBONATO. 161
FIGURA 3.7. Z070 Y Z072: A. PANORÁMICA DE AFLORAMIENTO DE LA FM. LA PAILA (TMP). B. ZOOM, DONDE SE APRECIA CONTACTO ENTRE EL CONGLOMERADO Y LA ARENISCA .162
FIGURA 3.8. Z047: ROCA CONGLOMERÁTICA DE LA FM. LA PAILA (TMP) QUE SE ENCUENTRA EN LAS INSTALACIONES DE ACUAVALLE. 163
FIGURA 3.9. Z042 Y Z043: **A.** ROCA CONGLOMERÁTICA DE LA FM. LA PAILA (TMP). **B.** ZOOM DEL AFLORAMIENTO PARA DETALLE DE LA ROCA.....163
FIGURA 3.10. Z060: AFLORAMIENTO DONDE SE APRECIA LA FM. ZARZAL (TPZ) EN LA URBANIZACIÓN LOS LAGOS IV ETAPA.....164
FIGURA 3.11. Z052: AFLORAMIENTO DE LA FM. ZARZAL (TPZ) DONDE SE APRECIA ROCAS CONGLOMERÁTICAS Y DIATOMEAS.....165
FIGURA 3.12. (Z020): **A.** ESTRATOS HORIZONTALES DE LA FM. ZARZAL (TPZ). **B.** ZOOM DETALLE DE LAS DIATOMEAS ABAJO Y LIMOLITAS ARRIBA CON LÁMINAS OXIDADAS. 166
FIGURA 3.13. (Z040): FOTOS EN DOS SITIOS DIFERENTES DEL AFLORAMIENTO DONDE SE APRECIA LA ARENISCA GRUESA DE LA FM. ZARZAL (TPZ).....166
FIGURA 3.14. (Z056): FOTO IZQUIERDA, VISTA GENERAL DEL AFLORAMIENTO. FOTO DERECHA, ZOOM PARA DETALLAR LA ARCILLA Y SU LAMINACIÓN PLANA PARALELA. 167
FIGURA 3.15. A. (Z057): PEQUEÑO AFLORAMIENTO AL LADO DE UNA VÍA DONDE SE APRECIA LA ARCILLA DE LA FM. ZARZAL (TPZ). **B** (Z057): ARCILLA AL PISO UBICADO EN UN PARQUE DEL BARRIO. **C.** (Z058): AFLORAMIENTO DE ARCILLA AL LADO DE LA VÍA. 168
FIGURA 3.16. DEPÓSITOS SEDIMENTARIOS CUATERNARIOS QTA **A**. Z002, **B.** Z009, **C.** Z016 Y **D.** Z065. 169
FIGURA 3.17. (Z001): LIMOS DE COLOR NEGRO NO CONSOLIDADOS (QAL), LOS CUALES TOPOGRÁFICAMENTE ESTÁN MÁS ABAJO DE LOS QTA. 169

FIGURA 3.18. (Z020): FALLA NORMAL QUE AFECTA LA FM. ZARZAL (TPZ), CON UN DESPLAZAMIENTO DE 70 CM. 170
FIGURA 3.19. (Z071): FALLA INVERSA (?) CON VETILLAS DE CARBONATO EN EL PLANO DE FALLA Y SUS RESPALDOS, LA CUAL AFECTA LA FM. LA PAILA (TMP). 170
FIGURA 3.20. MAPA DE UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL. 172
FIGURA 3.21. FOTOINTERPRETACIÓN DEL VUELO IGAC_C_1474_FOTO_156 Y 157_AÑO_1973. 173
FIGURA 3.22. FOTOINTERPRETACIÓN DEL VUELO DEL A2_1998_07_20_0_407_F41S_256 Y 257. 174
FIGURA 3.23. FOTOINTERPRETACIÓN DEL VUELO DEL A2_2004_02_00_00_FAL_448_373 A 375 174
FIGURA 3.24. ESQUEMA DE JERARQUIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA 175
FIGURA 3.25. MODELO DIGITAL DE TERRENO DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL. 176
FIGURA 3.26. MAPA DE PENDIENTES DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 177
FIGURA 3.27. A. (T021): CASAS CONSTRUIDAS A CADA LADO DEL CANALÓN. **B.** (T022): GIROS NO NATURALES DE LA QUEBRADA CANALIZADA, LO CUAL PROVOCA DESBORDAMIENTOS. 178
FIGURA 3.28. (Z044): PANORÁMICA DONDE SE OBSERVAN LOS LOMOS RESIDUALES DE LA FM. LA PAILA (TMP). 181
FIGURA 3.29. A. (Z014) Y B. (Z016) EJEMPLOS DE LAS GEOFORMAS POR DEPÓSITOS ALUVIALES (FTA). 181
FIGURA 3.30. A. (Z044): ASPECTO DE LAS LADERAS TERRACEADAS (ALT) PARA FUTURAS CONSTRUCCIONES. B. (Z066): SE APRECIA LLENO MIXTO (ALL) EL CUAL SE ELABORÓ PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA VÍA FÉRREA QUE PASA POR EL CASCO URBANO DE ZARZAL. 182
FIGURA 3.31. MAPA GEOMORFOLÓGICO DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL. 183
FIGURA 3.32. (Z049): PARTE ALTA DE LA URBANIZACIÓN LINA MARÍA. OBSERVE QUE EL PIE DEL BOMBERO UBICADO EN LA GRIETA. 184
FIGURA 3.33. (Z018): TALUD VERTICAL DE 7 M DE ALTO AFECTANDO VIVIENDA EN LA PARTE SUPERIOR. 185
FIGURA 3.34. (Z059): BARRIO BRISAS DE RIO CLARO CONSTRUIDO SOBRE ARCILLAS, ACTUALMENTE HABITADO. 185
FIGURA 3.35. (Z041): CASA A LA BASE DEL CERRO CON POSIBLE AFECTACIÓN DE DESLIZAMIENTO. 186
FIGURA 3.36. (Z042): EJEMPLO DE TALUD AL BORDE DE ANTIGUA VÍA A CALI. 186
FIGURA 3.37. (Z028): SE MUESTRA LAS VIGAS (LLAMADAS VIGAS H) QUE SOPORTAN LAS PAREDES DEL CANAL. 187
FIGURA 3.38. (Z073): BLOQUES COLGADOS DE ROCA, LOS CUALES FUERON PRODUCTO DEL AGUA LLUVIA 187
FIGURA 3.39. RECORRIDO DE LA QUEBRADA LOS LIMONES POR EL CASCO URBANO DE ZARZAL. 188
FIGURA 3.40. FOTOGRAFÍAS DE LAS ESTACIONES **A.** Z021, **B.** Z023, **C.** Z029 Y **D.** Z026: EDIFICACIONES A AMBOS LADOS DE LA QB. O CANALÓN LOS LIMONES. 189
FIGURA 3.41. (Z022): **A.** CASA AFECTADA POR INUNDACIONES DE LA QUEBRADA LOS LIMONES. **B.** LA FOTO INDICA EL GIRO NO NATURAL DE LA QUEBRADA Y EDIFICACIONES FRENTE A ELLA. 190

FIGURA 3.42. (Z025): **A.** CASA AFECTADA POR LA QB. LOS LIMONES. **B.** EN LA FOTO SE APRECIA EL NUEVO MURO LEVANTADO POR EL PROPIETARIO. 190
FIGURA 3.43. (Z027): PUENTE VIAL DE LA CARRERA 10, NÓTESE LA POCA ALTURA DEL PUENTE LO CUAL OBSTRUYE EL PASO DEL AGUA CUANDO SE AUMENTA EL CANAL 191
FIGURA 3.44. (Z066): ZONA DE LA GALERÍA, LUGAR QUE ACTUALMENTE SE REPOSAN AGUAS DE DESBORDAMIENTO DE LA QB. LOS LIMONES Y AGUAS LLUVIAS POR FALTA DE UN SISTEMA DE DRENAJE. 192
FIGURA 3.45. (Z035): **A.** SE APRECIA DIQUE Y **B**. PARTE FINAL DEL TUBO DE PVC DE 6" PARA VERTER AGUAS LLUVIAS DE LA URBANIZACIÓN. 192
FIGURA 3.46. A. (Z039): ESQUINA DE LA ESCUELA SAGRADO CORAZÓN DE JESÚS DONDE INICIA EL CANAL DE CEMENTO Y PUNTO MÁS BAJO DE LAS CALLES ALEDAÑAS. **B.** (Z038): EL CANAL PASA A UN BOX CULVERT QUE PASA A UN LADO DE LA IGLESIA MORMONA.. 193
FIGURA 3.47. A. (Z054): LOTE DE EXPANSIÓN DEL ÁREA URBANA DE ZARZAL, ACTUALMENTE CON PROBLEMAS DE INUNDACIÓN. **B.** (Z055): CANAL EN TIERRA QUE CRUZA EL LOTE.... 193
FIGURA 3.48. (Z064): BARRIO VILLA AMELIA, AFECTADO POR CONTINUAS INUNDACIONES POR AGUA LLUVIA, NÓTESE AL FONDO LA VÍA A ROLDANILLO MÁS ALTA QUE LA CALLE DEL BARRIO 194
FIGURA 4.1. NIVELACIÓN TRIGONOMÉTRICA, SITUACIONES 199
FIGURA 4.2. TIPOS DE POLIGONAL 200
FIGURA 4.3. LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO 202
FIGURA 4.4. ESQUEMA BATIMETRÍA DE RIO POR ECOSONDA 203
FIGURA 4.5. MUESTREO ALEATORIO SIMPLE 209
FIGURA 4.6. MUESTREO ALEATORIO ESTRATIFICADO 210
FIGURA 4.7. MUESTREO SISTEMÁTICO 210
FIGURA 4.8. MUESTREO ANIDADO 211
FIGURA 4.9. MATERIALIZACIÓN PUNTOS DE CONTROL 213
FIGURA 4.10. GEORREFERENCIACIÓN PUNTOS DE CONTROL 213
FIGURA 4.11. UBICACIÓN PUNTO MAGNA GPS-DV9 215
FIGURA 4.12. RED DE AMARRE, MUNICIPIO DE ZARZAL 216
FIGURA 4.13. GENERACIÓN DE DTM Y PRODUCCIÓN DE BATIMETRÍA 225
FIGURA 4.14. BATIMETRÍA Q. LIMONES 226
FIGURA 4.15. DTM Q. LIMONES 226
FIGURA 5.1. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO EN EL MUNICIPIO DE ZARZAL 229
FIGURA 5.2. OBRAS HIDRÁULICAS UBICADAS SOBRE LA QUEBRADA LIMONES 232
FIGURA 5.3. OBRAS HIDRÁULICAS UBICADAS SOBRE LA QUEBRADA LIMONES 233
FIGURA 5.4. HISTOGRAMA DE TEMPERATURA MEDIA MENSUAL. ESTACIÓN CENTRO ADMINISTRATIVO LA UNIÓN 237
FIGURA 5.5. HISTOGRAMA DE TEMPERATURA MEDIA MENSUAL. ESTACIÓN TIERRABLANCA 238
FIGURA 5.6. HISTOGRAMA DE BRILLO SOLAR MUNICIPIO DE ZARZAL 239
FIGURA 5.7. HISTOGRAMA DE HUMEDAD RELATIVA – ESTACIONES CENTRO ADMINISTRATIVO LA UNIÓN Y TIERRABLANCA 240
FIGURA 5.8. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA EVAPORACIÓN – ESTACIONES CENTRO ADMINISTRATIVO LA UNIÓN Y TIERRABLANCA 241
FIGURA 5.9. HISTOGRAMA DE VELOCIDAD DE VIENTO – ESTACIÓN CENTRO ADMINISTRATIVO LA UNIÓN 242
FIGURA 5.10. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA DE PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL DE LAS ESTACIONES UBICADAS EN ZONAS ALEDAÑAS AL PROYECTO 244

FIGURA 5.11. PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA LOS DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO CONSIDERADOS. ESTACIÓN LA ELVIRA 247
FIGURA 5.12. PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA LOS DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO CONSIDERADOS. ESTACIÓN EL ORÉGANO 248
FIGURA 5.13. PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA LOS DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO CONSIDERADOS. ESTACIÓN MONTECRISTO 249
FIGURA 5.14. CURVA DE INTENSIDAD FRECUENCIA Y DURACIÓN CON DATOS DE LA ESTACIÓN CENTRO ADMINISTRATIVO LA UNIÓN. 250
FIGURA 5.15. HISTOGRAMA DE PRECIPITACIÓN DE DISEÑO HIDROLÓGICO PARA UNA DURACIÓN DE 200 MIN. ESTACIÓN CENTRO ADMINISTRATIVO LA UNIÓN 251
FIGURA 5.16. ESQUEMA DE LAS COMPONENTES HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS QUE UTILIZA EL HEC-HMS 4.3 PARA REPRESENTAR UNA CUENCA HIDROGRÁFICA. 253
FIGURA 5.17. CLASIFICACIÓN DE MODELOS 254
FIGURA 6.1. CLASIFICACIÓN DE LAS ZONAS DE INUNDACIÓN DE ACUERDO CON LA AGENCIA CATALANA DEL AGUA 276
FIGURA 6.2. ZONA DE INTENSO DESAGÜE DEFINIDA POR LA AGENCIA CATALANA DEL AGUA 277
FIGURA 6.3. DEFINICIÓN DE RANGOS DE INTENSIDAD PARA INUNDACIONES ESTÁTICAS Y DINÁMICAS 281
FIGURA 6.4. NIVEL DE INTENSIDAD O MAGNITUD DE LA AMENAZA POR INUNDACIONES. 286
FIGURA 6.5. ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN POR DESBORDAMIENTO - PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS 306
FIGURA 7.1. DISEÑO METODOLÓGICO PARA LA EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA- MUNICIPIO DE ZARZAL 311
FIGURA 7.2. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE COBERTURA DE LA TIERRA 314
FIGURA 7.3. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA ECUACIÓN PARA MEDIR EL NIVEL FREÁTICO 320
FIGURA 7.4. GRÁFICA DE PROBABILIDAD NORMAL 323
FIGURA 7.5.. MAPA GEOLÓGICO MUNICIPIO DE ZARZAL 326
FIGURA 7.6. MAPA GEOMORFOLÓGICO DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 327
FIGURA 7.7. MAPA UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 328
FIGURA 7.8. PORCENTAJES DE ÁREAS OCUPADOS POR GRANDES TIPOS DE COBERTURA DE LA TIERRA EN ZARZAL (NIVEL 1 DE CLC) 329
FIGURA 7.9. MAPA DE COBERTURA DE LA TIERRA MUNICIPIO ZARZAL 330
FIGURA 7.10. MAPA DE EVENTOS HISTÓRICOS DE MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 334
FIGURA 7.11. UBICACIÓN DE LAS PERFORACIONES MECÁNICAS HECHAS PARA EL PRESENTE ESTUDIO EN EL MUNICIPIO DE ZARZAL 336
FIGURA 7.12. UBICACIÓN EN PLANTA DE LOS APIQUES PARA EL PRESENTE ESTUDIO EN EL MUNICIPIO DE ZARZAL 339
FIGURA 7.13. PERFIL ESTRATIGRÁFICO ESTABLECIDO 341
FIGURA 7.14. REALIZACIÓN EN CAMPO DE UNA LÍNEA SÍSMICA EN EL MUNICIPIO DE ZARZAL 342
FIGURA 7.15. LOCALIZACIÓN DE LAS LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICA EN EL MUNICIPIO DE ZARZAL 343
FIGURA 7.16. ILUSTRACIÓN TÍPICA DE LA CAPTURA DE DATOS EN CAMPO MEDIANTE EL SOFTWARE SEISIMAGER CORRESPONDIENTE A LA EJECUCIÓN DE LA LÍNEA DE REFRACCIÓN PARA ONDAS P 345

FIGURA 7.17. ILUSTRACIÓN TÍPICA DEL PROCESAMIENTO DE DATOS MEDIANTE EL SOFTWARE SEISIMAGER CORRESPONDIENTE A LA LÍNEA DE REFRACCIÓN PARA ONDAS P.....346
FIGURA 7.18. TOMOGRAFÍA DEL TERRENO, VELOCIDADES DE ONDA PLANA (VP), LS-2. 348
FIGURA 7.19. GRÁFICAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN PICO OBTENIDAS DEL ENSAYO DE CORTE DIRECTO SOBRE LA MUESTRA M7A DE LA PERFORACIÓN P-04.....352
FIGURA 7.20. UBICACIÓN SECCIONES DE ANÁLISIS MUNICIPIO DE ZARZAL.....354
FIGURA 7.21. PERFIL AA' SECCIÓN DE ANÁLISIS 355
FIGURA 7.22. PERFIL BB' SECCIÓN DE ANÁLISIS.....355
FIGURA 7.23. PERFIL CC' SECCIÓN DE ANÁLISIS.....356
FIGURA 7.24. PERFIL DD' SECCIÓN DE ANÁLISIS 356
FIGURA 7.25. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ESTACIONES HIDROCLIMATOLÓGICAS 359
FIGURA 7.26. CURVAS DE INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUENCIA CON DATOS DE LA ESTACIÓN LA ELVIRA 360
FIGURA 7.27. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SECCIÓN CC', ESCENARIO FUTURO, CONDICIÓN SIN OBRAS 362
FIGURA 7.28. DISTRIBUCIÓN DE NIVELES DE AMENAZA SIN SISMO PARA LA CONDICIÓN FUTURA EN EL MUNICIPIO DE ZARZAL. 365
FIGURA 7.29. MAPA DE AMENAZA CORRESPONDIENTE A LA CONDICIÓN FUTURA IN SISMO PARA EL MUNICIPIO DE ZARZAL 366
FIGURA 7.30. DISTRIBUCIÓN DE NIVELES DE AMENAZA PARA LA CONDICIÓN FUTURA EN EL MUNICIPIO DE ZARZAL 367
FIGURA 7.31. MAPA DE AMENAZA CORRESPONDIENTE A LA CONDICIÓN FUTURA CON SISMO PARA EL MUNICIPIO DE ZARZAL 368
FIGURA 7.32. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE UN DESLIZAMIENTO 369
FIGURA 7.33. VARIABLES GEOMÉTRICAS PARA DEFINIR LA DISTANCIA DE VIAJE DE UN DESLIZAMIENTO 370
FIGURA 7.34. BLOQUE DESLIZANTE, CONSIDERACIONES DINÁMICAS. A) PERFIL DE LA TRAYECTORIA. B) GEOMETRÍA LOCAL DEL CONTACTO. C) DIAGRAMA DE FUERZAS. D) PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 371
FIGURA 8.1. ZONAS DE EXPOSICIÓN ANTE INUNDACIÓN 380
FIGURA 8.2. NIVEL DE INTENSIDAD O MAGNITUD DE LA AMENAZA POR INUNDACIONES.....381
FIGURA 8.3. TIPOS DE DAÑOS POR INUNDACIÓN Y CONDICIONES DE FLUJO.....389
FIGURA 8.4. ZONAS DE EXPOSICIÓN ANTE MOVIMIENTOS EN MASA 393
FIGURA 8.5. DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO TOTAL DE HABITANTES, DÍA Y DE NOCHE DE LA POBLACIÓN ENCUESTADA, EXPUESTOS A INUNDACIÓN DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 404
FIGURA 8.6. DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO DE PREDIOS EXPUESTOS ANTE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE EL ZARZAL 405
FIGURA 8.7. USO DEL SUELO OBSERVADO EN LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A AMENAZA POR INUNDACIÓN EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL.....408
FIGURA 8.8. DISTRIBUCIÓN DE LA TIPOLOGÍA DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 410
FIGURA 8.9. DISTRIBUCIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS ANTE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 411
FIGURA 8.10. DISTRIBUCIÓN DE LA EDAD DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A INUNDACIÓN EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL.....412

FIGURA 8.11. DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO DE PISOS LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A INUNDACIÓN EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 413
FIGURA 8.12. MAPA DE EXPOSICIÓN ESTRUCTURAL ANTE INUNDACIÓN, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 414
FIGURA 8.13. DISTRIBUCIÓN DE LÍNEAS VITALES EXPUESTAS ANTE INUNDACIÓN DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 415
FIGURA 8.14. DISTRIBUCIÓN DE LA RED VIAL SEGÚN MATERIAL Y LONGITUD (M) EN EXPOSICIÓN ANTE INUNDACIÓN EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 416
FIGURA 8.15. DISTRIBUCIÓN DE LA LONGITUD (M) LA VÍA SEGÚN SU ANCHO Y EXPOSICIÓN ANTE INUNDACIÓN EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 417
FIGURA 8.16. MAPA DE EXPOSICIÓN DE LA RED VIAL, POR FENÓMENO DE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 418
FIGURA 8.17. MAPA DE EXPOSICIÓN DE LA RED DE ACUEDUCTO, POR FENÓMENO DE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 419
FIGURA 8.18. MAPA DE EXPOSICIÓN DE LA RED DE ALCANTARILLADO, POR FENÓMENO DE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 420
FIGURA 8.19. DISTRIBUCIÓN DE LOS POSTES QUE SOPORTAN LA RED DE ENERGÍA ELÉCTRICA EXPUESTOS ANTE INUNDACIÓN DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 421
FIGURA 8.20. MAPA DE LOCALIZACIÓN DE LOS POSTES QUE SOPORTAN LA RED DE ENERGÍA ELÉCTRICA EXPUESTOS ANTE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 422
FIGURA 8.21. MAPA DE VELOCIDADES MODELO DE AMENAZA POR INUNDACIÓN EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 424
FIGURA 8.22. MAPA DE PROFUNDIDADES MODELO DE AMENAZA POR INUNDACIÓN EN EL ÁREA URBANA MUNICIPIO DE ZARZAL 425
FIGURA 8.23. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL FACTOR DE RESISTENCIA CORPORAL ANTE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 426
FIGURA 8.24. FACTOR DE RESISTENCIA CORPORAL ANTE INUNDACIÓN, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 427
FIGURA 8.25. DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR DE RESISTENCIA SEGÚN EL TIPO DE CONSTRUCCIÓN DE LAS EDIFICACIONES, ANTE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 429
FIGURA 8.26. DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR DE RESISTENCIA SEGÚN EL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS EDIFICACIONES ANTE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 430
FIGURA 8.27. DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR DE RESISTENCIA SEGÚN LA EDAD O TIEMPO DE SERVICIO DE LAS EDIFICACIONES, ANTE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 431
FIGURA 8.28. DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR DE RESISTENCIA SEGÚN EL NÚMERO DE PISOS DE LAS EDIFICACIONES, ANTE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL. 432
FIGURA 8.29. FACTOR DE RESISTENCIA ESTRUCTURAL ANTE INUNDACIÓN, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 433
FIGURA 8.30. DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR DE RESISTENCIA SEGÚN MATERIAL Y LONGITUD (M) DE LA VÍA ANTE INUNDACIÓN EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO ZARZAL 434
FIGURA 8.31. DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR DE RESISTENCIA DE LA RED VIAL SEGÚN SU MATERIAL ANTE INUNDACIÓN, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 435

FIGURA 8.32. FACTOR DE RESISTENCIA DE LA RED VIAL ANTE INUNDACIÓN, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 436
FIGURA 8.33. FACTOR DE RESISTENCIA DE LA RED ELÉCTRICA ANTE INUNDACIÓN, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 438
FIGURA 8.34. DISTRIBUCIÓN NIVEL DE LA VULNERABILIDAD CORPORAL POR INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 440
FIGURA 8.35. ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD CORPORAL ANTE INUNDACIONES, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 441
FIGURA 8.36. DISTRIBUCIÓN DEL NIVEL DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL POR INUNDACIÓN DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 442
FIGURA 8.37. DISTRIBUCIÓN DEL NIVEL DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL POR INUNDACIÓN DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 443
FIGURA 8.38. ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL ANTE INUNDACIÓN, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 444
FIGURA 8.39. ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD DE LA RED VIAL ANTE INUNDACIONES EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 446
FIGURA 8.40. ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LA RED ELÉCTRICA ANTE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 448
FIGURA 8.41. CURVA DE FRAGILIDAD S= 1,0 450
FIGURA 8.42. CURVA DE FRAGILIDAD S= 0,9 450
FIGURA 8.43. CURVA DE FRAGILIDAD S= 0,8 450
FIGURA 8.44. CURVA DE FRAGILIDAD S= 0,7 450
FIGURA 8.45. DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO TOTAL DE HABITANTES, DÍA Y DE NOCHE DE LA POBLACIÓN ENCUESTADA, EXPUESTOS A MOVIMIENTO EN MASA DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 452
FIGURA 8.46. DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO DE PREDIOS EXPUESTOS A MOVIMIENTO EN MASA EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 453
FIGURA 8.47. DISTRIBUCIÓN DEL USO DEL SUELO OBSERVADO EN LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A AMENAZA POR MOVIMIENTO EN MASA EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 455
FIGURA 8.48. DISTRIBUCIÓN DEL TIPO DE CONSTRUCCIÓN DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS ANTE MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 457
FIGURA 8.49. DISTRIBUCIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A MOVIMIENTO EN MASA EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 458
FIGURA 8.50. DISTRIBUCIÓN DE LA EDAD O TIEMPO DE SERVICIO DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 459
FIGURA 8.51. DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO DE PISOS LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A MOVIMIENTO EN MASA EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 460
FIGURA 8.52. EXPOSICIÓN ESTRUCTURAL ANTE MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 461
FIGURA 8.53. DISTRIBUCIÓN DE LÍNEAS VITALES EXPUESTAS A MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 462
FIGURA 8.54. MAPA DE EXPOSICIÓN DE LA RED VIAL, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 463
FIGURA 8.55. MAPA DE EXPOSICIÓN DE LA RED DE ACUEDUCTO, ANTE EL FENÓMENO DE MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL. 464
FIGURA 8.56. MAPA DE EXPOSICIÓN DE LA RED ELÉCTRICA, POR FENÓMENO DE MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 466

FIGURA 8.57. UBICACIÓN DE LAS SECCIONES DE ANÁLISIS DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL....468
FIGURA 8.58. PERFIL A-A´´ EN EL BARRIO BICENTENARIO....469
FIGURA 8.59. PERFIL B-B´´ LOCALIZADO EN LOS BARRIOS LOS LAGOS I Y II ETAPA 469
FIGURA 8.60. PERFIL C-C´ LOCALIZADO EN EL BARRIO SAN RAFAEL....470
FIGURA 8.61. PERFIL D-D´ LOCALIZADO EN LOS BARRIOS, BUENOS AIRES Y LA BALASTERA 470
FIGURA 8.62. PERFIL E-E´ LOCALIZADO EN EL BARRIO BAJO BUENOS AIRES 470
FIGURA 8.63. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL FACTOR DE RESISTENCIA CORPORAL ANTE MOVIMIENTO EN MASA, EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL....472
FIGURA 8.64. FACTOR DE RESISTENCIA CORPORAL ANTE MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 473
FIGURA 8.65. DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR DE RESISTENCIA POR TIPOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN DE LAS EDIFICACIONES ANTE MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL....474
FIGURA 8.66. DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR DE RESISTENCIA SEGÚN EL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS EDIFICACIONES POR MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL....475
FIGURA 8.67. DISTRIBUCIÓN DE FACTOR DE RESISTENCIA SEGÚN LA EDAD O TIEMPO DE SERVICIO DE LAS EDIFICACIONES POR MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL....476
FIGURA 8.68. DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR DE RESISTENCIA SEGÚN EL NÚMERO DE PISOS DE LAS EDIFICACIONES POR MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL....477
FIGURA 8.69. FACTOR DE RESISTENCIA ESTRUCTURAL ANTE MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 478
FIGURA 8.70. DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR DE RESISTENCIA DE LA RED VIAL SEGÚN SU MATERIAL POR MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 480
FIGURA 8.71. DISTRIBUCIÓN DEL ACTOR DE RESISTENCIA DE LA RED VIAL SEGÚN ANCHO(M) POR MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL....480
FIGURA 8.72. FACTOR DE RESISTENCIA DE LA RED VIAL ANTE MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 481
FIGURA 8.73. FACTOR DE RESISTENCIA ANTE MOVIMIENTO EN MASA DE LA RED ELÉCTRICA, EN LA ZONA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL....483
FIGURA 8.74. DISTRIBUCIÓN DEL NIVEL DE VULNERABILIDAD CORPORAL EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 484
FIGURA 8.75. ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD CORPORAL ANTE MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DE MUNICIPIO DE ZARZAL....486
FIGURA 8.76. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL ÁREA (M2) DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL POR MOVIMIENTO EN MASA DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL....487
FIGURA 8.77. ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL ANTE MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 488
FIGURA 8.78. DISTRIBUCIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LA RED VIAL POR MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 489
FIGURA 8.79. ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD ANTE MOVIMIENTO EN MASA DE LA RED VIAL EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 490
FIGURA 8.80. ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD ANTE MOVIMIENTO EN MASA DE LOS POSTES QUE SOPORTAN LA RED ELÉCTRICA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL....492

FIGURA 8.81. FACTORES DE RESISTENCIA S=0,7 494
FIGURA 8.82. FACTORES DE RESISTENCIA S=0,08 494
FIGURA 8.83. FACTORES DE RESISTENCIA S=0,9 494
FIGURA 8.84. FACTORES DE RESISTENCIA S=0,1 494
FIGURA 9.1. DISTRIBUCIÓN DEL NIVEL DE AFECTACIÓN CORPORAL POR INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 503
FIGURA 9.2. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL ESCENARIO DE AFECTACIÓN ESTRUCTURAL POR INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 504
FIGURA 9.3. ZONIFICACIÓN DE AFECTACIÓN ESTRUCTURAL ANTE INUNDACIONES, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 505
FIGURA 9.4. DISTRIBUCIÓN DEL NIVEL DE AFECTACIÓN PARA LA RED VIAL ANTE INUNDACIÓN, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 506
FIGURA 9.5. ZONIFICACIÓN DE AFECTACIÓN DE LA RED VIAL ANTE INUNDACIONES, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 507
FIGURA 9.6. ZONIFICACIÓN DE AFECTACIÓN DE LA RED ELÉCTRICA ANTE INUNDACIONES, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 509
FIGURA 9.7. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL NIVEL DE AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE (ÁREA M2) ANTE INUNDACIÓN, EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 510
FIGURA 9.8. ZONIFICACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE POR INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 511
FIGURA 9.9. DISTRIBUCIÓN DEL NIVEL DE AFECTACIÓN CORPORAL POR MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 512
FIGURA 9.10. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL ÁREA M2 POR ESCENARIOS DE AFECTACIÓN ESTRUCTURAL EXPUESTAS POR MOVIMIENTO EN MASA DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 513
FIGURA 9.11. ZONIFICACIÓN DE ÁREAS DE AFECTACIÓN ANTE MOVIMIENTO EN MASA, ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 514
FIGURA 9.12. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL ESCENARIO DE AFECTACIÓN DE LA RED VIAL POR MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 515
FIGURA 9.13. ZONIFICACIÓN DE AFECTACIÓN POR MOVIMIENTO EN MASA, RED VIAL, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 516
FIGURA 9.14. ZONIFICACIÓN DE AFECTACIÓN POR MOVIMIENTO EN MASA, RED VIAL, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 518
FIGURA 9.15. DISTRIBUCIÓN DEL NIVEL DE AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y ALTA NO MITIGABLE ANTE MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 519
FIGURA 9.16. ZONIFICACIÓN DE AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE ANTE MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL 521
FIGURA 9.17. TIPIFICACIÓN DEL CONTENIDO DE UNA VIVIENDA EN EL ÁREA DE ESTUDIO. 526

INTRODUCCIÓN

Los fenómenos naturales no se constituyen por sí mismos como un riesgo, sino que se transforman como tal cuando, al presentarse con ciertas condiciones de espacialidad, temporalidad y severidad, se ponen en la interacción con una comunidad expuesta. La presencia de personas y bienes materiales en áreas sujetas a procesos naturales potencialmente desastrosos dan lugar a que se generen daños y pérdidas relativas. Esto significa que en la medida en que se genere un aumento de los elementos expuestos (nuevas construcciones y aumento de población), habrá un incremento considerable en los posibles daños a ser provocados.

En el presente documento se muestran la evaluación y zonificación de amenaza, vulnerabilidad y escenarios de afectación o daño (riesgo) por inundación y movimiento en masa realizados en el área urbana del municipio de Zarzal. Dichos estudios se priorizan en el marco del Resultado 2 - Estudios de zonificación de amenazas y riesgos en áreas urbanas, cofinanciados; del proyecto 5001: Apoyo a la gestión del riesgo en el territorio del Plan de Acción 2016-2019 de la CVC. Los estudios, dan como resultado la zonificación de amenazas, vulnerabilidad y escenarios de afectación (riesgos), con el fin de aportar a la disminución de la vulnerabilidad de la cabecera municipal frente a las amenazas por inundación y movimiento en masa en concordancia con las limitaciones del territorio, es decir, se aborda el proceso de conocimiento del riesgo a partir del análisis de amenazas y riesgos a nivel de zonas urbanas, acorde con lo definido por el Decreto 1077 de 2015, lo cual permitirá abordar de manera adecuada los procesos de planificación ambiental y territorial, definiendo con mayor precisión las medidas prospectivas y correctivas que se deban implementar.

Este informe constituye parte integral del proyecto ejecutado por el Observatorio Sismológico y Geofísico del Suroccidente de la Universidad del Valle (OSSO), en el marco del Convenio Interadministrativo N°070 de 2018 entre la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca -CVC y La Universidad de Valle, el cual tiene como objeto *"Aunar Esfuerzos Técnicos y Recursos Económicos para la Elaboración de los Estudios de Zonificación de Amenaza y Vulnerabilidad y Escenarios de Afectación a nivel de detalle, para Áreas urbanas de los municipios de El Dovio, Obando, Pradera, Toro, Ulloa y Zarzal".*

El informe se estructura en nueve (9) capítulos

- En el primer capítulo se presenta las generalidades del municipio de Zarzal
- En el segundo capítulo se presenta la conceptualización y metodología utilizada para el análisis histórico de los eventos de inundación y movimiento en masa que ha afectado al municipio de Zarzal en el periodo entre 1980 y febrero de 2019.
- En el tercer capítulo se presenta la conceptualización y metodología utilizada para el análisis geológico y geomorfológico del municipio, en este se encuentra el trabajo de campo donde se identifican las unidades geológicas, las formaciones geológicas superficiales y los elementos geoemorfologico.
- En el cuarto capítulo se presenta el análisis topográfico, donde se encuentra el levantamiento de topobatimetría de los afluentes localizados en el área de estudio.
- En el quinto capítulo se presenta el análisis hidrológico considerando los datos de las precipitaciones en las tres estaciones que tienen influencia al municipio de Zarzal.

- En el capítulo sexto se presenta la modelación hidráulica de los afluentes localizados en la zona de estudio y la zonificación de amenaza por inundación del municipio de Zarzal.
- En el séptimo capítulo se presenta la conceptualización y metodología utilizada para el análisis de amenaza por movimiento en masa, en el cual se consideró el análisis geológico, geomorfológico y geotécnico, en este último se realizó perforaciones, apiques y toma de datos mediante la línea sísmica para finalmente se establece la zonificación de amenaza por movimiento en masa.
- En el octavo capítulo se presenta la conceptualización y metodología utilizada para el análisis de vulnerabilidad y su posterior el análisis y zonificación de vulnerabilidad, en la que se consideró la exposición y la fragilidad de los elementos expuesto localizados en la zona de amenaza alta y medio por inundación y movimiento en masa.
- En el noveno capítulo, se presenta la conceptualización y metodología utilizada para el análisis de afectación por inundación y movimiento en masa, se consideró el análisis de amenaza y vulnerabilidad para la zonificación de afectación o riesgo por inundación y movimiento en masa. También se realizó el cálculo de las posibles pérdidas económicas, por último, se establecieron las zonas de Afectación alta mitigable y no mitigable.
- Finalmente, se presentan conclusiones y recomendaciones.

OBJETIVOS

General

Realizar estudio de zonificación de amenazas, vulnerabilidad y escenarios de afectación por inundación y movimiento en masa a nivel de detalle para el área urbana del municipio de Zarzal perteneciente al Departamento del Valle del Cauca.

Específicos

- Evaluar y zonificar las amenazas por inundación y movimiento en masa en la zona urbana. Evaluar la vulnerabilidad asociada a las amenazas por inundación y movimiento en masa en la zona urbana.
- Evaluar y zonificar los escenarios de afectación o daño asociados a las amenazas por inundación y movimiento en masa en zona urbana.
- Elaborar la cartografía de las diferentes evaluaciones y zonificaciones con la geodatabase correspondiente.
- Incluir la aptitud de uso a partir de las amenazas evaluadas.

ALCANCE

El análisis de la amenaza a nivel detallado se realizó teniendo en cuenta criterios históricos, geomorfológicos, hidrología-hidráulica, modelación hidráulica y modelación de los perfiles geológicos – geotécnicos empleando métodos asistidos por sensores remotos y sistemas de información geográfica. La evaluación de vulnerabilidad se llevó a cabo en las zonas de amenaza alta por inundación y movimiento en masa. En cuanto al escenario de afectación (riesgo), se definió teniendo en cuenta las posibles pérdidas en la zona urbana del municipio de Zarzal. Puesto que este estudio se realizó a escala 1:2.000, nivel de detalle según el Decreto 1077 de 2015, la generación de cartografía, con convenciones y leyenda específica permitirá la toma las medidas prospectivas y correctivas necesarias para la reducción de las condiciones de riesgo aquí definidas, las cuales se acompañan del documento técnico de soporte en el que se encuentra claramente expuesta la metodología desarrollada.

Se espera que esta información sea utilizada apropiadamente por el municipio para lograr la efectiva incorporación de la gestión del riesgo en el respectivo Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT), dando cumplimiento a los correspondientes elementos normativos de la Ley 388 de 1997, Ley 1523 de 2012, Decreto 879 de 1989 y en particular, el Decreto 1807 de 2014, compilado en el Decreto 1077 de 2015.

1. GENERALIDADES DEL MUNICIPIO DE ZARZAL VALLE DEL CAUCA

En este apartado se presenta de manera general el contexto geográfico en cuanto a sus límites, división política administrativa, número de población, su clima e hidrología. El contexto fisiográfico que hace referencia al relieve, geología y geomorfología de municipio.

1.1. CONTEXTO HISTÓRICO DEL MUNICIPIO

Las primeras fundaciones del Municipio corresponden al año 1783 en las haciendas vecinas y circunscritas a la zona llamada Pueblo Viejo y que no pasaba de unas 80 habitaciones en su mayoría casas de bahareque y techo de paja. Hacendados, empleados y servidores, negociantes, peones, se fueron agrupando en el sector llamado “Pueblo Viejo”, hoy Barrio Bolívar, el 9 de enero de 1783 don Pedro Sánchez de Hoyos vendió al señor don Antonio Mazuera la hacienda de “LAS LAJAS”, dentro de sus tierras queda hoy parte de la población. De la venta hubo reserva del globo denominado “EL ZARZAL”, porque existía mucha zarza, antes se había vendido a los señores Antonio y José Joaquín Libreros, y José Arana. Se construyeron casas de bahareque con techos de paja, se edificó una capilla de paredes de bahareque y techo de palmicha, se celebraba misas el padre Manuel Antonio Irurita. En 1809 existía ya una población importante, En mayo de 1823 se implanto el culto patronal de Nuestra Señora de Las Mercedes. Zarzal llevó este nombre hasta 1850 y de este año en adelante se llamó Libraida. En 1857 volvió al primitivo nombre. En 1840 era Municipio en 1857 paso a ser aldea y en el año de 1871 paso a ser una Villa, después de 38 años volvió a tener la categoría de Municipio que conserva hasta hoy, mediante Decreto Nacional N°155 del 12 de febrero de 1.909 firmado por el presidente de la Republica de Colombia General Rafael Reyes. Su primer alcalde fue el señor Marino Llanos, hoy día el municipio es conocido como La Tierra Que Endulza a Colombia (Alcandía de Zarzal, 2018).

1.2. CONTEXTO GEOGRÁFICO DEL MUNICIPIO

El municipio de Zarzal se ubica en el norte del departamento del Valle del Cauca, en el valle geográfico del rio Cauca entre la margen derecha del río Cauca y la vertiente occidental de la Cordillera Central, con una extensión total de 355,15 km^2, de los cuales 3,67 km^2 corresponde a la zona urbana con porcentaje de 1,03% y 351,48 km^2 corresponde a la zona rural con el 98,97% del área total del municipio, con una temperatura promedio de 28° C y una altura promedio de 916 m.s.n.m.(Consejo Municipal de Zarzal -PBOT, 2001) (Figura 1.1).

1.2.1. Límites

El municipio de Zarzal limita de la siguiente manera:

- Al Norte con el municipio de La Victoria a (35,18 Km.)
- Al Sur con el municipio de Bugalagrande (21,41 Km.)
- Al Oriente con l municipios de Sevilla en (37.93 Km.)
- Al Occidente con los municipios de Roldanillo y Bolívar (34,6 Km.)

En la Figura 1.1 presenta la ubicación de la zona urbana del municipio de Zarzal

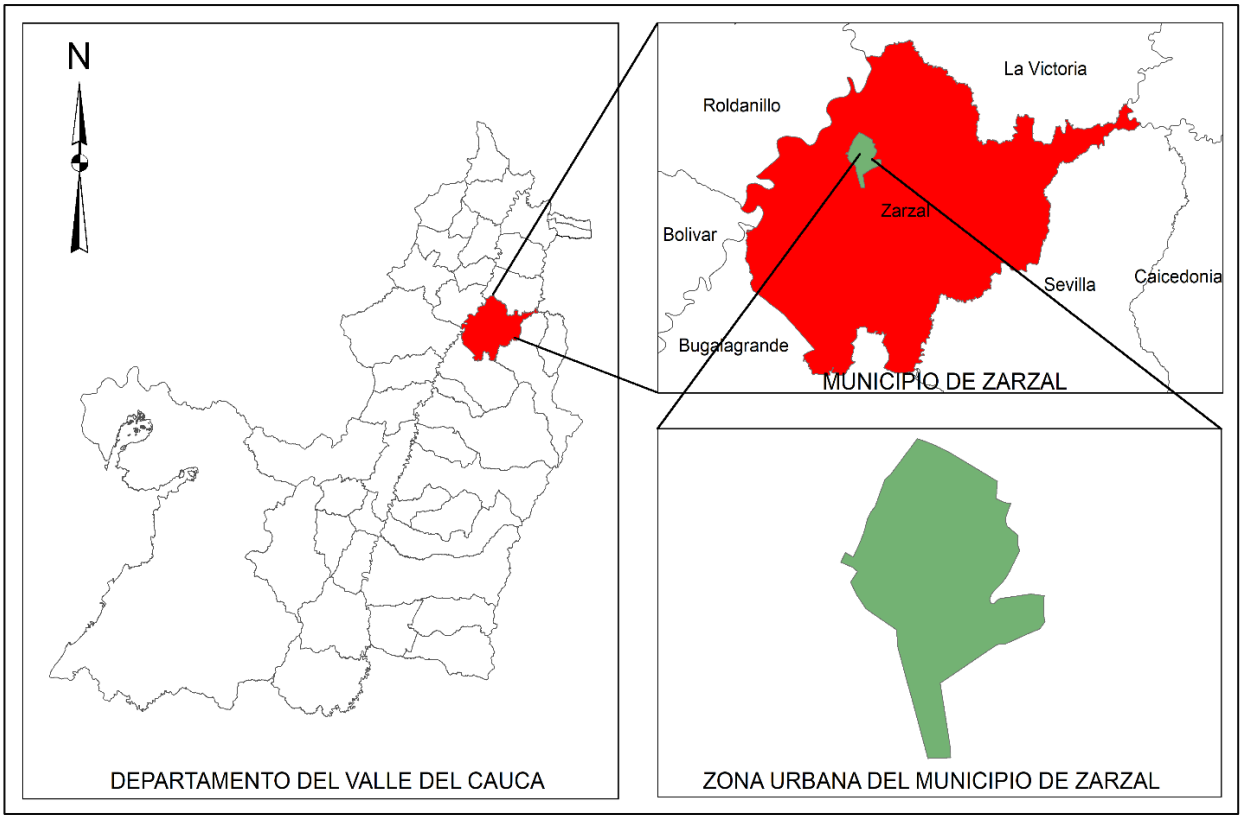


Figura 1.1. Localización de la zona urbana del Municipio de Zarzal, Departamento del Valle del Cauca
Fuente: elaboración propia

1.2.2. División Política Administrativa

El municipio de Zarzal está dividido políticamente en zona urbana con una extensión de 3,66 km^2 y en zona rural con 351,48 km^2.

1.2.2.1. Zona Urbana

El municipio de Zarzal no cuenta con una división política de barrios oficial, por lo tanto, en el presente estudio se realizó una delimitación con funcionarios de la Secretaria de Planeación e infraestructura física, se complementó con el Taller de Socialización y Validación el día miércoles 15 de mayo de 2019 y el día lunes 20 de mayo con el equipo técnico del proyecto. Se debe aclarar que está delimitación **no es oficial**, pero para requerimientos del estudio se utilizará.

En el taller quedó claro que la administración municipal debe hacer un esfuerzo por oficializar la división de barrios ante los estamentos pertinentes.

De acuerdo con la delimitación realizada el municipio de Zarzal quedó conformado por 60 barrios que se muestra en la Tabla 1.1 y en la Figura 1.2 se presenta espacialmente la localización de cada uno de ellos.

Tabla 1.1. División Político-Administrativa de la Zona Urbana del municipio de Zarzal

N°	BARRIOS	N°	BARRIOS
1	Asovina	31	La Mariela
2	Azucarero	32	La Valvanera
3	Bajo Buenos Aires	33	Lares de La Quinta
4	Barrio Discapacitados	34	Las Brisas
5	Bicentenario	35	Las Mercedes
6	Bolivar	36	Libraida
7	Brisas de Río Paila	37	Lina Maria
8	Buenos Aires	38	Los Almendros
9	Ciudad Kennedy	39	Los Lagos
10	Ciudadela del Norte	40	Los Lagos I Etapa
11	Colombina	41	Los Lagos II Etapa
12	Diana Marcela	42	Los Lagos III Etapa
13	Diana Maria	43	Los Lagos IV Etapa
14	El Centro	44	Pallanos
15	El Cocli	45	Pama
16	El Guamal	46	Prado
17	El Limonar	47	Puertas del Sol I
18	El Nevado	48	Puertas del Sol II
19	El Placer	49	Quinto Centenario
20	El Poblado I	50	Salamanca
21	El Poblado II	51	San Rafael
22	El Pogreso	52	Urb. Ciudad Jardin
23	El Quindio	53	Urb. Zarzalito
24	El Vergel	54	Urb.Guadualito
25	Gonzalo Echeverry	55	Villa Amelia
26	La Balastera	56	Villa Campestre
27	La Delfina	57	Villa Isabelita
28	La Esperanza	58	Villa Yoli
29	La Inmaculada	59	Villa Zarzal
30	La Isabelita	60	Batallón de Instrucción y Entrenamiento N° 3

Fuente: elaboración propia con información EOT, (2001).

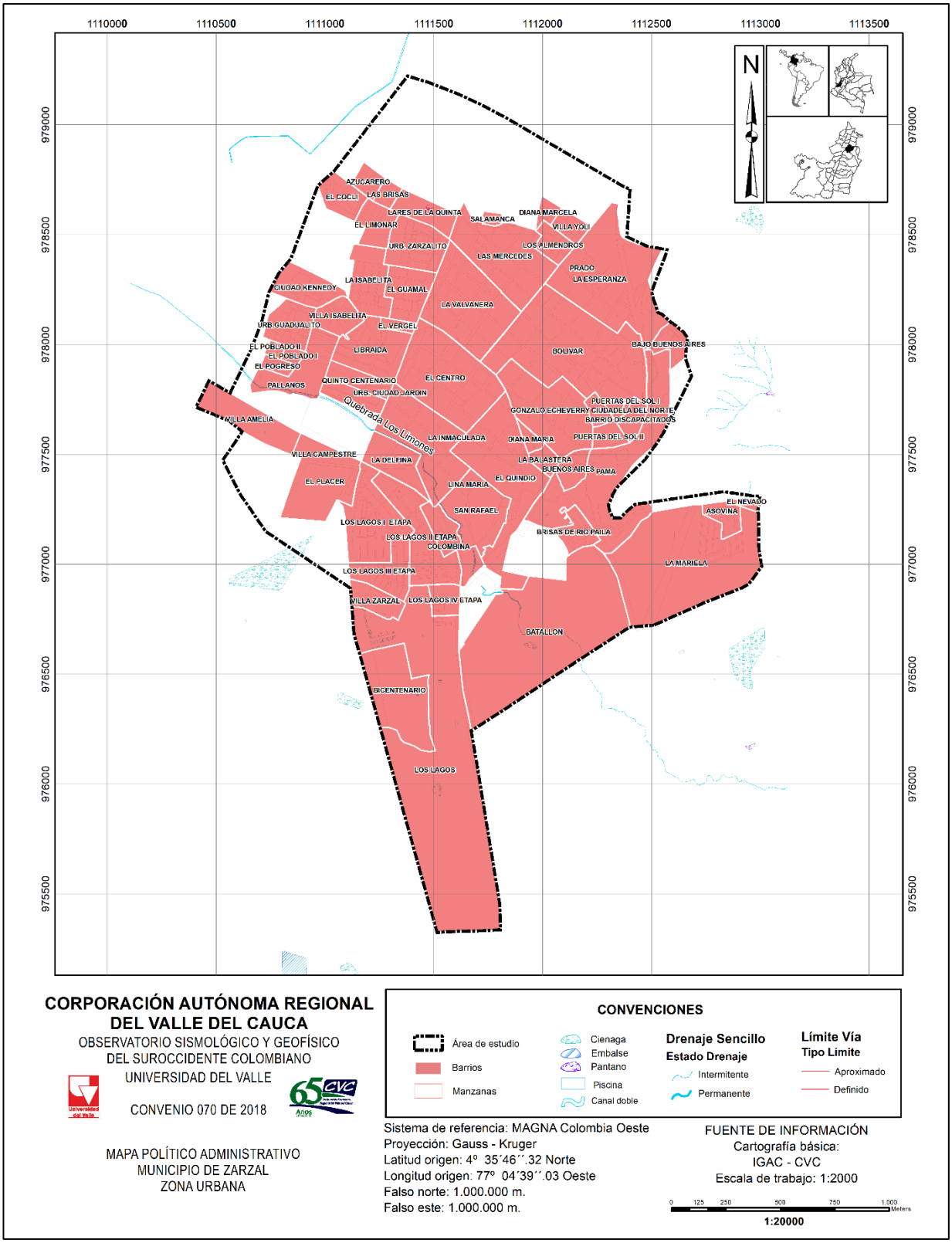


Figura 1.2. Mapa Político Administrativo, área urbana del Municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia con datos de la Secretaria de Planeación e Infraestructura Física del Municipio de Zarzal y el taller de socialización y validación (2019)

1.2.2.2. Zona Rural

De acuerdo con la información de la zona rural del municipio de Zarzal está dividida en 7 Corregimientos.

En la Tabla 1.2 se muestra el listado de los corregimientos con su respectiva área en hectáreas que corresponden a la zona rural del municipio.

Tabla 1.2. División político-administrativa de la zona rural del municipio de Zarzal

N°	CORREGIMIENTOS	ÁREA / KM^2
1	La Paila	132,67
2	Alizal	6,28
3	El Vergel	54.85
4	Guásimal	27,47
5	Limones	15,42
6	Quebrada Nueva	42,51
7	Vallejuelo	72,28

Fuente: elaboración propia con datos de la Consejo Municipal de Zarzal, PBOT, (2019)

En la Figura 1.3 se muestra espacialmente la localización de los corregimientos del municipio de Zarzal. En la cartografía suministrada por la Secretaria de Planeación e Infraestructura Física la división política administrativa de corregimientos, además de la cartografía de datos abiertos de SIGOT el corregimiento de El Alizal se encuentra fusionado con el corregimiento El Guasimal.

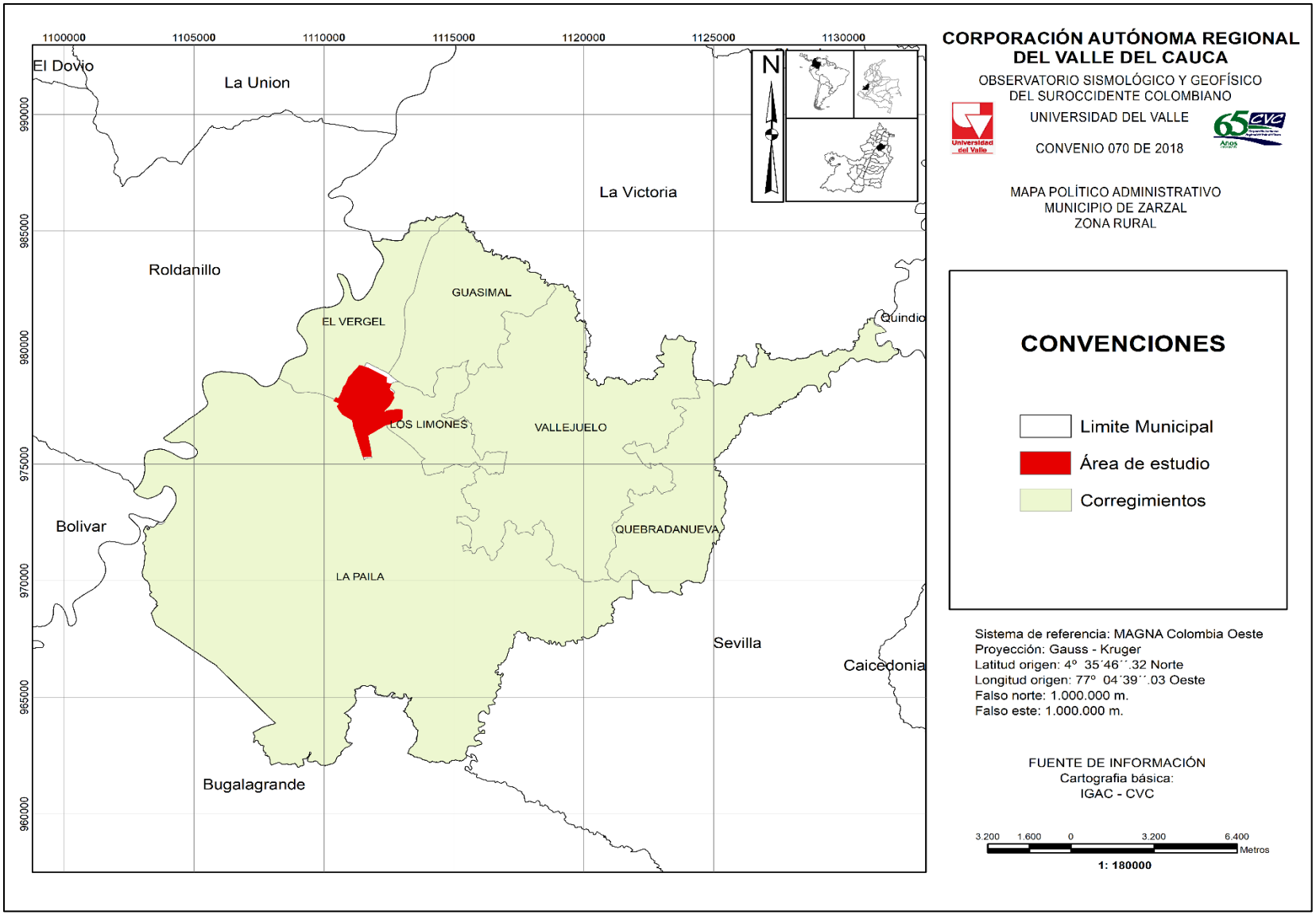


Figura 1.3. Mapa División política del área rural del municipio de Zarzal

Fuente: elaboración propia con datos de la Secretaria de Planeación e Infraestructura Física, Consejo Municipal de Zarzal (2001)

1.2.3. Demografía

El municipio de Zarzal de acuerdo con los datos del Censo de 2005 la población es de 40.983 habitantes con una población urbana de 28.799, siendo el 70,2 % y 12.184 es población rural lo que equivale al 29,8 %. En cuanto a la proyección poblacional para el año 2019 la población de Zarzal seria de 47.052 habitantes de los cuales 33.297 es población urbana, siendo el 70,8 % y 13.755 es una rural es el 29,2 % (Tabla 1.3 y Figura 1.4, 1.5, 1.7).

La densidad de población de la zona urbana es de 76,9 habitantes/ha y en la zona rural es de 0,35 habitantes/ha (Figura 1.6). La densidad de población según la proyección poblacional para el año 2019, la zona urbana es de 90,2 habitantes/ha, de la zona rural es de 0,39 habitantes/ha (Figura 1.8).

Tabla 1.3. Información estadística de población, densidad de población y distribución porcentual de población urbana y rural del Censo 2005 y proyección poblacional para el año 2019.

DESCIPCIÓN	2005			2019		
	N° DE POBLACIÓN	DENSIDAD DE POBLACIÓN Habitante / ha	% DE POBLACIÓN	N° DE POBLACIÓN	DENSIDAD DE POBLACIÓN Habitante / ha	% DE POBLACIÓN
Urbana	28.799	76,9	70,3	33.297	90,2	7,8
Rural	12.184	0,33	29,7	13.755	0,39	29,2
Total	**40.983**		**100**	**47.052**	-	-

Fuente: elaboración propia con proyecciones poblacionales para el año 2019 DANE Censo (2005).

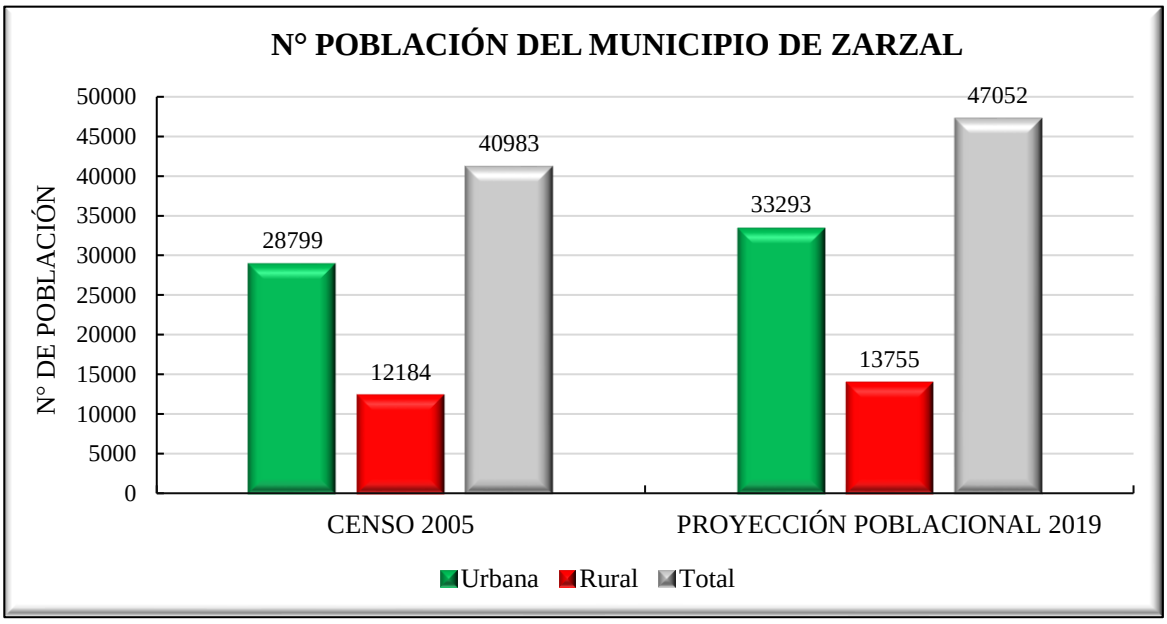


Figura 1.4. Número de población urbana, rural y total del Censo del año 2005 y proyección poblacional del año 2019 del municipio de Zarzal.
Fuente: elaboración propia con proyecciones poblacionales para el año 2019 DANE Censo (2005).

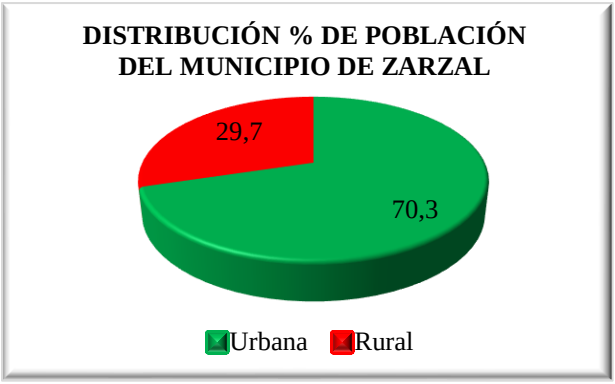


Figura 1.5. Distribución de Población del Municipio de Zarzal

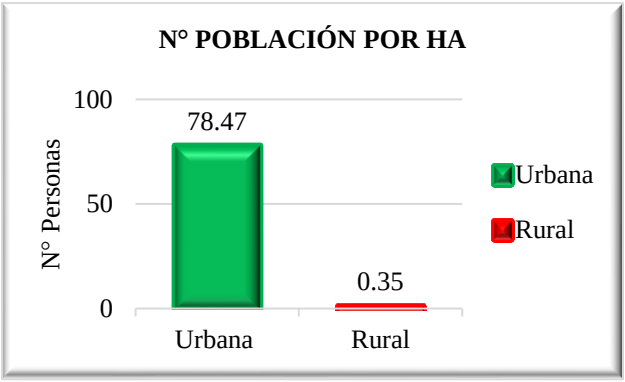


Figura 1.6. Densidad de Población del Municipio de Zarzal.

Fuente: elaboración propia con datos de DANE Censo (2005).

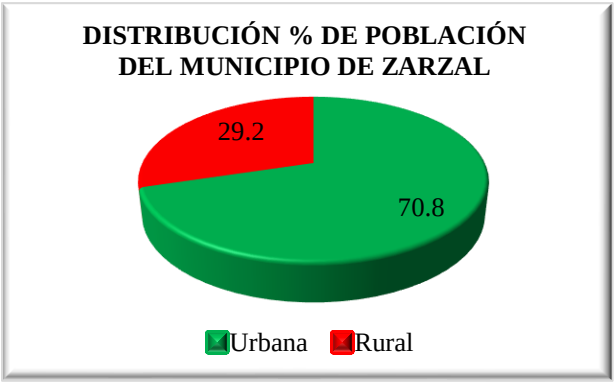


Figura 1.7. Distribución de Población del Municipio de Zarzal

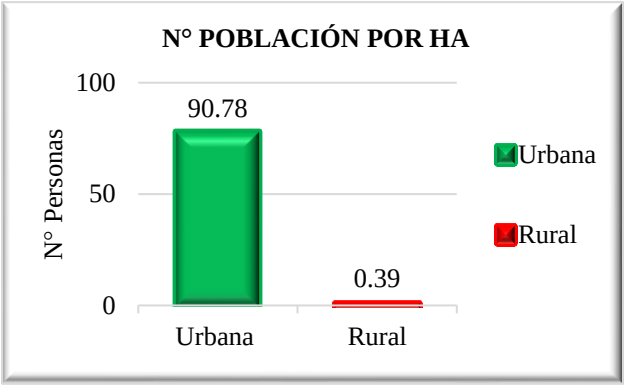


Figura 1.8. Densidad de Población del Municipio de Zarzal.

Fuente: elaboración propia con proyecciones poblacionales para el año 2019 DANE Censo (2005).

La información que se presenta a continuación es extraída del documento soporte del Plan Básico de Ordenamiento Territorial PBOT del año 2001 y que fue adoptado por el Acuerdo N°019 de 2001 (Consejo Municipal de Zarzal, 2001)

1.2.4. Estructura Productiva

La economía del municipio está representada en tres grandes sectores:

- **Agroindustria**

El municipio cuenta con el ingenio azucarero Riopaila Castilla y la fábrica de dulces Colombina S.A,, localizados en el Corregimiento La Paila, estas dos fábricas, además de su importancia en el país son fundamentales para el desarrollo económico del municipio, ya que en ellas trabajan un gran porcentaje de personas que habitan en el municipio. Representada por el cultivo e industrialización de la caña de azúcar (Ingenio Riopaila, Fábrica de Dulces Colombina y la Fábrica de Dulces Bombolandia y Derby).

- **Ganadería y Agricultura**

La Ganadería tienen su zona fuerte en la parte "montañosa" del Municipio, con algunas grandes haciendas ganaderas en la parte plana. La práctica ganadera ha tenido un comportamiento que va en aumento existen 20.000 hectáreas para la producción de ganado, y quince hatos lecheros (Consejo Municipal de Zarzal, 2001).

La agricultura ha perdido su fuerte influencia, aunque se destacan aún algunos cultivos de soya, millo, algodón, maíz y otros cultivos de pancoger en la zona nor-oriental, predominando principalmente el cultivo de la Caña de Azúcar ocupando gran extensión dentro del municipio.

- **Comercialización**

Por ser Zarzal un crucero geográfico que comunica a varios centros productivos y poblacionales, la actividad comercial tiene dinámica propia, elevada y, desde hace varios años, ascendente. Hay servicios los cuales le generan al Municipio problemas socioeconómicos, desorden e inseguridad.

1.2.5. Climatología

El municipio de Zarzal tiene una temperatura promedio de 28°C con clima cálido y templado y una precipitación anual de 1.190 mm[1].

- Tierras Cálidas: conformada principalmente por terreno plano y colinas (262 Km^2, con clima cálido) perteneciente al valle geográfico del río Cauca entre los 870 m.s.n.m y los 916 m.s.n.m.
- Tierras Templadas: al Norte y al Oriente se observan algunos accidentes orográficos de poca elevación que hacen parte del piedemonte (93 Km2, clima medio) de la vertiente occidental de la Cordillera Central. Entre estas elevaciones se desatacan el cerro de Pan de Azúcar, los altos de La Aurora y Montenegro, la sierra del Salado y la sierra de Zarzal, el cerro de Care Perro y la loma de La Cruz (Consejo Municipal de Zarzal, 2001).

1.2.6. Hidrología

La red hidrográfica del municipio de Zarzal, el río Cauca marca el límite occidental del municipio. A él confluyen las aguas del río La Paila, La Vieja, las quebradas Las Cañas y La Honda, de los zanjones Murillo, Las Lajas y Limones, este último atraviesa la cabecera municipal (Consejo Municipal de Zarzal - PBOT, 2001).

En la Figura 1.9 se presenta el mapa de hidrología de la zona urbana del municipio de Zarzal, en el que se identifica La Quebrada o Zanjón Limones, esta desciende del flanco occidental de la cordillera central sentido suroriente- noroccidente para desembocar en el río Cauca.

[1] https://es.climate-data.org/america-del-sur/colombia/valle-del-cauca/zarzal-34306/

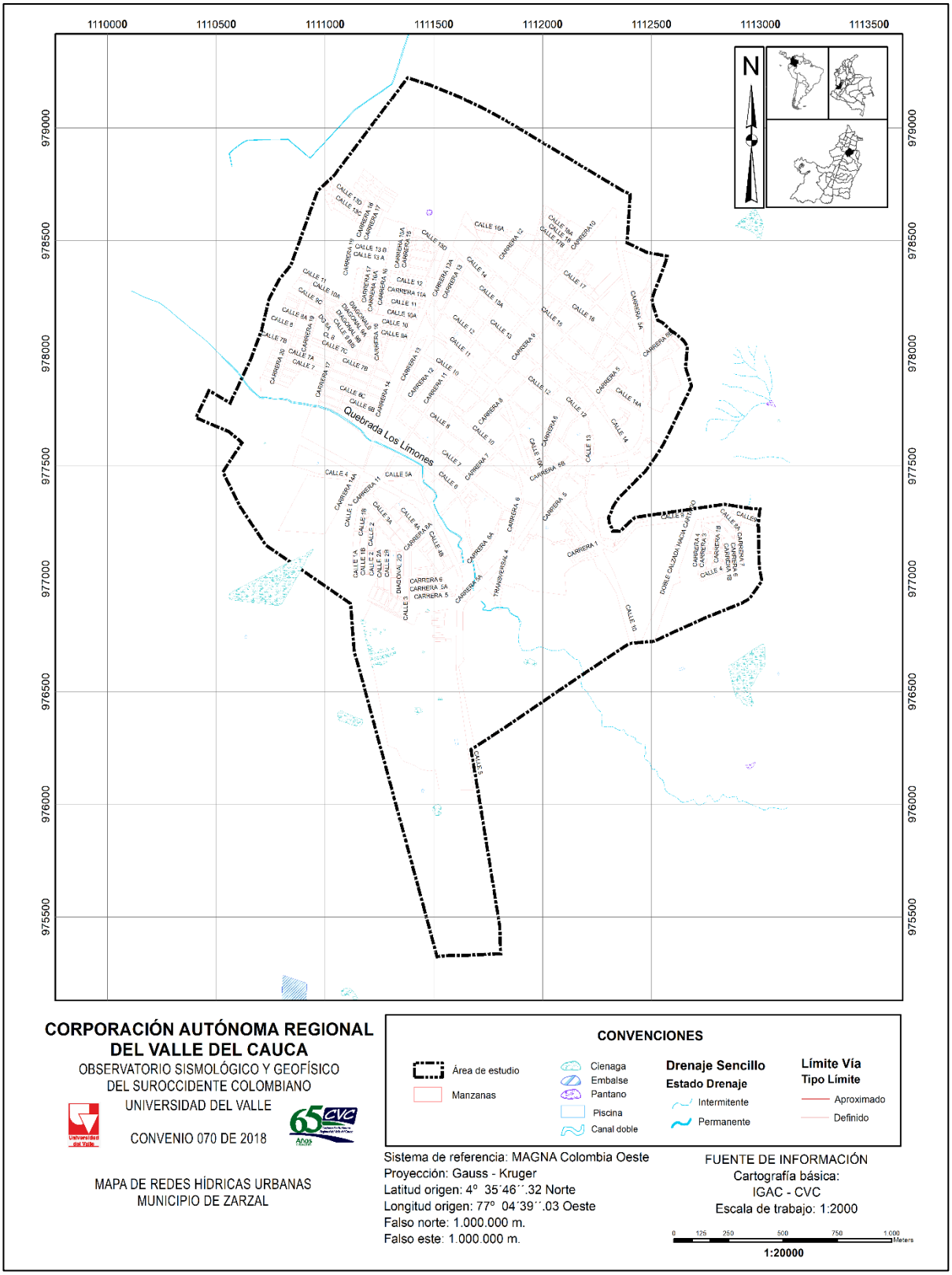


Figura 1.9. Mapa de hidrología de la zona urbana del Municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia con datos CVC (2014)

1.3. CONTEXTO FISIOGRÁFICO DEL MUNICIPIO

El contexto fisiográfico en este apartado describe la fisiografía y el relieve, así como la geología y la morfología del municipio

1.3.1. Fisiografía y Relieve

El municipio comprende el área del valle geográfico del río Cauca y el flanco occidental de la Cordillera Central y en la que forma parte de la vertiente del rio Cauca. el cual se clasifica en:

- Zona Plana, en el valle aluvial del río Cauca, el relieve es plano el cual está conformado por la llanura de inundación donde es notable la ausencia de terrazas aluviales
- Zona de Piedemonte de la Cordillera Central parte occidental en la que se destaca la loma de La Cruz
- Zona de Montaña. Está conformado por laderas estructurales, las elevaciones se desatacan son el cerro de Pan de Azúcar, los altos de La Aurora y Montenegro la sierra del Salado y la sierra de Zarzal y el cerro de Care Perro

1.3.2. Geología y Morfología

En el análisis de la geología y morfología de En este apartado se presenta.

1.3.2.1. Geología Regional

Para el presente estudio se utilizó como base la plancha geológica 242 Zarzal, Valle del Cauca (INGEOMINAS, 1995) a escala 1:100.000, adicionalmente se tomó como referente la nomenclatura usada en esta plancha, con el fin de unificar criterios en la denominación de las formaciones geológicas ya establecidos por el Servicio Geológico Colombiano y que ha sido utilizada en este tipo de trabajos a nivel nacional.

2.

De acuerdo con la plancha geológica 242 Zarzal la geología reportada para este municipio corresponde principalmente a rocas terciarias sedimentarias Tpz, TMpo y TMp y conos antiguos (QPca), además de aluviones (Qal y terrazas (Qta) (SGC, 1992) (Figura 1.10).

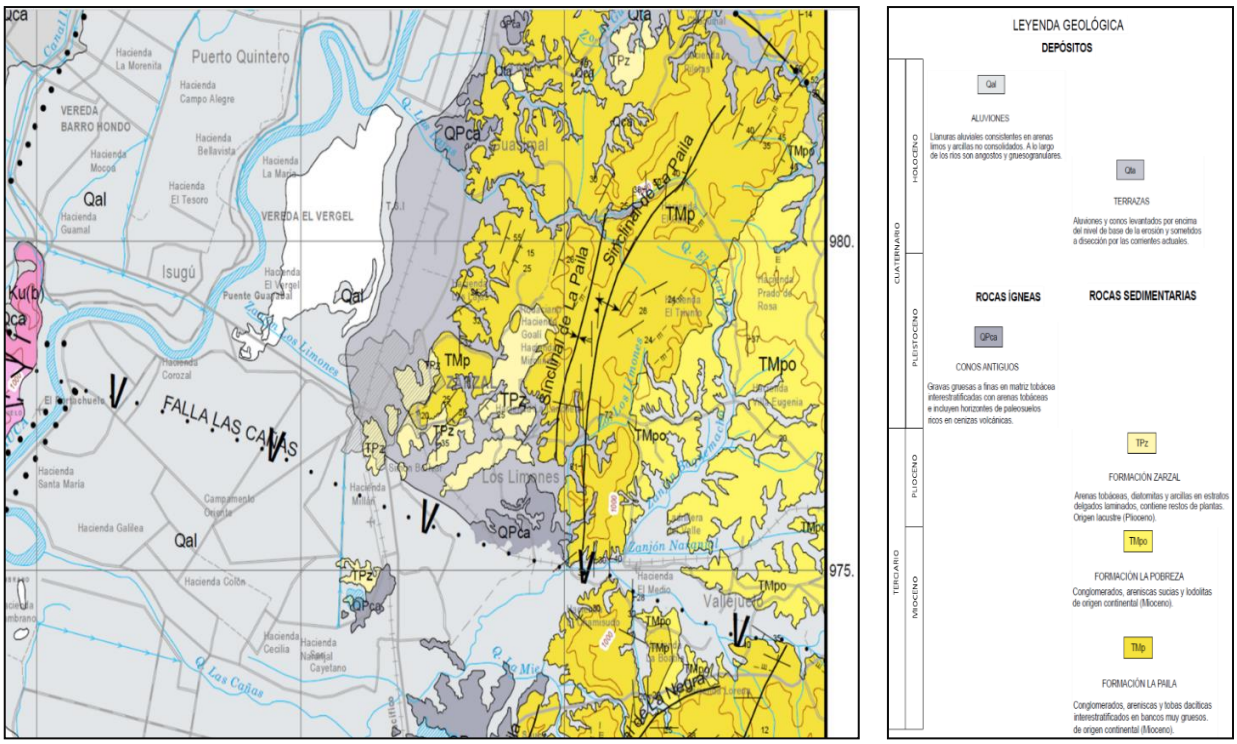


Figura *1.10.* Mapa Geológico Plancha 242 - Zarzal, Valle del Cauca – Colombia. 1992 INGEOMINAS, Transformada a datum MAGNA SIRGAS 2013.
Fuente: SGC, (INGEOMINAS, 1992).

A continuación, se describen los conjuntos litológicos que afloran en el municipio de Zarzal y que han tenido influencia en el desarrollo de depósitos cuaternarios como abanicos, coluviones, terrazas y aluviones.

- *Formación La Paila (TMp)*

Según Van Der Hammen (1958), esta unidad que fue propuesta en 1955, en un informe inédito de Keizer, Nelson y Van Der Hammen; está formada por rocas acumuladas por procesos sedimentario-volcánicos y consiste principalmente en intercalaciones de conglomerados y tobas dacíticas. Nelson (1957) dividió la Formación en una unidad inferior correspondiente a aproximadamente 200 m de tobas dacíticas seguidas por una secuencia clástica, esencialmente conglomerática. El espesor de esta última varía de 400 a 600 m. Los horizontes de origen clástico de la Formación La Paila varían de conglomerados polimícticos de cantos a areniscas grueso granulares a conglomeráticas que se presentan en bancos de espesor muy grueso a grueso de estratificación plana, no paralela, y continua. Interestratificados con conglomerados y tobas dacíticas ocurren también areniscas de grano grueso a medio, cuya composición (que incluye granos de hornblenda, biotita, magnetita, plagioclasa) sugiere una contribución volcanoclástica importante. En menor abundancia se presentan lodolitas arenosas en bancos de espesor grueso a muy grueso de estratificación plana, paralela, continua. La parte inferior de la Formación La Paila es, en parte, equivalente a la Formación Cartago definida por Schwinn (1969) en la Carretera Cartago-Alcalá. Su edad según datos palinológicos es Mioceno, (Van der Hammen 1958; Schwinn 1969; McCourt 1984) sugiere, sin embargo, que esta unidad puede ser más antigua, probablemente Oligocena y correlacionable, al menos en parte, con el Grupo Cauca y la Formación Honda.

- *Formación La Pobreza (TMpo)*

Aflora en el área de la Plancha en relación claramente discordante sobre la Formación La Paila y consiste en una serie de areniscas conglomeráticas sucias, conglomerados y wacas mal cementadas, de colores amarillo ocre a naranja. Esta secuencia se presenta deformada lo que permite postular que su edad de formación es anterior al último evento orogénico principal que levanto la cordillera de los Andes.

Bajo el nombre de la Formación la Pobreza agruparon McCourt et al. (1985) una secuencia conglomerática que descansa discordantemente sobre la Formación La Cinta de Piedra, que a su turno subyace la Formación La Paila. El criterio principal que estos autores utilizaron en su definición fue la presencia de un conglomerado basal que incluye cantos muy gruesos de la serie de pórfidos denominados tipo Albania. Durante la cartografía de la Plancha 242 no se observó este conglomerado, pero se considera que la secuencia descrita se puede correlacionar con la Formación La Pobreza con base en las relaciones discordantes que presenta con las rocas infrayacentes. Se considera que la sección reconocida por McCourt et al (1985a) representa una facies proximal, más orientada, del depósito y que en el sitio de la Plancha esta misma unidad – en facies distales más finogranulares – se depositó sobre las unidades allí, en este caso la Formación la Paila (*Reseña Mapa Geológico Plancha 242 - Zarzal, Valle del Cauca – Colombia*. 1995 INGEOMINAS).

Keith et al. (opus cit.) consideran que la Formación la Pobreza de McCourt (1984b) debe ser incluida como una misma unidad dentro de la Formación La Paila (Sensu Nelson, 1957) según los siguientes argumentos:

- Ambas unidades están en contacto basal erosivo con la Formación Amaime.
- Ambas formaciones fueron depositadas en abanicos aluviales húmedos.
- Ambas formaciones despliegan litologías similares

Con relación a esto último, Keith et al. (opus cit.) encuentran que los clastos de andesitas (tipo diques de la Albania), que aparentemente caracterizan los conglomerados de Formación la Pobreza, también están presentes en los de la Formación La Paila. La Formación La Paila al techo está cubierta discordantemente por depósitos recientes y sedimentitas Plio-Pleistocenas de la Formación Zarzal (*Estratigrafía de la Formación La Paila, un potencial Reservorio de Hidrocarburos en la Cuenca Cauca-Patía*, ANH, 2008).

Nivia (2001) mantiene las divisiones propuestas por McCourt (1984) para el Cenozoico del Valle del Cauca indicando que la Formación la Pobreza se encuentra descansando discordantemente sobre la Formación Cinta de Piedra. Sin embargo, esto contradice una información previa (Nivia et al., 1992) en la que se asegura que la Formación la Pobreza se halla, en el área de la plancha 242 (Zarzal), claramente discordante sobre la Formación La Paila (*Estratigrafía de la Formación La Paila, un potencial Reservorio de Hidrocarburos en la Cuenca Cauca-Patía,* ANH, 2008).

- *Formación Zarzal (Tplz)*

Con este nombre se agrupan algunos remanentes de sedimentos poco consolidados que afloran al este de la plancha, compuesto por mezcla de material volcánico derivado de la Cordillera Central con material sedimentario transportado por los tributarios del río Cauca. La unidad en sí se compone de conglomerados y areniscas con intercalaciones de arcillolitas derivadas de cenizas

volcánicas, cuyas estructuras de rellenos de canal combinados con deposiciones finas denotan un ambiente de alta energía que desemboca en medio lacustre, ya que hay capas con diatomácea, las cuales permitieron la correlación con la Formación Zarzal (Van Der Hammen, 1958).

Geología de la Plancha 242 – Zarzal, INGEOMINAS (1992), renombran la Formación Zarzal como TPz. Se relacionan otros trabajos realizados en la Formación Zarzal:

Boussingault (1903), es el primero en describir la presencia de depósitos silíceos y estratos de arenita y arcillolita arenosa en el área de Cartago.

Royo y Gómez (1949), realiza el estudio paleontológico de una roca conocida como "Tierra de Infusorios" procedente del departamento del Valle, muy liviana y con una impresión de una hoja de Angiosperma. Le dan una edad a la roca del Pleistoceno, de acuerdo con la correlación de otras diatomeas colombianas, en la que están los mismos componentes y la define como paleoambiente lacustre.

José Sandoval (1953), con fines mineros, realiza estudios topográficos y geológicos entre Cartago, Obando, La Victoria y Zarzal para intentar conocer la forma, potencia y calidad de los "Infusorios de Zarzal".

Van der Hammen (1958), propone el nombre de Formación Zarzal, el cual es dado a estos depósitos de diatomeas, arcillas y arenas volcánicas.

Zuñiga et al. (1993), realizan una exploración geofísica de bentonitas y diatomeas en el corregimiento de Vallejuelo, municipio de Zarzal. A través del método geoeléctrico (Tipo Schulumberger) intentaron caracterizar los recursos naturales de la zona.

Cardona y Ortiz (1994), definen formalmente la Formación Pereira y muestran las diferencias con respecto a la Formación Zarzal. La Formación Armenia es redefinida por estos autores como Formación Pereira y ésta la dividen en Miembro Inferior y Miembro Superior, en donde el Miembro Inferior esta interdigitado con la Formación Zarzal.

Ellos proponen tres asociaciones de facies que indican tres ambientes diferentes, mostrando que al sur de la unidad domina un ambiente lacustre y al norte un volcanosedimentario, interdigitándose con la Formación Pereira.

Cooper et al. (1995), indica que la Formación zarzal es posterior a la deposición sincinemática de Formación La Paila durante la compresión Pliocena Andina.

INGEOMINAS (2001), otorga a la Formación Zarzal el código Tpz, expuesta en el extremo norte del departamento del Valle, entre las Cordilleras Central y Occidental, en los municipios de Zarzal, La Victoria, Obando y Cartago. Reporta que la Formación reposa discordantemente sobre la Formación La Paila. Esta unidad representa las rocas más antiguas no deformadas de la Cordillera Central, además asignan una edad Pliocena (Van Der Hammen, 1958; De Porta, 1974).

Suter et al. (2005), proponen un modelo de depositación de la Formación Zarzal y su relación estratigráfica con los flujos en masa proveniente de la Cordillera Central. Mencionan que esta

unidad está asociada con la fase tectónica distensiva más tardía de la Cordillera Central, los cuales forman abanicos coalescentes. Le asignan una edad menor a 1 Ma de acuerdo con las investigaciones palinológicas preliminares sobre polen del género *Alnus*.

Neuwerth et al. (2006), reafirma tres ambientes de depósito: Lacustre, fluvial y fluvio – volcánico. Su atención se centra en el estudio de estructuras de deformación en sedimentos blandos que son encontradas en la Formación Zarzal, principalmente en arenitas finas a medias y lodolitas. Estructuras tales como: Estructuras de carga, estructuras de escape de agua, intrusiones en sedimentos blandos, fallas sinsedimentarias, laminación convoluta, láminas disturbadas y slumps. Suter et al. (2008), proponen un modelo sedimentario para la Formación Zarzal y dan evidencia de actividad tectónica superficial extensional en curso.

Jaramillo (2015), realiza un estudio micropaleontológico de las diatomeas fósiles encontradas en los estratos de diatomita pertenecientes a la Formación Zarzal, determinando implicaciones paleoecológicas y paleolimnólogicas.

- *Depósitos*

Se incluyen como depósitos todas aquellas acumulaciones de materiales consistentes en componentes sedimentarios o volcano-sedimentarios mal cementados que no presentan evidencias de haber sufrido un proceso de diagénesis. Se incluyen materiales cuya edad se cree sea pliocena o más joven y que se extienden sin diferenciación sobre toda el área de la Plancha 242, tanto sobre las cordilleras como sobre el valle aluvial del río Cauca (Nivia et al., 1995).

- *Conos antiguos (QPca)*

Suprayaciendo discordantemente las rocas de la Formación Zarzal, se presentan localmente esparcidos a lo largo de las estribaciones de la Cordillera central, depósitos de gravas de extensión limitada. Estos depósitos se encuentran por encima del nivel del valle aluvial y están siendo sometidos a erosión. Al sur de la plancha en la cercanía del municipio de Andalucía están asociados a penillanuras o a llanuras aluviales levantadas relativamente, que presentan asociaciones de cono aluviales que tienen ápices hacia los cañones de algunos de los principales ríos que drenan la cordillera. Estas llanuras documentan claramente un evento de levantamiento reciente a los bloques de corteza que limitan el valle aluvial del río Cauca.

- *Terrazas – Qta, conos – Qca y aluviones Qal*

Asociados a los ríos y corrientes principales, se presentan depósitos sedimentarios de materiales sueltos con amplia variación en cuanto a su composición y tamaño de grano. Una característica interesante de aquellos asociados a las rocas terciarias es que debido a que se están denudando conglomerados, los aluviones son ricos en componentes sedimentarios cuyo desgaste y redondeamiento ocurrió durante el proceso de formación de los conglomerados. Algunos de los aluviones más extensos están siendo sometidos a erosión e incluso algunos presentan aluviones confinados entre las caras de erosión. Esto implica que se ha presentado un rejuvenecimiento del ciclo de erosión, y por esta razón estos aluviones han sido separados como terrazas. La magnitud del rejuvenecimiento es, sin embargo, ligera y las diferencias de nivel entre los aluviones depositados entre estas terrazas y la altura de ellas no es muy grande. Hacia el valle aluvial del río Cauca las terrazas pasan al valle a través de una transición más, que dé un paso o escalón de terraza bien definido. (Nivia et al., 1995)

La Figura 1.11 presenta la geología del municipio de Zarzal de acuerdo con la Plancha 242 de INGEOMINAS de 1992 hoy Servicio Geológico Colombiano SGC, el cual fue transformada al sistema de referencia Magna en el año 2013.

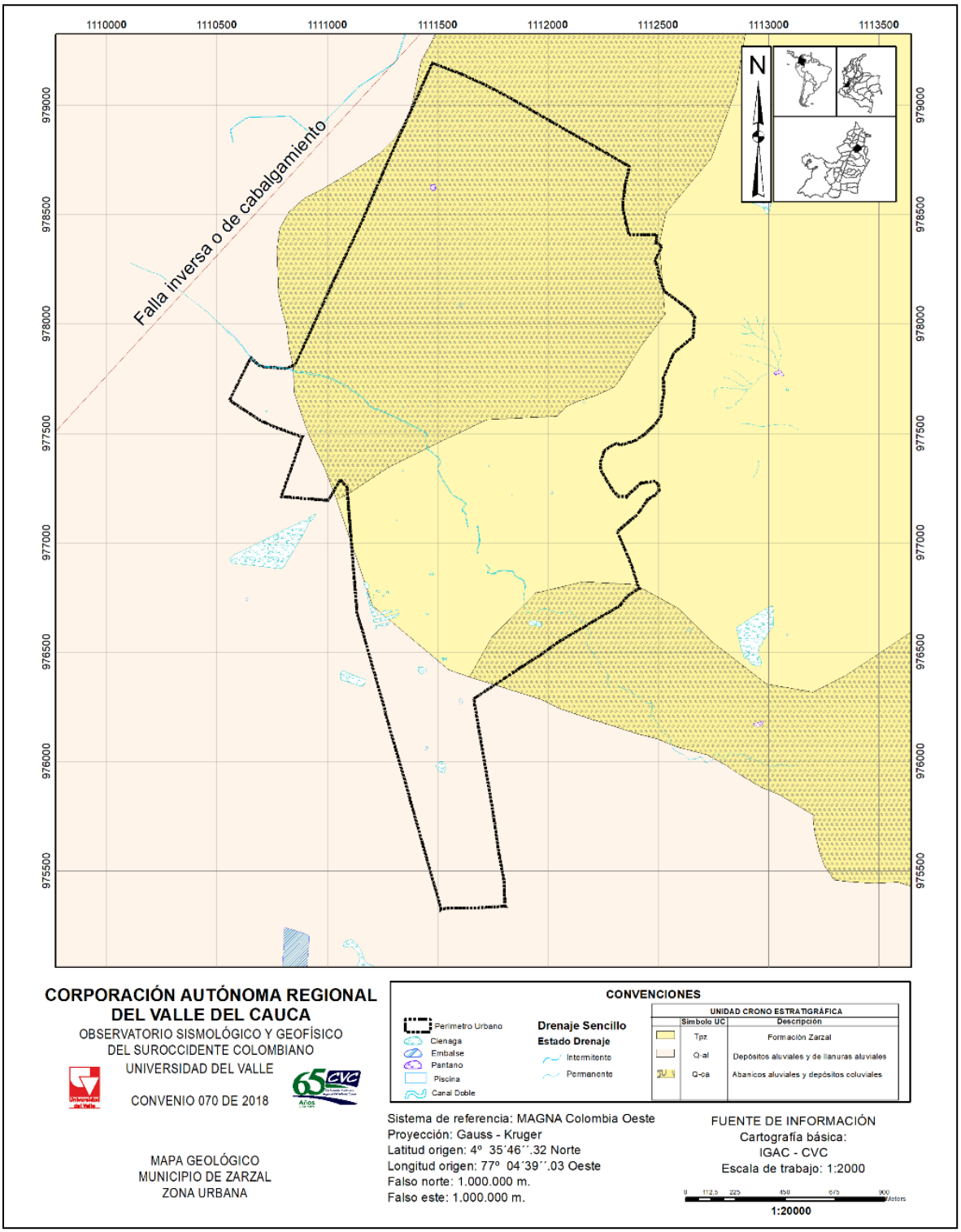


Figura 1.11. Mapa de Geología del Municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia con datos de la Plancha 242 del SGC, (1992).

2. HISTORICIDAD DE EVENTOS DE INUNDACIÓN Y MOVIMIENTO EN MASA

En el presente capítulo se realiza el análisis de eventos históricos de inundación y movimiento en masa, en un periodo comprendido entre 1980 hasta julio de 2019. El cual se llevó a cabo con el propósito de evidenciar factores de ocurrencia de eventos, frecuencia y consecuencias generando posibles escenarios de riesgo para el municipio.

En este apartado se muestran los resultados obtenidos de la búsqueda documental a partir de la consulta en bases de datos, informes técnicos, periódicos y libros. Los siguientes son los pasos contemplados para el desarrollo del estudio:

2.1. CONCEPTUALIZACIÓN DE INUNDACIÓN Y MOVIMIENTO EN MASA

Para la identificación de eventos de inundación y movimiento en masa en el municipio es pertinente hacer una contextualización de los fenómenos de estudio. A continuación, se presentan las principales definiciones que permitirán hacer una mejor lectura de los resultados de las inundaciones que han afectado la zona urbana del municipio en el periodo comprendido entre 1980 hasta Julio de 2019 consignados en el documento.

2.1.1. Inundación

Es un evento natural y recurrente que se produce en las corrientes de agua como resultado de la acumulación de agua causada por intensas lluvias o continuas sobre áreas planas o llanuras de inundación que, al sobrepasar la capacidad de retención del suelo y de los cauces se desbordan e inundan las llanuras de inundación o los terrenos aledaños a los cursos de agua.

Para el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – Universidad Nacional de Colombia, (2013), las inundaciones son parte de un proceso natural como respuesta a eventos climáticos de autorregulación del propio ciclo hidrológico.

En Colombia se presenta un régimen anual de lluvias bimodal, temporadas alternadas de bajas precipitaciones y altas precipitaciones, en estas últimas con la probabilidad de que se presenten inundaciones dejando afectaciones en la población.

2.1.1.1. Tipos de inundación

De acuerdo con el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – Universidad Nacional de Colombia, (2013) en la Metodología para la Evaluación del Riesgo en los POMCAs, definen los diferentes tipos de inundaciones según la duración y los mecanismos de generación.

2.1.1.1.1. Según la duración

- Inundaciones súbitas o de tipo torrencial.
- Inundaciones lentas o de tipo aluvial.
- Encharcamiento.

Las inundaciones pueden afectar de manera diferente a población, las estructuras y la infraestructura, debido al empuje de la corriente o a la energía liberada por la misma.

2.1.1.1.2. Según el mecanismo de generación

Las inundaciones se pueden clasificar en:

- Fluviales
- Pluviales
- Costeras
- Otras

Para el presente informe se clasificaron las inundaciones fluviales y pluviales, las cuales se describen a continuación:

Inundaciones Fluviales por desbordamientos de los ríos son causadas por los desbordamientos de los ríos y los arroyos, lo cual se atribuye, en primera instancia, a un excedente de agua, al igual que la sequía se atribuye al efecto contrario, es decir, la carencia de recursos hídricos. El aumento brusco del volumen de agua que un lecho o cauce es capaz de transportar sin desbordarse produce lo que se denomina como avenida o riada, un mayor aumento del volumen es la causa de la inundación (Aparicio, 2003).

Inundaciones Pluviales por precipitaciones in situ son las que se producen por la acumulación de agua de lluvia en un determinado lugar o área geográfica sin que ese fenómeno coincida necesariamente con el desbordamiento de un cauce fluvial. Este tipo de inundación se genera tras un régimen de precipitaciones intensas o persistentes, es decir, por la concentración de un elevado volumen de lluvia en un intervalo de tiempo muy breve o por la incidencia de una precipitación moderada y persistente durante un amplio período de tiempo. Lógicamente, es el primero de estos casos el que conlleva el mayor peligro para la población y sus bienes y el que plantea los principales inconvenientes a los servicios de coordinación e intervención para prevenir y controlar sus daños. Las precipitaciones torrenciales, que se acumulan peligrosamente en un lapso muy breve de tiempo, hacen que el tiempo de respuesta de los servicios de emergencia sea más reducido (Aparicio, 2003).

2.1.2. Movimiento en Masa

Los movimientos en masa se definen como todos aquellos movimientos que se presentan ladera abajo de una masa de roca, detritos o tierras por efectos de gravedad u otros factores detonantes o contribuyentes (Cruden, 1991).

2.1.2.1. Tipos de movimiento en masa

Existen varias clasificaciones de movimientos en masa, las cuales se basan en el mecanismo de rotura y la naturaleza de los materiales involucrados. La clasificación presente en este documento, sigue la distribución hecha por Cruden y Varnes (1996), donde enfatiza en el material involucrado y el tipo de deslizamiento, basados en la clasificación propuesta por Varnes (1978), adicionalmente los autores introducen una terminología que considera factores como actividad (estado,

distribución, estilo), tasa de movimiento y contenido de agua; además, proponen la combinación de nombres según el orden en que se presentan los movimientos (caída de rocas-flujo de detritos).

Caída: separación o desprendimiento de suelo o roca. desde una pendiente pronunciada a lo largo de una superficie en la que poco se produce desplazamiento de cizallamiento (desplazamiento). Una vez ocurrido el desprendimiento, el material desciende a través del aire, principalmente en caída libre, rebotando o rodando. El movimiento es muy rápido excepto cuando la masa desplazada ha sido socavada, la caída irá precedida de pequeños movimientos de deslizamiento o caída que separan el material desplazado de la masa no perturbada (Cruden y Varnes 1996).

Volcamiento: comprende la rotación hacia delante de una masa de roca o suelo en una ladera, alrededor de un pivote o eje, por debajo del centro de gravedad de la masa que se desplaza, se divide en tres tipos (Cruden y Varnes 1996).

- Volcamiento de bloques de roca
- Volcamientos de bloques aislados
- Volcamiento de detritos

Deslizamiento: movimiento ladero abajo de una masa de suelo o roca, predominantemente a lo largo de una superficie de ruptura o de zonas relativamente delgadas sometidas a intensos esfuerzos de corte (ibíd.). Los autores plantean que la superficie de ruptura no se desarrolla de manera simultánea a lo largo de la masa que se desplazará, sino que se inicia por agrietamientos en el terreno en la parte superior de la ladera, donde más tarde se conforma la corona del deslizamiento. Este tipo de movimiento en masa se divide en tres tipos:

- Rotacional
- Traslacional
- Compuesto

Flujo: se refiere a movimientos espacialmente continuos con superficies de corte efímeras y estrechamente espaciadas, las cuales por lo general no se preservan. La distribución de velocidades en la masa desplazada es similar a la de un líquido viscoso. Su límite inferior puede ser una superficie a lo largo de la cual se ha presentado un movimiento diferencial apreciable o una zona espesa de cizallamiento distribuido. En realidad, se da una transición de deslizamiento a flujo, dependiendo del contenido de agua, la movilidad y la evolución del movimiento.

Los flujos más rápidos corresponden a los flujos canalizados de detritos, en los cuales el material pierde bastante cohesión, admite bastante agua o encuentra laderas con alta pendientes (Cruden y Varnes 1996).

Propagación lateral: extensión o dilatación lateral de un suelo cohesivo o masa de roca blanda, combinada con subsidencia general del material fracturado suprayacente en ese material blando, sin que se forme una superficie de falla bien definida. La extensión se manifiesta como la extrusión de material propenso a licuación o flujo plástico. Se pueden presentar dos casos generales:

- Propagación lateral en bloque

- Propagación lateral por licuación

Creep: "deformación del terreno a esfuerzo constante" que involucra el material in consolidado de la parte superior de las laderas. Estos materiales se pueden relacionar con saprolitos y suelos residuales, suelos volcánicos, laderas de rocas lodosas hídricamente degradadas y, con más frecuencia, coluviones arcillosos asociados a rocas lodosas (Cruden y Varnes 1996).

Para la evaluación de la susceptibilidad y amenaza por movimiento es masa, se hace necesario conocer el tipo de deslizamiento que se presenta en una zona, pues estos determinan la velocidad y la fuerza con que pueden impactar a la población cercana¸ también se tener en cuenta el tipo de movimiento en masa para la implementación de obras de mitigación adecuadas a la hora de intervenir la zona, la respuesta de la población ante estos y los entes territoriales, pues un deslizamiento traslacional, afecta diferente que un deslizamiento tipo flujo (Cruden y Varnes 1996).

2.2. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE EVENTOS HISTÓRICOS

En la realización de la búsqueda, análisis y espacialización de información de los eventos históricos por inundación y movimientos en masa que han afectado el municipio de Zarzal en el periodo de 1980 hasta febrero de 2019, se implementaron los métodos intensivista y extensivista para la búsqueda, análisis de la información para el procesamiento y espacialización procesamiento y espacialización de los resultados se hizo uso de los sistemas de información geográfica SIG con el Software Arcgis.

2.2.1. Métodos Intensivista y Extensivista

El método intensivista hace referencia, que al tener un previo conocimiento de la ocurrencia de un evento determinado y mediante la búsqueda de diversas fuentes (publicaciones periódicas, archivo, documentos, bases de datos, catálogos) permite adquirir la mayor y mejor cantidad de información posible, con el fin de precisar datos de hora, lugar de ocurrencia, efectos, daños causados, para así establecer parámetros de medición acerca de la frecuencia de estos fenómenos. Por su parte, el método extensivista, se refiere a la búsqueda de fuentes de información que den cuenta de la ocurrencia de eventos que no aparecen registrados en bases de datos ni catálogos oficialmente conocidos. Las fuentes usadas pueden ser primarias mediante la realización de talleres o secundarias. Con estos métodos se "intensifica y extiende" el conocimiento de los eventos históricos de inundaciones y puede cambiarse o mejorarse la calidad de los datos existentes (Rodríguez de la Torres, 1993).

Una aproximación inicial consiste en datar eventos históricos asociados a las inundaciones y movimientos en masa de la zona urbana del municipio de Zarzal y recopilar dichas fuentes mediante fichas para su organización archivística y posterior análisis de la información. Una vez obtenido el registro hemerográfico se contrasta la información con otras fuentes primarias, como testimonios de la comunidad, y secundarias, como actas, oficios e informes técnicos, que se constituyen en insumo importante para conocer el proceso asociado a la atención de las emergencias en la zona afectada.

La recopilación de información se apoyó con visitas a la zona urbana de municipio, donde se estableció un reconocimiento de la problemática de afectación. Esta actividad permite obtener una multiplicidad de escenarios y versiones acerca de los eventos históricos por inundaciones y movimientos en masa que afectan a la población y así tener una primera aproximación a las zonas de afectación asociadas a estos fenómenos (Figura 2.1).

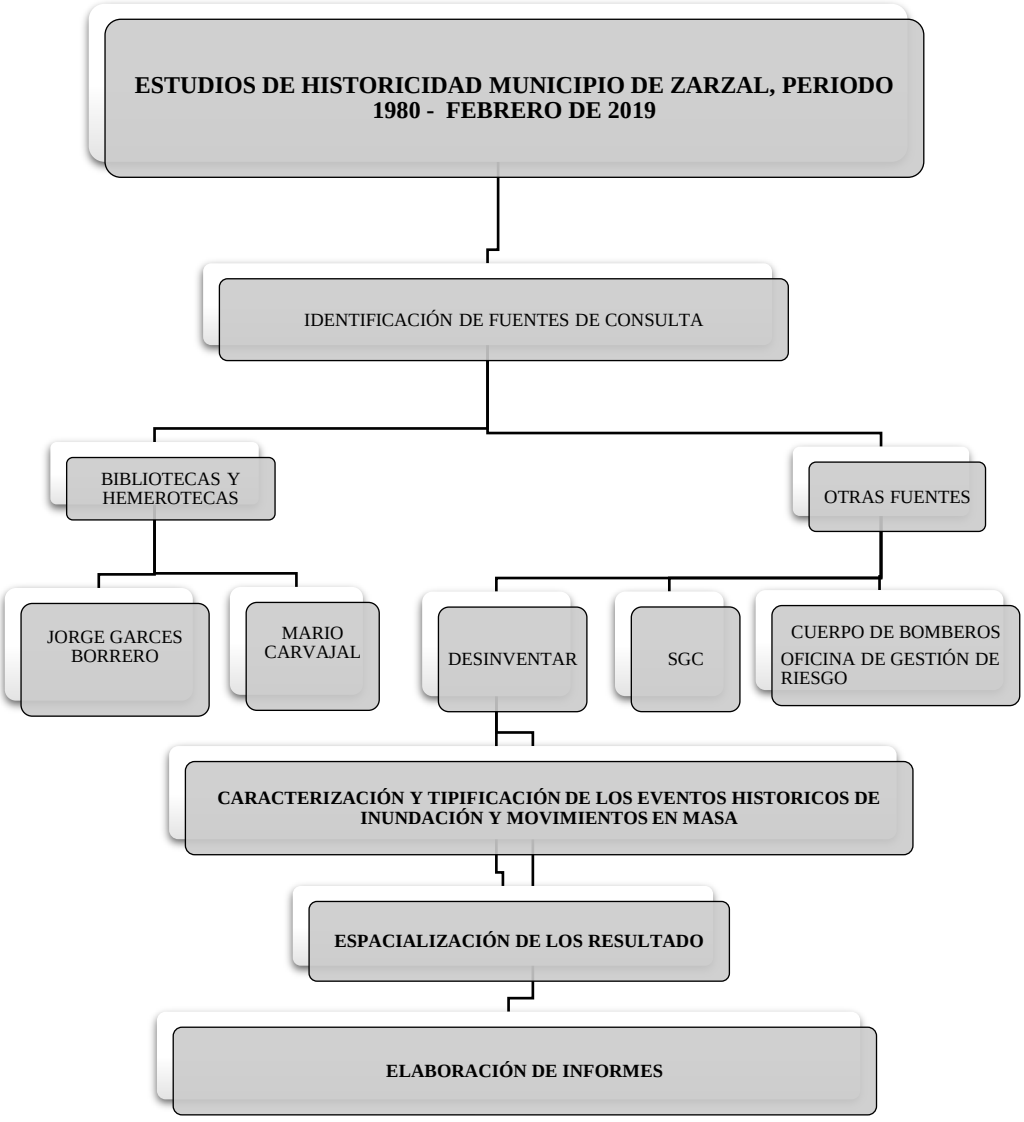


Figura 2.1. Flujograma del proceso metodológico estudios de historicidad.
Fuente: elaboración propia.

2.2.2. Espacialización de los Resultados de Historicidad

Para el municipio de Zarzal se utilizaron dos metodologías en el procesamiento de los datos encontrados en las diferentes fuentes de información, debido a que algunos reportes son de lugares puntuales, es decir direcciones y en otros se identifica el barrio sin que se asocie a un lugar

específico. Por lo tanto, se presentan dos metodologías utilizadas para la representación cartográfica de reportes de los eventos de inundación históricos (Figura 2.2).

El procedimiento se describe en el siguiente esquema:

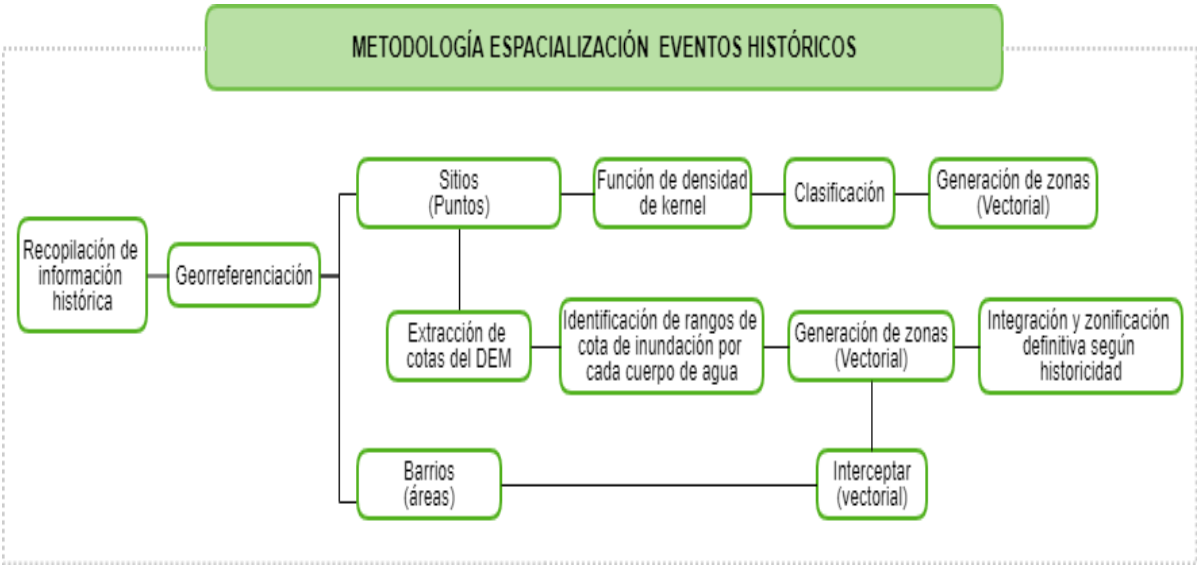


Figura 2.2. Esquema metodológico del procesamiento de los reportes
Fuente: elaboración propia.

2.2.2.1. Densidad de Kernel definición de áreas de susceptibilidad a inundación a partir de datos puntuales de historicidad.

Este procedimiento permite definir áreas de susceptibilidad histórica a inundaciones para un cuerpo de agua.

Los datos de entrada son:

- Puntos de ubicación de eventos
- Áreas de ubicación de eventos (donde no se tienen direcciones o puntos si no barrios)
- Cartografía base urbana
- Modelo de elevación digital

Paso 1. Geo-referenciación de eventos puntuales

Localización de los eventos históricos mediante dirección o coordenadas para la identificación puntual de dichos eventos.

Paso 2. Cálculo de la densidad de ocurrencia de eventos mediante la función de distribución de densidad Kernel

La herramienta Densidad Kernel calcula la densidad de las entidades en la vecindad de esas entidades. Puede calcularse para las entidades de punto y de línea.

Por lo general, esta forma de calcular un radio predeterminado evita el fenómeno de generar "anillos alrededor de puntos" que a menudo se producía con datasets de puntos dispersos (Figura 2.3)

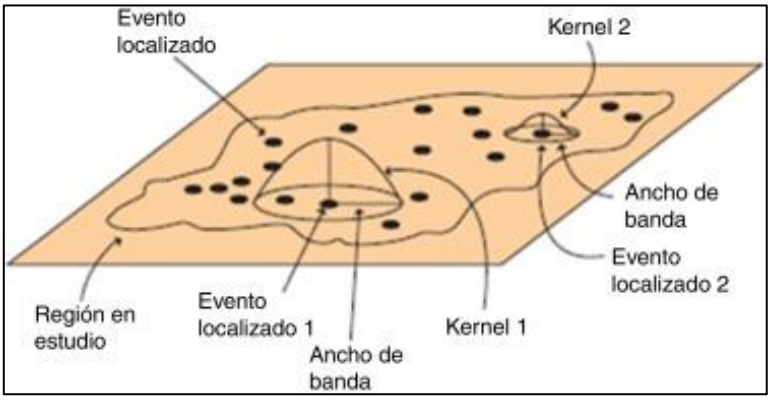


Figura 2.3. Función de densidad Kernel a diferentes anchos de banda
Fuente: elaboración propia.

Paso 3. Clasificación en densidad media, baja o cero

Una vez definida la densidad kernel para la nube de puntos, se clasifica de mayor densidad a densidad nula en los sitios que no presentan antecedentes del evento estudiado, esto da una idea inicial de las zonas susceptibles (Figura 2.4).

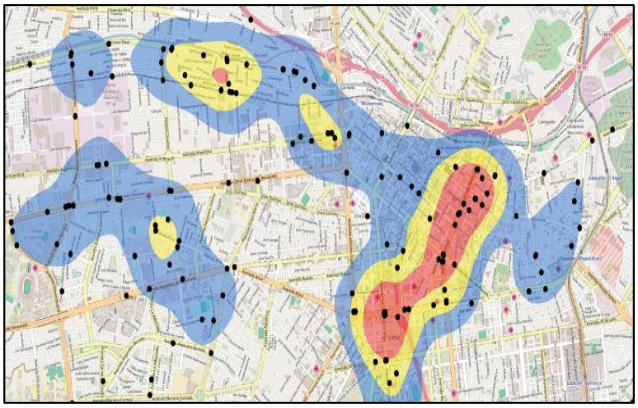


Figura 2.4. Clasificación de la densidad Kernel
Fuente: elaboración propia.

Posteriormente estas zonas preliminares se pueden convertir a polígonos para un tratamiento vectorial posterior si se desea.

2.2.3. Espacialización de información histórica no puntual

En algunos casos la información histórica no posee una localización específica, debido a que los eventos reportados no presentan una dirección puntual, sino que se hace referencia a todo barrio, un sector o una zona, con topología de área. En estos casos, con el fin de establecer un área de afectación o susceptibilidad de acuerdo con la información histórica, se define para este estudio una metodología que consiste en localizar espacialmente las áreas referidas, como barrios o

sectores y a estas áreas se les extrae los valores de altura a partir del modelo de elevación digital, con el fin de clasificar las alturas, de mayor a menor (Figura 2.5), permitiendo identificar las zonas con mayor predisposición a inundación y las de menor posibilidad de inundarse y así dar una idea del sector del barrio más susceptible a este fenómeno.

2.2.3.1. Análisis a partir de la superficie del terreno

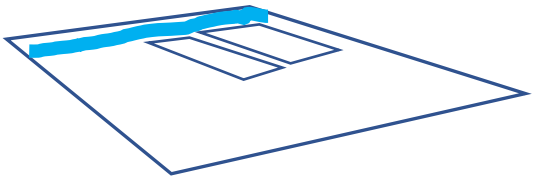
Definir el rango de cotas de inundación que se presentan para cada cuerpo de agua o en particular para cada sector si es necesario.

Obtener a partir del DTM los píxeles que se encuentren dentro del rango de cotas históricas de inundación o por debajo de la cota mínima del rango de cotas.

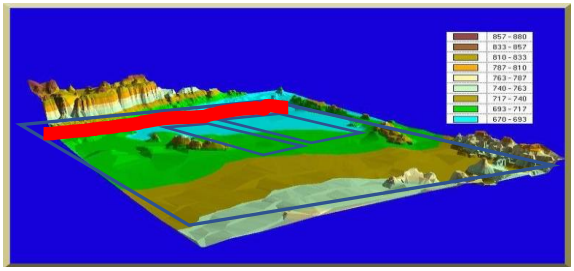
Esto dará una selección de píxeles que estén dentro de este rango de valores, este conjunto de pixeles se debe interceptar con las áreas de barrios identificados en la información histórica como inundables y como resultado se tendrán áreas de susceptibilidad de acuerdo con criterios topográficos.

En la Figura 2.5 se muestra gráficamente de manera general los pasos que se realizaron para espacializar los resultados de los reportes de los eventos por inundación en los que hace referencia a un barrio.

Paso 1. Localización del área en la cartografía



Paso 2. Intersección con el DTM



Paso 3. Final

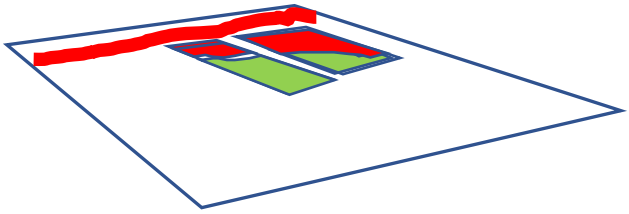


Figura 2.5. Espacialización de información histórica no puntual según curvas de nivel

Fuente: elaboración propia.

Para la espacialización de los reportes por inundación encontrados en algunos casos la información histórica no posee una localización específica, debido a que los eventos reportados que no presentan una dirección puntual, sino que se hace referencia a todo barrio, un sector o una zona. En estos casos se considera espacializar el barrio, el cual debe ser tenido en cuenta para las exploraciones geotécnicas, con el fin de establecer un área de afectación o susceptibilidad de acuerdo con la información histórica. Para este estudio se define una metodología que consiste en localizar espacialmente las áreas referidas, como barrios o sectores susceptible a este fenómeno.

De la misma manera, la información histórica encontrada y procesada se socializó y validó con funcionarios de la Secretaria de Planeación e Infraestructura Física Municipal, entidades, organismos de socorro y la comunidad que asistió al Taller donde se logró identificar y corroborar las zonas donde históricamente se han presentado afectaciones por inundaciones y movimiento en masa en el área urbana del municipio.

2.2.4. Fuentes de Información y Documentos Consultados

Las fuentes de información que se consultan en el proceso de investigación son para el conocimiento o mejoramiento de la información que se tiene del municipio. En el proceso de la búsqueda de los reportes de los eventos históricos por inundación y movimientos en masa del municipio de Zarzal fueron localizadas y catalogadas como: Archivos, Bibliográficas, Hemerográficas y Bases de Datos. A continuación, se describe y se relaciona los documentos o información adquirida de cada una de ellas:

2.2.4.1. Archivo

Como archivo se designa el lugar que tiene como finalidad la recopilación y conservación de documentos, usualmente producidos en otro lugar y como resultado de la concreción de sus respectivas actividades, que pueden ser, documentos, libros, recortes de diarios viejos, entre otros y que obviamente ostentan una importancia vital a la hora de intentar bucear en la identidad y la reconstrucción histórica de una nación; éstos pueden ser un lugar de consulta sistemática y recurrente por parte de historiadores, estudiosos de determinados aspectos y bondades del pasado usados como métodos de consulta a la hora de la realización de trabajos especiales. Así, las bibliotecas son los grandes reservorios de archivos de los últimos siglos[2].

En los archivos se localizan una serie de documentos no publicados, en ellos solo se registra la información de la entidad, se utiliza como evidencia de las acciones realizadas y eventos ocurridos. Estos documentos pueden ser actas de visitas, fotografías, fotocopias, documentos de administración, legislación, etc. Estas fuentes, si se considera que su conservación es pertinente, quedan depositadas en un archivo para su recopilación.

Dentro de esta categoría se consultaron los documentos como actas de reuniones, de visitas, certificaciones e informes del Comité Local para la Prevención y Atención de Desastres -CLOPAD, adscrito a la Secretarias de Gobierno de la Alcaldía de Zarzal, la información hasta el año 2015 fue suministrada por el Archivo General Municipal, el cual se encuentra desde el año 2012 hasta el

[2] https://www.definicionabc.com/historia/archivo.php

2015, los archivos de los reportes de la minutas de guardia del Cuerpo de Bomberos Voluntario de Zarzal, localizados en sus instalaciones desde 1980 hasta la fecha.

2.2.4.2. Bibliográficas

Las fuentes bibliográficas se refieren a documentos de publicación puntual especializada de un tema específico. En esta categoría se encuentran los libros, informes técnicos de investigaciones, etc.

Se consultaron el Plan Básico de Ordenamiento Territorial del año 2001, el Plan de Desarrollo de 2001-2003, el Plan de Desarrollo de 2016-2019 y el Plan Municipal de Gestión de Riesgo de Desastre 2016, siendo estos planes, la mejor herramienta de planificación del municipio.

2.2.4.3. Hemerográfica

La fuente hemerográfica se refiere a los documentos de publicación con cierta periodicidad como revista y periódicos, en ellos se registran los hechos y sucesos a nivel local, regional, nacional y mundial.

Algunos de los documentos hemerográficos consultados se localizan en la Hemeroteca de la Biblioteca Departamental Jorge Garcés Borrero y la Biblioteca Mario Carvajal de la Universidad del Valle en la ciudad Santiago de Cali.

En ellas se consultaron los periódicos de orden regional y nacional como el periódico El País y el Tiempo respectivamente.

2.2.4.4. Bases de Datos

En la actualidad se disponen de inventarios de desastres a escala global, regional y local. Entre estas herramientas, accesibles encontramos la Base de Datos de Eventos de Emergencia - EM-DAT- del Centro de Investigación sobre Epidemiología de Desastres -CRED, contiene datos básicos esenciales sobre la ocurrencia y los efectos de los desastres por países, también la base de datos pública Sistema de Inventario de Efectos de Desastres – DesInventar de La Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina - La RED dispone de un inventarios histórico de pérdidas a nivel de municipios y departamentos de desastres y pérdidas causadas por los eventos amenazantes, registrados por fecha, lugar y daños asociados a su ocurrencia, entre otros aspectos. A nivel nacional están la base de datos abiertos del Servicio Geológico Colombiano Sistema de Información de Movimientos en Masa - SIMMA el cual proporciona información de localización por coordenadas, registro de fecha y hora, causas y aspectos asociados al fenómeno. Por último, se encuentra la base de datos abiertos de la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres “Emergencias Naturales”, está dispone de información del registro de fecha y hora, localización, causas del fenómeno y afectaciones.

Para el trabajo se tuvo en cuenta las bases de datos regionales y locales que aportan información de afectaciones por municipio como Emergencias Naturales de la UNGRD, DesInventar y SIMMA

El resultado de la búsqueda de las fuentes de información para el evento por inundación y movimientos en masa se describe en la Tabla 2.1, en ella se registra el nombre de la fuente utilizada para su realización, autor, año, tipología de la fuente, número de páginas y su localización.

Tabla 2.1. Listado de fuentes de información

N°	NOMBRE DE LA FUENTE	AUTOR	AÑO	TIPOLOGÍA	N° PÁGINAS	LOCALIZACIÓN
1	DesInventar	Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina (LA RED)	1980-2019	Base de Datos	--	En línea http://www.desinventar.org/es/
2	El País	--	1980-2019	Periódico	--	Hemeroteca de la Biblioteca Departamental de Santiago de Cali
3	Reporte de Minutas	Cuerpo de Bomberos Voluntarios del Municipio de Zarzal	1980-2019	Tomo	--	Cuerpo de Bomberos Voluntarios del Municipio de Roldanillo.
5	Formato para monitoreo, identificación y calificación de zonas de riesgo	Oficina de Gestión del Riesgo de Desastres	2012	–	–	Archivo CMGRD Municipio de Zarzal
6	Lluvias e inundaciones	Aparicio. J.	2003	Libro		Web: http://www.iaem.es/GuiasRiesgos/Lluviaseinundaciones.pdf
7	Plan de Desarrollo Municipal	–	2016 - 2019		401	Alcaldía Municipal
8	Plan Básico de Ordenamiento Territorial. PBOT del municipio de Zarzal	–	2001	–	147	Alcaldía Municipal
9	Plan Municipal de Gestión del Riesgo		2012		108	Alcaldía Municipal
10	SIMMA	SGC	2017	Base de datos	--	http://simma.sgc.gov.co/
11	UNGRD	MIN-TIC		Base de datos		https://www.datos.gov.co/Ambiente-y-Desarrollo-Sostenible/Emergencias-Naturales/xjv9-mim9/data.

Fuente: elaboración propia

2.2. EVENTOS POR INUNDACIÓN

En esta sección se describe el resultado de la búsqueda documental realizada en las diferentes fuentes de información descritas anteriormente, considerando dos tipos de inundaciones: a) Fluviales, son eventos causados por el desbordamiento del río Cauca y la Quebrada o Canalón Limones y b) Pluviales, son producto de intensas lluvias generando taponamiento en el sistema de alcantarillado afectando edificaciones y vías. La información recolectada se constituirá en la base para la identificación y configuración de las posibles zonas de amenaza y afectación por inundación en el municipio. El resultado del estudio podrá ser incluido en la actualización del Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (PMGRD) y a su vez incorpóralos en la actualización del Plan Básico de Ordenamiento Territorial (PBOT) del municipio de Zarzal.

Para el caso de la zona urbana del municipio de Zarzal se han identificado afectaciones por inundaciones considerando, tres aspectos fundamentales: 1) Tipificación de los registros históricos; 2) cercanía a los afluentes y 3) validación con los funcionarios de la administración municipal, los cuales se describirán a continuación.

2.2.1. Reportes sobre eventos por inundación

Después de la búsqueda de información en diferentes fuentes, se encontró un total de 54 reportes por inundaciones en la zona urbana del municipio de Zarzal, que son relevantes para el periodo comprendido entre 1980 hasta abril de 2019. En la Tabla 2.2, se muestra el número de reportes de eventos de inundación y las veces que se han presentado por año, el ultimo registro se presentó el día 19 de abril de 2019 una inundación de tipo pluvial causado por intensas lluvias que colapsó el sistema de alcantarillado dejando pérdidas de enseres.

A partir de la tabla se realiza el histograma de eventos, es decir la frecuencia de su ocurrencia por años

Tabla 2.2. Número de reportes sobre eventos de inundación en la zona urbana del Municipio de Zarzal, Valle del Cauca, en el periodo comprendido 1980 hasta abril de 2019.

AÑO	NÚMERO DE NOTICIAS	AÑO	NÚMERO DE NOTICIAS	AÑO	NÚMERO DE NOTICIAS
1980	0	1994	4	2008	2
1981	0	1995	4	2009	3
1982	0	1996	4	2010	2
1983	0	1997	0	2011	1
1984	0	1998	0	2012	1
1985	0	1999	0	2013	1
1986	0	2000	2	2014	1
1987	0	2001	4	2015	0
1988	1	2002	3	2016	4
1989	2	2003	1	2017	0
1990	1	2004	1	2018	2
1991	0	2005	0	2019	1
1992	0	2006	2		
1993	4	2007	3		
SUBTOTAL	**8**	**SUBTOTAL**	**28**	**SUBTOTAL**	**18**
TOTAL = 54					

Fuente: elaboración propia

En la Figura 2.6, se muestra el histograma de distribución temporal del número de reportes de eventos por inundación. Se encontraron cincuenta y cuatro (54) eventos que se han registrado en la zona urbana del municipio de Zarzal en el periodo 1980- febrero 2019. En primer lugar, se encuentran los años de 1988, 1990, 2003, 2004, 2011, 2013 y 2014 en cada uno de ellos se registró un reporte por evento de inundación, respectivamente. Para los años de 1989, 2000, 2006, 2008, 2012 y 2018 se registraron dos eventos por año. Luego están los años 2002, 2007, 2009 y 2010 en los que se reportaron tres eventos. Por último, están los años que tuvieron cuatro eventos por año, que son los años de 1993, 1994, 1995, 1996, 2001 y 2016 respectivamente. Lo que va corrido del año 2019 el día viernes 19 de abril, se registró un evento por inundación pluvial en la zona urbana del municipio de Zarzal.

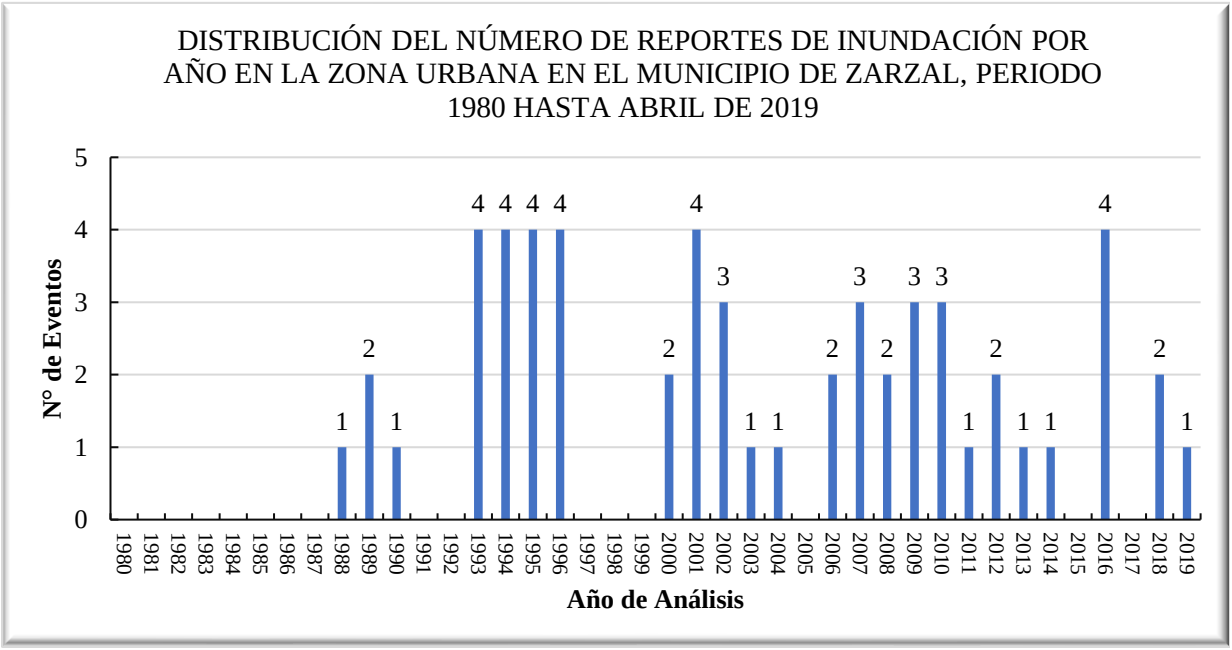


Figura 2.6. Número de reportes sobre eventos por inundación, encontrados en el periodo de 1980 hasta abril de 2019 en la zona urbana del Municipio de Zarzal, Valle del Cauca
Fuente: elaboración propia con datos recolectad o en la búsqueda de información

Es de aclarar que los reportes de las minutas de guardia del Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal y la Oficina de Gestión de Riesgo de Desastres se identificaron eventos puntuales, es decir las direcciones sin que se especificará el barrio, mientras que en otros reportes se especificaba el barrio sin especificar la zona que había sido afectada por la inundación. Por lo tanto, en los reportes que no especificaba el nombre del barrio, al interceptar los puntos de las direcciones con la información cartográfica por barrios se le asigno el nombre, logrando consolidar la información de la frecuencia por inundaciones fluviales y pluviales que han afectado los barrios de municipio desde 1980 hasta abril de 2019.

En la Figura 2.7, se muestra el número de reportes en cada uno de los barrios que han sido afectados por inundaciones en la zona urbana del municipio de Zarzal. El barrio Las Mercedes se encontraron 15 reportes de inundación, siendo el barrio que ha tenido mayores afectaciones por inundaciones, seguido por los barrios El Quindío con 13 reportes y Bolívar con 12 eventos que se han presentado.

Los barrios La Esperanza y La Valvanera se reportaron 11 inundaciones respectivamente; en los barrios Gonzalo Echeverry se han registrado 8 inundaciones, en El Placer 7 y en La Isabelita 6 reportes. En los barrios El Centro y La Inmaculada han sido afectados por 5 inundaciones. En los barrios Colombina y San Rafael se han registrado 4 inundaciones respectivamente. Los barrios con 3 reportes de inundaciones se encuentran El Guamal (el Instituto), la Urbanización Zarzalito, El Poblado II, Villa Amelia y Los Almendros. Los barrios que han afectado por 2 inundaciones son: La Urb. Ciudad Jardín, Libraida, Urb. Guadualito, El Poblado I, Los Lagos I y II etapa, Brisas de Riopaila, Pama, Puertas del Sol II y Diana María. Finalmente se encuentran con 1 reporte de inundaciones los barrios Quinto Centenario, Ciudad Kennedy, La Delfina, Ciudad del Norte, Prado y La Balastera. En la gráfica de frecuencias de eventos se encuentra El Batallón de Instrucción y Entrenamiento N° 3 "Luís Eduardo De Azuola y Rocha" puesto que no está asociado a un barrio especifico y en el trabajo de delimitación de barrios realizado en el taller de socialización y validación, el Secretario de Planeación consideró que el área se le denomine con el mismo nombre.

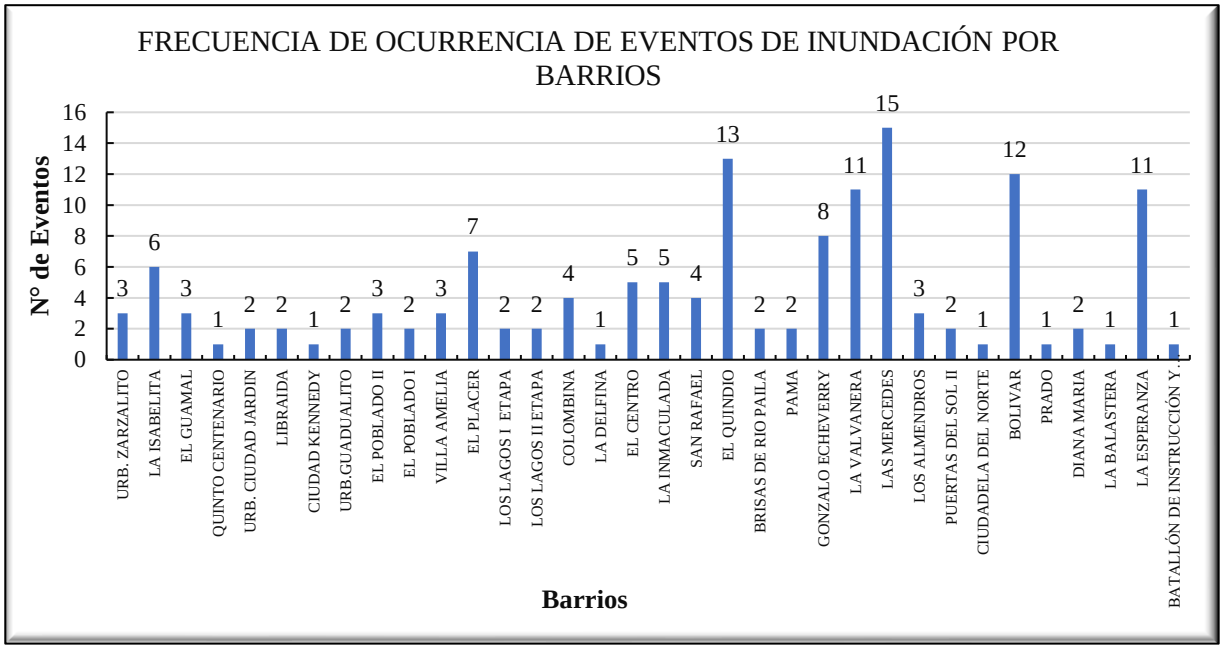


Figura 2.7. Distribución del número de eventos por inundación por barrios encontrados en el periodo de 1980 hasta abril de 2019 en la zona urbana del Municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia con datos recolectado en la búsqueda de información

En la Figura 2.8 se presenta la especialización de la frecuencia de los eventos por inundación que ha afectado al municipio en el periodo entre 1980 y abril de 2019, considerando tres rangos de frecuencia, Alto se encuentran localizados al norte los barrios La Mercedes, La Esperanza, La Valvanera, y nororiente Bolívar y al oriente El barrio Quindío con registros de afectaciones por inundaciones entre 9 y 15, seguidos de los barrios en un rango Medio entre 4 y 8 afectaciones por inundaciones El Centro e Inmaculada en la zona centro, al oriente el barrio Gonzalo Echeverry, al occidente el barrio La Isabelita y al suroccidente el barrio El Placer. Por último, está el rango Bajo, en él se encuentras los barrios que han sido afectados entre 1 y 3 inundaciones.

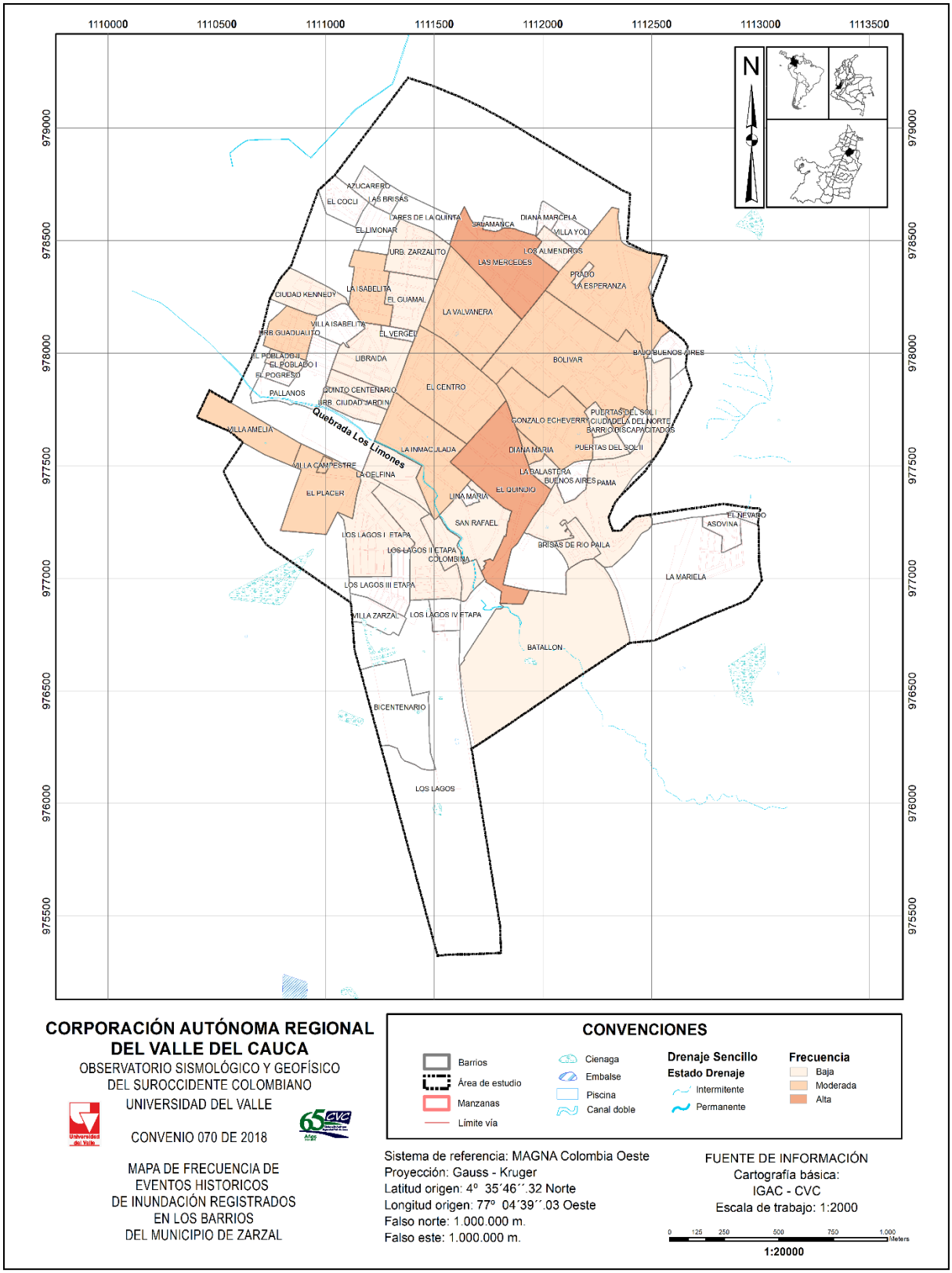


Figura 2.8. Mapa de frecuencia de eventos históricos de inundación registrados por barrios del Municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

2.2.1.1. Descripción de eventos de Inundación

A continuación, se relaciona los reportes asociados con el fenómeno de inundación de la zona de estudio. Los reportes se transcriben de sus fuentes en orden cronológico. Al final, se intentó una tipificación de cada evento respecto de ser considerado como inundación fluvial o pluvial, según la descripción dada arriba en este informe.

2.2.1.1.1. Diario el País

Inundación 02 de junio de 2007

Temporada invernal no cesa en el valle

Cerca de 500 familias han resultado afectadas por la temporada invernal en el Valle del Cauca.

Las localidades más golpeadas son Cartago, Zarzal, Trujillo, El Cerrito, Tuluá, Buga, Bolívar, Ovando, Vijes y Yumbo.

En la Ciudad de Cali entre tanto, los habitantes de zonas de Ladera como Siloé, Terrón Colorado y Meléndez se encuentran alarmados por los derrumbes y deslizamientos ocurridos en los últimos días.

Invierno deja ya 2.400 personas damnificadas

Cartago, Zarzal, Trujillo, El Cerrito, Tuluá, Buga, Bolívar, Ovando, Vijes y Yumbo, las poblaciones con mayores problemas. Se han perdido cultivos y viviendas comienzan a entregar ayudas protegerán vía Panamericana a la altura del Río La Paila […]

Un total de 2.400 (cerca de 500 familia) han resultados damnificadas por las Fuertes lluvias registradas en el valle en la primera temporada invernal del año.

De acuerdo con Juliana Henao subsecretario de Prevención y Atención de Desastres del Departamento, los fuertes aguaceros han ocasionado que los ríos se salgan de su cauce y se colapsan los sistemas de alcantarillado de las localidades, lo que ha dejado millonarias pérdidas materiales.

Por lo menos una decena de los municipios del Valle reportado emergencias Cartago, Zarzal, Trujillo, El Cerrito, Tuluá, Buga, Bolívar, Obando, Vijes y Yumbo son los que más han sufrido las consecuencias de las inundaciones […].

Las lluvias también han causado estragos en Zarzal, Obando y Trujillo, donde la fuerza de las lluvias entró a las casas ribereñas y arrasaron con cultivos y ganado menor.

“La situación para estas personas es preocupante. Mucho son pequeños cultivadores que perdieron sus sembrados y animales, por cuenta de la fuerza que tomaron los caudales de estos afluentes”, indicó Henao […].

El funcionario también explicó que ya se inició en cooperación con la firma Pisa y el Municipio de Zarzal, la adopción de medidas para evitar el desbarrancamiento de la carretera Panamericana a su paso por el rio La Paila, cuyas aguas la pueden socavar […].

[…] 3. En La Paila los habitantes de este corregimiento de Zarzal se encuentran en alerta debido al desbordamiento del río que lleva el mismo nombre y que esta semana inundó la vía Panamericana. (Ver Ficha I-35)

Inundación 04 de mayo de 2010
Situación en el valle

[…] Los municipios de Zarzal, el Águila y Bolívar ya empezaron a sufrir los trastornos del invierno pues experimentaron vendavales, pequeñas inundaciones y taponamiento de vías en zonas rurales y urbanas.

Así, los insistentes aguaceros hicieron colapsar las alcantarillas de tres barrios de Zarzal, dejando como consecuencia la inundación de nueve casas. Este episodio se suma a un vendaval al comienzo de la semana que destecho ocho viviendas de bajos recursos ubicadas por el sector de quebrada nueva vía Armenia. […] (Ver Ficha I-42)

Inundación 26 de diciembre de 2013
2500 familias afectadas por las lluvias

La temporada de lluvias de fin de año ha dejado hasta la fecha 2500 familias damnificadas en el Valle del Cauca, según el Consejo Departamental de Gestión del Riesgo.
Según Oscar Marino Badillo, director de dicha entidad, "en el Águila, Bugalagrande, Zarzal, Sevilla y Cartago se han reportado crecientes súbitos con inundaciones, lluvias y vendavales. En este último municipio el desbordamiento del río LaVieja dejó 45 familias afectadas en tres barrios, explicó. […] (Ver Ficha I-46).

Inundación 17 de noviembre de 2016
Invierno a afectado a 18 municipios del valle
Departamento estudio si decreta la calamidad pública.
Trancones por derrumbes

[…] De otra parte, en Zarzal hubo inundaciones en diferentes sectores del municipio por colapso de alcantarillado y se decretó la alerta roja por posible desbordamiento del Río La Paila. […] (Ver Ficha I-51).

2.2.1.1.2. Archivo del Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal

Inundación, 22 de abril de 1988
Emergencia

4:20 Informan de una inundación en la calle 15.

Sale la máquina #1 Motorista cabo 2 Jorge Eliécer Córdoba Lo acompañan D.t Carlos Arana D-t Jhon Jairo Muñoz, Mauricio Enríquez, Brigada Carlos Alvarez, Diego Fernando Mondragón, Bro Jardi Álvarez, Héctor Fernando Mondragó, Yeymen Manchan.

4:50 Regresa con novedad. La máquina #1 fuera de Servicio.

5:12 Sale La máquina #4 para el perímetro Urbano. Motorista Jorge Eliécer Córdoba con el personal antes nombrado (Ver Ficha I-1).

Inundación, 14 de marzo de 1989

Emergencia

Llamar un Tel 6194 avisando sobre inundación en la Calle 14 El Caballito el sr Jaime Valencia 6557946 Zarzal.

Sale la Máquina #4 motorista Hoover Castillo personal Sargento Roberto Martínez y el sargento mayor José Moreno Capitán Miguel García Disben Yenny Sargento Sánchez, Bro Fdo Ocampo.

8 AM. Entrego la guardia como novedad las maq #4 prestando servicios de inundación a la ciudadanía Zarzaleña en varios Barrios.

Recibo la guardia como novedad la anterior anotación…
9AM. Se presenta el Cuerpo de Bomberos de la Victoria Valle prestando el servicio a la ciudadanía 2 tenientes y 3 Bomberos.

9 +5AM Se presenta El Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Roldanillo con Teniente Alonso Ospina con 2 Oficiales, 5 Suboficiales, 2 Bomberos para colaborar en la […] (inundación).

9 +5AM El Tente José Omar Aponte Oficial de Servicio se presenta al cuartel y se encuentra colaborando en las inundaciones.

12+55 AM se saca del Almacén train de ½ (pedazos) orden del Oficial de servicio te. José Omar Aponte.

Se rectifica el personal de Bomberos Zarzal, al mando del personal Capitán López José, Sargento Chávez Fco, Cabo II. Zalazar José María, Cabo II Parra Ruiz, Cabo II Rodolfo, Cabo II Cruz Elena Angarita, Bomberos: Ríos Édison, Meneses Daniel.

El Municipio dará un vale (gasolina) $9.000 $4.000 Maq #4 $2.000 Maq #1 vale gasolina (La Victoria) $1.500 y CBV Roldanillo $ 1.500.

3+10 pm. Regresa la Maq # 4 sin novedad tanqueada $ 4.000=

3+15 pm. Sale la Maq #1 a seguir prestando el servicio y a tranquear la mta Dislni Howar Castillo acompaña Bombero Rosemberg Henao.

Siguen tratando el servicio: Sargento José H Moreno. Sgto Roberto Martínez, Disley Yeny Buitrago, Bomberos […] Diego Mondragón, Luis Fdo Vallecilla, aspirante López Carlos, Asp. Juan Carlos Rendon.

Se Retiro: El Bombero Fdo. Ocampo, Bombero Gonzalo, Sánchez. Capitán Miguel A García (Ver Ficha I-2).

Inundación, 03 de abril de 1989

Emergencia

4:14 pm Abisan de una inundación en la Kra 10 con calle 15. abisa Nelly Ocampo Sale La máquina #1 Motorista Dit. Rubén Castillo. Lo acompañan cabo 2. Jorge Eliécer Córdoba Dist Mauricio Enríquez, Kimi Buitrago, Bombero Rosenhber Henao, Aspi Carlos López, Nivia Libreros, Carlos Rendón, El Aspirante Carlos Rendón se retira porque tiene que trabajar. El Bombero Rosenhber Henao se retira.

El Cabo 2 Carlos Arana se presenta para hir a auxilio. El Sargento 2 Heober Segura se presenta a pagar el castigo (Ver Ficha I-3).

Inundación, 05 de febrero de 1990

Emergencia

5:10 pm. Nos informa la señora Belén Bedoya con C.C #29.989.991 de Zarzal que hay una Emergencia en el Barrio Bolívar varias casas inundar.

Sale la máquina #4 con el Siguiente personal. Motorista Hoover Castillo, Sargento José Moreno, Bomberos Bernardo Caicedo, Rover Álvarez. Distinguido Yimmy Buitrago, Jairo Danilo.

Material que yevan motobomba y 2 máquinas para chupar Cados William Erazo (Ver Ficha I-4).

Inundación, 21 de abril de 1993

Emergencia

2-5 (1:55 am) Sale La máquina 1 para Calle 10 #6-31 inundación motorista Diego Aldana Aviso el Sr Hoover Córdoba bomberos Cabo Carlos López Adrián Sarmiento Rubén Álvarez Niever Moreno Gustavo Ríos

3:30 Regresa la máquina #1 Sin novedad
3:40 Sale la máquina para la Calle 17, 9 y 10 a prestar un auxilio inundación con el mismo personal.

5 + 35 (5:35) Regresa la máquina #1 de haber prestado 2 auxilios motorista Cabo Diego Aldana (Ver Ficha I-5).

Inundación, 01 de mayo de 1993

Emergencia

4 am Llamaron de la Karrera 8 #16-27 teléfono 206827 Marle Nieto avisando sobre una inundación personal Cabo Diego Aldana y el Bombero Auxiliar Yony Fabián Gomez
Nota: no se fue por falta de personal

4:30 am Llamaron de la Agencia Postobon sobre una inundación, el sr que llamo Carlos Muñoz Tel 6015

Sale la máquina #3 para el auxilio motorista Diego Aldana Bomberos Adrián Sarmiento, Ruber Alvarez y el Bombero Auxiliar Yoni Fabián Gómez.

5+20 am Regresa la máquina #3 sin novedad

7 - 5 (6:55) Sale la máquina #3 para La Calle 17 con K 9 y 10 motorista Rosember y Henao Cabo Diego Aldana Ruber Álvarez Yoni Gómez Adrián Sarmiento aviso la señora Sara Rosa Jaramillo del Tel 20 63 37

Bombero Alveiro Franco Adrián Sarmiento
7+ 5 Sale la maquina #1 para tanquiar Gasolina motorista Jesús Garcia y el Bombero Gustavo Rios

8 + 30 El Bombero Rosember se retira del auxilio y lo reemplaza Enrique Sanchez y El Distinguido Hoover Castillo e cuartelado.

8 am 30 Recibo la guardia como novedad las anteriores y la máquina N°1 se encuentra trallendo la camioneta que se encuentra en los septores inundados por motivo de que le patina la balinera del clos.

10+30 am Informan del telefono 20 72 99 sobre una inundación en la carrera 8ª N°15-69
Sale la camioneta motorista Dist Hoover Castillo lo acompaña bombero Gustavo Ríos Bom aux Meiver Moreno y el sr Enrique Sánchez.

12 +15 m (12:15) Regresa la camioneta por más personal. Cabo 2 Jorge Cordoba, Yony Fabián Gómez (Ver Ficha I-6).

Inundación, 13 de mayo de 1993

Emergencia

12+30 (12:30) Por orden del Sñr C/dante Sale la máquina #3 a una emergencia (Barrio Bolívar) inundación. Esta el Sñr Enrique Sánchez al mando del personal Srgto I Jair Moreno, Bombero Ruber, Bombero Alvares, bombero Gustavo Rios, Bombero auxiliar Meiber Moreno, bombero Albeiro Franco, Bombero Heber Baena.
Acuartelado Dist Hoover Cordoba (Ver Ficha I-7).

Inundación, 29 de noviembre de 1993

Emergencia

7 AM Informa el señor Alberto Vallejo CC 29993562 del Telefono 207214 sobre una inundación.

7 +15 (7:15) Sale la camioneta hacia la Calle 17 # 9-71 y 9-84 al mando del personal Sargento mayor José H. Moreno acompañan motorista Dist Hover Castillo cabo II Ruber Álvarez Bros Albeiro Franco, Jairo Tabares, Rosember Henao
7+45 (7:45) Entrego la guardia con la novedad que la camioneta prestando un auxilio en la calle 17 con carrera 8 inundacion (Ver Ficha I-8).

Inundación, 13 de marzo de 1994

Emergencia

01+05 Informa la señora Marina C de la calle 14 entre carreras 13 y 14 sobre una inundación en una residencia con #13-28 sale la camioneta número 3 motorista cabo T cabo I Juan Carlos Duque, bro aux. Hugo Ortiz bro aux. Hebert Beserra (Ver Ficha I-9).

Inundación, 20 de abril de 1994

Emergencia

8+10 (8:10) Llama el sr Edilson Peña sobre una inundación en la calle 10 con carrera 6 y 7ª
8+20 AM (8:20) Sale la maq #4 hacia una inundación en la calle 10 N°6-52 con el personal al mando del Cabo II Ruber B. Álvarez acompaña bombero Ana, Bombero Albeiro Franco, Bombero auxiliar […] Córdoba, Bombero asp Pablo Mendoza, Bombero Rosemberg Henao, Acuartelado: Sargento capitán José Moreno
9 AM Se hace un llamado en 2 toques de Sirena al personal refuerzo inundación “Perímetro Urbano” las Kra 10 y Calle 17
9+31 AM (9:31) Sale la maq #4 presente con el Siguiente personal:
Capitán Miguel A García, bombero Adres Santa auxiliares Hugo Ortiz, Pablo Mendoza (aspirante), también el sargento José Moreno.
10+15 AM Se retira el bombero Albeiro Franco
11+35 AM Regresa la maq #4, del perímetro urbano junto camioneta (Ver Ficha I-10).

Inundación, 23 de mayo de 1994

Emergencia

1+40 (1:40) am Informa la señora Estela Peña del Barrio El Guamal teléfono #20 6931 sobre una inundación
1+55/a.m Sale la maquina #3 para El auxilio Motorista El Señor Enrique Sánchez al mando del personal El Cabo Alvaro Llanos Vasquez Cabo Ruber Alvarez Bomberos Gustavo Ríos Meiber Moreno
2+55 /a.m Regresa la Maquina #3 sin novedad del perímetro urbano (Ver Ficha I-11).

Inundación, 20 de junio de 1994

Emergencia

3 + 5 am. Llama informando sobre una inundación en la Kra 10 con calle 16 esquina.4+15 pm. Sale la maq #4 hacia el auxilio mla Bomberos, Rosenberg Henao al mando del personal sute Jose H Moreno, Bombero Jairo […] no se llevan las motobombas porque se encuentran dañadas.

4+30 pm. Entrega la guardia como novedad la máq #4 en el perímetro urbano. Inundación, la máq #3 está fallando x batería[...].

4+30 Regresa la máquina #4 por más personal
5 pm Sale la máquina #3 carrera 10 – 7
5+30 Regresa la máquina #4 sin novedad

6+30 Persona que asistió a la inundación entre la carrera 11 carrera 16 y Calle 17 Ruber Álbares, Cabo Albsro Henao, Bombero Rosenberg enado, Auxiliar, Albaro Cordoba, Ortiz Hugo, capitán durán García, Teniente José Moreno

6+30 Regresa la máquina #3 sindoveda (Ver Ficha I-12).

Inundación, 26 de febrero de 1995

Emergencia

5:15 a m llama la señora luz mery Reyes para avisar sobre de una inundación en la calle 15
8:20 am Sale la maquina número 4 para acudir a una inundación maquinista juan carlos duque amando del personal (cabo primero) Rubén alvarez a compaña Bombero alvaro cardona Bombero josé eider Ospina.

8:30 am Sale maquina N°3 acudir a una inundación maquinista alveiro Franco amando del personal Bombero jorge Galvíz acompaña Bombero Hugo ortiz Bombero julio césar villegas Bombero pablo mindinero.

9 40 a.m llega los Bomberos Villegas, Ortiz después de terminar el auxilio de la calle 9 “Barrio Quindío”.

10:47 am Regresa la maquina N°4 sin novedad con el siguiente personal tte josé moreno, cabo rubén álvarez, cabo juan carlos duque como maquinista, y el resto de personal en la camioneta N°3 dirección carrera 10 calle 16 (Ver Ficha I-13).

Inundación, 07 de marzo de 1995

Emergencia

4+15 Llama Doña Miryam de Caicedo- Inundación en su casa, teléfono 6001
4+20^{pm} Sale la maq N°4 al mando del personal Cap Diego aldana motorista Rosemberg Henao a una inundación en la Calle 5 con el Sgte personal, Acompaña Distinguido Hoover

Castill, Bombero Albeiro Franco, Bombero Alirio Carmona, Bombero Álvaro Hernán Cardona, Bombero Jorge Galviz, Bombero José Eider Ospina.

4 pm (5) resibo la guardia con las anteriores nobedades y el siguiente reporte inundaciones en la escuela sagrado corazón de jesús escuela efraín varela vaca (alfrente) y por la calle 10 Cra 6 /7 y en la calle 16 #12-02 (guardería)

5+5 regresa la maquina N°4 de la casa de la señora miriam de Caisedo de sacarle agua de la casa y regresan con el personal anteriormente anotado.

5+7 Sale la maquina N°4 asia la escuela sagrado corazón de jesús a acudir a una inundación maquinista Rosember enao amando del personal Cp Diego aldana acompañan Bom julio galvez Bom jose E. ospina Bom Hugo Ortiz

5+10 Sale la camioneta N°3 asia la escuela efrain varela vaca para acudir a una inundacion maquinista Hoover castillo Bom alirio carmona Bom jose albeiro franco Bom alvaro cardona 7+20 regresa la camioneta N°3 de la inundación con el personal anteriormente anotado (Ver Ficha I-14)

Inundación, 01 de abril de 1995

Emergencia

5+40 abisa al Señor Carmelo laso sobre una inundación en la calle 11 #7-18 tel 69-60 cc 29.990.218.

Sale la maquina N°4 asia la inundasion maquinista Rosenber Enao amando del personal cap Diego Aldana acompañan St josé moreno Dtg jairo tavares Bom Carlos Castillo Bom alvaro cardona, Bom jorge galvis, Bom jhon jairo Muñoz cb carlos López.

6 pm Regresa la maquina N°4 con el personal anteriormente anotado
6+1 Sale la maquina N°4 asia el motel las cabañas a atender una inundación maquinista Rosenber Enao amando del personal cap Diego Aldana acompañan St josé moreno Dit jairo tavares, cabo carlos lópez Bom carlos castillo, Bom alvaro cardona, Bom jorge galvis, Bom jhon jairo Muñoz.

Bon jose E ospina, Bom albeiro franco y personal de la brigada infantil niño álvaro moreno y el niño albeiro franco y acudieron a una inundación por el pama y por el volívar.

9+45 llama la señora adriana milena penagos para avisar que devido a la lluvia se le inundo la casa para prestarle el servicio para desinundarle la casa en la K 8 #15-69.

9+46 Sale la maquina N°4 asia la casa inundada maquinista cb1 juan carlos duque amando del personal cap Diego Aldana acompañan Bom alvaro cardona aspirante pablo mindinero Bom jorge galvez (Ver Ficha I-15).

Inundación, 30 de julio de 1995

Emergencia

5+50 avisa la señora Alva alzate cc 25.246.397 vitervo: caldas por la 17 (INUNDACIÓN)
5: 55 avisa lo hace la señora mariana mendes con cc 24.851.462 ZARZAL tel:73-20 por la Kra 13 Nº13-77.

5+56 Sale la maquina Nº 4 para acudir a la inundación maquinista Rosenver enao amando del personal capitán Diego aldana acompaña sg II Diego aldana, Dt jairo tavares, Bom jorge galvez.

6+45 llega la maquina Nº 4 del ausilio sin novedad y con el personal anteriormente anotado
6+50 Sale la maquina Nº 4 acudir a una inundación en la Calle 17 maquinista Rosenber enao amando del personal cp Diego Aldana acompañan sg II Diego aldana, Bom jorge galves, Bom álvaro cardona, Bom meiver a moreno.

8+6 Regresa la maquina Nº 4 con novedades prestado el servicio K 13 13A 50 (BARRIO VALVANERA).

8 + 10 sale la maquina Nº 4 hacia la Calle 10 #7-36 Armando Cap Aldana, mta bombero Rosenberg Hernao, Unidades Cardona Álvaro, B. Hugo Ortiz, bombero Meiber A Moreno. (inundación).

11 AM Por órden del señor alcalde municipal autorizó El Cabo I Carlos Giraldo sirva de comandante prestar emergencia inundación municipio queda a disposición institución.

11 + 10 sale la maq #4 hacia Calle 9^{C} #7-43 enseguida Distrito Educativo. mta Cabo I Carlos a Giraldo al mando Cap Aldana Diego - acompaña Bombero Álvaro H Cardona: (inundación) bombero meiber A Moreno.

11 + 20 terminan la emergencia anterior, llaman por Radio teléfono
11 + 25 AM Sale la maq # 4 hacia la Calle 10 con 6 a prestar servicio emergencia (inundación) mta Cabo I Carlos Giraldo acompaña Cap Aldana Diego, Bombero Álvaro H Cardona, Bombero meiber A Moreno.

12 + 15 ^{PM} Regresa máquina del servicio anterior
13 + 15 Sale la maq # Calle 17 #8-81 a prestar servicio inundación.
1 + 25^{PM} Sale la maq # 4 hacia la carrera 81655 motorista Cabo 1 Carlos Giraldo acompaña Bombero Meiber A Moreno, Bombero Carlos Cardona, Cap Diego Aldana.

1 + 45 ^{PM} Regresa la maq # 4 de prestar los servicios
2 + 15^{PM} Se presentó el subte Jairo Aguirre solicitando colaboración “Escuela Sagrado Corazón” Inundación.

2 + 20^{PM} Sale la maq # 4 hacia La Escuela Sagrado Corazón de Jesús mta Cabo Carlos Giraldo. Cap Diego Aldana, Subte José Moreno, Bom Álvaro H Cardona (Emergencia Inundación). Cado Carlos Lopez.

3 + 45 PM Llaman de la Kra 12 N°16-46 inundadas Sandra Miranda solicita colaboración personal de Bomberos.

4 + 36 PM Sale la máquina N°1 acudir a una inundación en la carrera 12 #16-46 con el mismo personal cap Diego Aldana Sgto Aldana, bombero Galvez cabo Giraldo (Ver Ficha I-16).

Inundación, 11 de abril de 1996

Emergencia

6:50 p.m. a la hora informa la Sra Lux Stella Cepúlveda que en la Calle 12 #12-56 se presenta una inundación, al mando del personal Cabo 1 Jorge Córdoba, Cabo II Julián Ballesteros, Distinguido Mtas Hubert Castillo, bro Rosenbert Henao, Julio Mondragón, Bernardo Caicedo, Pablo Holguín y Jorge Gálvez llama Realizada del tel 207 453 (Ver Ficha I-17).

Inundación, 03 de septiembre de 1996

Emergencia

Llama el sr Hoover García del barrio Bolívar informando de inundación por los lados de Postobon debido a unos materiales que colocaron por donde se desagua, el agua. no se asistió al auxilio por falta de personal se presentaron cap Diego Aldana Sagto Diego Aldana Sagto Jesús García y sagto Duberney García distinguido Hoover Castillo (Ver Ficha I-18).

Inundación, 04 de octubre de 1996

Emergencia

4.15. A la hora informa la sra Otilia que en la C8 frente a Postobón se produjo una inundación 4:15 Sale la maq # 4 a la cra 8 a prestar colaboracion de una inundación al mando Cap Aldana, Te jahir Moreno cabo II, duverney García bros Bernardo Caicedo, Julio Mondragón y Fdo Fandiño (Ver Ficha I-19)

Inundación, 22 de octubre de 1996

Emergencia

5:30 pm. A esta hora Informa el bro James García que en el parqueadero que queda por los lados de la Galería se encuentra inundado, al auxilio las sgtes unidades en la maq # 3 al mando cap Diego Aldana, Srgto Duberney García y los bros Julio cesar Mondragón, Albeiro Franco y distinguido Hoover Castillo.

6:05 Regresa máquina número 3 Sin novedad (Ver Ficha I-20).

Inundación, 08 de mayo de 2000

Emergencia

8:20 Se le coloca la batería a la maq #3 para ir a verificar la inundación a la Kra 10#14-44 donde la sra Lucely Agudelo del tel #2208445 conduce Hoover castillo acompaña pablo Mora.

8:45 regresa la maq #3 de inspeccionar la casa de la sra Lucely la cual no amerita mandar unidades al sitio debido aque es poca agua

10:40 Sale maq #3 al barrio bolívar para verificar posible inundación donde la sra Nora Viviana Quintero. Dir Calle 17 #9-71 conduce Nolberto Quiceno Acompañan cabo meyber moreno y Dist Carlos Alberto Rodríguez y llevan también a la var 9 fundaz, 8 cobijas 8 sabanas las saca el cabo meyber moreno. Jair A.

11:10 Regresa maq #3 como novedad a llevar motobomba al barrio Bolívar para sacarle el agua a la señora Nora Viviana y lo acompaña una unidad mas bro pablo mora.

12:30 Terminan de evacuar el agua que estaba en la casa del barrio bolívar y se dirigen por un vale ala casa del Sagto Jesús garcia para tranquear la maq #3.

12:40 Salen para el parque recreacional con la motobomba después de tanquear de combustible la maq #3 con las mismas unidades por orden del tte Fransisco Trujillo cnt encargados Jair A

14:35 nos informan de inundación puente Guayabal mi casita.

Rregresa maq #3 del parque recreacional S/N especial
14:40 Sr meyber moreno Jair Calle 17 #9-71 adultos 5 menores 5
14:40 Recibo la guardia o sr jair alvarez como novedad emergencia mi casita vía Roldanillo y las anteriores anotaciones

14:45 Sale maq # 4 para el lugar del auxilio motorista stte jesús garcía al mando del personal cp diego aldana acompañan sgto roberto martínez, stte carlos A garcía, cabo luis fandiño, dgdo carlos rodríguez, dgdo jhonier piedrahita, bombero nolberto quiceno, bro pablo a mora y bro jair alvarez.

17:05 sale maq # 3 para la carrera 8 Nº17-25 a una inundación motorista bro nolberto quiceno y lo acompañan bro luis E osorio y bro pablo mora.

18:50 Regresa maq #3 de la carrera 8 Nº17-25 propietario Luis Carlos Arredondo 4 niños 3 adultos y sin novedad especial (Ver Ficha I-21).

Inundación, 26 de septiembre de 2000

Emergencia

13:05 Informa la sra amalia osorio sobre una inundación en el b/rio gonzalo echeverry del tel 220 8314 en la calle 10 Nº7-30

13:10 Sale Maquina Nº5 para el auxilio Motorista bro armando cruz, al mando de tte. josé Moreno acompañan stte Steiner Clavijo dgdo jhonier Piedrahita y bro Jair alvarez.

13:30 informan del tel 220 6842 sobre una inundación en la Kra 11 Nº13-55 el sr daniel gutiérrez

13:35 Sale Máquina Nº4 para el auxilio después de haber llegado al mismo momento de la paila Motorista cabo Hoover Castillo al mando cp diego aldana acompañan stte alberto agudelo dgdo erika mena. bro pablo mora y bro luis E osorio (Ver Ficha I-22).

Inundación, 19 de mayo de 2001

Emergencia

16:30 Informa el sr(a) claudia giraldo del tel 220 8065 que en el barrio Pueblo Nuevo están inundados.

Sale la Máquina N°4 para el auxilio Motorista cabo Hoover Castillo al mando cap. Diego Aldana acompañan cabo jorge Gálvez, cabo héctor González, cabo luis Fandiño, cabo rafael grisales, cabo carlos rodríguez, bro angela castro, bro nolberto quiceno, bro yamile Agudelo, bro pablo Roman bro jair alvarez y bro alejandra Agudelo.

17:10 la policía de la victoria se comunicó con la estación de zarzal informo que de parte de bomberos la victoria que si los podemos apoyar en unas inundaciones que tienen.

20:00 Regresa la Máquina N°4 de la Victoria trallendo los datos de la emergencia atendidos en Zarzal Manuel Salvador adultos 5 barrio pueblo nuevo (Ver Ficha I-23).

Inundación, 19 de julio de 2001

Emergencia

Informan de Las Lajas atrás de serviteca una inundación en vivienda
sale la m/3 con el personal. motorista (Armando cruz) Hoover Castillo.

15:10 sale la m/4 autorizado x el cap Diego Aldana.
Personal que sale a la emergencia: José Moreno, Steiner Clavijo, Hoover Castillo, Carlos Rodríguez, José estupiñan, Anuar Clavijos, Bernardo Caicedo, Pablo Román Meiver moreno, Héctor González, Diego Llanos.

Regresa la m/4 y m/3 Después de terminar la emergencia (Ver Ficha I-24).

Inundación, 26 de julio de 2001

Emergencia

Me informan de la bomba terpel que en la Calle 5 N4 - 66 se encuentran inundados del teléfono 22209 14 en la calle 10 N 6 – 43.

Sale la maquina N4 para el barrio El placer calle 5 N4 - 66 a prestar El auxilio motorista stte Jesús M García al mando cap Diego Aldana acompañan cabo Jorge gálvez, Carlos a rodríguez, bro Jair alvarez, cabo Héctor González, stte Steiner Clavijo, bro Anuar Clavijo, Abraham, fandiño y Diego Aldana y en la M3 para la calle 10 N6 - 45 motorista bro armando cruz al mando tte José Moreno acompañan stte Álvaro Agudelo bro John Díaz, bro Pablo Román, cabo Rafael grisales y bro Pablo mindineros.

20:05 Regresan las máquinas N3 y N4 sin novedad y traen datos de las inundaciones:

1. Calle 5 N 4 - 66 cuatro habitantes
2. Carrera 12 con calle 5 N 4 -36 10 habitantes
3. Carrera 12 N 4-21 1 habitante
4. Calle 10 N 6 - 43 3 niños 2 adultos.
5. Calle 5 salida a Cali central de Maderas (Ver Ficha I-25).

Inundación, 30 de julio de 2001

Emergencia

Se comunican del teléfono 220 7393 la srta claudia informando de inundación en el barrio El placer.

Sale la maq # 4 conducida por el cabo Hoover Castillo con las sgtes unidades cabo Héctor González, cabo Luis h Fandiño, cabo meiber Moreno, bro Carlos Castillo Norberto quinceno Anuar Clavijo el bro de Tumaco, subte Steiner Clavijo al mando cap Diego Aldana acuartelados Sagto Jorge Córdoba y bro Armando cruz.

Regresa maq # 4 con la sgte información presentando 2 familias afectadas por las lluvias en la siguiente dirección:

1. Calle 5 # 4 - 66 el placer un adulto cinco niños María Cristina Guzmán
2. Calle 5 3 adultos 2 niños José Abelardo vazquez (Ver Ficha I-26).

Inundación, 15 de marzo de 2002

Emergencia

Informa la señorita Sara Jimena Valderrama del tel 2207550 barrio el placer cra 12 N 4-66 que se encuentran inundados (Ver Ficha I-27).

Inundación, 05 de julio de 2002

Emergencia

17:30 A esta hora nos reportan inundaciones en todo el municipio.

1. Kra 11 #15-01 Barrio las mercedes del tel. 2209020 la señora Mercedes Gaitán.
2. Calle 14 #4-07. Barrio Bolívar del tel. 220 8591 Claudia Lorena Zapata
3. la calle 14 en la casa del subteniente Alberto agudelo
4. Kra 8 #16-74 del tel 220 8765 Luz Mery Herrera
5. Calle 13 Bis la balbanera Julián Rincón
6. Kra 11 por la yamaha
7. Kra 8 #12-33 la universidad
8. Calle 15 #5-37 barrio Bolívar tel. 220 7310
9. Calle 10 #6-57 por los lados de los mormones
10. Piden ayuda por los lados de zarzalito
11. Por los lados de pueblo nuevo
12. Calle 17 #7-27 yanilet ivanana tel 220 7158

13. Kra 12 #16-46 las Mercedes
14. Calle 15 #10-50 tel 22085 29 sandra marcela
15. Kra 11 #15-03 Uriel Antonio Gonzalez tel 2207075.

En la maqi #4
tte José Moreno
Cabo Hoover Castillo
bro Luis E Osorio
cabo Luis h Fandiño

Maq 5
Dist James García
cabo Rafael Grisales
bro hernán peña

Maqi #3
tte Diego Caicedo
subte Steyner Clavijo
Cabo Jorge E Galvis
bro Jhon Días
Dist Carlos Alberto Rodríguez
bro Pablo Mora

Sr Luis arlos Castañeda
CAP Diego Aldana
CaBo Héctor González

Otras direcciones

16. Kra 12 #14-69 Barrio Las balvanera tel 220 2766 María teresa cardona
17. Kra 8 #16-30 Fabio Grisales
18. Kra 10 #14-44 Luz celia agudelo
19. calle 15 #12-22 yaqueline Rodríguez tel 220 8676 Matadero viejo

Julio 6 sábado del 2002

12:30 am Regresan maqi #4 y #3 después de haber cumplido la labor con la sgtes informaciones

20. Zarzalito Fanny García — 2 adultos 2 niños
21. Gerardo Peña — 2 adultos 2 niños
22. Gustavo Marín — 2 adultos 2 niños
23. Héctor Vallecilla — 2 adultos 4 niños
24. Alfonso Jaramillo — 2 adultos 1 niño
25. Gustavo Gil — 2 adultos 1 niño
26. Eduardo pozo calle 15 #11-45 — 3 adultos 2 niños
27. Sirley — 2 adultos 1 niño
28. Guamal 2 etapa Julio Vallecilla — 3 adultos 6 niños
29. Kra 9 #15-37 Ricardo Bernal — 3 adultos 2 niños
30. Kra 9 #15-30 Abelardo toro — 5 niños 11 adultos
31. Calle 17 #7-27 Héctor Fabio Cedeño — 3 adultos 5 niños
32. Calle 14 carrera 9 Pan caliente #3
33. Calle 15 #12-22 Rosa Irene Gil — 6 niños 7 adultos
34. Kra 8 #16-64 luz Mery Herrera — 4 niños 2 adultos
35. Calle 15 #9-58 — 5 niños y 7 adultos Luz Elena Montes
36. Kra 8 #16-30 Fabio Grisales (Ver Ficha I-28)

Inundación, 10 de octubre de 2002

Emergencia

9:55 pm

1. llama la señora Cielo informando de que se le está inundando la casa en - Calle 9 #6-49
2. Llamán de la dirección Karrera 8 #02-33
3. Llamaron de la cancha de tejo El Saman ialcantarilla tapada
4. Llamaron de calle 9 #7-53 El quindio
5. Calle 14 con Karrera 12 esquina llamaron inundados
6. Llamaron de la calle 10 # 6-55 inundados
7. Llamaron de la calle 14 # 9-34 SR/ Rosamaría que está inundada

10:00 Se le entrega la guardia al SR/ Fandiño con las anteriores novedades Guardia Armando Cruz llanos.

22:06 recibo la guardia al sr Armando Crúz con las n/vds anteriores y anotadas.

22:25 Sale la m/5 autorizada por el cap Diego Aldana llanos motorista bro Armando Cruz personal - la bro Alba Lucía Mena

8. Carrera 9 # 15-30 bis sra Margot Acosta B/ Bolívar escape de gas
9. Inundados barrio El placer frente al Coliseo
10. y en la Calle 17 #12-99.
11. Calle 10 #6-87 frente a la iglesia de los mormones señor John Ocampo

10-11-02

1:40 regresa la m/4 con el resto del personal y traen datos de la m/5

14. Calle 7 # 9-86
15. Calle 7 9-66
16. Calle 7 # 9-90
17. Calle 10 # 6-17
18. Calle 10 # 6-99
19 " " # 6-89
20. " " # 6-87
21. " # 6-57
22. " " # 6-54
23. " " # 6-65
24. " " # 6-55
25. " " # 6-61
26. El Placer Krr 12 # 466
27. Krr 14 # 4-80
28. " " " 4-90
29. Krr 11 # 13-105
30. Calle 17 # 12-99
31. Calle 11 con Kra 8
32. Calle 14 # 9-34 7 adultos 1 niña

33. Calle 11# 11-28 fanny Salazar
34. Calle 17 # 12-40 Bertha noguera
35. Calle 16 # 8-76
36. Kra 9bis # 15-30 B Bolívar
37. Kra 12 # 4-66 mayores 5 3 niños
38. Kra 14 N° 4-86 esequiel vegas 4 niños
39. Kra 14 # 4-90 1 adultos 5 niños
40. Kra 9 calle 9 y 15
41. Calle 10 Kra 7 esquina rescate de personas (Ver Ficha I-29).

Inundación, 12 de diciembre de 2003

Emergencia

Informar a la señora Mercedes libreros informa que la oficina donde estaba anteriormente la emisora se inundó favor informarle al señor comandante.

16:10 hrs a esta hora informa la móvil de la policía que en la vía que va de zarzal a la victoria en el sitio de Las Lajas se cayeron unos árboles.

16:15 sale la maq # 4 conducida por el cabo Hoover Castillo con el sgte personal capitán Diego Aldana Teniente José Moreno Sargento Jorge Córdoba cabo Héctor González cabo Luis fandiño bombero Carlos Rodríguez (Ver Ficha I-30).

Inundación, 20 de octubre de 2004

Emergencia

Hora 18: 15 [...] Siendo las 18:15 se comunicaron de la calle 14 #4-179 informando una señora que en esa dirección se produjo una inundación entonces sale la máquina #5 conducida por el bro Armando Rey con el personal acuartelado para el sitio Guardia Jair Álvarez.

19:45 Sale la camioneta del sr cmte con él como conductor cubrir una inundación en la calle 16 #12-02 al barrio las mercedes con el siguiente personal bros William Valencia Anuar Clavijo bro Elizabeth Cortez subte Stayner Clavijo bro Abraham Padilla Guardia Jair Días

20:25 Regresa a la máquina #5 y la camioneta del sr cmte con los sgtes datos en la calle 16 #12-02 Barrio Las Mercedes habita la sr Sandra Fernández 17 niños 14 adultos y en la maq # 5 atendieron calle 14 #4-179 Luis Fernando calle 14#4-79 6 niños 2 adultos otra en el barrio Pama Calle 13 #13-12 aidio ibargüen adultos 4 menores 1 (Ver Ficha I-31).

Inundación, 21 de noviembre de 2006

Emergencia

A esta hora llaman de el barrio Villa Amelia la sra celmira grajales del celular 311 398 6043 informando que se encuentran inundados se hace 4 toques de sirena para avisar al personal y se presentan las sgtes unidades capitán Diego Aldana (Ver Ficha I-32).

Inundación, 27 de noviembre de 2006

Emergencia

Llaman de la Calle 11 # 7- 68 t.l 220 6308 el Señor Guillermo velazques informa que se le inundo la casa.

Se despachan las máquinas N 4 y N 5 atender las inundaciones en varias casas en la máquina N 5 al mando el TTE José Moreno y lo acompaña El cabo Rafael Grisales motorista el señor cordova y al mando de la máquina N 4 El capitán diego aldana motorista el cabo Hoover Castillo y lo acompaña las siguientes unidades disti Carlos Rodríguez bombero Pablo Román bombero Peña.

Informa el capitán Diego que se encuentra en la calle 10 con 7 por los mormones.

Regresa la máquina N 5 con la información atendieron inundaciones en la calle 16 # 11 - 60 Gloria González 2 adultos 3 menores (Ver Ficha I-33)

Inundación, 09 de mayo de 2007

Emergencia

4:50 sale la máquina número 4 y máquina número 5 para atender varias inundaciones urbanas.

Máquina número 4 motorista Sargento duverne García, personal existente al mando cabo Héctor González bombero Jair Álvarez cabo Rafael Grisales, en la máquina número 5 al mando el capitán Diego Aldana personal existente motorista bombero Armando Cruz bombero Hernán Peña Sargento Jorge Córdoba.

5:50 llega el sargento Jorge Córdoba para salir en la máquina número 4 llevar la moto bomba roja también se les avisa a la Policía Nacional de zarzal para que enviarán algunos bachilleres pero no se puede según la información del patrullero lucumi porque están ocupados con una novedad que se les presento, se les informó a la máquina número 4 por parte del señor comandante Antonio José Victoria para que se desplacen al hospital local también se les informó salen al lugar.

Sale el teniente José Moreno, distinguido Carlos Rodríguez y bombero Elizabeth Cortez en la máquina número 4, al rato sale el bombero William Valencia para la máquina número 5 lugar de los mormones.

Llega la máquina número 5 a recoger personal que se concentraba en el cuartel, el teniente Alberto Agudelo, Teniente Jaime Valencia, bomberos Alberto Santa Fe y Anuar Clavijo
Autoriza el teniente José herney Moreno que el bombero Pablo Román llevé 2 unidades que se encuentran en la institución Teniente Oscar Marino Reyes y el bombero Nelson quinceno para el lugar de la 17 con 11 - 12 para sacar agua de algunas viviendas.

8:40 el bombero romance lleva al cabo Hoover castillo y un radio del distinguido Rodríguez. Nota se hace entrega los mismos implementos de la institución.

Regresan las máquinas número 5 y número 4 sin novedad con el personal después de atender las inundaciones:

Inundaciones atendidas por la máquina número 4
Calle 17 # 11 - 18 Mariana vivas 3 adultos
Calle 17 #11 - 20 cinco adultos
Calle 17 #11 - 34 PedroNel gallar un adulto
Calle 17 # 11 - 38 Jorge Luis Mosquera 3 adultos 5 niños
Eider Nieto carrera 12 # 17 - 65 6 adultos 4 niños
Drogas súper éxito carrera 10 #10 - 57 tres adultos
Estanquillo polar carrera 10 con calle 11 esquina
Calle 17 #11 - 14 3 adultos 3 niños
Calle 17 # 17 - 00 familia Hurtado 4 adultos 3 niños
Carrera 12 Calle 17 familia gallar 4 adultos 4 niños
Calle 17 #12 - 22 familia cuartas 3 adultos 2 niños
Carrera 12 #16 - 70 Enrique Jaramillo tres adultos
Carrera 12B #16 - 58 Arnulfo miranda
Carrera 12B # 16 - 46 inquilinato dueño Arnulfo Miranda 4 familias
Ana quina chava jal carrera 11# 15 - 45 4 adultos
Hospital San Rafael
En estas inundaciones se afectó muebles y enseres
Inundaciones atendidas por la máquina número 5 y máquina número 4
Manzana a casa 5 Villa media lote pupi Luis Carlos Escobedo eduviges Quintero dos adultos
Casa 6 Villa Amelia lote 2 adultos David Narváez Ángel Meneses
Manzana B casa 10 tres adultos Gustavo millar María Isabel Ríos Ramírez Juan Manuel Pérez Ríos
La alcaldía
Calle 10 # 6 - 25 3 adultos 2 menores Gloria Cañaveral
Calle 10 #6 - 49 un adulto un menor Martha Lucía Muñoz Valencia afectados enseres
Calle 10 #6 - 53 Claudia Jimena Pérez dos adultos un menor
Carrera 3 # 9 - 39 José Oscar Quintero habitación de bareque no era habitada por estar en mal estado Antes vivían dos adultos y dos menores
Manzana B casa 11 2 adultos un niño Jorge Enrique mubillas Johanna Cardona Jorge Enrique 3 años
Manzana B casa 8 3 adultos un bebé Alberto Meza Martha Gladys Nieves Patricia joda 8 días inundadasManzana B casa 7, 3 adultos una niña María celmira Grajales Luz Marina Montoya Yasmin Eliana Ceballos 11 años
Calle 5 # 14 a 17 4 adultos un menor Mari Hernández María grisales joseluis grisales 16 años Diego Fernando moncayo 14 años Isabella Aguilar 3 años
Calle 9 # 7 - 43 demaris Llanos
Diagonal a la 9 calle 9 número 15 - 14
Calle 14# 5 - 22 sin datos Alberto agudelo 4 personas
Calle 14 #5 - 10 3 adultos 2 niños Ricardo agudelo Melany noreña Luz María agudelo Juan Camilo 10 años Gabriel agudelo 7 años
Calle 10 #6 - 25 3 adultos 2 menores pérdida un colchón Isabel Ruiz dueña
Calle 10 # 6 - 31 cuatro adultos Isabel Ruiz Calle 10641 Tres adultos Bernardo Pedroza Díaz
Calle 10 # 6 - 51 5 adultos 3 menor es dueño Benavides

Calle 10# 6 - 37 dos adultos un menor dueño Luis Aníbal carrales
Calle 10# 6 - 63 cinco adultos dueño Miguel becerra
Calle 10 # 6 - 43 cinco adultos Elena Marín Mejía
Calle 10 # 65 – 4 3 adultos 2 menores dueño Diego de Jesús londoño
Calle 10 #6 - 55 tres adultos luz Mari Mejía
Calle 10 # 6 - 61 2 adultos 2 menores dueña Rubio Ocampo
Calle 10 # 6 - 65 4 adultos 4 menor es dueña Rosana
Calle 10# 6 – 57 3 adultos 2 menores dueño Jaime Humberto Maldonado
Calle 10 # 65 - 7 tres adultos dueña Yadira Arias
Calle 10 # 6 - 85 dos adultos 2 menores dueño José Alberto Ríos perdida 2 colchones lavadora y equipo de sonido
Carrera 7 #9 - 86 dueña Mary Barrera
carrera 7 #9 - 96 dos adultos dueño Jaime Moreno
Calle 10 #6 - 87 dos adultos dueño Alberto Ríos
Calle 10 #6 - 89 3 adultos 2 menores dueña Marleny Cardona daños colchones
Calle 10 #6 - 99 dos adultos dos menores dueña María a kily González electrodomésticos lavadora nevera y tres colchones
Calle 16 #10 - 79 3 adultos un menor dueña María Janet Arana
Calle 16 #11 - 59 7 adultos 3 menores dueño Belisario Urrutia
Carrera 10 #15 - 42 dos adultos un menor dueña Margarita García
Carrera 10 #15 - 07 7 adultos 2 menores dueña Luzmila libreros
Carrera 7 #9 - 54 4 adultos 3 menores ama de casa Luz Marina Llanos
Barrio el Quindío carrera 7 #9 - 66 tres adultos dueña rubiela Sierra
Calle 13 a #16 - 20 Almendros no hay datos
Carrera 12 #14 - 40 sin datos
Calle 11 # 7 - 53 Sandra González un adulto
Calle 17 #11 - 20 dos ancianos

Ojo estos datos los tomé de lo escrito en las tablas de las máquinas en unos tocó adivinar no es mi culpa Guardia Jair Álvarez

Barrios afectados por las inundaciones:

Villa Amelia
Barrio San Rafael y hospital
Gonzalo Echeverry
Las mercedes
El placer
Barrio el Quindío
Centro la alcaldía
Barrio Bolívar
Isabelita
La inmaculada

Adultos afectados 178 menores 75 niños falta anotar personal de la alcaldía y el hospital bomberos que estuvieron en la emergencia 21 unidades y al mismo tiempo gente que colaboró si falta algún dato en las tablas están los datos suministrados las emergencias se

utilizaron máquinas 453 material carpas una motobomba grande y dos sumergibles (Ver Ficha I-34).

Inundación, 08 de julio de 2007

Emergencia

Se llama al cabo Rafael Grisales para informar que se venga por qué la calle 14 barrio Bolívar se encuentra inundado duración de la llamada 24 segundos, guardia.

5:05 se llama al comandante para informarle de la novedad que se está presentando en el municipio y que se le informó al personal que se encuentra en plan Vial que se venga por el motivo que no hay energía para tocar la sirena y personal disponible duración de la llamada 45 segundos

Nota las emergencias las reportaron a las 4:09 pm

5:20 se despacha la máquina número 5 para las calles que se encuentran inundadas calle 14 barrio Bolívar calle 12 número 11 - 42 por la normal, motorista bombero Peña autoriza de manejar la máquina número 5 por él comandante y el cabo Héctor González y los acompaña El cabo Jorge Gálvez bombero Jair Álvarez distinguido jhonier Piedrahita.

5:39 nota: la máquina número 4 llegó a las 5:30 se despacha para atender las emergencias de inundaciones motorista El cabo Hoover Castillo Al mando el capitán Diego Aldana y los acompañan los siguientes unidades cabo Rafa Grisales Cabo fandiño bombero Santafé bombero Omar Clavijo.

5:40 llaman de riopaila informando que en el barrio que va hacia los chorros se encuentran inundados y se les informa a la máquina número 4 para novedad.
Llama a la señora lucely informando que en el barrio zarzalito en la Calle 13 número 14 - a 14 se encuentra inundados y se le informa a la máquina número 5.

7:05 el bombero Norberto quinceno se presenta al cuartel para la guardia.

7:40 regresa la máquina número 5 con la siguiente información de las casas inundadas con las siguientes direcciones:

1. Carrera 9 # 16 - 28 familia Álvarez siete adultos inundados dentro de la casa y el patio
2. Carrera 9 # 16 - 19 6 adultos un menor se le inundó la casa
3. Calle 17 # 11 - 34 10 adultos 8 menores inundada la casa
4. Calle 17 # 11 - 38 tres adultos cuatro menores propietario Juan Mosquera inundada la casa

7:50 regresa la máquina número 4 con la siguiente información en zarzal se atendieron 2 viviendas en:

5. Calle 12 #11 - 40 dos adultos dos niños propietario Bernardo Valencia
6. Calle 12 # 11 - 42 dos adultos un niño propietario Eduardo Valencia casa inundada
   La máquina número 4 Atendió en la paila las siguientes casas inundadas:
7. Calle 10 #1a-23 dos adultos dos niños propietario quinto Martínez

8. Calle 10 # 0- 28 propietaria esmelda ibargüen 7 adultos 6 niños
9. Calle 10 # 1a -37 propietario Héctor Méndez no Hurtado 6 adultos 7 niños
10. Calle 10 #1 a –25 propietario Isabel Rosero 6 adultos un niño (Ver Ficha I-36).

Inundación, 23 de abril de 2008

Emergencia

15:05. Sale la maq # 4 conducida por el sr cnte cap Antonio José Victoria en compañía de las unidades tte José Moreno cabo Luis H fandiño Sagto Jorge cordoba y el bro Alberto Santafé, no se toca sirena debido a que había suficiente personal y el comandante ordena no tocar sirena y salen para el barrio la Isabelita a la Kra 13 con calle 16 a inundaciones Guardia Jair duarte.

15:30. Sale la maq # 5 para la subasta que al parecer está inundada, conduce bombero Armando Cruz acompañado bombero Pablo Mineros.

Informa el bombero acabó Armando Cruz que se regresan del sitio de la subasta porque no se puede hacer nada debido a que la inundación es por motivo que un Arroyo o caño que se desbordó entonces salen para la casa del capitán Jorge Echeverry quién pidió una colaboración porque está inundada.

17:30. regresa la máq # 4 de prestar ayuda en las inundaciones en las siguientes direcciones:
Calle 17 # 11 - 20 señora Alberto Gámez 4 adultos.
Calle 17 #11 - 34 Manuel Vanegas 11 adultos 7 niños.
Calle 17 #11 - 38 Marta Romero un adulto 4 niños.
Carrera 12 # 16 - 70 Carlos Jaramillo cuatro adultos un niño.
Carrera 12 # 16 – 46 11 adultos 4 niños.

También se estuvo en la Calle 13 con calle 16 levantando tapas de alcantarillado estos datos se suministraron por parte del Tte José Moreno. (Ver Ficha I-37).

Inundación, 17 de julio de 2008

Emergencia

Se reporta a la guardia central de emergencia enterándola de las inundaciones Álvaro peña.

8:30 regresan con la máquina 5 y la máquina 3 después de haber atendido las inundaciones en el perímetro urbano y con la novedad que a la máquina 5 se le cayeron las plumillas del limpiavidrios y las direcciones donde atendieron las emergencias son:

1. Ana Joaquina Carvajal carrera 11 # 15 - 45 3 adultos
2. Carlos Alberto pozo calle 15 #11 - 49 3 adultos 2 niños
3. Arnulfo Miranda carrera 12 # 16 - 46 3 adultos 2 niños se le mojaron unos colchones
4. Carlos Enrique Jaramillo carrera 12 # 16 - 70 3 adultos 3 niños se les dañó dos colchones una nevera enseres de cocina
5. Belisario Hurtado calle 16 # 11 - 59 4 adultos 2 niños
6. María Emma gallar carrera 12 # 17 - 11 cuatro adultos

7. Luz Marina urbano Calle 13 # 19 - 84 un adulto tres niños
8. Diego Alonso Castañeda Barrio Las celias dos adultos
9. María Leonor Castañeda barrio celias se les dañó colchones ropa
10. Abelardo carrera 9 # 16 - 70 un adulto se le dañó colchones
11. Alberto Ospina calle 16 # 10 - 112 6 adultos un niño
12. Blanca Mary cuartas cuatro adultos se les dañó los enseres de la cocina tres colchones un televisor ropa y el techo de la casa
13. María Angélica Marín Calle 17 # 11 - 38 se le mojo tres colchones nevera y enseres de cocina
14. Iglesia católica de las Mercedes carrera 8 calle 14 - 15
15. Familia Mazuera calle 14a # 16 - 64 8 adultos 3 niños (Ver Ficha I-38)

Inundación, 17 de enero de 2009

Emergencia

16:20 A esta hora informa la sra cristina victoria del telefono 2220721 que en el Barrio Gonzalo Echeverry dirección Kra 8 #12-55 se encuentran inundados. Se verifica la información es positiva se procede a tocar sirena ingresan los sgtes unidades cap Diego Aldana, tte José Moreno, tte Steyner Clavijo, Subte jesús garcía, Sagto Jorge E Galvez, bro Pablo Mindineros, bro pablo Román

16:30 Sale la maq # 3 conducida por el subte jesús García para el sitio de la emergencia quedando acuartelado El cabo Luis H Fandiño

16:40 informa el Sagto galves que la situación esta controlada y estan de regreso (Ver Ficha I-39).

Inundación, 11 de febrero de 2009

Emergencia

12:03 Llama al señor Marino Millán informando que en la calle 16 # 7- 58 se encuentran inundados Guardia Armando

12:15 se despacha la máquina N° 4 para la calle 16 N°7- 58 a atender la inundación motorista el sargento Córdova, al mando del personal El capitán Diego Aldana y los acompañan las siguientes unidades, Sargento Jorge Álvarez, cabo Carlos Alberto Rodríguez, cabo Luis E Fandiño

12:20 informa la señora Luz Mery Torres que en la carrera 5 # 10 - 20 se encuentran inundados información pasada vía radio. (Ver Ficha I-40).

Inundación, 26 de diciembre de 2009

Emergencia

21:05 Sale la m/ 4 a prestar o atender unas inundaciones por los lados de los mormones y en la Normal. al mando el cap Diego Aldana Llanos personal existente motorista Sgto Jorge Córdoba Sgto Héctor González y el bro Julio César Martínez el sargento González lleva una

capa amarilla larga el bombero Martínez otros impermeables pantalón y chaqueta salen Después de (4) toques de sirena. lleva el capDiego un radio portátil Kenwood.

22:05 Regresa la m/4 sin novedad con el personal comenta el cap Diego Aldana Llanos que estubieron únicamente en la Normal y se cayó la coca de la Estrella ante trasero lado izquierdo y (Ver Ficha I-41).

Inundación, 27 de abril de 2011

Emergencia

2:45 (am) A esta hora informa la sra edilma Gaviria que en el barrio San Rafael se está entrando el agua a las viviendas también llaman del barrio la Isabelita y en la calle 14 con Kra 12. Se procede a tocar sirena y después de 3 toques ingresan las unidades cap aldana sagto córdoba, cabo Rodríguez, bro martínez , subte Diego aldana, bro Luis E Osorio, comte Antonio José victoria.

3 Sale la maq # 5 conducida por el sagto córdoba, al mando del cap aldana en compañía del cabo Rodríguez y la maq # 4 conducida por el comte victoria, al mando subte caicedo aldana y las unidades osorio y martínez.

3:15 Informa el subte aldana que el barrio el guamal está completamente inundado un sector y un particular levantó las tapas del alcantarillado, y mejora la situación, y salen para la calle 14 con 12.

3:55 Se estuvo Llamando a esta hora al Sr Arsenio marín por parte del comte para informarle del derrumbe y inundación que se presenta, por los lados del guacimal, y no contestó el móvil, esta información la paso bros cali por la red deptal.

5:00 hace presencia a esta hora la maq #4 conducida por el sr comte para llevar la motobomba diesel.

5:30 con previa autorización se le da salida a la maq #3 para colaborar en las inundaciones y con la batería de esta prender la motobomba, conduce el bro julio césar martínez. guardia jair alvares

6:40 hago entrega de la guardia al sr armando cruz con las sgte en la noche mucha lluvia en la noche, y se encuentra personal con las máquinas 4,5,3 lo demás continúan con todo lo escrito anteriormente.

8:30 se llama a ponal para informarlos que si puedes mandar unas unidades para controlar el tráfico en la carrera 10 con calle 6 por motivo de agua del sanfon que están por la carretera.

8:45 informa vía radio el cabo Carlos Rodriguez que salen para el barrio villa maría

8:50 Regresa el tte Diego Aldana de la Emergencia por inundación en el municipio con la siguiente información de casas inundadas.

1. Familia Alegría miranda carre 12 N°16-46 avitada por 4 adultos y 4 menores, inundados por represamiento del alcantarillado
2. Familia Miranda carre 12 N°16-58 avitada por 4 adultos inundado por colaso alcantarillado
3. Montes Humberto carre 12 N°16-31 avitada por una persona inundado por colapso alcantarilla
4. Carlos Enrique Jaramillo carrera 12 N°16-70 avitada casa por 4 adultos 2 menores inundada por colapso del alcantarillado
5. pozo Franco 2 adultos 3 menores casa de avitacion inundada por colapso de alcantarillado calle 15 N°11-44
6. lemus Benítez 5 adultos una menor casa de avitacion inundada calle 15 N°11-62
7. lobon tobon casa de avitacion avitada por 6 adultos 2 menores carrera 12 N°14-33 inundadas
8. peña varrios casa avitacion avitada por 4 adultos 3 menores inundada calle 14 11-46 perdida por una nevera y una torre de computador
9. Rosario Moreno casa de inquilinato calle 14 N°11-30 pérdida de mercados y de enseres por inundación avitado por 5 personas
10. pinillo sinisterra calle 15 11-56 casa de avitacion inundada avitada por dos familias calle 15 N°11-56 pérdida de nevera y computador por la inundación

9+00 Se presenten en la guardia el sr/ Enrique Rodríguez informando que en la vereda guasimal hay 2 deslizamientos de lomas y hay una casa comprometida se llama vía radio al sr/ Arsenio para informarlo de la situación

9 + 05 llamaron de la Calle 5 N°6-02 varrio colombina informando de una casa inundada se le reportó vía radio a la defensavil y al sr/ Arcesio para reubicar la familia

9 + 10 informe el sr/ Héctor Marín Rodríguez que en el varrio pueblo nuevo hay 2 casas inundadas y perdió los animales por inmersión (ayudas)
Se le Informa el comante vía radio de la situación

9+20 reportaron casa inundada por la calle 17 N°9-86 Barrio La Merced se le reporta vía radio al comandante

9+25 Nota: El capitán Horacio Umaña informa que cayeron 90 milímetros de agua

9:30 Nota: El tte josé moreno y el sgto Grisales salieron a apoyar al sr/ comandante

10:40 informa El SR/ comandante la emergencia de Pueblo Nuevo es el caño que se desbordó

12:25 Regresa la máquina N° 5 de atender los incidentes de la inundación.

1. gloria maría grisales casa avitacion avitada por 6 adultos 4 menores, pérdida de la nevera y la lavadora, calle 15 N°12-46.
2. luis alberto jaramillo casa de avitacion avitada por 4 adultos y un menor perdida neveras y colchones en la carrera 10 N°14-44
3. gloria borrera casa de avitacion avitada por un adulto en la carrera 10 N°14-36 inundada

4. maría eugenia casa de avitacion avitada por dos adultos en la calle 6 N°6A-50 inundada
5. omaira morales casa avitacion avitada por 2 adultos y 3 menores en la calle 6 N°6A-32 inundada
6. yolanda Herrera casa avitación en Villa amalia manzana a casa 7 avitada por 2 adultos inundada
7. David Bernal casa de avitación en Villa amalia manzana a casa 6 avitada por 2 adultos y 2 menores inundada
8. maría Eugenia montoya casa de avitación en Villa Amelia manzana a casa 5 avitada por 2 adultos 2 menores inundada
9. margarita garcía, casa de avitacion avitada por 3 adultos 3 menor es inundada
10. paubla garcés casa avitacion avitada por 3 adultos inundada carrera 9 16-28
11. Olga Lucía gonzález carre 8 N°16-46 casa avitada por 8 adultos 3 menores inundada
12. Saul Herrera, carrera 9 N°16-39 casa de avitacion avitada por 5 adultos 3 menores inundada
13. maría lilia correa carrera 9 N°15-54 casa avitacion avitada por una persona inundada
14. alberto ceballos Calle 17 N°19-71 casa de avitacion avitada por 5 adultos inundada

12 + 40 Regreso de la máquina N°4 con la siguiente información

1. Calle 15 N°12-25 casa de avitacion avitada por víctor arana, sandra Betancour, Albeiro Castillo yolanda Santamaría, diafanor, pablo Caicedo, genoveba gómez, Rubiela García casa inundada
2. Calle 15 N°12-25 Luis Ernesto Galvis, nelly, Diego, Oscar casa de avitación inundada
3. Carrera 13 N°17-65 luis alberto Lugo y 4 menores casa de avitación inundada
4. Calle 15 N°12-22 casa habitada por 8 adultos inundada
5. Calle 15 N°12-46 casa habitada por 4 adultos inundada
6. Calle 16 N°11-49 maría forcila Valencia casa de habitación inundada

Nota: quedando pendiente de pasar los reportes de la emergencia atendida por las máquinas N°4 y N° 5 N°3 con las anteriores novedades.

17:30 Regresa la m/6 s/n en particular. Cauca segun la información ha subido (15) cm más y rio la paila. ningún hasta el momento unas reyitas después salen para el B/ guadualito cll 8va #20A-03. sra yuri Marcela según La información del sr Ct Victoria de una casa inundada que lo llamaron en la m/6 Las mismas unidades motorista Cabo Cruz acompañado por cap Avendaño (Ver Ficha I-44).

Inundación, 08 de febrero de 2012

Emergencia

14:30 llaman a esta hora de diferente sitio reportando inundaciones sector El guamal lodo la Mercedes normal, la Calle 13 bis guardería principal. Sector la galería de la calle 15 entre la cra 10 la calle 15 con kra 7

Se hacen 3 toques de sirena largo solamente asisten a ellos Sagto duberney garcía. Cap aldana, subte jorge córdoba, cabo Hoover castillo y tte josé moreno

15 Sale la maq # 4 conducida por el sagto garcía al mando el cap aldana en compañía de subte jorge E córdoba para la Calle 13 bis a prestar el servicio bomberil.

15:30 Sale la maq #3 conducida por el cabo castillo en compañía del tte moreno y por orden del cap Aldana para el sector de la galería.

15:30 El cabo rruz queda acuartelado desde esta hora
Nota: por orden del cap aldana se desplaza el cabo cruz para colaborarles

19:30 Regresa maqs #4 y #3 de las Emergencias y traen el material que utilizaron en los sitios del capitán Aldana hace entrega de un portátil que había llevado los siguientes datos los pasa el cabo Armando Cruz

1. calle 15 N°11-49 2 adultos 3 menores zoraida pozo franco
2. calle 15 N°11-56 adultos 6 menores 1 Manuel pinillos enseres perdidos un peinador dos colchones Torre computador y una nevera
3. Norbey Marin calle 15 N°11-62 adultos 4 menor 1
4. Rosa Irene Gil propietaria calle 15 N°12-22 adultos 4 menores 4 pérdida de colchones
5. calle 15 N°11-65 sin datos
6. calle 15 N°11-68 sin datos

El cabo cruz informa que la motobomba que el utilizo trabajo 5 horas y media

20:20 Siendo esta hora y haciendo inventario de los implementos de los vehículos nos damos cuenta que falta la sumergible azul pequeña de la maq N°4 regresaron de la emergencia sin está para constancia firma el tte cordoba oficial de servicios

Se autoriza la salida de la maq 3 para que búsquen la sumergible perdida

20:30 Sale en la maq #3 a buscar la bomba sumergible conduce cabo Castillo acompañado tte moreno y córdoba y a su vez sale la maq # 4 conducida por cmte Antonio victoria y acompaña el cabo Rodríguez

Mas datos de inundaciones

7. Martha rivera Kra 9 N°15-58 5 adultos 5 niños
8. Lisandro Uribe Kra 9 N°9-03 5 adultos un niño local tienda
9. cabal garcía Kra 9 N°16-28 3 adultos 3 niños
10. Kra 9 N°15-54 un adulto
11. Raquel montoya calle 16 N°12-14 3 adultos un niña
12. María Lucía Betancourt calle 16 N°12-95 3 adultos
13. Bernardo Márquez calle 16 N°12 -112 4 adultos
14. Jhoana arredondo calle 15 N°1084 4 niños 4 adultos agua en la casa
15. Marina Quiñones calle 15 N°10-28 10 adultos 8 niños pérdida de 3 colchones
16. familia Quiroz Kra 10 N°15-07 dos adultos dos niños se mojó dos colchones
17. Margarita García Kra 10 N°1542 3 adultos un niño hago en la casa
18. Arnulfo Miranda Kra 12 N°16 58 3 adultos un niño agua en la casa
19. Sandra Miranda Kra 12 N°16-46 5 adultos 4 niños se mojó colchones
20. Ricardo Valencia Kra 12 N°16-46 5 adultos 4 niños agua en toda la casa
21. María Tiravaria calle 16 N°10-44 4 adultos 2 niños agua en toda la casa

22. Lorena Urrutia calle 16 N°11-45 3 adultos 4 niños pérdida de poltronas, lavadora y colchones no hay más datos (Ver Ficha I-45).

Inundación, 06 de enero de 2014

Emergencia

Regresa la máquina número 5 sin novedad con el personal datos de los que atendieron en las inundaciones:

B/ el Guamal en el parque cortaron un árbol por pedazos que estaba caído sobre la vía
B/la Isabelita .Cll 14 #17 - 11 y se levantó tapas de los alcantarillas, se colocan cinta de prevención.

Cll 16 # 11 - 94 levantamiento de tapas de alcantarillas

B/ Isabelita kra 17 # 11 – 111	inundación s/n
Kra 17 # 11 - 118	inundación s/n
Kra 17 # 11 - 103	inundación s/n
Kra 17 # 11 - 93	inundación s/n
Kra 17 #11 - 78	inundación s/n
Kra 17 # 11 - 57	inundación s/n

18:[45]. Llama a la Policía Nacional de Zarzal que informan de unas viviendas inundadas en la calle 15 # 12 – 22.

18:[55] Sale la máq/5 al mando el tte Francisco Viveros personal existente motorista Hoover Castillo stte Jorge Córdoba, Bros Juan Carlos Marín, Fernando Castañeda, Brayan Arismendi.

19:[50] Hace regreso la m/5 s/n con el personal, realizaron evacuación de agua en la misma calle 15 # 12 - 31 Marisol Marín y 12 - 39 Señor Carlos Alves también en la numeración 12-22 S/n en particular (Ver Ficha I-47).

Inundación, 12 de mayo de 2018

Emergencia

Regresa la máquina 6 Sin novedad y en el momento nuevamente sale la máquina número 6 al barrio El placer a observaciones de una vivienda finca las bananeras inundaciones por cuestión del caño que se desbordó por estar ellos en una vivienda más abajo del terreno motorista subteniente Diego Aldana al mando el subteniente Óscar Reyes iba el aspirante Diego López salen para la Vereda de quebrada nueva por cuestiones de riesgos de vivienda por desplazamiento de tierra por un Barranco.

11:20 hace regreso a la máquina número 5 de la Vereda quebrada nueva y la máquina número 6 de recoger dos unidades que estaban con las bombas sumergibles perímetro.
Nota personal nuevo que sale a emergencia.

11:25 sale la máquina número 6 motorista Teniente Diego Murcia al mando el teniente José Moreno van dos unidades cabo Hoover Castillo aspirante Diego López van a evacuar a una familia por la imagen del Parque la inmaculada el bombero Miguel Muñoz en colaboración de colocar la cinta de riesgo en algunas cuadras para desviar a los vehículos por otras calles.

Nota datos de lo ocurrido en la mañana de hoy 05 - 13 - 018 desde las 7 viviendas inundadas perímetro urbano bombero Jaramillo.

Carrera 7 # 7 - 39 el cual en la vivienda no estaban los ocupante presenta riesgo de desplome o colapso.
Carrera 7 # 17 - 35 propietario Mayra Lizeth Andrade cédula 17 16 44 0246 perdida de colchones
Calle 17 # 7 - 80 Señora Daisy Ramírez cédula 111 44 32 91 24 años inundados por completo en la vivienda pérdidas muebles camas armario y animales habitan 4 personas dos adultos dos bebés
Carrera 7 # 17 - 35 inquilinato Gisela Garcés cédula 10 60 80 60 30 20 años pérdida de colchón otra Alba Nelly rosso cédula 666 804 4445 se pierden colchones y nevera
Carrera 7# 17 - 59 señora Adela Romero acumulación de agua en la vivienda
Carrera 7 #17 - 65 señor Oscar Ramírez cédula 13 84857
Calle 5 #18 - 14 Señor Luis Carlos Escobedo cédula 1620 2354 inundados no pérdidas
Inundación Villa Aurelia
Inundación ladrillera San Fernando
Finca vía a limones propietario jor lady jaraba al llegar al lugar ya había evacuado y con los animales que Ellos tenían en el patio
Carrera 7 #17 - 38 señor José Muñoz cédula 16400 849 perdidas muebles persona que vive solo
Carrera 17 #17 - 43 señor Pedro Antonio Trujillo cédula 1870 54 37 pérdida equipo de sonido y muebles
Calle 17 #7 - 52 Tania Berjameda cédula 666 845 6115 personas 3 adultos 2 menores
Carrera 7 #17 - 71 señor Hoover Sainz cédula 26 97183 perdidas nevera colchón lavadora 10 personas habitantes de la misma casa
Vereda quebrada nueva vía la paila el Quindío estación de servicio esso Mobil al frente hubo un deslizamiento de tierra sobre la vía en el sitio se encontraba un personal de vía realizando trabajos y quedando la vía libre en el mismo lugar de quebrada nueva parte de la estación sobre la vía férrea deslizamiento de tierra causando daños a una vivienda y quedando fuera de ocupación señor Juan Ángel Aguirre cédula 2699 635 64 años Pérdida total y los enseres
Vía al Quindío lugar Vereda vallejuelo fundación bosconia la María educadora señora Viviana Torres cédula 111 6435 377 inundadas parte de la zona verde a causa del desbordamiento del Río vallejuelo en el lugar habitan 15 adultos y 20 niños no sufren ninguna novedad

Vía a los limones árboles caídos sobre la vía quedando todo despejado faltando por remover parte de tierra únicamente hay paso por Un carril (Ver Ficha I-52).

Fuente: Base Militar Tesorito Zarzal (2018)

Inundación, 08 de octubre de 2018

Emergencia

Llaman de la carrera 19 # 7 B - 11 de una inundación barrio guadualito.
Llaman de la calle 15 # 10 - 50 inundados
Llaman de la calle 6 #6 - 60 detrás del hospital
Llaman de la familia Tamayo inundados
Llaman informando que él sitio de la Galería Está inundado

Se despacha la M 6 para el perímetro atender varias casas inundadas después de mandarse el mensaje de SOS y tres toques de sirena ingresando el subteniente Trejo y el bombero William Valencia llevando dos bombas sumergibles.
Informan de la M 6 que ya fue controlada la inundación por donde los Tamayos.

Informan de la M 6 que la situación de la casa de los días ya la situación está controlada (Ver Ficha I-53).

2.2.1.1.3. Actas - secretaría de gobierno- oficina gestión del riesgo de desastre

Inundación, 26 de noviembre de 2010

Censo formato único de registro de hogares afectados por situación de desastre, calamidad o emergencia vivienda urbana y rural afectada a nivel municipal y departamental

TIPO DE EVENTO:		INUNDACIÓN	FECHA DEL EVENTO	NOVIEMBRE 26 2010	
DEPAR TAMENTO	MUNI CIPIO	NOMBRE Y APELLIDO	CC	NUMERO MIEMBROS HOGAR	DIRECCIÓN
Valle		Liliana Restrepo	66.679.771	5	Cra 8 #19-25
Valle		Celia del Carmen Mendoza	66.676.854	2	Cra 8 #19-25
Valle		Claudia Patricia Mendoza	66.684.731	2	Cra 6 #16-60
Valle		Luz Elci Restrepo	66.684.108	2	Cll 6 #6-12
Valle		Claudia Patricia Saldarriaga	66.680.103	5	Cll 16 #5-53

TIPO DE EVENTO:		INUNDACIÓN	FECHA DEL EVENTO	NOVIEMBRE 26 2010	
DEPARTAMENTO	MUNICIPIO	NOMBRE Y APELLIDO	CC	NUMERO MIEMBROS HOGAR	DIRECCIÓN
Valle		Araceli Enríquez	66.682.752	3	Cll 11 #8-15
Valle		Trinidad Bonilla Mosquera	3141 93409	5	Cll 16 #5-73
Valle		Sofía Morales	3118 6239	4	Cra 7 #11-20
Valle		Luz Mery Hernández	66.666.705	5	
Valle		Mari Luz Bedoya	42.031.547	4	Cll 17 #6-17
Valle		Olga Lucía Varela Agudelo	66.678.964	3	
Valle		Angélica Morales Villa	38.394.794	2	Cll 16 #12-86
Valle		Antonio Jesús Castañeda	6.551.558	4	
Valle		Mónica Patricia Paredes	67.014.850	7	Cll 5 #14-81
Valle		Maribel Pedroza Eskiner	68.293.606	4	Cll 17 #10a-04
Valle		Sandra L Cubillos	31.330.738	2	Cra 14 #7-79
Valle		Ángela María Ríos	30.400.055	4	Cll 17 #9-49
Valle		Rubiel Moreno	38.590.262	4	Cll 5 #14-81
Valle		Elci Roldán	31.490.009	5	Antiguo matadero
Valle		Beatriz Elena Erazo	66.683.948	3	Cra 13 # 15-05
Valle		Julia Edit Castillo	66.676.840	5	Cra 5 #7-47
Valle		Javier Giraldo	3.454.082	4	Barrio Kennedy
Valle		María Yorlady Álvarez	1.088.239.063	4	Buenos aires casa 8
Valle		Berenice Orrego Molina	31.479.149	4	Cll 11 #18-47 el aserrio
Valle		Leidy Viviana Aldana	31.499.010	3	Cll 16 #8-76
Valle		Amparo Caicedo	6.667.571	1	Cll 16 #8-76
Valle		María Livia Andrade	29.993.775	3	Cra 9 #11-29
Valle		Ana Milena Rodríguez	66.675.695	4	Cll 16C #16-82
Valle		María Rubí Z	26.386.397	5	Cll 16 #5-43
Valle		María Eugenia Cuartas	1.116.432.638	4	Cll 16 #5-01
Valle		Yuli Yanet Zapata	1.006.245.827	4	Cll 10 #10-36
Valle		Abelardo Tasama Patiño	6.559.253	7	Cra 20 #7-05
Valle		Maria Leticia	66.677.186	3	Cll 17 #10-93
Valle		Yury Yamile Quiroz	1.087.989.151	3	Enseguida subasta
Valle		Vanessa Ivoonne Cardona	66.683.013	5	Cra 13 #10-37
Valle		María Elena Ortiz	66.681.080	4	Cra 6 #14ª-26
Valle		Amparo Morales	29.992.687	3	Cll 12 #15-04
Valle		María Rosaura Naranjo Soto	66.675.606	5	Cll 12 #15a -73
Valle		Teresa Messa	6.667.568	8	Cll 6 #5a -103
Valle		Blanca Elena Cardoso	26.758.582	4	
Valle		Luz Meyi Muñoz	66.679.524	8	Bajo Buenos Aires manzana 1 casa 10
Valle		Leizdynth Viviana Aldana	31.499.010	3	Cll 10bis #10-28
Valle		Nubia del Socorro Quenan	27.221.112	5	Cra 17 #6-36
Valle		Rosaura Marulanda	24.537.303	4	Cll 16 #5-05

(Ver Ficha I-44)

Inundación, 24 de abril de 2016

Oficio

BCBV-Z- OC-059
Zarzal Valle del Cauca, mayo 04 de 2016

SEÑOR
SECRETARIO DE GOBIERNO MUNICIPAL Y COORDINADOR DEL CMGRD
ALCALDÍA MUNICIPAL
ZARZAL -VALLE DEL CAUCA
E.S.D

Cordial saludo.
Por medio del presente oficio estoy haciendo enttega de la información relacionada con las inundaciones presentadas en el municipio el día 24 de abril de 2016:

1.	Cra 19 #7-18	B/Guadualito
2.	Cra 20 #7C-04	B/Guadualito
3.	Cra 20 #7-15	B/Guadualito
4.	Cra 19 #7B-13	B/Guadualito
5.	Cra 19 #7B-09	B/Guadualito
6.	Cra 19 #7B-15	B/Guadualito
7.	Cll 8 #19-12	B/Guadualito
8.	Cra 19B #7B-11	B/Guadualito
9.	Cra 20B #7B-09	B/Guadualito
10.	Cra 20 #7B-07	B/Guadualito
11.	Cll 4 #18-21	B/Villa Amelia
12.	Casa 5 Manzana A	B/Villa Amelia
13.	Cll 4 #18-15	B/Villa Amelia
14.	Cll 6C #16-81	B/Ciudad jardín
15.	Calle 6C #16-73	B/Ciudad jardín
16.	Cll 6B #14-68	B/Ciudad jardín

Agradeciendo de antemano la atención prestada a la presente (Ver Ficha I-48).

Inundación, 06 de mayo de 2016

Oficio

BCBV-Z- OC-061
Zarzal Valle del Cauca, mayo 07 de 2016
Doctora:
LUZ ELENA LÓPEZ
Alcaldesa Municipal
Zarzal Valle del Cauca

Cordial saludo.

Por orden del señor Comandante Subteniente Diego Aldana, estoy remitiendo este oficio haciendo entrega de la información relacionada con las inundaciones presentadas en el municipio el día 06 de mayo de 2016 por colapso del alcantarillado:

1.	- Cll. 11 Cra. 10	S/ La Galería.	
2.	- Cra. 7 N° 17-95	S/ Postobon	x
3.	- Cra. 7 N° 9-86	S/ Postobon	xx
4.	- Cra. 7 N° oficinas Postobon	S/ Postobon	
5.	- Cra. 13 Calle 11		
6.	- Cra. 17 N` 17-26		xxx
7.	- Cll 7 N° 9-90	S/ iglesia de los mormones	

Notas:

x: 1.- Familia Diaz Castro: 4 personas: 3 adultos. 2 menores de edad, sufrieron daños en: armario, camas, nocheros, nevera, lavadora, estufa, ropa y colchones.

2.- familia de Carlos Gonzalo Díaz y Juan Carlos Diaz: adultos, sufrieron daños en camas. colchones, armario, ventilador, ropa y remesa.

xx: Familia de Edilma Ortiz: 5 adultos, sufrieron daños en: Equipo de sonido. colchones, asientos del comedor y otros enseres.

xxx: hueco por falta de tapa de alcantarilla

Agradeciendo de antemano la atención prestada a la presente (Ver Ficha I-49).

Inundación, 07 de junio de 2016

BCBV-Z- OC-075
Zarzal Valle del Cauca, junio 8 de 2016

DOCTORA:
LUZ ELENA LOPEZ
ALCALDSEA MUNICIPAL
ZARZAL -VALLE DEL CAUCA
E.S.D
Cordial saludo.

Por orden del señor Comandante Subteniente Diego Aldana, estoy remitiendo este oficio haciendo entrega de la información relacionada con las inundaciones presentadas en el municipio el día 07 de junio de 2016 por colapso del alcantarillado:

1. Calle 17 N°16-34
2. Carrera 19B N° 7-09
3. Plaza de mercado colchón taponando alcantarilla
4. Carrera 4A N° 16-65
5. carrera 4A N° 16-35 caída de muro
6. carrera 19B N° 7B-15
7. carrera 4A N° 16-39 agrietamiento debido a un desplazamiento de un barranco
8. carrera 4A N° 16-35 colapso de una pared en el patio
9. carrera 4A N° 16-29 grietas en una pared del patio
10. corte de ramas en árbol caído vía Zarzal Roldanillo

Agradeciendo de antemano la atención prestada a la presente (Ver Ficha I-50).

Inundación 19 de abril de 2019

Oficio

BCBV-Z- OC-049
Zarzal Valle del Cauca, abril 22 de 2019

Doctora:
LUZ ELENA LÓPEZ

Alcaldesa Municipal
Zarzal Valle del Cauca
E.S.D
Cordial saludo.

Por medio del presente oficio y con orden del señor comandante, estoy haciendo entrega de la información relacionada con las inundaciones presentada en el municipio el día 19 de abril del 2019:

1. Cra 7 N° 17-97 B/ La Esperanza
   Mercedes Caicedo Mondragón: computadora y mesa
2. Cra 7 N° 17-82 B/ La Esperanza
   Sandra Moreno: nevera, sala, comedor, televisor, Play 4, cama, peinador, nocheros
3. Cra 7 N° 17-71 B/ La Esperanza
   Luberney Cedeño lavadora equipo de sonido grabadora de sonido colchón
4. Cra 7 N° 17-76 B/ La Esperanza
   Leonor Restrepo: colchón y sofácama
5. Cra 7 N° 17-70 B/ La Esperanza
   Oscar Ramírez: Pérdida total de enseres
6. Cra 7 N° 17-65 B/ La Esperanza
   Milena Ramírez Vargas: Pérdida total de enseres
7. Cra 7 N° 17-63 B/ La Esperanza
   Heider de Jesús Parra
8. Cra 7 N° 17-62 B/ La Esperanza
   José Hernández: nevera, colchones, lavadora
9. Cra 7 N° 17-59 B/ La Esperanza
   José Antonio Montezuma: muebles de sala, nevera, lavadora y colchón
10. Cra 7 N° 17-53 B/ La Esperanza
    José Abel Granada: Nevera, refrigerador comercial
11. Cra 7 N° 17-49 B/ La Esperanza
    Pedro Antonio Trujillo: nevera, sala, grabadora, televisor, colchones, clóset
12. Cra 7 N° 17-35 B/ La Esperanza
    Juan Carlos Villalba: enseres
    Alba Nelly Rendón: Peinador, nevera, colchones, licuadora, equipo de sonido
13. Calle 15 N° 8-18 B/ Bolívar
    Stefany Villalba: muebles, camas, tocador, armario
14. Calle 15 Cra 8 y 9 B/ Bolívar
    Luz Hernando Fandiño Sierra: enseres
15. Calle 14 N° 5-22 B/ Bolívar
    Alberto Agudelo Sanz: Computador de mesa, nocheros, colchones, almohadas, camas, nevera, lavadora, reguladores de energía.
16. Calle 14 Cra 4 y 5 B/ Bolívar
    Varias casas afectadas
17. Calle 10 N°11-18 B/ El Centro
18. Cra 13 Calle 10 B/ La Galería
19. Calle 11 N° 4-39 B/ Gonzalo Echeverry
20. Cra 4 N° 14-17 B/ Bolívar
    Nancy Giraldo: todos los enseres

21. Calle 5 N° 6a-02 B/ San Rafael (Ver Ficha I-54)

2.2.1.2. Tipificación de eventos de Inundación

La Tabla 2.3 se presenta la tipificación de cada uno de los eventos que fueron reportados por inundación y que afectaron la zona urbana del municipio de Zarzal en el periodo de 1980 hasta abril de -2019. En el análisis de cada uno de ellos se logró identificar los registros por inundación pluviales generados por el colapso del sistema de alcantarillado y fluviales por el desbordamiento de la Quebrada o Canalón Los Limones. Por otra parte, hay reportes de eventos que no es posible hacer una inferencia de la posible causa de la inundación el municipio, debido a los escases de la información.

Tabla 2.3. Tipificación de los reportes de eventos por inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal

N° DE FICHA	FECHA DEL REPORTE DEL EVENTO	FLUVIAL	PLUVIAL
I-1	22/04/1988		X
I-2	14/03/1989	X	X
I-3	03/04/1989		X
I-4	05/02/1990		X
I-5	21/04/1993		X
I-6	01/05/1993		X
I-7	13/05/1993		X
I-8	29/11/1993		X
I-9	13/03/1994		X
I-10	20/04/1994		X
I-11	23/05/1994		X
I-12	20/06/1994	X	X
I-13	26/02/1995		X
I-14	07/03/1995	X	X
I-15	01/04/1995		X
I-16	30/07/1995		X
I-17	11/04/1996		X
I-18	03/09/1996		X
I-19	04/10/1996	X	X
I-20	22/10/1996	X	
I-21	08/05/2000	X	X
I-22	26/09/2000		X
I-23	19/05/2001		X
I-24	19 07 2001	X	
I-25	26/07/2001	X	X
I-26	30/07/2001	X	
I-27	15/03/2002	X	
I-28	05/07/2002	X	X
I-29	10/10/2002	X	X
I-30	12/12/2003	X	
I-31	20/10/2004	X	X
I-32	21/11/2006	X	
I-33	27/11/2006	X	X
I-34	09/05/2007	X	X
I-35	02/06/2007	X	
I-36	08/07/2007		X
I-37	23/04/2008		X
I-38	17/07/2008		X

N° DE FICHA	FECHA DEL REPORTE DEL EVENTO	FLUVIAL	PLUVIAL
I-39	17/01/2009		X
I-40	11/02/2009		X
I-41	26/12/2009	X	X
I-42	04/05/2010	X	
I-43	26/11/2010	X	X
I-44	27/04/2011	X	X
I-45	08/02/2012	X	X
I-46	26/12/2013	X	
I-47	06/01/2014	X	X
I-48	24/04/2016	X	
I-49	06/05/2016	X	X
I-50	07/06/2016	X	X
I-51	17/11/2016	X	X
I-52	12/05/2018	X	X
I-53	08/10/2018	X	X
I-54	19/04/2019		X

Fuente: elaboración propia

La tipificación de los 54 reportes de los eventos de inundación se muestra en la Figura 2.9 donde 24 de ellos son de tipo pluvial causado por el colapso del sistema de alcantarillado, 10 reportes son de inundaciones fluviales generadas por el desbordamiento de la Quebrada Los Limones que atraviesa de oriente a occidente la zona urbana del municipio. Por último, se reportan 21 eventos de inundación donde se presentó el desbordamiento de la Quebrada Los Limones y el colapso del sistema de alcantarillo.

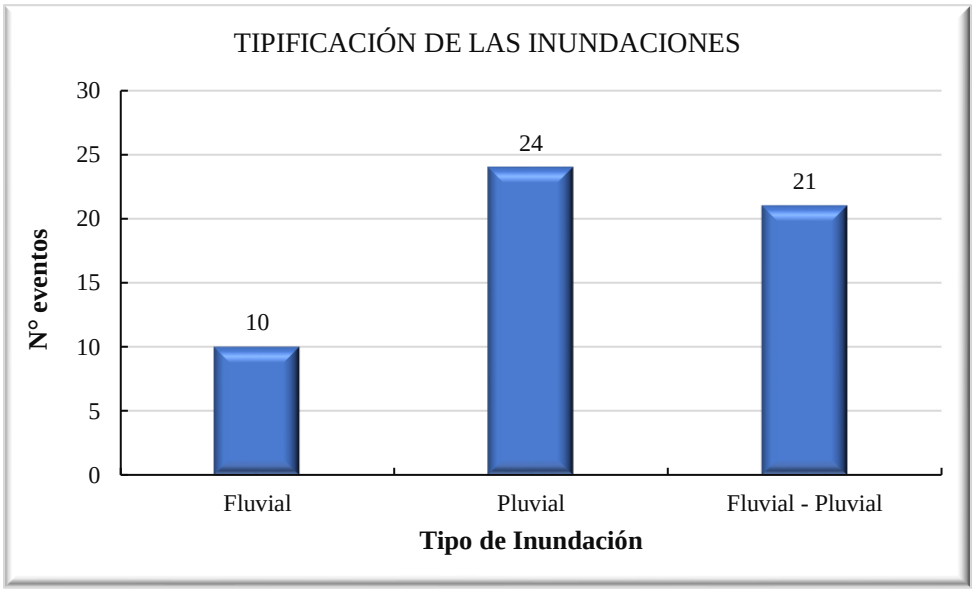


Figura 2.9. Clasificación de los reportes de eventos por inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

2.2.1.3. Mapas de inundaciones históricas del municipio de Zarzal periodo 1980- abril de 2019

Para la elaboración cartográfica de los mapas de inundaciones históricas del municipio de Zarzal se utilizaron dos metodologías en el procesamiento de los datos encontrados en las diferentes fuentes de información, el primero es la Densidad de Kernel para los reportes de lugares puntuales, es decir, donde se identificaron direcciones, sectores y lugares específicos y la segunda fue el Modelo Digital de Terreno -DTM, es decir Topografía del terreno para los reportes de barrios sin que no asocia un lugar concreto.

En el análisis y tipificaciones de los registros encontrados en las diferentes fuentes de información, el municipio de Zarzal es afectado dos tipos de inundaciones, fluviales y pluviales, cada una de estas en sectores determinados. Se logra identificar como elemento estructurante la vía férrea que atraviesa el municipio de suroriente a occidente, esta es una barrera para el paso del agua producto del desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Los Limones, en la zona sur y centro; el agua de escorrentía de la zona de ladera, de la zona oriental y las aguas lluvias asociado al deficiente sistema de alcantarillo que colapsa e inunda el municipio.

En la Figura 2.10 se presenta el mapa de eventos puntuales, en ella se delimitó de la vía Férrea hacia el norte y oriente por inundaciones pluviales, los barrios que han sido afectados son: Las Mercedes, Los Almendros, La Esperanza, Bolívar, La Valvanera, El Guamal, La Isabelita y la Urb. Zarzalito, al oriente Gonzalo Echeverry y El Quindío. De la vía Férrea hacia el sur y occidente por inundaciones fluviales producto del desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Los Limones, los barrios que han sido reportados por la ocurrencia de estas son: San Rafael, Los Lagos I, II, III, El Batallón, Colombina, El Placer, Villa Amelia, Quinto Centenario, El Poblado I y II, Libraida, La Inmaculada, El Centro y las Urbanizaciones Ciudad Jardín y Guadualito.

Por lo tanto, al hacer el análisis espacial de los eventos históricos puntuales aplicando el primer método, la Densidad de Kernel, el cual se clasifica la concentración de eventos en Alta en rojo, Media en amarillo, Baja en verde y Nula en blanco en un radio de 200 metros.

La Figura 2.11 presenta el mapa de eventos que han afectados por inundaciones fluviales, En el municipio, la cual se muestra tres sectores con mayor concentración de registros, al occidente del municipio en los barrios La Urb Guadualito y El Poblado I y II, en la zona centro sur en los barrios El Placer, Los Lagos I y II y La Inmaculada, en la zona sur oriente los barrios San Rafel y Colombina.

En la Figura 2.12 se presenta el mapa de eventos puntuales históricos afectados por inundaciones pluviales, la concentración de eventos en el radio de 200 metros delimitando dos zonas, al norte del municipio los barrios Las Mercedes, La Valvanera y La Esperanza y al oriente los barrios El Quindío, Diana María y Gonzalo Echeverry.

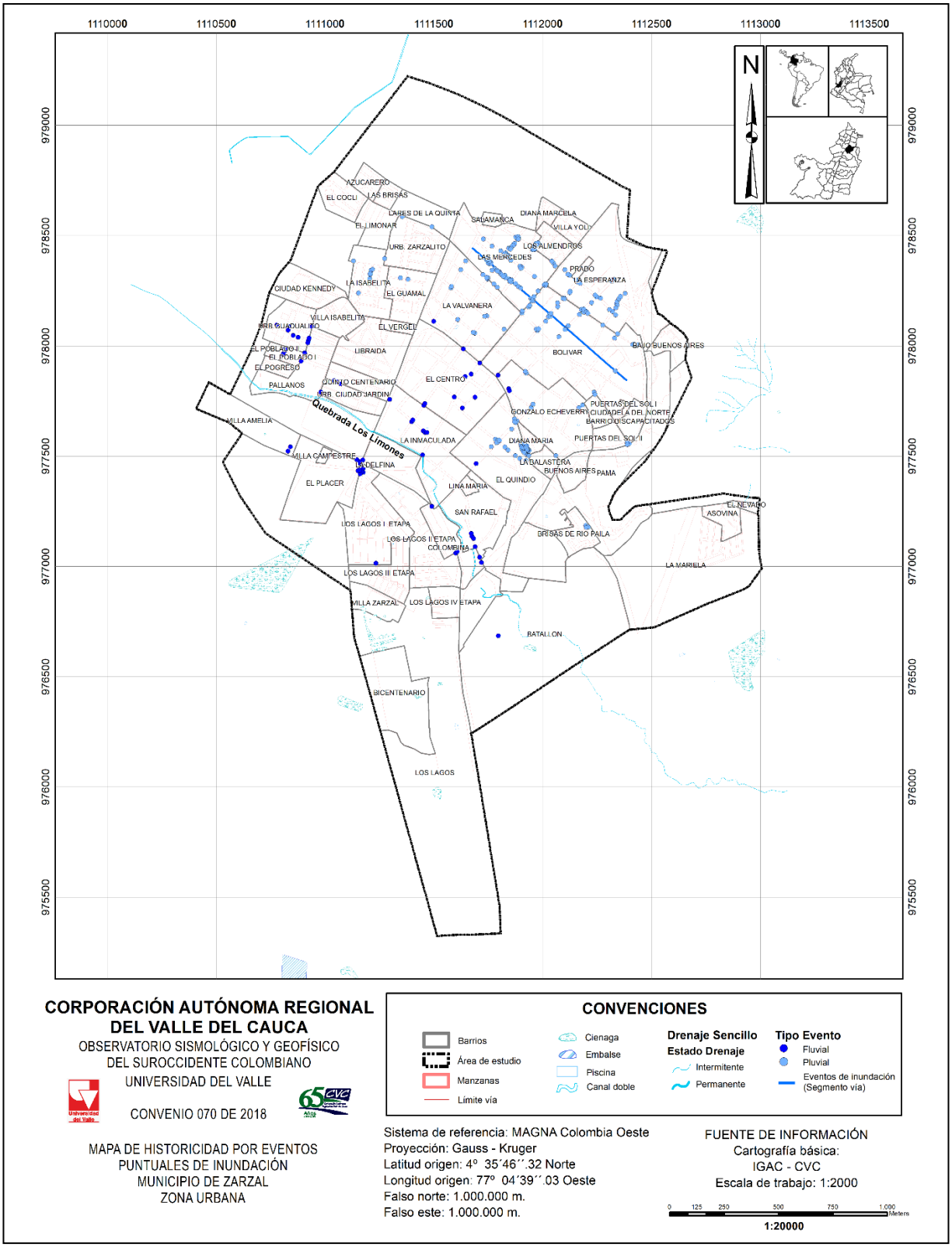


Figura 2.10. Mapa de Historicidad por eventos puntuales de Inundación del Municipio de Zarzal

Fuente: elaboración propia

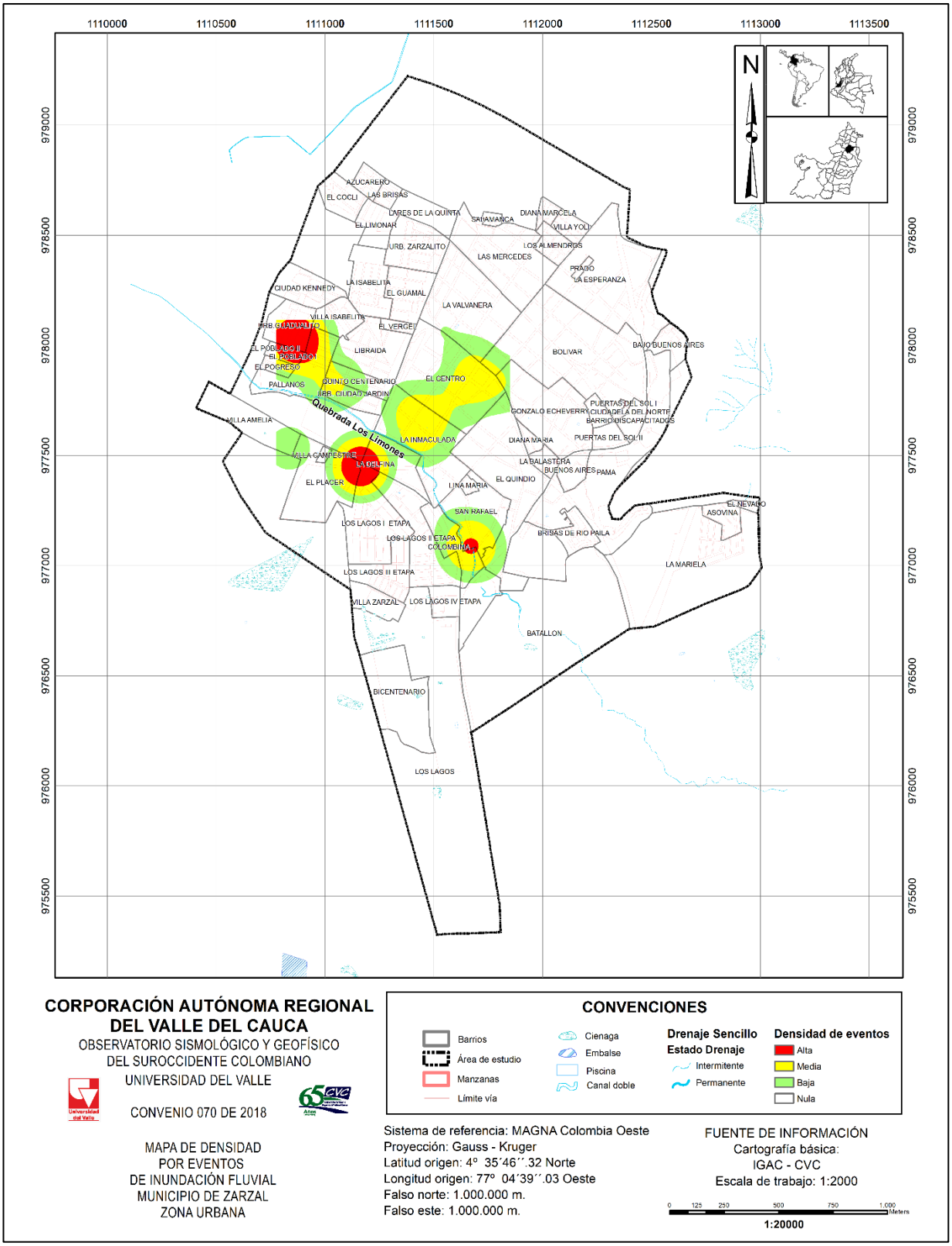


Figura 2.11. Mapa de Densidad por eventos de Inundación Fluvial en la zona urbana del Municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

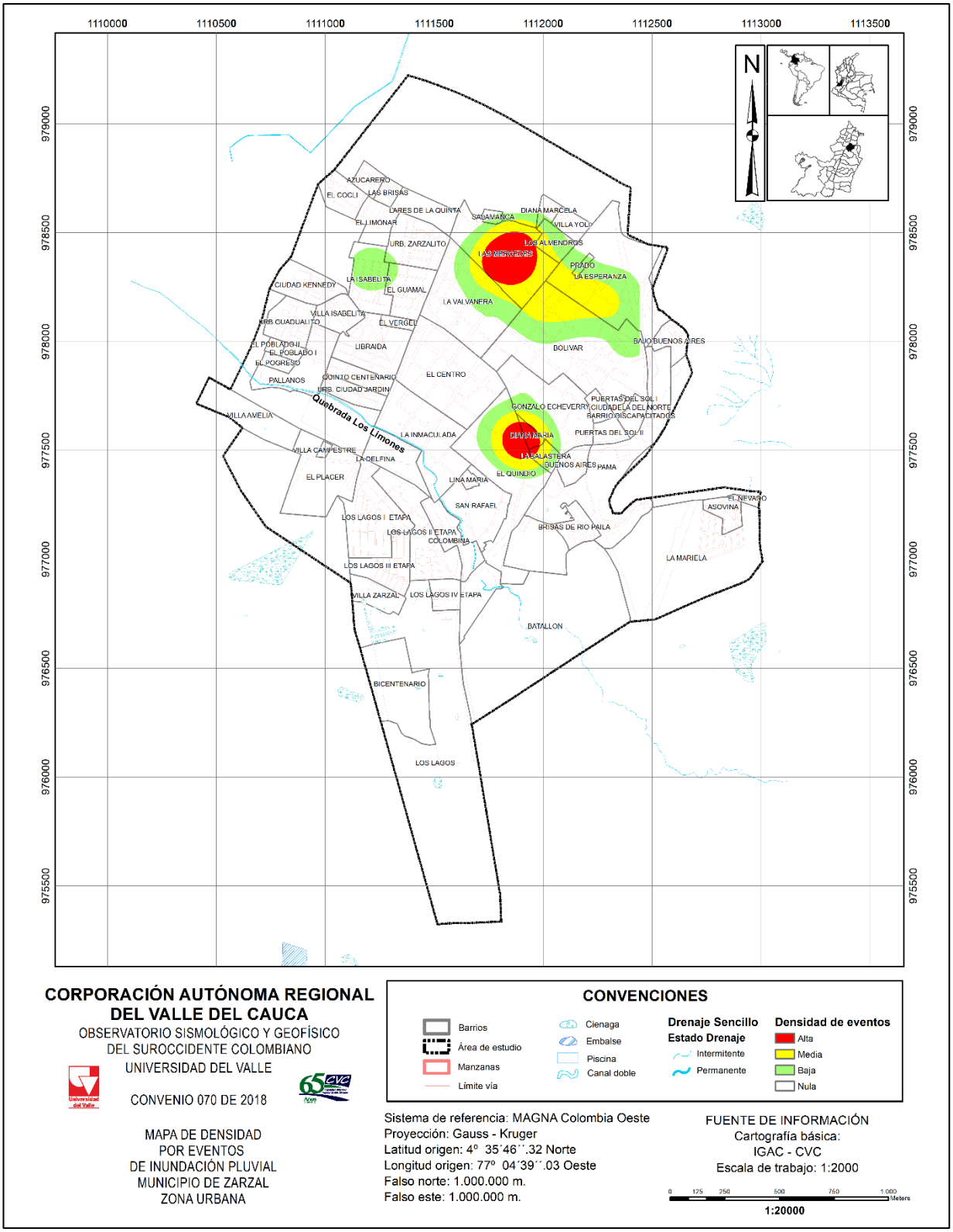


Figura 2.12. Mapa de Densidad por eventos de Inundación Pluvial en la zona urbana del Municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

La espacialización de los reportes de eventos históricos de inundaciones fluviales y pluviales por barrio en la zona urbana del municipio de Zarzal considerando niveles de frecuencia Alto, Medio y Bajo.

En la Figura 2.13 se muestra que los barrios Las Mercedes, La Esperanza, Los Almendros, La Valvanera, Bolívar y El Quindío se han presentado mayores eventos de inundación; seguido de los barrios que presentan una moderada ocurrencia de inundaciones que son El Centro, La Inmaculada, La Colombina, San Rafael, El Placer, La Isabelita y la Urb. Guadualito. Por último, están los barrios en los que se han presentado menos inundaciones.

Para el análisis espacial de los eventos históricos por barrios, teniendo en cuanta el segundo método DTM en el que se considera la topografía del terreno permitiendo identificar las áreas que se podrían considerar susceptible a inundarse.

La Figura 2.14, presenta el mapa por susceptibilidad histórica, para espacializar las áreas con mayor predisposición o susceptibilidad a ser inundadas según la topografía del terreno tomando como base los registros históricos de inundaciones, estos eventos, algunos estaban directamente relacionados con la Quebradas Los Limones al occidente del municipio y otros se relacionaron con la escorrentía de las aguas lluvias y el desbordamiento del canal aguas lluvias al norte del municipio. Las áreas de acuerdo a la topografía del terreno podrían ser afectadas por inundaciones, es decir las áreas en color rojo son las más bajas del municipio del barrio o sectores, se puede inferir que podrían ser las áreas que se han afectado por los eventos de inundaciones, las áreas en amarillo podrían ser afectados si los eventos de inundación son más intensos y las áreas de color verde son áreas que tienen baja probabilidad de inundarse, así como las de color blanco o nula.

La Figura 2.15, presenta el mapa de zonificación de eventos históricos de inundación en la zona urbana el municipio de Zarzal, en el cual se presentan yuxtapuesta la información de la espacialización de los eventos por inundación puntuales y los registros de los barrios que han sido más afectados.

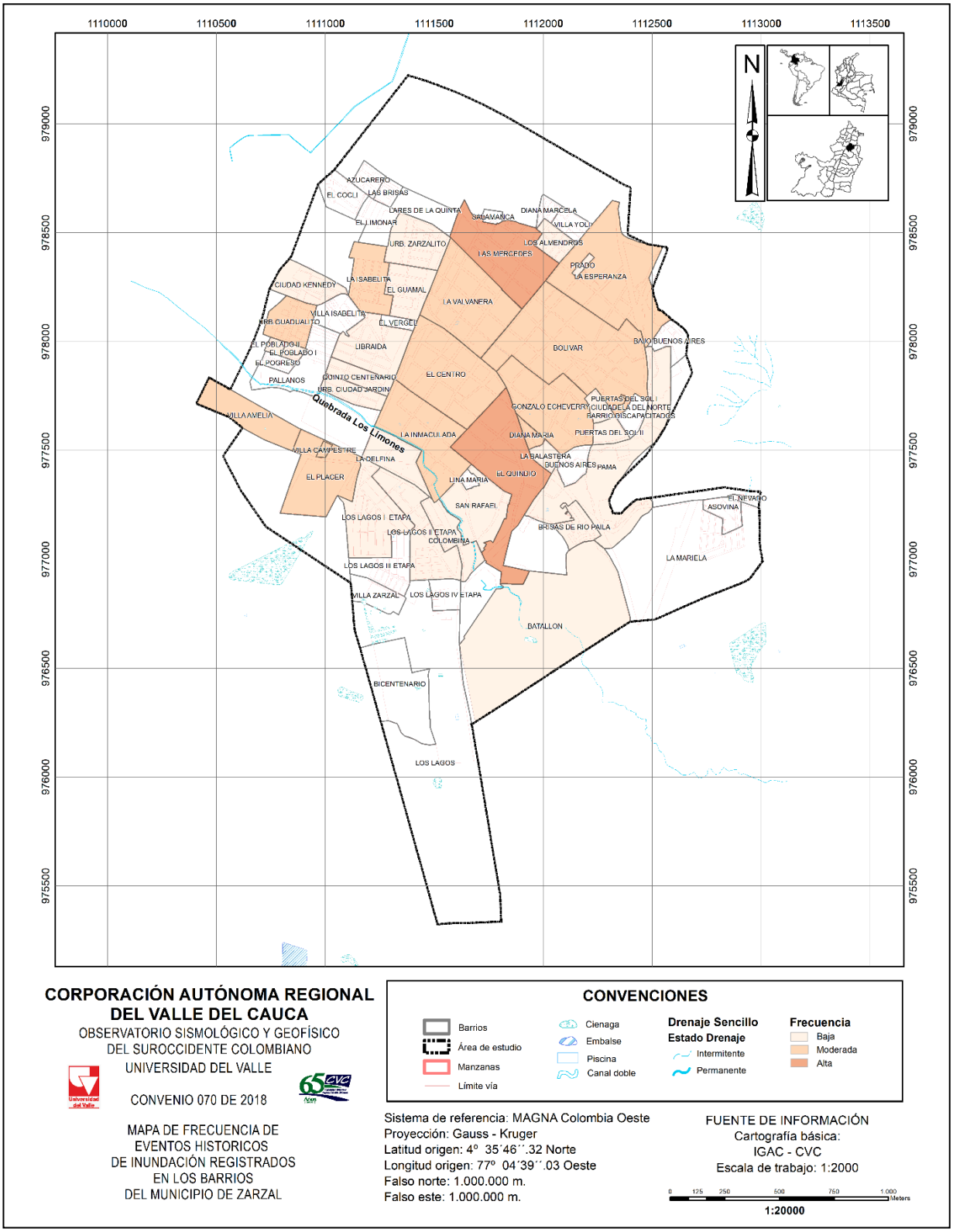


Figura 2.13. Mapa de reportes históricos de eventos de inundación fluvial y pluvial por barrio en la zona urbana del Municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

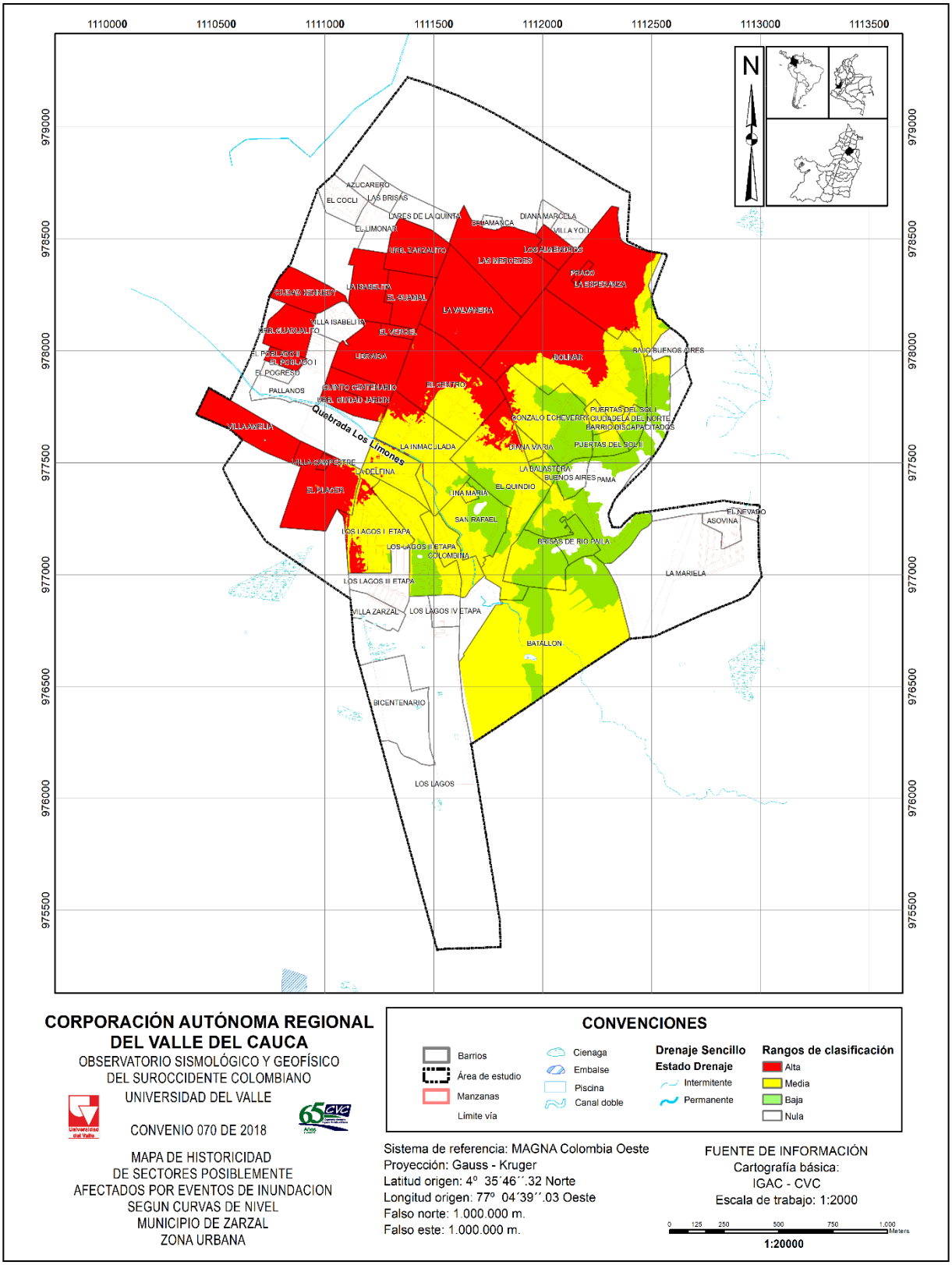


Figura 2.14. Mapa de historicidad de sectores posiblemente afectados por eventos de Inundación según curvas de nivel del Municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

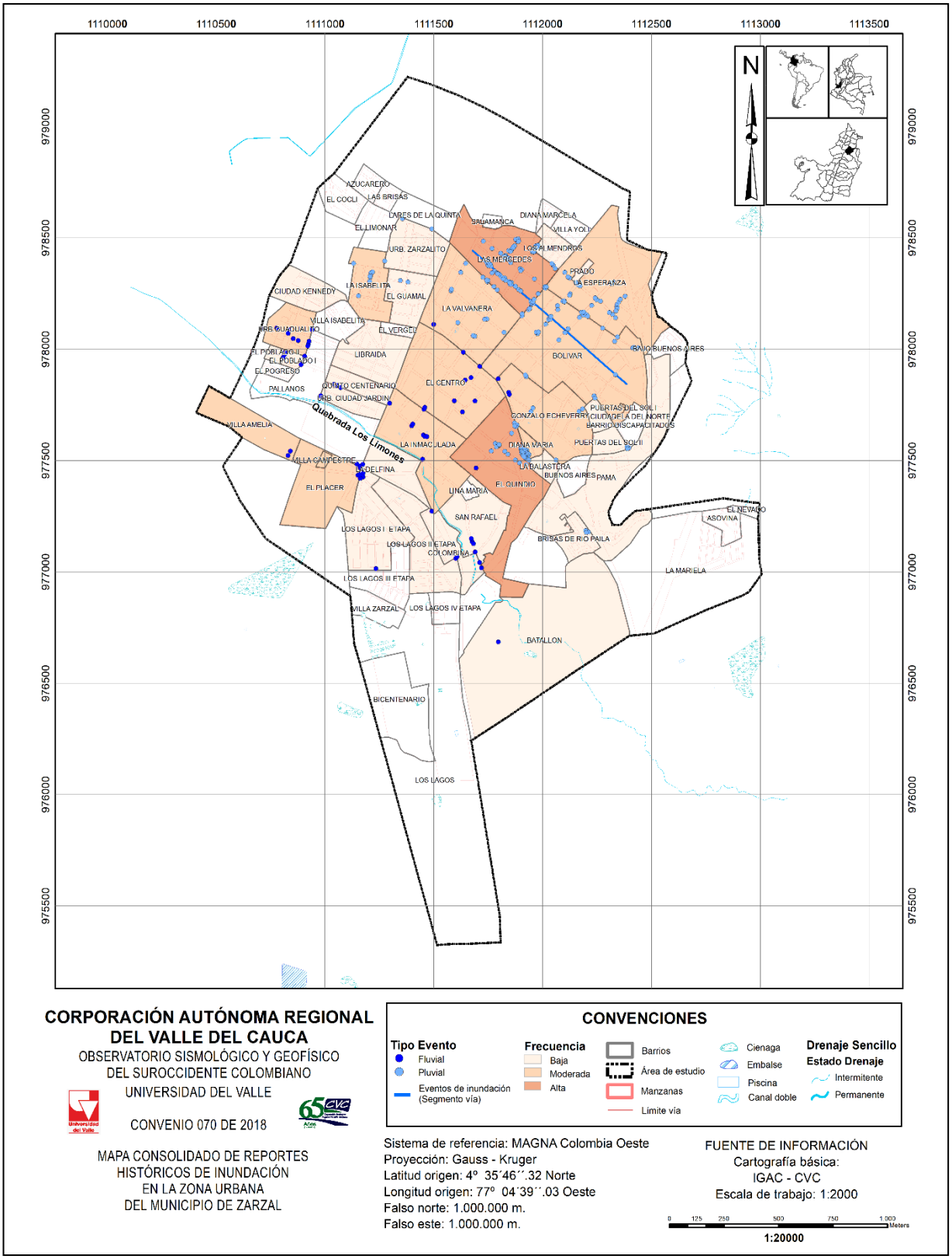


Figura 2.15. Mapa Consolidado de reportes históricos de inundación fluvial y pluvial en la zona urbana del Municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

2.2.1.4. Inventario general de reportes por eventos históricos de inundaciones de la zona urbana del municipio de Zarzal periodo 1980 hasta abril de 2019

En la Tabla 2.4, se presenta el inventario general de los eventos históricos de inundaciones en la zona urbana del municipio de Zarzal, el periodo 1980 hasta abril de 2019.

A continuación, se describe el contenido de la tabla:

1. ID: es el número de la ficha del evento

Fecha del evento:

2. Día/mes/año
3. Afluente: es el río, quebrada o zanjón que ha afectado la zona urbana del municipio
4. Tipo de Inundación

Localización

5. Urbana: es el lugar que afecto el evento
6. Barrio: lugar que fue afectado por el evento
7. Dirección: lugar que fue afectado por el evento
8. Causa: cuál es el origen del evento, si es por desbordamiento o fuertes lluvias

Afectaciones

9. N° Viviendas Afectadas: cantidad de viviendas que se reportan
10. N° Damnificados: cantidad de personas que se vieron afectados
11. Pérdidas Económicas: son los enseres, cosechas, daño de infraestructuras
12. Otros: daños o afectaciones
13. Observaciones: información que se considere importante
14. Tipo de fuente de información: si es documento, libro, periódico, base de datos
15. Localización: Lugar donde se encuentra la información

Tabla 2.4. Inventario de inundaciones en el municipio de Zarzal durante el periodo 1980 hasta abril de 2019

ID	FECHA DEL EVENTO	AFLUENTE	TIPO DE INUNDACIÓN	LOCALIZACIÓN	SECTOR		CAUSA	AFECTACIÓNES				OBSERVACIONES	TIPO DE FUENTE DE INFORMACIÓN	LOCALIZACIÓN
	DÍA/MES/AÑO			URBANA	BARRIO	DIRECCIÓN		N° VIVIENDAS AFECTADAS	N° DAMNIFICADOS	PERDIDAS ECONOMICAS	OTROS			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I-1	22/04/1988	ND	Pluvial	X	Varios Barrios	Calle 15 entre Carrera 5 y 13	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	Varias Viviendas	ND	ND	ND	Se presento inundaciones en varios barrios del perimetro urbano	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-2	14/03/1989	Quebrada o Zanjón Los Limones	Fluvial - Pluvial	X	Varios Barrios	Varios Barrios	Desbordamiento de la Quebarad o Zanjón Los Limones y por el colapso del sistema de alcantarillado.	Varias Viviendas	ND	ND	ND	Los Bomberos de Roldanillo apoyaron en las inundaciones del municipio	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-3	03/04/1989	ND	Pluvial	X	Bolivar	Carrera 10 con Calle 15	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	Varias Viviendas	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-4	05/02/1990	ND	Pluvial	X	Bolivar	ND	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	Varias Viviendas	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-5	21/04/1993	ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 #6-31	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Calle 17 entre Carrera 9 y 10	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	Varias Viviendas	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-6	01/05/1993	ND	Pluvial	X	Bolivar	Carrera 8 #16-27	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Calle 17 #7-95 Agencia Postobón	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	Varias Viviendas	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Calle 17 entre Carrera 9 y 10	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	Varias Viviendas	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Bolivar	Carrera 8 #15-69	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-7	13/05/1993	ND	Pluvial	X	Bolívar	ND	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	Varias Viviendas	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-8	29/11/1993	ND	Pluvial	X	La Esperanza	Calle 17 #9-71	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Calle 17 #9-84	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	2 familias	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-9	13/03/1994	ND	Pluvial	X	Urb. Zarzalito	Calle 14 entre Carrera 15 y 14	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	Varias Viviendas	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-10	20/04/1994	ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 con Carrera 6 y 7	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	Varias Viviendas	ND	ND	ND	Se presenta inundación en el perímetro urbano	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 #6-52	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	Se presenta inundación en el perímetro urbano	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-11	23/05/1994	ND	Pluvial	X	El Guamal	Varios Barrios	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	ND	ND	ND	ND	Se presenta inundación en el perímetro urbano	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial		La Esperanza	Carrera 10 con Calle 16 esquina	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	ND	ND	ND	ND	Se presenta inundación en el perímetro urbano	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	La Inmaculada	Carrera 10 -7	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	ND	ND	ND	ND	Se presenta inundación en el perímetro urbano	Archivo - Minuta de Guardia.	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-12	20/06/1994	ND	Pluvial	X	Varios Barrios	Carrera 11	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	ND	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Varios Barrios	Carrera 16	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	ND	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Varios Barrios	Carrera 17	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	ND	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal

ID	FECHA DEL EVENTO DÍA/MES/AÑO	AFLUENTE	TIPO DE INUNDACIÓN	LOCALIZACIÓN	SECTOR		CAUSA	AFECTACIÓNES				OBSERVACIONES	TIPO DE FUENTE DE INFORMACIÓN	LOCALIZACIÓN
				URBANA	BARRIO	DIRECCIÓN		N° VIVIENDAS AFECTADAS	N° DAMNIFICADOS	PERDIDAS ECONOMICAS	OTROS			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I-13	26/02/1995	ND	Pluvial	X	Quindio	Calle 9	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	ND	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Bolivar	Carrera 10 con Calle 16	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	Varias Viviendas	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Los Lagos	Calle 5	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	ND	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Quindio	I.E. Sagrado Corazón de Jesús Calle 9 #7-52	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	ND	ND	ND	ND	Afectada la I.E. Sagrado Corazón de Jesús Calle 9 #7-52	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-14	07/03/1995	ND	Pluvial	X	La Valvanera	I.E. Efraín Varela Vaca (al frente) Carrera 10 # 12-01	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	ND	ND	ND	ND	Afectada la I.E. Efraín Varela Vaca (al frente) Carrera 10 # 12-01	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindío	Calle 10 entre Carreras 6 y 7	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	Varias Viviendas	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 16 #12-02	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	Guarderia	ND	ND	Afectada la guardería	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Gonzalo Echeverry	Calle 11 #7-18	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-15	01/04/1995	ND	Pluvial	X	Pama	ND	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	ND	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Bolivar	ND	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	ND	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Bolivar	Carrera 8 #15-69	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Valvanera	Carrera 13 #13-77	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Valvanera	Carrera 13 #13A-50	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 #7-36	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 9C #7-43	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-16	30/07/1995	ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 con Carrera 6	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Calle 17 #8-81	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Bolivar	Carrera 8 #16-55	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Quindío	I.E. Sagrado Corazón de Jesús Calle 9 #7-52	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	ND	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Carrera 12 #16-46	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-17	11/04/1996	ND	Pluvial	X	La Valvanera	Calle 12 #12-50	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-18	03/09/1996	ND	Pluvial	X	Bolívar	ND	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	ND	ND	ND	ND	Se presenta inundacion por Postobon	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 8 Por Postabón	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	ND	ND	ND	ND	Se presenta inundacion por Postobon	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-19	04/10/1996	Quebrada Los Limones	Fluvial	X	San Rafael	Calle 6 #5-10	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	ND	ND	ND	ND	Se salio una tuberia	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal

ID	FECHA DEL EVENTO DÍA/MES/AÑO	AFLUENTE	TIPO DE INUNDACIÓN	LOCALIZACIÓN	SECTOR		CAUSA	AFECTACIÓNES				OBSERVACIONES	TIPO DE FUENTE DE INFORMACIÓN	LOCALIZACIÓN
				URBANA	BARRIO	DIRECCIÓN		N° VIVIENDAS AFECTADAS	N° DAMNIFICADOS	PERDIDAS ECONOMICAS	OTROS			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
I-20	22/10/1996	Quebrada Los Limones	Fluvial	X	El Centro	Sector de La Galeria	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	ND	ND	ND	ND	Se presenta inundacion por el sector	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-21	08/05/2000	ND	Pluvial	X	Bolivar	Carrera 10#14-44	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Calle 17 #9-71	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	5 adultos 5 menores	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Los Lagos I Etapa	Calle 5 Parque Recreacional	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	ND	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-22	26/09/2000	ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 8 #17-25	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	4 niños 3 adultos	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 #7-30	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Valvanera	Carrera 11 #13-55	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-23	19/05/2001	ND	Pluvial	X	Urb. Zarzalito	ND	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	5 adultos	ND	ND	Despues de atender la emergencia en el municipio, se trasladaron para el municipio de la Victoria a colobarar con la inundación	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-24	19 07 2001	Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Los Lagos I Etapa	ND	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-25	26/07/2001	Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Batallón	Calle 5 #4-66	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	4	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Colombina	Calle 5 #4-36	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	10	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Gonzalo Echeverry	Calle 12 #4-21	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Gonzalo Echeverry	Calle 10 #6-43	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	5	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 5	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	ND	ND	ND	Central de Maderas	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-26	30/07/2001	Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Colombina	Calle 5 #4-66	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	6	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	El Placer	Calle 5	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	5	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-27	15/03/2002	Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Los Lagos I Etapa	Carrera 12 #4-66	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-28	05/07/2002	ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Carrera 11 #15-01	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Carrera 12 #16-46	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Bolivar	Calle 15 #5-37	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Puertas del Sol II	Calle 14 #4-07	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal

ID	FECHA DEL EVENTO DÍA/MES/AÑO	AFLUENTE	TIPO DE INUNDACIÓN	LOCALIZACIÓN	SECTOR		CAUSA	AFECTACIÓNES				OBSERVACIONES	TIPO DE FUENTE DE INFORMACIÓN	LOCALIZACIÓN
				URBANA	BARRIO	DIRECCIÓN		N° VIVIENDAS AFECTADAS	N° DAMNIFICADOS	PERDIDAS ECONOMICAS	OTROS			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		ND	Pluvial	X	Bolivar	Calle14 casa del subteniente Alberto Agudelo	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	La casa del subteniente Alberto Agudelo se encuentra inundadada	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Bolivar	Carrera 8 #12-33 La Universidad	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Urb. Zarzalito	ND	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	ND	2 adultos dos niños	ND	ND	Piden ayuda por los lados de zarzalito y Por los lados de pueblo Nuevo	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Guamal	ND	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	3 adultos 6 niños	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Valvanera	Calle 13 bis	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Valvanera	Carrera 12 #14-69	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 8 #16-74	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	La Inmaculada	Carrera 11 con Calle 8 por Yamaha	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 #6-57 Los lados de los mormones	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Calle 17 #7-27	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	3 adultos 5 niños	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 15 #10-50	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Carrera 11 #15-03	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 8 #16-30	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Carrera 10 #14-44	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 15 #12-22 Matadero viejo	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	6 niños 7 adultos	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 15 #11- 45	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	3 adultos 2 niños	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Bolivar	Carrera 9 #15-37	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	3 adultos 2 niños	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Bolivar	Carrera 9 #15-30	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Bolivar	Calle 14 con Carrera 9	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	La panaderia Pan Caliente #3 fue afectada por la inundación	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Bolivar	Carrera 8 #16-64	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	5 adultos 2 niños	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Bolivar	Calle 15 #9-58	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	10 adultos 12 niños	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 9 #6-49	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-29	10/10/2002	Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Los Lagos I Etapa	Carrera 8 #2-33	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	2 familias	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 9 #7-53	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal

ID	FECHA DEL EVENTO DÍA/MES/AÑO	AFLUENTE	TIPO DE INUNDACIÓN	LOCALIZACIÓN	SECTOR		CAUSA	AFECTACIÓNES				OBSERVACIONES	TIPO DE FUENTE DE INFORMACIÓN	LOCALIZACIÓN
				URBANA	BARRIO	DIRECCIÓN		N° VIVIENDAS AFECTADAS	N° DAMNIFICADOS	PERDIDAS ECONOMICAS	OTROS			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 14 con Carrera 12 esquina	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	ND	ND	ND	ND	Se encuentran inundados	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 # 6-55	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	Se encuentran inundados	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Bolivar	Calle 14 # 9-34	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Bolivar	Carrera 9 # 15-30 bis	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Placer	Frente al Coliseo	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	ND	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 17 #12-99	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 #6-87	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Los Lagos I Etapa	Carrera 12 # 4-66	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	También se inundó la Cancha de Tejo el Samán	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	La Inmaculada	Calle 7 # 9-86	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	La Inmaculada	Calle 7 # 9-66	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	La Inmaculada	Calle 7 # 9-90	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 # 6-17	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 # 6-99	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 # 6-89	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 # 6-87	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 # 6-57	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 # 6-54	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Balastera	Calle 10 # 6-65	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 # 6-55	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 # 6-61	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Placer	Carrera 14 #4-80	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Placer	Carrera 14 #4-90	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Valvanera	Carrera 11 #13-105	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal

ID	FECHA DEL EVENTO DÍA/MES/AÑO	AFLUENTE	TIPO DE INUNDACIÓN	LOCALIZACIÓN	SECTOR		CAUSA	AFECTACIÓNES				OBSERVACIONES	TIPO DE FUENTE DE INFORMACIÓN	LOCALIZACIÓN
				URBANA	BARRIO	DIRECCIÓN		N° VIVIENDAS AFECTADAS	N° DAMNIFICADOS	PERDIDAS ECONOMICAS	OTROS			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 17 #12-99	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Gonzalo Echeverry	Calle 11 con Carrera 8	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	ND	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Bolívar	Calle 14 # 9-34	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	7 adultos 1 niña	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	El Centro	Calle 11 #11-28	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	ND	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 17 #12-40	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 adulto	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Gonzalo Echeverry	Calle 16 # 8-76	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	ND	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Bolívar	Carrera 9bis # 15-30	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Los Lagos I Etapa	Carrera 12 # 4-66	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	ND	5 adultos 3 niños	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	El Placer	Carrera 14 # 4-86	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	ND	1 adulto 4 niños	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	El Placer	Carrera 14 # 4-90	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	ND	1 adultos 5 niños	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	El Centro	Carrera 9 entre Calle 9 y 15	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	ND	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 Con Carrera 7 Esquina Los Mormones	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	ND	ND	ND	Rescate de personas	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-30	12/12/2003	Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Centro	La Emsora	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	ND	ND	ND	ND	Antiguas instalaciones de la emisora	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Bolívar	Calle 14 #4-179	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	17 niños 14 adultos	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-31	20/10/2004	ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 16 #12-02	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	6 niños 2 adultos	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Valvanera	Calle 13 #13-12	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	4 adultos 1 niño	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-32	21/11/2006	Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Villa Amelia	ND	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	ND	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Gonzalo Echeverry	Calle 11 #7-68	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-33	27/11/2006	ND	Pluvial	X	El Quindío	Calle 10 con Carrera 7 Los Mormones	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	ND	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 16 #11-60	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	5	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-34	09/05/2007	ND	Pluvial	X	Los Almendros	Calle 17 #11-18	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	3	Pérdida de muebles y enseres	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal

ID	FECHA DEL EVENTO DÍA/MES/AÑO	AFLUENTE	TIPO DE INUNDACIÓN	LOCALIZACIÓN	SECTOR		CAUSA	AFECTACIÓNES				OBSERVACIONES	TIPO DE FUENTE DE INFORMACIÓN	LOCALIZACIÓN
				URBANA	BARRIO	DIRECCIÓN		N° VIVIENDAS AFECTADAS	N° DAMNIFICADOS	PERDIDAS ECONOMICAS	OTROS			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		ND	Pluvial	X	Los Almendros	Calle 17 #11-20	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	5	Pérdida de muebles y enseres	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Los Almendros	Calle 17 #11- 34	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1	Pérdida de muebles y enseres	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Los Almendros	Calle 17 #11-38	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	8	Pérdida de muebles y enseres	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Carrera 12 #17-65	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	10	Pérdida de muebles y enseres	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	El Centro	Carrera 10 #10-57	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	3	Pérdida de muebles y enseres	ND	Drogas super éxito	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	El Centro	Carrera 10 con Calle 11 esquina	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	ND	Pérdida de muebles y enseres	ND	Estanco Polar	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 17 #11-14	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	6	Pérdida de muebles y enseres	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Brisas	Calle 17 #17-00	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	7	Pérdida de muebles y enseres	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Carrera 12 Calle 17	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	8	Pérdida de muebles y enseres	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 17 #12-22	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	5	Pérdida de muebles y enseres	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Carrera 12 #16-70	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	3	Pérdida de muebles y enseres	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Carrera 12B #16-58	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1	Pérdida de muebles y enseres	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Carrera 11 #15-45	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	Pérdida de muebles y enseres	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Carrera 12B #16-46	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	4	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	San Rafael	Calle 5 con Carrera 7	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	ND	Pérdida de muebles y enseres	ND	Hospital San Rafael	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Villa Amelia	Casa 6 lote 2	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	2	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	El Centro	ND	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	ND	ND	ND	ND	La Alcaldia	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Diana María	Calle 10 #6-25	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	5	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Diana María	Calle 10 #6-49	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	2	Pérdida total de enseres	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Diana María	Calle 10 #6-53	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	3	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Pama	Carrera 3 #9-39	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Placer	Calle 5 # 14A - 17	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	5	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal

ID	FECHA DEL EVENTO DÍA/MES/AÑO	AFLUENTE	TIPO DE INUNDACIÓN	LOCALIZACIÓN	SECTOR		CAUSA	AFECTACIÓNES				OBSERVACIONES	TIPO DE FUENTE DE INFORMACIÓN	LOCALIZACIÓN
				URBANA	BARRIO	DIRECCIÓN		N° VIVIENDAS AFECTADAS	N° DAMNIFICADOS	PERDIDAS ECONOMICAS	OTROS			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 9 #7-43	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Libraida	Calle 9 #15-14	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Ciudad del Norte	Calle 14 #5-22	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	4	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Ciudad del Norte	Calle 14 #5-10	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	5	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 #6-25	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	5	Pérdida de colchón	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 #6-31	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	4	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 #6-51	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	8	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 #6-37	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	3	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 #6-63	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	5	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 #6-43	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	5	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 #6-54	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	5	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 #6-55	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	3	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 #6- 61	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	4	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 #6-65	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	8	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 #6-57	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	5	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 #6-57	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	3	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 #6-85	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	4	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Carrera 7 #9-86	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Carrera 7 #9-96	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	2	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 #6-87	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	2	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 #6-89	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	5	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Calle 10 #6-99	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	4	Pérdida de electrodomésticos y colchones	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Bolívar	Calle 16 #10-79	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	4	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 16 #11-59	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	10	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal

ID	FECHA DEL EVENTO DÍA/MES/AÑO	AFLUENTE	TIPO DE INUNDACIÓN	LOCALIZACIÓN	SECTOR		CAUSA	AFECTACIÓNES				OBSERVACIONES	TIPO DE FUENTE DE INFORMACIÓN	LOCALIZACIÓN
				URBANA	BARRIO	DIRECCIÓN		N° VIVIENDAS AFECTADAS	N° DAMNIFICADOS	PERDIDAS ECONOMICAS	OTROS			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 10 #15-42	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	3	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 10 #15-07	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	9	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Carrera 7 #9-54	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	7	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Carrera 7 #9-66	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	3	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Isabelita	Calle 13A #16-20	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Valvanera	Carrera 12 #14-40	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Gonzalo Echeverry	Calle 11 #7-53	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 17 #11-20	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	2	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-35	02/06/2007	Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Varios Barrios	Varios Barrios	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	Varias Viviendas	ND	ND	Pérdida de cultivos y viviendas	Inundaciones en varios Municipios	Diario El País	Hemeroteca Biblioteca Departamental Joge Garcés Borrero
		ND	Pluvial	X	Bolivar	Carrera 9 #16-28	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	7	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Bolivar	Carrera 9 #16-19	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	7	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 17 #11-34	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	18	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 17 #11-38	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	7	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Valvanera	Calle 12 #11-40	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	4	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-36	08/07/2007	ND	Pluvial	X	La Valvanera	Calle 12 #11-42	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	3	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Brisas de Rio Paila	Calle 10 #1A-23	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	4	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Brisas de Rio Paila	Calle 10 # 0- 28	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	13	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Brisas de Rio Paila	Calle 10 #1A-37	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	13	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Brisas de Rio Paila	Calle 10 #1A-25	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	7	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 17 #11-20	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	4	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 17 #11-34	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	18	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-37	23/04/2008	ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 17 #11-38	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	5	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Carrera 12 #16-70	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	5	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Carrera 12 #16-46	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	15	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal

ID	FECHA DEL EVENTO DÍA/MES/AÑO	AFLUENTE	TIPO DE INUNDACIÓN	LOCALIZACIÓN	SECTOR		CAUSA	AFECTACIÓNES				OBSERVACIONES	TIPO DE FUENTE DE INFORMACIÓN	LOCALIZACIÓN
				URBANA	BARRIO	DIRECCIÓN		N° VIVIENDAS AFECTADAS	N° DAMNIFICADOS	PERDIDAS ECONOMICAS	OTROS			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		ND	Pluvial	X	La Isabelita	Calle 13 con Carrera 16	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	ND	ND	ND	ND	Levantamiento de tapas de alcantarilla	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Carrera 11 #15-45	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	3	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Carrera 12 #16-46	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	5	Pérdida de colchones	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Carrera 12 #16-70	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	6	Pérdida de colchones, nevera y enseres	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 16 #11-59	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	6	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Carrera 12 #17-11	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	4	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-38	17/07/2008	ND	Pluvial	X	La Isabelita	Calle 13 #19-84	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	4	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 9 #16-70	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1	Pérdida de colchones	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Bolivar	Calle 16 #10-112	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	7	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 17 #11-38	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	Párdida de colchones, nevera y enseres	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Bolívar	Carrera 8 con Calle 14 y 15	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	ND	ND	ND	Se afectó la Iglesia católica Las Mercedes	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Urb. Zarzalito	Calle 14A #16-64	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	11	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-39	17/01/2009	ND	Pluvial	X	Bolívar	Carrera 8 #12-55	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-40	11/02/2009	ND	Pluvial	X	Bolívar	Calle 16 #7-58	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Carrera 5 #10-20	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	2 familias	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Los Mormones	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	ND	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-41	26/12/2009	Quebrada Los Limones	Fluvial	X	El Centro	Institución Normal Superior Nuestra Señora De Las Mercedes de Zarzal Carrera 11 con Calle 11	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	ND	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-42	04/05/2010	Quebrada Los Limones	Fluvial	X	ND	Varios Barrios	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	9	ND	ND	ND	Taponamiento de vias y alcantarillas en zona rural y urbana	Diario El País	Hemeroteca Biblioteca Departamental Joge Garcés Borrero
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 8 #19-25	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 8 #19-25	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-43	26/11/2010	ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 6 #16-60	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	El Quindío	Calle 6 #6-12	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Bolívar	Calle 16 #5-53	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal

ID	FECHA DEL EVENTO DÍA/MES/AÑO	AFLUENTE	TIPO DE INUNDACIÓN	LOCALIZACIÓN	SECTOR		CAUSA	AFECTACIÓNES				OBSERVACIONES	TIPO DE FUENTE DE INFORMACIÓN	LOCALIZACIÓN
				URBANA	BARRIO	DIRECCIÓN		N° VIVIENDAS AFECTADAS	N° DAMNIFICADOS	PERDIDAS ECONOMICAS	OTROS			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Gonzalo Echeverry	Calle 11 #8-15	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Bolivar	Calle 16 #5-73	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Gonzalo Echeverry	Carrera 7 #11-20	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Calle 17 #6-17	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 16 #12-86	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	El Placer	Calle 5 #14-81	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Los Almendros	Calle 17 #10A-04	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Bolivar	Carrera 14 #7-79	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Calle 17 #9-49	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	El Placer	Calle 5 #14-81	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Carrera 13 #15-05	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Colombina	Carrera 5 #7-47	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Buenos Aires	Casa 8	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Isabelita	Calle 11 #18-47 Sector El Accerio	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Calle 16 #8-76	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Calle 16 #8-76	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Gonzalo Echeverry	Carrera 9 #11-29	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Lares de la Quinta	Calle 16C #16-82	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Bolivar	Calle 16 #5-43	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Bolivar	Calle 16 #5-01	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	El Centro	Calle 10 #10-36	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Ciudad Kennedy	ND	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	ND	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal

ID	FECHA DEL EVENTO DÍA/MES/AÑO	AFLUENTE	TIPO DE INUNDACIÓN	LOCALIZACIÓN	SECTOR		CAUSA	AFECTACIÓNES				OBSERVACIONES	TIPO DE FUENTE DE INFORMACIÓN	LOCALIZACIÓN
				URBANA	BARRIO	DIRECCIÓN		N° VIVIENDAS AFECTADAS	N° DAMNIFICADOS	PERDIDAS ECONOMICAS	OTROS			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	El Poblado I	Carrera 20 #7-05	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 17 #10-93	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Valvanera	Carrera 13 #10-37	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Bolivar	Carrera 6 #14A-26	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Guamal	Calle 12 #15-04	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Guamal	Calle 12 #15A-73	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Colombina	Calle 6 #5A-103	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Bajo Buenos Aires	Manzana 1 Casa 10	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	El Centro	Calle 10bis #10-28	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Urb. Ciudad Jardin	Carrera 17 #6-36	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Bolivar	Calle 16 #5-05	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	San Rafael	ND	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	ND	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Isabelita	ND	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	ND	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Valvanera	Calle 14 con Carrera 12	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	ND	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Guamal	ND	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	ND	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	La Inmaculada	Carrera 10 con Calle 6	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	ND	ND	ND	ND	Solicitud del CBV a la Policia para controlan el trafico por desbordamiento del Zanjón	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-44	27/04/2011	ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Carrera 12 #16-46	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	4 adultos y 4 menores	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Carrera 12 #16-58	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	4 adultos	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Carrera 12 #16-31	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Carrera 12 #16-70	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	4 adultos 2 menores	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 15 #11-44	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	2 adultos 3 menores	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 15 #11-62	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	5 adultos 1 menor	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal

ID	FECHA DEL EVENTO DÍA/MES/AÑO	AFLUENTE	TIPO DE INUNDACIÓN	LOCALIZACIÓN	SECTOR		CAUSA	AFECTACIÓNES				OBSERVACIONES	TIPO DE FUENTE DE INFORMACIÓN	LOCALIZACIÓN
				URBANA	BARRIO	DIRECCIÓN		N° VIVIENDAS AFECTADAS	N° DAMNIFICADOS	PERDIDAS ECONOMICAS	OTROS			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Carrera 12 #14-33	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	6 adultos 2 menores	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 14 #11-46	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	4 adultos 3 menores	1 nevera y 1 torre de computador	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 14 #11-30	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	5 personas	Pérdida de mercados y de ensere	ND	casa de inquilinato	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 15 #11-56	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	2 familias	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	La Colombina	ND	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 familia	ND	ND	reportó a la defensa civil y al señor Arcesio para reubicar la familia	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Calle 17 #9-86	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	El capitán Horacio Umaña informa que cayeron 90 milímetros de agua	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 15 #12-46	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	6 adultos 4 menores	Pérdida de nevera y lavadora	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Bolivar	Carrera 10 #14-44	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	4 adultos 1 menor	Pérdida neveras y colchones	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Bolivar	Carrera 10 #14-36	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 adulto	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	San Rafael	Calle 6 #6A-50	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	2 adultos	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	San Rafael	Calle 6 #6A-32	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	2 adultos y 3 menores	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Villa Amelia	Manzana A Casa 7	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	2 adultos	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Villa Amelia	Manzana A Casa 6	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	2 adultos y 2 menores	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Villa Amelia	Manzana A Casa 5	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	2 adultos 2 menores	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 9 #16-28	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	3 adultos	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 8 #16-46	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	8 adultos 3 menores	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 9 #16-39	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	5 adultos 3 menores	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Bolivar	Carrera 9 #15-54	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 persona	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 15 #12-25	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	8 adultos	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 15 #12-25	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	4 personas	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Carrera 13 #17-65	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 adulto 4 menores	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 15 #12-22	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	8 adultos	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal

ID	FECHA DEL EVENTO	AFLUENTE	TIPO DE INUNDACIÓN	LOCALIZACIÓN	SECTOR		CAUSA	AFECTACIÓNES				OBSERVACIONES	TIPO DE FUENTE DE INFORMACIÓN	LOCALIZACIÓN
	DÍA/MES/AÑO			URBANA	BARRIO	DIRECCIÓN		N° VIVIENDAS AFECTADAS	N° DAMNIFICADOS	PERDIDAS ECONOMICAS	OTROS			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 15 #12-46	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	4 adultos	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Bolivar	Calle 16 #11-49	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 adulto	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	El Guamal	ND	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	ND	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Urb. Zarzalito	Calle 13 bis guardería	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	ND	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	El Centro	Sector de La Galeria	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	ND	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 15 con Carrera 10	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	ND	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Calle 15 con Carrera 7	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	ND	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 15 #11-49	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	2 adultos 3 menores	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 15 #11-56	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	6 adultos 1 menores	Pérdida de enseres perdidos 1 peinador, 2 colchones, 1 torre de computador y 1 nevera	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 15 #11-62	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	4 adultos 1 menor	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 15 #12-22	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	4 adultos 4 menores	Pérdida de colchones	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-45	08/02/2012	ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 15 #11-65	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 15 #11-68	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	La motobomba se utilizo trabajo 5 horas y media	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Bolivar	Carrera 9 #15-58	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	5 adultos 5 niños	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	El Centro	Carrera 9 #9-03	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	5 adultos un niño	ND	ND	local tienda	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 9 #16-28	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	3 adultos 3 niños	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Bolivar	Carrera 9 #15-54	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 adulto	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 16 #12-14	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	3 adultos 1 niña	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 16 #12-95	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	3 adultos	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 16 #12 -112	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	4 adultos	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 15 #10-84	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	4 niños 4 adultos	Agua en toda la casa	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 15 #10-28	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	10 adultos 8 niños	Pérdida de 3 colchones	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal

ID	FECHA DEL EVENTO DÍA/MES/AÑO	AFLUENTE	TIPO DE INUNDACIÓN	LOCALIZACIÓN	SECTOR		CAUSA	AFECTACIÓNES				OBSERVACIONES	TIPO DE FUENTE DE INFORMACIÓN	LOCALIZACIÓN
				URBANA	BARRIO	DIRECCIÓN		N° VIVIENDAS AFECTADAS	N° DAMNIFICADOS	PERDIDAS ECONOMICAS	OTROS			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Carrera 10 #15-07	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	2 adultos 2 niños	Pérdida de 2 colchones	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Carrera 10 #15-42	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	3 adultos 1 niño	Agua en toda la casa	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Carrera 12 # 16-58	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	3 adultos un niño	Agua en toda la casa	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Carrera 12 #16-46	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	5 adultos 4 niños	Pérdida de colchones	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Carrera 12 #16-46	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	5 adultos 4 niños	Agua en toda la casa	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 16 #10-44	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	4 adultos 2 niños	Agua en toda la casa	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 16 #11-45	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	3 adultos 4 niños	Pérdida de poltronas, lavadora y colchones	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-46	26/12/2013	Quebrada o Zanjón Los Limones	Fluvial - Pluvial	X	Varios Barrios	Varios Barrios	Desbordamiento de la Quebarad o Zanjón Los Limones y por el colapso del sistema de alcantarillado.	Varias Viviendas	ND	ND	ND	Inundación en varios municipios del departamento del Valle del Cauca	Diario El País	Hemeroteca Biblioteca Departamental Joge Garcés Borrero
		ND	Pluvial	X	Las Brisas	Calle 14 #17-11	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	Se levantaron tapas de alcantarilla	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 16 #11-94	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	Se levantaron tapas de alcantarilla	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Isabelita	Carrera 17 #11-111	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Isabelita	Carrera 17 #11-118	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Isabelita	Carrera 17 #11-103	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-47	06/01/2014	ND	Pluvial	X	La Isabelita	Carrera 17 #11-93	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Isabelita	Carrera 17 #11-78	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Isabelita	Carrera 17 #11-57	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 15 #12–22	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 15 #12-31	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 15 #12-39	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	El Poblado I	Carrera 19 #7-18	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
I-48	24/04/2016	Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Urb. Guadualito	Carrera 20 #7C-04	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	El Poblado II	Carrera 20 #7-15	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo

ID	FECHA DEL EVENTO	AFLUENTE	TIPO DE INUNDACIÓN	LOCALIZACIÓN	SECTOR		CAUSA	AFECTACIÓNES				OBSERVACIONES	TIPO DE FUENTE DE INFORMACIÓN	LOCALIZACIÓN
	DÍA/MES/AÑO			URBANA	BARRIO	DIRECCIÓN		N° VIVIENDAS AFECTADAS	N° DAMNIFICADOS	PERDIDAS ECONOMICAS	OTROS			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Urb. Guadualito	Carrera 19 #7B-13	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Urb. Guadualito	Carrera 19 #7B-09	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Urb. Guadualito	Carrera 19 #7B-15	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Urb. Guadualito	Calle 8 #19-12	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Urb. Guadualito	Carrera 19B #7B-11	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Urb. Guadualito	Carrera 20B #7B-09	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Urb. Guadualito	Carrera 20 #7B-07	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Villa Amelia	Calle 4 #18-21	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Villa Amelia	Casa 5 Manzana A	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Villa Amelia	Calle 4 #18-15	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Quinto Centenario	Calle 6C #16-81	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Quinto Centenario	Calle 6C #16-73	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Quinto Centenario	Calle 6B #14-68	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	El Centro	Calle 11 con Carrera 10	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	ND	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
I-49	06/05/2016	ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 7 #17-95 Postobón	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	5 adultos 2 menores	Sufrieron daños en armario, camas, nocheros, nevera, lavadora, estufa, ropa, colchones, ventilador y remesa.	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo de Desatres
		ND	Pluvial	X	El Quindio	Carrera 7 #9-86	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	5 adultos	Sufrieron daños en equipo de sonido, colchones, asientos del comedor y otros enseres.	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo de Desatres
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	La Esperanza	Carrera 7 #17-95 oficinas Postobón	Inundación por desbordamiento de la	1	ND	ND	ND	Se afectaron las oficinas de Postobon	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo

ID	FECHA DEL EVENTO DÍA/MES/AÑO	AFLUENTE	TIPO DE INUNDACIÓN	LOCALIZACIÓN	SECTOR		CAUSA	AFECTACIÓNES				OBSERVACIONES	TIPO DE FUENTE DE INFORMACIÓN	LOCALIZACIÓN
				URBANA	BARRIO	DIRECCIÓN		N° VIVIENDAS AFECTADAS	N° DAMNIFICADOS	PERDIDAS ECONOMICAS	OTROS			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
							Quebrada o Zanjón Limones							
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	La Valvanera	Carrera 13 con Calle 11	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	ND	ND	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
		ND	Pluvial	X	Las Brisas	Carrera 17 #17-26	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo de Desatres
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	El Quindío	Calle 7 #9-90 S/ iglesia de los mormones	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Las Brisas	Calle 17 #16-34	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	ND	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia. Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal. Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	El Poblado II	Carrera 19B #7-09	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	ND	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia. Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal. Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
I-50	07/06/2016	Quebrada Los Limones	Fluvial	X	El Centro	Sector de La Galeria	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	ND	ND	ND	ND	Un colchón taponó la alcantarilla	Archivo - Minuta de Guardia. Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal. Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
		ND	Pluvial	X	Bolivar	Carrera 4A #16-65	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	ND	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia. Archivo OGRD - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal. Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Urb. Guadualito	Carrera 19B #7B-15	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	ND	1 Familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia. Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal. Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
I-51	17/11/2016	Quebrada o Zanjón Los Limones	Fluvial - Pluvial	X	Varios Barrios	Varios Barrios	Desbordamiento de la Quebarad o Zanjón Los Limones y por el colapso del sistema de alcantarillado.	Varias Viviendas	ND	ND	ND	Varios sectores del Municipio sed inundo La Ladrillera San Fernando, La Finca Los Limones y en Villa Auelia	Diario El País	Hemeroteca Biblioteca Departamental Jorge Garcés Borrero
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	El Quindio	Carrera 7 # 7-39	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1 Familia	ND	ND	Riesgo de desplome o colapso	Archivo - Minuta de Guardia. Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal. Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 7 # 17-35	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	Pérdida de colchones	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia. Archivo OGRD - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal. Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Calle 17 # 7-80	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	4	Pérdida de muebles, camas, armario y animales	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia. Archivo OGRD - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal. Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 7 #17-35	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	Pérdida de colchones y nevera	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia. Archivo OGRD - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal. Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
I-52	12/05/2018	ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 7# 17-59	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia. Archivo OGRD - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal. Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 7 #17-65	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia. Archivo OGRD - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal. Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Calle 5 #18-14	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia. Archivo OGRD - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal. Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 7 #17-38	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1	Pérdida de muebles	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia. Archivo OGRD - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal. Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 7 #17-43	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	ND	Pérdida de equipo de sonido y muebles	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia. Archivo OGRD -	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal.

ID	FECHA DEL EVENTO	AFLUENTE	TIPO DE INUNDACIÓN	LOCALIZACIÓN	SECTOR		CAUSA	AFECTACIÓNES				OBSERVACIONES	TIPO DE FUENTE DE INFORMACIÓN	LOCALIZACIÓN
	DÍA/MES/AÑO			URBANA	BARRIO	DIRECCIÓN		N° VIVIENDAS AFECTADAS	N° DAMNIFICADOS	PERDIDAS ECONOMICAS	OTROS			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
													Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Calle 17 #7-52	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	5	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia. Archivo OGRD - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal. Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 7 #17-71	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	10	Pérdida de nevera, colchon y lavadora	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia. Archivo OGRD - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal. Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Batallón del Ejército de Instrucción y Entrenamiento Nº 3	Batallón del Ejército de Instrucción y Entrenamiento Nº 3	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1800	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia. Archivo OGRD - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal. Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	El Poblado I	Carrera 19 #7B-11	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	ND	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	Las Mercedes	Calle 15 #10-50	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	ND	ND	ND	ND	ND	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
I-53	08/10/2018	Quebrada Los Limones	Fluvial	X	San Rafael	Calle 6 #6-50	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	ND	ND	ND	Detrás del hospital y se afecto al Familia Tamayo	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	El Centro	La Galeria	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	Varias Viviendas	ND	ND	ND	Inundaciones en el sector	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		Quebrada Los Limones	Fluvial	X	Batallón del Ejército de Instrucción y Entrenamiento Nº 3	Batallón del Ejército de Instrucción y Entrenamiento Nº 3	Inundación por desbordamiento de la Quebrada o Zanjón Limones	1	1800	ND	ND	El Nivel del agua a 70 cm	Archivo - Minuta de Guardia	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 7 #17-97	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	Computadora y mesa	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo de Desatres
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 7 #17-82	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	Nevera, sala, comedor, televisor, Play 4, cama, peinador, nocheros	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo de Desatres
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 7 #17-71	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	Lavadora equipo de sonido grabadora de sonido colchón	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo de Desatres
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 7 #17-76	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	Colchón y sofácama	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo de Desatres
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 7 #17-70	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	Pérdida total de enseres	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo de Desatres
I-54	19/04/2019	ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 7 #17-65	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	Pérdida total de enseres	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo de Desatres
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 7 #17-63	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo de Desatres
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 7 #17-62	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	Nevera, colchones, lavadora	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo de Desatres
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 7 #17-56	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	Muebles de sala, nevera, lavadora y colchón	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo de Desatres
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 7 #17-53	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	Nevera, refrigerador comercial	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo de Desatres
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 7 #17-49	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	Nevera, sala, grabadora, televisor, colchones, clóset	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo de Desatres

ID	FECHA DEL EVENTO DÍA/MES/AÑO	AFLUENTE	TIPO DE INUNDACIÓN	LOCALIZACIÓN	SECTOR		CAUSA	AFECTACIÓNES				OBSERVACIONES	TIPO DE FUENTE DE INFORMACIÓN	LOCALIZACIÓN
				URBANA	BARRIO	DIRECCIÓN		N° VIVIENDAS AFECTADAS	N° DAMNIFICADOS	PERDIDAS ECONOMICAS	OTROS			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
		ND	Pluvial	X	La Esperanza	Carrera 7 #17-35	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	2 familias	Enseres nevera, colchones, licuadora, equipo de sonido	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo de Desatres
		ND	Pluvial	X	Bolívar	Calle 15 #8-18	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	ND	ND	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo de Desatres
		ND	Pluvial	X	Bolívar	Calle 15 entre Carreras 8 y 9	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	Varias Viviendas	Varias familias	ND	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo de Desatres
		ND	Pluvial	X	Bolívar	Calle 14 #5-22	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo de Desatres
		ND	Pluvial	X	Bolívar	Calle 14 entre Carrera 4 y 5	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	Varias Viviendas	Varias familias	ND	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo de Desatres
		ND	Pluvial	X	El Centro	Calle 10 #11-18	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo de Desatres
		ND	Pluvial	X	El Centro	Carrera 13 con Calle 10	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	ND	ND	ND	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo de Desatres
		ND	Pluvial	X	Gonzalo Echeverry	Calle 11 #4-39	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo de Desatres
		ND	Pluvial	X	Bolívar	Carrera 4 #14-17	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	Pérdida total de enseres	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo de Desatres
		ND	Pluvial	X	San Rafael	Calle 5 #6a-02	Inundación por colapso del sistema de alcantarillado	1	1 familia	ND	ND	ND	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno-Oficina Gestión del Riesgo de Desatres

Fuente: elaboración propia

2.2. EVENTOS DE MOVIMIENTO EN MASA

En esta sección se describe el resultado de la búsqueda documental realizada en las diferentes fuentes descritas anteriormente, considerando los tipos movimiento en masa que se pudieron dar en la zona urbana del municipio.

La información recolectada se constituirá en la base para la identificación y configuración de las posibles zonas de amenaza y afectación por movimiento en masa en el municipio. El resultado del estudio podrá ser incluido en el Plan Municipal de Gestión del Riesgo de Desastres (PMGRD) y a su vez incorporados en el Plan Básico de Ordenamiento Territorial (EOT).

Para el caso de la cabecera del municipio de Zarzal se han identificado afectaciones por movimiento en masa, los cuales se describirán a continuación.

2.2.1. Reporte sobre eventos por Movimiento en Masa

Los eventos históricos de movimiento en masa en el municipio de Zarzal, para el casco urbano registrados durante el periodo de 1980 – abril de 2019, han sido escasos, tan solo se cuentan con 2 registros, de la Oficina de Gestión del Riesgo de Desastres adscrita a la Secretaría de Gobierno, mediante informes de visitas de campo realizados por la Oficina de Gestión del Riesgo en el año del 2016 (Tabla 2.5).

Tabla 2.5. Número de reportes sobre eventos de movimientos en masa en la zona urbana del Municipio de Zarzal, Valle del Cauca, en el periodo comprendido 1980- abril de 2019

AÑO	NÚMERO DE NOTICIAS	AÑO	NÚMERO DE NOTICIAS	AÑO	NÚMERO DE NOTICIAS
1980	0	1994	0	2008	0
1981	0	1995	0	2009	0
1982	0	1996	0	2010	0
1983	0	1997	0	2011	0
1984	0	1998	0	2012	0
1985	0	1999	0	2013	0
1986	0	2000	0	2014	0
1987	0	2001	0	2015	0
1988	0	2002	0	2016	2
1989	0	2003	0	2017	0
1990	0	2004	0	2018	0
1991	0	2005	0	2019	0
1992	0	2006	0		
1993	0	2007	0		
SUBTOTAL	**0**	**SUBTOTAL**	**0**	**SUBTOTAL**	**2**
TOTAL = 2					

Fuente: elaboración propia

2.2.1.1. Descripción de eventos de movimientos en masa

A continuación, se relaciona los reportes asociados con el fenómeno de movimiento en masa la zona de estudio. Los reportes se transcriben de sus fuentes en orden cronológico.

2.2.1.1.1. Actas - Secretaría de Gobierno- Oficina Gestión del Riesgo de Desastre

Movimiento en masa, 07 de junio de 2016

Oficio
BCBV-Z- OC-075
Zarzal Valle del Cauca, junio 08 de 2016
Doctora:
LUZ ELENA LÓPEZ
Alcaldesa Municipal
Zarzal Valle del Cauca
Cordial saludo.

Por orden del señor Comandante Subteniente Diego Aldana, estoy remitiendo este oficio haciendo entrega de la información relacionada con las inundaciones presentadas en el municipio el día 07 de junio de 2016 por colapso del alcantarillado:

1. - calle 17 Nº 16-34
2. - carrera 19B Nº 7-09
3. - plaza de mercado colchón taponando alcantarilla
4. - Carrera 4ª Nº 16-65
5. - carrera 4 Nº 16-35 caída de muro
6. - carrera 19B Nº 7B-15
7. - carrera 4 N º 16-39 agrietamiento debido a un deslizamiento de un barranco
8. - carrera 4 Nº 16-35 colapso de una pared en el patio
9. - carrera 4 Nº 16-29 grietas en una pared del patio
10. -corte de ramas en árbol caído vía Zarzal- Roldanillo

Agradeciendo de antemano la atención prestada a la presente. (Ver Ficha MM-1)

Movimiento en masa, 15 de junio de 2016

Oficio
SG-CMGRD-180.55-560
Zarzal, 15 de Junio de 2016
Doctora:
LUZ ELENA LÓPEZ
Alcaldesa Municipal

ASUNTO: Información sobre afectados deslizamientos sector la Variante.

Para su conocimiento y demás fines pertinentes, por medio de la presente me dirijo a usted con el objetivo de informarle lo siguiente:

Que en atención a solicitud verbal por las habitantes de la vivienda que sufrieron desplome y agrietamientos SANDRA YANETH GIRALDO CASTANO y la señora MARLENI MUÑOZ JIMÉNEZ En la carrera cuarta sector de la variante (Carrera 4 entre Calle 14B y 17 frente al barrio Buenos Aires Bajo); solicitan de manera atenta ser informadas sobre los procesos que usted adelantara para mitigar el riesgo que presentan la viviendas mientras se emiten los conceptos técnicos ya que se sienten con miedo de seguir en las viviendas por miedo a que colapsen.

Cabe recordar que el día lunes se hizo la visita con el Geólogo enviado por la CVC el cual no ha emitido ningún concepto sobre la situación que presenta el terreno dónde sucedió el evento; de manera verbal me expresó que "el deslizamiento fue causado por el relleno que tiene la infraestructura en la parte trasera y el peso del agua hizo que colapsara la pared ya aquietada con anterioridad; de mismo modo me informó que va hacer llegar el documento con el análisis final". Que la posible solución era "terminar de quitar el poco relleno que queda y construir un muro ya que es un riesgo mitigable y no peligro inminente".

Esta oficina sigue a la espera del informe que emitirá el geólogo CVC. (Ver Ficha MM-2)

2.2.1.2. Mapas históricos de movimiento en masa del municipio de Zarzal periodo 1980 hasta abril de 2019

La Figura 2.16, presenta el mapa de reportes de eventos históricos de movimientos en masa puntuales que se han presentado en el barrio Buenos Aires Alto, el sector de La Cruz y el sector de la iglesia La milagrosa de la zona urbana del municipio de Zarzal. La población del barrio Buenos Aires Alto fue reubicado en el barrio Buenos Aires Bajo, sin embargo, al no ser demolidas las viviendas la zona fue ocupada nuevamente.

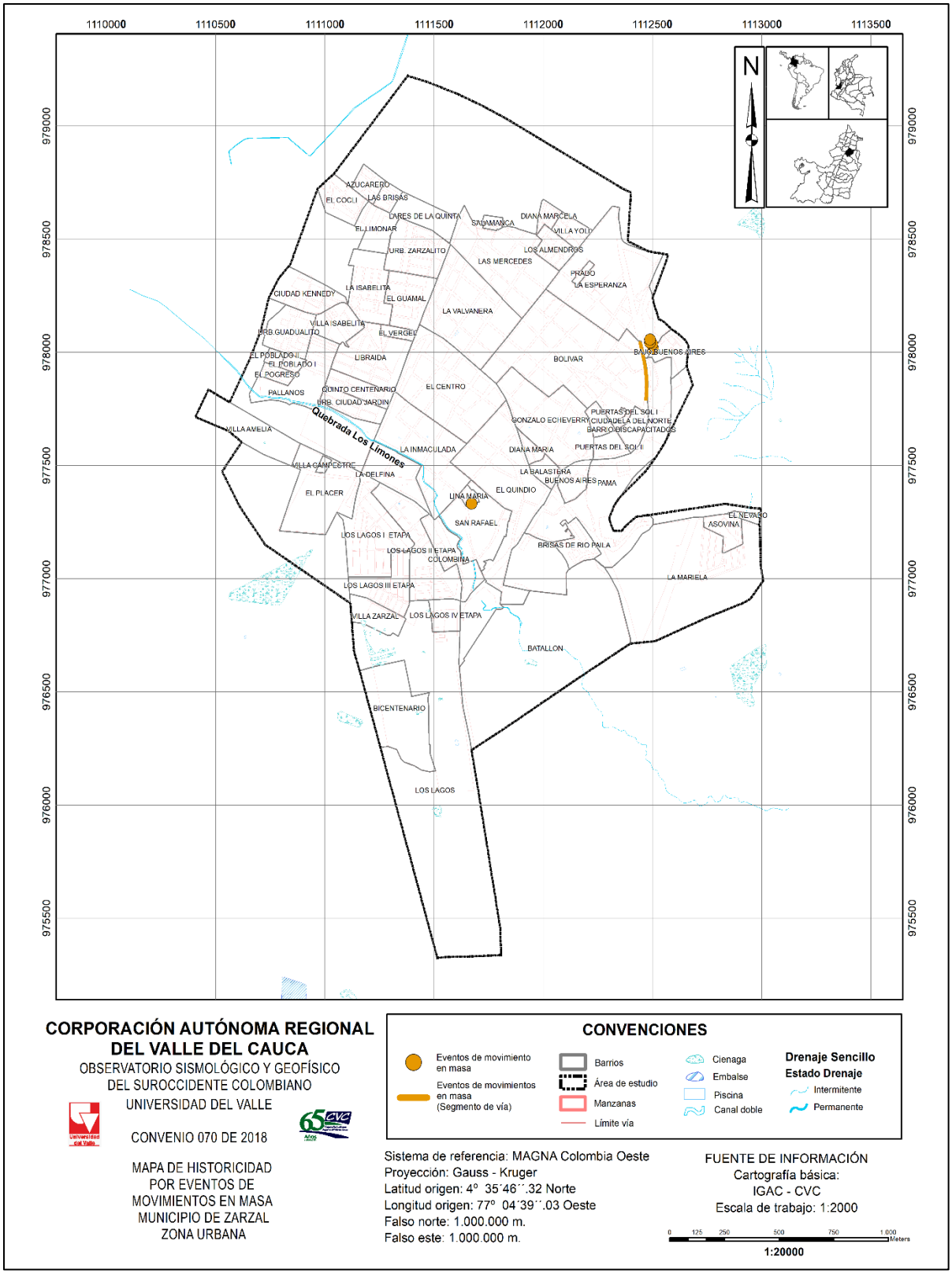


Figura 2.16. Mapa de historicidad por eventos históricos de movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

2.2.1.3. Inventario general de reportes por eventos históricos de movimiento en masa de la zona urbana del municipio de Zarzal periodo 1980-abril de 2019

En la Tabla 2.6, se presenta el inventario general de los eventos históricos de movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal, el periodo 1980-abril de 2019.

A continuación, se describe el contenido de la tabla:

1. ID: número de la Ficha del evento
2. Fecha del reporte del evento: día/mes/año

Localización

3. Urbana: define el área o lugar de afectación
4. Barrio: lugar que fue afectado por el evento
5. Dirección: lugar que fue afectado por el evento
6. Latitud: coordenadas de sitio donde se reportaron eventos de movimientos en masa
7. Longitud: coordenadas de sitio donde se reportaron eventos de movimientos en masa
8. Causa: define si es por desbordamiento o colapso del sistema de alcantarillado

Afectaciones

9. N° Viviendas Afectadas: es la cantidad de viviendas que se reportan
10. N° Damnificados: cantidad de personas afectadas por el fenómeno
11. Perdidas Económicas: define las pérdidas de los enceres, infraestructura y cultivos
12. Otros: es la información que no se logra clasificar en las anteriores casillas
13. Observaciones: es la información que se da de los reportes
14. Tipo de fuente de información: si es documento, libro, periódico, base de datos
15. Localización: Lugar donde se encuentra la información

Tabla 2.6. Inventario de eventos por movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal periodo de 1980 abril de 2019

ID	FECHA DEL EVENTO	LOCALIZACIÓN	SECTOR		CAUSA	AFECTACIÓNES				OBSERVACIONES	TIPO DE FUENTE DE INFORMACIÓN	LOCALIZACIÓN
	DIA/MES/AÑO	URBANA	BARRIO	DIRECCIÓN		N° VIVIENDAS AFECTADAS	N° DAMNIFICADOS	PERDIDAS ECONOMICAS	OTROS			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
MM-1	07/06/2016	X	ND	Carrera 4ª Nº 16-65	Fuerte aguacero generó un deslizamiento	1	1 Familia		ND	Caída de muro	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno- Oficina Gestión del Riesgo
				Carrera 4 N º 16-39	Fuerte aguacero generó un deslizamiento	1	2 Familia			Agrietamiento debido a un deslizamiento de un barranco		
				Carrera 4 Nº 16-35	Fuerte aguacero generó un deslizamiento	1	3 Familia			Colapso de una pared en el patio		
				Carrera 4 Nº 16-29	Fuerte aguacero generó un deslizamiento	1	4 Familia			Grietas en una pared del patio		
MM-2	15/06/2016	X	Alto Buenos Aires sector La Variante	Carrera 4 entre Calle 14B y 17	Deslizamiento	2	2	ND	ND	El deslizamiento fue causado por el relleno que tiene la infraestructura en la parte trasera y el peso del agua hizo que colapsara la pared ya agrietada con anterioridad.	Archivo - Actas, Quejas Peticiones y Reclamos	Secretaría de Gobierno- Oficina Gestión del Riesgo

ND: No hay Datos

Fuente: elaboración propia

2.3. TALLER DE SOCIALIZACIÓN Y VALIDACIÓN

La socialización y validación de los resultados del estudio de historicidad de eventos de inundación y movimientos en masa se realizó mediante el taller participativo, el cual se contó con la asistencia de funcionarios de la Secretaria de Planeación e Infraestructura Física, Comandante del Cuerpo de Bomberos, representante de la Policía Nacional, representante del Batallón del ejército Nacional, la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), la Dirección Técnica Ambiental DAR – BRUT y el equipo de historicidad, geología y cartografía de la Universidad del Valle.

El Taller, tuvo como objetivo presentar la información recolectada de los reportes por eventos de inundaciones y movimientos en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal y definir la división político-administrativa de barrios del municipio, puesto que en el Plan Básico de Ordenamiento o Territorial del año 2001, no se contaba con una delimitación clara de los barrios, además las zonas de expansión ya se encuentran urbanizadas.

2.3.1. Socialización del proyecto y ejecución del taller con los asistentes

Se inicia la jornada con la presentación de cada uno de los asistentes al primer taller de socialización y validación de los resultados de historicidad. La CVC presentó el Proyecto 5001 Apoyo a la Gestión del Riesgo en el Territorio, del cual se desprende el Convenio 070 de 2018 entre la CVC y Univalle.

Figura 2.17. Presentación del proyecto por parte de la CVC
Fuente: Tomada durante la ejecución del taller

El equipo técnico del grupo de historicidad de la Universidad del Valle presentó los resultados preliminares de los registros por inundación y movimiento en masa que se encontraron en las diferentes fuentes de información consultadas, teniendo como fuente principal los registros del Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal, seguido de las Actas de la Oficina de Gestión del Riesgo de Desastres y noticias en el diario El País (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**), posteriormente se expone la actividad a realizar y se pasa a conformar los grupos de trabajo.

Figura 2.18. Presentación del proyecto por parte de la CVC
Fuente: tomada durante la ejecución del taller

Se conformaron dos mesas de trabajo con el propósito de compartir por medio del dialogo de saberes y cartografía social validar los resultados encontrados. En la primera se trabajó la delimitación de barrios y en la segunda la identificación y validación de la información que se había encontrado en los reportes de evento de inundación y movimientos en masa en la zona urbana de Zarzal.

Mesa 1

En la mesa 1 participaron funcionarios de la CVC DAR BRUT, la Policía Nacional y los funcionarios de la Administración municipal, se trabajó con funcionarios de Planeación en la delimitación de los barrios siendo un insumo importante para el estudio (Figura 2.19).

Es de aclarar que la división política de barrios que se construyó en el taller, no se puede establecer como cartografía oficial, puesto que no cuenta con un soporte jurídico mediante, acuerdo que la determine. Sin embargo, en la socialización se planteó por parte de CVC que la administración municipal la puede considerar como propuesta para que el municipio plantee su división política de barrios ante el Consejo Municipal.

Figura 2.19. Grupo de trabajo mesa 1
Fuente: fotografías propias.

Mesa 2

En la Mesa 2 participaron funcionarios de Hacienda de la administración municipal, EPSA, Defensa Civil, Bomberos y de la CVC - DAR - BRUT consideraron que las zonas que se presentaron producto de la búsqueda de los eventos de inundación y movimientos en masa que han afectado al municipio son correctas validando la información. Además, identificaron otras áreas donde se han registrado inundaciones fluviales, las cuales se localizan desde el sur oriente hasta el noroccidente y las zonas que identificaron de inundaciones pluviales (Figura 2.20).

Figura 2.20. Grupo de trabajo mesa 2
Fuente: fotografías propias.

Se puede concluir que los integrantes de las mesas de trabajo identificaron los mismos lugares que han sido afectados por inundaciones y movimientos en masa en la zona urbana. Igualmente identifican las causas por las que se ven afectados, una de ellas es por la ocupación de las riveras de la quebrada Limones que cruza la ciudad y la deficiencia en el sistema de alcantarillado combinado debido a que no se cuentan con un completo alcantarillado pluvial para drenar las aguas lluvias exclusivamente.

Se digitalizó la información que cada una de las mesas espacializó en la cartografía suministrada unificando los criterios de las áreas que habían dibujado.

La Figura 2.21 presenta el mapa resultado de la socialización y validación del trabajo realizado en la búsqueda de reportes de eventos históricos de inundaciones que han afectado la zona urbana del

Municipio de Zarzal, en el taller la población asistente validó la información e identificó las áreas que han sido afectadas por inundaciones, definiendo las posibles causas y el flujo de las aguas de la quebrada Limones y de escorrentía que los afecta, debido a que se localizan en la llanura aluvial del rio Cauca y el piedemonte de la cordillera central y este drena de oriente a occidente en busca del río Cauca.

La Figura 2.22 presenta el mapa en el que se sobreponen las áreas que resultaron de los reportes de eventos por inundaciones históricas en la zona urbana del municipio de Zarzal y las áreas resultado de la socialización.

La Figura 2.23 presenta el mapa resultado de la socialización y validación del trabajo realizado en la búsqueda de reportes de eventos históricos de inundaciones que han afectado la zona urbana del Municipio de Zarzal, en el taller la población asistente validó la información e identificó las áreas que han sido afectadas por movimientos en masa, definiendo las posibles causas en el barrio Buenos Aireas Alta, el sector la Cruz y el sector de la Iglesia la Milagrosa en el piedemonte de la cordillera central en la zona que se realizaron cortes para la construcción de la variante de la via nacional.

La Figura 2.24 presenta el mapa en el que se sobreponen las áreas que resultaron de los reportes de eventos por movimientos en masa histórico en la zona urbana del municipio de Zarzal y las áreas resultado de la socialización.

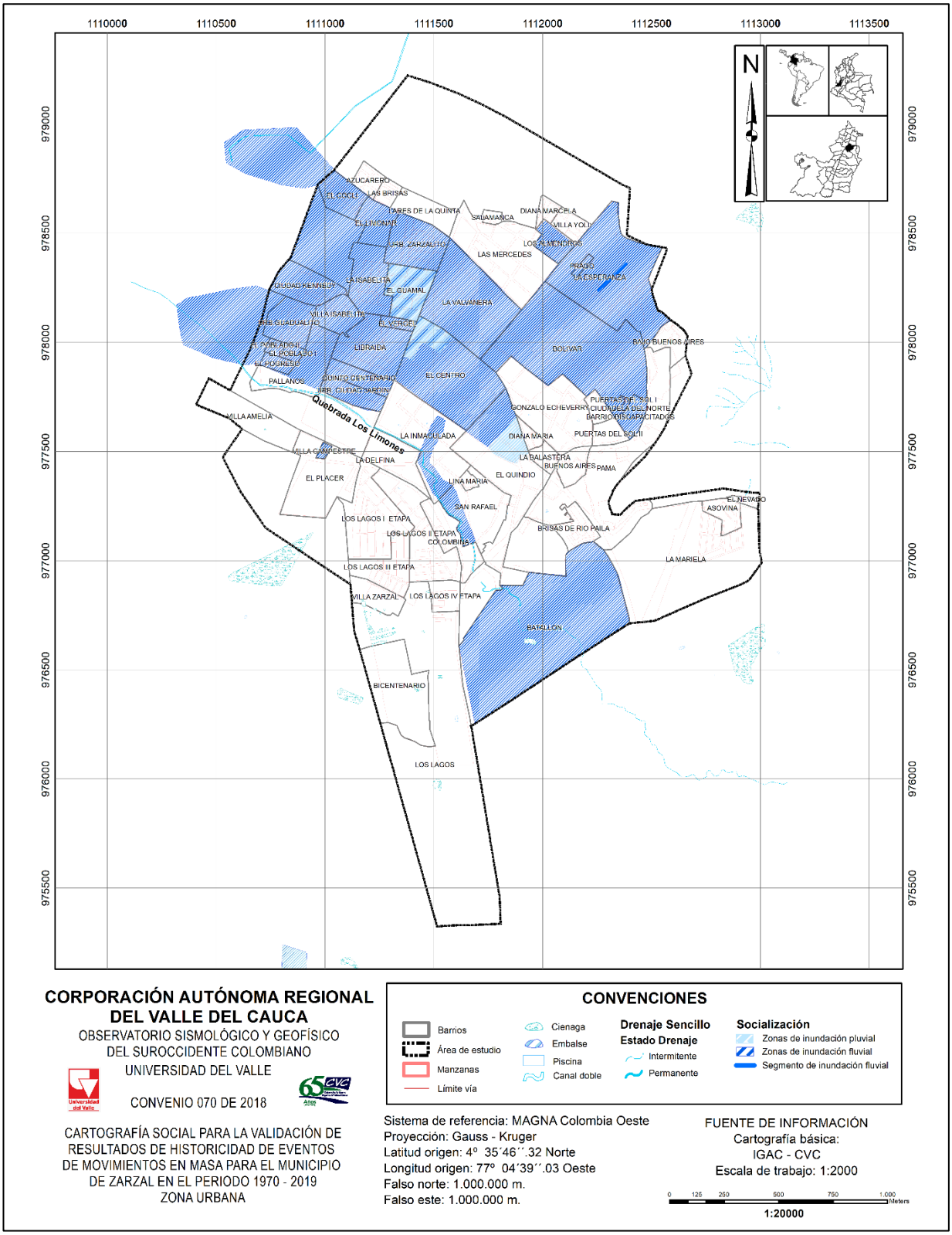


Figura 2.21. Cartografía social para la validación de los resultados de historicidad de eventos de inundación periodo 1980- abril del 2019, área urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

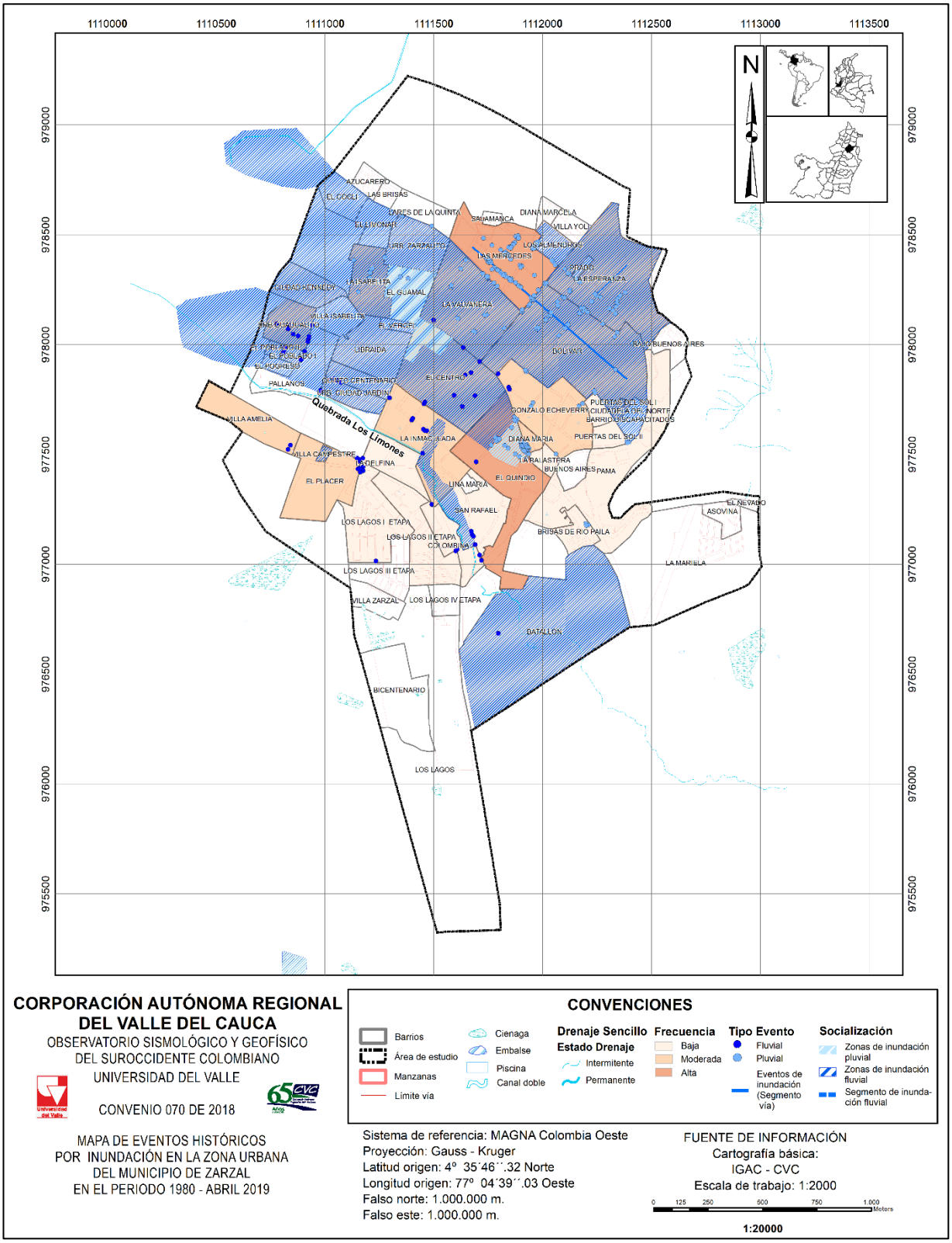


Figura 2.22. Mapa de eventos históricos por inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal en el periodo 1980- abril 2019
Fuente: elaboración propia

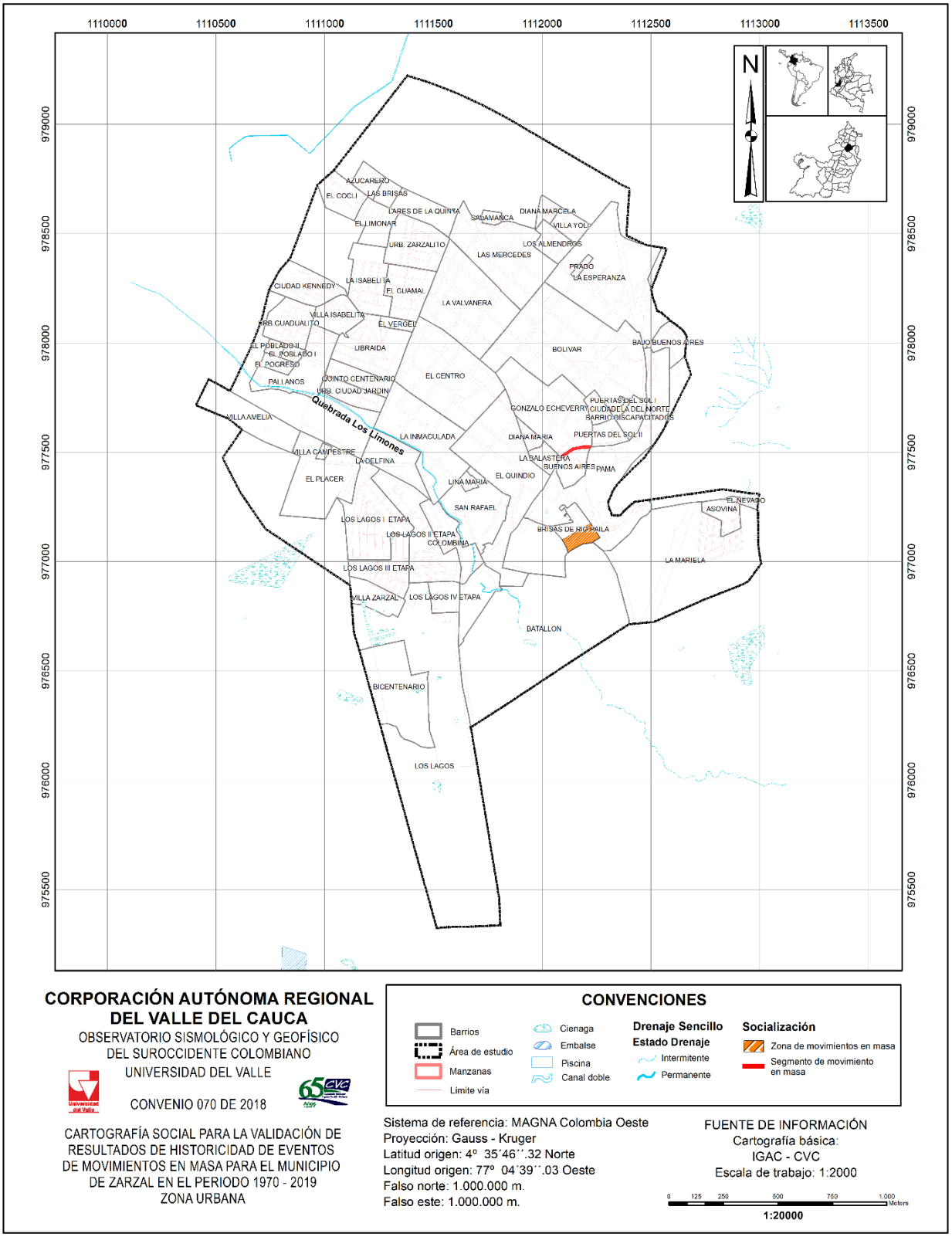


Figura 2.23. Cartografía social para la validación de los resultados de historicidad de eventos de movimientos en masa periodo 1980- abril del 2019, área urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

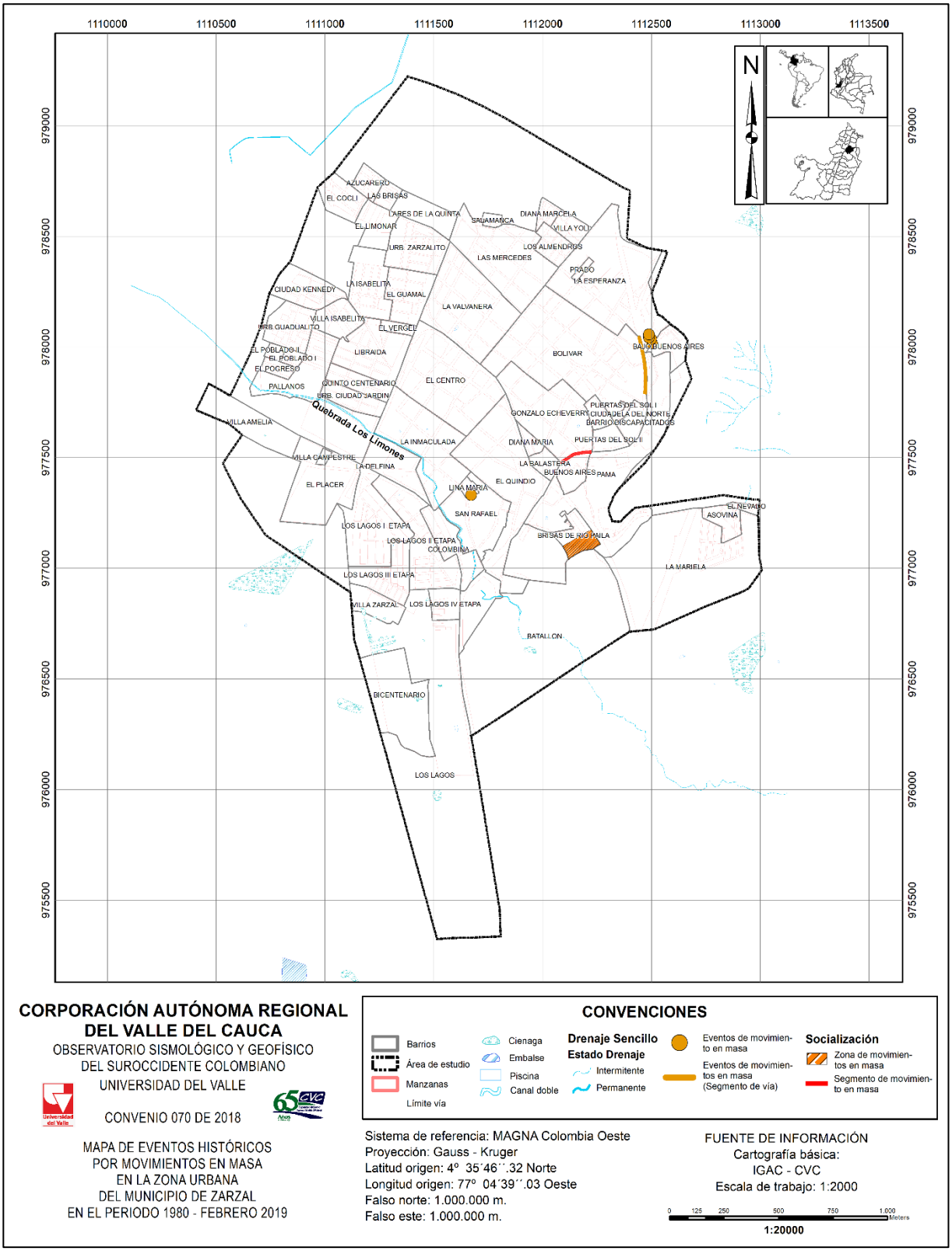


Figura 2.24. Mapa de eventos históricos por movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal en el periodo 1980- abril 2019
Fuente: elaboración propia

3. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL

El presente capítulo de Geología y Geomorfología de la zona urbana del municipio de Zarzal, Valle del Cauca. Se inició con la revisión bibliográfica con el fin de obtener la información geológica y geomorfológica existente para el Municipio, seguido de un estudio fotogeológico en el que se interpretaron los vuelos: IGAC_C_1474_FOTO_156 y 157_AÑO_1973; A2_1998_07_20_0_407_F41S_256 y 257 y el vuelo A2_2004_02_00_00_FAL_448_373 a 375.

Posteriormente, se realizaron actividades de reconocimiento en campo donde se corroboraron y definieron la geología, las unidades superficiales, la geomorfología y los procesos morfodinámicos y de remoción en masa; además de las áreas susceptibles a inundaciones y zonas erosivas o con movimientos en el área urbana del municipio de Zarzal.

Finalmente se elaboró el mapa geológico, formaciones superficiales y geomorfológico, siendo un insumo para la valoración de la amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa e inundaciones en el municipio de Zarzal.

3.1. GEOLOGIA REGIONAL

Para el presente estudio se utilizó como base la plancha geológica 242 Zarzal, Valle del Cauca (INGEOMINAS, 1995 Versión 2009, Transformada a datum MAGNA SIRGAS 2013) a escala 1:100.000, adicionalmente se tomó como referente la nomenclatura usada en esta plancha, con el fin de unificar criterios en la denominación de las formaciones geológicas ya establecidos por el Servicio Geológico Colombiano y que ha sido utilizada en este tipo de trabajos a nivel nacional.

De acuerdo con la plancha geológica 242 Zarzal (Figura 3.1) la geología reportada para este Municipio corresponde principalmente a rocas terciarias sedimentarias TPz, TMp y TMpo y conos antiguos (QPca), además de aluviones (Qal y terrazas (Qta).

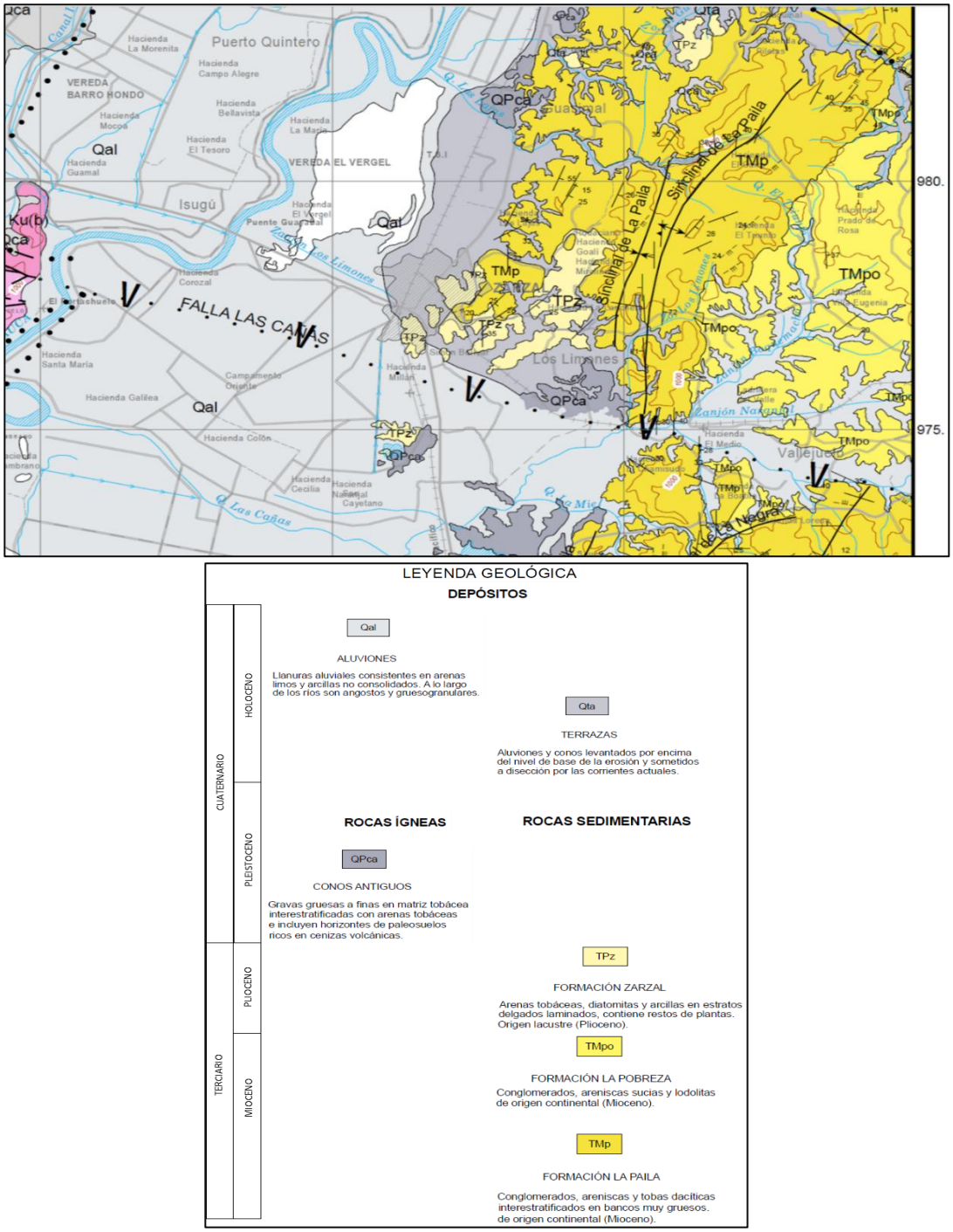


Figura 3.1. Mapa Geológico Plancha 242 - Zarzal, Valle del Cauca – Colombia
Fuente: Nivia et al., (1995).

A continuación, se describen los conjuntos litológicos que afloran en el municipio del Zarzal y que han tenido influencia en el desarrollo de depósitos cuaternarios como abanicos, coluviones, terrazas y aluviones.

3.1.1. Formación la Paila (TMp)

Según Van Der Hammen, (1958), esta unidad que fue propuesta en 1955, en un informe inédito de Keizer, Nelson y Van Der Hammen; está formada por rocas acumuladas por procesos sedimentario-volcánicos y consiste principalmente en intercalaciones de conglomerados y tobas dacíticas. Nelson, (1957) dividió la Formación en una unidad inferior correspondiente a aproximadamente 200 m de tobas dacíticas seguidas por una secuencia clástica, esencialmente conglomerática. El espesor de esta última varía de 400 a 600 m. Los horizontes de origen clástico de la Formación La Paila varían de conglomerados polimícticos de cantos a areniscas grueso granulares a conglomeráticas que se presentan en bancos de espesor muy grueso a grueso de estratificación plana, no paralela, y continua. Interestratificados con conglomerados y tobas dacíticas ocurren también areniscas de grano grueso a medio, cuya composición (que incluye granos de hornblenda, biotita, magnetita, plagioclasa) sugiere una contribución volcanoclástica importante. En menor abundancia se presentan lodolitas arenosas en bancos de espesor grueso a muy grueso de estratificación plana, paralela, continua. La parte inferior de la Formación La Paila es, en parte, equivalente a la *Formación Cartago* definida por Schwinn, (1969) en la Carretera Cartago - Alcalá. Su edad según datos palinológicos es Mioceno, (Van Der Hammen 1958; Schwinn 1969 y McCourt 1984) sugiere, sin embargo, que esta unidad puede ser más antigua, probablemente Oligocena y correlacionable, al menos en parte, con el *Grupo Cauca* y la *Formación Honda.*

3.1.2. Formación La Pobreza (TMpo)

Aflora en el área de la Plancha en relación claramente discordante sobre la Formación La Paila y consiste en una serie de areniscas conglomeráticas sucias, conglomerados y wacas mal cementadas, de color amarillo ocre a naranja. Esta secuencia se presenta deformada lo que permite postular que su edad de formación es anterior al último evento orogénico principal que levanto la cordillera de los Andes.

Bajo el nombre de la Formación la Pobreza agruparon McCourt et al., (1985) una secuencia conglomerática que descansa discordantemente sobre la Formación La Cinta de Piedra, que a su turno subyace la Formación La Paila. El criterio principal que estos autores utilizaron en su definición fue la presencia de un conglomerado basal que incluye cantos muy gruesos de la serie de pórfidos denominados tipo Albania. Durante la cartografía de la Plancha 242 no se observó este conglomerado, pero se considera que la secuencia descrita se puede correlacionar con la Formación La Pobreza con base en las relaciones discordantes que presenta con las rocas infrayacentes. Se considera que la sección reconocida por McCourt et al., (1985) representa una facies proximal, más orientada, del depósito y que en el sitio de la Plancha esta misma unidad – en facies distales más finogranulares – se depositó sobre las unidades allí, en este caso la Formación la Paila (INGEOMINAS, 1995).

Keith et al. (1988) consideran que la Formación la Pobreza de McCourt, (1984b) debe ser incluida como una misma unidad dentro de la Formación La Paila (Nelson, 1957) según los siguientes argumentos:

- Ambas unidades están en contacto basal erosivo con la Formación Amaime.
- Ambas formaciones fueron depositadas en abanicos aluviales húmedos.
- Ambas formaciones despliegan litologías similares

Con relación a esto último, Keith et al. (1988) encuentran que los clastos de andesitas (tipo diques de la Albania), que aparentemente caracterizan los conglomerados de Formación la Pobreza, también están presentes en lithos de la Formación La Paila. La Formación La Paila al techo está cubierta discordantemente por depósitos recientes y sedimentitas Plio-Pleistocenas de la Formación Zarzal como se describe en la *Estratigrafía de la Formación La Paila, un Reservorio de Hidrocarburos en la Cuenca Cauca-Patía* (Agencia Nacional de Hidrocarburos, 2008).

Nivia, (2001) mantiene las divisiones propuestas por McCourt, (1984) para el Cenozoico del Valle del Cauca indicando que la Formación la Pobreza se encuentra descansando discordantemente sobre la Formación Cinta de Piedra. Sin embargo, esto contradice una información previa (Nivia et al., 1992) en la que se asegura que la Formación la Pobreza se halla, en el área de la plancha 242 (Zarzal), claramente discordante sobre la Formación La Paila (Agencia Nacional de Hidrocarburos, 2008).

3.1.3. Formación Zarzal (TPz)

Con este nombre se agrupan algunos remanentes de sedimentos poco consolidados que afloran al este de la plancha, compuesto por mezcla de material volcánico derivado de la Cordillera Central con material sedimentario transportado por los tributarios del río Cauca. La unidad en sí se compone de conglomerados y areniscas con intercalaciones de arcillolitas derivadas de cenizas volcánicas, cuyas estructuras de rellenos de canal combinados con deposiciones finas denotan un ambiente de alta energía que desemboca en medio lacustre, ya que hay capas con diatomácea, las cuales permitieron la correlación con la Formación Zarzal (Van Der Hammen, 1958).

La Geología de la Plancha 242 – Zarzal, INGEOMINAS, (1995), renombran la Formación Zarzal como TPz.
Se relacionan otros trabajos realizados en la Formación Zarzal:

Boussingault, (1903), es el primero en describir la presencia de depósitos silíceos y estratos de arenita y arcillolita arenosa en el área de Cartago.

Royo y Gómez, (1949), realiza el estudio paleontológico de una roca conocida como “Tierra de Infusorios” procedente del departamento del Valle, muy liviana y con una impresión de una hoja de Angiosperma. Le dan una edad a la roca del Pleistoceno, de acuerdo con la correlación de otras diatomeas colombianas, en la que están los mismos componentes y la define como paleoambiente lacustre.

José Sandoval, (1953), con fines mineros, realiza estudios topográficos y geológicos entre Cartago, Obando, La Victoria y Zarzal para intentar conocer la forma, potencia y calidad de los “Infusorios de Zarzal”.

Van Der Hammen, (1958), propone el nombre de Formación Zarzal, el cual es dado a estos depósitos de diatomeas, arcillas y arenas volcánicas.

Zuñiga et al., (1993), realizan una exploración geofísica de bentonitas y diatomeas en el corregimiento de Vallejuelo, municipio de Zarzal. A través del método geoeléctrico (Tipo Schulumberger) intentaron caracterizar los recursos naturales de la zona.

Cardona y Ortiz, (1994), definen formalmente la Formación Pereira y muestran las diferencias con respecto a la Formación Zarzal. La Formación Armenia es redefinida por estos autores como Formación Pereira y ésta la dividen en Miembro Inferior y Miembro Superior, en donde el Miembro Inferior esta interdigitado con la Formación Zarzal. Ellos proponen tres asociaciones de facies que indican tres ambientes diferentes, mostrando que al sur de la unidad domina un ambiente lacustre y al norte un volcanosedimentario, interdigitándose con la Formación Pereira.

Cooper et al., (1995), indica que la Formación Zarzal es posterior a la deposición sincinemática de Formación La Paila durante la compresión Pliocena Andina.

INGEOMINAS, (2001), otorga a la Formación Zarzal el código **Tpz,** expuesta en el extremo norte del departamento del Valle, entre las Cordilleras Central y Occidental, en los municipios de Zarzal, La Victoria, Obando y Cartago. Reporta que la Formación reposa discordantemente sobre la Formación La Paila. Esta unidad representa las rocas más antiguas no deformadas de la Cordillera Central, además asignan una edad Pliocena (Van Der Hammen, 1958 y De Porta, 1974).

Suter et al., (2005), proponen un modelo de depositación de la Formación Zarzal y su relación estratigráfica con los flujos en masa proveniente de la Cordillera Central. Mencionan que esta unidad está asociada con la fase tectónica distensiva más tardía de la Cordillera Central, los cuales forman abanicos coalescentes. Le asignan una edad menor a 1 Ma de acuerdo con las investigaciones palinológicas preliminares sobre polen del género *Alnus*.

Neuwerth et al., (2006), reafirma tres ambientes de depósito: Lacustre, fluvial y fluvio – volcánico. Su atención se centra en el estudio de estructuras de deformación en sedimentos blandos que son encontradas en la Formación Zarzal, principalmente en arenitas finas a medias y lodolitas. Estructuras tales como: Estructuras de carga, estructuras de escape de agua, intrusiones en sedimentos blandos, fallas sinsedimentarias, laminación convoluta, láminas disturbadas y slumps.

Suter et al., (2008a), proponen un modelo sedimentario para la Formación Zarzal y dan evidencia de actividad tectónica superficial extensional en curso.

Jaramillo, (2015), realiza un estudio micropaleontológico de las diatomeas fósiles encontradas en los estratos de diatomita pertenecientes a la Formación Zarzal, determinando implicaciones paleoecológicas y paleolimnólogicas.

3.1.4. Formación Zarzal (Tplz)

Con este nombre se agrupan algunos remanentes de sedimentos poco consolidados que afloran al este de la plancha, compuesto por mezcla de material volcánico derivado de la Cordillera Central con material sedimentario transportado por los tributarios del río Cauca. La unidad en sí se compone de conglomerados y areniscas con intercalaciones de arcillolitas derivadas de cenizas volcánicas, cuyas estructuras de rellenos de canal combinados con deposiciones finas denotan un

ambiente de alta energía que desemboca en medio lacustre, ya que hay capas con diatomácea, las cuales permitieron la correlación con la Formación Zarzal (Van Der Hammen, 1958).

Se relacionan otros trabajos realizados en la Formación Zarzal:

Boussingault (1903), es el primero en describir la presencia de depósitos silíceos y estratos de arenita y arcillolita arenosa en el área de Cartago.

José Royo y Gómez (1949), realiza el estudio paleontológico de una roca conocida como "Tierra de Infusorios" procedente del departamento del Valle, muy liviana y con una impresión de una hoja de Angiosperma. Le dan una edad a la roca del Pleistoceno, de acuerdo con la correlación de otras diatomeas colombianas, en la que están los mismos componentes y la define como paleoambiente lacustre.

José Sandoval (1953), con fines mineros, realiza estudios topográficos y geológicos entre Cartago, Obando, La Victoria y Zarzal para intentar conocer la forma, potencia y calidad de los "Infusorios de Zarzal".

Van Der Hammen (1958), propone el nombre de Formación Zarzal, el cual es dado a estos depósitos de diatomeas, arcillas y arenas volcánicas.

Zuñiga et al. (1993), realizan una exploración geofísica de bentonitas y diatomeas en el corregimiento de Vallejuelo, municipio de Zarzal. A través del método geoeléctrico (Tipo Schulumberger) intentaron caracterizar los recursos naturales de la zona.

Cardona y Ortiz (1994), definen formalmente la Formación Pereira y muestran las diferencias con respecto a la Formación Zarzal. La Formación Armenia es redefinida por estos autores como Formación Pereira y ésta la dividen en Miembro Inferior y Miembro Superior, en donde el Miembro Inferior esta interdigitado con la Formación Zarzal.

Ellos proponen tres asociaciones de facies que indican tres ambientes diferentes, mostrando que al sur de la unidad domina un ambiente lacustre y al norte un volcanosedimentario, interdigitándose con la Formación Pereira.

Cooper et al. (1995), indica que la Formación zarzal es posterior a la deposición sincinemática de Formación La Paila durante la compresión Pliocena Andina.

Nivia (2001), en el mapa geológico presentado por Ingeominas, otorga a la Formación Zarzal el código **Tpz**, expuesta en el extremo norte del departamento del Valle, entre las Cordilleras Central y Occidental, en los municipios de Zarzal, La Victoria, Obando y Cartago. Reporta que la Formación reposa discordantemente sobre la Formación La Paila. Esta unidad representa las rocas más antiguas no deformadas de la Cordillera Central, además asignan una edad Pliocena (Van Der Hammen, 1958; De Porta, 1966).

Suter et al. (2005), proponen un modelo de depositación de la Formación Zarzal y su relación estratigráfica con los flujos en masa proveniente de la Cordillera Central. Mencionan que esta

unidad está asociada con la fase tectónica distensiva más tardía de la Cordillera Central, los cuales forman abanicos coalescentes. Le asignan una edad menor a 1 Ma de acuerdo con las investigaciones palinológicas preliminares sobre polen del género *Alnus*.

Neuwerth et al. (2006), reafirma tres ambientes de depósito: Lacustre, fluvial y fluvio – volcánico. Su atención se centra en el estudio de estructuras de deformación en sedimentos blandos que son encontradas en la Formación Zarzal, principalmente en arenitas finas a medias y lodolitas. Estructuras tales como: Estructuras de carga, estructuras de escape de agua, intrusiones en sedimentos blandos, fallas sinsedimentarias, laminación convoluta, láminas disturbadas y slumps. Suter et al. (2005), proponen un modelo sedimentario para la Formación Zarzal y dan evidencia de actividad tectónica superficial extensional en curso.

Jaramillo (2015), realiza un estudio micropaleontológico de las diatomeas fósiles encontradas en los estratos de diatomita pertenecientes a la Formación Zarzal, determinando implicaciones paleoecológicas y paleolimnólogicas.

3.1.5. Depósitos

Corresponde a todas aquellas acumulaciones de materiales sedimentarios o volcano-sedimentarios mal cementados que no presentan evidencias de haber sufrido un proceso de diagénesis. Se incluyen materiales cuya edad se cree sea pliocena o más joven y que se extienden sin diferenciación sobre toda el área de la Plancha 223 y 224, tanto sobre las cordilleras como sobre el valle aluvial del Río Cauca (Nivia et al., 1995).

3.1.5.1. Conos Antiguos – QPca.

Suprayaciendo discordantemente las rocas de la Formación Zarzal, se presentan localmente esparcidos a lo largo de las estribaciones de la Cordillera central, depósitos de gravas de extensión limitada. Estos depósitos se encuentran por encima del nivel del valle aluvial y están siendo sometidos a erosión. Al sur de la plancha en la cercanía del municipio de Andalucía están asociados a penillanuras o a llanuras aluviales levantadas relativamente, que presentan asociaciones de cono aluviales que tienen ápices hacia los cañones de algunos de los principales ríos que drenan la cordillera. Estas llanuras documentan claramente un evento de levantamiento reciente a los bloques de corteza que limitan el valle aluvial del río Cauca.

3.1.5.2. Terrazas – Qta, Conos – Qca y Aluviones – Qal

Asociados a los ríos y corrientes principales, se presentan depósitos sedimentarios de materiales sueltos con amplia variación en cuanto a su composición y tamaño de grano. Una característica interesante de aquellos asociados a las rocas terciarias es que debido a que se están denudando conglomerados, los aluviones son ricos en componentes sedimentarios cuyo desgaste y redondeamiento ocurrió durante el proceso de formación de los conglomerados. Algunos de los aluviones más extensos están siendo sometidos a erosión e incluso algunos presentan aluviones confinados entre las caras de erosión. Esto implica que se ha presentado un rejuvenecimiento del ciclo de erosión, y por esta razón estos aluviones han sido separados como terrazas. La magnitud del rejuvenecimiento es, sin embargo, ligera y las diferencias de nivel entre los aluviones

depositados entre estas terrazas y la altura de ellas no es muy grande. Hacia el valle aluvial del Río Cauca las terrazas pasan al valle a través de una transición más, que dé un paso o escalón de terraza bien definido (Nivia et al., 1995).

3.2. GEOLOGIA ESTRUCTURAL REGIONAL

En la Plancha 242 se reconocen dos tipos de deformación:

1. D1, observable únicamente en las rocas cretácicas de la Cordillera Occidental, evidenciada por una marcada foliación o clivaje S1. Nivia et al., (1995), argumentan que es el resultado de un proceso continuo de acreción por subducción y la consecuente formación de un prisma acrecionario donde la deformación principal se produce por imbricación de cuñas o escamas de los fragmentos corticales involucrados en el prisma.

2. D2, afecta las rocas cretácicas de la Cordillera Occidental y se manifiesta por el desarrollo de pliegues isoclinales, plegamiento en chevrón de los planos de foliación S1 y fallas de cabalgamiento con movimiento en sentido E-W. También afecta las rocas pre-pliocenas de la Cordillera Central generando pliegues amplios convergencia hacia el noroccidente. Los mismos autores sustentan que corresponde al reajuste mecánico de este prisma y la deformación de los sedimentos depositados por encima de este, durante la orogenia andina.

Las rocas en esta zona se encuentran afectadas por un complejo sistema de fallas regionales, donde predominan direcciones de fallamiento N20°-30°E, N60°-70°E y N40°-50°W, (Nivia et al., 1997).

Nivia et al., (1995), señalan que el lineamiento principal es el de dirección N20-30E y el N40-50W es secundario, además que corresponden a su vez con los principales sistemas de fallamiento identificados, también identifican un sistema principal de fallamiento definido por superficies de falla con rumbo N60-70E.

Los cinturones litológicos definidos para el análisis estructural comprenden dos fajas basálticas y dos miloníticas; sus límites están representados, por fallas con dirección N20-30W que han sido segmentadas y desplazadas localmente por otros sistemas de fallamiento (Nivia et al., 1995).

Fallamiento N20°-30°E. Las relaciones entre los tres sistemas de falla principales parecen indicar que este sistema de fallas es el más antiguo, cuyas fallas al poner en contacto tipos diferentes de rocas, definen los cinturones litológicos principales del área que tienen una marcada tendencia NNE-SSW (Nivia et al., 1995).

3.2.1. Falla Cali - Patía

Las fallas Cali-Patía y Dagua-Calima en la Cordillera Occidental, son fallas inversas de alto ángulo y rumbo deslizantes (INGEOMINAS, 2005). McCourt et al., (1984) postulan que la Falla Cauca-Almaguer (Sic. Falla de Romeral), pertenece a este sistema de fallamiento.

Alrededor de la latitud 4° N existen cambios en la cinemática del sistema de fallas NS. Se han reportado movimientos sinestrales en las fallas paralelas a la Cordillera Central “Sistema Romeral” y Cauca-Patía (P. ej. J.F. Toussaint y Restrepo, 1987) con componentes secundarias normales como

por ejemplo en el Quindío (Paris et al., 2000). Según Paris et al., (1993) el "sistema de fallas de Romeral" en el departamento del Valle del Cauca cerca de Amaime presenta componentes principales de rumbo y secundarias inversas. Aunque Page, (1986) le atribuyó una componente principal inversa en este mismo sector.

Las fallas de este sistema en la Plancha 242, de Oriente a Occidente son: de Oriente a Occidente son: la Falla de Roldanillo (presenta una tendencia general de orientación Norte-Sur y rumbo de N17ºE), con componente principalmente inversa, y es considerada potencialmente activa (Peña-Martínez y Mosquera- Antury, 2010). Para Barrero, (1979), esta falla separa las rocas ultramáficas del cinturón de basaltos UP. Estos a su vez están limitados al occidente por la Falla Toro (Parra et al., 1984)-Andinapolis (Barrero, 1979) que los pone en contacto con un cinturón de metapelitas QD. Este está limitado al Occidente por la Falla del Dovio que pone a su vez en contacto hacia el Occidente estas metapelitas con basaltos del cinturón VN (Nivia et al., 1995).

Fallamiento N40°-50°W. Se presentan en trazos segmentados dispuestos a manera de "echelon" donde se producen movimientos sinestrales que algunas veces desplazan las fallas del Sistema N20°-30°E (Lozano, 1986). La *falla Naranjal* hace parte de este sistema y atraviesa la Cordillera Occidental. En el área de la Plancha 242 controla la depresión sobre la cual se formó el valle intramotano del Dovio y la *Falla de las Cañas* que desplaza el valle aluvial del río Cauca.

Según Nivia et al., (1997) las fallas NW más notables en el Valle del Cauca son la *Falla Naranjal*, que atraviesa la Cordillera Occidental en la parte más norte del departamento y la *Falla Las Cañas* que desplaza el valle aluvial del río Cauca a la latitud de Zarzal, y que juntamente con una serie de fallas menores, deflectan los ejes de los pliegues desarrollados en la secuencia Terciaria. En las cercanías de Vijes, McCourt et al., (1985) cartografiaron la Falla de Mulaló que controla los bloques de afloramiento de la Formación Vijes, en los que suponen movimientos verticales.

Fallamiento N60°-70°E. No tiene una relación temporal clara con el sistema de fallamiento N20-30E, pero se observan movimientos laterales derechos que desplazan cuñas de roca limitados por fallas orientadas N40-50W. McCourt et al, (1984) Postulan que el sistema de fallas N40-50E es más joven que el N60-70E porque a diferencia de este, el primero corta la superficie discordancia entre las unidades sedimentarias Paleógenas y Neógenas aflorantes en las estribaciones de la Cordillera Occidental (INGEOMINAS, 2005).

3.3. GEOLOGÍA LOCAL

En este apartado se describen la geología local (Figura 3.3) presentes en el área urbana del municipio de Zarzal.

3.3.1. Mapa Geológico local

Para la definición de la geología del área urbana del Municipio de Zarzal se hizo el reconocimiento o recorrido de campo donde se realizaron puntos de chequeo y observación de las características geológicas, geomorfológicas y estructurales del área; estas estaciones fueron nombradas con la letra Z en mayúscula, seguidamente de una numeración consecutiva (Ejemplo: Z001), además

graficadas en un mapa de estaciones de campo (Figura 3.2) y fue una de las herramientas para la elaboración de los mapas objeto de este estudio.

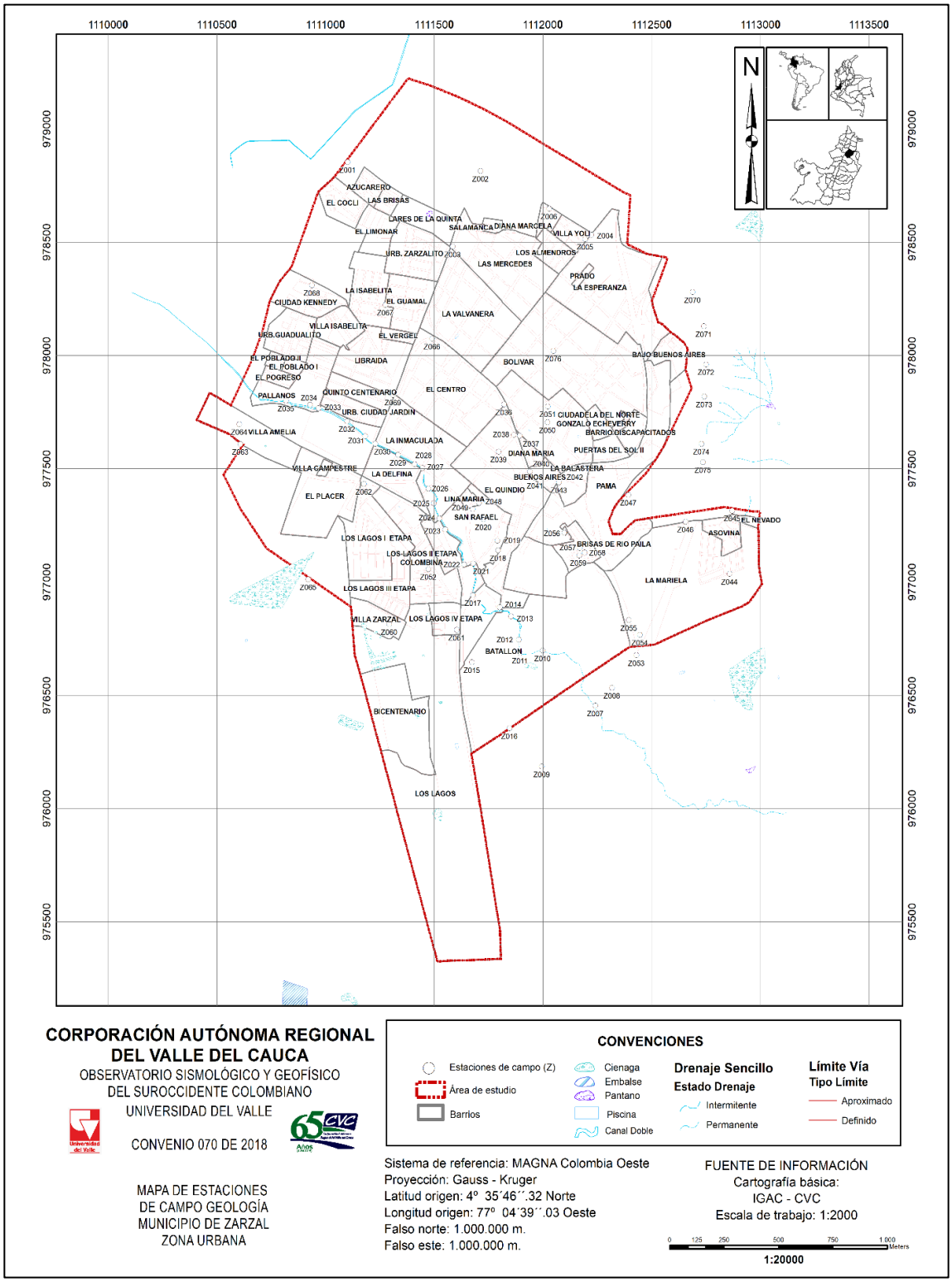


Figura 3.2. Mapa de Estaciones de Campo área urbana del municipio del Zarzal.
Fuente: elaboración propia.

En la Figura 3.3. se detalla la Geología Local presente en el área urbana del municipio de Zarzal.

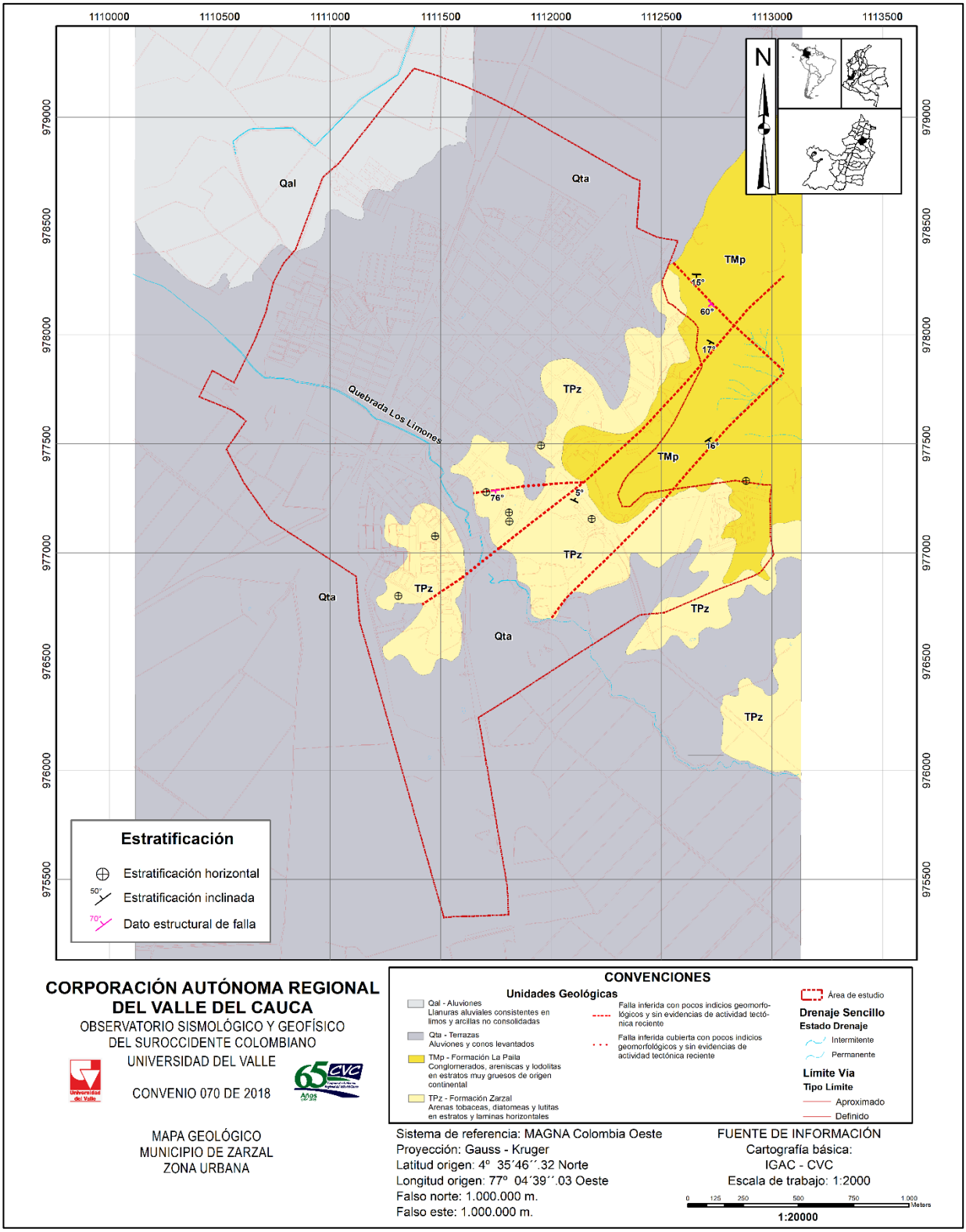


Figura 3.3. Mapa Geológico del área urbana del municipio del Zarzal.
Fuente: elaboración propia.

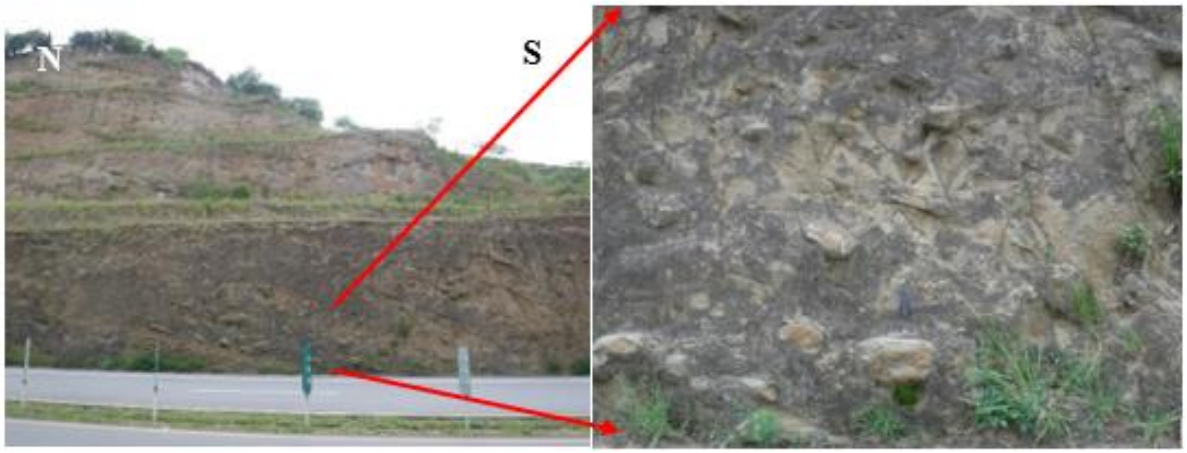
3.3.1.1. Formación La Paila (TMp)

Esta Formación se describirá de base a techo. En la estación Z045 (Figura 3.4), parte Este (E) de la vía, en el patio de una casa, se aprecia un talud elaborado con máquina de unos 10 m de longitud por unos 3 m de alto, donde aflora a la base un estrato grueso de arenita gruesa, consolidada y en Disconformidad (estrato arriba) continua una roca conglomerática consolidada, color café (beige) con sectores rojizos, muy bien calibrada a bien calibrada, fabrica aleatoria, se aprecia una leve laminación plana inclinada, 20% de clastos oscuros, de guijo fino a guijo medio, alta esfericidad y algunos clastos de baja esfericidad, clastos sub-redondeados a redondeados, contactos entre clastos longitudinales y puntuales; composición de los clastos de chert, cuarzo, lutitas y basaltos (Figura 3.5). Ambos estratos son horizontales.

b. c.

Figura 3.4. Z045: **a.** Panorámica del afloramiento donde se aprecia la parte inferior de la Fm. La Paila (TMp) descrita en este informe. **b.** Zoom del conglomerado. **c.** Zoom del conglomerado en disconformidad con la arenisca.
Fuente: fotografías propias

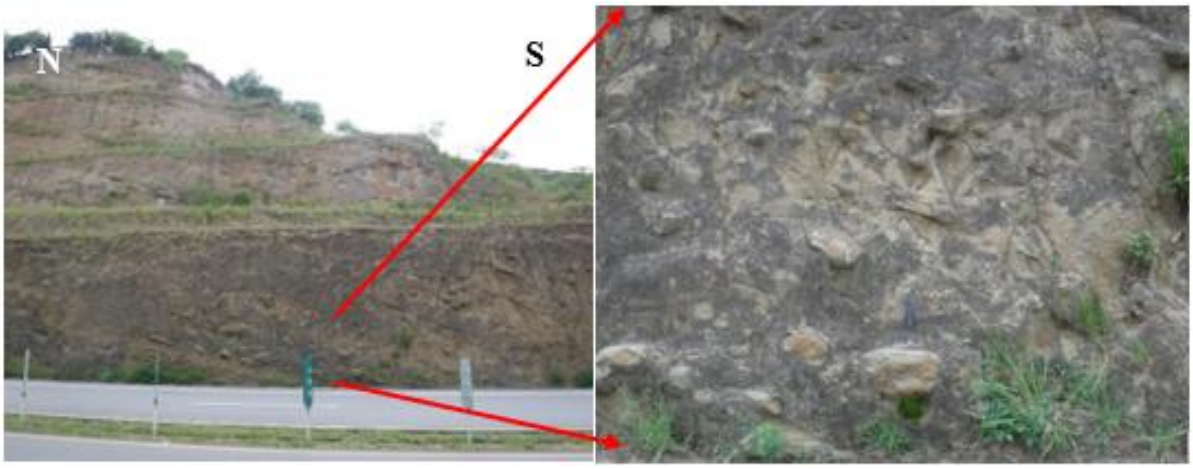
Sobre la vía de doble calzada que pasa al lado Este (E) del casco urbano de Zarzal se aprecia claramente esta formación en un afloramiento de 1,2 km de longitud por unos 30 m de altura aproximadamente. La estación Z075 se aprecia a la base un estrato grueso de lodolita, de color café oscuro a gris oscuro, presenta fractura concoidea, continua en disconformidad una lodolita de estrato grueso, color café claro o beige (Figura 3.5).



a b

Figura 3.5. Z074: **a.** Estrato grueso de arenisca de la Fm. La Paila (TMp). **b.** zoom donde se aprecia mejor las concreciones de carbonato.
Fuente: fotografías propias.

En la estación Z074 se aprecia un estrato muy grueso de arenisca de color gris con sectores cafés rojizos; esta arenisca presenta muchas concreciones calcáreas de 0,20 m a 1 m de diámetro en promedio (Figura 3.6).



a b

Figura 3.6. Z074: **a.** Estrato grueso de arenisca de la Fm. La Paila (TMp). **b.** zoom donde se aprecia mejor las concreciones de carbonato.
Fuente: fotografías propias.

La estratificación presenta un dato de S60°W/16°SE y el afloramiento presenta una inclinación de -75°.

En las estaciones Z070, Z071, Z072 y Z073 se continua con el mismo afloramiento de la vía de doble calzada y se aprecia la arenisca con concreciones calcáreas con algunos lentes conglomeráticos, dato de estratificación de S65E°/17°SW (Estación Z072).

Continúan en disconformida, arriba un estrato grueso de roca conglomerática, consolidado, matriz soportados, se aprecian algunos sectores clastosoportados, baja esfericidad, clastos sub-redondeados a redondeados, presentan un 30% de clastos oscuros, composición de los clastos de chert, lutitas, areniscas, dioritas y cuarzo; presenta un dato de estratificación de E-W/15°S (Estación Z070). Dentro de los conglomerados se presentan estratos de 30 a 50 cm de espesor de areniscas y lodolitas (Figura 3.7).

Figura 3.7. Z070 y Z072: **a.** Panorámica de afloramiento de la Fm. La Paila (TMp). **b.** Zoom, donde se aprecia contacto entre el conglomerado y la arenisca
Fuente: Fotografía propia

En las instalaciones de Acuavalle (Estación Z047), aflora el conglomerado descrito en la estación Z045 (Figura 3.8).

Figura 3.8. Z047: Roca conglomerática de la Fm. La Paila (TMp) que se encuentra en las instalaciones de Acuavalle.
Fuente: fotografía propia.

Sobre la vía antigua a Cali, se ubican las estaciones Z042 y Z043, donde existe al borde de la vía un afloramiento de unos 7 m de alto por unos 50 m de longitud de roca conglomerática, estrato grueso, clastos de guijo fino a guijarros pequeños, clastosoportada, clastos de alta esfericidad a baja esfericidad, moderadamente calibrada, clastos sub-redondeados a redondeados, 40% de clastos oscuros; composición de los clastos es de cuarzo, basaltos, granodioritas, dioritas, areniscas y chert; color de la matriz café claro a rojizo. Se aprecia laminación inclinada planar (Figura 3.9).

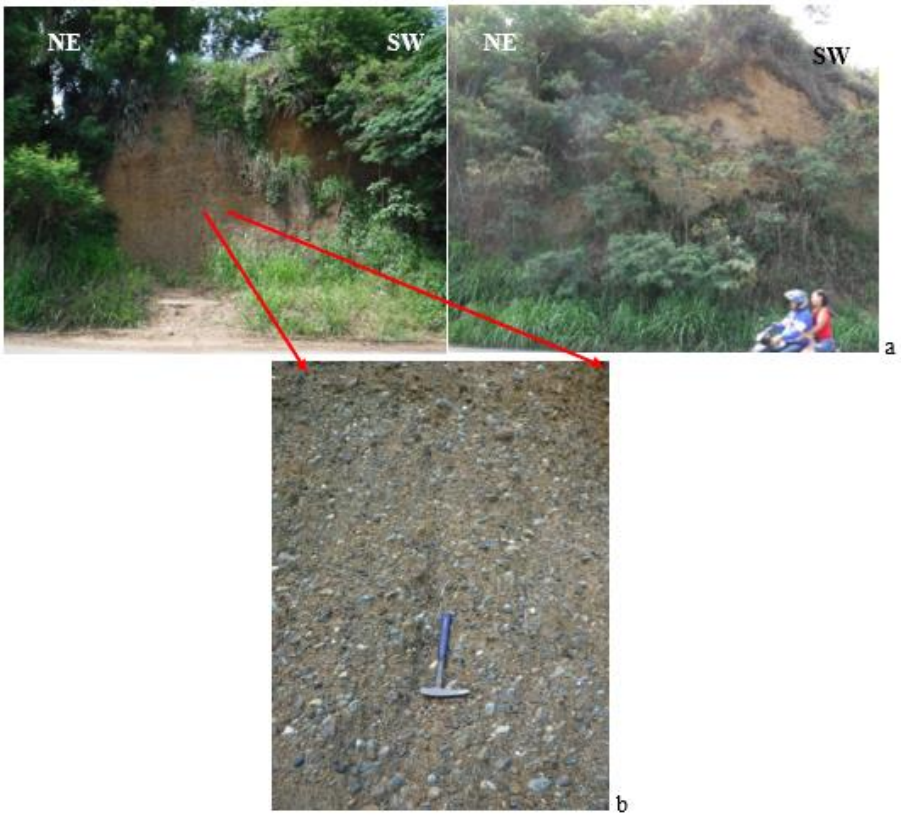


Figura 3.9. Z042 y Z043: **a.** Roca conglomerática de la Fm. La Paila (TMp). **b.** Zoom del afloramiento para detalle de la roca.
Fuente: fotografías propias.

En campo no se logró ubicar contacto entra rocas de la Fm. La Paila (TMp) y rocas de la Fm. Zarzal (TPz).

3.3.1.2. Formación Zarzal (Tplz)

En el casco urbano del municipio de Zarzal existen algunos afloramientos los cuales permiten identificar esta formación, se describirán de W a E solo en base a la pendiente del Municipio ya que no es claro con los afloramientos el orden de depositación de los mismos.

La estación Z060, ubicada en la Urbanización Los Lagos IV etapa, al borde de una vía de la urbanización se aprecia un afloramiento de unos 2 m de alto por 5 m de longitud, a la base un estrato grueso arcilla blanca (diatomeas) con intercalaciones de láminas de lutitas, poco consolidada y en disconformidad con intercalaciones de arenita fina con láminas oxidadas, la estratificación se presenta horizontal (Figura 3.10).

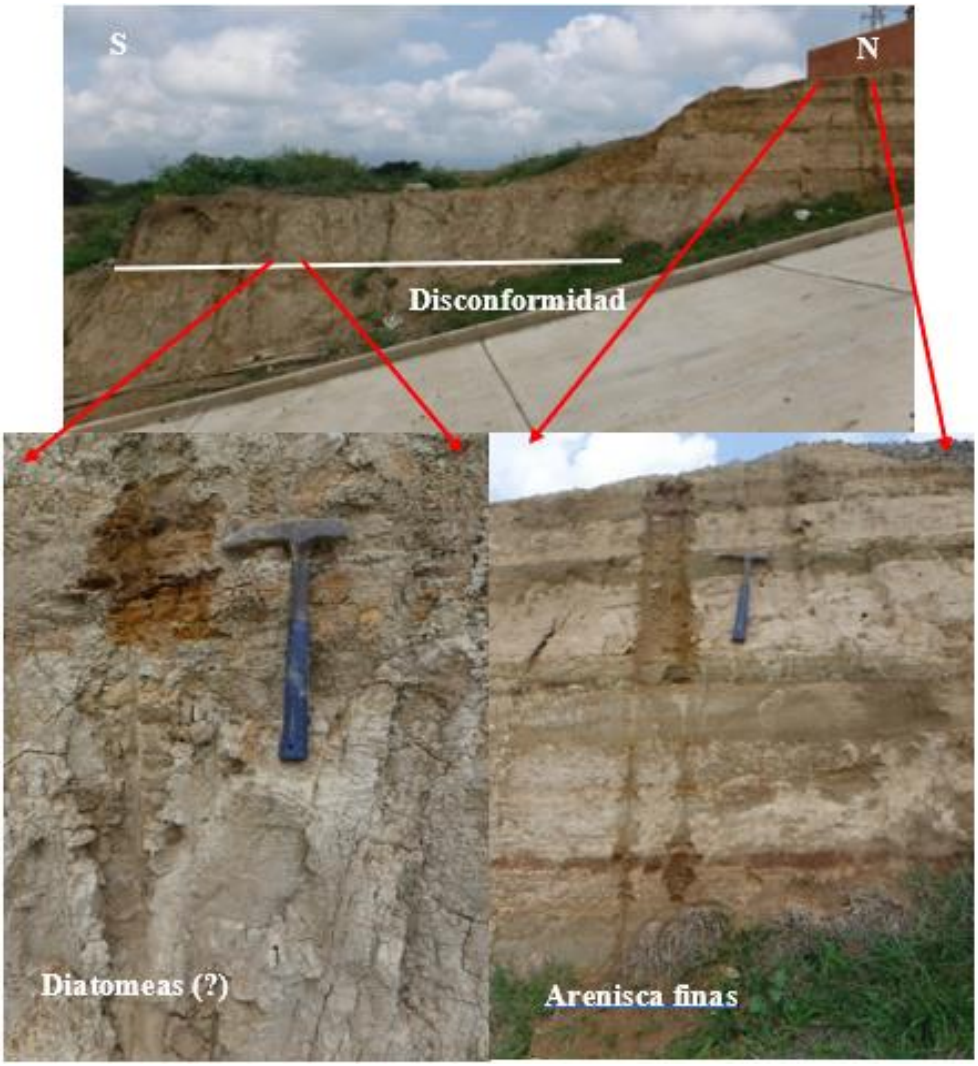


Figura 3.10. Z060: Afloramiento donde se aprecia la Fm. Zarzal (TPz) en la Urbanización Los Lagos IV etapa.
Fuente: fotografías propias.

También en la Urbanización Los Lagos, en la estación Z052 existe un cerro aislado de unos 7 m de alto y en su parte superior hay una válvula de escape del ingenio Rio Paila, dicho cerro presenta a su base un estrato grueso de intercalaciones de lutitas y diatomeas con laminación plana paralela y en discordancia sin paralelismo (?) y presentando moldes de carga positivos un conglomerado matriz soportado, color beige, clastos de guijo fino a medio, alta esfericidad, clastos sub-redondeados a redondeados, de moderado a pobremente calibrado, 20% de clastos oscuros; composición de los clastos cuarzo, chert, basaltos y areniscas (Figura 3.11).

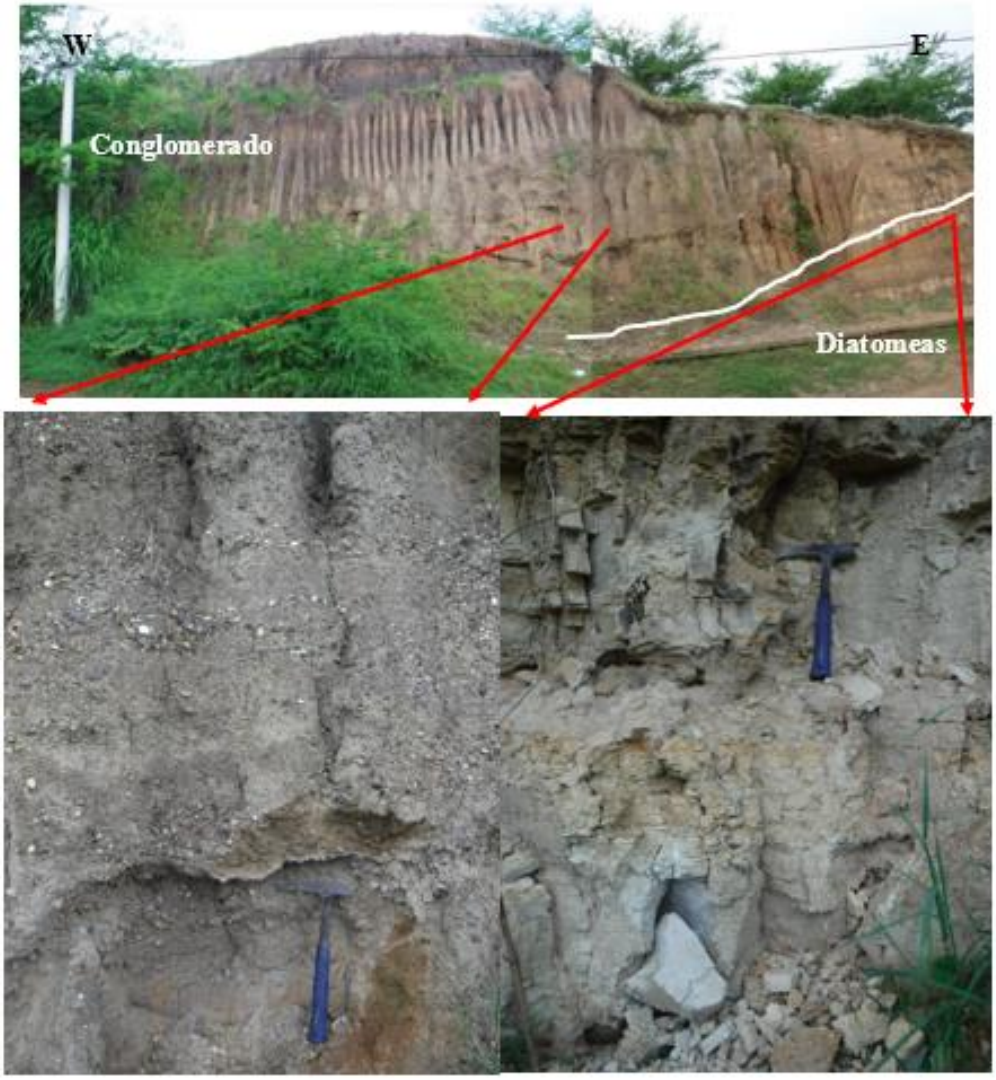


Figura 3.11. Z052: Afloramiento de la Fm. Zarzal (TPz) donde se aprecia rocas conglomeráticas y diatomeas.
Fuente: fotografías propias.

En un lote en el cual están construyendo (lado W de la carrera 6ª, parte baja de la Iglesia de la Medalla Milagrosa) está ubicado la estación Z020 donde se aprecia un afloramiento de unos 3 m de alto por 10 m de largo, a la base un estrato grueso de diatomea color blanco hueso y en disconformidad un estrato grueso de limolitas pocos consolidadas, color beige, con laminación plana paralela, muy bien calibrada. Estratos horizontales (Figura 3.12).

a b

Figura 3.12. (Z020): **a.** Estratos horizontales de la Fm. Zarzal (TPz). **b.** zoom detalle de las diatomeas abajo y limolitas arriba con láminas oxidadas.
Fuente: fotografías propias.

En la calle 9 con carrera 5ª se ubica la estación Z040 y Z041, donde se aprecia un afloramiento de unos 30 m de longitud por 4 m de alto, en el cual hay un estrato grueso de arenita gruesa semi-consolidada, color gris claro, con clastos flotantes de guijos gruesos, los cuales tienen alta esfericidad, sub-redondeados y de composición de chert, basalto, granodiorita y cuarzo (Figura 3.13).

Figura 3.13. (Z040): Fotos en dos sitios diferentes del afloramiento donde se aprecia la arenisca gruesa de la Fm. Zarzal (TPz).
Fuente: fotografías propias.

En la carrera 3 # 7B-14, al lado de las casas existe un afloramiento de unos 20 m de largo por 4 m de alto, donde se aprecia arcilla blanca amarillenta con laminación plana paralela y un dato de estratificación de S25°W/5°NE (Figura 3.14).

Figura 3.14. (Z056): Foto izquierda, vista general del afloramiento. Foto derecha, zoom para detallar la arcilla y su laminación plana paralela.
Fuente: fotografías propias.

Unas cuadras más delante de la estación anterior, en el barrio Brisas de Rio Paila (Estaciones Z057, Z058 y Z059) se observa nuevamente la arcilla ya meteorizada, color beige, con láminas oxidadas y estratificación horizontal (Figura 3.15).

a

b c

Figura 3.15. **a.** (Z057): pequeño afloramiento al lado de una vía donde se aprecia la arcilla de la Fm. Zarzal (TPz). **b** (Z057): Arcilla al piso ubicado en un parque del barrio. **c.** (Z058): Afloramiento de arcilla al lado de la vía.
Fuente: fotografías propias.

Por los pocos afloramientos vistos y lo plano del casco urbano de Zarzal es difícil elaborar una correlación estratigráfica de la Fm. Zarzal (TPz), pero si se puede hacer una correlación aproximada de la roca diatomea, la cual estaría a la base de la columna estratigráfica y arriba de ella y en disconformidad las demás rocas.

3.3.1.3. Terrazas (Qta) y aluviones (Qal)

Las estaciones Z002, Z008, Z009, Z016, Z035 y Z065 (Figura 3.16) son ejemplos de visuales de estos depósitos sedimentarios (Qta), planos y extensos donde actualmente solo se aprecia suelo (horizonte A), solo en la estación Z001, al N del casco urbano de Zarzal, se está construyendo la Urbanización Cañaveral y en ella se pudo observar que la roca es un limo muy fino y negro, no consolidado (Qal), ver Figura 3.17.

a b

c d

Figura 3.16. Depósitos sedimentarios cuaternarios Qta **a**. Z002, **b.** Z009, **c.** Z016 y **d.** Z065.
Fuente: fotografías propias.

Figura 3.17. (Z001): Limos de color negro no consolidados (Qal), los cuales topográficamente están más abajo de los Qta.
Fuente: fotografías propias.

3.4. GEOLOGIA ESTRUCTURAL LOCAL

Dentro del área de estudio se pueden diferenciar algunos rasgos estructurales en superficie que permiten identificar fallas geológicas, pero no es claro si son fallas actualmente activas. En la estación Z020 se evidencia el movimiento local de una falla normal, con un desplazamiento aproximado de 70 cm y un dato estructural N80°E/76°SE (Figura 3.18).

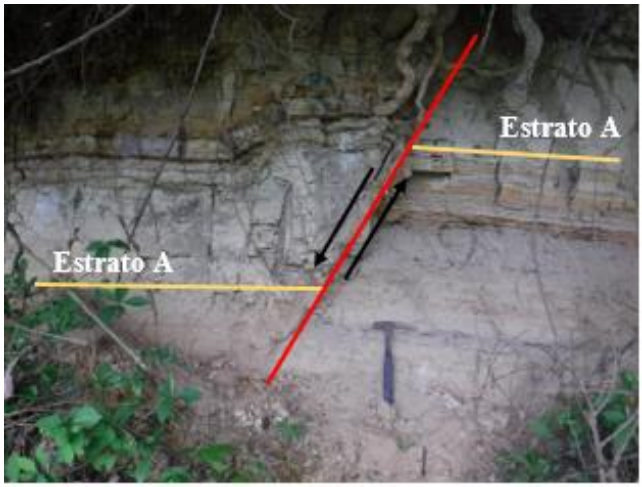


Figura 3.18. (Z020): Falla normal que afecta la Fm. Zarzal (TPz), con un desplazamiento de 70 cm.
Fuente: fotografías propias.

En la doble calzada, vía a Cali, en la estación Z071 se aprecia una falla inversa (?) con vetillas de carbonatos, presenta un dato estructural de S50°E/60°SW (Figura 3.19).

Figura 3.19. (Z071): Falla inversa (?) con vetillas de carbonato en el plano de falla y sus respaldos, la cual afecta la Fm. La Paila (TMp).
Fuente: fotografías propias.

Por foto-interpretación se marcó dos lineamientos más, los dos al lado SE del casco urbano de Zarzal con una tendencia de N50°E, (Figura 3.20, Figura 3.22y Figura 3.23). Ambos lineamientos no presentan evidencias de actividad tectónica reciente.

3.5. UNIDADES GEOLOGICAS SUPERFICIALES

Las Unidades Geológicas Superficiales se consideran como el conjunto de materiales que conforman la superficie del terreno hasta profundidades del orden de decenas de metros, e incluyen rocas con diferentes grados de meteorización y fracturamiento, así como suelos y depósitos inconsolidados (Ibañez D. et al. 2012).

En los límites urbanos de Zarzal se definieron las unidades geológicas superficiales, identificándolas inicialmente de acuerdo con su origen: Rocas (**R**) o Suelos (**S**), y posteriormente por sus características litoestratigráficas (composición y estructura) y relieve. Las unidades geológicas superficiales corresponden a: Roca dura (**Rd**), Roca blanda (**Rb**), suelos que se diferenciaron entre transportados (**St**) y antrópicos (**Sa**).

3.5.1. Unidad de Roca dura (Rd)

Comprende macizos rocosos en los que el material se presenta meteorizado, con código **Rdb** (Roca dura de basalto), sin embargo, la roca es dura y tienen resistencia alta. Dentro de esta unidad se incluyen únicamente las rocas de la Formación Volcánica (Ksb) que están presentes en la zona montañosa caracterizada por laderas inclinadas a onduladas.

3.5.2. Unidad de Roca blanda (Rb)

Macizos rocosos muy meteorizados con código **Rbvs** (Roca blanda volcano-sedimentario), son rocas blandas y baja resistencia. En esta unidad están las rocas pertenecientes a la Formación Zarzal (Tplz), la cual está presente en las zonas montañosas y en contacto con la unidad **Rdb**, también se presenta en zonas semiplanas y pequeñas montículos aisladas (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

3.5.3. Unidad de suelo transportado (St)

Son materiales que han sufrido algún tipo de transporte, ya sea por medios naturales de tipo fluvial o aluvial, eólico, glaciar, gravedad o por medios relacionados con las actividades del hombre (antrópicos). Están conformados por materiales heterogéneos, cuya composición depende de la fuente de origen, no están consolidados, son susceptibles a generar movimientos en masa (en las zonas de mayor pendiente) y se distribuyen desde las zonas semiplanas hasta las zonas de baja pendiente.

Dentro de las unidades de suelo transportado para Zarzal se definieron las siguientes (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**):

- Suelo transportado aluvial (Sta).
- Suelo antrópico mixto (Sa). Conformados por (plástico, madera, escombros, basura, etc.).
- Suelo antrópico jarillón (Saj)
- Suelo antrópico de relleno de escombros (Sale).

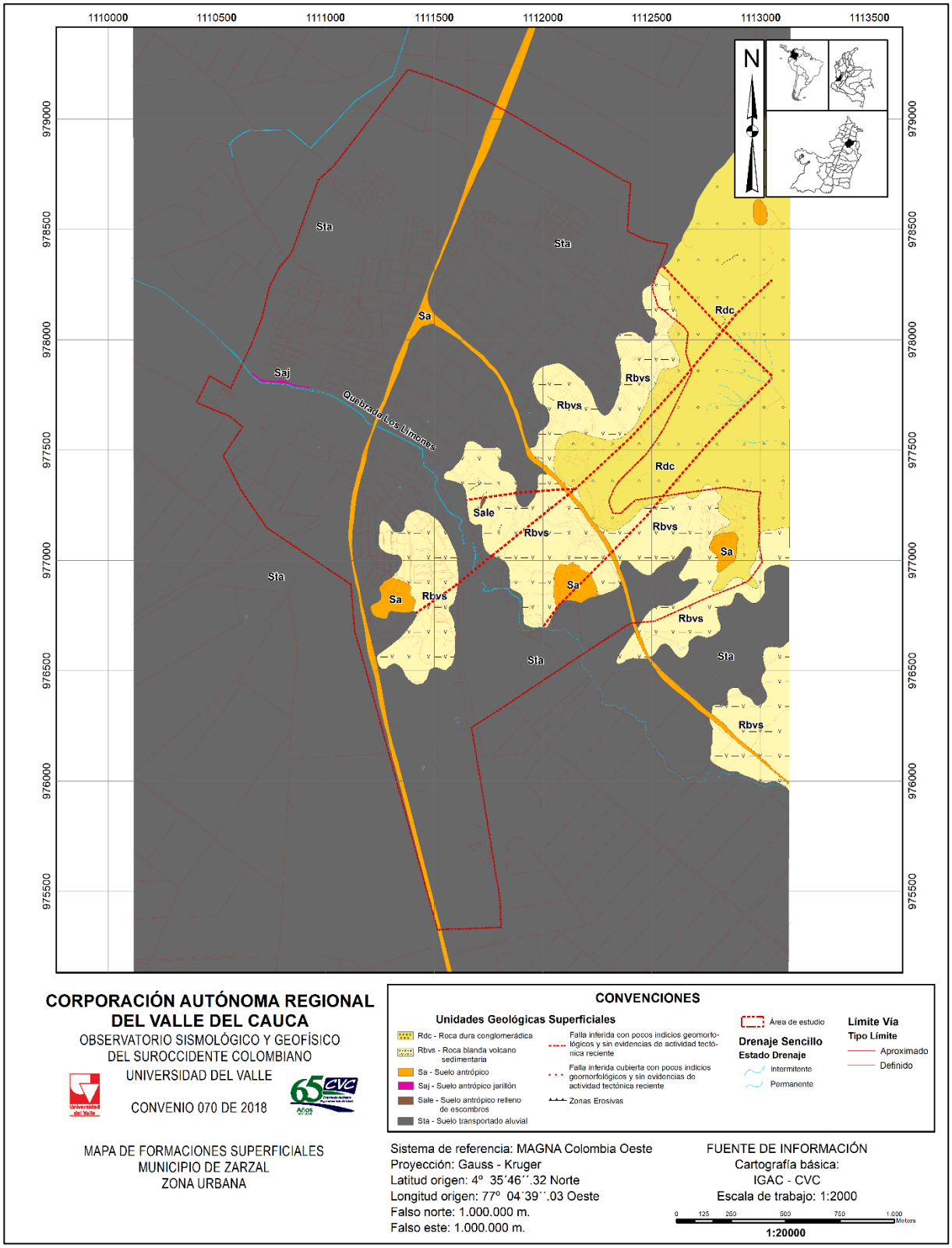


Figura 3.20. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales del área urbana del municipio de Zarzal.
Fuente: elaboración propia.

3.6. GEOMORFOLOGÍA

La actual dinámica global en referencia al cambio climático y la exposición cada vez mayor de la población, hacen necesario generar conocimiento sobre la dinámica del paisaje físico. Un estudio geomorfológico puede convertirse en una herramienta muy útil en la zonificación de la amenaza por fenómenos de remoción en masa e inundaciones.

El presente estudio se hizo siguiendo 3 fases: Fotointerpretación, control de campo, definición de elementos geomorfológicos y elaboración de mapas.

3.6.1. Fase 1

Por medio de la foto-interpretación se definieron las distintas formaciones superficiales, se identificaron formaciones geomorfológicas de origen tanto natural como antrópico de acuerdo a la evolución de la depositación del material.

Se realizó un análisis multitemporal de las fotografías aéreas existentes del Municipio. Los vuelos analizados para el casco urbano de Zarzal fueron:

- IGAC_C_1474_FOTO_156 y 157_AÑO_1973 (Figura 3.21)
- A2_1998_07_20_0_407_F41S_256 y 257 (Figura 3.22)
- A2_2004_02_00_00_FAL_448_373 a 375 (Figura 3.23)

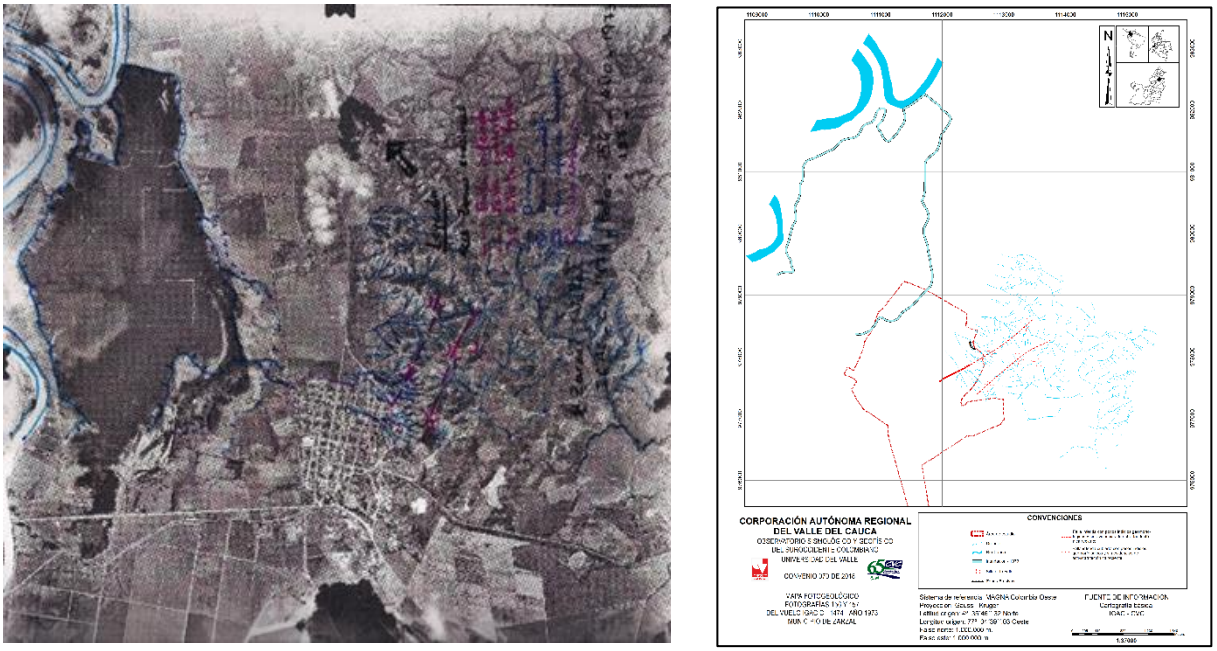


Figura 3.21. Fotointerpretación del vuelo IGAC_C_1474_FOTO_156 y 157_AÑO_1973.
Fuente: elaboración propia con la fotografía aérea del IGAC, (1973)

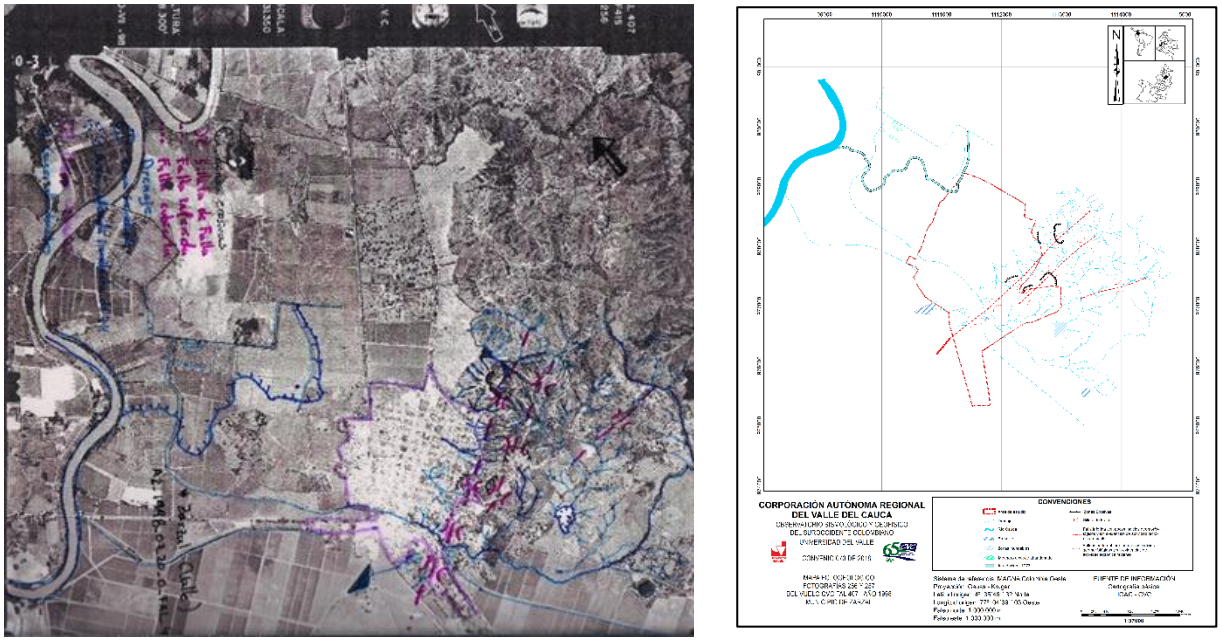


Figura 3.22. Fotointerpretación del vuelo del A2_1998_07_20_0_407_F41S_256 y 257.
Fuente: elaboración propia con la fotografía aérea de la CVC, (1998)

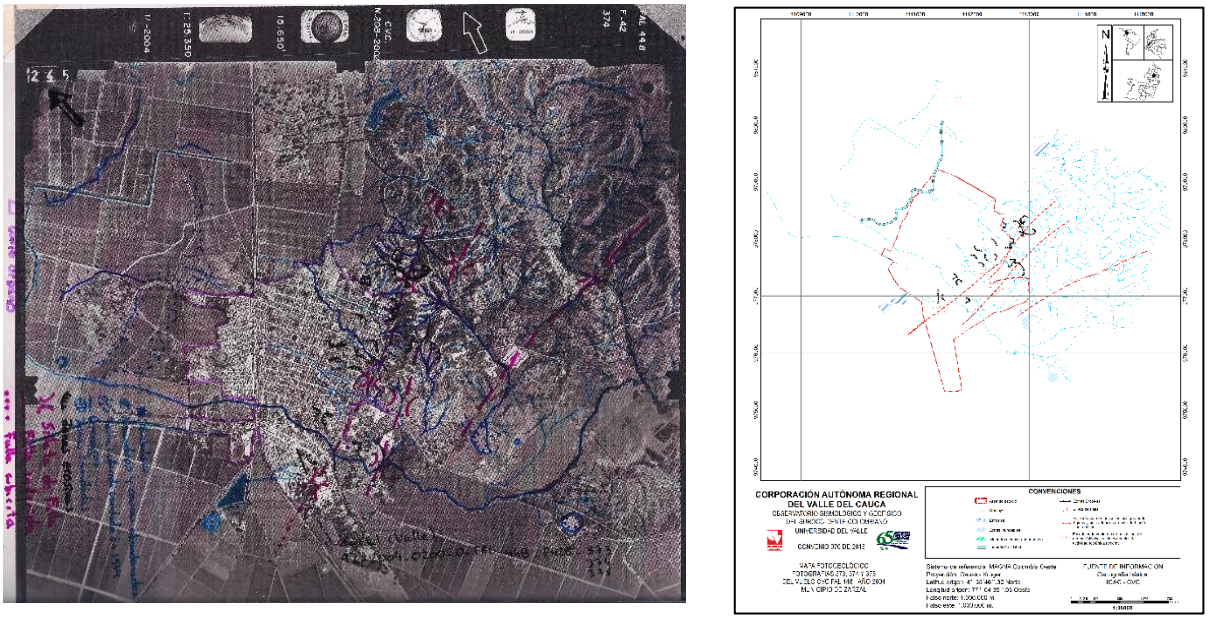


Figura 3.23. Fotointerpretación del vuelo del A2_2004_02_00_00_FAL_448_373 a 375
Fuente: elaboración propia con la fotografía aérea de la CVC, (2004).

Adicionalmente, se analizó el Modelo Digital del Terreno y el mapa de pendientes (Ver Figura 3.25 y Figura 3.26) para verificar las características de la superficie y se complementó con el análisis de las fotografías aéreas. Con estas tres herramientas se obtuvo un insumo muy importante en la determinación de las unidades Geomorfológicas y se definió que el área urbana de Zarzal corresponde alto porcentaje a un relieve plano a casi plano (0 - 2°), suavemente inclinado (2 - 4°), inclinado (4 - 8°), moderadamente abrupto (8 - 16°) y en muy pequeña proporción abrupto (16 - 35°) (Van Zuidam, 1985).

Además, se determinaron las características morfológicas y los ambientes morfogenéticos recientes y antiguos que de alguna manera han contribuido a la evolución del paisaje; se zonificaron áreas homogéneas caracterizando y delimitando las unidades geomorfológicas.

3.6.2. Fase 2

Posteriormente, esta información fue corroborada en campo realizando un análisis y corrección de estas, obteniendo una delimitación más cercana a la realidad.

Dada la escala de trabajo (1:2.000), se cartografiaron elementos geomorfológicos de acuerdo con la jerarquización mostrada en la Figura 3.24.

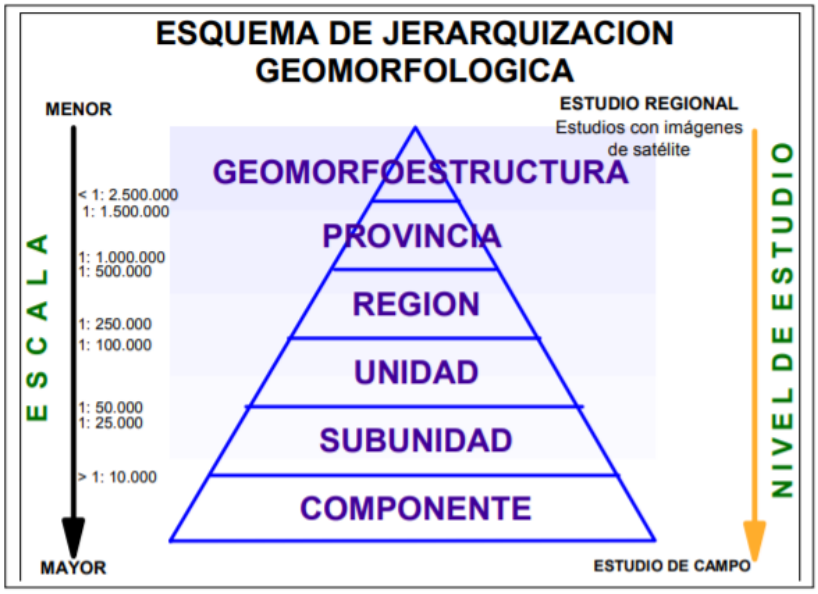


Figura 3.24. Esquema de jerarquización geomorfológica
Fuente: Tomado de Carvajal (2012).

Regionalmente el municipio de Zarzal se ubica sobre el piedemonte occidental de la Cordillera Central y en la que forma parte de la vertiente del Rio Cauca, el cual se clasifica en:

Zona Plana, en el valle aluvial del río Cauca, el relieve es plano el cual está conformado por la llanura de inundación donde es notable la ausencia de terrazas aluviales y en ella se encuentran los depósitos del periodo Cuaternario, suavizando el relieve y generando nuevas geoformas de origen denudativo y agradacional, con depositación lenta o súbita, por la acción libre o conjunta de los agentes de transporte y la gravedad.

Zona de Piedemonte de la Cordillera Central parte occidental en la que se destaca la loma de La Cruz.

Zona de Montaña, está conformado por laderas estructurales, las elevaciones se desatacan son el cerro de Pan de Azúcar, los altos de La Aurora y Montenegro la sierra del Salado y la sierra de Zarzal y el cerro de Care Perro.

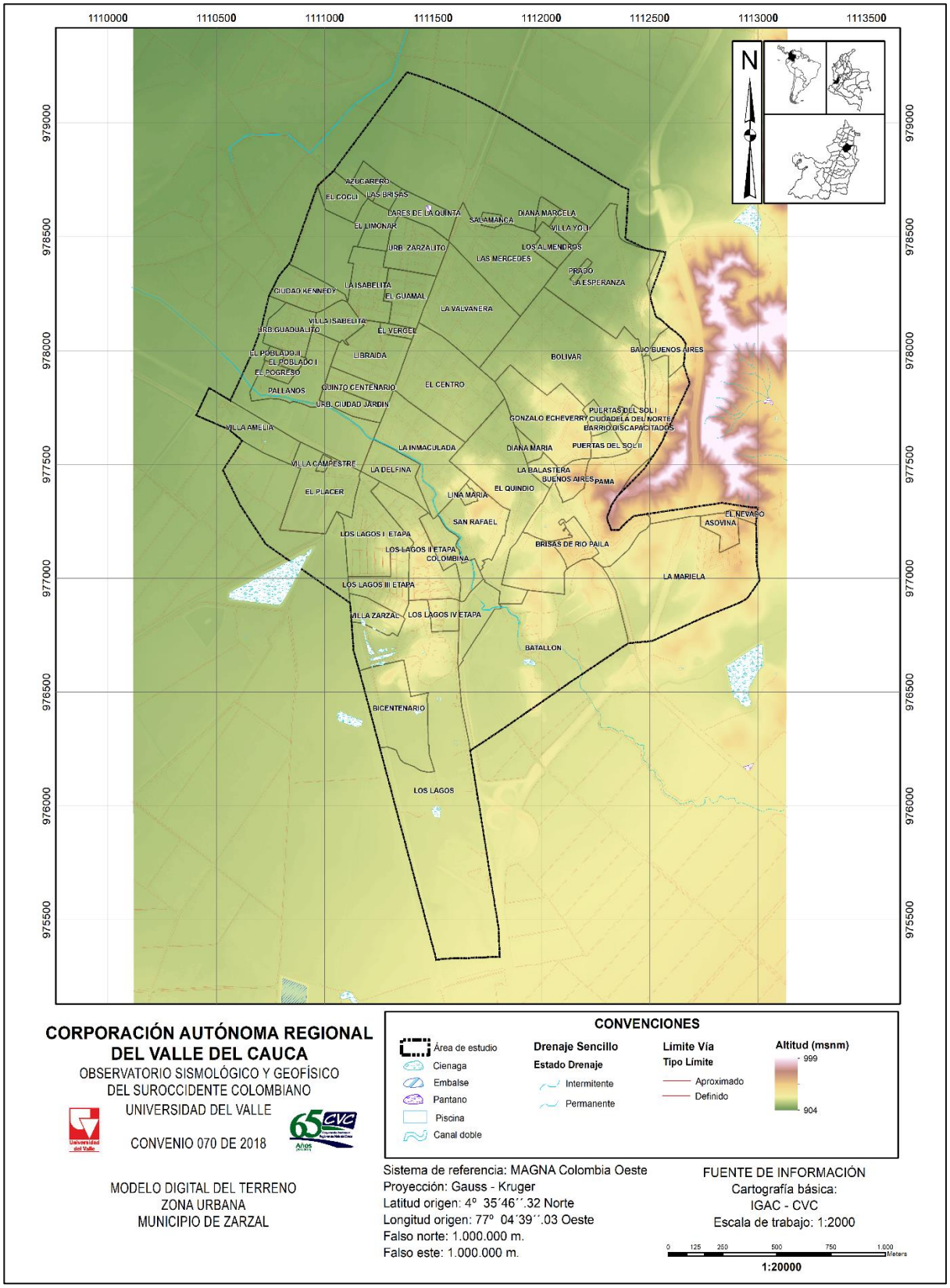


Figura 3.25. Modelo Digital de Terreno del área urbana del municipio de Zarzal.
Fuente: elaboración propia.

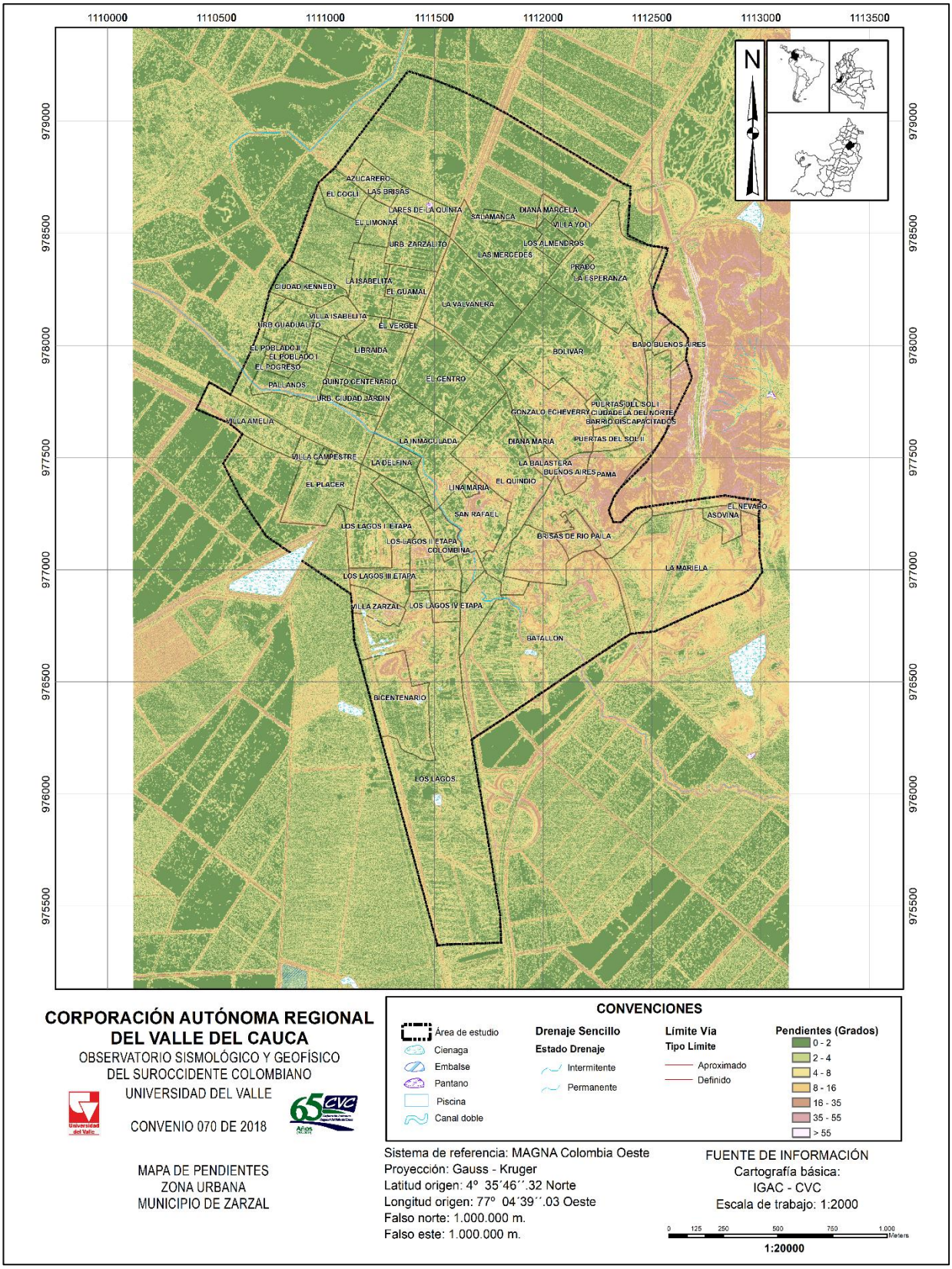


Figura 3.26. Mapa de Pendientes del área urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

De otra parte, la actividad antrópica, especialmente por la urbanización espontánea, modificó en algunos sectores la morfología del paisaje natural, generando nuevas formas y nuevos procesos que modifican el terreno, esto se puede notar en la Qb o Canalón Los Limones, la cual presenta giros no naturales de 90° y edificaciones a ambos lados de ella sin la margen de protección, lo cual se convierte en una amenaza para los habitantes (Figura 3.27).

a b

Figura 3.27. **a.** (T021): Casas construidas a cada lado del canalón. **b.** (T022): Giros no naturales de la quebrada canalizada, lo cual provoca desbordamientos.
Fuente: fotografías propias

Se destacan tres tipos de morfología en el área urbana de Zarzal, las cuales se describe de mayor a menor ocupación de área:

1. Zona de ambiente fluvial con procesos tipo flujo como abanicos aluviales y terrazas, básicamente depósitos Cuaternarios, principalmente de la quebrada Los Limones; estas geoformas cubren en 90% del casco urbano.

2. Zona de ambiente o actividad antrópica, principalmente en relieves de laderas suaves, que han generado geoformas recientes, especialmente relacionadas con terraceo, rellenos realizados con fines de urbanización, protección para inundaciones y escombreras; estas geoformas ocupan un 8% del área del casco urbano de Zarzal

3. Sector montañoso conformado por rocas de la Fm. La Paila (TMp) y Fm. Zarzal (TPz). Este sector es un 2% del casco urbano del Municipio.

Una vez establecidos el ambiente morfogenético del área de estudio y los posibles elementos geomorfológicos presentes, se define la nomenclatura asociada, la cual se ajustará de acuerdo con la caracterización de los elementos en campo. El sistema propuesto es el presentado por el Servicio Geológico Colombiano en la Guía metodología para estudios de amenazas, vulnerabilidad y riesgos por movimientos de masa del año 2015:

• La primera letra, en mayúscula, indica el origen de la geoforma:
- Morfoestructural (**S**).
- Volcánico (**V**).
- Denudacional (**D**).
- Fluvial (**F**).
- Marino-costero (**M**).
- Glacial (**G**).
- Eólico (**E**).
- Kárstico (**K**).
- Antropogénico (**A**).

• A partir de la segunda letra, en minúscula, se indican características particulares del elemento, rasgo o proceso geomorfológico.

En la Tabla 3.1 se presentan ejemplos de nomenclatura de elementos geomorfológicos, según algunos estudios de caso realizados por el Servicio Geológico Colombiano (Tomado de*: Guía metodológica para estudios de amenazas, vulnerabilidad y riesgos por movimientos en masa* (SGC, 2015b, anexo A-4*)* en ambientes sedimentarios y volcánicos, en los que se ha adoptado el sistema de clasificación morfogenética del International Institute for Aerospace Survey and Earth Science (ITC). Otros ejemplos pueden encontrarse en Carvajal (2012).

Los elementos asociados con dichas geoformas encontrados en el casco urbano de Zarzal se relacionan a continuación (Tabla 3.1 y Figura 3.31):

- Dlres (Lomo residual)
- Dmo (Montículos y ondulaciones denudacionales)
- Fta (Terrazas de acumulación)
- All (Llenos mixtos)
- Alt (Ladera terraceada)

Las formas de origen Denudacional (**D**) son el resultado de los procesos erosivos hídricos y pluviales, y producto principalmente de procesos de meteorización, erosión y movimientos en masa, sobre geoformas preexistentes (Carvajal, 2012; modificado). En este ambiente, también se consideran aquellas geoformas que se crean a partir de la acumulación de sedimentos (INGEOMINAS, 2012).

En Zarzal tenemos lomo residual (**Dlres**) que comprenden **e**levaciones del terreno menor de 200 metros con morfología alomada y alargada, laderas cortas a moderadamente largas, convexas a eventualmente cóncavas y pendientes muy inclinadas a muy abruptas y con drenaje dendrítico, desarrollado de manera general, sobre materiales afectados por meteorización diferencial intensa. (Servicio Geológico Colombiano, 2015) (Ver Tabla 3.1, Figura 3.28 y Figura 3.31).

Tabla 3.1. Ejemplos de nomenclaturas de elementos geomorfológicos. Carvajal (2012).

ORIGEN	CARACTERÍSTICAS		NOMBRE DEL ELEMENTO	NOMENCLATURA
ESTRUCTURAL DENUDACIONAL	Estas geoformas se originan por la influencia de la actividad tectónica sobre roca y suelos, generando expresiones en el terreno que se combinan con los procesos denudacionales.		Gancho de falla	Sgf
			Lomo de presión	Slp (Sle)
			Cerro estructural	Sce
			Charco de falla (Sag Pond)	Scf
VOLCÁNICO DENUDACIONAL	Son geoformas desarrolladas por estructuras volcánicas y su actividad asociada a materiales arrojados por los mismos, los cuales se encuentran sometidos a procesos denudacionales de clima tropical.	FLUVIO-VOLCÁNICA	Superficie de abanico	Va
			Escarpe de abanico	Vea
		SUBORIZONTALES A INCLINADOS	Lomo residual	Vlr (Dlr)
			Cimas anchas	Vca (Dca)
			Colina residual	Vcr (Dcr)
			Superficie Plana o Sub-horizontal	Vlpf (Dlp)
			Ladera suave	Vls (Dls)
			Ladera moderada	Vlm (Dlm)
			Ladera inclinada a escarpada	Vle (Del)
DENUDACIONAL	Estas geoformas están relacionadas con los procesos denudacionales normales que se presentan en las zonas de clima tropical, caracterizadas por erosión; depositación y movimientos en masa		Microcuencas denudacionales	Dmc
			Depósitos de lavado	Ddl
			Depósitos de ladera o coluviales	Dco
FLUVIAL	Son geoformas derivadas de la actividad agradacional y degradacional de las corrientes fluviales. Incluyen cauces actuales de las corrientes y niveles de las terrazas dejadas por sedimentación de cauces, incisión y eventos fluvio - torrenciales		Cauce o lecho actual del río	Fca
			Nivel de terraza bajo	Ftb
			Nivel de terraza medio	Ftm
			Nivel de terraza alto	Fta
			Escarpe de terraza	____Fet____
			Cono de deyección	Fcd
ANTROPOGÉNICO	Corresponden a geoformas originadas como resultado de la intervención del hombre sobre el terreno, en la mayoría de los casos con el fin de realizar construcción de vivienda, obras de ingeniería, disposición de desechos o escombros y adecuación de nuevas vías.		Canteras	Ac
			Llenos Mixtos	Allm
			Llenos de escombros	Alle
			Terrazas y conos explanados con llenos	Abe
			Ladera terraceada	Alt

Fuente: Con datos de la Guía metodológica para estudios de amenazas, vulnerabilidad y riesgos por movimientos en masa. SGC, (2015b), anexo A-4.

Figura 3.28. (Z044): Panorámica donde se observan los lomos residuales de la Fm. La Paila (TMp).
Fuente: fotografía propia

El Servicio Geológico Colombiano (2015) define **Dmo** (Montículos y ondulaciones denudacionales) como una elevación del terreno con una altura menor de 50 metros sobre su nivel de base local, con una morfología colinada, cóncava o convexa, suavemente inclinada y con drenaje divergente. Su origen es relacionado a procesos de meteorización y erosión intensa sobre rocas blandas o friables y en sedimentos no consolidados, dispuestos de manera horizontal a ligeramente inclinados (Ver Figura 3.31). Los depósitos pertenecientes a la Fm. Zarzal (TPz) se encuentran dentro de este origen (Ver Figura 3.10, Figura 3.11, Figura 3.12, Figura 3.13, Figura 3.13, Figura 3.14, Figura 3.15).

Las terrazas de acumulación (**Fta**) son superficie elongada, plana a suavemente ondulada, modelada sobre sedimentos aluviales, que se presenta en forma pareada, limitada por escarpes de diferente altura a lo largo del cauce de un rio. Su origen está relacionado a procesos de erosión y acumulación aluvial, dentro de antiguas llanuras de inundación. Su formación incluye fases de acumulación, incisión y erosión vertical. Estas terrazas pueden ser parte de cauces rectos a meándricos. Su depósito está constituido por gravas arenas, limos y arcillas, con disminución del tamaño a medida que se aleja del cauce del rio (Servicio Geológico Colombiano, 2015) (Ver Figura 3.29).

Figura 3.29. **a.** (Z014) y **b.** (Z016) ejemplos de las geoformas por depósitos aluviales (Fta).
Fuente: fotografías propias

Las formas de origen antrópico (**A**) corresponden a geoformas que han sido modeladas como producto de las actividades realizadas por el hombre, durante sus procesos de adaptación y aprovechamiento del territorio (Ibañez et al., 2012). Los elementos identificados con estas geoformas se definieron como llenos mixtos (**All**) y ladera terraceada (**Alt**) (Figura 3.30).

a b

Figura 3.30. **a.** (Z044): Aspecto de las laderas terraceadas (**Alt**) para futuras construcciones. **b.** (Z066): Se aprecia lleno mixto (**All**) el cual se elaboró para la construcción de la vía férrea que pasa por el casco urbano de Zarzal.
Fuente: fotografías propias

3.6.3. Fase 3

El resultado de la integración de las fases 1 y 2 del trabajo de geomorfología permitió definir el mapa geomorfológico (o de elementos geomorfológicos) de acuerdo con la escala de detalle del presente trabajo; este mapa se muestra en la Figura 3.31.

3.6.3.1. Análisis, resultados y discusión de la geomorfología

De acuerdo con la jerarquización geomorfológica (IDEAM, 2013), la zona de estudio se localiza en la geomorfoestructura correspondiente a la parte septentrional del cinturón orogénico de los Andes colombianos, en la provincia geomorfológica: Cordillera Occidental, flanco oriental. Este sistema montañoso se formó por procesos denudacionales y levantamientos orogénicos y epirogénicos, con deformaciones de origen compresional y distensional asociados localmente con diferentes grados de metamorfismo de composición y edad variada que han determinado el relieve y la morfología a través del tiempo desde el Paleozoico.

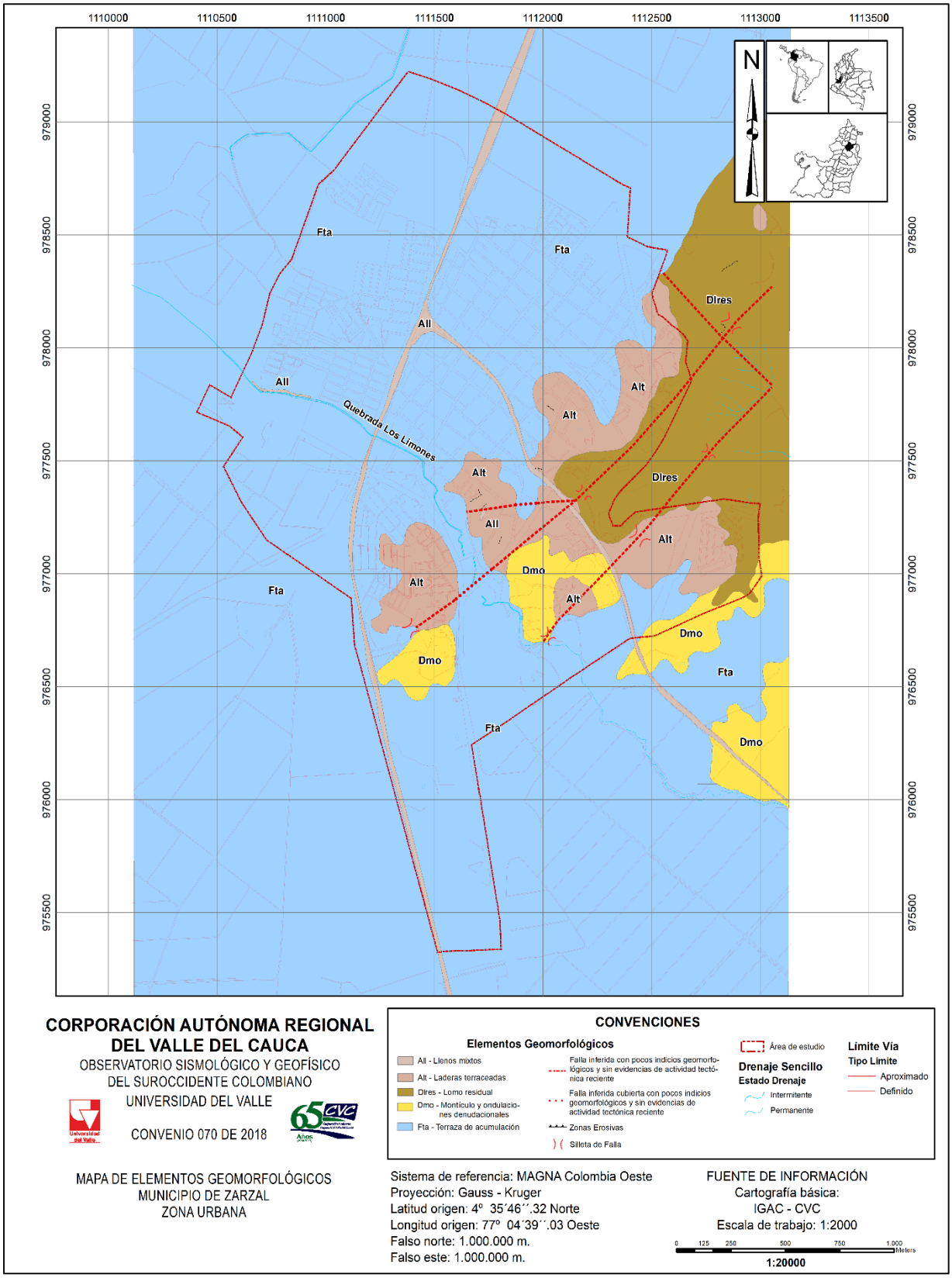


Figura 3.31. Mapa Geomorfológico del área urbana del municipio de Zarzal.
Fuente: elaboración propia.

3.6.4. Movimientos en masa y erosión

El fenómeno de movimientos de remoción en masa no se evidenció en la zona urbana del municipio de Zarzal, sin embargo, en el trabajo de campo se evidencio unos puntos críticos, los cuales ameritan un monitoreo constante y elaborar trabajos de estabilización, estos puntos son:

Al W del cerro donde se ubica la Capilla de la Medalla Milagrosa un Talud vertical que limita con las casas de la Urbanización Lina María (casas 35 a 41), donde se ven grietas en la parte superior, las cuales evidencian que la ladera está cediendo (Figura 3.32).

Figura 3.32. (Z049): Parte alta de la Urbanización Lina María. Observe que el pie del bombero ubicado en la grieta.
Fuente: fotografías propias

En la parte de atrás de la casa ubicada en la carrea 6ª # 6-84, se presenta un talud vertical de unos 7 m de alto, el cual fue creado por los propietarios de las casas de abajo al cortar la montaña para ampliar sus casas (Figura 3.33).

El barrio Brisas de Rio Paila (Al SE de Zarzal, Carrera 1 con calle 7ª) fue desalojado años atrás por deterioro de todas las viviendas, muros fracturados y desplazados, pero como no se demolieron estas casas está totalmente habitado nuevamente; en la visita de campo se evidencio que son arcillas pertenecientes a la Fm. Zarzal (TPz), las cuales al ingresarles agua se expanden y se mueven fácilmente (Figura 3.15 y Figura 3.34).

En la calle 9 # 5ª-28 (Estación Z041) existen dos casas ubicadas a la base de la pequeña colina existente, las cuales presentan el riesgo de deslizamiento de la parte alta del cerro por efectos de la lluvia y ayudado por deforestación de la ladera. Al momento de la visita no se pudo ingresar a las viviendas por falta del permiso de los inquilinos (Figura 3.35).

Figura 3.33. (Z018): Talud vertical de 7 m de alto afectando vivienda en la parte superior.
Fuente: fotografías propias

Figura 3.34. (Z059): Barrio Brisas de Rio Claro construido sobre arcillas, actualmente habitado.
Fuente: fotografías propias

Figura 3.35. (Z041): Casa a la base del cerro con posible afectación de deslizamiento.
Fuente: fotografía propia

3.6.5. Erosión

En el trabajo de campo elaborado en el municipio de Zarzal no se evidenciaron eventos de erosión fuerte, solo algunas zonas que se describirán a continuación, esto, posiblemente a que el Municipio se caracteriza por tener el 90% del casco urbano en terreno plana, más la canalización de la Qb. Los Limones y otras canalizaciones de aguas lluvias que llevan el agua fuera del Municipio.

En la vía antigua a Cali, en el sector de la Ticera y Barrio Alto Buenos Aires (carrera 5ª entre calles 10 y 14) existen zona de talud al lado de vía, las cuales presentan pequeños desprendimientos de roca o de detritos debido a la fuerte pendiente del talud, más el efecto del viento y de las aguas lluvias, por tanto, es conveniente mantener dicha zona monitoreada (Figura 3.9 y Figura 3.36).

Figura 3.36. (Z042): Ejemplo de talud al borde de antigua vía a Cali.
Fuente: fotografía propia

Posiblemente por efectos de erosión de la Qb. Los Limones o simplemente deterioro del canal en cemento, en la Calle 10 con carrera 10 (Estación Z028), se instalaron 4 vigas en acero, atravesando el canal para evitar que las paredes de este se caigan (Figura 3.37).

Figura 3.37. (Z028): Se muestra las vigas (llamadas vigas H) que soportan las paredes del canal.
Fuente: fotografías propias

Otro punto que se evidencio erosión por agua fue en la estación Z073, en la doble calzada a Cali, en esta zona se aprecian canales elaborados por agua lluvia, además de bloques sueltos en el talud los cuales pueden afectar en un futuro inmediato el sector y la vía (Figura 3.38). Se aclara que este punto está fuera del casco urbano de Zarzal.

Figura 3.38. (Z073): Bloques colgados de roca, los cuales fueron producto del agua lluvia
Fuente: fotografía propia

3.6.6. Inundaciones

En las observaciones de campo se evidenció que existen varios puntos críticos en Zarzal siendo el de mayor afectación el de la Qb. Los Limones, la cual cruza todo el casco urbano del Municipio en dirección SE a NW (Figura 3.39), iniciando sus afectaciones en el Batallón de Instrucción y Entrenamiento #3, sector donde se unen los afluentes de la Qb. Los Limones, está en una zona bastante plana y que continuamente presenta inundación por la Qb. Los Limones, más sus afluentes constantes de agua y las aguas lluvias que provienen de la doble calzada (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). Este lugar se menciona ya que pertenece al casco urbano de Zarzal, además en las instalaciones mantiene un promedio de 1.800 personas.

El batallón termina en la antigua vía a Cali, en la carrera 5ª, la quebrada pasa por debajo de un puente vial, desde este punto la Qb. Los Limones es canalizada en cemento y presenta unas dimensiones de 2,8 m de ancho por 1,8 m de alto, lugar que se ve afectado por inundaciones especialmente la vía 5a, la estación de servicio hasta la fecha no se ha visto afectada (Figura 3.39).

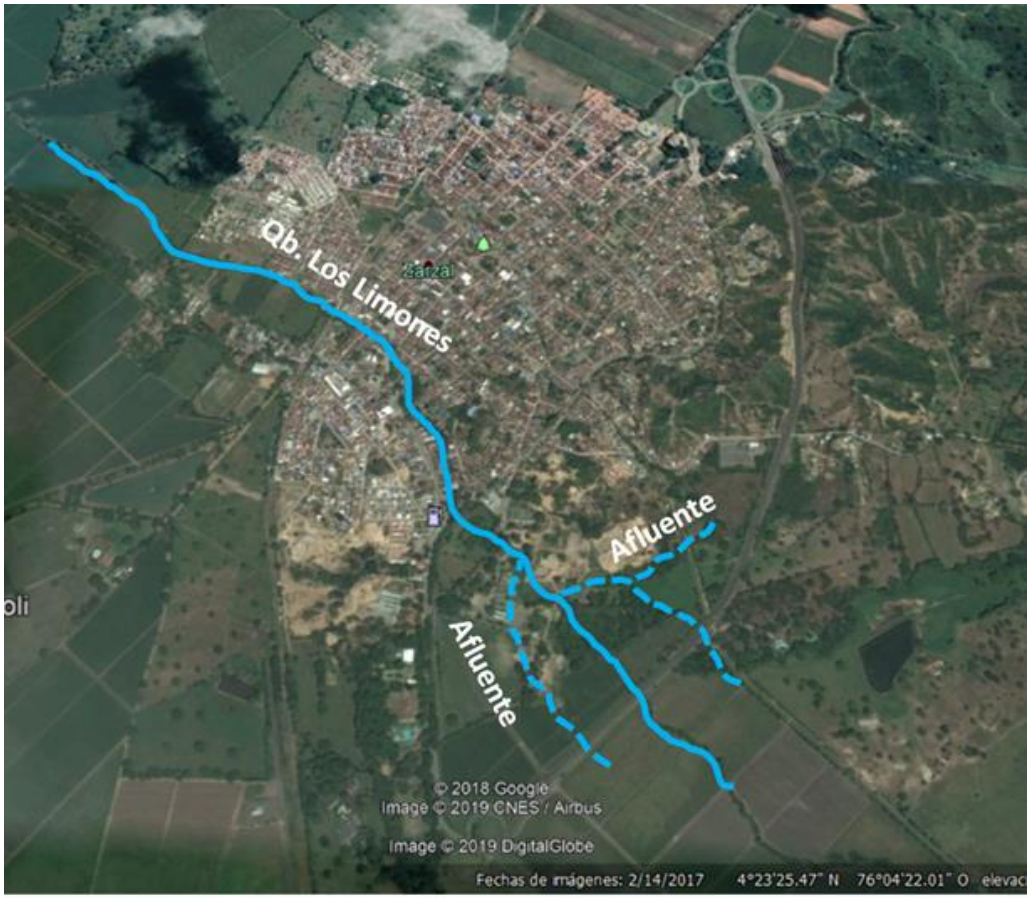


Figura 3.39. Recorrido de la Quebrada Los Limones por el casco urbano de Zarzal.
Fuente: Google Earth, (2019)

La quebrada o el canalón continua con edificaciones a ambos lados de ella, sin ningún margen de seguridad, estas edificaciones continúan en casi todo el recorrido de la Qb. por el casco urbano de Zarzal (Figura 3.27 y Figura 3.40).

a b c d

Figura 3.40. Fotografías de las estaciones **a.** Z021, **b.** Z023, **c.** Z029 y **d.** Z026: Edificaciones a ambos lados de la Qb. o Canalón Los Limones.
Fuente: fotografías propias.

La Qb. o canalón Los limones en la carrera 5 # 6ª-18 presenta su primer y segundo giro no natural de 90°, lo cual ocasiona que la quebrada se desborde e inunde las calles y viviendas aledañas, es el caso de la casa #6ª-18, la cual fue desalojada, pero al no ser derribada ya está habitada de nuevo (Estación Z021 y Z022 (Figura 3.41).

a b

Figura 3.41. (Z022): **a.** Casa afectada por inundaciones de la Quebrada Los Limones. **b.** La foto indica el giro no natural de la quebrada y edificaciones frente a ella.
Fuente: fotografías propias.

En la calle 5 #7-72 (Estación Z025), se presenta un tercer giro no natural al NE de la quebrada o canalón los Limones, esta casa se ha visto continuamente afectada por desbordamiento de la Qb. por lo que los propietarios decidieron construir un muro de unos 50 cm de alto y evitar que la quebrada ingrese a la casa (Figura 3.42). Al momento de la visita en el mes de abril, el muro estaba recién hecho y sin estrenar según comenta el propietario.

a b

Figura 3.42. (Z025): **a.** Casa afectada por la Qb. Los Limones. **b.** En la foto se aprecia el nuevo muro levantado por el propietario.
Fuente: fotografías propias.

El punto más crítico que afecta la Qb. Los Limones es cuando pasa por debajo del puente vial de la carrera 10, ya que el canalón tiene un giro brusco de unos 50° al NW, sumado que el puente al construirlo no se le dejo el espacio suficiente para que la Qb. pasará debajo de él (el puente obstruye

el paso del agua, ver Figura 3.43), la altura del canalón es de 1,8 m y en este punto el puente solo dejo 0,7 m. Esto provoca que la Qb. se desborde constantemente y afecte todo hacia el norte (Carrera 10, sector bomberos, sector parque de la alcaldía y finalmente el sector de la galería).

Figura 3.43. (Z027): Puente vial de la carrera 10, nótese la poca altura del puente lo cual obstruye el paso del agua cuando se aumenta el canal
Fuente: fotografías propias.

Debido a la problemática del puente de la carrera 10, la zona de la galería es unos de los puntos que más se afecta (Estación Z066), ya que toda el agua de desbordamiento más aguas lluvias llegan a este punto, zona bloqueada por la vía férrea, la cual es más alta, generando inundaciones hasta de 1,5 m de alto, en este punto solo se encuentra una entrada a un tubo de cemento de 22” y que continua hasta la estación Z003, lo cual no es suficiente para evacuar el agua, además se tapa con facilidad por escombros y basura (Figura 3.30 y Figura 3.44).

La canalización va hasta la calle 6ª #16-85, de este punto continua en tierra y se presenta de nuevo afectaciones por inundación en la carrera 18b #6-01 (Urbanización Villa Isabela III, estación Z035), la urbanización construyo un dique para evitar que la quebrada se desbordara y afectara las viviendas y al mismo tiempo instalaron un tubo de PVC de 6” para evacuar el agua lluvia de dicha urbanización pero fue ubicado debajo del dique provocando que la quebrada ingrese por el tubo a la urbanización inundando las casas del sector (Figura 3.45).

Figura 3.44. (Z066): Zona de la galería, lugar que actualmente se reposan aguas de desbordamiento de la Qb. Los Limones y aguas lluvias por falta de un sistema de drenaje.
Fuente: fotografía propia.

a b

Figura 3.45. (Z035): **a.** Se aprecia dique y **b**. Parte final del tubo de PVC de 6” para verter aguas lluvias de la urbanización.
Fuente: fotografías propias.

En otro sector fuera de la Qb. Los Limones, en la carrera 7 con calle 10, en la esquina de la Escuela Sagrado Corazón de Jesús (estaciones Z038 y Z039) se presenta otro punto crítico, acá inicia un canal de cemento de 40 cm por 50 cm de ancho y en la iglesia de Los Mormones pasa a un box culvert de 1 m por 0,60 m de alto (En la visita no se pudo identificar el trayecto de inicio y final de este box culvert). Este lugar es propenso a las inundaciones de aguas lluvias provenientes del E del casco urbano (Parte más alta) provocando que el agua llegue a subir a hasta 1,1 m de alto sobre el nivel de la calle (Figura 3.46), debido a que este punto es más bajo que las calles aledañas.

a b

Figura 3.46. **a.** (Z039): Esquina de la escuela Sagrado Corazón de Jesús donde inicia el canal de cemento y punto más bajo de las calles aledañas. **b.** (Z038): El canal pasa a un box culvert que pasa a un lado de la iglesia Mormona.
Fuente: fotografías propias.

Tomando la calle 10, después del barrio Brisas del Rio Paila, al SE del casco urbano de Zarzal, existe un lote, el cual está proyectado como expansión urbana (Estación Z054 y Z055), dicho lugar presenta problemas de inundación a pesar de que lo cruza un canal de desagüe en tierra (Figura 3.47).

El barrio Villa Amelia (Estación Z064) también presenta problemas de inundación debido a que se encuentra por debajo o a desnivel de dos vías; por atrás, lado Sur por una vía terciaria y al Norte por la vía a Roldanillo (Figura 3.48).

Figura 3.47. **a.** (Z054): Lote de expansión del área urbana de Zarzal, actualmente con problemas de inundación. **b.** (Z055): Canal en tierra que cruza el lote.
Fuente: fotografías propias.

Figura 3.48. (Z064): Barrio Villa Amelia, afectado por continuas inundaciones por agua lluvia, nótese al fondo la vía a Roldanillo más alta que la calle del barrio
Fuente: fotografía propia.

Otros puntos que se visitaron y que según reporte del cuerpo de bomberos se ve afectado por inundaciones provenientes de agua lluvias son en las siguientes estaciones:

Z036: Calle 10ª con carrera 8.
Z046: Calle 9, vía que pasa debajo de la doble calzada.
Z050: Calle 11 con carrera 6.
Z053: Calle 10, vía que pasa debajo de la doble calzada.
Z067: Barrio El Guamal, calle 11 con carrera 16.

4. TOPOGRAFÍA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL

En el presente capítulo se presenta el sistema de referencia utilizado para la elaboración de la información cartográfica, además del trabajo realizado de batimetría y topográfico en el municipio de Zarzal para los estudios de amenaza por inundación y movimiento en masa en las zonas que pueden ser afectadas.

4.1. SISTEMAS Y MARCOS DE REFERENCIA

Un sistema de referencia es el conjunto de conceptos teóricos adecuadamente modelados que permiten definir, la orientación, ubicación y escala de tres ejes coordenados (X, Y, Z). Como un sistema de referencia es un modelo, éste es materializado mediante puntos reales cuyas coordenadas son determinadas sobre el sistema de referencia dado, dicho conjunto de puntos se denomina marco de referencia. Si el origen de coordenadas del sistema (X=0, Y=0, Z=0) es el centro de masas terrestre, que se define como un Sistema Geocéntrico de Referencia o Sistema Coordenado Geocéntrico, si TOPOGRAFÍA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL dicho origen está desplazado del geocentro, se conoce como Sistema Geodésico Local.

Las posiciones (X, Y, Z) se expresan en coordenadas curvilíneas latitud (ϕ) y longitud (λ), las cuales requieren de la introducción de un elipsoide de referencia. El origen de coordenadas (X=0, Y=0, Z=0) coincide con el centro geométrico del elipsoide, el eje Z con el eje menor del elipsoide, el eje X con la intersección del plano ecuatorial y del meridiano de referencia del elipsoide y el eje Y forma un sistema coordenado de mano derecha. La orientación y ubicación del elipsoide asociado a un sistema coordenado (X, Y, Z) se conoce como Datum Geodésico; si este es geocéntrico se tiene un Datum Geodésico Geocéntrico o Global, si es local se tendrá un Datum Geodésico Local. Estos últimos se conocen también como Datum Horizontales ya que sus coordenadas (ϕ, λ) se definen independientemente de la altura (H). Mientras que la latitud (ϕ) y la longitud (λ) se refieren al elipsoide, la altura (H) se define sobre una superficie de referencia (el nivel medio del mar) que no tiene relación alguna con el elipsoide. Los datum geocéntricos, por el contrario, son tridimensionales, éstos permiten definir las tres coordenadas de un punto con respecto a la misma superficie de referencia (el elipsoide), en este caso la tercera coordenada se conoce como altura geodésica o elipsoidal (h) (IGAC, 2004).

- **Sistema Internacional de Referencia ITRS (International Terrestrial Reference System):** es establecido y mantenido por el IERS (International Earth Rotation and Reference Systems Service). Este se define con origen en el centro y masa terrestre, el eje X está orientado al Meridiano de Greenwich Convencional determinado por la IERS y llamado Reference Meridian (IRM) o Greenwich Mean Origin (GMO), el eje Z está orientado al polo definido por el Conventional International Origin (CIO) y el Y es perpendicular a estos dos sistemas. La escala está definida en un marco geocéntrico y la orientación esta forzada a no tener residuales en la rotación global con respecto a la corteza terrestre (IGAC, 2004)

- **Marco de Internacional Referencia Terrestre ITRF (International Terrestrial Reference Frame):** es el marco de referencia del ITRS, el cual está formado por las coordenadas cartesianas geométricas (X, Y, Z) y las velocidades (Vx, Vy, Vz), de un

conjunto de estaciones observadas mediante técnicas geodésicas espaciales de alta precisión. Debido al movimiento de las placas tectónicas y su deformación que alteran las coordenadas de las de sus estaciones hace que las velocidades sean incluidas, de tal forma que una observación instantánea en la superficie de la tierra, como las coordenadas ITRF difiere del sistema de referencia satelital, estas deben ser trasladadas en el tiempo. Esa dependencia hace que la ITFR notifiqué la época para la cual la posición de sus estaciones es vigente.

Traslado de las coordenadas fiduciales desde la época de referencia a la época de observación. Es decir, las coordenadas asociadas a SIRGAS95 deben trasladarse desde 1995.4 al día en que se hace el levantamiento GNSS, por ejemplo “2018.0.” dicho traslado se hace mediante:

$$X_{(t)} = X_{(t)} + (t - t_o) * V_x$$
$$Y_{(t)} = Y_{(t)} + (t - t_o) * V_y$$
$$Z_{(t)} = Z_{(t)} + (t - t_o) * V_z \quad (1)$$

Donde,
$X_{(t)}, Y_{(t)}, Z_{(t)}$ Son las coordenadas de la época deseada
$X_{(t_0)}, Y_{(t_0)}, Z_{(t_0)}$ Son las coordenadas de la época de referencia
$(t - t_o)$ Es el intervalo de tiempo Transcurrido entre la realización del sistema y el levantamiento GNSS
V_x, V_y, V_z Son las velocidades de las estaciones de referencia

- **Sistema Referencia Geocéntrico para las Américas -SIRGAS-:** es una extensión del ITRF para las Américas, está conformada por una red de 180 estaciones geodésicas de alta precisión con un cubrimiento homogéneo de tal forma que las redes locales estén integradas al ITRF. El datum geodésico está definido por parámetro del geoide GRS80 (Geodetic Reference System, 1980), orientado según los ejes coordenados del sistema de referencia SIRGAS, equivalente al ITRF94 (IGAC, 2004).

  La red GPS permanente está compuesta por más de 40 puntos de rastreo continuo, cuya información es procesada semanalmente por DGFI (Deutsches Geodätisches Forschungsinstitut) con Centro de Procesamiento Regional (RNAAC: Regional Network Associate Analysis Center) del Servicio Internacional GPS (IGS: International GPS Service), que garantiza su referencia permanente con el sistema geocéntrico global (IGAC, 2004).

- **Marco de Geocéntrico Nacional de Referencia, MAGNA: l**a Red Básica GPS MAGNA por estar referida a SIRGAS se denomina MAGNA-SIRGAS y el datum geodésico asociado corresponde con el elipsoide GRS80 (Geodetic Reference System, 1980). MAGNA está conformada por cerca de 70 estaciones GPS de cubrimiento nacional de las cuales 6 son de funcionamiento continuo, 8 son vértices SIRGAS y 16 corresponden con la red geodinámica CASA (Central and South American Geodynamics Network). Las coordenadas de las estaciones MAGNA-SIRGAS están definidas sobre el ITRF94, época 1995.4 (IGAC, 2016).

- **Sistemas Geodésicos Mundiales WGS84 (World Geodetic System):** es un sistema de referencia terrestre único para referenciar las posiciones y vectores. Se define como un sistema cartesiano geocéntrico con origen en el centro de masa de la Tierra, el eje Z paralelo a la dirección del polo CIO o polo medio definido por el BIH, época 1984.0 con una precisión de 0,005", el eje X como la intersección del meridiano origen, Greenwich, y el plano que pasa por el origen y es perpendicular al eje Z. El eje Y ortogonal a los anteriores, pasando por el origen (IGAC, 2016).

- **Sistemas Geodésicos Mundiales GRS80 (Sistema de Referencia Geodésico 1980):** se caracteriza por tener el origen del sistema coordenadas rectangulares es coincidente con el centro de masas de la tierra, el eje menor, el eje menor del elipsoide tiene la misma dirección que el origen internacional convencional (CIO) designado para el movimiento polar, el meridiano de referencia es el designado por el BIH (Bureau Internatinal de l'Heure).

- **Sistema de referencia Vertical;** Las altitudes geodésicas h se obtienen mediante la tecnología GNSS de manera eficiente y precisa. Están referida a un elipsoide geocéntrico, generalmente el GSR80 (o WGS84, que en este sentido es lo mismo). Carecen de significado geométrico y físico apropiado, por lo que no son de utilidad directa como sistema de altitudes. Su transformación en altitudes ortométrica, distancias a lo largo de la línea de la plomada entre un punto de la superficie de la Tierra y el geoide (definido este como la superficie equipotencial del campo de gravedad terrestre que mejor se ajusta, en el sentido de los mínimos cuadrados, al nivel medio del mar), es inmediata y obedece a la ecuación trivial:

$$H = h - N \tag{2}$$

  Siendo N la *ondulación del geoide',* es decir, la distancia entre el geoide y el elipsoide medida a lo largo de la normal al elipsoide.

  Así pues, convertir altitudes geodésicas (o elipsoidódicas h) en altitudes geodésicas H requiere de un geoide. Puesto que las altitudes geodésicas h pueden obtenerse con un par de centímetros de precisión este sería el valor óptimo del error relativo de un geoide (IGAC, 2016).

- **Geoides Globales*:*** una solución al problema que se plantea en el apartado anterior viene dada por los modelos geopotenciales globales. Estos consisten en un conjunto de coeficientes a partir de los cuales es posible calcular la ondulación del geoide en cualquier punto de la tierra a partir de sus coordenadas geodésicas. El Modelo Gravitacional Terrestre EGM08, realizado por la Agencia Geoespacial Americana, '*US National Geoespatial Agency'* es el más preciso de los modelos en la actualidad. Consiste en aproximadamente 3.000.000 de coeficientes calculados a partir de la base de datos gravimétrica mundial, otros datos gravimétricos obtenido a partir de satélites artificiales, modelos digitales del terreno y datos de altimetría del nivel medio del mar. La resolución de este modelo es de ~ 9 km y la precisión varía mucho de un lugar a otro de la tierra, dependiendo de la cantidad y calidad de los datos con que haya contribuido esa región a la determinación de los coeficientes y en general de la orografía de la región, ya que la topografía contribuye con el mayor aporte

a las cortas longitudes de onda de la señal gravitatoria. Una de las primeras tareas a realizar en la zona deberá ser calibrar la precisión de este EGM08 en la región. (IGAC, 2016).

- **Modelos Locales:** existen esencialmente dos métodos para el cálculo de geoides locales precisos. Se basan ambos en la transformación de las fórmulas de Stokes o Molodensky para poder calcular las altas frecuencias de las señales del geoide. En ambos casos se parte de un modelo geopotencial global y se utiliza la técnica eliminación - restitución. Brevemente consiste en substraer de las anomalías gravimétricas locales los valores de anomalías calculados con los modelos globales, obteniéndose así las anomalías residuales. Estas anomalías residuales convertidas en anomalías de altitud a partir de las fórmulas de Stokes se añaden a las ondulaciones calculadas mediante el modelo global consiguiéndose así un modelo local refinado. En el caso de regiones de una orografía rugosa (como es el nuestro) se pueden utilizar las técnicas de anomalías residual del terreno (Forsberg y Tscherning 1981; Forsberg 1984, 1985), consistente en eliminar las componentes de baja frecuencia ya implicadas en los modelos globales mediante un Modelo Digital del Terreno y transformar el modelo residual del Terreno en anomalías de altitud mediante el cálculo del potencial gravitacional a partir de las fórmulas de la atracción de estructuras prismáticas (IGAC, 2016).

- **Geoide local preciso en el valle del rio cauca -GEOVALLE-:** la realización de un geoide preciso en la región del Valle del Cauca surgió como una iniciativa de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) quien se dio a la tarea de la de combinar el modelo EGM08 con nuevos datos gravimétricos (siguiendo la técnica de romove – restore basada en las fórmulas de Stokes y Molodensky) y con los modelos digitales STRM y DTRM2006.0. para esto, fueron necesarios nuevos datos gravimétricos, es decir, datos que no hayan participado en la determinación del modelo global EGM08. Estos nuevos datos gravimétricos se obtuvieron mediante un levantamiento (de no muy elevada densidad de puntos) a realizar en la zona utilizando un gravímetro La Coste-Romberg más los procedentes de un vuelo Aero gravimétrico (en caso de que estos últimos datos sean de la calidad adecuada) realizado con otros propósitos en la región de estudio. El STRM es un moderno modelo digital, de dominio público, de una resolución de 3’. El EDM2006.0 es el desarrollo en armónicos esféricos de la topografía terrestre realizado por el mismo equipo que calculó el EGM08. sirvió como filtro para las componentes de alta frecuencia del STRM.

El proceso incluyó:

- Determinación de la precisión del modelo global EGM08 en la región a partir de los puntos de nivelación que haya en la zona. Si estos puntos tienen solo altitudes niveladas se realizaron mediciones gravimétricas en ellos con el fin de dotarlos de altitudes ortométricas. Se realizarán también medidas GPS, con lo cual se obtuvo en dichos puntos las correspondientes ondulaciones de geoide. Comparadas con las obtenidas a partir de los modelos globales obtendremos su precisión.

- Se efectuó un levantamiento gravimétrico en la región dadas las condiciones orográficas (y otras) y se calculó la contribución de la topografía a partir de los Modelos Digitales del Terreno.

- Una vez recopilados los datos, homogeneizados, filtrados y determinado su precisión se extrapolaron mediante de técnicas de Colocación a una malla suficientemente densa de valores a partir de los cuales y mediante técnicas que son estándar calcularemos una maya con las ondulaciones del geoide.

A partir de este proceso, se construyó el modelo geoidal conocido como GEOVALLE, el cual se encuentra disponible en la página institucional de la CVC (http://www.geo.cvc.gov.co/visor/)

4.2. LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON ESTACIÓN TOTAL

El levantamiento topográfico es el conjunto de operaciones realizadas con instrumentos adecuados en una superficie de terreno para su posterior presentación, grafica o en planos. En él, se combinan dos áreas de la topografía, la planimetría y la altimetría, permitiendo mostrar tanto la posición como la elevación de los puntos del terreno (Franquet, 2010).

La Altimetría: medición de las diferencias de nivel entre los diferentes puntos del terreno, usando, ángulos verticales y distancias, o distancias verticales a partir de un plano horizontal de referencia. Básicamente para el cálculo de desnivel se presentan dos situaciones: calcular el desnivel de dos puntos cuando el terreno es ascendente y descendente. En la Figura 4.1 se observa el cálculo para cada situación.

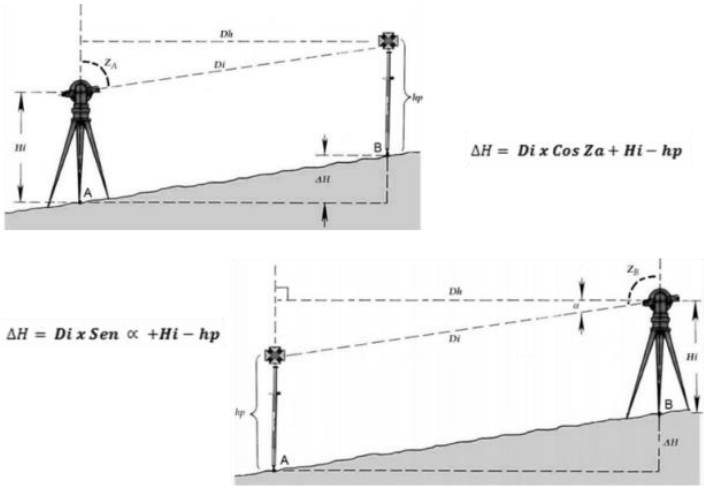


Figura 4.1. Nivelación Trigonométrica, Situaciones
Fuente: Ministerio de Agricultura Chile, 2014

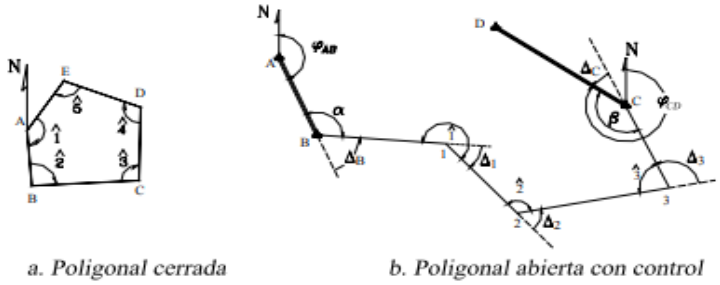
Los métodos altimétricos o de nivelación se clasifican en:

- Nivelación Geométrica: mediante visuales horizontales se calculan los desniveles.
- Nivelación Trigonométrica: la medida de ángulos y distancias es usada para calcular el desnivel por medio de procedimientos trigonométricos.

- Nivelación Barométrica: Menos precisa, utiliza un barómetro para medir el desnivel entre puntos, mediante la variación de la columna de mercurio.

La Planimetría: proyección del terreno sobre un plano horizontal, usando, ángulos horizontales y distancias, a partir de un punto y una línea de referencia. El conjunto de líneas que une los puntos se denomina poligonal, que es la estructura base del levantamiento, a partir de la cual se detalla el terreno.

La Poligonal, puede ser abiertas o cerrada. En la primera, se parte de un punto conocido con una línea de referencia y se termina en otro punto conocido. Para la segunda, se parte de un punto conocido con una línea de referencia y al final del trayecto se vuelve al punto de partida (Figura 4.2.).



a. Poligonal cerrada *b. Poligonal abierta con control*

Figura 4.2. Tipos de Poligonal
Fuente: (Casanova, 2002)

El error de cierre de la poligonal abierta o cerrada, resulta de las diferencias entre los valores obtenidos de las observaciones, y los valores conocidos. Diferencia que es ocasionada por errores angulares y lineales. Su tolerancia está dada según las características del instrumento, la longitud y el número de punto de la poligonal. El error angular debe ser menor que la tolerancia angular, de lo contrario debe volver a medirse los ángulos (Casanova, 2002).

Error de cierre angular poligonal abierta:

$$Ea = \sum < Int - (n-2) * 180 \qquad (3)$$
$$Ta = a\sqrt{n}$$

Donde,
Ea, es el error angular
$\sum < int$, es la sumatoria de ángulos internos
a, es la apreciación del instrumento
n, es el número de lados
(Casanova. 2002)

Error de cierre angular poligonal cerrada:

$$Ea = A_{fc} - A_f \qquad (4)$$

Donde,
A_{fc}, es el azimut final calculado

A_f, es el azimut final conocido
(Casanova. 2002)

Error lineal de la poligonal cerrada:

$$\varepsilon\Delta N = \sum \Delta_{N-S}$$
$$\varepsilon\Delta E = \sum \Delta_{E-O}$$
$$\varepsilon l = \sqrt{\varepsilon\Delta N^2 + \varepsilon\Delta E^2} \quad (5)$$

Donde,
$\varepsilon\Delta N$, es la sumatoria de las proyecciones en el eje N-S
$\varepsilon\Delta E$, es la sumatoria de las proyecciones en el eje E-O
εl, es el error lineal
(Casanova. 2002)

Error lineal de la poligonal abierta:

$$\varepsilon\Delta N = \sum \Delta_{N-S} - \Delta N_{BC}$$
$$\varepsilon\Delta E = \sum \Delta_{E-O} - \Delta E_{BC}$$
$$\varepsilon l = \sqrt{\varepsilon\Delta N^2 + \varepsilon\Delta E^2} \quad (6)$$

Donde,
$\sum \Delta_{N-S}$, es la sumatoria de las proyecciones sobre el eje N-S
$\sum \Delta_{E-O}$, es la sumatoria de las proyecciones sobre el eje E-O
ΔN_{BC}, es la diferencia entre las coordenadas Norte del punto inicial y el final
ΔE_{BC}, es la diferencia entre las coordenadas Este del punto inicial y el final
(Casanova. 2002)

Precisión de la poligonal:

$$p = \frac{\varepsilon l}{\sum L} \quad (7)$$

Donde,
$\sum \boldsymbol{L}$**,** es la sumatoria de los lados de la poligonal en metros
$\boldsymbol{p}$**,** es la precisión.
(Casanova. 2002)

La innovación en los aparatos topográficos ha agilizado y simplificado los procesos que se realizaban hasta hace poco. Uno de ellos es la Estación Total, instrumento que reúne tres componentes básicos; teodolito electrónico digital, distanciómetro electrónico y microprocesador. La Estación puede medir ángulos horizontales, verticales y distancias inclinada, valores que aparecen de a través de una pantalla y un procesador que realiza los cálculos de distancia y desnivel.

Si las coordenadas del punto ocupado y el azimut de la línea de referencia son conocidos, se pueden obtener de forma inmediata las coordenadas del siguiente punto, aparecen en la pantalla y pueden ser almacenadas en la memoria interna o en un colector externo.

El microprocesador realiza múltiples funciones: promediar ángulos y distancias, corregir ángulos horizontales y verticales por errores de colimación, corregir distancias por refracción atmosférica y presión, corrección por prisma, corrección por curvatura y refracción a elevaciones determinadas por nivelación trigonométrica, reduce las distancias inclinadas a sus componentes horizontal y vertical, realiza el cálculo de coordenadas de puntos de la poligonal y sus radiaciones, entre otras cosas.

La precisión depende de que tan avanzada sea la tecnología incorporada. Actualmente se encuentra con:

- Precisión angular de 0.5”
- Precisión en distancia de 0.6 mm+1ppm
- Alcance de 3 Km

4.3. TOPO BATIMETRÍA

Es el levantamiento del relieve de superficies subacuáticas o fondos, cuyos resultados son plasmados gráficamente y sirven de base para otras actividades.

La batimetría se puede realizar dependiendo de la profundidad, ya sea por métodos convencionales como el vadeo (caminar por el lecho de la cuenca) con Estación Total, Ecosonda análoga o digital, o con los equipos de última tecnología como el ADCP HWR600-*1 teledyne* o el RS-M9 Sontek.

En los levantamientos batimétricos con topografía convencional, los puntos forman perfiles alineados en una determinada dirección, generalmente perpendiculares al eje a la trayectoria de la fuente hídrica y paralelos entre ellos (Figura 4.3).

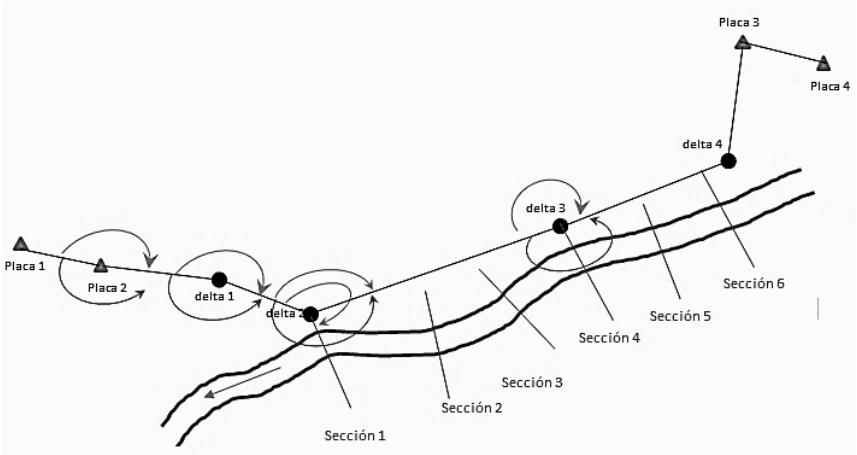


Figura 4.3. Levantamiento Batimétrico
Fuente: elaboración propia

El número de puntos depende de la escala del levantamiento, un punto por cm^2 de plano. La distancia entre los perfiles o secciones transversales será el que corresponda a este centímetro en la escala del levantamiento, (Farjas, 2007).

La batimetría con ecosonda requiere de una embarcación donde La Sonda y el receptor GNSS se encuentran conectados entre sí y también a un ordenador portátil que, mediante un Software de navegación y registro de datos, permite sincronizar ambos equipos y registrar coordenadas XYZ del lecho, con un error inferior al 3% de la altura de columna de agua que sumerge el fondo medido.

Para la toma de puntos se realizan una serie de perfiles transversales al eje del río separados entre una cierta distancia y con toma de puntos aproximadamente cada 3 metros en el sentido de cada pasada y a su vez se realiza una pasada en el sentido longitudinal del río para la obtención de puntos de comparación (Gallardo, 2014) (Figura 4.4).

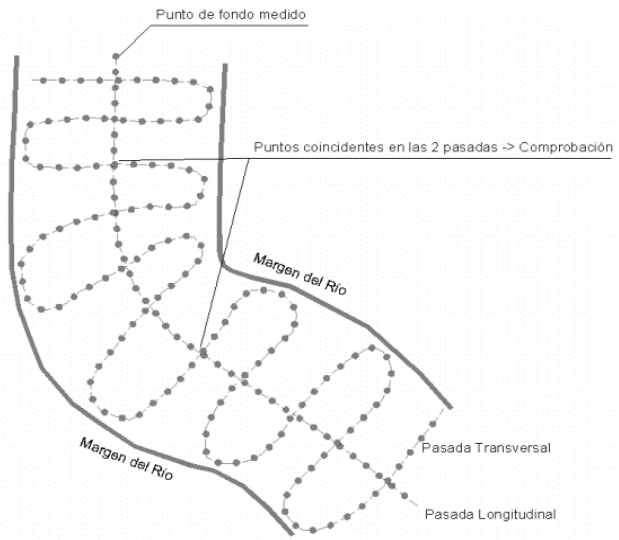


Figura 4.4. Esquema Batimetría de rio por Ecosonda
Fuente: Gallardo, 2014.

Según el IDEAM (Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales), para los cuerpos de agua grandes, como ciénagas embalses, lagos y ríos de primer orden (como: Magdalena, Cauca, Amazonas, Atrato, San Jorge), se deben establecer recorridos sinusoidales con espaciamientos promedios de 250 metros entre secciones, para los ríos secundarios, caños conectores, canales y quebradas, el espaciamiento entre secciones debe estar del orden de los 150 metros y para los cuerpos de agua menores el espaciamiento entre los perfiles debe estar del orden de los 100 m (IDEAM, 2013).

4.4. DEFINICIÓN DE PRODUCTOS DE INFORMACIÓN GEOMÁTICA PRIMARIA

Se elabora un listado de insumos de campo requeridos para el inicio de las labores del proyecto, adicionalmente se discriminan sus especificaciones técnicas, escalas, errores asociados, formatos de salida, entre otros.

- **Cartografía básica** de los sectores urbanos del municipio de Zarzal en formato digital, con las características urbanísticas como sistema vial, equipamiento (salud, educación, recreación, etc.), infraestructura de servicios público, aguas superficiales entre otros. Referida al sistema de coordenadas MAGNA Sirgas y los mapas se presentarán en un sistema de proyección cartesiana (Norte, Este) a escala 1:5000 o 1:2000 a un tamaño de 75x50 cm.

La CVC entregó los insumos para la construcción de esta cartografía base a partir de imágenes tomadas con fotogrametría durante el año 2013, por lo tanto, en este producto no fue necesario programar actividades de campo, salvo para validación de datos y toponimia.

- **Modelo Digital de Terreno:** en el marco del convenio 070 de 2018, la CVC entregó un modelo de elevación digital obtenido mediante técnicas de LIDAR durante el año 2013, esta información se encuentra en formato raster con un tamaño de pixel 1x1 m, referido al sistema de referencia MAGNA SIRGAS para la componente horizontal y en datum GEOVALLE para las alturas, para el municipio de Zarzal en escala 1:5000, a la que debe integrarse la información correspondiente a las superficies subacuáticas por técnicas de levantamientos topobatimétricos que incluyen batimetría e hidro topografía. En la batimetría se realiza el levantamiento del relieve de las superficies subacuáticas y en hidro topografía se obtiene tanto la batimetría del cuerpo de agua como la topografía de orillas y las zonas de planicie que bordean dicho cuerpo de agua.

- **Topografía básica complementaria:** consiste en la realización de los levantamientos complementarios para la descripción de los fenómenos estudiados, estos deben estar amarrados a la red geodésica nacional, debidamente materializada en las zonas de interés de cada uno de los tres municipios.

- **Topo batimetría** de los cuerpos de agua del rio Dovio y la quebrada Cauquita, en el municipio de Zarzal. Presentados en formato DWG en escala horizontal 1:100 y vertical 1:10, con una precisión dada por el ajuste en el levantamiento topográfico convencional.

4.5. ANÁLISIS DE ESTÁNDARES DE CALIDAD DE CADA PRODUCTO

Se efectúa una revisión técnica de los estándares de calidad, más adecuados para la evaluación de los productos y su dimensionamiento, para esto se tendrá en cuenta las normas técnicas internacionales y los procedimientos recomendados.

4.5.1. Cartografía básica digital

- **Resolución Espacial:** corresponde al tamaño mínimo de representación del terreno o GSD (Ground Sample Distance). Un mayor tamaño de pixel indica menor resolución. De acuerdo con el IGAC la resolución espacial expresada en GSD se pude observar en la Tabla 4.1 (IGAC, 2016).

Tabla 4.1. Resolución espacial expresada en GSD

ÍNDICE HOJA	GSD
1:1.000	10 centímetros
1:2.000	20 centímetros
1:5.000	30 centímetros
1:10.000	50 centímetros
1:25.000	100 centímetros

Fuente: IGAC, 2016

- **Sistema de Referencia:** mediante resolución 068 de 2005 se adoptó como único datum oficial de Colombia el Marco Geocéntrico Nacional de Referencia MAGNA-SIRGAS (Tabla 4.2).

Tabla 4.2. Sistema de coordenadas geográficas MAGNA

SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS: GCS_MAGNA	
Código	4686
Unidad Angular:	0,017453292519943299 grados decimales
Primer Meridiano:	Greenwich 0,000000000000000000
Datum geodésico:	MAGNA_SIRGAS
Elipsoide:	GRS 1980
Semieje mayor:	6378137
Semieje menor:	6356752,314
Aplanamiento Inverso	298,2572221

Fuente: IGAC, 2016

- **Proyección Cartográfica:** cuando la cartografía es a gran escala se proyecta a un sistema de coordenadas cartesianas locales, de lo contrario se proyecta al sistema de coordenadas Gauss_Krüger, en el origen correspondiente, según su localización geográfica que se muestra en la Tabla 4.3 Por la ubicación de la zona de estudio corresponde a MAGNA Oeste (IGAC, 2016).

Tabla 4.3. Orígenes de coordenadas GAUSS KRUGER

NOMBRE DEL ORIGEN	COORDENADAS ELIPSOIDALES		COORDENADAS Gauss	
	LATITUD	LONGITUD	NORTE (m)	ESTE (m)
Central-Magna (C)	4°35’46,3215”	74°04’39,0285”	1’000.000	1’000.000
Este-Central-Magna (EC)	4°35’46,3215”	71°04’39,0285”	1’000.000	1’000.000
Este-Este- Magna (EE)	4°35’46,3215”	68°04’39,0285”	1’000.000	1’000.000
Oeste- Magna (W)	4°35’46,3215”	77°04’39,0285”	1’000.000	1’000.000
Oeste-Oeste-Magna (WW)	4°35’46,3215”	80°04’39,0285”	1’000.000	1’000.000
Oeste-Insular-Magna (WI)	4°35’46,3215”	83°04’39,0285”	1’000.000	1’000.000

Fuente: IGAC, 2016

- **Exactitud Posicional Absoluta**: la base cartográfica garantizará la exactitud posicional absoluta al 95% de confianza de acuerdo con la siguiente Tabla 4.4:

Tabla 4.4. Exactitud absoluta de posición por escalas

ESCALA	HORIZONTAL (m) RMSEX/RMSEY	VERTICAL (M) RMSEZ	EXACTITUD HORIZONTAL CONFIANZA (95%)	EXACTITUD VERTICAL CONFIANZA (95%)
1:1.000	0,21m	0,30m	0,52m	0,73m
1:2.000	0,43m	0,60m	1,04m	1,47m
1:5.000	1,06m	1,50m	2,60m	3,67m
1:10.000	2,13m	3,00m	5,20m	7,34m

Fuente: IGAC, 2016

- **Exactitud Posicional Relativa:** verificación de la fidelidad con la cual son capturados los elementos del catálogo de objetos respecto de la fuente de datos considerando la tolerancia de 0,125mm por el módulo escalar, (IGAC, 2016) (Tabla 4.5).

Tabla 4.5. Nivel de tolerancia por escala

ESCALA	TOLERANCIA (m.)
1:1.000	0,125
1:2.000	0,250
1:5.000	0,625
1:10.000	1,250
1:25.000	3,125

Fuente: IGAC, 2016

4.5.2. Construcción de modelos digitales del terreno

Dado que el proyecto cuenta con información suministrada por la CVC que incluye el DTM para los tres municipios, se plantea un trabajo de verificación de esta información, dada la sensibilidad de los modelos de estudio para la zonificación, debido a la escala de sus insumos.

En este sentido, se propone efectuar test de calidad para productos cartográficos que se describen a continuación:

- **NSSAD, National Standard for Spatial Data Accuracy:** el método del Error Medio Cuadrático (RMSE) es utilizado para expresar la precisión del modelo. Los valores de precisión se obtienen con la comparación entre el DTM y los puntos de control, obtenidos del terreno con una muy buena precisión en posición y elevación.

$$RMSE_{(z)} = \sqrt[2]{\frac{1}{n} * \sum_{1}^{n}(Z_{iDTM} - Z_{iGEO})^2} \quad (8)$$

Dónde,
Z_{DTM}: representa el valor vertical de menor precisión del punto.
Z_{GEO}: representa el valor vertical de mayor precisión del punto, en este caso el levantado por GPS.
n: número de puntos verificados
Si los errores siguen una distribución normal, el factor de 1,96 es aplicado para calcular el error lineal con un nivel de confianza del 95%.

$$\text{Precisión}_{(z)} = 1.9600 * \text{RMSE}_{(z)} \quad (9)$$

Se reporta de la siguiente manera: “Comprobado/compilado para __ metros de exactitud vertical al 95% de nivel de confianza”.

Con el fin de hacer un control de calidad óptimo, la ASPRS (2004) propone la precisión según el terreno, con los errores (RMSE) y número de puntos de control de acuerdo con el terreno, como se muestra en la Tabla 4.6.

Tabla 4.6. Precisión según el Terreno

TIPO TERRENO	Nº PUNTOS	ERROR MEDIO CUADRÁTICO (RMSE)	PRECISIÓN VERTICAL
Urbano	25	0.071	0.13
Forestal	35	0.116	0.26
Monte bajo	24	0.100	0.18
Cultivo	36	0.980	0.18
Terreno Abierto	47	0.081	0.12
Total Combinado	166	0.094	0.19

Fuente: ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing), (2004).

La ventaja de esta técnica no es la de decir si es aceptado o denegado, sino que ofrece un índice de calidad del producto en unidades reales sobre el terreno y es el usuario quien establece los límites de aceptación en función de sus necesidades (ATKINSON, 2003).

- **NMAS, National Map Accuracy Standard:** sobre una muestra de no menos de 20 puntos se indica que como máximo el 10 % de los puntos de la muestra pueden tener un error vertical mayor de la mitad del intervalo de las curvas de nivel.

$$\text{Error}_{(Z)} = (Z_{DTM} - Z_{GEO}) \quad (10)$$

Dónde,
Z_{DTM}: representa el valor vertical de menor precisión del punto.
Z_{GEO}: representa el valor vertical de mayor precisión del punto, en este caso el levantado por GPS.
Los resultados de esta técnica solo se expresan de la forma cumple o no cumple, sin indicar una medida de inexactitud (ATKINSON, 2003).

- **Relación NSSAD y NMAS*:*** la relación entre los test de validación está dada por la siguiente expresión:

$$VMAS = 1.6449 * RMSE_{(z)} \quad (11)$$

Despejando $\text{RMSE}_{(z)}$ y utilizando la fórmula de precisión vertical del NSSAD:

$$RMSE_{(z)} = \frac{VMAS}{1.6449}$$
$$Precision_{(z)} = 1.9600 * RMSE_{(z)} \quad (12)$$

Remplazando

$$Precision_{(z)} = \frac{1.9600}{1.6449} * VMAS \quad (13)$$

Entonces la precisión reportada respecto a la NSSAD es

$$NMAS\ CI = \frac{Precision_{(z)}}{0.5958} = 3.2898\ RMSE_{(z)} \quad (14)$$

La fuente de información utilizada para la comparación deben ser puntos de control de terreno, cuya distribución y chequeo proporcionan, un cubrimiento del área del proyecto y el error provee una descripción alrededor del punto.

4.5.3. Muestreo

Una muestra es cualquier conjunto de n unidades tomadas a partir de una población, es representativa y sus características deben reflejar las de la población. La población se debe definir en términos de; unidades, elementos, áreas y periodos de tiempo.

La elección de muestras requiere definir la región de interés, especificar las unidades de muestreo, el tamaño, la forma de los sitios muestreados que van a constituir el soporte de la muestra y el método de muestreo:

4.5.3.1. Muestreo aleatorio

Técnica que permite obtener una muestra representativa de la población, basada en el concepto de probabilidad, de que cualquier elemento de la población tiene la misma probabilidad de ser elegido y que la elección de cada elemento es independiente de cualquier selección previa.

- **Muestreo Aleatorio Simple:** cada elemento de la población tiene una oportunidad igual e independiente de ser seleccionado, para lo cual se le asigna un número. La muestra se determina con tablas de números aleatorios.

- **Muestreo Sistemático:** se selecciona una muestra tomando cada k-ésima unidad de la población, se numeran o arreglan de alguna forma. La letra k es la razón de muestreo, es decir, la razón del tamaño de la población correspondiente al tamaño de la muestra.

  - Ejemplo. Al seleccionar una muestra de 40 unidades de entre una población de 2000, k es 2000/40=50, por lo que la muestra se obtiene tomando cada 50-esima unidad de la población.

- **Muestreo Estratificado:** la población se divide en clases o grupos, denominados estratos. Las unidades incluidas en cada estrato deben ser relativamente homogéneas con respecto a las características a estudiar. Por ejemplo, se puede realizar un estudio para conocer la opinión de la población sobre un político determinado planteando una muestra estratificada por edades. Como parte de este muestreo, se toma una submuestra a partir de cada estrato

mediante un procedimiento aleatorio simple, de modo que para obtener la muestra general se combinan las submuestras de todos los estratos.

- **Muestreo por Conglomerados:** selección aleatoria de conglomerados a partir de la población. Las diferencias entre los conglomerados son generalmente pequeñas y las unidades dentro de cada uno, normalmente, son más heterogéneas.

  – Por ejemplo, las ciudades con una población de 40 habitantes pueden tener características similares si las comparamos, pero la población es heterogénea. De esta manera el analizar un conjunto de ciudades de 40 mil habitantes ayudaría a caracterizar a la población de todas las ciudades de 50 mil habitantes del país.

4.5.3.2. Muestreos no probabilísticos

Ocurre cuando se realizan muestreos bajo criterios aleatorios y no probabilísticos.

4.5.3.3. Muestreos espaciales

En el análisis muestras espaciales se debe tomar en cuenta su tamaño, representatividad y sesgo, la influencia de los factores temporales y de los efectos de borde, así como sus consecuencias para el análisis; además de determinar si los datos son agregados, entre otros elementos (De Smith, 2009). Estos factores determinaran el plan de muestreo que se debe considerar. Sin embargo, hay muestreos que pueden tomar la forma de puntos o cuadrantes.

- **Muestreo Aleatorio Simple:** la selección de n sitios se hace de tal manera que cada miembro de una población tiene la misma e independiente probabilidad de ser elegido. Con esta selección no se garantiza que se cubra toda el área de estudio, pues superficies relativamente grandes se quedan sin muestrear o bien las muestras aparentan estar agrupadas ver Figura 4.5.

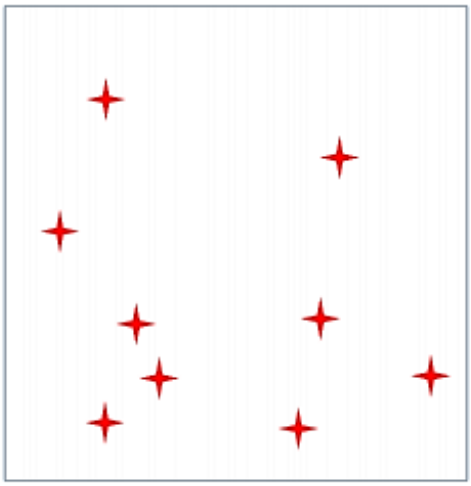


Figura 4.5. Muestreo aleatorio simple
Fuente: (Porras, 2014). Imagen basada en (Haining, 2003)

- **Muestreo Aleatorio Estratificado**: la población a partir de la cual se elige una muestra es particionada en estratos de área, para los cuales se seleccionan los sitios de muestreo mediante un procedimiento aleatorio simple.

Con este muestreo se disminuye la posibilidad de que existan zonas sin muestras o zonas con alta concentración de muestras. Es importante mencionar que en el muestreo espacial los individuos que pertenecen a un estrato tienen como elemento común un espacio delimitado, por lo cual no son necesarios los valores homogéneos de otras variables ver Figura 4.6.

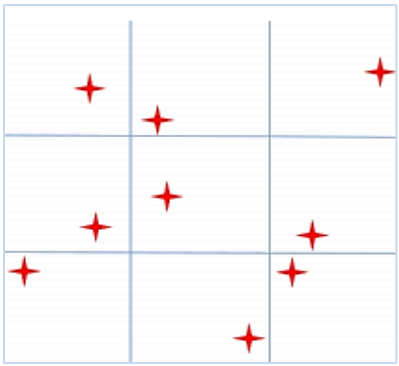


Figura 4.6. Muestreo aleatorio estratificado
Fuente: (Porras, 2014). Imagen basada en (Haining, 2003).

- **Muestreo Sistemático:** se elige de manera aleatoria el sitio de muestreo para un estrato determinado, mientras que en los estratos restantes el sitio de muestreo se determina a partir de la misma posición relativa. Un caso típico de esto consiste en elegir el centro de cada estrato como sitio de la muestra.

El muestreo sistemático como en el estratificado, la forma que adoptan los estratos no está restringida al rectángulo, ésta puede ser cualquiera, triangular o hexagonal (Figura 4.7).

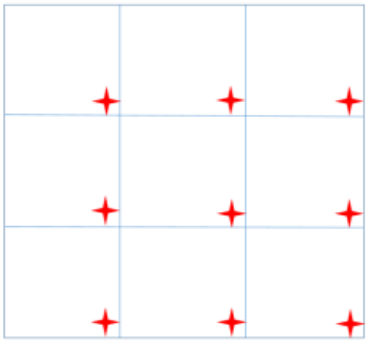


Figura 4.7. Muestreo sistemático
Fuente: (Porras, 2014). Imagen basada en (Haining, 2003)

- **Muestreo Anidado:** el muestreo requiere que la población se divida en bloques que se subdividen en otros, hasta alcanzar el nivel de detalle que se desee. En cada nivel, los bloques se anidan en bloques en un nivel superior. El propósito de la anidación es captar el comportamiento distintos niveles de escala. Un método para conseguir este objetivo implica establecer la distancia fija de separación entre las muestras en un primer nivel.

Posteriormente se eligen los sitios de segundo nivel, de manera que permanezcan separados a una distancia fija de los sitios de primer nivel, aunque con una dirección seleccionada al azar (Haining, 2003).

En la Figura 4.8 el muestreo anidado se observa las muestras de primer nivel de color rojas y las de segundo nivel, verdes.

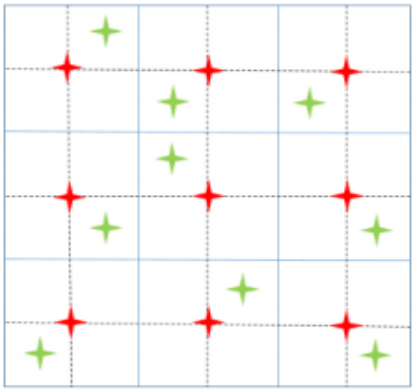


Figura 4.8. Muestreo anidado
Fuente: (Porras, 2014).

4.6. NÚMERO DE PUNTOS

La ASPRS (*American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*), recomienda 100 puntos para control vertical por cada 2500 km^2 y un mínimo de 20 puntos por cada tres o cinco coberturas terrestres presentes en el área, aunque el número depende del tipo de cobertura terrestre y requerimiento del cliente.

En la Tabla 4.7 aparece un listado con el número de puntos recomendados para chequeo horizontal y vertical, teniendo en cuenta el tipo de cobertura en las cuales hay presencia de vegetación o no en el área. Numero recomendado puntos de chequeo basados en el área.

Tabla 4.7. Numero recomendado de puntos chequeo basados en el área

ÁREA DEL PROYECTO (Km^2)	TEST HORIZONTAL	TEST VERTICAL		
	Nº PUNTOS CHEQUEO	Nº PUNTOS CHEQUEO VERTICAL EN ÁREAS Nº VEGETACIÓN	Nº PUNTOS CHEQUEO VERTICAL EN ARES SI VEGETACIÓN	TOTAL Nº PUNTOS CHEQUEO VERTICAL
≤500	20	20	0	20
501-750	25	20	10	30
751-1000	30	25	15	40
1001-1250	35	30	20	50
1251-1500	40	35	25	60
1501-1750	45	40	30	70
1751-2000	50	45	35	80
2001-2250	55	50	40	90
2251-2500	60	55	45	100

Fuente: ASPRS (American Society for Photogrammetry and Remote Sensing), 2004.

4.6.1. Distribución de puntos de control

La NSSDA (*National Standard for Spatial Data Accuracy*), ofrece un método de distribución que se puede aplicar a proyectos que son generalmente de forma regular y que en gran parte no tienen vegetación.

Los puntos de chequeo se pueden distribuir más densamente en la proximidad de características importantes y más escasamente en áreas de poco o ningún interés. Cuando los datos existen solo para un parte del conjunto de datos, limite los puntos de prueba a esa área.

Asumiendo que la precisión posicional es uniforme, los puntos pueden ser distribuidos de tal forma que estén espaciados el 10 % de la longitud de la diagonal del conjunto de puntos y el 20% de los puntos este en cada cuadrante.

4.6.2. Ubicación de los puntos

Para una buena precisión en la validación del DTM la ubicación de los puntos de chequeo deben de cumplir las siguientes características:

- Ubicados en áreas sin vegetación (terreno despejado y abierto y áreas urbanas)
- Estar a 3 metros como mínimo de cualquier artefacto vertical o cambio abrupto en la elevación
- Estar en pendientes uniformes
- Estar dentro de la porción geométricamente confiable de ambas franjas (excluyendo los puntos de borde extremos de las franjas).

4.7. DISEÑO DE PROCEDIMIENTOS

A partir del conocimiento de los requerimientos y los estándares a aplicar, se diseñan los métodos de campo para las diferentes actividades de recolección de datos con GNSS, topografía convencional, micro-geodesia, Batimetría, entre otros.

4.7.1. Construcción redes de control GNSS

La ubicación de los puntos de control que conforman la red GNSS, se hace teniendo en cuenta las zonas de interés, de tal forma que sirvan de base para el levantamiento topográfico, muestreo y futuro monitoreo de movimientos en masa.

- **Materialización:** se fija en campo de manera permanente los puntos de control utilizando insumos como: Pin o anclaje de acero inoxidable de 10 cm de largo y un diámetro de aproximadamente 0.95 cm, Placas de Bronce de 7,5 cm de diámetro y un vástago en acero inoxidable de una longitud de 10 cm, cemento, arena y pintura (Figura 4.9).

Figura 4.9. Materialización Puntos de Control
Fuente: elaboración propia.

- **Georreferenciación**: se determina la posición del conjunto de puntos mediante un sistema de coordenadas referidas a la superficie terrestre. Utilizando la tecnología GPS.

Los puntos de control se posicionan mediante el método relativo estático, para el cual se emplea 3 recetores, para hacer secciones de tres observaciones, una base y dos puntos, en un periodo de 2 horas, con el cual se garantiza precisiones del orden de 5 mm±1 ppm, Figura 4.10.

Figura 4.10. Georreferenciación Puntos de Control
Fuente: elaboración propia.

4.7.2. Muestreo

La técnica escogida es la muestra anidada en la que se aprovecha la intersección de calles y carreras para dividir el área en bloques y a su vez estos se pueden subdividir en otros para alcanzar el detalle deseado, en este caso tener unas muestras superiores a 20 puntos de control terrestre para llevar a

cabo la validación del DTM, según las especificaciones de la NSSAD (National Standard for Spatial Data Accuracy.

La muestra de puntos de control terrestre de acuerdo con la forma y el tamaño de la zona es de alrededor de 44 en Zarzal. La captura de la información posicional se realiza con tecnología GPS empleando el método cinemático STOP and GO, para el cual se requiere como mínimos un par de receptores, una base y un punto de control terrestre, con observaciones de 5 minutos.

4.7.3. Topografía Convencional

El levantamiento topográfico tanto del movimiento en masa como el batimétrico se realiza con Estación Total, DT 500, por el método de poligonal abierta controlada, en la que se conoce las coordenadas y azimut inicial y final, permitiendo efectuar los controles de cierre angular y lineal, amarrada a la red de control GNSS.

4.7.3.1. Movimientos en masas

Se identificaron en el municipio de Zarzal, Movimientos en Masa como deslizamiento por fallamiento y subsidencia. La captura de los detalles del terreno se hace por medio de radiaciones, la densificación se hace de tal forma que se obtenga una representación muy detallada de este fenómeno en el área de estudio.

4.7.3.2. Batimetría fluvial para cuerpos de agua pequeños y drenajes intermitentes

Los cauces del proyecto al tener caudales bajos e inexistentes hacen que la captura de puntos que los define se haga mediante la técnica de vadeo, es decir a pie, desde observaciones hechas en tierra.

La estructura de la poligonal para el levantamiento de la información se caracteriza por ir paralela al eje del cauce, y los puntos o deltas que la conforman están ubicados de tal forma que pueden barrerse mediante el método de radiaciones, varios perfiles transversales, los cuales están paralelos entre sí a una distancia de 20 metros en tramos rectos. Los perfiles transversales contienen detalles como: la llanura de inundación, fondo, espejo de agua y detalles de la ribera.

La recolección de datos sobre las obras de arte a lo largo de cada uno de los cauces se hace combinando dos métodos. La topografía convencional para dar ubicación geográfica e imágenes impresas sobre las cuales se anota las medidas a cinta de los detalles estructurales de las obras.

4.8. TRABAJO DE CAMPO

Se diseñaron y ejecutaron los trabajos de campo para 6 tipos de información requerida dentro de los cuales se encuentran:

- Amarre de redes a la Red Geodésica Nacional
- Construcción de red de control topográfico mediante GNSS
- Evaluación de calidad de un Modelo de elevación del terreno DTM

- Levantamientos Topográficos convencionales
- Elaboración de secciones Topo batimétricas
- Levantamiento de infraestructura y estructuras de control hidráulico.

4.8.1. Resultados amarre a la red geodésica nacional

En esta actividad se determinó que el mejor amarre a la red geodésica nacional se obtenía mediante el uso de la estación GPS VT 9 de la red MAGNA pasiva, ubicada en el municipio de zarzal (Figura 4.12).

Figura 4.11. Ubicación punto MAGNA GPS-DV9
Fuente: elaboración propia.

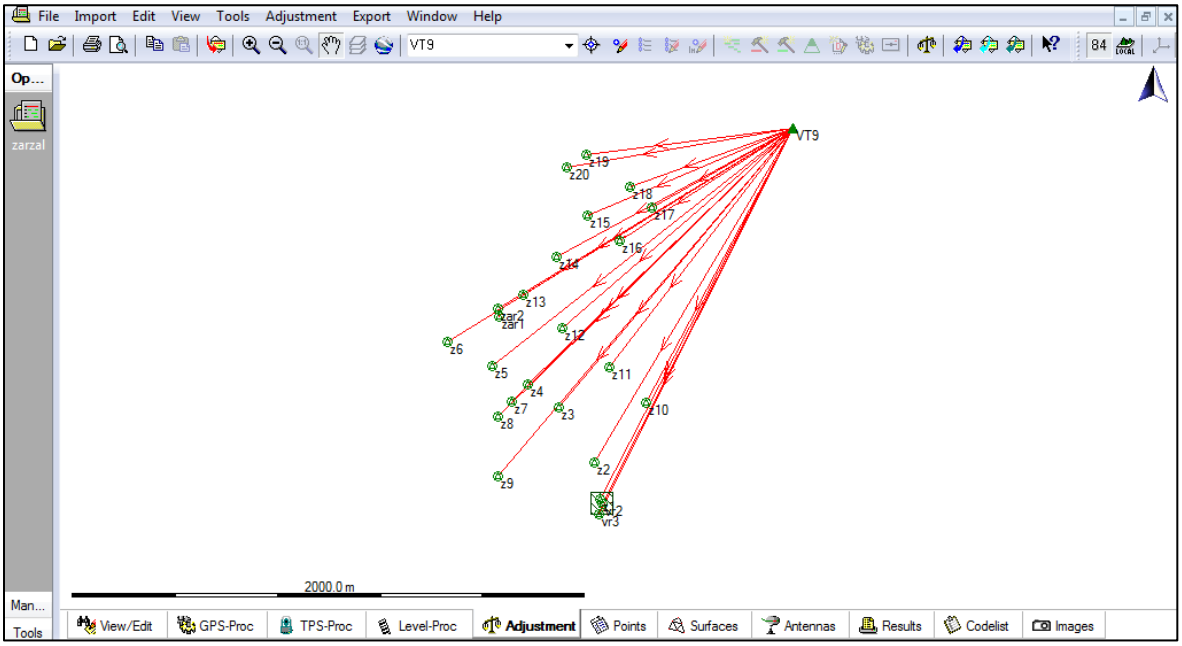


Figura 4.12. Red de amarre, municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

Los errores generados en el cálculo de cada uno de los puntos fueron de orden milimétrico, quedando las redes para los dos municipios con precisión de 1 a 2 cm.

En la Tabla 4.8 se muestra la información del ajsute de la red de amarre realizado en el municipio de Zarzal.

Tabla 4.8. Ajuste de Red

Project	**Information**
Project name:	zarzal
Date created:	05/10/2019 19:44:24
Time zone:	-5h 00'
Coordinate system name:	WGS 1984
Application software:	LEICA Geo Office 8.4
Processing kernel:	MOVE3 4.1

General	**Information**		
Adjustment			
Type:	Minimally constrained		
Dimension:	3D		
Coordinate system:	WGS 1984		
Height mode:	Ellipsoidal		
Number of iterations:	1		
Maximum coord correction in last iteration:	0.0000 m	✔	(tolerance is met)
Stations			
Number of (partly) known stations:	1		

Number of unknown stations:	24
Total:	25

Observations

GPS coordinate differences:	75 (25 baselines) (including 22 baselines as free observations)
Known coordinates:	24
Total:	78 (including 66 free observations)

Unknowns

Coordinates:	75
Total:	75

Degrees of freedom:	3

Testing

Alfa (multi dimensional):	0.1291	
Alfa 0 (one dimensional):	5.0 %	
Beta:	80.0 %	
Sigma a-priori (GPS):	10.0	
Critical value W-test:	1.96	
Critical value T-test (2-dimensional):	2.42	
Critical value T-test (3-dimensional):	1.89	
Critical value F-test:	1.89	
F-test:	1.20	✔ (accepted)

Results based on a-posteriori variance factor

Adjustment Results

Coordinates

Station		Coordinate	Corr	Sd	
VT9	Latitude	4° 23' 59.52201" N	0.0000 m	-	fixed
	Longitude	76° 03' 54.10361" W	0.0000 m	-	fixed
	Height	941.7425 m	0.0000 m	-	fixed
vr2	Latitude	4° 23' 11.95628" N	0.0006 m	0.0007 m	
	Longitude	76° 04' 18.26835" W	0.0004 m	0.0011 m	
	Height	949.1552 m	-0.0016 m	0.0020 m	
vr3	Latitude	4° 23' 10.73047" N	-0.6503 m	0.0007 m	
	Longitude	76° 04' 18.65316" W	1.0165 m	0.0012 m	
	Height	949.4750 m	2.1986 m	0.0022 m	
z1	Latitude	4° 23' 12.55537" N	0.0000 m	0.0044 m	
	Longitude	76° 04' 18.58394" W	0.0000 m	0.0057 m	
	Height	949.5551 m	0.0000 m	0.0144 m	
z10	Latitude	4° 23' 24.85124" N	0.0000 m	0.0063 m	
	Longitude	76° 04' 12.64307" W	0.0000 m	0.0066 m	
	Height	958.8001 m	0.0000 m	0.0167 m	
z11	Latitude	4° 23' 29.34377" N	0.0000 m	0.0064 m	
	Longitude	76° 04' 17.42042" W	0.0000 m	0.0064 m	
	Height	953.6684 m	0.0000 m	0.0158 m	
z12	Latitude	4° 23' 34.18551" N	0.0000 m	0.0069 m	

	Longitude	76° 04' 23.24902" W	0.0000 m	0.0063 m
	Height	946.5247 m	0.0000 m	0.0160 m
z13	Latitude	4° 23' 38.52431" N	0.0000 m	0.0051 m
	Longitude	76° 04' 28.21618" W	0.0000 m	0.0053 m
	Height	945.0428 m	0.0000 m	0.0119 m
z14	Latitude	4° 23' 43.34911" N	0.0000 m	0.0049 m
	Longitude	76° 04' 24.05173" W	0.0000 m	0.0050 m
	Height	944.5575 m	0.0000 m	0.0109 m
z15	Latitude	4° 23' 48.47498" N	0.0000 m	0.0072 m
	Longitude	76° 04' 20.04036" W	0.0000 m	0.0071 m
	Height	943.2885 m	0.0000 m	0.0154 m
z16	Latitude	4° 23' 45.24414" N	0.0000 m	0.0055 m
	Longitude	76° 04' 16.08961" W	0.0000 m	0.0055 m
	Height	944.1378 m	0.0000 m	0.0116 m
z17	Latitude	4° 23' 49.55256" N	0.0000 m	0.0050 m
	Longitude	76° 04' 11.93513" W	0.0000 m	0.0053 m
	Height	942.3940 m	0.0000 m	0.0111 m
z18	Latitude	4° 23' 52.19047" N	0.0000 m	0.0070 m
	Longitude	76° 04' 14.79873" W	0.0000 m	0.0087 m
	Height	942.0683 m	0.0000 m	0.0160 m
z19	Latitude	4° 23' 56.28998" N	0.0000 m	0.0061 m
	Longitude	76° 04' 20.27089" W	0.0000 m	0.0067 m
	Height	941.3948 m	0.0000 m	0.0150 m
z2	Latitude	4° 23' 17.16788" N	0.0000 m	0.0040 m
	Longitude	76° 04' 19.16820" W	0.0000 m	0.0057 m
	Height	949.4074 m	0.0000 m	0.0132 m
z20	Latitude	4° 23' 54.68942" N	0.0000 m	0.0068 m
	Longitude	76° 04' 22.69856" W	0.0000 m	0.0069 m
	Height	941.7274 m	0.0000 m	0.0179 m
z3	Latitude	4° 23' 24.22033" N	0.0000 m	0.0085 m
	Longitude	76° 04' 23.67993" W	0.0000 m	0.0086 m
	Height	947.9782 m	0.0000 m	0.0340 m
z4	Latitude	4° 23' 27.11135" N	0.0000 m	0.0040 m
	Longitude	76° 04' 27.65835" W	0.0000 m	0.0050 m
	Height	947.2669 m	0.0000 m	0.0134 m
z5	Latitude	4° 23' 29.47930" N	0.0000 m	0.0054 m
	Longitude	76° 04' 32.07674" W	0.0000 m	0.0064 m
	Height	946.1471 m	0.0000 m	0.0202 m
z6	Latitude	4° 23' 32.45889" N	0.0000 m	0.0057 m
	Longitude	76° 04' 37.84509" W	0.0000 m	0.0073 m
	Height	944.9974 m	0.0000 m	0.0196 m
z7	Latitude	4° 23' 24.95781" N	0.0000 m	0.0050 m
	Longitude	76° 04' 29.71628" W	0.0000 m	0.0066 m
	Height	946.2455 m	0.0000 m	0.0152 m
z8	Latitude	4° 23' 23.01306" N	0.0000 m	0.0046 m
	Longitude	76° 04' 31.42426" W	0.0000 m	0.0054 m
	Height	946.3164 m	0.0000 m	0.0122 m
z9	Latitude	4° 23' 15.44082" N	0.0000 m	0.0048 m
	Longitude	76° 04' 31.39283" W	0.0000 m	0.0055 m

	Height	945.8704 m	0.0000 m	0.0144 m
zar1	Latitude	4° 23' 35.65464" N	0.0000 m	0.0031 m
	Longitude	76° 04' 31.24646" W	0.0000 m	0.0039 m
	Height	945.4021 m	0.0000 m	0.0116 m
zar2	Latitude	4° 23' 36.73704" N	0.0000 m	0.0011 m
	Longitude	76° 04' 31.39821" W	0.0000 m	0.0014 m
	Height	944.9233 m	0.0000 m	0.0038 m

Observations and Residuals

	Station	Target	Adj obs	Resid	Resid (ENH)	Sd
DX	zar1	zar2	-5.2697 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0031 m
DY			1.8097 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0110 m
DZ			33.1186 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0034 m
DX	VT9	zar2	-1102.5232 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0014 m
DY			-332.0110 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0038 m
DZ			-697.6836 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0012 m
DX	vr3	vr2	10.7472 m	0.0001 m	0.0005 m	0.0013 m
DY			5.9614 m	0.0019 m	0.0007 m	0.0021 m
DZ			37.5240 m	0.0006 m	-0.0018 m	0.0007 m
DX	VT9	z9	-1090.0819 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0052 m
DY			-381.5021 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0146 m
DZ			-1349.9425 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0044 m
DX	VT9	z8	-1095.1995 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0053 m
DY			-364.8887 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0124 m
DZ			-1117.9600 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0044 m
DX	VT9	z7	-1045.1965 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0062 m
DY			-347.7067 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0154 m
DZ			-1058.3950 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0049 m
DX	VT9	z6	-1293.0402 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0071 m
DY			-389.6909 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0195 m
DZ			-828.7230 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0062 m
DX	VT9	z5	-1118.4286 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0066 m
DY			-354.8055 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0199 m
DZ			-919.9034 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0062 m
DX	VT9	z4	-984.5759 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0055 m
DY			-328.5071 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0131 m
DZ			-992.3511 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0044 m
DX	VT9	z3	-863.6943 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0104 m
DY			-306.2690 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0330 m
DZ			-1080.8524 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0102 m
DX	VT9	z20	-853.0840 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0088 m
DY			-223.3243 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0167 m
DZ			-148.0279 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0076 m
DX	VT9	z2	-724.3243 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0063 m
DY			-290.2590 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0128 m
DZ			-1296.7692 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0044 m
DX	VT9	z19	-781.4123 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0081 m
DY			-201.3239 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0141 m
DZ			-99.0267 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0065 m

Observations and Residuals

	Station	Target	Adj obs	Resid	Resid (ENH)	Sd
DX	VT9	z18	-615.1467 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0084 m
DY			-170.7328 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0159 m
DZ			-224.5470 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0075 m
DX	VT9	z17	-527.8669 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0060 m
DY			-155.8220 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0105 m
DZ			-305.3238 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0053 m
DX	VT9	z16	-649.3472 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0064 m
DY			-198.1969 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0111 m
DZ			-437.1617 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0055 m
DX	VT9	z15	-769.6266 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0084 m
DY			-219.3146 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0148 m
DZ			-338.2626 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0071 m
DX	VT9	z14	-886.4765 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0060 m
DY			-262.0306 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0104 m
DZ			-495.1763 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0048 m
DX	VT9	z13	-1008.2682 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0061 m
DY			-304.4303 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0116 m
DZ			-642.9284 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0049 m
DX	VT9	z12	-856.7881 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0076 m
DY			-278.9118 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0156 m
DZ			-775.7173 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0065 m
DX	VT9	z11	-677.8825 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0075 m
DY			-253.6203 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0155 m
DZ			-923.4789 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0060 m
DX	VT9	z10	-531.1220 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0076 m
DY			-233.3798 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0164 m
DZ			-1060.6983 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0058 m
DX	VT9	z1	-704.1924 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0064 m
DY			-296.5869 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0140 m
DZ			-1438.0460 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0047 m
DX	VT9	vr3	-705.2513 m	0.0001 m	0.0006 m	0.0013 m
DY			-301.1852 m	0.0021 m	0.0008 m	0.0021 m
DZ			-1493.9516 m	0.0006 m	-0.0019 m	0.0007 m
DX	VT9	vr2	-694.5041 m	0.0000 m	-0.0004 m	0.0012 m
DY			-295.2239 m	-0.0017 m	-0.0006 m	0.0019 m
DZ			-1456.4275 m	-0.0005 m	0.0016 m	0.0006 m

GPS Baseline Vector Residuals

	Station	Target	Adj vector [m]	Resid [m]	Resid [ppm]
DV	zar1	zar2	33.5840	0.0000	0.0
DV	VT9	zar2	1346.3102	0.0000	0.0
DV	vr3	vr2	39.4853	0.0020	50.1
DV	VT9	z9	1776.5605	0.0000	0.0
DV	VT9	z8	1606.9973	0.0000	0.0
DV	VT9	z7	1527.5915	0.0000	0.0
DV	VT9	z6	1584.4853	0.0000	0.0
DV	VT9	z5	1490.9700	0.0000	0.0

GPS Baseline Vector Residuals					
	Station	**Target**	**Adj vector [m]**	**Resid [m]**	**Resid [ppm]**
DV	VT9	z4	1435.9900	0.0000	0.0
DV	VT9	z3	1417.0428	0.0000	0.0
DV	VT9	z20	894.1691	0.0000	0.0
DV	VT9	z2	1513.4419	0.0000	0.0
DV	VT9	z19	812.9839	0.0000	0.0
DV	VT9	z18	676.7396	0.0000	0.0
DV	VT9	z17	629.4018	0.0000	0.0
DV	VT9	z16	807.4925	0.0000	0.0
DV	VT9	z15	868.8185	0.0000	0.0
DV	VT9	z14	1048.6659	0.0000	0.0
DV	VT9	z13	1233.9528	0.0000	0.0
DV	VT9	z12	1188.9555	0.0000	0.0
DV	VT9	z11	1173.3120	0.0000	0.0
DV	VT9	z10	1208.9821	0.0000	0.0
DV	VT9	z1	1628.4431	0.0000	0.0
DV	VT9	vr3	1679.2806	0.0022	1.3
DV	VT9	vr2	1640.3275	0.0018	1.1

Absolute Error Ellipses (2D - 39.4% 1D - 68.3%)					
Station	**A [m]**	**B [m]**	**A/B**	**Phi**	**Sd Hgt [m]**
VT9	0.0000	0.0000	1.0	90°	0.0000
vr2	0.0011	0.0007	1.7	82°	0.0020
vr3	0.0012	0.0007	1.7	80°	0.0022
z1	0.0060	0.0040	1.5	66°	0.0144
z10	0.0068	0.0061	1.1	-54°	0.0167
z11	0.0070	0.0058	1.2	-45°	0.0158
z12	0.0071	0.0061	1.2	-26°	0.0160
z13	0.0057	0.0047	1.2	-51°	0.0119
z14	0.0052	0.0046	1.1	-48°	0.0109
z15	0.0076	0.0067	1.1	-43°	0.0154
z16	0.0056	0.0054	1.0	44°	0.0116
z17	0.0053	0.0050	1.1	-79°	0.0111
z18	0.0092	0.0063	1.5	-63°	0.0160
z19	0.0067	0.0061	1.1	89°	0.0150
z2	0.0058	0.0039	1.5	74°	0.0132
z20	0.0070	0.0068	1.0	55°	0.0179
z3	0.0086	0.0085	1.0	-78°	0.0340
z4	0.0050	0.0040	1.3	84°	0.0134
z5	0.0065	0.0052	1.2	-70°	0.0202
z6	0.0075	0.0054	1.4	-72°	0.0196
z7	0.0066	0.0049	1.3	-80°	0.0152
z8	0.0055	0.0044	1.3	-71°	0.0122
z9	0.0055	0.0048	1.2	-83°	0.0144
zar1	0.0040	0.0028	1.4	-67°	0.0116
zar2	0.0014	0.0011	1.2	-86°	0.0038

Testing and Estimated Errors
Observation Tests

	Station	Target	MDB	Red	BNR	W-Test	T-Test
DX	zar1	zar2					
DY							
DZ							
DX	VT9	zar2					
DY							
DZ							
DX	vr3	vr2	0.0069 m	34	3.9	0.32	1.00
DY			0.0114 m	34	3.9	1.27	
DZ			0.0040 m	35	3.8	1.02	
DX	VT9	z9					
DY							
DZ							
DX	VT9	z8					
DY							
DZ							
DX	VT9	z7					
DY							
DZ							
DX	VT9	z6					
DY							
DZ							
DX	VT9	z5					
DY							
DZ							
DX	VT9	z4					
DY							
DZ							
DX	VT9	z3					
DY							
DZ							
DX	VT9	z20					
DY							
DZ							
DX	VT9	z2					
DY							
DZ							
DX	VT9	z19					
DY							
DZ							
DX	VT9	z18					
DY							
DZ							
DX	VT9	z17					
DY							
DZ							
DX	VT9	z16					

Testing and Estimated Errors Observation Tests							
	Station	**Target**	**MDB**	**Red**	**BNR**	**W-Test**	**T-Test**
DY							
DZ							
DX	VT9	z15					
DY							
DZ							
DX	VT9	z14					
DY							
DZ							
DX	VT9	z13					
DY							
DZ							
DX	VT9	z12					
DY							
DZ							
DX	VT9	z11					
DY							
DZ							
DX	VT9	z10					
DY							
DZ							
DX	VT9	z1					
DY							
DZ							
DX	VT9	vr3	0.0069 m	37	3.7	0.32	1.00
DY			0.0114 m	37	3.6	1.27	
DZ			0.0040 m	37	3.6	1.02	
DX	VT9	vr2	0.0069 m	28	4.4	-0.32	1.00
DY			0.0114 m	27	4.5	-1.27	
DZ			0.0040 m	27	4.6	-1.02	

Fuente: www.MOVE3.com ((c) 1993-2012)

4.8.2. Evaluación de calidad de un modelo de elevación del terreno

En esta actividad se siguieron procedimientos de calidad de la información espacial de estándares internacionales, para esto se diseñó un muestreo, acorde con la revisión realizada de modo regular en rejilla, definida por la estructura de la malla vial.

Los puntos de control terrestre posicionados con tecnología GNSS durante el proceso de muestreo fueron postprocesados en el software GEOMAX geooffice, con el fin de obtener las coordenadas elipsoidales referidas al sistema WGS84, para luego ser descargadas en el software ArcGis y realizar la proyección de WGS84 a MAGNA Colombia Oeste, junto con los ráster que contienen el DTM Geovalle y el DTM de Zarzal.

El resultado del test realizado fue de: “Comprobado para 0,12 m de precisión vertical con un nivel de confianza del 95%”. Es decir que el 95% de las alturas en el conjunto de datos tendrá un error con respecto a la altura de tierra verdadera que será igual o menor a la precisión reportada.

Con los resultados obtenidos se efectuó la actualización del modelo de elevación digital integrando los levantamientos al DTM existente, se generaron secciones y productos que posteriormente fueron utilizados en los estudios de geología y geomorfología.

4.9. BATIMETRÍA

La batimetría Del municipio de Zarzal se centro en la **Quebrada Limones** que atraviesa el casco urbano del municipio.

La información batimétrica pasa por un control de calidad con el fin de detectar incongruencia, tales como cambios abruptos en el terreno que alteren el resultado de la interpolación para generación del DTM de cada cuenca.

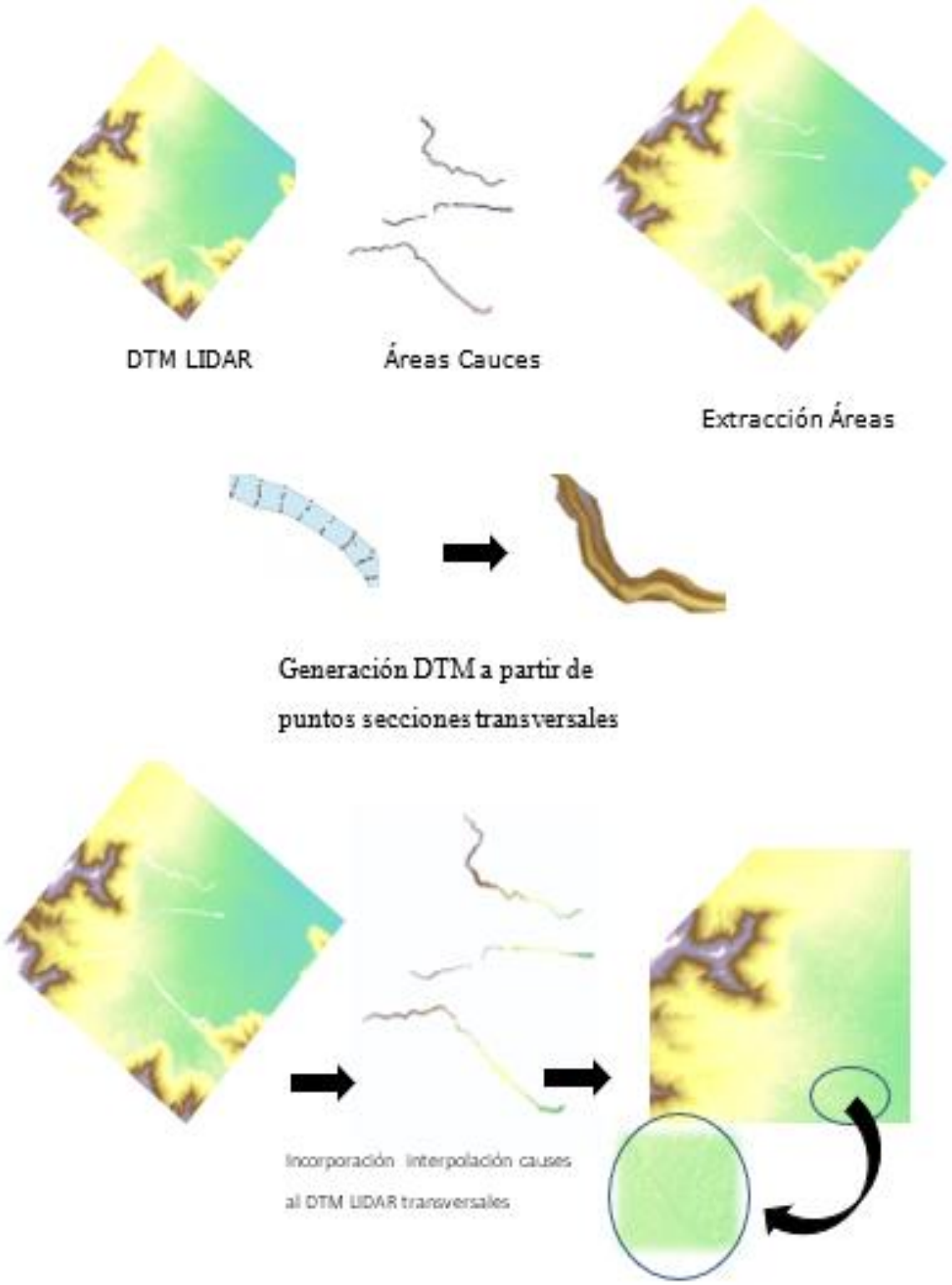


Figura 4.13. Generación de DTM y Producción de Batimetría
Fuente: elaboración propia.

Figura 4.14. Batimetría Q. Limones
Fuente: elaboración propia

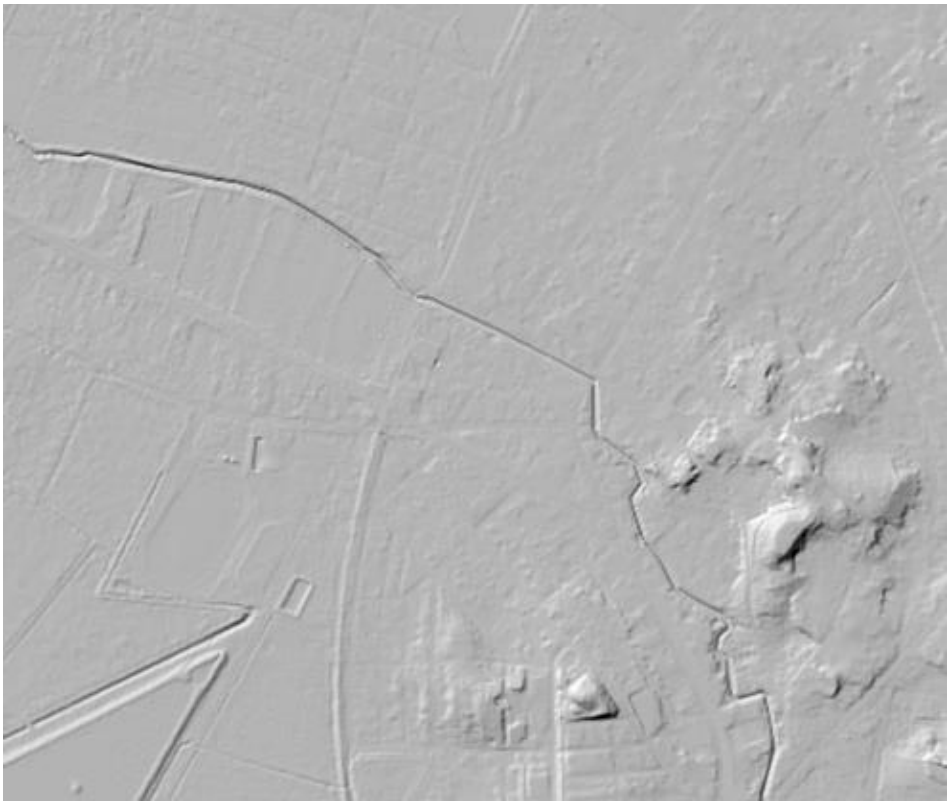


Figura 4.15. DTM Q. Limones
Fuente: elaboración propia

5. HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA

Las inundaciones son fenómenos hidrológicos recurrentes potencialmente destructivos, que hacen parte de la dinámica de evolución de una corriente. Se producen por lluvias persistentes y generalizadas que generan un aumento progresivo del nivel de las aguas contenidas dentro de un cauce superando la altura de las orillas naturales o artificiales, ocasionando un desbordamiento y dispersión de las aguas sobre las llanuras de inundación y zonas aledañas a los cursos de agua normalmente no sumergidas (IDEAM, 2013).

En la clasificación más sencilla se pueden identificar dos tipos: Inundaciones lentas, que son las que ocurren en las zonas planas de los ríos y con valles aluviales extensos, los incrementos de nivel diario son de apenas del orden de centímetros, reporta afectaciones de grandes extensiones, pero usualmente pocas pérdidas de vidas humanas, el tiempo de afectación puede fácilmente llegar a ser del orden de meses. El otro tipo de inundación son las llamadas crecientes súbitas, que aunque las áreas de afectación son menores, el poder destructivo es potencialmente mayor y cobra el mayor número de vidas cuando se presentan, responden rápidamente a la ocurrencia de fuertes precipitaciones en las partes altas de las cuencas, los incrementos de nivel son del orden de metros en pocas horas, y el tiempo de permanencia de estas inundaciones en las zonas afectadas son igualmente de horas o pocos días, estas se presentan en todas las cuencas de alta pendiente de la región Andina principalmente.

En Colombia, las inundaciones originadas por los desbordamientos de los ríos son altamente frecuentes a lo largo y ancho del territorio nacional. Casi todas las regiones del país son vulnerables a las inundaciones, que pueden presentarse en los ríos principales, y también a veces la población resulta afectada por el desborde de quebradas y ríos pequeños.

Las comunidades asentadas en zonas aledañas a los cauces pueden estar en riesgo a causa de las inundaciones, pues éstas son muchas veces responsables de pérdidas de vidas y daños a la infraestructura. Las inundaciones representan una amenaza para asentamientos humanos, zonas agrícolas, zonas ganaderas y vías, entre otros tipos de infraestructura localizados sobre el abanico aluvial, es decir, en la parte plana donde se deposita y almacena el flujo de agua.

Por ello es importante que las áreas amenazadas por este fenómeno sean identificadas con el fin de estimar la vulnerabilidad de los elementos expuestos y determinar los escenarios de riesgo. Éstos permitirán plantear y analizar diferentes alternativas con el propósito de prevenir, mitigar o controlar la amenaza por este tipo de fenómenos y definir posteriormente el uso adecuado de dichas áreas. En muchos casos, esto puede verse reflejado tanto en proyectos de reubicación como modificaciones de los planes de ordenamiento territorial en cuanto a las futuras áreas de expansión de los municipios. Para cumplir con esta tarea se debe desarrollar una metodología para delimitar las zonas vulnerables a este tipo de amenazas.

En el presente estudio se determinó el nivel de amenaza por inundaciones en el área urbana y la zona de expansión mediante la zonificación de amenaza del municipio de Zarzal en el departamento del Valle del Cauca. Para ello se efectuó la caracterización hidráulica de la quebrada Limones utilizando el programa HEC - RAS con el fin de implementar un modelo matemático y simular los

fenómenos de inundación, teniendo en cuenta los parámetros de profundidad y velocidad para establecer los niveles de amenaza y definir los mapas de amenaza por inundación.

5.1. CONCEPTUALIZACIÓN

El municipio Zarzal se localiza al norte del departamento del Valle del Cauca, limita por el norte con el municipio de La Victoria, al Sur con el municipio de Bugalagrande, al oriente con el municipio de Sevilla y por el occidente con el municipio de Roldanillo y Bolívar. Por la zona urbana del municipio del municipio de Zarzal discurren las aguas de la quebrada Limones (Consejo Municipal de Zarzal -PBOT, 2001).

El municipio tiene un área de 362,14 km^2, conformada principalmente por terreno plano y colinas o pequeñas ondulaciones (262 km^2, con clima cálido) perteneciente al valle geográfico del río Cauca; al norte, y al oriente se observan algunos accidentes orográficos de poca elevación que hacen parte del piedemonte, (100 km^2, clima medio) de la vertiente occidental de la Cordillera Central. Entre estas elevaciones se desatacan el cerro de Pan de Azúcar, altos de la Aurora y Montenegro, la Sierra del Salado, la Sierra de Zarzal y la Loma de la Cruz (Consejo Municipal de Zarzal -PBOT, 2001).

Desde el punto de vista hidrográfico, el río Cauca marca el límite occidental del municipio. A él confluyen las aguas del río La Paila y el río La Vieja, también la quebrada Las Cañas, quebrada La Honda, la quebrada Limones y los zanjones Murillo, Lajas.

El municipio de Zarzal ha tenido problemas por inundaciones, debido al desbordamiento de la quebrada Limones durante periodos de invierno intenso.

Teniendo en cuenta que el sector por donde discurre los cuerpos de agua en estudio se localiza en área jurisdicción de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC, para el presente estudio se emplea información generada por dicha autoridad ambiental.

Para realizar un adecuado cálculo de caudales de los cuerpos de agua en estudio es necesario tener en cuenta todas las subzonas hidrográficas asociadas al área urbana del municipio de Zarzal esto con el fin de obtener datos más acertados, específicos y representativos mediante los análisis hidrológicos e hidráulicos.

Para la delimitación de la zona de estudio del municipio de Zarzal se consideró el área del perímetro urbano y de expansión urbana, puesto que la zona a estudiar debe abarcar ambos sectores. En la siguiente **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se indica de manera aproximada el perímetro de la zona de estudio del municipio de Zarzal.

La información recopilada y consultada permitió identificar los diferentes cauces que transitan por el casco urbano del municipio de Zarzal. Entre las corrientes que históricamente han generado problemas por inundaciones se destacan la quebrada Limones. El principal cauce que atraviesa el municipio de Zarzal la quebrada Limones, la cual recibe las aguas de los cauces que atraviesan la cabecera municipal También existen en el municipio algunas quebradas, pero estas no presentan ningún tipo de desbordamiento.

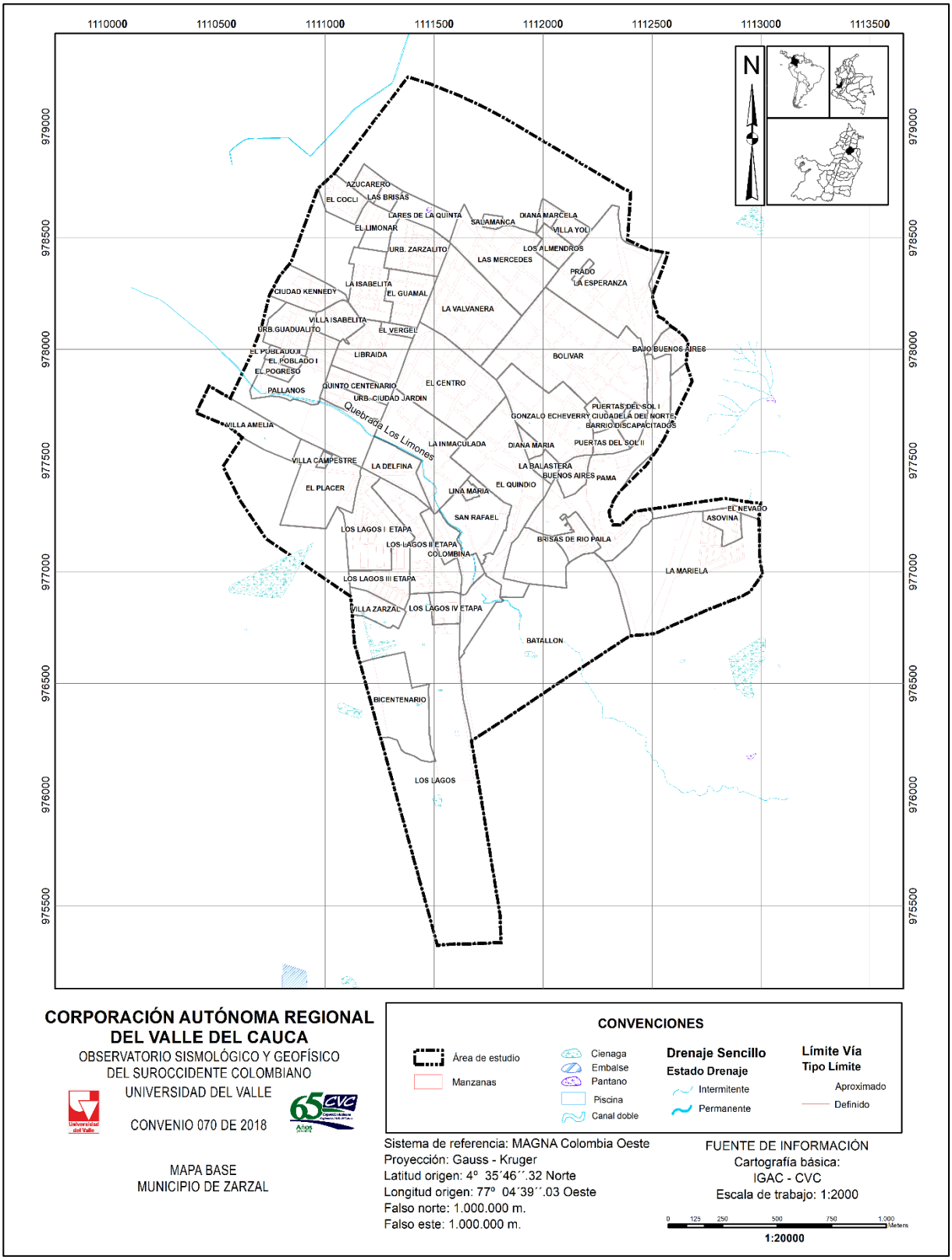


Figura 5.1. Localización de la zona de estudio en el municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia con datos del IGAC y CVC

5.2. METODOLOGÍA

Los estudios hidrológicos e hidráulicos para la determinación de cotas y áreas máximas de inundación, como herramientas para la detección y pronóstico de amenaza por inundación por desbordamiento asociada a los cauces de ríos que discurren por área urbana del municipio de Zarzal, se desarrollan a partir de los siguientes componentes:

5.2.1. Resultados de las investigaciones de campo

El trabajo de campo se hizo con la finalidad de identificar en terreno las condiciones hidrodinámicas de cada uno de los cauces que pasan por el casco urbano y de expansión del municipio de Zarzal, de tal manera que el conocimiento de cada uno de ellos sirva de insumo para el análisis hidrológico e hidráulico con la finalidad de establecer algunos parámetros requeridos para la obtención de los caudales máximos y determinación de áreas inundables. Se realizó el levantamiento topobatimétrico de cada uno de los cauces y la georreferenciación de obras hidráulicas como puentes información que es determinante a la hora de realizar el proceso de modelación hidráulica para definir las áreas inundables. A continuación, se hace una breve descripción del levantamiento topográfico realizado y de las estructuras hidráulicas encontradas en cada uno de los cauces de pasan por el Municipio de Zarzal.

5.2.1.1. Levantamientos topobatimétricos

El cauce monitoreado en el municipio de Zarzal es La quebrada Limones.
La información topobatimétrica de los diferentes cauces que recorren la zona de estudio del municipio de Zarzal es de gran importancia para efectuar la modelación matemática de los fenómenos de inundación y avenidas torrenciales, pues permite obtener resultados más precisos sobre las características de los cauces (pendiente y capacidad de transporte).

Para efectuar el levantamiento topobatimétrico de las secciones transversales de los diferentes cauces y canales se tuvieron en cuenta los siguientes criterios:

- Las secciones transversales deben localizarse preferiblemente en tramos rectos del cauce.
- Las secciones no deben estar ubicadas en sectores en los cuales existan barras centrales e islas en medio del cauce.
- Las bancas de las secciones deben ser estables.
- Las secciones deben ser representativas de la morfología del cauce en cada tramo, y en su conjunto deben ser representativas de la configuración morfológica de todo el cauce.
- Las secciones transversales deben localizarse donde se observen cambios importantes en la rugosidad del cauce y en la pendiente del río.
- Las secciones se deben ubicar aguas arriba y aguas abajo de la desembocadura de corrientes tributarias importantes.
- Deben tomarse secciones en las fronteras del modelo (aguas arriba, aguas abajo e internas).
- Se debe realizar el levantamiento de secciones transversales donde existan puentes, alcantarillas, diques, derivaciones, vertimientos, compuertas y demás estructuras hidráulicas que estén presentes en los tramos de estudio de los cauces a modelar.

De acuerdo con estas recomendaciones y teniendo en cuenta las características morfológicas observadas durante las visitas de reconocimiento, se definió el espaciamiento aproximado entre las secciones transversales a monitorear en los diferentes cauces, quebradas y acequias, así:

- En la quebrada Limones se levantaron secciones transversales cada 20 m en un tramo de 2.5 Km

Las secciones topobatimétrica y el espaciamiento considerado entre secciones en cada uno de los cauces de interés fue información suficiente para reflejar la variación de la geometría (o morfología) de dichas corrientes puesto que éstas son canales cuya variación geométrica a lo largo de su recorrido por la zona de estudio no es significativa. A continuación, se indica la extensión de los tramos a modelar de cada uno de los cauces, el número total de las secciones transversales levantadas y la localización de las secciones seleccionadas como fronteras del modelo matemático para el municipio de Zarzal.

5.2.1.1.1. Quebrada Limones

La Quebrada Limones es el principal cauce natural que atraviesa el municipio de Zarzal, la longitud total del tramo a modelar de la quebrada Limones de 2560 m, aproximadamente. Se levantaron ciento ocho (129) secciones transversales espaciadas así: cada 20 m en la zona urbana y de expansión urbana, cada 20 m desde el límite del área de expansión urbana municipio de Zarzal. Para propósitos de la modelación matemática y considerando la disponibilidad de información, la frontera superior en la Quebrada Limones se estableció aguas arriba del límite de la zona urbana localizada 100 m aguas arriba del polígono de la zona urbana.

- Estructuras hidráulicas localizadas en el quebrada Limones en el tramo de estudio

En el tramo de la quebrada Limones que pasa por el casco urbano y zona de expansión se encuentra cuatro (12) estructuras tipo puente, ponton o box culvert. En la Tabla 5.1 se presenta las coordenadas de la localización de la estructura.

Tabla 5.1. Localización del puente sobre la quebrada Limones

TIPO DE ESTRUCTURA	ESTE	NORTE	ELEVACIÓN
Puente	1111226.42	977614.42	915.99
Puente	1111336.89	977554.47	916.91
Puente	1111346.38	977551.37	916.71
Riel	1111362.48	977543.19	916.68
Puente	1111386.32	977537.67	917.06
Puente	1111396.08	977532.76	917.17
Puente Peatonal	1111394.04	977533.87	917.21
Puente Peatonal	1111454.6	977438.2	917.46
Puente	1111480.3	977411.7	917.14
Box Culvert	1111531.78	977277.68	918.13
Puente	1111558.51	977231.45	918.72
Puente Peatonal	1111647.07	977076.07	918.6
Puente	11116821.51	977081.80	918.76
Puente	1111679.4	976941.03	918.98

Fuente: elaboración propia

En las Figura 5.2 Figura 5.3 se muestran algunas fotografías de las obras localizadas a lo largo de la quebrada Limones a su paso por la zona urbana del municipio de Zarzal.

Figura 5.2. Obras hidráulicas ubicadas sobre la quebrada Limones
Fuente: fotografías propias

Figura 5.3. Obras hidráulicas ubicadas sobre la quebrada Limones
Fuente: fotografías propias

En síntesis, en la campaña topográfica en la zona de estudio del municipio de Zarzal se realizó el levantamiento topobatimétrico de 129 secciones transversales en la quebrada Limones. Es importante aclarar que en todos los cauces se levantaron secciones transversales en diferentes puntos de control como puentes, diques, alcantarillas, entre otras estructuras hidráulicas ubicadas en los tramos de los cauces a modelar en el municipio de Zarzal, siguiendo los requerimientos topobatimétricos. El número total de Estructuras de los principales cauces localizados en el municipio de Zarzal fue de doce (12).

5.2.2. Climatología

Identificación, zonificación y descripción de las condiciones climáticas del área y sus alternativas de solución en el corto plazo, con base en la información de las estaciones meteorológicas existentes, aledañas a las cuencas en estudio, que pertenecen a la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca - CVC; los parámetros a evaluar son precipitación, número de días con lluvia, entre otros según disponibilidad y requerimiento.

Definición del modelo meteorológico el cual consiste en determinar la lluvia a aplicar, basados en la historicidad de los eventos presentados. Para definir la lluvia de diseño se emplean las Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia - IDF de las estaciones con influencia en la zona en estudio para los diferentes periodos de retorno, esto con el objetivo de generar los hietogramas de diseño, empleando la metodología de bloque alterno (Chow, 1994), la cual de fundamenta en la intensidad de la precipitación para diferentes tiempos de duración. El hietograma es la representación de la distribución temporal de la intensidad de las precipitaciones a tiempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años.

5.2.3. Morfometría

A partir de información cartográfica se determinan los principales parámetros morfométricos (área, longitud del cauce, cota máxima y mínima, pendiente, tiempo de concentración, entre otros) de las cuencas en estudio, como información de entrada para la modelación hidrológica.

5.2.4. Hidrología

Modelación hidrológica de la cuenca aferente del drenaje en estudio para determinar los caudales asociados a los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, empleando el modelo matemático HEC-HMS 4.3. Para dicha modelación se requiere de los parámetros morfométricos mencionados anteriormente, tipo de suelo, uso y cobertura del suelo.

Para realizar un adecuado cálculo de caudales, es necesario tener en cuenta todas las subzonas hidrográficas asociadas al sector en estudio, esto con el fin de obtener datos más acertados, específicos y representativos mediante los análisis hidrológicos.

5.2.5. Hidráulica

Modelación hidráulica de los cuerpos de agua que discurren por el área urbana del municipio de Zarzal, a partir de estudios de topografía (planimetría, altimetría y batimetría) y de los caudales pronosticados para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años, empleando el modelo matemático HEC-RAS 5.07. Para lo anterior se requiere contar con parámetros como la rugosidad del cauce y taludes o zonas aledañas, condiciones de frontera aguas arriba y aguas abajo.

5.3. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA MUNICIPIO DE ZARZAL

El clima es el conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas, caracterizado por los estados y evoluciones del tiempo, durante un periodo de tiempo y un lugar o región dada, y controlado por los denominados factores forzantes, factores determinantes y por la interacción entre los diferentes componentes del sistema climático.

Debido a que el clima se relaciona generalmente con las condiciones predominantes en la atmósfera (uno de los componentes del sistema), éste se describe a partir de variables atmosféricas como la temperatura y la precipitación; sin embargo, se podría identificar también con las variables de otros de los componentes del sistema climático

A través de la historia, se han presentado fluctuaciones del clima en escalas de tiempo que van desde años (variabilidad climática interanual) a milenios (cambios climáticos globales). Estas variaciones se han originado por cambios en la forma de interacción entre los diferentes componentes del sistema climático y en los factores forzantes.

El municipio de Zarzal se caracteriza por presentar dos períodos secos entre los meses enero-marzo y junio-agosto y dos períodos húmedos entre los meses abril-mayo y septiembre-diciembre.

5.3.1. Elementos y variables climatológicas

Toda propiedad o condición de la atmósfera cuyo conjunto define el estado físico del clima, en un lugar dado, para un periodo de tiempo determinado, es conocida con el nombre de elemento climático. Los principales elementos del clima son: la temperatura, la humedad relativa, la velocidad del viento, el brillo solar y la precipitación. Estos elementos se convierten en variables climatológicas cuando se obtienen sus valores cuantitativos o cualitativos, producto de sus registros y/o mediciones. Éstas generalmente tienen los mismos nombres que sus elementos, pero se diferencian de éstos porque el elemento es la característica física en sí, mientras que la variable es su valoración. Con el análisis del comportamiento de estas variables, en el tiempo y en el espacio, es posible sacar conclusiones sobre el clima actual, el clima del pasado, las fluctuaciones climáticas de diversa escala.

5.3.1.1. Red de estaciones meteorológicas

El análisis del clima como factor de gran incidencia en los procesos que se presentan en el medio natural, se realizó a partir de la información disponible en las estaciones que conforman la red climatológica de la Corporación Regional Del Valle del Cauca - CVC y del Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales – IDEAM, que se localizan en el área de influencia del proyecto. Se identificaron un total de 21 estaciones de las cuales: una estación es climatológica, una estación es pluviográfica, una estación es meteorológica, una estación es Evaporimétrica y 17 son pluviométricas, localizadas en zona de influencia del proyecto. La información general de las estaciones se presenta en la Tabla 5.2.

Tabla 5.2. Estaciones meteorológicas seleccionadas en la Zona de Estudio

ESTACIÓN	CÓDIGO	TIPO	ENTIDAD	COORDENADAS PLANAS	
				ESTE	NORTE
Bolívar	26110040	PM	IDEAM	1098466	972052
Higuerón	26110060	PM	IDEAM	1106642	985745
Higueroncito	26110100	PM	IDEAM	1108490	987591
Tierrablanca	26115030	CO/PM	IDEAM	1108499	980218
Sabanazo	26115020	EV	CVC	1103028	994446
Patumac	54030010	PM	IDEAM	1097184	997475
Lituania	54030030	PM	IDEAM	1080126	989244
La Arboleda	26110290	PM	IDEAM	1109192	992931
Isugu	26110230	PG	IDEAM	1108434	980439
Candelaria	26115080	ME	IDEAM	1110722	987327
Cent Admo La Unión	26115040	CP	IDEAM	1112682	992899
El Retiro	26110170	PM	CVC	1093500	977912
Montecristo	26110180	PM	CVC	1098279	980253
Betania	54030090	PM	CVC	1085330	982350
La María	54030140	PM	CVC	1085844	994581
Pto Nuevo	54030150	PM	CVC	1089824	1000059
El Porvenir	26110050	PM	CVC	1106652	994155
El Aguacate	26110360	PM	CVC	1097307	977785
El Lucero	26110380	PM	CVC	1107427	990958
El Orégano	26110390	PM	CVC	1100211	984030
La Despensa	26110450	PM	CVC	1103282	990594
Las Penas	2624700108	PM	CVC	1107663	1007409
La quiebra	2624700121	PM	CVC	1106867	1003882
Patio bonito	2624700118	PM	CVC	1104713	999276

ESTACIÓN	CÓDIGO	TIPO	ENTIDAD	COORDENADAS PLANAS	
				ESTE	NORTE
El Oso	2624700113	PM	CVC	1108511	997937
El Vesubio	2624700103	PM	CVC	1109587	1001438
Puerto molina	2610000105	PM	CVC	1116990	1002997
La Elvira	2614900102	PM	CVC	1114411	977088
El Alcázar	2614500102	PM	CVC	1117544	968087
El Socorro	2614900101	PG	CVC	1121826	985452
Quebradanueva	2615400107	PM	CVC	1125927	976292

Fuente: elaboración propia con datos de CVC e IDEAM

A continuación se describen los aspectos climáticos más importantes, haciendo énfasis principalmente en parámetros como la temperatura (media, máxima y mínima), humedad relativa, brillo solar, velocidad del viento y precipitación, utilizando los registros mensuales multianuales disponibles, principalmente de las dos estaciones climatológicas Centro administrativo la Unión y Tierrablanca, localizadas dentro o en inmediaciones del municipio de Zarzal, En la Tabla 5.3 se presenta el resumen de los promedios mensuales multianuales de los parámetros climatológicos evaluados.

Tabla 5.3. Valores promedios mensuales multianuales de diferentes variables climáticas registradas en las estaciones Centro Administrativo La Unión y Tierrablanca

ESTACIÓN	PARÁMETRO	UNIDAD	VALORES MENSUALES											
			ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Cent. Admo La Unión	*HR*	%	72	71	72	75	77	75	71	69	72	74	75	74
	TMAX	ºC	33,9	34,4	34,5	33,7	32,8	33	33,9	34,5	34,1	32,9	32,3	32,6
	TMED	ºC	24,5	24,7	24,8	24,5	24,1	24,1	24,5	24,7	24,4	23,7	23,7	24
	TMIN	ºC	16,3	16,3	16,6	17,1	17,4	16,5	16,1	16,1	16,3	16,6	16,7	16,5
	BST	Horas	159	142	157	134	142	144	187	184	151	139	136	143
	EVPT	mm/mes	154	155	164	142	136	133	162	169	157	144	130	133
	VV	m/s	1,5	1,7	1,6	1,3	1,2	1,2	1,4	1,6	1,6	1,4	1,3	1,3
Tierrablanca	*HR*	%	72	71	71	74	76	75	71	71	72	76	76	74
	TMAX	ºC	33,5	33,9	34,4	33,7	32,8	32,9	33,8	34,1	33,6	32,5	32,2	32,7
	TMED	ºC	24,5	24,7	24,8	24,5	24,2	24,3	24,5	24,6	24,4	23,8	23,8	24,2
	TMIN	ºC	16,7	17,3	17,1	17,4	17,4	16,9	16,2	16,7	16,8	16,7	16,7	16,7
	BST	Horas	194	164	180	149	156	173	209	187	171	152	158	177
	EVPT	mm/mes	147	138	151	135	122	129	152	155	148	131	120	121

Nota: (TMAX) Temperatura Máxima, (TMED) Temperatura Media, (TMIN) Temperatura Mínima, (BST) Brillo Solar Total, (HR) Humedad Relativa, (EVPT) Evaporación Total, (VV) Velocidad de Viento.

Fuente: elaboración propia con datos de CVC e IDEAM

5.3.1.2. Temperatura Media

La temperatura del aire es una característica climatológica muy importante por su influencia en los factores hidrológicos, biológicos y económicos de una región. El comportamiento de este elemento del clima está condicionado básicamente por la presión atmosférica, lo cual se traduce en una variación en función de la altura sobre el nivel del mar. El régimen de la temperatura del aire en el

país está determinado por su situación geográfica en el planeta y las particularidades fisiográficas de su territorio. El primer factor influye ante todo sobre la amplitud anual de la temperatura del aire, mientras que el segundo determina en gran parte su variabilidad espacial. En la Figura 5.4 se presentan los histogramas de temperaturas medias mensuales (mínimas, medias y máximas) en las estaciones Centro Administrativo La Unión y Tierrablanca.

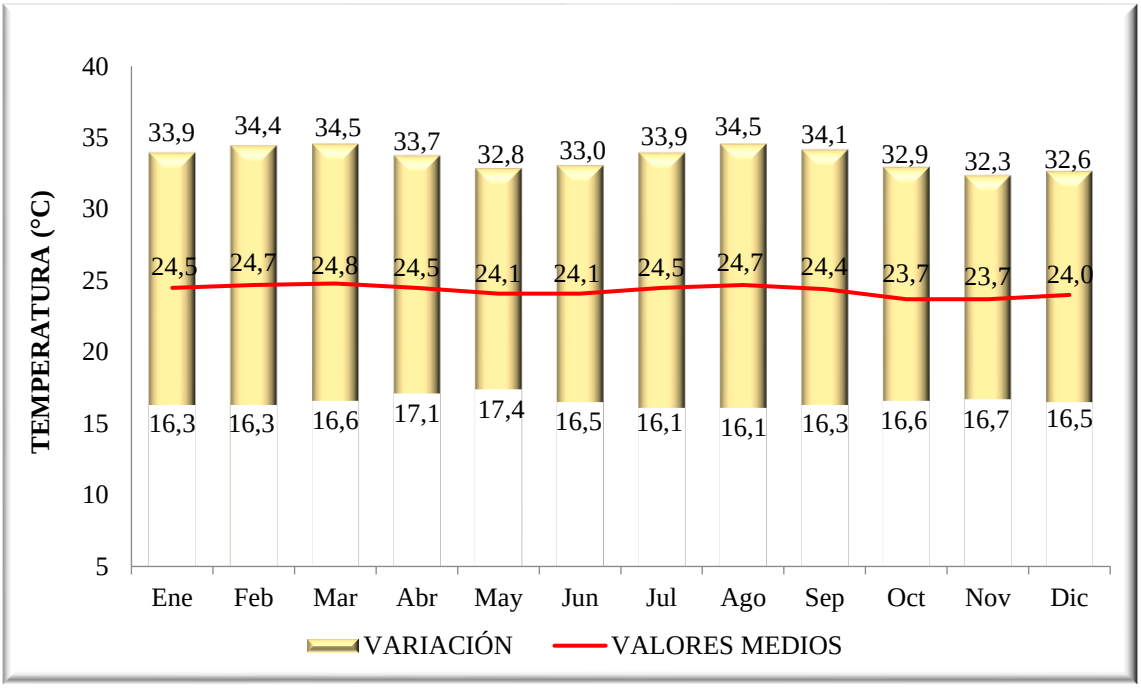


Figura 5.4. Histograma de Temperatura Media Mensual. Estación Centro Administrativo La Unión
Fuente: elaboración propia con datos del IDEAM

En la estación Centro Administrativo La Unión (Figura 5.4) se presentan valores de temperatura media mensual que varía entre 23,7 ºC (en los meses de octubre y noviembre) y 24,8 ºC (en el mes de marzo), presentando un valor promedio mensual multianual de 24,3 ºC. Las temperaturas máximas registran valores que oscilan entre los 32,3°C y los 34,5ºC, siendo el valor medio mensual de temperatura máxima de 33,6°C. Los valores de temperatura mínima en esta estación oscilan entre 16,1°C y 17,4ºC, teniendo un valor medio mensual de temperatura mínima de 16,5°C.

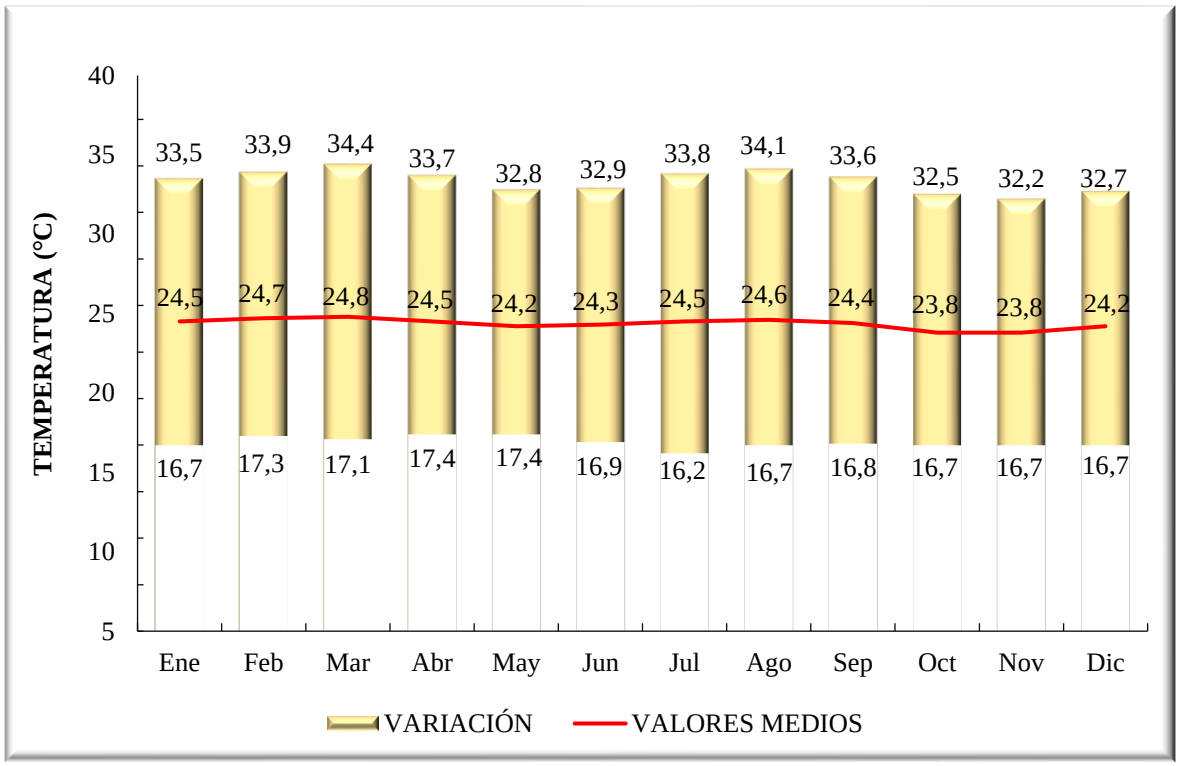


Figura 5.5. Histograma de Temperatura Media Mensual. Estación Tierrablanca
Fuente: elaboración propia con datos de IDEAM

En la estación Tierrablanca (Figura 5.5) la temperatura media mensual varía entre 23,8 ºC (en los meses de octubre y noviembre) y 24,8 ºC (mes de marzo), presentando un valor promedio mensual multianual de 24,4 ºC. Las temperaturas máximas registran valores que oscilan entre 32,2°C y 34,4ºC, siendo el valor medio mensual de temperatura máxima de 33,3°C. Los valores de temperatura mínima en la estación Tierrablanca oscilan entre 16,2°C y 17,4ºC, teniendo un valor medio mensual de temperatura mínima de 16,9°C.

5.3.1.3. Brillo Solar

La radiación solar es la energía emitida por el sol, que se propaga en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas. Esa energía es el motor que determina la dinámica de los procesos atmosféricos y el clima. Medir la radiación solar es importante para un amplio rango de aplicaciones, en el sector de la agricultura, ingeniería, entre otros, destacándose el monitoreo del crecimiento de plantas, análisis de la evaporación e irrigación, diseño y uso de sistemas de calentamiento solar, entre otros.

Los niveles de radiación varían durante todo el día y a lo largo del año. En términos generales se puede afirmar que los mayores niveles en el día se presentan cuando el sol se encuentra en su máxima elevación, esto es entre las 10 a.m. y las 2 p.m. (cerca del 60% de la radiación es recibida a estas horas), mientras que cuando el ángulo del sol está más cercano al horizonte llega menos radiación a la superficie de la tierra debido a que atraviesa una distancia más larga en la atmosfera y encuentra más moléculas de ozono, dando lugar a una mayor absorción. En la Figura 5.6 se

presenta el histograma de brillo solar obtenido con base en la información de las estaciones Centro Administrativo La Unión y Tierrablanca.

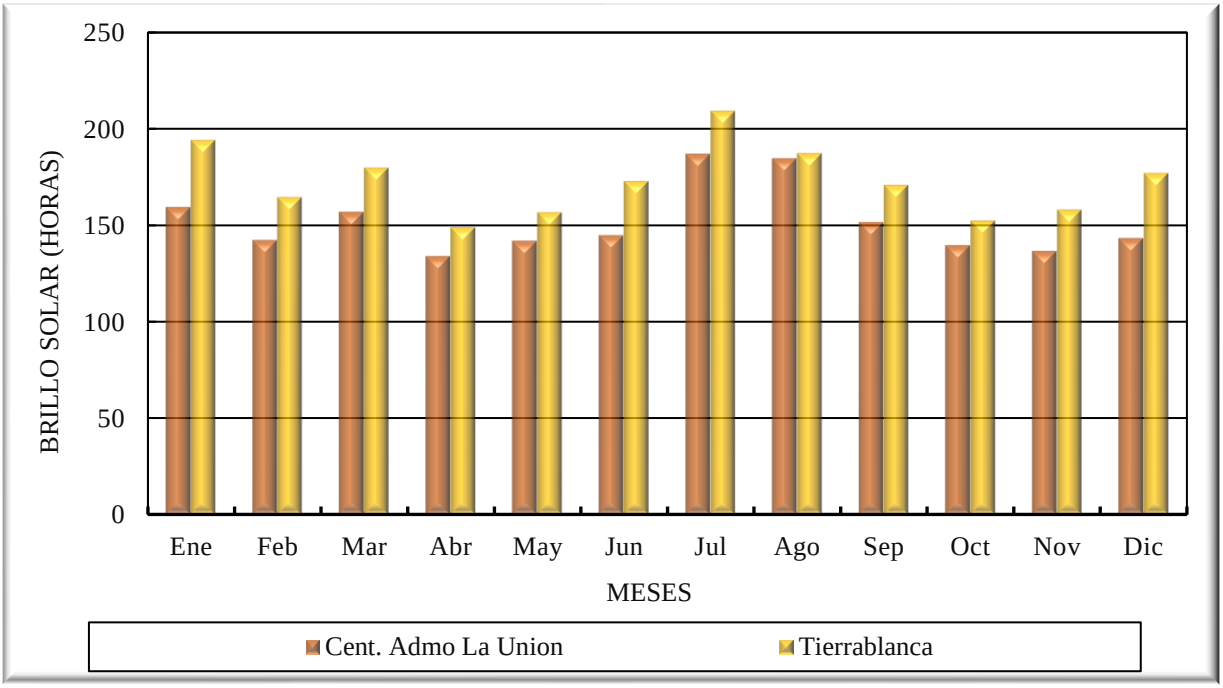


Figura 5.6. Histograma de Brillo Solar municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

De acuerdo con la información analizada, en la estación Centro Administrativo La Unión el promedio mensual de horas de brillo solar varía a lo largo del año, este valor oscila entre 134 horas y 187 horas, los valores más altos de horas de brillo solar se presentan en el mes de julio, mientras que los valores más bajos de horas de brillo solar se presentan en el mes de abril. La estación Centro Administrativo La Unión presenta un valor promedio mensual de brillo solar de 152 horas. En la estación Tierrablanca el promedio mensual de horas de brillo solar oscila entre 149 horas y 209 horas; los valores más altos de horas de brillo solar se presentan en el mes de julio, mientras que los valores más bajos de horas de brillo solar se presentan en el mes de abril. La estación Tierrablanca presenta un valor promedio mensual de brillo solar de 172 horas.

5.3.1.4. Humedad Relativa

La humedad relativa informa de manera proporcional la cantidad de agua que se encuentra dentro de un volumen determinado de aire. Esta variable contribuye como un factor importante para determinar el tipo de clima que se presenta en una región determinada. En Figura 5.7 se presentan los valores medios mensuales de Humedad Relativa en las estaciones: Centro administrativo La Unión y Tierrablanca.

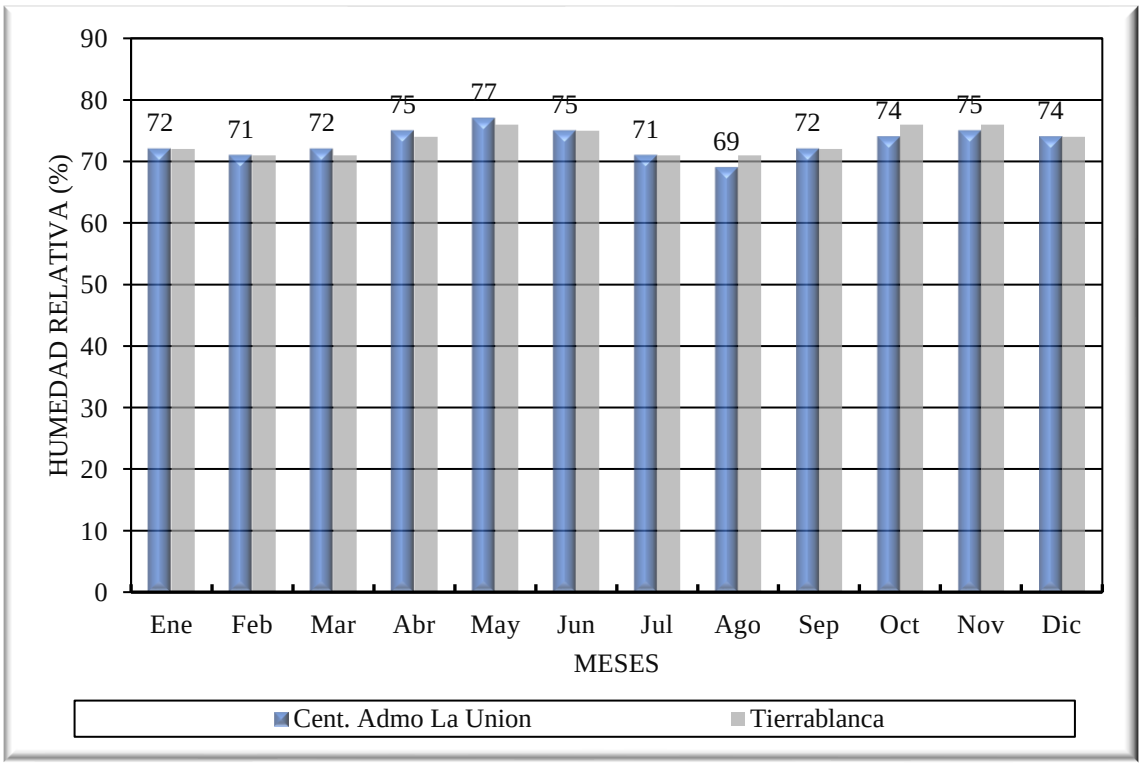


Figura 5.7. Histograma de Humedad Relativa – Estaciones Centro Administrativo La Unión y Tierrablanca
Fuente: elaboración propia con datos de CVC e IDEAM

En la estación Centro Administrativo La Unión el mayor valor se registra en el mes de mayo con un porcentaje de humedad relativa de 77%, mientras que en el mes de agosto se presenta el menor porcentaje de humedad relativa (69%); en esta estación se presenta un valor promedio mensual de humedad relativa de 73%. La estación Tierrablanca reporta valores de humedad relativa media mensual que oscilan entre 71% y 76 %, y presenta un valor promedio mensual de 73%. En los meses de febrero, marzo, julio y agosto se presentan los registros más bajos, y en los meses de mayo, octubre y noviembre se registran los valores más altos.

5.3.1.5. Evaporación

En la Figura 5.8 se presentan los valores promedios mensuales multianuales de Evaporación Total obtenidos con base en la información registrada en las estaciones Centro administrativo La Unión y Tierrablanca.

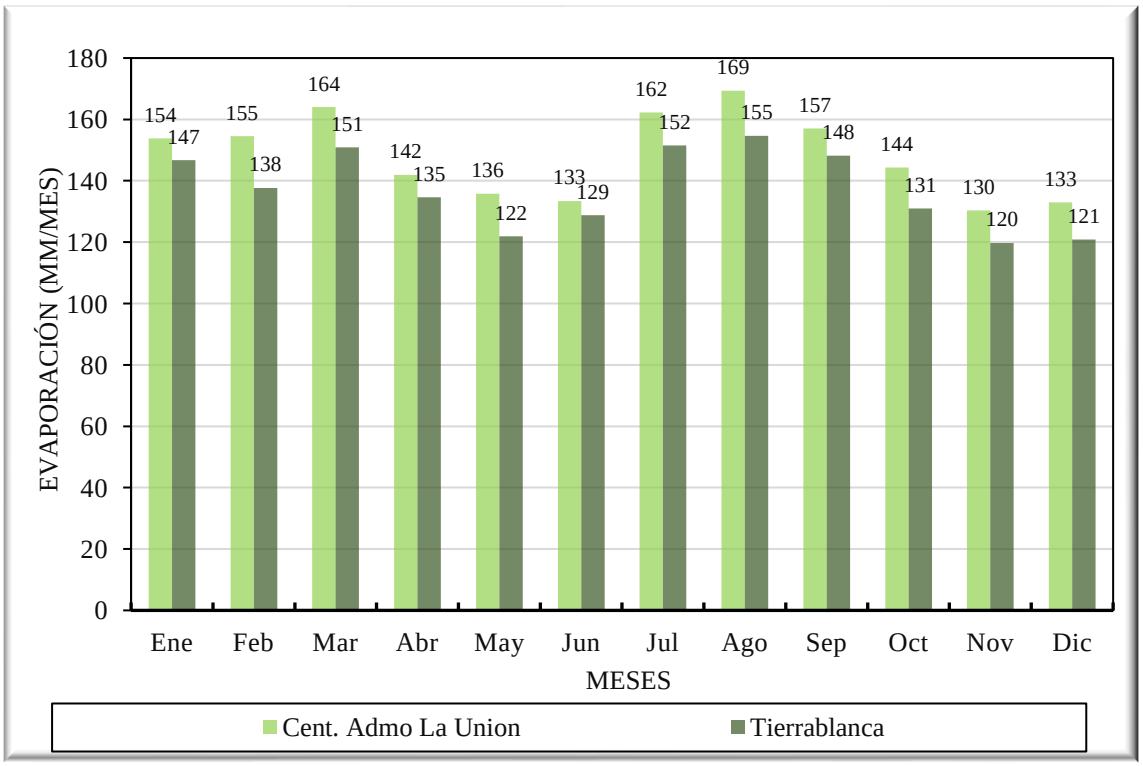


Figura 5.8. Distribución mensual de la evaporación – Estaciones Centro Administrativo La Unión y Tierrablanca
Fuente: elaboración propia con datos de CVC e IDEAM

En la estación Centro administrativo La Unión la mayor evaporación media mensual se presenta en el mes de agosto con un valor de 169 mm/mes, mientras que menor evaporación media mensual se presenta en el mes de noviembre con un valor medio de 130 mm/mes; en esta estación la evaporación media mensual multianual es 148 mm/mes. En la estación Tierrablanca la máxima evaporación media mensual se presenta en el mes de agosto con un valor de 155 mm/mes, y la mínima en el mes de noviembre con un valor medio de 120 mm/mes; en la estación la evaporación media mensual multianual es 137 mm/mes.

5.3.1.6. Velocidad de Viento

En la Figura 5.9 se presentan los valores promedios mensuales multianuales de velocidad de viento registrados en la estación Centro Administrativo La Unión, donde los mayores valores de velocidad de viento se presentan en el mes de febrero con un valor de 1,7 m/s, mientras que los valores más bajos se presentan en los meses de mayo y junio con un valor medio de 1,2 m/s, la estación Centro Administrativo La Unión presenta un valor promedio mensual de 1,4 m/s.

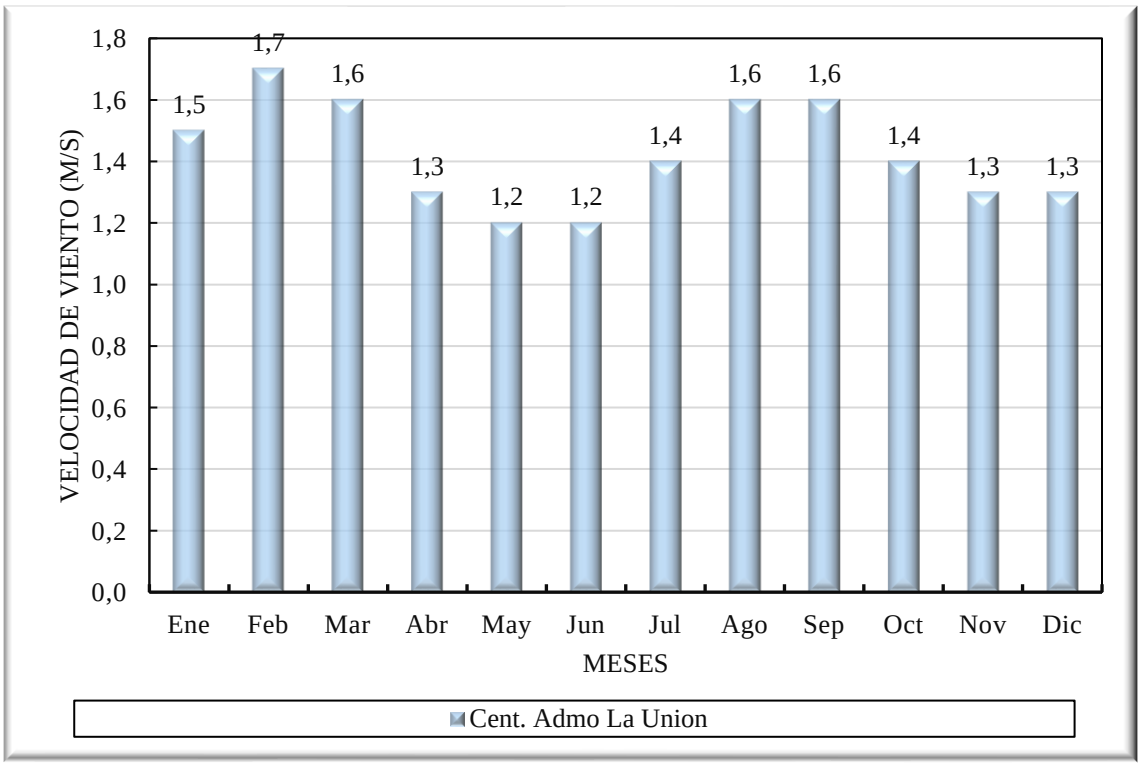


Figura 5.9. Histograma de Velocidad de Viento – Estación Centro Administrativo La Unión
Fuente: elaboración propia con datos de IDEAM

5.3.1.7. Precipitación

Para el análisis temporal de la precipitación en la zona de estudio, se construyó una base de datos con la información de precipitación mensual de las estaciones meteorológicas, las cuales están localizadas en la zona de influencia del proyecto. Para el análisis de la precipitación media mensual se consideró un periodo hidrológico de 37 años, periodo hidrológico que inicia en el año 1982 y termina en el año 2018.

5.3.1.7.1. Análisis temporal de las precipitaciones

De acuerdo con los datos de precipitación media mensual multianual obtenidos de las estaciones de mayor influencia del sector evaluado, se observa que la distribución temporal de la lluvia tiende a presentar un régimen hidrológico bimodal bien definido, es decir presenta dos periodos de alta pluviosidad y dos periodos de baja pluviosidad; las mayores lluvias se registran en los periodos marzo-mayo y septiembre- noviembre, mientras que los periodos de menor pluviosidad se presentan en los periodos junio-agosto y diciembre- febrero. En la Tabla 5.4 y en la Figura 5.10 seresentan los valores de la precipitación media mensual multianual en las estaciones ubicadas en zonas aledañas al proyecto.

Tabla 5.4. Precipitación media mensual multianual en las estaciones seleccionadas (mm)

ESTACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Bolívar	47	56	91	146	130	69	59	52	93	132	121	80	1076
Lituania	76	64	78	103	107	58	46	51	88	191	197	90	1151
Cent Admo La Unión	49	68	93	147	133	83	78	72	102	120	105	59	1109
Patumac	68	89	118	171	135	91	70	78	131	182	160	93	1386
Sabanazo	63	74	97	146	110	74	65	62	90	147	139	83	1151
Isugu	36	60	86	134	127	71	75	62	96	116	103	65	1030
El Retiro	92	89	123	207	155	91	69	63	119	197	200	148	1554
Montecristo	76	89	113	168	147	86	66	57	105	177	162	109	1355
El Porvenir	44	65	94	143	115	74	70	64	97	130	128	73	1099
La Arboleda	41	69	102	161	139	78	71	72	103	130	127	65	1159
La Despensa	36	58	81	128	114	64	43	44	75	129	109	61	945
El Aguacate	74	99	134	184	158	87	77	63	122	185	188	127	1499
El Lucero	52	74	110	176	159	88	79	67	112	162	156	84	1318
El Orégano	56	76	92	154	122	80	67	59	101	133	124	74	1139
Candelaria	45	62	93	143	121	71	69	55	98	125	101	66	1048
Betania	73	78	105	169	164	116	89	78	127	190	174	111	1474
La María	50	65	80	136	119	84	49	47	77	132	128	58	1025
Pto Nuevo	60	71	97	109	98	68	55	46	76	152	162	94	1087
Higuerón	42	58	85	136	114	65	66	52	92	118	102	65	994
Higueroncito	39	56	84	136	117	65	63	55	85	125	98	61	984
Tierrablanca	42	58	85	133	124	73	72	59	99	116	104	64	1028
Las penas	77	94	136	184	161	113	96	99	133	202	179	115	1530
La quiebra	61	77	109	151	134	91	75	82	101	157	133	81	1246
Patio bonito	64	88	114	174	149	95	75	73	102	152	147	101	1331
El oso	64	72	113	171	155	99	87	84	111	153	140	95	1333
El Vesubio	59	76	114	182	158	118	89	88	118	156	133	88	1324

Fuente: elaboración propia con datos de CVC e IDEAM

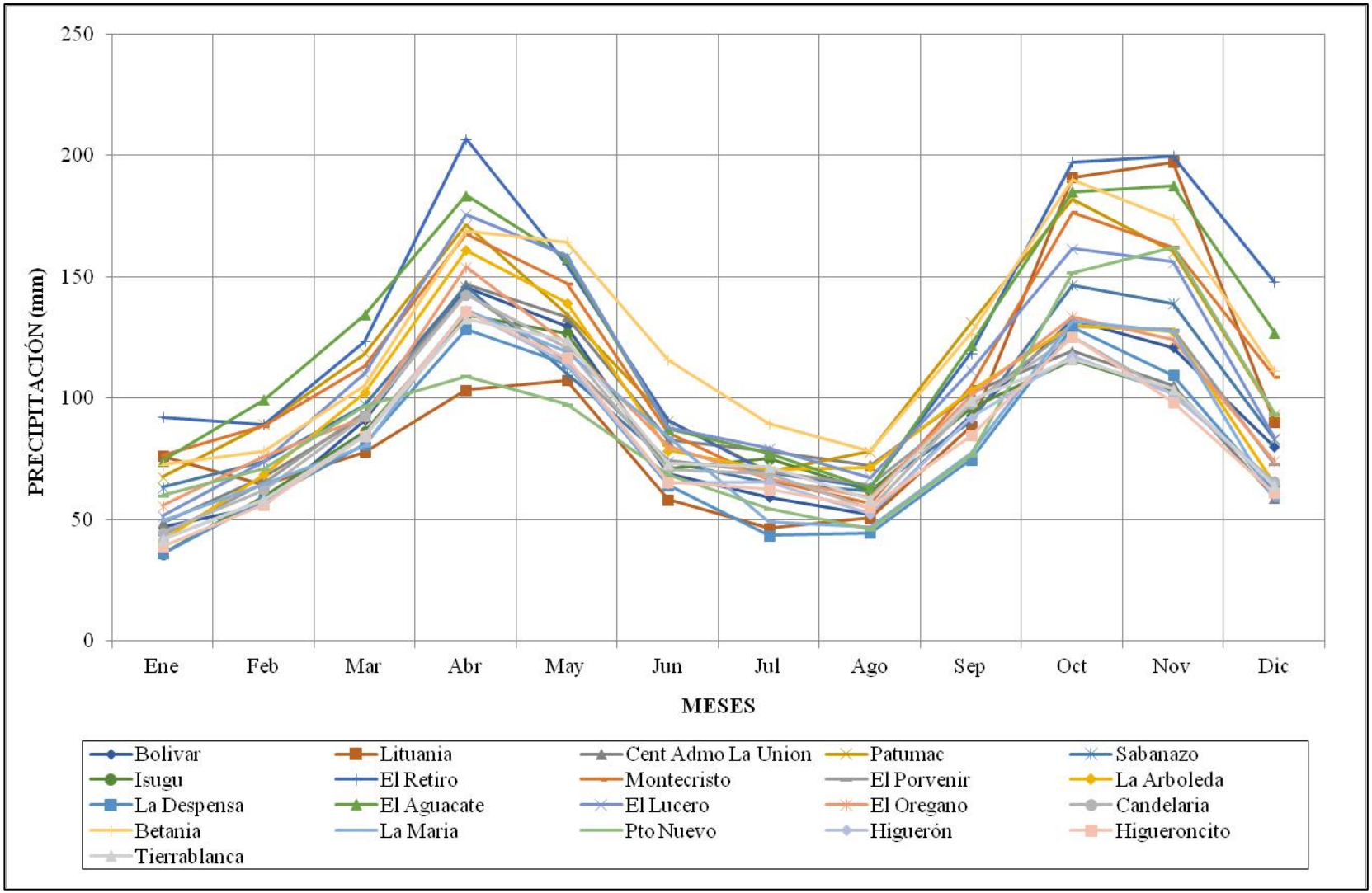


Figura 5.10. Distribución temporal de la de precipitación total mensual de las estaciones ubicadas en zonas aledañas al proyecto
Fuente: elaboración propia

A nivel general, todas las estaciones analizadas tienen comportamiento de tipo bimodal. En la estación Montecristo los mayores valores se presentan en el periodo septiembre- noviembre, siendo el mes de octubre el más lluvioso con un valor de precipitación de 177 mm; el periodo más seco se presenta entre los meses de junio y agosto, siendo el más seco el mes de agosto con una precipitación de 57 mm; la estación Montecristo presenta una precipitación media mensual multianual de 113 mm/mes.

En la estación pluviométrica La Elvira las mayores precipitaciones se presentan en el periodo marzo-mayo, siendo el mes de abril el más lluvioso con un valor de precipitación de 160 mm; el periodo más seco se presenta entre los meses de diciembre y febrero, siendo el más seco el mes de enero con una precipitación de 62 mm; la precipitación media mensual multianual en esta estación es 107 mm.
En la Tabla 5.5 se presenta la Precipitación media mensual multianual en este mismo municipio.

Tabla 5.5. Precipitación media mensual multianual en el municipio de Zarzal

ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
62	72	123	160	146	84	90	77	120	154	120	85

Fuente: elaboración propia

Se observa que el municipio de Zarzal presenta un régimen de precipitaciones de tipo bimodal, registrando las mayores precipitaciones en los periodos marzo-mayo y septiembre-octubre, siendo octubre el mes de mayor precipitación con un valor de 164 mm. Las precipitaciones más bajas se registran en el periodo junio-agosto y diciembre-febrero, siendo enero el mes de menor precipitación con un valor de 62 mm/mes. El municipio de Zarzal presenta una precipitación media mensual multianual de 104 mm y una precipitación media anual de 1272 mm.

5.3.1.7.2. Precipitaciones máximas diarias

Para la determinación de las máximas precipitaciones para 24 horas, 48 horas y 72 horas se consideró toda la serie de registros diarios de las estaciones localizadas en la zona de estudio. Como se cuenta con información diaria, la estimación de la precipitación máxima de 48 horas se asumió que corresponde al máximo valor de precipitación acumulada durante 2 días y la precipitación máxima de 72 horas corresponde al valor máximo de precipitación acumulada durante 3 días. Con base en lo anterior se obtuvieron las precipitaciones máximas que se presentan en la Tabla 5.6.

Tabla 5.6. Precipitaciones máximas para 24 horas, 48 horas y 72 horas con información de las estaciones localizadas en inmediaciones del Municipio de Zarzal.

ESTACIÓN	AÑOS DE REGISTROS	P24	P48	P72	ESTACIÓN	AÑOS DE REGISTROS	P24	P48	P72
Bolívar	56	115	117	140	El Aguacate	42	150	170	186
Lituania	51	133	179	194	El Lucero	42	102	180	195
Cent Admo La Unión	49	116	126	136	El Orégano	42	98	114	124
Patumac	48	120	136	150	Candelaria	39	110	174	212
Sabanazo	46	77	107	119	Betania	38	294	339	363
Isugu	46	107	120	143	Las Penas	35	116	131	187
El Retiro	46	131	135	164	La Quiebra	35	110	135	165
Montecristo	46	125	142	183	Patio Bonito	35	87	127	134
El Porvenir	50	165	182	184	El Oso	35	157	1188	189
La Arboleda	43	126	158	192	Tierrablanca	37	90	110	116
La Despensa	42	114	122	132					

Nota: (P24) Precipitación Máxima en 24 horas, (P48) Precipitación Máxima en 48 horas y (P72) Precipitación Máxima en 72 horas.

Fuente: elaboración propia con datos de CVC e IDEAM

5.3.1.7.3. Precipitaciones máximas asociadas a diferentes periodos de retorno

Con base en las series de precipitaciones máximas instantáneas anuales se calcularon las precipitaciones extremas en las estaciones en estudio, para períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años para cada uno de sus periodos de registros, aplicando un análisis de frecuencia utilizando como factor de frecuencia las distribuciones de Normal, Log Normal, Pearson III, Log Pearson y Gumbell.

En la Tabla 5.7 y la Figura 5.11 se presentan los resultados de la probabilidad de ocurrencia de la precipitación máxima en 24 horas (mm) registrados en la estación Isug, para los diferentes periodos de retorno. La función de probabilidad que mejor se ajusta es la Gumbell.

Tabla 5.7. Probabilidad de ocurrencia de precipitaciones máximas (mm) para diferentes periodos de retorno en la estación La Elvira

PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	NORMAL	LOG NORMAL	PEARSON III	LOG PEARSON III	GUMBELL
2	0,500	58,50	56,33	55,65	55,95	55,86
5	0,667	72,73	71,06	71,15	70,91	72,44
10	0,800	80,18	80,26	81,08	80,58	83,42
25	0,900	88,11	91,36	93,16	92,61	97,29
50	0,980	93,24	99,34	101,84	101,49	107,58
100	0,990	97,85	107,11	110,25	110,32	117,80
200	0,995	102,06	114,75	118,48	119,18	127,98
R^2		0,6026	0,6906	0,6933	0,7109	0,7159

Fuente: elaboración propia

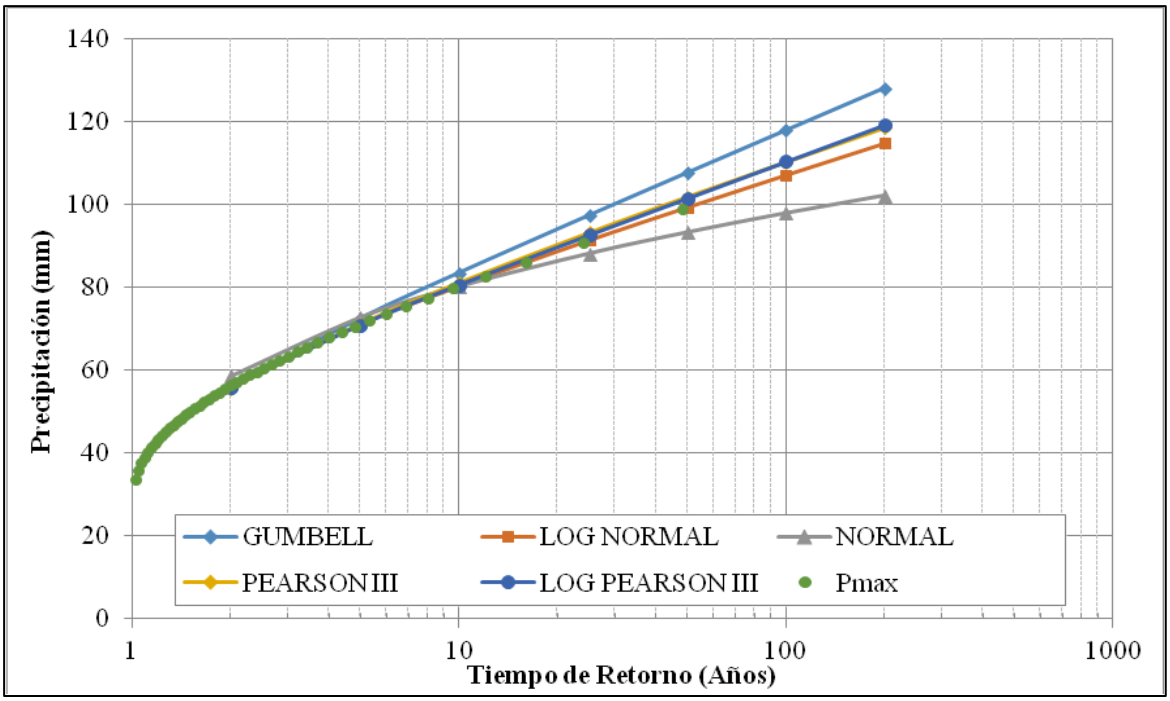


Figura 5.11. Precipitaciones máximas para los diferentes periodos de retorno considerados. Estación La Elvira
Fuente: elaboración propia

En la Tabla 5.8 y en la Figura 5.12 se presentan los resultados de la probabilidad de ocurrencia de la precipitación máxima en 24 horas (mm) registrados en la estación El Orégano para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años. La función de probabilidad que mejor se ajusta es Log Pearson III.

Tabla 5.8. Probabilidad de ocurrencia de precipitaciones máximas (mm) para diferentes periodos de retorno. Estación El Orégano

PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	NORMAL	LOG NORMAL	PEARSON III	LOG PEARSON III	GUMBELL
2	0,500	63,88	61,07	59,82	60,63	60,70
5	0,667	81,11	78,52	79,20	78,33	80,95
10	0,800	90,12	89,56	91,22	89,95	94,36
25	0,900	99,73	103,04	105,85	104,56	111,30
50	0,980	105,94	112,80	116,35	115,44	123,87
100	0,990	111,52	122,37	126,54	126,34	136,35
200	0,995	116,63	131,84	136,51	137,35	148,78
R2		0,6026	0,6975	0,6899	0,7181	0,7159

Fuente: elaboración propia

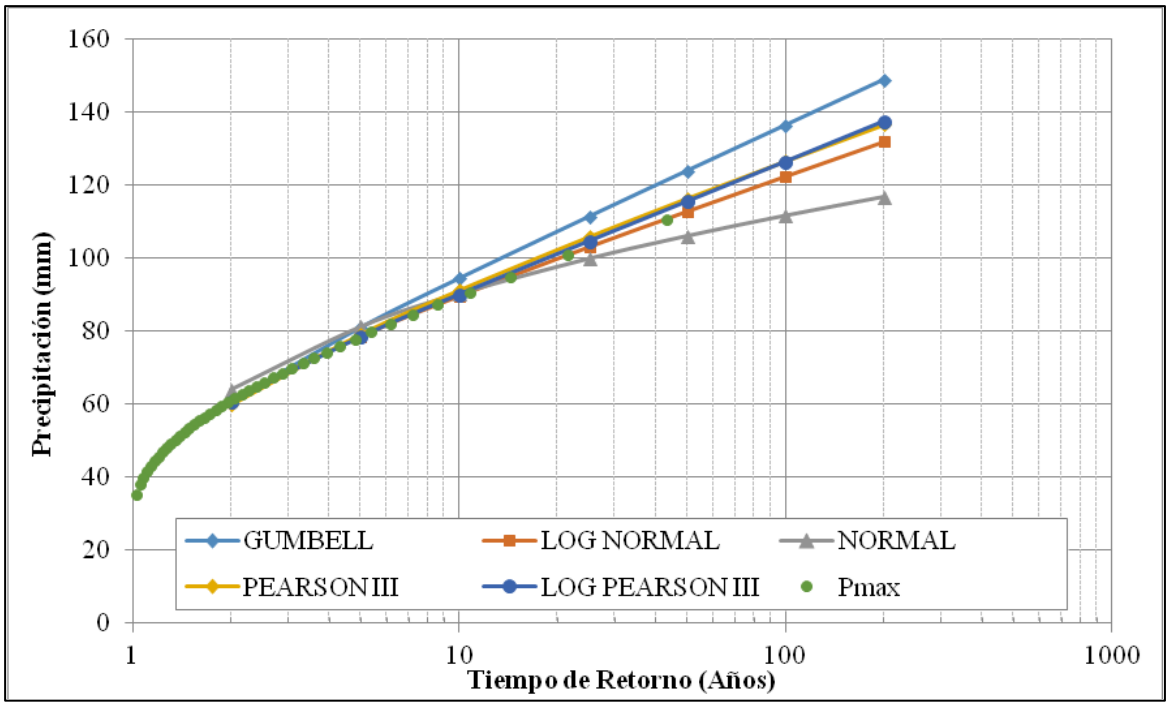


Figura 5.12. Precipitaciones máximas para los diferentes periodos de retorno considerados. Estación El Orégano
Fuente: elaboración propia

En la Tabla 5.9 y en la Figura 5.13 se presentan los resultados de la probabilidad de ocurrencia de la precipitación máxima en 24 horas (mm) registrados en la estación Montecristo, para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años. La función de probabilidad que mejor se ajusta es Gumbell.

Tabla 5.9. Probabilidad de ocurrencia de precipitaciones máximas (mm) para diferentes periodos de retorno. Estación Montecristo

PERÍODO DE RETORNO (AÑOS)	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	NORMAL	LOG NORMAL	PEARSON III	LOG PEARSON III	GUMBELL
2	0,500	64,02	61,87	60,58	61,47	61,31
5	0,667	78,60	77,20	76,98	77,04	78,33
10	0,800	86,23	86,68	87,15	87,01	89,60
25	0,900	94,36	98,07	99,53	99,35	103,84
50	0,980	99,61	106,21	108,42	108,40	114,40
100	0,990	104,33	114,11	117,04	117,36	124,89
200	0,995	108,65	121,85	125,47	126,32	135,33
R^2		0,6026	0,6866	0,6899	0,7067	0,7159

Fuente: elaboración propia

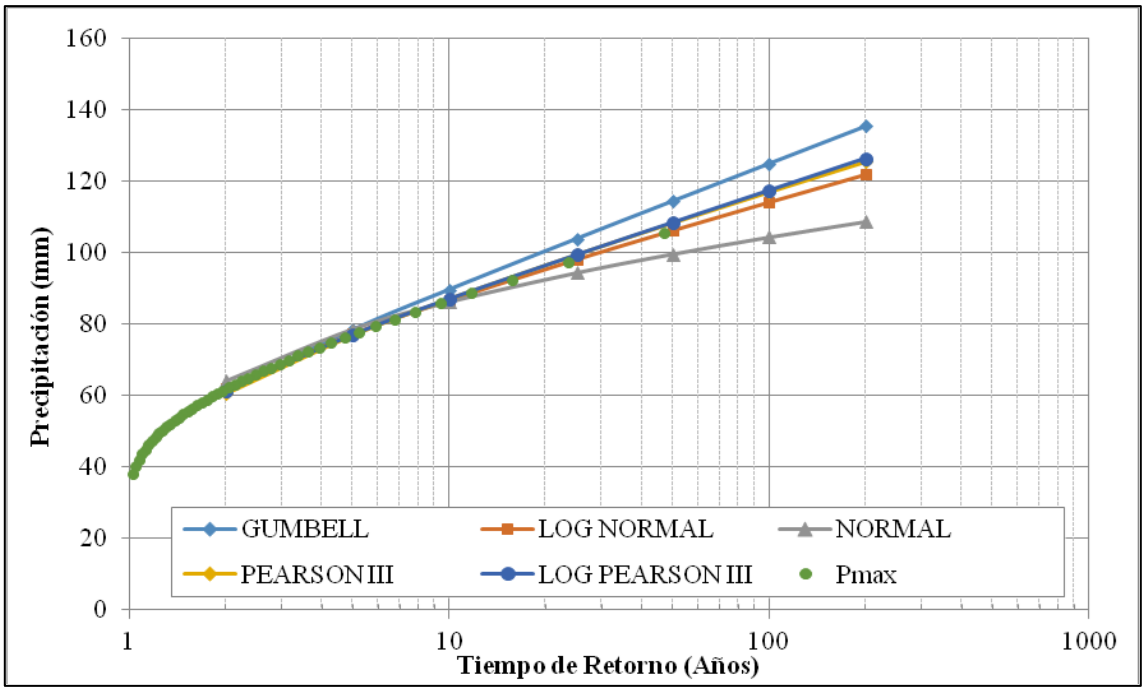
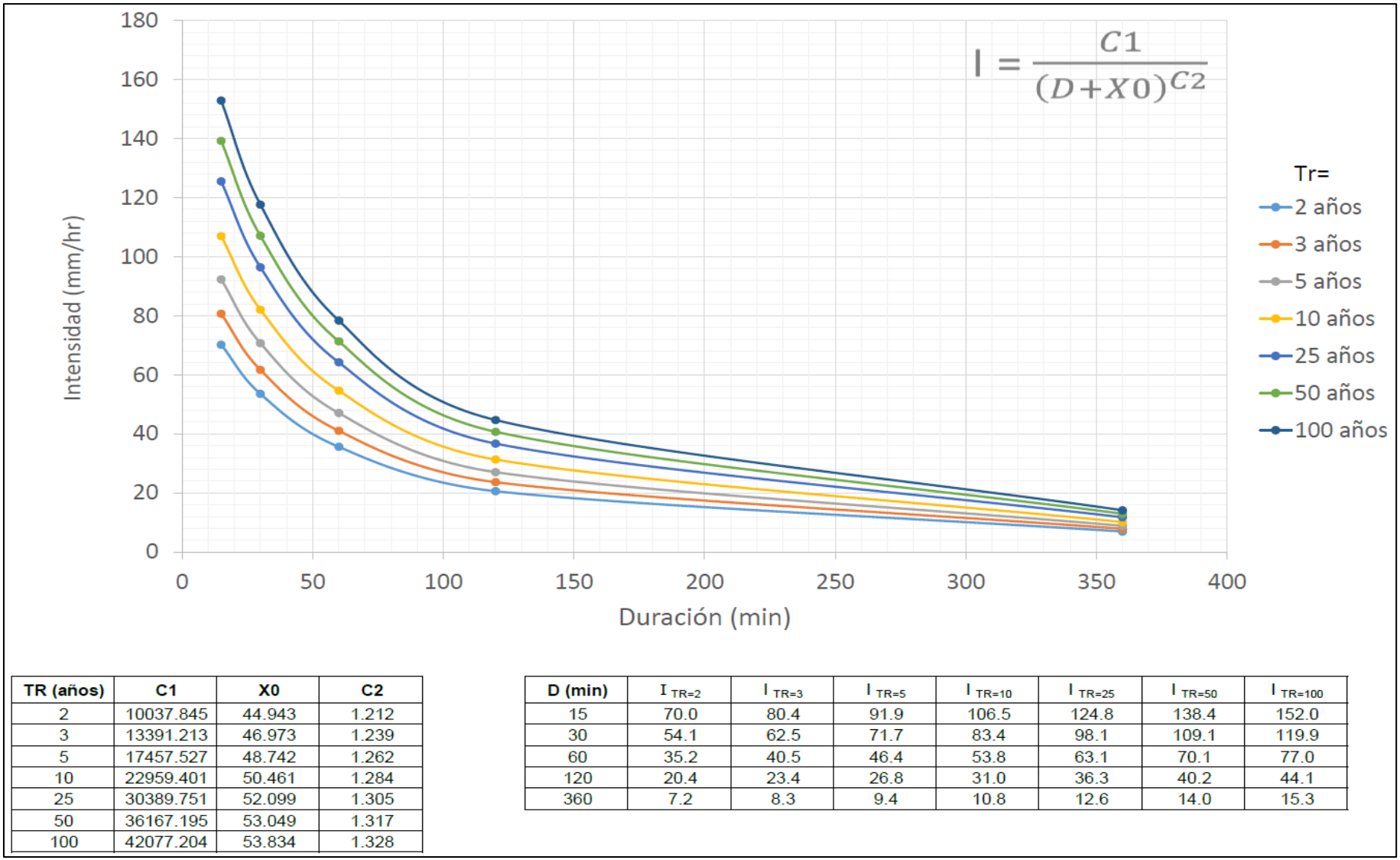


Figura 5.13. Precipitaciones máximas para los diferentes periodos de retorno considerados. Estación Montecristo
Fuente: elaboración propia

5.3.1.7.4. Curvas de Intensidad Frecuencia y Duración IFD y Tormenta de Diseño

Para definir la lluvia de diseño se recurre a las "CURVAS DE INTENSIDAD-FRECUENCIA-DURACION – IFD de la estación Centro Administrativo La Unión", esto con el objetivo de definir una curva IDF necesaria para el diseño hidrológico y generación del hietograma de diseño (Figura 5.14). Con las curvas IDF se generó los hietogramas de precipitación para diferentes periodos de retorno empleando la metodología de bloque alterno (Chow; Maidment y Mays, 1994).la cual se basa en la intensidad de la precipitación para diferentes tiempos de duración. El hietograma es la representación de la distribución temporal de la intensidad de las precipitaciones, para el caso de estudio se supone una lluvia de 200 minutos de duración, para una intensidad asociado a un TR 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años. En la Figura 5.15 se presenta el hietograma de diseño de precipitación para diferentes periodos de retorno para la estación Centro Administrativo de La Unión. En la Tabla 5.10 se presenta los valores máximos de precipitación con intervalo de tiempo de 10 minutos para diferentes periodos de retorno, construidas a partir de las Curvas IFD de la estación Centro Administrativo La Unión.



TR (años)	C1	X0	C2
2	10037.845	44.943	1.212
3	13391.213	46.973	1.239
5	17457.527	48.742	1.262
10	22959.401	50.461	1.284
25	30389.751	52.099	1.305
50	36167.195	53.049	1.317
100	42077.204	53.834	1.328

D (min)	$I_{TR=2}$	$I_{TR=3}$	$I_{TR=5}$	$I_{TR=10}$	$I_{TR=25}$	$I_{TR=50}$	$I_{TR=100}$
15	70.0	80.4	91.9	106.5	124.8	138.4	152.0
30	54.1	62.5	71.7	83.4	98.1	109.1	119.9
60	35.2	40.5	46.4	53.8	63.1	70.1	77.0
120	20.4	23.4	26.8	31.0	36.3	40.2	44.1
360	7.2	8.3	9.4	10.8	12.6	14.0	15.3

Figura 5.14. Curva de intensidad frecuencia y duración con datos de la Estación Centro Administrativo La Unión.
Fuente: IDEAM, (2016).

Tabla 5.10. Valores de precipitaciones máximas con intervalos de tiempo de 10 minutos, construidas a partir de las Curvas IFD. Estación Centro Administrativo La Unión

DURACIÓN (MIN)	TR = 2 AÑOS	TR = 3 AÑOS	TR = 5 AÑOS	TR = 10 AÑOS	TR = 25 AÑOS	TR = 50 AÑOS	TR = 100 AÑOS
10	0,057	0,031	0,004	0,030	0,038	0,018	0,006
20	0,122	0,104	0,087	0,065	0,073	0,105	0,139
30	0,217	0,213	0,210	0,209	0,206	0,205	0,197
40	0,360	0,378	0,400	0,430	0,467	0,496	0,515
50	0,585	0,638	0,701	0,782	0,884	0,961	1,026
60	0,953	1,067	1,198	1,366	1,578	1,737	1,879
70	1,598	1,819	2,071	2,393	2,800	3,105	3,382
80	2,835	3,259	3,742	4,357	5,131	5,712	6,249
90	5,550	6,404	7,370	8,596	10,141	11,298	12,378
100	13,023	14,907	17,038	19,742	23,153	25,703	28,105
110	8,245	9,494	10,906	12,697	14,955	16,643	18,227
120	3,903	4,500	5,177	6,038	7,122	7,935	8,690
130	2,109	2,414	2,762	3,206	3,766	4,186	4,571
140	1,228	1,387	1,570	1,804	2,098	2,320	2,519
150	0,745	0,824	0,917	1,035	1,185	1,298	1,396
160	0,460	0,493	0,533	0,585	0,650	0,700	0,740
170	0,281	0,287	0,295	0,307	0,322	0,334	0,338
180	0,165	0,153	0,142	0,129	0,114	0,149	0,187
190	0,087	0,064	0,041	0,065	0,113	0,101	0,084
200	0,033	0,004	0,027	0,013	0,023	0,050	0,080

Fuente: elaboración propia

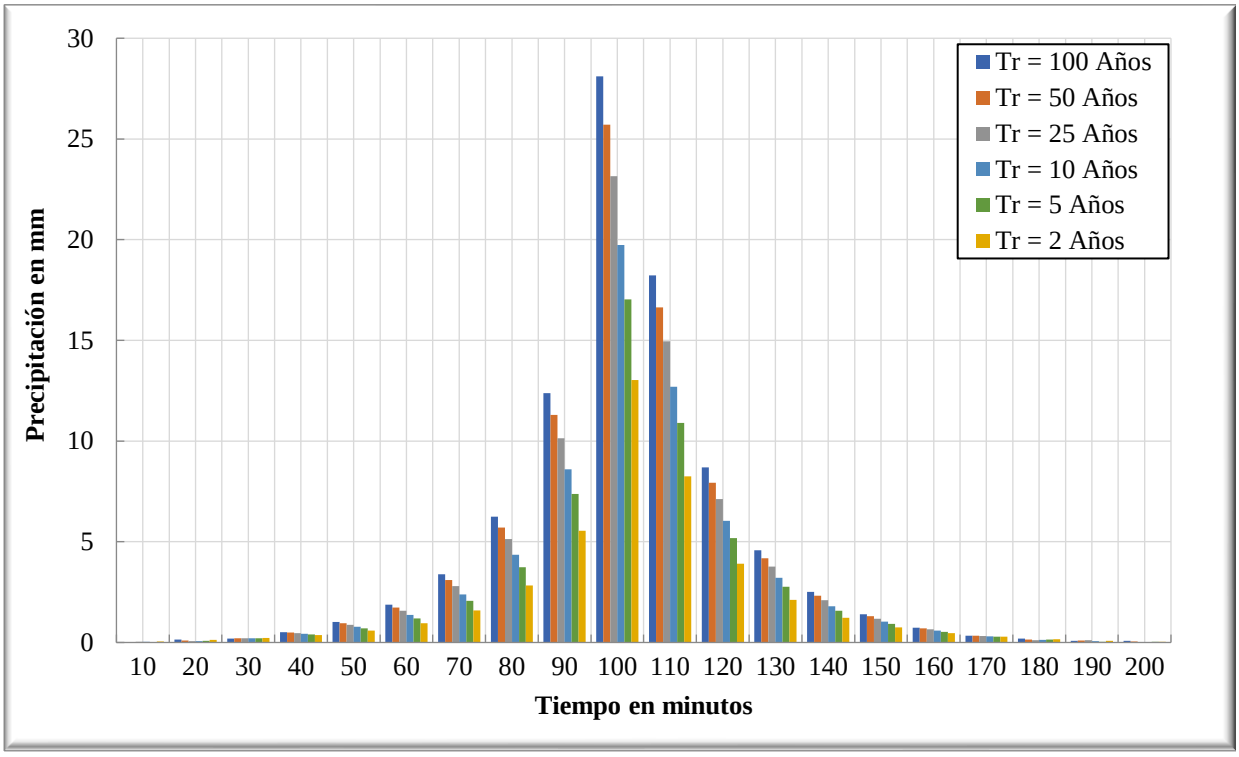


Figura 5.15. Histograma de precipitación de diseño hidrológico para una duración de 200 min. Estación Centro Administrativo La Unión
Fuente: elaboración propia

5.4. ESTUDIO HIDROLÓGICO

Los estudios hidrológicos para la determinación de caudales de aporte hacia un punto de interés se han centrado en la implementación de modelos determinísticos o estocásticos; los primeros son modelos que se emplean para la predicción de fenómenos a partir de las condiciones climatológicas en una cuenca –precipitación, causa- y la respuesta de la corriente de agua ante los fenómenos presentados –caudales, efecto-, los segundos modelos, estocásticos, son de tipo pronóstico y se basan en la información histórica recopilada en una estación hidrométrica bajo una serie de datos confiables y de larga duración. Para el caso del presente estudio hidrológico, no existe una estación hidrométrica que permita conocer directamente los caudales de aporte o al menos que permitan conocer los tipos de respuesta hidrológica de estas subzonas por lo que la hidrología se desarrolla bajo la implementación de modelos determinísticos, tipo HEC-HMS, bajo la aceptación de los resultados basados en la experiencia del ingeniero y el conocimiento local de las relaciones ambientales de estos fenómenos.

Para estimar los caudales de aporte máximos se utiliza un modelo de tipo determinístico en el punto de cierre de la subzona hidrográfica, el área de esta, se define como la zona de influencia hidrológica directa y área particular de estudio; los caudales estimados para diseño no puede ser calibrados dado que no se conocen reportes de aforos o estación hidrométrica alguna que permita conocer los rendimientos de caudal, por tal motivo los caudales modelados corresponden a una apreciación definida por diferentes parámetros sugeridos en el modelo a partir de condiciones biofísicas de la subzona como es el uso del suelo, el tipo de suelo, la morfología, el análisis de datos de precipitación, y lo más importante, el criterio del ingeniero.

5.4.1. MODELACIÓN HIDROLÓGICA

5.4.1.1. Generalidades del modelo

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.

Dentro de los modelos de simulación hidrológica usados a nivel mundial, se encuentra el HEC-HMS 4.3 desarrollado por el Hydrologic Engineering Center (HEC) del United States Corps of Engineers (2000), el cual ha diseñado los modelos hidráulicos e hidrológicos con mayor reconocimiento y aceptación internacional. El HEC-HMS 4.3. 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 (Figura 5.16), cada uno de las cuales refleja un aspecto del proceso precipitación-escorrentía a partir de parámetros físicos e hidrológicos.

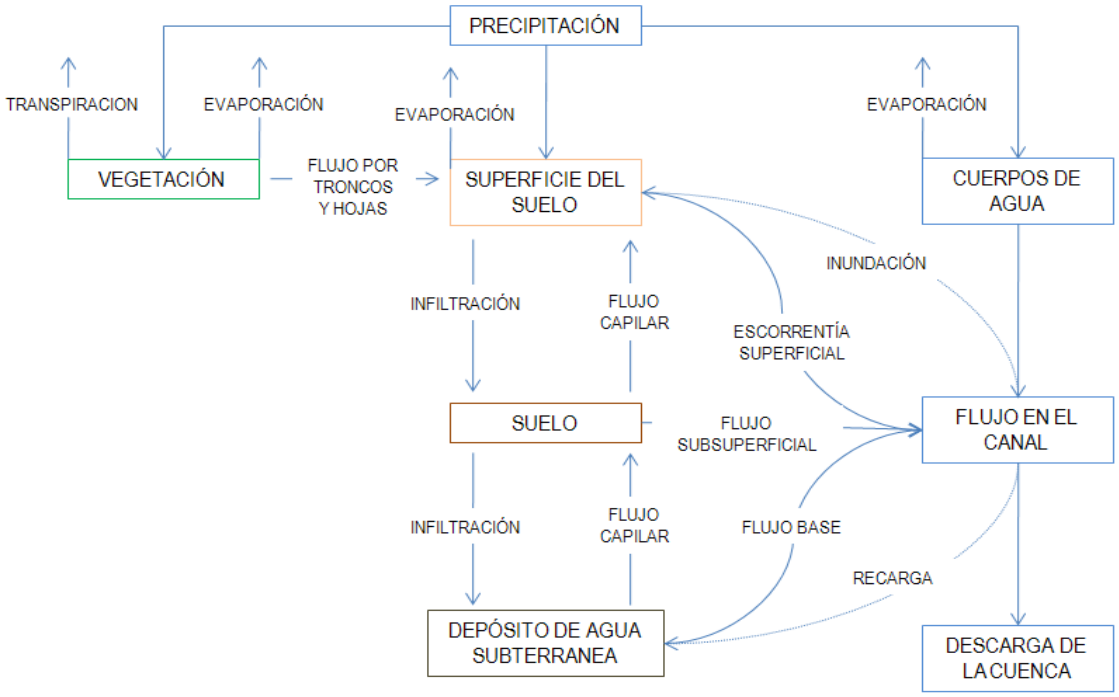


Figura 5.16. Esquema de las componentes hidrológicos e hidráulicos que utiliza el HEC-HMS 4.3 para representar una cuenca hidrográfica.
Fuente: Adaptado de HEC-HMS. U.S. Army Corps of Engineers (2000).

Esta herramienta puede clasificarse como un modelo hidrológico determinístico, de tipo evento y/o continuo, distribuido y/o agregado y de propósito general. En HEC-HMS la cuenca se describe a través de una serie de elementos interconectados (subcuencas, canales de tránsito, nodos, fuentes y sumideros). Entre los múltiples procedimientos hidrológicos disponibles en HEC-HMS para transformar la precipitación en escorrentía, en este estudio, por su buen desempeño en análisis de eventos, se han seleccionado los métodos del número de curva para la estimación de la precipitación efectiva, el hidrograma unitario del Servicio de Conservación de Suelos para la transformación de precipitación de excesos en escorrentía directa y el método de tránsito de Muskingum para el tránsito de la creciente entre tramos.

5.4.1.1.1. Clasificación de los modelos Precipitación-Escorrentía

La Figura 5.17 muestra un diagrama de flujo donde se clasifican los modelos de precipitación-escorrentía (P-E), por medio del cual se establece una clasificación para el modelo HEC-HMS. Siendo este un modelo SIMBÓLICO, MATEMÁTICO, CONCEPTUAL, NO LINEAL, NO VARIABLE EN EL TIEMPO, GLOBAL, DE EVENTOS Y DETERMINÍSTICO.

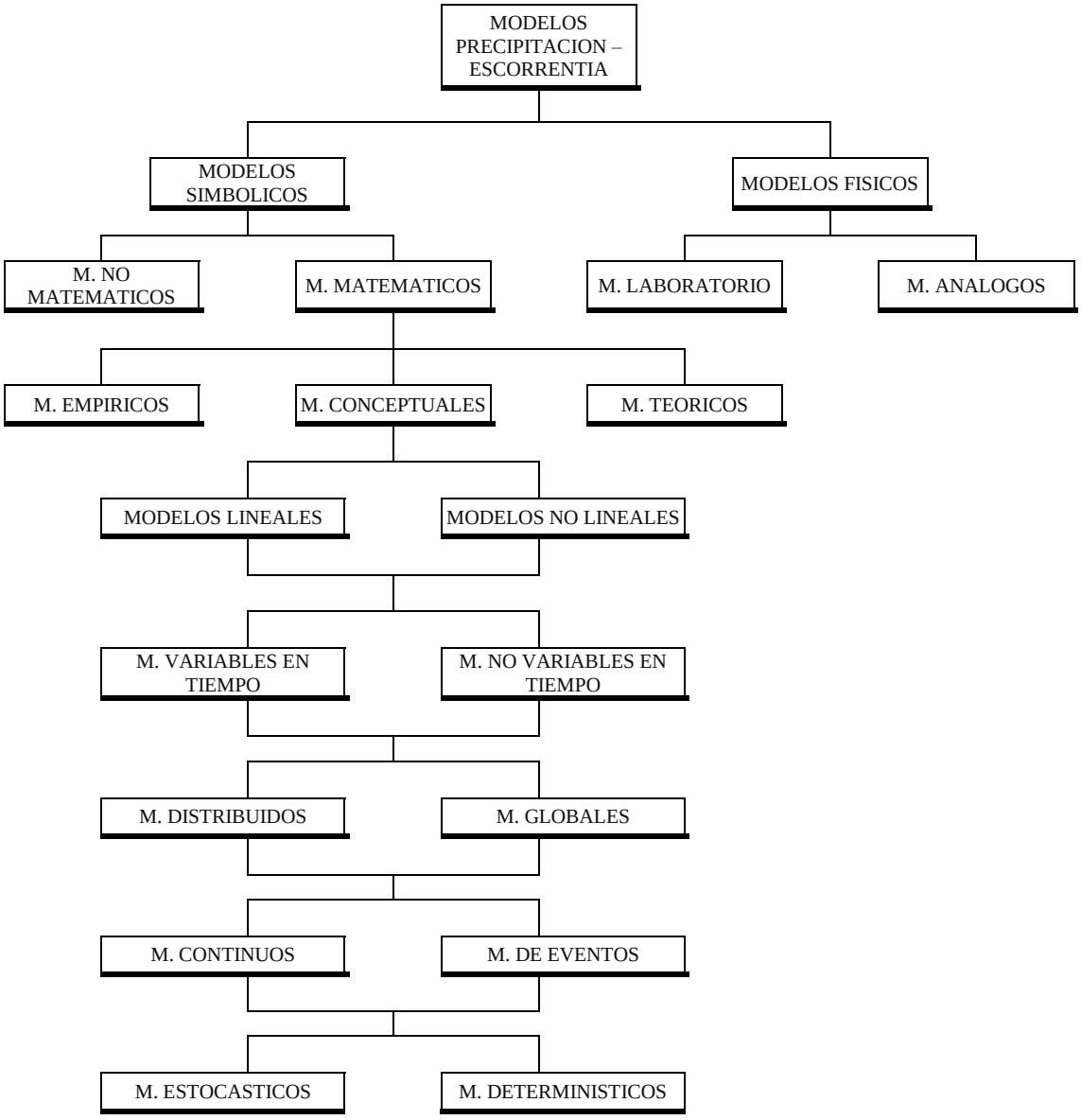


Figura 5.17. Clasificación de Modelos
Fuente: elaboración propia

5.4.1.2. Variables y parámetros de modelación

La efectividad de la simulación de un proceso de lluvia-escorrentía depende fundamentalmente de la calidad de la información de entrada, tanto de la lluvia como de las características físicas de la cuenca o área de influencia. A pesar de las dificultadas de conseguir información de calidad, la tendencia en hidrología es al uso de estos modelos, específicamente por la capacidad para simular eventos que no han sido registrados históricamente, pero que son dependientes de parámetros físicos factibles de medir con la tecnología desarrollada en los sistemas de comunicación modernos. Esto los hace más robustos que los modelos estocásticos que dependen básicamente de la historia.

Un modelo que desarrolle la metodología SCS, establece básicamente cinco componentes de interés. A partir de la precipitación, se calcula las perdidas como función de la infiltración para

obtener un hidrograma unitario, que luego mediante el rastreo hidrológico es llevado a diferentes puntos de la cuenca para hacer cómputos generales de caudales. El modelo tiene, además, un algoritmo matemático de optimización de los parámetros básicos, que permite hacer calibración del modelo sobre la cuenca.

Precipitación: La Lluvia es parte fundamental en el sistema hidrológico, y su representación adecuada en los modelos de Precipitación - Escorrentía es muy importante, pero con frecuencia difícil. La variación temporal y espacial de la lluvia afecta directamente el comportamiento de la escorrentía, pues es el resultado directo una de otra. Los eventos de lluvia son medidos en estaciones localizadas estratégicamente, para luego ser generalizados en el área de influencia mediante promedios con métodos ampliamente conocidos. La lluvia puede obtenerse con procesos sencillos como promedios de series históricas, o con medidas a tiempo real que requiere técnicas de medición más sofisticadas.

Distribución espacial de la precipitación: Lo más común en la evaluación espacial de la lluvia, es promediar las medidas de pluviómetros a lo ancho y largo de la cuenca, ya sea por falta de tecnologías especiales para la medición directa e instantánea de eventos, por falta de recursos para el desarrollo e implementación de nuevas técnicas de medición o por desconocimiento de métodos estadísticos apropiados. Tres métodos de evaluación espacial de la lluvia se han usado con frecuencia: Promedio Aritmético de magnitudes de lluvia puntuales, Polígono de Thiessen y el Método de Isoyetas. Lo más apropiado para la aplicación de estos métodos sería una alta densidad de estaciones de lluvia en el área de influencia del sector en estudio.

Distribución temporal de la precipitación: Los eventos de lluvia que van a ser simulados deben ser distribuidos tanto espacialmente como en forma temporal. La distribución temporal es expresada generalmente en forma gráfica o analítica mediante hietogramas. Para conseguir esta distribución se debe desarrollar un análisis estadístico que relacione el tiempo con los incrementos de lluvia. Se debe agrupar los eventos de acuerdo con la duración, pues las lluvias se distribuyen en forma diferente según sea su duración. Por esta razón no es lógico distribuir una lluvia de 24 horas con una distribución de duraciones pequeñas.

Precipitación Efectiva y Pérdidas de Precipitación: Se hace referencia con esto al destino del volumen de lluvia total; por un lado, las pérdidas son agrupadas en los fenómenos como la infiltración, evapotranspiración, evaporación, almacenamiento en depresiones topográficas e Intercepciones. Por otro lado, la lluvia efectiva, es aquella que se convierte en escorrentía directa.

Infiltración: Como parte componente de las pérdidas de precipitación, la infiltración es la cantidad de lluvia que llega al suelo, sobrepasa el estrato superficial, siguiendo caminos subterráneos más lentos para conformar en algún momento parte del flujo base. Este es un parámetro muy importante en la simulación de los modelos P-E, sirviendo de patrón para evaluar el resto de los parámetros que componen las pérdidas de lluvia.

El software HEC-HMS basa el cálculo de pérdidas de lluvia en la infiltración, teniendo opciones como: pérdidas iníciales uniformes, en tiempo y espacio, perdidas no uniformes y en general la metodología del SCS. El método del SCS, tiene como parámetro principal Curve Number (CN), para el cálculo de las perdidas. Este parámetro es función del Tipo de Suelo, Tipo de cobertura de

la superficie (Uso del suelo) y Antecedentes hidrológicos. La formulación de este modelo se presenta de la siguiente manera:

Number Curve: Siguiendo el proceso, necesario para la caracterización de las cuencas del sistema hidrológico en estudio, se hace un reconocimiento sobre el tipo de superficie que cubre el área de las mismas, utilizando como herramienta el plano temático de uso del suelo y el grupo hidrológico el cual se basa en el tipo de suelo, geomorfología y geología. En forma inicial, los suelos son agrupados en categorías, dependientes del potencial de escorrentía y de su capacidad de infiltración. La agrupación de los suelos se hace teniendo en cuenta la siguiente clasificación:

Grupo A Suelos con bajo potencial de escorrentía y alta infiltración, aunque esté completamente húmedo. Su profundidad es especialmente grande. Es el caso de arenas o gravas excesivamente drenadas, o suelos que tengan una razón alta de transmisión de agua (mayor a 7.62 mm/hora). Arena profunda, suelos profundos depositados por el viento, limos agregados.

Grupo B Suelos con infiltración moderada aun completamente húmedo. Son suelos que van de moderadamente profundos a profundos. Suelos bien drenados con textura moderadamente fina a moderadamente gruesa. Tiene una razón de transmisión de agua moderada (3.81 a 7.62 mm/hora). Suelos poco profundos depositados por el viento, marga arenosa.

Grupo C Suelos con baja infiltración, aunque estén completamente húmedos, y consisten en suelos que tienen una capa que impide el movimiento descendente de agua. Son suelos con textura moderadamente fina a fina. Estos suelos tienen una baja razón de transmisión de agua (1.27 a 3.81 mm/hora). Margas arcillosas, margas arenosas poco profundas, suelos con bajo contenido orgánico y suelos con altos contenidos de arcilla.

Grupo D Suelos con un alto potencial de escorrentía, ellos tienen una muy baja capacidad de infiltración, aun en condiciones de total humedad. Consisten principalmente de suelos arcillosos con un alto potencial de expansión, suelos con nivel freático permanentemente alto, suelos con una capa de arcillas en la superficie, suelos poco profundos sobre materiales impermeables cercanos. Estos suelos tienen una razón de transmisión de agua muy baja (0.0-1.27 pulgadas/hora). Suelos que se expanden significativamente cuando se mojan, arcillas altamente plásticas y ciertos suelos salinos.

De acuerdo con el método del SCS, se deben ajustar las características de la cuenca a los requerimientos, condiciones y clasificación básica del método, usando como referencia las definiciones y conceptos del documento "Computer Assisted Floodplain Hydrologic & Hydraulics" (Hoggan, 1990).

La condición hidrológica está basada en la combinación de factores que afectan la infiltración y la escorrentía, incluyendo (a) densidad de áreas vegetales, (b) cantidad de años de la cubierta, (c) cantidad de pastos, (d) cantidad de cubierta residual sobre la superficie del suelo y (e) grado de rugosidad de la superficie.

Para el cálculo de las cantidades de escorrentía directa de una lluvia, el valor de S se relaciona con el número de curva de escorrentía CN, según la siguiente expresión:

$$CN = \frac{1000}{10+S} \tag{15}$$

La condición de antecedente de humedad (AMC, por sus siglas en inglés), condición promedia o normal de potencial de escorrentía (AMC II). Para condiciones mínima o seca de potencial escorrentía (AMC I) o condición máxima o húmeda de potencial de escorrentía (AMC III). Los números de curva equivalentes pueden calcularse por:

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10-0.058CN(II)} \qquad CN(III) = \frac{23CN(II)}{10+0.13CN(II)} \tag{16}$$

En la Tabla 5.11 se muestra el rango para las condiciones antecedentes de humedad para cada clase. Los valores de CN para varios tipos de uso de la tierra, los cuales se presentan en la Tabla 5.12 y en la Tabla 5.13. Para una cuenca hecha de varios tipos de suelos y con diferentes usos de la tierra, se puede calcular un CN compuesto.

Tabla 5.11. Clasificación de clases antecedentes de humedad (AMC) para el método de abstracciones de lluvia del SCS.

GRUPO AMC	LLUVIA ANTECEDENTE TOTAL DE 5 DÍAS (PULG)	
	ESTACIÓN INACTIVA	ESTACIÓN DE CRECIMIENTO
I	Menor que 0.5	Menor que 1.4
II	0.5 a 1.1	1.4 a 2.1
III	Sobre 1.1	Sobre 2.1

Fuente: elaboración propia

Tabla 5.12. Valores de CN para varios tipos de uso del suelo

DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA		GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
		A	B	C	D
Tierra cultivada[1]: sin tratamientos de conservación		72	81	88	91
con tratamientos de conservación		62	71	78	81
Pastizales: condiciones pobres		68	79	86	89
condiciones óptimas		39	61	74	80
Vegas de ríos: condiciones óptimas		30	58	71	78
Bosques: troncos delgados, cubierta pobre, sin hierbas		45	66	77	83
cubierta buena[2]		25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, campos de golf, cementerios, etc.		39	61	74	80
óptimas condiciones: cubierta de pasto en el 75% o más		49	69	79	84
condiciones aceptables: cubierta de pasto en el 50 al 75%					
Áreas comerciales de negocios (85% impermeables)		89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)		81	88	91	93
Residencial[3]:					
Tamaño promedio del lote	Porcentaje promedio impermeble[4]				
1/8 acre o menos	65	77	85	90	92
1/4 acre	38	61	75	83	87
1/3 acre	30	57	72	81	86
1/2 acre	25	54	70	80	85

DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA	GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
	A	B	C	D
lacre 20	51	68	79	84
Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc.[5]	98	98	98	98
Calles y carreteras:				
Pavimentados con cunetas y a1cantarillados[5]	98	98	98	98
Grava	76	85	89	91
Tierra	72	82	87	89

[1]Para una descripción más detallada de tos números de curva para usos agrícolas de la tierra, remItirse a Soil Conservation Service, t 972, Cap. 9
[2] Una buena cubierta está protegida por pastizales, y los desechos del retiro de la cubierta del suelo.
[3] Los números de curva se calculan suponiendo que la escorrentía desde las casas y de los accesos se dirige hacia la calle, con un mínimo del agua del techo dirigida hacia el césped donde puede ocurrir infiltración adicional.
[4] Las áreas permeables restantes (césped) se consideran como pastizales en buena condición para estos números de curva. S En algunos países con climas más cálidos se puede utilizar 95 como número de curva.

Fuente: elaboración propia

Tabla 5.13. Valores de CN para varios tipos de uso del suelo en cuencas

USO DE LA TIERRA O	CONDICION DE LA	CN POR GRUPO HIDROLÓGICO DE SUELO			
COBERTURA	SUPERFICIE	A	B	C	D
BOSQUE (SEMBRADOS Y CULTIVOS)	ESPACIADO O DE BAJA TRANSPIRACION	45	66	77	83
	NORMAL	36	50	73	79
	DENSO O DE ALTA TRANSPIRACION	25	55	70	77
CAMINOS	DE TIERRA	72	82	87	89
	SUPERFICIE DURA	74	84	90	92
BOSQUE NATURALES	MUY ESPACIADOS O DE BAJA TRANSPIRACION	56	75	86	91
	ESPACIADOS O DE BAJA TRANSPIRACION	46	68	78	84
	NORMAL	36	60	70	76
	DENSO O DE ALTA TRANSPIRACION	26	52	62	69
	MUY DENSO O DE ALTA TRANSPIRACION	15	44	54	61
Bosque	Pobre	45	66	77	83
	Regular	36	60	73	79
	Bueno	30	55	70	77
SECANSO (SIN CULTIVO)	SURCO RECTO	77	86	91	94
CULTIVOS DE SURCO	SURCO RECTO	70	80	87	90
	SURCO EN CURVAS A NIVEL	67	77	83	87

USO DE LA TIERRA O COBERTURA	CONDICION DE LA SUPERFICIE	CN POR GRUPO HIDROLÓGICO DE SUELO A	B	C	D
	TERRAZAS	64	73	79	82
CEREALES	SURCO RECTO	64	76	84	88
	SURCO EN CURVAS A NIVEL	62	74	82	85
	TERRAZAS	60	71	79	82
LEGUMINOSAS (SEMBRADAS CON MAQUINARIA O AL VOLEO) POTRERO DE ROTACION	SURCO RECTO	62	75	83	87
	SURCO EN CURVAS A NIVEL	60	72	81	84
	TERRAZAS	57	70	78	82
PASTIZAL	POBRE	68	79	86	89
	NORMAL	49	69	79	84
	BUENO	39	61	74	80
	CURVAS A NIVEL, POBRE	47	67	81	88
	CURVAS A NIVEL, NORMAL	25	59	75	83
	CURVAS A NIVEL, BUENO	6	35	70	79
POTRERO PERMANENTE	NORMAL	30	58	71	78
SUPERFICIE IMPERMEABLE		100	100	100	100
Pastos, praderas, terrenos de híerbas--	Pobre	68	79	86	89
forraje continuo para pastar[b]	Regular	49	69	79	84
	Bueno	34	61	74	80
Pradera- hierba continua, protegida de corte y generalmente segada para forraje		30	58	71	78
Matorral--matorrales-maleza-pasto mezclados	Pobre	48	67	77	83
con matorrales como el principal elemento	Regular	35	56	70	77
	Bueno	30	48	65	73
Combinación de bosque y pastos.	Pobre	57	73	82	86
(Granja de árboles o huerto)	Regular	43	65	76	82
	Bueno	32	58	72	79
Granjas--Edificaciones, vías, caminos, y lotes alrededor		59	74	82	86

Fuente: elaboración propia

Una vez se haya establecido los valores de CN para cada tipo de suelo y tipo de cobertura, se procede a estimar la magnitud de las áreas que poseen estas características a fin de estimar el valor globalizado de este parámetro por cuenca.

Cálculo del caudal de escurrimiento: La máxima retención potencial (*S*) después de iniciada la escorrentía estad dada por:

$$S = {}^{100}/_{CN} \tag{17}$$

Las abstracciones iníciales se calculan como *Ia=0.2S*. Y por último, la escorrentía directa es calculada como una función de la lluvia (P), de *Ia* y de S:

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{P + 0.8S} \tag{18}$$

La evaluación de la infiltración se estima por el método de Holtan que se conceptualiza con base a la siguiente ecuación:

$$Fp = GI \cdot A \cdot SA^a + fc \tag{19}$$

En donde *Fp* es la capacidad de infiltración, *GI* es un índice de crecimiento de la vegetación, *SA* es el volumen potencial de almacenamiento en el estrato superficial, *fc* es la razón constante de infiltración y α es un parámetro empírico que generalmente toma el valor de 1.4.

Como última alternativa se encuentra el modelo de Green-Amp, en el cual se hace el cálculo de la infiltración acumulada usando la siguiente ecuación:

$$F(t) = \frac{PSIF \cdot DTHETA}{f(t)/XKAST - 1} \tag{20}$$

Dónde: F(t) es la infiltración acumulada, f(t) es la razón de infiltración, XKSAT es la conductividad hidráulica saturada, DTHETA es el déficit volumétrico de humedad y PSIF es la succión del frente húmedo. Las últimas tres variables son los parámetros del modelo que deben ser calibrados.

Hidrograma unitario: Para la determinación del hidrograma unitario, el que puede ser determinado mediante tres alternativas, el hidrograma de Clark, el hidrograma de Snyder y el método del SCS.

En el método de Clark se utilizan los conceptos del hidrograma instantáneo para definir un único hidrograma para la cuenca analizada. Los parámetros que se deben calibrar son el tiempo de concentración (tc), el coeficiente de almacenamiento (R) y una curva tiempo-área que es expresada como una proporción del tiempo de concentración.

El método de Snyder, es un proceso que se basa en las características de la cuenca para la determinación del hidrograma unitario. Los parámetros a calibrar son el tiempo de desfase (tp) y el coeficiente de almacenamiento (Cp).

El método del SCS, usado en HEC-HMS, se basa en el desarrollo de un hidrograma unidimensional obtenido del análisis de muchos hidrogramas unitarios para pequeñas cuencas rurales que representan diferentes zonas geográficas. El parámetro que debe ser calibrado es el tiempo de concentración (*tc*).

Tiempo de concentración - Formula de Kirpich (1940): Es el tiempo que demora una partícula de agua desde el punto más remoto de la cuenca hasta el punto de interés. Corresponde al lapso entre el final de la lluvia y el momento en que cesa el escurrimiento superficial. También se puede definir como el lapso de tiempo entre el inicio de la precipitación y el momento en que toda el área de drenaje contribuye al escurrimiento superficial.

Desarrollada a partir de información del SCS en siete cuencas rurales en Tennessee con canales bien definidos y pendientes empinadas (3 a 10%); para flujo superficial en superficies de concreto o asfalto se debe multiplicar te por 0.4; para canales de concreto se debe multiplicar por 0.2; no se debe hacer ningún ajuste para flujo superficial en suelo descubierto o para flujo en cunetas

$$t_c = 0.0078L^{0.77}\,S^{-0.385} \qquad (21)$$

L = longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida, pies
S = pendiente promedio de la cuenca, pies/pie

Rastreo de inundaciones: El modelo HEC-HMS posee una opción general para hacer rastreo de inundaciones; su único enfoque en este aspecto es el rastreo hidrológico. Dentro de esta concepción se tienen: el método Muskingum-Cunge, el método de rastreo de onda cinemática, el método Muskingum, el método “straddle / stagger" y los métodos de almacenamiento como el método modificado de "puls", el de profundidad normal, el de niveles de embalse. El modelo tiene la opción de optimizar los parámetros de los tres últimos métodos.

5.4.2. Implementación del modelo hidrológico

5.4.2.1. Datos de entrada del modelo HEC-HMS

Dentro de los requerimientos de información o datos de entrada del modelo hidrológico HEC - HMS se encuentran la siguiente información:

- ✓ Cartografía básica (red hídrica, curvas de nivel, límite de divisoria de aguas)
- ✓ Cartografía temática (uso y cobertura del suelo, tipo de suelos)
- ✓ Información precipitación total diaria de las estaciones más cercanas
- ✓ Hietogramas de precipitación.
- ✓ Información de caudales base.
- ✓

5.4.2.2. Características morfométricas de las subzonas

A partir de la cartografía disponible, se delimitaron las subzonas del cuerpo de agua en estudio, las cuales se presentan en la

Posteriormente se procedió a determinar las áreas de drenaje, así como otras características morfométricas tales como la longitud del cauce principal, el valor de las cotas aguas arriba y aguas debajo del cauce, la pendiente del cauce principal y los tiempos de concentración. información requerida por el modelo hidrológico.

5.5. ESTUDIO HIDRÁULICO

Los tramos de quebrada Limones se modelaron con el software HEC-Geo RAS, para el cual fue necesario realizar un Modelo Digital de terreno de toda la zona de estudio; se ingresaron los caudales máximos distribuidos en las longitudes de los canales conforme se encontraron en la información hidroclimatológica.

5.5.1. MODELACIÓN HIDRAULICA HEC GEO RAS

El Hydrologic Engineering Centers River Analysis System (HEC - GeoRAS) es un modelo de dominio público desarrollado por el Centro de Ingeniería Hidrológica (Hydrologic Engineering Center) del cuerpo de ingenieros de la armada de los EE.UU. El modelo numérico incluido en este programa permite realizar análisis del flujo permanente unidimensional gradualmente variado en lámina libre.

5.5.1.1. Características técnicas

La modelación hidráulica se realiza con el modelo HEC-Geo RAS desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América, a continuación, se presenta las bases conceptuales del modelo implementado.

El HEC-GeoRAS es un sistema integrado diseñado para un uso interactivo en ambientes multiusuarios. El sistema está compuesto de una interface gráfica para el usuario, análisis de componentes hidráulicos por separado, almacenamiento de datos y manejo de funciones, gráficos y facilidades en la generación de reportes.

La versión HEC-Geo RAS soporta el cómputo de perfiles de agua en flujos permanentes y no permanentes. El modelo está diseñado para desarrollar cálculos hidráulicos en una dimensión para redes naturales y artificiales. El sistema puede manejar una red completa de canales, un sistema dendrítico o un solo río. El componente de flujo permanente soporta análisis con flujos subcríticos, supercríticos, críticos y mixtos. El procedimiento básico de computación está basado en la solución unidimensional de la ecuación de energía. La pérdida de energía es evaluada por fricción (Ecuación de Manning) y coeficientes de contracción y/o expansión multiplicados por el cambio en la carga de velocidad. La ecuación de Momentum es utilizada en situaciones donde el perfil de agua es rápidamente variado; en estas situaciones se incluyen flujos mixtos, saltos hidráulicos, hidráulica de puentes y evaluación de perfiles en la confluencia de ríos.

5.5.1.2. Cálculo de perfiles de agua superficial

Ecuaciones para los cálculos básicos de los perfiles: Los perfiles de agua superficial son calculados de una sección a otra resolviendo la ecuación de energía mediante un sistema de iteraciones

"Método del paso estándar". La pérdida de energía entre dos secciones está compuesta por pérdidas de fricción y contracción.

Subdivisiones en las secciones transversales para cálculos de transporte de caudal: La determinación del transporte total y del coeficiente de velocidad para una sección transversal requiere que el flujo sea subdividido en unidades en las cuales la velocidad es uniformemente distribuida. El algoritmo utilizado por HEC-RAS subdivide el flujo en las áreas del canal principal utilizando la entrada de los valores de coeficiente de Manning (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**). El transporte del flujo es calculado con la subdivisión con la siguiente forma de la Ecuación de Manning:

$$Q = KS_f^{1/2} \quad K = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} \tag{22}$$

Donde:
K : Subdivisión para transporte
n: Coeficiente de rugosidad de Manning para la subdivisión
A: Área del flujo para la subdivisión
R: Radio hidráulico para la subdivisión

El programa suma todos los transportes para obtener el transporte adecuado en la banca derecha e izquierda. El canal principal es usualmente analizado como un elemento singular. El transporte total para la sección transversal es obtenido al sumar las tres subdivisiones de transporte (izquierdo, derecho, y canal principal).

5.5.1.3. Coeficiente de Manning para el Canal principal

El flujo en el canal no se subdivide excepto cuando el coeficiente de rugosidad es cambiado en el área del canal. El programa determina si el valor de n que corresponde a la sección transversal puede ser subdividida o si el valor de n compuesto para el canal principal puede ser utilizado basado en el siguiente criterio:

Si la pendiente lateral del canal es más pronunciada que 5H:1V y el canal principal tiene más de un valor de n, se calcula automáticamente un valor de nc compuesto. El modelo determina la rugosidad equivalente; existen muchas hipótesis para el cálculo de este parámetro Paulovskii, Muhlhofer, Banks, Lotter entre otros. Además, usa las recomendaciones de Horton y Einstein que se basa en el supuesto de considerar que cada sub-área tiene la misma velocidad e igual a la velocidad media de la sección con lo cual se obtiene lo siguiente:

$$n_c = \sum \left(Pi \cdot ni^{1.5}\right)^{2/3} \Big/ \sum Pi \tag{23}$$

Dónde:

n_c*:* Coeficiente de Rugosidad compuesta o equivalente
ni: Coeficiente de rugosidad para la subdivisión i

Pi: Perímetro mojado para la subdivisión i.

El procedimiento coincide en dividir la sección hidráulica en las partes que sean necesarias y asignarles un valor de "n" de rugosidad según corresponda a su naturaleza física de oposición al flujo. Como las secciones están geométricamente definidas, el modelo evalúa con la fórmula anterior el valor de rugosidad equivalente, ver los capítulos 2 y 3 del manual del HEC-RAS (páginas 2-6, 2-7 y 3-12 a 3-16) y el libro Hidráulica de Canales Abiertos, V.T. Chow (páginas 108 a 120 y página 135), del que se obtienen los valores de referencia que se presentan a continuación:

Finalmente, a partir del reconocimiento de los factores expuestos anteriormente, Cowan propone el siguiente procedimiento:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)\, m_5 \tag{24}$$

Donde n_0 es un valor básico de n para un canal recto, uniforme y liso en los materiales naturales involucrados, n_1 es un valor que debe agregarse para corregir el efecto de las rugosidades superficiales, n_2 considera las variaciones en forma y tamaño de la sección transversal del canal, n_3 es un valor para considerar las obstrucciones, n_4 tiene en cuenta la vegetación y las condiciones del flujo, y m_5 es un factor de corrección de los efectos por meandros en el canal.

5.5.1.4. Evaluación de la cabeza principal de energía cinética

Debido a que el programa HEC-RAS es un programa desarrollado para perfiles de agua superficial, solamente una superficie de agua y una carga de energía se computan en cada sección transversal. Para una elevación de agua superficial dada, la energía principal es obtenida al realizar el cálculo con ponderación de las n sub-secciones en la sección transversal. (Banca derecha, izquierda y canal principal).

5.5.1.5. Evaluación de Pérdidas por fricción

Las pérdidas por fricción son evaluadas por HEC-RAS como el producto de Sf y L, donde Sf es la fricción para la pendiente y L es la distancia ponderada para el tramo de análisis. El coeficiente de pendiente (pendiente de la línea de energía) para cada sección transversal es estimado con la ecuación de Manning (Tabla 5.14).

Tabla 5.14. Rugosidad Hidráulica de Manning en Cauces Según Chow (1959) y Cowan (1956)

Condiciones del Cauce			Valores de Rugosidad
Material del Lecho	Tierra	no	0.020
	Corte en roca		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava triturada		0.028
Grado de Irregularidad	Suave	n1	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la Sección Transversal	Gradual	n2	0.00
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.010-0.015

Condiciones del Cauce		Valores de Rugosidad	
Efectos Relativos de Obstrucciones	Despreciable	n3	0.000
	Menor		0.010-0.015
	Apreciable		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
Vegetación	Baja	n4	0.005-0.010
	Media		0.010-0.025
	Alta		0.025-0.050
	Muy alta		0.050-0.100
Meandros	Menor	m5	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

Fuente: Chow (1959)

5.5.1.6. Evaluación de Contracciones y Expansiones

El programa asume que una contracción está ocurriendo cuando la cabeza de velocidad aguas abajo es mayor que la cabeza de velocidad aguas arriba, de igual manera, cuando la cabeza de velocidad aguas arriba es mayor que la cabeza de velocidad aguas abajo, el programa asume que una expansión del flujo está ocurriendo.

5.5.1.7. Limitaciones del programa

Las siguientes hipótesis están implícitas en las expresiones analíticas utilizadas en la versión del programa:

- El flujo es gradualmente variado (con excepción de las estructuras hidráulicas como: puentes, tubos y vertederos). En estos casos el flujo puede ser rápidamente variado y se utiliza la ecuación de momentum u otra ecuación empírica.
- El flujo es unidimensional (los componentes de velocidad en otras direcciones que no son las del flujo no son contabilizados).
- Los canales de los ríos tienen pendientes pequeñas, es decir menor de 1:10.

5.5.1.8. Información de entrada al modelo

El HEC-GeoRAS 10.2 es una extensión de ArcGIS que provee del usuario un sistema de procedimientos, herramientas, y utilidades para la preparación de los datos de GIS para la importación de geometrías hidráulicas al HEC-RAS 5.0.3, y lectura de resultados generados. Mientras que la extensión de GeoRAS se diseña para los usuarios con experiencia geográfica limitada en los sistemas de información (GIS). Los usuarios, sin embargo, deben tener experiencia en modelar con HEC-RAS y tener con la comprensión de la hidráulica del río, una correcta interpretación de los modelos en el GIS. Se requiere ArcGIS 10.2, con las extensiones de 3DAnalyst. La información de entrada al modelo hidráulico la compone los siguientes tópicos: caudales asociados a los valores presentes en estaciones de monitoreo, Modelo Digital de Terreno (extraído del levantamiento topográfico y del diseño de la obra), establecimiento de secciones transversales y fronteras del modelo aguas abajo (condiciones desconocidas).

5.5.1.9. Caudales de Modelación

Los caudales de modelación corresponden a los valores obtenido en el estudio hidrológico para la zona de estudio y mencionado anteriormente.

5.5.1.10. Coeficiente de rugosidad

En la etapa de calibración de un modelo hidráulico una de las principales incógnitas es la definición de la rugosidad del canal, (n Manning), en este caso, con la topografía de la zona e información de suelo levantada en campo, se define un coeficiente de rugosidad para el cauce.

5.5.1.11. Secciones Transversales

Una vez elaborado el MDT se establecen las secciones transversales para la modelación hidráulica, estas se localizan priorizando sitios de interés, la morfología y obras hidráulicas a lo largo de la zona de estudio.

5.6. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA

En conclusión, los resultados del modelo HEC-RAS son en el mejor de los sentidos la aproximación más exacta que se tiene del sistema de drenaje y sus resultados son propios de una simulación de un proceso de calibración metodológico. El análisis del comportamiento hidráulico de los Cauces analizados con el Software HEC–RAS, arroja los resultados para cuyo entendimiento es necesaria la codificación con la cual aparece la información, esta codificación se muestra en la Tabla 5.15.

Tabla 5.15. Codificación de los resultados de la modelación hidráulica.

CODIFICACIÓN	SIGNIFICADO
Qtotal	Caudal (m^3/s)
Min.Ch.El	Elevación fondo (m)
Crit.W.S.	Elevación altura crítica (m)
E.G. Elev	Elevación de la línea de energía (m)
E.G.Slope	Pendiente de la línea de energía (m/m)
VelChnl	Velocidad media del canal (m/s)
FlowArea	Área mojada (m^2)
Top Width	Ancho superior del espejo de agua (m)
Froude # Chl	Número de Froude
Mann. comp.	Rugosidad “equivalente” de la sección
LengthChnl-Left-Right	Longitud del canal por el eje-banca izq.-banca der. (m)
Levee El Left	Elevación del Dique Izquierdo (m)
Levee El Right	Elevación del Dique Derecho (m)

En este informe, se presentan los resultados para caudales modelados en diferentes secciones transversales y perfiles longitudinales a lo largo de la quebrada Limones.

5.7. IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO HIDRAULICO HEC RAS

Mediante la información del modelo digital de terreno, se realizó la modelación hidráulica de los cauces en la zona de estudio. Para lo cual, lo primero es la esquematización del modelo. El proceso de la implementación del modelo HEC RAS se presenta a continuación.

5.7.1. ESQUEMATIZACIÓN

5.7.1.1. Descripción de la malla computacional

El primer paso dentro del proceso de implementación del modelo matemático HEC RAS consiste en la construcción del modelo digital de elevaciones del terreno (DEM, por sus siglas en inglés). El DEM del municipio de Zarzal fue generado por el grupo de cartografía y SIG, incluyendo curvas de nivel menores a un metro. El siguiente paso consiste en delimitar de la manera más precisa posible el área a modelar. El área del modelo debe ser lo suficientemente grande de tal manera que el fenómeno de inundación en la zona urbana pueda ser representado y simulado correctamente, pero al mismo tiempo debe ser la menor posible con el fin de optimizar el tiempo computacional. El área a modelar debe incluir el área de principal interés del estudio como son la zona urbana y de expansión urbana del municipio de Zarzal y los cauces y corrientes que se desbordan durante las crecientes y ocasionan daños en estas zonas.

También es importante ubicar de manera apropiada las fronteras abiertas del modelo, es decir, los sitios o secciones a través de los cuales ingresan y salen las corrientes de agua y flujos de lodos del área modelada. Se recomienda localizar las fronteras abiertas en aquellos sectores donde se cuente con la mayor cantidad de información posible (batimétrica, hidrológica, sedimentológica), como son las estaciones hidrométricas en los cauces. En la quebrada Limones la frontera superior se localizó en el inicio del límite de la cabecera municipal al Sur -Occidente de Zarzal. Frecuentemente durante la etapa de aplicación del modelo matemático (simulación de escenarios) se requiere plantear y evaluar la implementación de diferentes estructuras (tales como diques de protección, espolones, vertederos, puentes, bocatomas, etc.); estas estructuras generan variaciones las condiciones hidrodinámicas en el sector intervenido, pudiendo propagarse hasta alcanzar el sector de las fronteras abiertas del modelo; si esto llegase a presentarse se generaría un conflicto con las condiciones hidrodinámicas de frontera preestablecidas por el modelador. Para evitar este conflicto, debe procurarse que las fronteras abiertas del modelo se encuentren suficientemente distanciadas de los sitios de mayor interés en el estudio.

Un aspecto importante dentro del proceso de construcción de la malla computacional consiste en la selección del tamaño más apropiado de las celdas de la malla. La dimensión de las celdas depende de varios factores como son, la extensión del área de estudio (es decir, del área a modelar), el grado de detalle requerido o aceptable para describir el flujo, el tiempo computacional, la estabilidad numérica del modelo y las limitaciones del modelo matemático en cuanto al número máximo de celdas. Se realizaron numerosas simulaciones empleando las distintas mallas construidas como parte del proceso de análisis de sensibilidad del modelo.

Posteriormente se realizó la interpolación de los niveles topográficos disponibles en la planicie de inundación para asignar los niveles o elevaciones a cada una de las celdas de la malla

computacional. Para ello el programa dispone de distintas opciones de interpolación en las que el usuario elige el número mínimo de puntos de elevación a considerar en la vecindad de cada celda y el radio de interpolación, entre otros parámetros de acuerdo con la densidad de la información topográfica. En este proyecto se utilizó el promedio de la cantidad de puntos de elevación por celda y el método de la desviación estándar. De esta forma es asignado un único valor de elevación -que puede ser modificado manualmente- a cada celda de la malla computacional.

5.7.1.2. Rugosidad de las llanuras

En la planicie del municipio de Zarzal existen cultivos, pastos naturales, árboles, guadua, rastrojo y zona urbana (superficies en concreto). En el Tabla 5.16 se presentan los valores del coeficiente de rugosidad de Manning estimados para las diferentes coberturas vegetales existentes en la zona de estudio del municipio de Zarzal.

Tabla 5.16. Valores estimados del coeficiente de rugosidad de Manning en la planicie aluvial de la zona de estudio del municipio de Zarzal

TIPO DE COBERTURA VEGETAL	COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING n ($s/m^{1/3}$)
Cañaduzales	0.259
Rastrojo	0.100
Pasto natural	0.035
Zona urbana	0.025
Guaduales	0.313
Árboles	0.025
Bosques	0.060

Fuente: elaboración propia

5.7.1.3. Esquematización de los ríos y canales

Posteriormente se realiza, dentro de la malla computacional, el trazado de los ríos y los canales siguiendo su alineamiento de acuerdo con los planos topográficos; este trazado de ríos y canales se efectúa siguiendo la margen izquierda de cada uno de ellos (mas no el eje de los ríos y canales); el modelo calcula o determina la margen derecha de acuerdo con el ancho de cada sección. En el modelo del municipio de Zarzal se incluyeron todos los cauces y canales existentes y que pueden originar problemas de inundación en el casco urbano por la quebrada Limones.

Inicialmente se ingresan las secciones transversales solamente del cauce principal de cada uno de los ríos y canales, es decir, sólo se introduce la sección del cauce comprendida entre las bancas derecha e izquierda, obviando la información topográfica de las llanuras puesto que ésta se encuentra incluida en el modelo digital de elevaciones del terreno DEM. Este trazado de la quebrada se realiza procurando que el alineamiento de cada canal esquematizado en el modelo se asemeje a cada cauce, sin cambios bruscos en el trazado.

Es necesario señalar que el modelo HEC RAS calcula las profundidades de flujo promedio y, por consiguiente, es más significativo para la exactitud final de los resultados representar correctamente las características batimétricas promedio en un sector que representar de manera exacta la batimetría de todos los puntos de la malla.

Como se mencionó anteriormente, cada elemento de canal debe tener una sección transversal. Debido a que los levantamientos batimétricos se realizaron con un determinado espaciamiento entre secciones transversales del cauce, de acuerdo con la irregularidad de su geometría, fue necesario interpolar entre las secciones transversales levantadas en campo.

Se realizan aproximadamente cada 20 m, es necesario interpolar las secciones transversales originales para lograr que en cada celda del canal haya una sección transversal. Los valores del coeficiente de rugosidad de Manning para el municipio de Zarzal estimados e ingresados al modelo inicialmente se muestran en la Tabla 5.16 de acuerdo con el tipo de cobertura.

- ***Puentes***

En la zona de estudio y sobre la quebrada Limones existen una serie de puentes y estructuras en el tramo de estudio, el cuales fueron implementados en el modelo. Fue necesario incluirlos en el modelo ya que éstos generan un efecto de remanso, originando mayores niveles de inundación hacia aguas arriba de ellos.

5.7.1.4. Condiciones de frontera

Las condiciones hidrodinámicas a definir en las fronteras abiertas del modelo se denominan Condiciones de Frontera y revisten especial importancia durante el proceso de implementación de un modelo matemático. En el primer elemento o sección de cada canal (es decir, en la frontera superior) se deben ingresar las hidrógrafas para los diferentes periodos de retorno que se requiere simular; la frontera inferior, es decir, en el último elemento o sección de cada canal (si éste no deriva sus aguas directamente a otro cauce) el modelo HEC RAS ofrece varias opciones de salida de flujo, entre las que se encuentran: los niveles de agua (si se dispone de ellos), la curva de calibración Nivel - Caudal (cuando se tiene) o el vertimiento libre del flujo. Aunque lo ideal sería disponer de alguna de las dos primeras opciones para propósitos de calibración, en muchos casos en la práctica no se cuenta con suficiente información medida en campo. Tal es el caso en el municipio de Zarzal, por lo cual en los cauces modelados se introdujo en las fronteras inferiores de los cauces, la opción de “Salida libre del flujo”. Además de asignar los elementos de salida de los cauces y canales se deben definir los elementos de salida del flujo de la planicie de la zona de estudio, pues, de lo contrario, se crearía un efecto de remanso que no representa la realidad. Para ello se definen la frontera aguas abajo que se encuentran ubicados en los bordes del dominio computacional, donde las elevaciones presentan los niveles más bajos. Se pueden definir cuantos nodos de salida se requieran; sin embargo, hay algunas especificaciones que deben ser tenidas en cuenta para su ubicación (deben estar alejados de las zonas de interés y no deben contener ningún otro elemento como calles u obstrucciones).

5.7.1.5. Condiciones iniciales

Las condiciones iniciales en el modelo hidrodinámico se refieren a las características hidrodinámicas (niveles de agua y caudales) que se presentan en el instante inicial (t = 0) del periodo a simular en toda el área de estudio. Estas características hidrodinámicas deben corresponder a las condiciones reales en la naturaleza o prototipo y, por lo tanto, deben ser medidas en campo simultáneamente en toda la zona de estudio. Sin embargo, frecuentemente no es posible disponer de esta información debido a las dificultades económicas para llevarlas a cabo. El modelo

matemático, teniendo en cuenta lo anterior, tiene la opción de no exigir al modelador el ingreso de estas condiciones iniciales. Considerando que en la zona de estudio del municipio de Zarzal no se dispone de esta información se optó por esta facilidad del modelo HEC RAS. En este caso el modelo genera las condiciones iniciales a partir de los caudales correspondientes al instante inicial de las hidrógrafas de caudales definidas en las fronteras del modelo.

5.7.1.6. Simulación

Una vez introducida la información esquematizada o discretizada de toda el área a analizar en el modelo matemático HEC RAS se debe dar inicio al proceso de calibración y verificación del modelo con base en la información disponible de caudales, niveles, áreas inundables y registros históricos. Igualmente, se realiza el análisis de sensibilidad con el fin de investigar la influencia de los principales parámetros numéricos y físicos en el comportamiento hidrodinámico de los cauces y canales de la zona de estudio del municipio de Zarzal

5.7.1.7. Calibración

La calibración de un modelo consiste en el proceso de ajuste de los elementos geométricos simplificados (batimetría, contornos de estructuras, etc.) y de los valores de los coeficientes empíricos (hidráulicos, de transporte, de sedimentos, etc.) que aparecen en las diferentes ecuaciones (hidrodinámicas, de los sedimentos, etc.), de tal manera que los eventos simulados en el modelo reproduzcan de la mejor manera posible los eventos de la naturaleza.

Generalmente los resultados del modelo al inicio del proceso de calibración difieren en mayor o menor grado de los valores medidos en la naturaleza. El objetivo fundamental de la calibración es, por lo tanto, afinar el modelo de tal manera que las diferencias entre los valores calculados en la simulación y los valores medidos en la naturaleza sea mínima o despreciable. Este ajuste debe realizarse siempre teniendo en cuenta las características físicas de los diferentes parámetros y variables involucradas en los procesos hidrodinámicos y sedimentológicos en los cauces, de tal manera que los mismos (parámetros y variables) deben encontrarse dentro de rangos característicos de los cauces como de la zona de estudio (rangos físicamente válidos).

El potencial de un modelo para reproducir y predecir los eventos reales (flujos, sedimentación, erosión, etc.) y la calidad potencial de su calibración dependerá de la calidad y cantidad de los datos topográficos, topológicos, hidráulicos y sedimentológicos disponibles para el sistema en estudio (Cunge, et al, 1980).

- ***Parámetros susceptibles de ajuste en el modelo matemático***

El proceso de ajuste se debe iniciar por los parámetros que más afectan los resultados del modelo. Para identificar estos parámetros, el análisis de sensibilidad puede ser de gran ayuda.

Los siguientes son los parámetros usualmente susceptibles de ajuste en el modelo matemático:

- Batimetría (área de flujo de las secciones transversales)
- Topografía de la planicie
- Rugosidad del lecho y de la planicie

- Factor de variación en la vertical de la rugosidad del lecho y la planicie
- Limitación del número de Froude
- Intervalo de tiempo, Δt
- Tamaño de celda, Δx

Es importante mencionar que la información con la cual se cuenta para realizar la calibración es muy limitada; únicamente se tienen, con base en los registros de eventos históricos de inundaciones, la delimitación aproximada de las zonas del casco urbano y de expansión urbana del municipio de Zarzal en donde se han presentado estos eventos. Por lo tanto, la calibración del modelo se debe realizar con base en el área inundada, asumiendo que dicha área fue afectada por inundaciones correspondientes al periodo de retorno de 100 años.

5.7.1.8. Verificación del modelo

La verificación del modelo consiste en efectuar una o más simulaciones hidrodinámicas para otras condiciones de niveles y caudales diferentes a las empleadas durante el proceso de calibración. Para ello se deberá disponer de la información de campo suficiente (para el modelo hidrodinámico son los niveles de agua, las velocidades de la corriente y los caudales) en las secciones de control preestablecidas. Los resultados del modelo para estas nuevas condiciones se compararían con los datos de campo disponibles en las secciones o estaciones de control. Si se obtiene un buen ajuste, se considera que el modelo ha sido verificado. En caso contrario, se deberá revisar el proceso de calibración y realizar los ajustes correspondientes al modelo (p.e. revisar los factores de rugosidad, niveles batimétricos, condiciones de frontera, etc.).

En el caso particular del modelo matemático de la zona de estudio del municipio de Zarzal no se dispone de información de campo suficiente para poder realizar una verificación adecuada del modelo. Únicamente se cuenta con las hidrógrafas de caudales en los cauces modelados, correspondientes a los periodos de retorno.

Debido a esta limitación el modelo debe ajustarse lo mejor posible una vez terminada la calibración, de acuerdo con los mapas de registros de eventos históricos de inundaciones existentes en la zona de estudio.

5.7.1.9. Análisis de sensibilidad

Un análisis de sensibilidad permite evaluar la influencia de un determinado parámetro físico o numérico en los resultados de la simulación de un proceso en un sistema; es decir, permite investigar la respuesta del sistema cuando un parámetro dado es modificado. De esta manera es posible establecer los parámetros más sensibles o influyentes en el proceso de simulación, por cuanto pequeñas variaciones en ellos originan grandes cambios en la hidrodinámica del sistema, en algún sector o en toda el área de estudio. Este proceso puede realizarse manualmente o usando programas elaborados con este propósito.

El análisis de sensibilidad suministra información valiosa para diferentes fines:

- Precisión requerida para los datos de entrada del modelo, las condiciones iniciales y otros parámetros como la rugosidad

- Establecer los parámetros que ejercen mayor influencia sobre las respuestas del modelo
- Calibración del modelo
- Diseño y ejecución de nuevos programas de campo, haciendo énfasis en las variables que mayor influencia ejercen en los procesos hidrodinámicos y sedimentológicos

- ***Análisis de sensibilidad del modelo de la zona de estudio del municipio de Zarzal***

El análisis de sensibilidad del modelo matemático de la zona de estudio del municipio de Zarzal se realizó variando de forma individual un número de factores asumidos independientemente para el fenómeno de inundaciones. Se evaluó la influencia de cada uno de los parámetros en la hidrodinámica del río, esto es, en la variación de las profundidades, los caudales y las velocidades de flujo. Esto se realizó con el fin de estimar las posibles variaciones que se generan en los resultados del modelo al modificar cada parámetro. Finalmente, y como parte del proceso de calibración del modelo, se escogieron los valores de los parámetros que al ser implementados en el modelo matemático de la zona de estudio arrojan los resultados de las áreas inundadas que se asemejan más a las áreas inundadas registradas en el mapa de eventos históricos para el fenómeno de inundaciones.

Con base en los valores finalmente adoptados de los diferentes parámetros numéricos y físicos para simular el fenómeno de inundaciones se procedió a analizar el fenómeno de inundaciones, en donde se realizó también la variación de algunos parámetros como se indica más adelante; para este fenómeno se efectuó el mismo proceso de comparación de resultados en los mismos sitios de interés, hasta encontrar los valores definitivos para realizar la simulación de dicho fenómeno, es decir, la combinación de parámetros que permiten reproducir con mayor aproximación la extensión de las áreas afectadas por las inundaciones.

Para el análisis de la influencia en la hidrodinámica de la quebrada Limones de cada uno de los parámetros físicos y numéricos se realizaron diferentes simulaciones numéricas, variando en cada una de ellas solamente el valor del parámetro en consideración dentro de un rango relativamente amplio, así:

- Rugosidad del lecho: los valores de rugosidad de Manning se variaron desde 0.03 hasta 0.07 $s/m^{1/3}$. Finalmente, el valor adoptado de la rugosidad para la quebrada Limones de 0.047 $s/m^{1/3}$

- Intervalo de tiempo, Δt: este parámetro se redujo gradualmente hasta encontrar que las diferencias en las profundidades, los caudales y las velocidades del flujo calculadas para dos simulaciones consecutivas fueran despreciables. El intervalo de tiempo, Δt, fue variado desde 0.1 horas hasta 0.0005 horas. De acuerdo con los resultados obtenidos, se seleccionó un intervalo de tiempo de 0.016 horas, es decir, 1 minuto, el cual permite reproducir de manera bastante aproximada las áreas inundadas históricamente. Cuando se utilizan intervalos de tiempo menores a 1 minuto no se mejora la precisión de los resultados, pero sí se incrementa de manera apreciable el tiempo computacional.

- Tamaño de celda, Δx: como se indicó previamente, se construyeron e implementaron cuatro mallas con celdas de distintos tamaños y se compararon los resultados. Finalmente, se adoptó un tamaño de celda de 5 m de lado, por cuanto el modelo arroja una mayor precisión

y el tiempo computacional es todavía razonable pues, como se indicó previamente, la malla con celdas de 1 m de lado dio como resultado un número excesivo de celdas y, por consiguiente, un tiempo computacional muy alto.

6. AMENAZA POR INUNDACIÓN POR DESBORDAMIENTO

Las inundaciones son fenómenos hidrológicos recurrentes potencialmente destructivos, que hacen parte de la dinámica de evolución de una corriente. Se producen por lluvias persistentes y generalizadas que generan un aumento progresivo del nivel de las aguas contenidas dentro de un cauce superando la altura de las orillas naturales o artificiales, ocasionando un desbordamiento y dispersión de las aguas sobre las llanuras de inundación y zonas aledañas a los cursos de agua normalmente no sumergidas (IDEAM, 2013).

En la clasificación más sencilla se pueden identificar dos tipos: Inundaciones lentas, que son las que ocurren en las zonas planas de los ríos y con valles aluviales extensos, los incrementos de nivel diario son de apenas del orden de centímetros, reporta afectaciones de grandes extensiones, pero usualmente pocas pérdidas de vidas humanas, el tiempo de afectación puede fácilmente llegar a ser del orden de meses. El otro tipo de inundación son las llamadas crecientes súbitas, que aunque las áreas de afectación son menores, el poder destructivo es potencialmente mayor y cobra el mayor número de vidas cuando se presentan, responden rápidamente a la ocurrencia de fuertes precipitaciones en las partes altas de las cuencas, los incrementos de nivel son del orden de metros en pocas horas, y el tiempo de permanencia de estas inundaciones en las zonas afectadas son igualmente de horas o pocos días, estas se presentan en todas las cuencas de alta pendiente de la región Andina principalmente.

En Colombia, las inundaciones originadas por los desbordamientos de los ríos son altamente frecuentes a lo largo y ancho del territorio nacional. Casi todas las regiones del país son vulnerables a las inundaciones, que pueden presentarse en los ríos principales, y también a veces la población resulta afectada por el desborde de quebradas y ríos pequeños.

Las comunidades asentadas en zonas aledañas a los cauces pueden estar en riesgo a causa de las inundaciones, pues éstas son muchas veces responsables de pérdidas de vidas y daños a la infraestructura. Las inundaciones representan una amenaza para asentamientos humanos, zonas agrícolas, zonas ganaderas y vías, entre otros tipos de infraestructura localizados sobre el abanico aluvial, es decir, en la parte plana donde se deposita y almacena el flujo de agua.

Por ello es importante que las áreas amenazadas por este fenómeno sean identificadas con el fin de estimar la vulnerabilidad de los elementos expuestos y determinar los escenarios de riesgo. Éstos permitirán plantear y analizar diferentes alternativas con el propósito de prevenir, mitigar o controlar la amenaza por este tipo de fenómenos y definir posteriormente el uso adecuado de dichas áreas. En muchos casos, esto puede verse reflejado tanto en proyectos de reubicación como modificaciones de los planes de ordenamiento territorial en cuanto a las futuras áreas de expansión de los municipios. Para cumplir con esta tarea se debe desarrollar una metodología para delimitar las zonas vulnerables a este tipo de amenazas.

6.1. CONCEPTUALIZACIÓN

La zonificación de amenaza de inundación por desbordamiento asociada a los cauces de la quebrada Limones, que discurren por el área urbana del municipio de Zarzal, parte de los resultados de los estudios hidrológicos e hidráulicos (velocidades y profundidades) presentados en el capítulo anterior.

6.1.1. Amenaza

La ley 1523 del 2012 define la amenaza como "el peligro latente de que un evento natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdidas de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de servicios y los recursos ambientales".

6.1.2. Zonificación

La zonificación, es 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 dada en función de la escala de trabajo. "Para la zonificación de la amenaza, ésta se categorizará en alta, media y baja, que se establece según el método empleado. En todo caso las áreas inundables (Decreto 1077 de 2015).

6.2. METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE NIVELES DE AMENAZA POR INUNDACIONES

Se presenta inicialmente una breve descripción de algunas de las metodologías más empleadas para la determinación de los mapas de amenaza por inundaciones. Finalmente, se presentan las metodologías establecidas para el desarrollo del presente estudio, teniendo en cuenta para ello las características principales de los fenómenos o eventos que suelen presentarse en los cauces de la zona de estudio.

6.2.1. Estado del Arte

A partir de los criterios para la clasificación de las amenazas por inundaciones se han desarrollado en diferentes regiones alrededor del mundo numerosas metodologías para la elaboración de los mapas de amenaza. Estas metodologías generalmente se basan en la determinación de valores límites para la profundidad del agua, la velocidad del flujo o una combinación de estos dos parámetros, así como en la frecuencia de los eventos en términos de los periodos de retorno. Las metodologías existentes difieren entre sí en los requerimientos de información y los criterios establecidos para la zonificación de la amenaza (incluyendo los valores límites adoptados). Algunas de las metodologías desarrolladas y que se describen a continuación son las siguientes:

1). Metodología de la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil

Esta metodología fue establecida por la Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones en España del Ministerio para la Transición Ecológica Secretaria de Estado de Interior de España (1995). Para la determinación de los riesgos por inundaciones se

considera la población potencialmente afectada y los elementos (edificios, instalaciones, infraestructuras y elementos naturales o medioambientales) situados en zonas de peligro que debido a la inundación puedan producir víctimas, interrumpir un servicio imprescindible para la comunidad o impedir la atención de la emergencia generada.

La vulnerabilidad de estos elementos se estima considerando sus características, su ubicación y las características hidráulicas de la creciente que genera el desbordamiento (profundidad del agua, velocidad del flujo, caudal sólido transportado y duración de la inundación).

En esta metodología, las zonas potencialmente inundables, de acuerdo con el grado del riesgo, se clasifican de la siguiente manera:

Zona A de Riesgo Alto. Conformada por aquellas áreas en las que las crecientes con periodos de retorno de 50, 100 o 500 años generarán graves daños a núcleos de población importantes. También se consideran zonas de riesgo alto aquellas en las que la creciente con periodo de retorno de 50 años generará impactos a viviendas aisladas o daños importantes a instalaciones comerciales o industriales y/o a los servicios básicos.

Estas zonas de riesgo alto se dividen en tres subzonas:

- *Zonas A-1. Zonas de riesgo alto frecuente.* Son aquellas en las que la creciente con periodo de retorno de 50 años generará graves daños a núcleos urbanos.
- *Zonas A-2. Zonas de riesgo alto ocasional.* Son aquellas en las que la creciente con periodo de retorno de 100 años generará graves daños a núcleos urbanos.
- *Zonas A-3. Zonas de riesgo alto excepcional*. Son aquellas en las que la creciente con periodo de retorno de 500 años generará graves daños a núcleos urbanos.

Zonas B de Riesgo Significativo. Conformada por aquellas áreas, no coincidentes con las zonas A, en las que la creciente con periodo de retorno de 100 años generará impactos en viviendas aisladas y las crecientes de periodo de retorno igual o superior a los 100 años causarán daños significativos a instalaciones comerciales, industriales y/o servicios básicos.

Zonas C de Riesgo Bajo. Son aquellas, no coincidentes con las zonas A ni con las zonas B, en las que la creciente con periodo de retorno de 500 años generará impactos en viviendas aisladas, y las crecientes consideradas en los mapas de inundación causarán daños pequeños a instalaciones comerciales, industriales y/o servicios básicos.

2). Metodología adoptada por la Agencia Catalana del Agua

Esta metodología fue adoptada por la Agencia Catalana del Agua en el año 2003. Se presenta en la guía “Recomendaciones Técnicas para los Estudios de Inundabilidad Locales” (Agencia Catalana del Agua, 2003) y propone la siguiente clasificación de las zonas potencialmente inundables:

Zonas de Inundación Alta. Corresponde a los sectores ubicados por fuera de las zonas de intenso desagüe, donde la profundidad del agua, *H*, alcanza valores superiores a 1 m, la velocidad de flujo,

V, es mayor a 1 m/s o el producto de la profundidad del agua por la velocidad del flujo, *V*H*, es mayor a 0.5 m^2/s (ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

La Zona de Intenso Desagüe. Se define como la zona limitada por paramentos verticales imaginarios en ambas márgenes del río en la cual, al discurrir por ella la creciente con periodo de retorno de 100 años, se produciría un incremento en el nivel de agua, *ΔH*, con respecto al nivel natural sin paramentos que alcanzaría la tabla de agua (Figura 6.1). Se define un valor máximo de *ΔH* igual a 0.1 m en los sectores en los que la inundación provocaría daños importantes (sectores poblados o de alta inversión) y un valor máximo de *ΔH* igual a 0.5 m en las zonas en las que la inundación generaría daños menores (poblaciones menores).

Zonas de Inundación Moderada. Son los sectores ubicados por fuera de las zonas de intenso desagüe en los que la profundidad del agua es superior a 0.4 m e inferior a 1 m, la velocidad de flujo es mayor a 0.4 m/s y menor a 1 m/s o el producto de la profundidad del agua por la velocidad del flujo es mayor a 0.08 m^2/s y menor a 0.5 m^2/s (Figura 6.2).

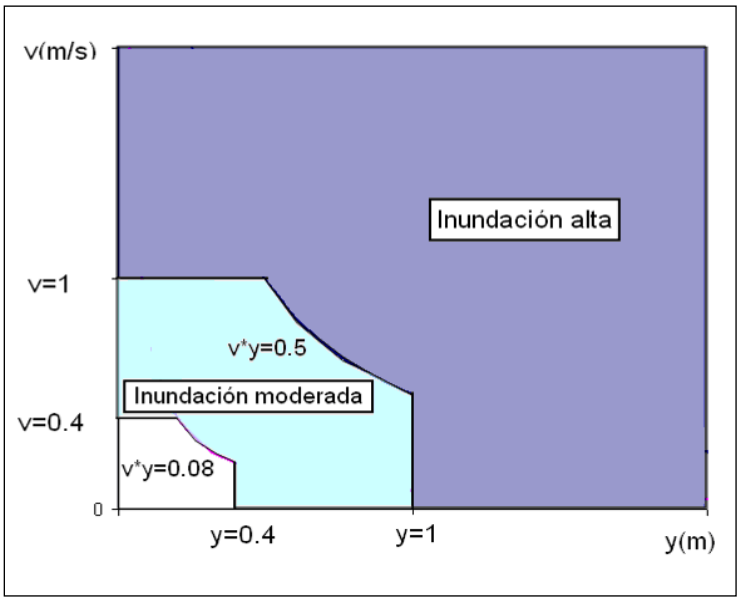


Figura 6.1. Clasificación de las zonas de inundación de acuerdo con la Agencia Catalana del Agua
Fuente: Agencia Catalana, (2003)

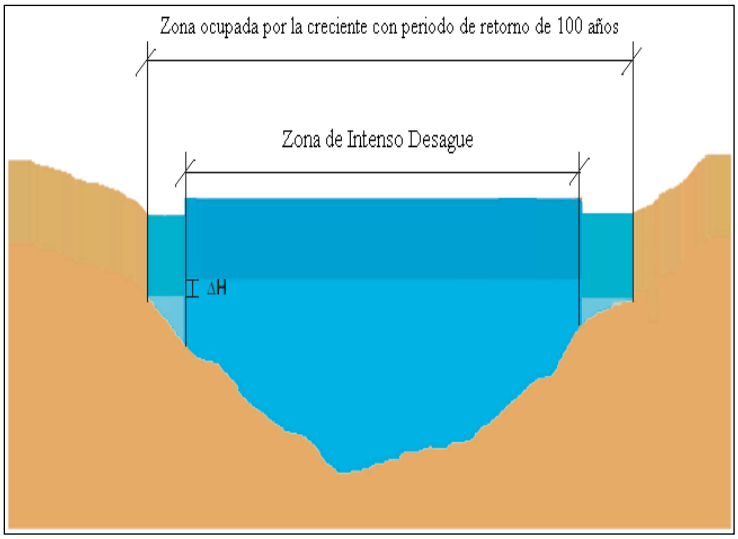


Figura 6.2. Zona de intenso desagüe definida por la Agencia Catalana del Agua
Fuente: Agencia Catalana, (2003)

3). Metodología planteada por el Plan de Acción Territorial

Esta metodología planteada por el Plan de Acción Territorial de carácter sectorial sobre prevención del riesgo de inundación en la comunidad valenciana, PATRICOVA, (2002) define 6 niveles de riesgo de acuerdo con la frecuencia de ocurrencia del evento que genera el desbordamiento y la profundidad que alcanza la columna de agua en la llanura de inundación.

Para la definición de los niveles de riesgo deben considerarse tres frecuencias de ocurrencia de crecientes:

- ***Frecuencia Alta:*** corresponde a periodos de retorno inferiores a 25 años (probabilidades de ocurrencia en cualquier año superiores al 4%).
- ***Frecuencia Media:*** corresponde a periodos de retorno entre 25 y 100 años (probabilidades de ocurrencia entre 4 y 1% en cualquier año).

- ***Frecuencia Baja:*** corresponde a periodos de retorno entre 100 y 500 años (probabilidades de ocurrencia entre 1 y 0.20% en cualquier año).

De la misma forma, deben considerarse dos profundidades de la columna de agua en la planicie:

- ***Profundidades Bajas:*** corresponden a profundidades inferiores a 0.8 m. Se considera que estas profundidades generan daños menores, lo cual significa que se tendría un bajo nivel de vulnerabilidad.

- ***Profundidades Altas****:* corresponden a profundidades superiores a 0.8 m. Se asume que estas profundidades generan daños importantes, por lo cual están asociadas a altos niveles de vulnerabilidad.

Al combinar los rangos definidos para las dos variables analizadas se obtienen los seis niveles de riesgo que se presentan en la Tabla 6.1.

Tabla 6.1. Niveles de riesgos definidos en la metodología del PATRICOVA

PROFUNDIDAD DE LA INUNDACIÓN H (M)	**NIVEL DE RIESGO**		
	PERIODO DE RETORNO (TR) DE LA INUNDACIÓN (AÑOS)		
	TR < 25 (FRECUENCIA ALTA)	**25 ≤ TR ≤ 100 (FRECUENCIA MEDIA)**	**100 ≤ TR ≤ 500 (FRECUENCIA BAJA)**
Alta: H > 0.8	1 – Alto	2 – Alto	5 – Bajo
Baja: H ≤ 0.8	3 – Medio	4 – Medio	6 – Bajo

Fuente: PATRICOVA (2002).

Con base en esta clasificación se establecen las siguientes restricciones en el desarrollo urbanístico:

- Las zonas potencialmente inundables sometidas a un nivel de riesgo 1 se consideran no urbanizables y deben contar con una protección especial.
- En las áreas sometidas a niveles de riesgo 2, 3 y 4 se prohíbe la construcción de viviendas, granjas, hoteles, centros escolares o sanitarios, zonas para camping, bomberos, cementerios y otros usos y actividades de naturaleza similar.
- En las zonas de riesgo 5 y 6 se permite la construcción de viviendas y hoteles con ciertas medidas de seguridad.

Para la elaboración de los mapas de riesgo aplicando esta metodología es necesario conocer los niveles de inundación para las crecientes con periodos de retorno de 25, 100 y 500 años y la extensión de las áreas que resultarían inundadas al presentarse estos eventos.

4). Metodología propuesta en el Plan Medioambiental de los ríos Ebro y Cinca

Esta metodología fue propuesta en el Plan Medioambiental del río Ebro y el tramo bajo del río Cinca, en España, en el año 2005 (Gobierno de Aragón – Iberinsa, (2005).). Dicha metodología plantea la implementación de dos procedimientos para la evaluación del riesgo debido a inundaciones: un procedimiento simplificado aplicable para las situaciones de riesgo bajo, en donde no se espera que se presenten daños importantes y un procedimiento general que debe implementarse cuando los bienes amenazados son de alta vulnerabilidad o son edificaciones importantes para la atención de desastres.

Procedimiento Simplificado. Este procedimiento considera márgenes de seguridad bastante altos y debería aplicarse sólo para descartar el riesgo en aquellos sectores que se estima podrían estar por fuera de la zona de riesgo.

Para la estimación del nivel de riesgo, de acuerdo con este procedimiento, es necesario llevar a cabo las siguientes actividades: caracterización preliminar de la cuenca, cálculo de los caudales máximos, cálculo del tiempo de concentración, caracterización del comportamiento hidráulico de las secciones críticas, modelación hidráulica del tránsito de los caudales máximos calculados, estimación del nivel de exposición, estimación del nivel de vulnerabilidad y, finalmente,

establecimiento del grado de aceptabilidad del riesgo debido a las inundaciones, en función de la profundidad del agua y la velocidad del flujo, de acuerdo con la Tabla 6.2.

Tabla 6.2. Nivel del riesgo de acuerdo con el Procedimiento Simplificado del Plan Medioambiental del río Ebro y tramo Bajo del río Cauca

VELOCIDAD DEL FLUJO (m/s)	NIVEL DE RIESGO	
	PROFUNDIDAD DEL AGUA H (M)	
	H < 1	H ≥ 1
Menor a 0.5	Aceptable	Inaceptable
Mayor a 0.5	Inaceptable	Completamente inaceptable

Fuente: Gobierno de Aragón – Iberinsa, (2005).

Procedimiento General. En este procedimiento la estimación del nivel de riesgo se realiza a través de la implementación de los siguientes estudios: caracterización hidrológica de la cuenca, estimación de precipitaciones máximas, elaboración del plano de localización de los cursos de agua, análisis y evaluación de la frecuencia histórica de las inundaciones, cálculo de caudales correspondientes a eventos con periodos de retorno de 10, 25, 50, 100 y 500 años, determinación de caudales de diseño de las obras hidráulicas existentes, estimación del tiempo de concentración, identificación de las características hidráulicas de las secciones representativas y críticas de los diferentes tramos del curso de agua, modelación hidráulica a través de la cual se determinan los planos de inundabilidad para los eventos correspondientes a los diferentes periodos de retorno analizados, cálculo de las velocidades y profundidades máximas, estudio geomorfológico, estimación del nivel de exposición, estimación del nivel de vulnerabilidad, estimación cuantitativa del nivel de riesgo y generación de una cartografía de riesgo de inundaciones en la que se diferencien cuatro zonas en función del riesgo:

Zona Blanca. Corresponde a los sectores en los que se considera que el nivel de riesgo es aceptable sin necesidad de tomar medidas de mitigación debido a las inundaciones.

Zona Amarilla. Corresponde a las zonas en las que se considera que el nivel de riesgo es bajo y deben implementarse medidas de mitigación de baja intensidad.

Zona Azul. Corresponde a sectores en los que se considera que el nivel de riesgo es entre medio y alto, por lo que es necesario tomar medidas de mitigación de intensidad media a alta.

Zona Roja. Corresponde a sectores sometidos a un alto nivel de riesgo por lo que no se permiten usos permanentes como la urbanización.

5). Metodología aplicada por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (2005)

Esta metodología fue aplicada por el Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación – COSUDE -en el año 2005. A su vez, dentro de esta metodología existen diversos criterios para la evaluación de la amenaza, los cuales se mencionan a continuación.

1. *Criterios para la evaluación de la intensidad o magnitud de la inundación*. La amenaza está en función de la probabilidad de ocurrencia del fenómeno y de su intensidad. La intensidad a su vez se puede definir en función de la profundidad, la velocidad del agua y la duración de las inundaciones. Por tanto, la definición de amenaza por inundaciones (en función del daño potencial) debe tener en cuenta tanto la probabilidad o frecuencia de ocurrencia de la inundación como los niveles o altura del agua.

Amenaza por inundación = *f* (Intensidad x probabilidad de ocurrencia)

Donde:

Intensidad = *f* (profundidad de agua, duración, velocidad)
Probabilidad = *f* (precipitaciones, eventos desencadenantes (huracanes y tormentas), cambios climáticos).

2. *Criterios recomendados para la evaluación de la intensidad o magnitud de la inundación.* La intensidad y los efectos potenciales de las inundaciones dependen de varios aspectos, no sólo meteorológicos sino también de las características propias del terreno, como son los tipos y usos del suelo, el tipo y la distribución de la vegetación, la litología, las características de la red de drenaje, la magnitud de las pendientes de la cuenca y las obras realizadas en los cauces, entre otros. Otros aspectos importantes a considerar son los meandros y las zonas en las que los ríos se estrechan o pierden profundidad por procesos de sedimentación, especialmente en las desembocaduras, donde se acumulan los limos y arenas arrastradas por la corriente.

Los criterios para evaluar la intensidad de las inundaciones son diferentes en dependencia del tipo de inundación. Para inundaciones estáticas se considera la profundidad o altura del flujo, mientras que para inundaciones dinámicas se recomienda utilizar el producto de la velocidad por la profundidad del flujo (siempre y cuando esta fórmula arroje valores más altos, en términos de intensidad, que la anterior).

Los umbrales entre los niveles de intensidad alta, media y baja, han sido establecidos considerando la peligrosidad que una determinada columna de agua puede significar en la infraestructura, las viviendas y la vida de los pobladores.

En la Tabla 6.3 y Figura 6.3 se presentan los rangos definidos para cada nivel de intensidad para el fenómeno de inundaciones.

Tabla 6.3. Definición de rangos de intensidad para inundaciones estáticas y dinámicas (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales)

NIVEL DE INTENSIDAD DE LA INUNDACIÓN	PROFUNDIDAD DEL FLUJO (H) (INUNDACIONES ESTÁTICAS) (m)	PROFUNDIDAD X VELOCIDAD DEL FLUJO (INUNDACIONES DINÁMICAS) (m^2/s)
Alto	$H \geq 1$	$H*V \geq 1.5$
Medio	$0.5 \leq H < 1$	$0.5 \leq H*V < 1.5$
Bajo	$0.25 \leq H < 0.5$	$H*V < 1.5$ y $H \geq 0.25$

Fuente. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales y Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación -COSUDE, (2005).

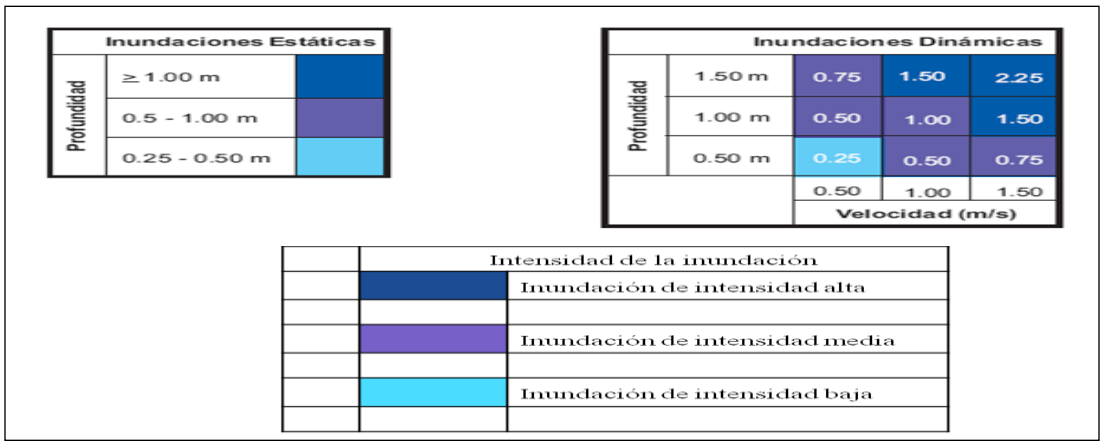


Figura 6.3. Definición de rangos de intensidad para inundaciones estáticas y dinámicas

Fuente. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales y Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación -COSUDE, (2005).

Las inundaciones de alta intensidad corresponden a aquellas que presentan profundidades de flujo mayores a 1 m o cuyo producto resultante de la velocidad por la altura de agua es mayor a 1.5 m^2/s. Los daños causados por una inundación de alta intensidad generalmente producen pérdidas de vidas humanas y altas pérdidas económicas.

Las inundaciones de media intensidad son aquellas cuya altura de agua varía entre 0.5 y 1 m o cuyo producto resultante de la velocidad por la altura de agua está entre 0.5 y 1.5 m^2/s. Los daños a la población y los daños económicos son menores con respecto a los causados por la inundación intensa mas no despreciables.

Las inundaciones de baja intensidad corresponden a aquellas cuya profundidad de flujo varía entre 0.25 y 0.5 m o el producto de la velocidad por la altura de agua es menor a 0.5 m^2/s. Los daños asociados son generalmente leves, no se esperan pérdidas de vidas humanas, aunque sí pueden darse pérdidas en áreas de cultivo y animales.

La definición de los criterios de intensidad (velocidad y profundidad) han sido consertados con base en las experiencias del equipo técnico participante y en experiencias previas de proyectos ejecutados o en ejecución en Nicaragua, tales como el PRRAC, ALARN-COSUDE, SIG-Georiesgos y el SIG para mapas de amenazas.

De igual forma, los criterios resultantes han sido revisados y comparados con criterios similares utilizados en el ámbito internacional, en particular en países como España, Venezuela y Suiza, entre otros. En España, por ejemplo, la intensidad de la inundación está en función de la altura de agua y el umbral se ha definido de 0.8 m entre una inundación intensa y otra de baja intensidad (no existen tres niveles de amenaza como los propuestos en la metodología aquí presentada).

3. *Criterios para la evaluación de la frecuencia, recurrencia o periodo de retorno de la inundación*. La frecuencia o recurrencia de las inundaciones, es decir, cada cuánto se inunda una determinada

zona, dependerá esencialmente de la frecuencia de las precipitaciones excepcionalmente fuertes. Los periodos de retorno se establecieron en tres categorías (Tabla 6.4).

Tabla 6.4. Categorización de la inundación según el periodo de retorno (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales)

FRECUENCIA DE LA INUNDACIÓN	PERIODO DE RETORNO (TR) (AÑOS)
Alta	$Tr \leq 10$
Media	$10 < Tr \leq 50$
Baja	$50 < Tr \leq 200$

Fuente. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales y Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación -COSUDE, (2005).

No se consideran periodos de retorno mayores a 200 años, principalmente porque las series de datos hidrometeorológicos que existen en Nicaragua no son lo suficientemente extensas (por lo general, son menores a 50 años) y consistentes para poder extrapolar a periodos de retorno mayores. Tampoco otros métodos (como los geomorfológicos) permiten estimar con precisión satisfactoria el alcance de crecidas de periodos de retorno mayores.

4. *Determinación de los niveles de amenaza por inundaciones*. Los niveles de amenaza por inundaciones de un área dada resultan de la relación entre la frecuencia de las inundaciones y su intensidad (es decir, su profundidad o el producto de la profundidad por la velocidad). Esta forma de evaluar la amenaza es comúnmente usada en países como Australia, Estados Unidos y Suiza, y ha sido aplicada en Nicaragua en el proyecto PRRAC.

Se consideran tres niveles de amenaza: alto, medio y bajo, que resultan de la combinación de la categorización de la inundación según la frecuencia (periodo de retorno) y la intensidad (H y V*H) (Tabla 6.5), como se describe a continuación:

Tabla 6.5. Matriz de niveles de amenaza por inundaciones

	NIVEL DE AMENAZA			
INTENSIDAD	Alta $H \geq 1$ ó $H*V > 1.5$	Alto	Alto	Alto
	Media $0.5 \leq H < 1$ ó $0.5 < H*V < 1.5$	Alto	Medio	Bajo
	Baja $0.25 \leq H < 0.5$ ó $H*V < 0.5$	Medio	Bajo	Bajo
FRECUENCIA		Alto $Tr \leq 10$	Medio $10 < Tr \leq 50$	Bajo $50 < Tr \leq 200$

Fuente. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales y Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación -COSUDE, (2005).

Zonas de amenaza alta. Son aquellas zonas en donde, sin importar la frecuencia, $H \geq 1$ m ó $H*V > 1,5$ m^2/s (intensidad alta), produciendo graves daños a la población e infraestructura expuesta. También se considera zona de amenaza alta aquella inundación de alta frecuencia ($Tr \leq 10$), donde $0,5 \leq H < 1$ m ó $0,5 < H*V < 1,5$ m^2/s (intensidad media).

• **Zonas de amenaza media.** Son aquellas zonas en donde, para una frecuencia media ($10 < Tr \leq 50$), $0,5 \leq H < 1$ m ó $0,5 < H*V < 1,5$ m^2/s y para una frecuencia alta ($Tr \leq 10$), $0,25 \leq H < 0,5$ m ó

H*V < 0,5 m^2/s (intensidad baja). Este fenómeno ocasiona algunas pérdidas de vidas humanas y daños reparables a viviendas e infraestructura.

• **Zonas de amenaza baja.** Son aquellas zonas en donde, para una frecuencia media ($10 < Tr \leq 50$), $0,25 \leq H < 0,5$ m ó H*V < 0,5 m^2/s (intensidad media) y para una frecuencia baja ($50 < Tr \leq 200$), $0,5 \leq H < 1$ m ó $0,5 < H*V < 1,5$ m^2/s (intensidad media) y $0,25 \leq H < 0,5$ m ó H*V < 0,5 m^2/s (intensidad baja). Este fenómeno causa daños leves a la población e infraestructura.

6). Metodología propuesta por R. García, J.J. Rodríguez y J.S. O'Brien (2001)

La metodología para delimitación de mapas de amenaza propuesta por García, Rodríguez y O'Brien (2001) ha sido propuesta en el proyecto PREVENE Esta metodología fue aplicada en la región de Vargas, Caracas, y está basada en estándares suizos y australianos donde se establecen tres zonas que identifican los niveles de amenaza en ubicaciones específicas. La amenaza por inundación es función de la frecuencia e intensidad de la inundación. Grandes inundaciones ocurren con menor frecuencia, pero poseen alta intensidad relativa a la profundidad de flujo y a la velocidad. Eventos pequeños de flujos son más frecuentes, pero menos dañinos. El nivel de amenaza de flujos es entonces definido como una discreta combinación en función de la intensidad del flujo (severidad del evento) y el periodo de retorno (frecuencia) como se presenta en la Tabla 6.6.

Tabla 6.6. Nivel Discreto de Amenaza

INTENSIDAD	**Alta**				
	Media				
	Baja				
FRECUENCIA		Alta	Media	Baja	Muy baja
Periodo de Retorno		10	100	500	>> 500
Probabilidad de excedencia		10%	1%	0.2%	<<0.2%

Amenaza alta
Amenaza media
Amenaza baja
Amenaza muy baja

Fuente: García et al, (2001).

En este estudio, la probabilidad de los niveles está definida para los periodos de retorno de 10, 100 y 500 años. Otros periodos de retorno podrían ser considerados en este método. Para definir la intensidad del evento existen métodos que combinan la profundidad y la velocidad de flujo. El método australiano usa la energía total definida como $H + V2/2g$, donde H es la profundidad de flujo, V es la velocidad y g es la aceleración de la gravedad. El método suizo define la intensidad en términos de una combinación de h y del producto de h y v. Altas intensidades se relacionan con altas profundidades y se asigna independiente de la velocidad de flujo. Cuando se superpone sobre un mapa, los diferentes niveles de amenaza pueden ser delimitados como se presenta en la Tabla 6.7.

Tabla 6.7. Definición de nivel de amenaza

NIVEL DE AMENAZA	COLOR EN EL MAPA	DESCRIPCIÓN
Alto	Rojo	Las personas están en peligro, tanto dentro como fuera de las casas. Las edificaciones pueden ser destruidas.
Medio	Naranja	Las personas están en peligro fuera de las casas. Las edificaciones pueden sufrir daños y posiblemente destrucción, dependiendo de los materiales con los que han sido construidas.
Bajo	Amarrillo	El peligro para las personas es bajo o inexistente. Las edificaciones pueden sufrir un ligero daño pero los sedimentos pueden afectar el interior.

Fuente: García et, al, (2001).

Siguiendo el método suizo, los criterios usados en este trabajo hacen la distinción entre inundaciones de agua e inundaciones de flujos de lodos. La intensidad está definida en términos de profundidad máxima generada por el evento y el producto de la máxima velocidad por la máxima profundidad. En este caso de flujo de lodos las intensidades se definen en la Tabla 6.8.

Tabla 6.8. Intensidad de la inundación

INTENSIDAD DE LA INUNDACIÓN	PROFUNDIDAD MÁXIMA H (m)	PRODUCTO DE LA PROFUNDIDAD MÁXIMA H Y LA VELOCIDAD MÁXIMA V (m^2/s)
Alta	H > 1.5	ó V*H > 1.5
Media	0,5 < H < 1,5	ó 0,5 < V*H < 1,5
Baja	0,1 < H < 0,5	y 0,1 < V*H < 0,5

Fuente: García et, al, (2001).

Los eventos de flujos de lodos son más destructivos que los flujos de agua; por lo tanto, los criterios de intensidad son más conservadores que los de las inundaciones de agua, como se muestra en la Tabla 6.9.

Tabla 6.9. Intensidad de flujo de lodos

INTENSIDAD DE FLUJOS DE LODOS	PROFUNDIDAD MÁXIMA H (m)	PRODUCTO DE LA PROFUNDIDAD MÁXIMA H Y LA VELOCIDAD MÁXIMA V (m^2/s)
Alta	H >1	o V*H > 1
Media	0,2 < H < 1	y 0,2 < V*H < 1
Baja	0,2 < H < 1	y V*H < 0,2

Fuente: García et, al, (2001).

6.3. METODOLOGÍA ADOPTADA EN EL PRESENTE ESTUDIO

La metodología propuesta en el presente estudio para la determinación de los niveles de amenaza por el fenómeno de inundación se fundamenta en varios de los criterios utilizados en las metodologías revisadas y en la experiencia del grupo de investigación HIDROMAR en el área de amenazas aplicadas en el río Cauca, teniendo en cuenta los diferentes acuerdos reglamentados por la CVC para protección de las planicies aluviales del río Cauca y sus tributarios (alineamientos de diques riberanos, determinación de la franja protectora del río Cauca y periodos de retorno de diseño de diques para cultivos, infraestructuras y centros poblados). También se consideraron los planes y esquemas de ordenamiento territorial y los planes de prevención y de atención de desastres, emergencias y contingencias de la inundación.

6.3.1. Niveles de frecuencia de los eventos de inundaciones

A cada escenario seleccionado para el fenómeno de inundaciones se le debe asignar un nivel de frecuencia en términos cualitativos: frecuencia alta, media, moderada, baja, etc.

Los umbrales de periodos de frecuencia o recurrencia recomendados se presentan en la Tabla 6.10. Los umbrales de los periodos seleccionados corresponden inicialmente a dos veces el periodo de retorno de los diseños de los drenajes urbanos (10 años). El segundo umbral corresponde aproximadamente a los periodos que los diseños de las obras de infraestructura vial y de cultivos deben garantizar según la normatividad colombiana (30 años). El tercer umbral corresponde a la norma que estipula que cualquier comunidad aledaña a un cauce debe tener garantizada su integridad para una creciente con un periodo de retorno de 100 años.

Tabla 6.10. Nivel de frecuencia de los eventos de inundaciones

FRECUENCIA	FRECUENCIA DE LA INUNDACIÓN
Tr ≤ 10 años	Alta
10 años < Tr ≤ 30 años	Media
30 años < Tr ≤ 100 años	Baja

Fuente: CVC -Universidad del Valle

6.3.2. Niveles de intensidad o magnitud de los eventos de inundaciones

A cada escenario seleccionado se le debe realizar una clasificación cualitativa de acuerdo con su intensidad o magnitud. Las características hidráulicas a tener en cuenta para determinar la intensidad o magnitud son la profundidad, *H*, la velocidad, *V*, y el producto de la profundidad por la velocidad, *H*V*.

6.3.3. Metodología para determinar los niveles de amenaza por inundaciones

Los umbrales de intensidad o magnitud del evento definido en el presente estudio se muestran en la Tabla 6.11. El primer umbral determinado corresponde al nivel o profundidad del agua observada a partir de la cual las comunidades desalojan sus viviendas (0.45 m) y el segundo umbral corresponde al criterio en el cual se considera que la vida de una persona está en riesgo (0.90 m). En lo que respecta a la velocidad del flujo, los umbrales corresponden a 0.5 m/s y 0.8 m/s, respectivamente. Los umbrales del producto de la profundidad por la velocidad corresponden a 0.225 m^2/s y 0.45 m^2/s. Los umbrales definitivos de intensidad o magnitud del evento se toman de acuerdo con el rango de niveles, el rango de velocidades y los rangos del producto de la profundidad por la velocidad. Los niveles de intensidad del evento expresados en la Figura 6.4.

Tabla 6.11. Nivel de intensidad o magnitud del evento de inundación

INTENSIDAD O MAGNITUD DE LA INUNDACIÓN	NIVEL DE INTENSIDAD O MAGNITUD DE LA INUNDACIÓN
$H \geq 0,9$ m ó $V \geq 0,8$ m/s ó $H*V \geq 0,45$ m^2/s	Alta
$0,45$ m $\leq H < 0,9$ m ó $0,5$ m/s $\leq V < 0,8$ m/s ó $0,225$ $m^2/s \leq H*V < 0,45$ m^2/s	Media
$0,05$ m $< H < 0,45$ m y $V < 0,5$ m/s y $H*V < 0,225$ m^2/s	Baja

Fuente: CVC -Universidad del Valle

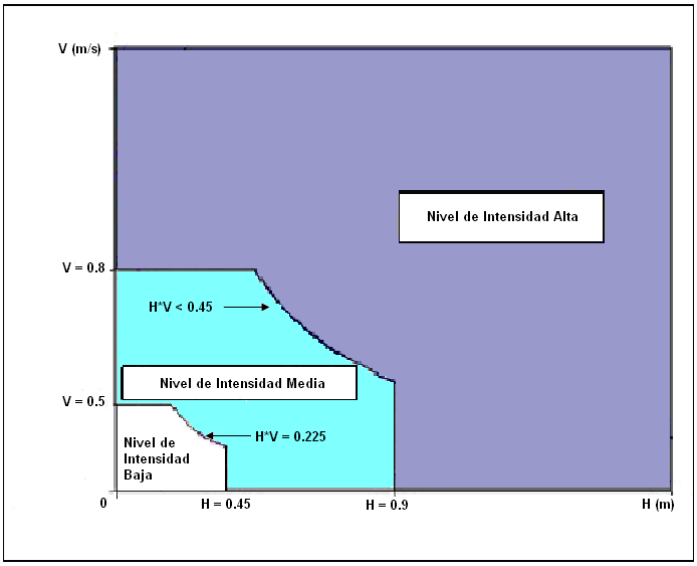


Figura 6.4. Nivel de intensidad o magnitud de la amenaza por inundaciones.
Fuente: CVC -Universidad del Valle

6.3.4. Determinación de los niveles de amenaza por inundaciones

Después de determinar los umbrales y niveles de frecuencia e intensidad del evento se procede a clasificar los mapas de inundación en diferentes niveles cualitativos de amenaza (alta, significante, media, moderada alta, moderada, moderada baja, baja, etc.).

Los niveles de amenaza que se recomienda utilizar son alta, media y baja, los cuales dependen de los niveles de frecuencia o recurrencia del evento y de los niveles de intensidad de la amenaza, expresada mediante los tres rangos de profundidades de agua recomendados, como se presenta en la Tabla 6.12. y En la Tabla 6.13 se presenta la clasificación de amenaza por inundación.

Tabla 6.12. Nivel de amenaza según la frecuencia y la intensidad o magnitud de la inundación

	NIVEL DE AMENAZA			
NIVEL DE INTENSIDAD	Nivel de intensidad alto H ≥ 0,9 m ó V ≥ 0,8 m/s ó H*V ≥ 0,45 m^2/s	**Alto**	**Alto**	**Alto**
	Nivel de intensidad medio 0,45 m ≤ H < 0,9 m ó 0,5 m/s ≤ V < 0,8 m/s ó 0,225 m^2/s ≤ H*V < 0,45 m^2/s	**Alto**	**Medio**	**Medio**
	Nivel de intensidad bajo 0,05 m < H < 0,45 m y V < 0,5 m/s y H*V < 0,225 m^2/s	**Medio**	**Bajo**	**Bajo**
FRECUENCIA DE LA INUNDACIÓN		Frecuencia alta Tr ≤ 10	Frecuencia media 10 < Tr ≤ 30	Frecuencia baja 30 <Tr ≤ 100

Fuente: CVC -Universidad del Valle

Tabla 6.13. Clasificación de la amenaza por inundaciones

PROFUNDIDAD (M) Ó VELOCIDAD (M/S) Ó PROFUNDIDAD POR VELOCIDAD (M^2/S)	NIVEL DE INTENSIDAD DE LA AMENAZA	PERIODO DE RETORNO (AÑOS)	NIVEL DE FRECUENCIA DE LA AMENAZA	CLASIFICACIÓN DE LA AMENAZA
H ≥ 0,9 ó V ≥ 0,8 ó H*V ≥ 0,45	Alto	Tr ≤ 10	Alto	Alto
H ≥ 0,9 ó V ≥ 0,8 ó H*V ≥ 0,45	Alto	10 < Tr ≤ 30	Medio	Alto
H ≥ 0,9 ó V ≥ 0,8 ó H*V ≥ 0,45	Alto	30 < Tr ≤ 100	Bajo	Alto
0,45 ≤ H < 0,9 ó 0,5 ≤ V < 0,8 ó 0,225 ≤ H*V < 0,45	Medio	Tr ≤ 10	Alto	Alto
0,45 ≤ H < 0,9 ó 0,5 ≤ V < 0,8 ó 0,225 ≤ H*V < 0,45	Medio	10 < Tr ≤ 30	Medio	Medio
0,45 ≤ H < 0,9 ó 0,5 ≤ V < 0,8 ó 0,225 ≤ H*V < 0,45	Medio	30 < Tr ≤ 100	Bajo	Medio
0,05 < H < 0,45 y V < 0,5 y H*V < 0,225	Bajo	Tr ≤ 10	Alto	Medio
0,05 < H < 0,45 y V < 0,5 y H*V < 0,225	Bajo	10 < Tr ≤ 30	Medio	Bajo
0,05 < H < 0,45 y V< 0,5 y H*V < 0,225	Bajo	30 < Tr ≤ 100	Bajo	Bajo

Fuente: CVC -Universidad del Valle

6.4. MODELACIÓN MATEMÁTICA. GENERALIDADES DEL MODELO HIDRAULICO HEC – RAS

Los tramos de la quebrada Limones se modelaron con el software HEC-Geo RAS, para el cual fue necesario realizar un Modelo Digital de terreno de toda la zona de estudio; se ingresaron los caudales máximos distribuidos en las longitudes de los canales conforme se encontraron en la información hidroclimatológica.

6.4.1. Modelación hidráulica HEC GEO RAS

La modelación hidráulica se realiza con el modelo HEC-Geo RAS desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de América, a continuación, se presenta las bases conceptuales del modelo implementado.

El HEC-GeoRAS es un sistema integrado diseñado para un uso interactivo en ambientes multiusuarios. El sistema está compuesto de una interface gráfica para el usuario, análisis de componentes hidráulicos por separado, almacenamiento de datos y manejo de funciones, gráficos y facilidades en la generación de reportes.

La versión HEC-Geo RAS soporta el cómputo de perfiles de agua en flujos permanentes y no permanentes. El modelo está diseñado para desarrollar cálculos hidráulicos en una dimensión para redes naturales y artificiales. El sistema puede manejar una red completa de canales, un sistema dendrítico o un solo río. El componente de flujo permanente soporta análisis con flujos subcríticos, supercríticos, críticos y mixtos. El procedimiento básico de computación está basado en la solución unidimensional de la ecuación de energía. La pérdida de energía es evaluada por fricción (Ecuación de Manning) y coeficientes de contracción y/o expansión multiplicados por el cambio en la carga de velocidad. La ecuación de Momentum es utilizada en situaciones donde el perfil de agua es rápidamente variado; en estas situaciones se incluyen flujos mixtos, saltos hidráulicos, hidráulica de puentes y evaluación de perfiles en la confluencia de ríos.

6.4.1.1. Cálculo de perfiles de agua superficial

Ecuaciones para los cálculos básicos de los perfiles: Los perfiles de agua superficial son calculados de una sección a otra resolviendo la ecuación de energía mediante un sistema de iteraciones “Método del paso estándar”. La pérdida de energía entre dos secciones está compuesta por pérdidas de fricción y contracción.

Subdivisiones en las secciones transversales para cálculos de transporte de caudal: La determinación del transporte total y del coeficiente de velocidad para una sección transversal requiere que el flujo sea subdividido en unidades en las cuales la velocidad es uniformemente distribuida. El algoritmo utilizado por HEC-RAS subdivide el flujo en las áreas del canal principal utilizando la entrada de los valores de coeficiente de Manning. El transporte del flujo es calculado con la subdivisión con la siguiente forma de la Ecuación de Manning:

$$Q = KS_f^{1/2} \quad K = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} \tag{25}$$

Donde:
K : Subdivisión para transporte
n: Coeficiente de rugosidad de Manning para la subdivisión
A: Área del flujo para la subdivisión
R: Radio hidráulico para la subdivisión
El programa suma todos los transportes para obtener el transporte adecuado en la banca derecha e izquierda. El canal principal es usualmente analizado como un elemento singular. El transporte

total para la sección transversal es obtenido al sumar las tres subdivisiones de transporte (izquierdo, derecho, y canal principal)

6.4.1.2. Coeficiente de Manning para el Canal principal

El flujo en el Canal principal no se subdivide excepto cuando el coeficiente de rugosidad es cambiado en el área del canal. El programa determina si el valor de n que corresponde a la sección transversal puede ser subdividida o si el valor de n compuesto para el canal principal puede ser utilizado basado en el siguiente criterio:

Si la pendiente lateral del canal es más pronunciada que 5H:1V y el canal principal tiene más de un valor de n, se calcula automáticamente un valor de nc compuesto. El modelo determina la rugosidad equivalente; existen muchas hipótesis para el cálculo de este parámetro Paulovskii, Muhlhofer, Banks, Lotter, entre otros. Además, usa las recomendaciones de Horton y Einstein que se basa en el supuesto de considerar que cada sub-área tiene la misma velocidad e igual a la velocidad media de la sección con lo cual se obtiene lo siguiente:

$$n_c = \sum \left(Pi \cdot ni^{1.5}\right)^{2/3} \Big/ \sum Pi \tag{26}$$

Dónde:
nc: Coeficiente de Rugosidad compuesta o equivalente
ni: Coeficiente de rugosidad para la subdivisión i
Pi: Perímetro mojado para la subdivisión i.

El procedimiento coincide en dividir la sección hidráulica en las partes que sean necesarias y asignarles un valor de “n” de rugosidad según corresponda a su naturaleza física de oposición al flujo. Como las secciones están geométricamente definidas, el modelo evalúa con la fórmula anterior el valor de rugosidad equivalente, ver los capítulos 2 y 3 del manual del HEC-RAS (páginas 2-6, 2-7 y 3-12 a 3-16) y el libro Hidráulica de Canales Abiertos, V.T. Chow (páginas 108 a 120 y página 135), del que se obtienen los valores de referencia que se presentan a continuación: Finalmente, a partir del reconocimiento de los factores expuestos anteriormente, Cowan propone el siguiente procedimiento:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4)\, m_5 \tag{27}$$

Donde n_0 es un valor básico de n para un canal recto, uniforme y liso en los materiales naturales involucrados, n_1 es un valor que debe agregarse para corregir el efecto de las rugosidades superficiales, n_2 considera las variaciones en forma y tamaño de la sección transversal del canal, n_3 es un valor para considerar las obstrucciones, n_4 tiene en cuenta la vegetación y las condiciones del flujo, y m_5 es un factor de corrección de los efectos por meandros en el canal.

6.4.1.3. Evaluación de la cabeza principal de energía cinética

Debido a que el programa HEC-RAS es un programa desarrollado para perfiles de agua superficial, solamente una superficie de agua y una carga de energía se computan en cada sección transversal.

Para una elevación de agua superficial dada, la energía principal es obtenida al realizar el cálculo con ponderación de las n sub-secciones en la sección transversal (Banca derecha, izquierda y canal principal).

6.4.1.4. Evaluación de Pérdidas por fricción

Las pérdidas por fricción son evaluadas por HEC-RAS como el producto de Sf y L, donde Sf es la fricción para la pendiente y L es la distancia ponderada para el tramo de análisis. El coeficiente de pendiente (pendiente de la línea de energía) para cada sección transversal es estimado con la ecuación de Manning (ver Tabla 6.14).

Tabla 6.14. Rugosidad Hidráulica de Manning en Cauces Según Chow y Cowan

CONDICIONES DEL CAUCE		VALORES DE RUGOSIDAD	
Material del Lecho	Tierra	no	0.020
	Corte en roca		0.025
	Grava fina		0.024
	Grava triturada		0.028
Grado de Irregularidad	Suave	n1	0.000
	Menor		0.005
	Moderado		0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la Sección Transversal	Gradual	n2	0.00
	Ocasionalmente alternante		0.005
	Frecuentemente alternante		0.010-0.015
Efectos Relativos de Obstrucciones	Despreciable	n3	0.000
	Menor		0.010-0.015
	Apreciable		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
Vegetación	Baja	n4	0.005-0.010
	Media		0.010-0.025
	Alta		0.025-0.050
	Muy alta		0.050-0.100
Meandros	Menor	m5	1.000
	Apreciable		1.150
	Severo		1.300

Fuente: Chow, (1959) y Cowan, (1956)

6.4.1.5. Evaluación de Contracciones y Expansiones

El programa asume que una contracción está ocurriendo cuando la cabeza de velocidad aguas abajo es mayor que la cabeza de velocidad aguas arriba de igual manera, cuando la cabeza de velocidad aguas arriba es mayor que la cabeza de velocidad aguas abajo, el programa asume que una expansión del flujo está ocurriendo.

6.4.1.6. Limitaciones del programa

Las siguientes hipótesis están implícitas en las expresiones analíticas utilizadas en la versión del programa:

El flujo es gradualmente variado (con excepción de las estructuras hidráulicas como: puentes, tubos y vertederos). En estos casos el flujo puede ser rápidamente variado y la ecuación de momentum u otra ecuación empírica se utiliza.
El flujo es unidimensional (los componentes de velocidad en otras direcciones que no son las del flujo no son contabilizados)
Los canales de los ríos tienen pendientes pequeñas, es decir menor de 1:10

6.4.2. Información de entrada al modelo

El HEC-GeoRAS 10.6 es una extensión de ArcGIS que provee del usuario un sistema de procedimientos, herramientas, y utilidades para la preparación de los datos de GIS para la importación de geometrías hidráulicas al HEC-RAS 5.0.3, y lectura de resultados generados. Mientras que la extensión de GeoRAS se diseña para los usuarios con experiencia geográfica limitada en los sistemas de información (GIS). Los usuarios, sin embargo, deben tener experiencia en modelar con HEC-RAS y tener con la comprensión de la hidráulica del río, una correcta interpretación de los modelos en el GIS. Se requiere ArcGIS 10.6, con las extensiones de 3DAnalyst. La información de entrada al modelo hidráulico la compone los siguientes tópicos: caudales asociados a los valores presentes en estaciones de monitoreo, Modelo Digital de Terreno (extraído del levantamiento topográfico y del diseño de la obra), establecimiento de secciones transversales y fronteras del modelo aguas abajo (condiciones desconocidas).

6.4.2.1. Caudales de Modelación

Los caudales de modelación corresponden a los valores obtenido en el estudio hidrológico para la zona de estudio y mencionado anteriormente.

6.4.2.2. Coeficiente de rugosidad

En la etapa de calibración de un modelo hidráulico una de las principales incógnitas es la definición de la rugosidad del canal, (n Manning), en este caso, con la topografía de la zona e información de suelo levantada en campo, se define un coeficiente de rugosidad para el cauce.

6.4.2.3. Secciones Transversales

Una vez elaborado el MDT se establecen las secciones transversales para la modelación hidráulica, estas se localizan priorizando sitios de interés, morfología del rio y obras hidráulicas.

6.5. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA

En conclusión, los resultados del modelo HEC-RAS son en el mejor de los sentidos la aproximación más exacta que se tiene del sistema de drenaje y sus resultados son propios de una simulación de un proceso de calibración metodológico. El análisis del comportamiento hidráulico de los Cauces analizados con el Software HEC–RAS, arroja los resultados para cuyo entendimiento es necesaria la codificación con la cual aparece la información, esta codificación se muestra a continuación:

Qtotal = Caudal (m^3/s)
Min.Ch.El = Elevación fondo (m)

Crit.W.S	= Elevación altura crítica (m)
E.G. Elev	= Elevación de la línea de energía (m)
E.G.Slope	= Pendiente de la línea de energía (m/m)
VelChnl	= Velocidad media del canal (m/s)
FlowArea	= Área mojada (m2)
Top Width	= Ancho superior del espejo de agua (m)
Froude # Chl	= Número de Froude
Mann. comp.	= Rugosidad “equivalente” de la sección
LengthChnl-Left-Right	= longitud del canal por el eje-banca izq.-banca der. (m)
Levee El Left	= Elevación del Dique Izquierdo (m)
Levee El Right	= Elevación del Dique Derecho (m)

En este informe, se presentan los resultados para caudales modelados en diferentes secciones transversales y perfiles longitudinales a lo largo del río Pescador, Zanjón Guabinero y Zanjón El Rincón.

6.5.1. Implementación del modelo hidráulico HEC RAS

Mediante la información del modelo digital de terreno, se realizó la modelación hidráulica de los cauces en la zona de estudio. Para lo cual, lo primero es la esquematización del modelo. El proceso de la implementación del modelo HEC RAS se presenta a continuación

6.5.1.1. Esquematización

6.5.1.1.1. Descripción de la malla computacional

El primer paso dentro del proceso de implementación del modelo matemático HEC RAS consiste en la construcción del modelo digital de elevaciones del terreno (DEM, por sus siglas en inglés). El DEM del municipio de Zarzal fue generado por el grupo de cartografía y SIG, incluyendo curvas de nivel menores a un metro. El siguiente paso consiste en delimitar de la manera más precisa posible el área a modelar. El área del modelo debe ser lo suficientemente grande de tal manera que el fenómeno de inundación en la zona urbana pueda ser representado y simulado correctamente, pero al mismo tiempo debe ser la menor posible con el fin de optimizar el tiempo computacional. El área a modelar debe incluir el área de principal interés del estudio como son las zonas urbanas y de expansión urbana del municipio de Zarzal y los cauces y corrientes que se desbordan durante las crecientes y ocasionan daños en estas zonas.

También es importante ubicar de manera apropiada las fronteras abiertas del modelo, es decir, los sitios o secciones a través de los cuales ingresan y salen las corrientes de agua y flujos de lodos del área modelada. Se recomienda localizar las fronteras abiertas en aquellos sectores donde se cuente con la mayor cantidad de información posible (batimétrica, hidrológica, sedimentológica), como son las estaciones hidrométricas en los cauces. En la quebrada Limones la frontera superior se localizó en el inicio del límite de la cabecera municipal al Sur -Oriente de Zarzal. Frecuentemente durante la etapa de aplicación del modelo matemático (simulación de escenarios) se requiere plantear y evaluar la implementación de diferentes estructuras (tales como diques de protección, espolones, vertederos, puentes, bocatomas, etc.); estas estructuras generan variaciones las

condiciones hidrodinámicas en el sector intervenido, pudiendo propagarse hasta alcanzar el sector de las fronteras abiertas del modelo; si esto llegase a presentarse se generaría un conflicto con las condiciones hidrodinámicas de frontera preestablecidas por el modelador. Para evitar este conflicto, debe procurarse que las fronteras abiertas del modelo se encuentren suficientemente distanciadas de los sitios de mayor interés en el estudio.

Un aspecto importante dentro del proceso de construcción de la malla computacional consiste en la selección del tamaño más apropiado de las celdas de la malla. La dimensión de las celdas depende de varios factores como son, la extensión del área de estudio (es decir, del área a modelar), el grado de detalle requerido o aceptable para describir el flujo, el tiempo computacional, la estabilidad numérica del modelo y las limitaciones del modelo matemático en cuanto al número máximo de celdas. Se realizaron numerosas simulaciones empleando las distintas mallas construidas como parte del proceso de análisis de sensibilidad del modelo.

Posteriormente se realizó la interpolación de los niveles topográficos disponibles en la planicie de inundación para asignar los niveles o elevaciones a cada una de las celdas de la malla computacional. Para ello el programa dispone de distintas opciones de interpolación en las que el usuario elige el número mínimo de puntos de elevación a considerar en la vecindad de cada celda y el radio de interpolación, entre otros parámetros de acuerdo con la densidad de la información topográfica. En este proyecto se utilizó el promedio de la cantidad de puntos de elevación por celda y el método de la desviación estándar. De esta forma es asignado un único valor de elevación -que puede ser modificado manualmente- a cada celda de la malla computacional.

6.5.1.1.2. Rugosidad de las llanuras

En la planicie del municipio de Zarzal existen cultivos, pastos naturales, árboles, guadua, rastrojo y zona urbana (superficies en concreto). En la Tabla 6.15 se presentan los valores del coeficiente de rugosidad de Manning estimados para las diferentes coberturas vegetales existentes en la zona de estudio del municipio de Zarzal.

Tabla 6.15. Valores estimados del coeficiente de rugosidad de Manning en la planicie aluvial de la zona de estudio del municipio de Zarzal

TIPO DE COBERTURA VEGETAL	COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING n ($s/m^{1/3}$)
Cañaduzales	0.259
Rastrojo	0.100
Pasto natural	0.035
Zona urbana	0.025
Guaduales	0.313
Árboles	0.025
Bosques	0.060

Fuente: elaboración propia

6.5.1.1.3. Esquematización de los ríos y canales

Posteriormente se realiza, dentro de la malla computacional, el trazado de los ríos y los canales siguiendo su alineamiento de acuerdo con los planos topográficos; este trazado de ríos y canales se efectúa siguiendo la margen izquierda de cada uno de ellos (mas no el eje de los ríos y canales); el

modelo calcula o determina la margen derecha de acuerdo con el ancho de cada sección. En el modelo del municipio de Zarzal se incluyeron todos los cauces y canales existentes y que pueden originar problemas de inundación en el casco urbano, como son: la quebrada Limones.

Inicialmente se ingresan las secciones transversales solamente del cauce principal de cada uno de los ríos y canales, es decir, sólo se introduce la sección del cauce comprendida entre las bancas derecha e izquierda, obviando la información topográfica de las llanuras puesto que ésta se encuentra incluida en el modelo digital de elevaciones del terreno DEM. Este trazado de los ríos y los canales se realiza procurando que el alineamiento de cada canal esquematizado en el modelo se asemeje a cada cauce, sin cambios bruscos en el trazado.

Es necesario señalar que el modelo HEC RAS calcula las profundidades de flujo promedio y, por consiguiente, es más significativo para la exactitud final de los resultados representar correctamente las características batimétricas promedio en un sector que representar de manera exacta la batimetría de todos los puntos de la malla.

Como se mencionó anteriormente, cada elemento de canal debe tener una sección transversal. Debido a que los levantamientos batimétricos se realizaron con un determinado espaciamiento entre secciones transversales del cauce, de acuerdo con la irregularidad de su geometría, fue necesario interpolar entre las secciones transversales levantadas en campo.

Se realizan aproximadamente cada 20 m, es necesario interpolar las secciones transversales originales para lograr que en cada celda del canal haya una sección transversal. Los valores del coeficiente de rugosidad de Manning para el municipio de Zarzal estimados e ingresados al modelo inicialmente se muestran en la Tabla 6.15 de acuerdo al tipo de cobertura.

Puentes

En la zona de estudio y sobre la quebrada Limones existen una serie de puentes y estructuras en el tramo de estudio, el cuales fueron implementados en el modelo. Fue necesario incluirlos en el modelo ya que éstos generan un efecto de remanso, originando mayores niveles de inundación hacia aguas arriba de ellos.

6.5.1.1.4. Condiciones de frontera

Las condiciones hidrodinámicas a definir en las fronteras abiertas del modelo se denominan Condiciones de Frontera y revisten especial importancia durante el proceso de implementación de un modelo matemático. En el primer elemento o sección de cada canal (es decir, en la frontera superior) se deben ingresar las hidrógrafas para los diferentes periodos de retorno que se requiere simular; la frontera inferior, es decir, en el último elemento o sección de cada canal (si éste no deriva sus aguas directamente a otro cauce) el modelo HEC RAS ofrece varias opciones de salida de flujo, entre las que se encuentran: los niveles de agua (si se dispone de ellos), la curva de calibración Nivel - Caudal (cuando se tiene) o el vertimiento libre del flujo. Aunque lo ideal sería disponer de alguna de las dos primeras opciones para propósitos de calibración, en muchos casos en la práctica no se cuenta con suficiente información medida en campo. Tal es el caso en el municipio de Zarzal, por lo cual en los cauces modelados se introdujo en las fronteras inferiores de los cauces, la opción de “Salida libre del flujo”. Además de asignar los elementos de salida de los

cauces y canales se deben definir los elementos de salida del flujo de la planicie de la zona de estudio, pues, de lo contrario, se crearía un efecto de remanso que no representa la realidad. Para ello se definen la frontera aguas abajo que se encuentran ubicados en los bordes del dominio computacional, donde las elevaciones presentan los niveles más bajos. Se pueden definir cuantos nodos de salida se requieran; sin embargo, hay algunas especificaciones que deben ser tenidas en cuenta para su ubicación (deben estar alejados de las zonas de interés y no deben contener ningún otro elemento como calles u obstrucciones).

6.5.1.1.5. Condiciones iniciales

Las condiciones iniciales en el modelo hidrodinámico se refieren a las características hidrodinámicas (niveles de agua y caudales) que se presentan en el instante inicial (t = 0) del periodo a simular en toda el área de estudio. Estas características hidrodinámicas deben corresponder a las condiciones reales en la naturaleza o prototipo y, por lo tanto, deben ser medidas en campo simultáneamente en toda la zona de estudio. Sin embargo, frecuentemente no es posible disponer de esta información debido a las dificultades económicas para llevarlas a cabo. El modelo matemático, teniendo en cuenta lo anterior, tiene la opción de no exigir al modelador el ingreso de estas condiciones iniciales. Considerando que en la zona de estudio del municipio de Zarzal no se dispone de esta información se optó por esta facilidad del modelo HEC RAS. En este caso el modelo genera las condiciones iniciales a partir de los caudales correspondientes al instante inicial de las hidrógrafas de caudales definidas en las fronteras del modelo.

6.5.1.1.6. Simulación

Una vez introducida la información esquematizada o discretizada de toda el área a analizar en el modelo matemático HEC RAS se debe dar inicio al proceso de calibración y verificación del modelo con base en la información disponible de caudales, niveles, áreas inundables y registros históricos. Igualmente, se realiza el análisis de sensibilidad con el fin de investigar la influencia de los principales parámetros numéricos y físicos en el comportamiento hidrodinámico de los cauces y canales de la zona de estudio del municipio de Zarzal.

6.5.1.1.7. Calibración

La calibración de un modelo consiste en el proceso de ajuste de los elementos geométricos simplificados (batimetría, contornos de estructuras, etc.) y de los valores de los coeficientes empíricos (hidráulicos, de transporte, de sedimentos, etc.) que aparecen en las diferentes ecuaciones (hidrodinámicas, de los sedimentos, etc.), de tal manera que los eventos simulados en el modelo reproduzcan de la mejor manera posible los eventos de la naturaleza.

Generalmente los resultados del modelo al inicio del proceso de calibración difieren en mayor o menor grado de los valores medidos en la naturaleza. El objetivo fundamental de la calibración es, por lo tanto, afinar el modelo de tal manera que las diferencias entre los valores calculados en la simulación y los valores medidos en la naturaleza sea mínima o despreciable. Este ajuste debe realizarse siempre teniendo en cuenta las características físicas de los diferentes parámetros y variables involucradas en los procesos hidrodinámicos y sedimentológicos en los cauces, de tal manera que los mismos (parámetros y variables) deben encontrarse dentro de rangos característicos de los cauces como de la zona de estudio (rangos físicamente válidos).

El potencial de un modelo para reproducir y predecir los eventos reales (flujos, sedimentación, erosión, etc.) y la calidad potencial de su calibración dependerá de la calidad y cantidad de los datos topográficos, topológicos, hidráulicos y sedimentológicos disponibles para el sistema en estudio (Cunge, et al, 1980).

- **Parámetros susceptibles de ajuste en el modelo matemático**

El proceso de ajuste se debe iniciar por los parámetros que más afectan los resultados del modelo. Para identificar estos parámetros, el análisis de sensibilidad puede ser de gran ayuda.

Los siguientes son los parámetros usualmente susceptibles de ajuste en el modelo matemático:

Batimetría (área de flujo de las secciones transversales)
Topografía de la planicie
Rugosidad del lecho y de la planicie
Factor de variación en la vertical de la rugosidad del lecho y la planicie
Limitación del número de Froude
Intervalo de tiempo, Δt
Tamaño de celda, Δx

Es importante mencionar que la información con la cual se cuenta para realizar la calibración es muy limitada; únicamente se tienen, con base en los registros de eventos históricos de inundaciones, la delimitación aproximada de las zonas del casco urbano y de expansión urbana del municipio de Zarzal en donde se han presentado estos eventos. Por lo tanto, la calibración del modelo se debe realizar con base en el área inundada, asumiendo que dicha área fue afectada por inundaciones correspondientes al periodo de retorno de 100 años.

6.5.1.1.8. Verificación del modelo

La verificación del modelo consiste en efectuar una o más simulaciones hidrodinámicas para otras condiciones de niveles y caudales diferentes a las empleadas durante el proceso de calibración. Para ello se deberá disponer de la información de campo suficiente (para el modelo hidrodinámico son los niveles de agua, las velocidades de la corriente y los caudales) en las secciones de control preestablecidas. Los resultados del modelo para estas nuevas condiciones se compararían con los datos de campo disponibles en las secciones o estaciones de control. Si se obtiene un buen ajuste, se considera que el modelo ha sido verificado. En caso contrario, se deberá revisar el proceso de calibración y realizar los ajustes correspondientes al modelo (p.e. revisar los factores de rugosidad, niveles batimétricos, condiciones de frontera, etc.).

En el caso particular del modelo matemático de la zona de estudio del municipio de Zarzal no se dispone de información de campo suficiente para poder realizar una verificación adecuada del modelo. Únicamente se cuenta con las hidrógrafas de caudales en los cauces modelados, correspondientes a los periodos de retorno.

Debido a esta limitación el modelo debe ajustarse lo mejor posible una vez terminada la calibración, de acuerdo con los mapas de registros de eventos históricos de inundaciones existentes en la zona de estudio.

6.5.1.1.9. Análisis de sensibilidad

Un análisis de sensibilidad permite evaluar la influencia de un determinado parámetro físico o numérico en los resultados de la simulación de un proceso en un sistema; es decir, permite investigar la respuesta del sistema cuando un parámetro dado es modificado. De esta manera es posible establecer los parámetros más sensibles o influyentes en el proceso de simulación, por cuanto pequeñas variaciones en ellos originan grandes cambios en la hidrodinámica del sistema, en algún sector o en toda el área de estudio. Este proceso puede realizarse manualmente o usando programas elaborados con este propósito.

El análisis de sensibilidad suministra información valiosa para diferentes fines:

- Precisión requerida para los datos de entrada del modelo, las condiciones iniciales y otros parámetros como la rugosidad
- Establecer los parámetros que ejercen mayor influencia sobre las respuestas del modelo
- Calibración del modelo
- Diseño y ejecución de nuevos programas de campo, haciendo énfasis en las variables que mayor influencia ejercen en los procesos hidrodinámicos y sedimentológicos

- **Análisis de sensibilidad del modelo de la zona de estudio del municipio de Zarzal**

El análisis de sensibilidad del modelo matemático de la zona de estudio del municipio de Zarzal se realizó variando de forma individual un número de factores asumidos independientemente para el fenómeno de inundaciones. Se evaluó la influencia de cada uno de los parámetros en la hidrodinámica del río, esto es, en la variación de las profundidades, los caudales y las velocidades de flujo. Esto se realizó con el fin de estimar las posibles variaciones que se generan en los resultados del modelo al modificar cada parámetro. Finalmente, y como parte del proceso de calibración del modelo, se escogieron los valores de los parámetros que al ser implementados en el modelo matemático de la zona de estudio arrojan los resultados de las áreas inundadas que se asemejan más a las áreas inundadas registradas en el mapa de eventos históricos para el fenómeno de inundaciones.

Con base en los valores finalmente adoptados de los diferentes parámetros numéricos y físicos para simular el fenómeno de inundaciones se procedió a analizar el fenómeno de inundaciones, en donde se realizó también la variación de algunos parámetros como se indica más adelante; para este fenómeno se efectuó el mismo proceso de comparación de resultados en los mismos sitios de interés, hasta encontrar los valores definitivos para realizar la simulación de dicho fenómeno, es decir, la combinación de parámetros que permiten reproducir con mayor aproximación la extensión de las áreas afectadas por las inundaciones.

Para el análisis de la influencia en la hidrodinámica de la quebrada Limones en cada uno de los parámetros físicos y numéricos se realizaron diferentes simulaciones numéricas, variando en cada una de ellas solamente el valor del parámetro en consideración dentro de un rango relativamente amplio, así:

Rugosidad del lecho: los valores de rugosidad de Manning se variaron desde 0.03 hasta 0.07 $s/m^{1/3}$. Finalmente, el valor adoptado de la rugosidad para la quebrada Limones fue de 0.046 $s/m^{1/3}$ en los

tramos en los que se encuentra en tierra y de 0.015 $s/m^{1/3}$ en lo tramos donde se encontrase revestido el cauce.

Intervalo de tiempo, Δt: este parámetro se redujo gradualmente hasta encontrar que las diferencias en las profundidades, los caudales y las velocidades del flujo calculadas para dos simulaciones consecutivas fueran despreciables. El intervalo de tiempo, Δt, fue variado desde 0.1 horas hasta 0.0005 horas. De acuerdo con los resultados obtenidos, se seleccionó un intervalo de tiempo de 0.016 horas, es decir, 1 minuto, el cual permite reproducir de manera bastante aproximada las áreas inundadas históricamente. Cuando se utilizan intervalos de tiempo menores a 1 minuto no se mejora la precisión de los resultados, pero sí se incrementa de manera apreciable el tiempo computacional.

Tamaño de celda, Δx: como se indicó previamente, se construyeron e implementaron cuatro mallas con celdas de distintos tamaños y se compararon los resultados. Finalmente, se adoptó un tamaño de celda de 5 m de lado, por cuanto el modelo arroja una mayor precisión y el tiempo computacional es todavía razonable pues, como se indicó previamente, la malla con celdas de 1 m de lado dio como resultado un número excesivo de celdas y, por consiguiente, un tiempo computacional muy alto.

6.6. RESULTADOS

Una vez definidos los valores de los diferentes parámetros mediante los procesos de análisis de sensibilidad y calibración, se procedió a realizar las simulaciones para la determinación de las áreas potencialmente inundables y los niveles de amenaza para los escenarios correspondientes a los periodos de retorno de 10, 25 y 100 años, para los fenómenos de inundaciones.

6.6.1. Determinación de la cartografía de amenaza por inundación

Las condiciones morfológicas y climáticas del municipio de Zarzal favorecen la ocurrencia periódica de inundaciones ocasionadas por las fuertes lluvias en las partes altas y medias de la cuencas que provocan el aumento de los caudales y los niveles de agua en estos cauces y la escorrentía directa que llega a la zona urbana y de expansión procedente de las laderas adyacentes, inundando los sectores más bajos de la población esto acompañado de la poca capacidad hidráulica de las estructuras en algunos sectores.

Los desbordamientos de los cauces en la zona de estudio durante las épocas de invierno siempre han generado efectos negativos en las zonas pobladas y los terrenos dedicados a la agricultura y a la ganadería. Desde las primeras décadas del siglo XX las planicies de inundación de estos cauces han venido siendo urbanizadas, originando con ello un gran problema social. Con el propósito de disponer de una herramienta para la planificación del uso del suelo y gestión del riesgo se adelanta este estudio de amenazas naturales por inundaciones y avenidas torrenciales en el municipio.

En este capítulo se presentan los mapas de inundaciones (que registran las profundidades de agua en las áreas inundadas) y de amenaza por inundaciones (que indican la frecuencia y la magnitud de la inundación) originadas por los desbordamientos de la quebrada Limones, producto de las lluvias, que desciende de las laderas y afecta la zona urbana y de expansión urbana del municipio de Zarzal.

En este estudio se evalúan las inundaciones: causadas por los desbordamientos de los cauces durante las crecientes, las cuales transportan los sedimentos del propio cauce y aquellos generados por la erosión laminar de los suelos de la cuenca por la acción directa de las lluvias y que se ha definido amenaza por inundación.

6.6.2. Consideraciones generales sobre las inundaciones

Las inundaciones constituyen eventos recurrentes en los ríos y se presentan como consecuencia de lluvias fuertes y continuas que superan la capacidad de transporte de los ríos y la capacidad de absorción del suelo. Debido a esto el nivel del agua supera el nivel de banca llena del cauce principal del río y se produce la inundación de las planicies y tierras adyacentes. Estos eventos ocurren de forma aleatoria en función de los procesos climáticos locales y regionales. Se ha determinado estadísticamente que los ríos igualan o exceden su nivel de banca llena, en promedio, cada 2.33 años.

Las inundaciones pueden ocurrir debido al comportamiento natural de los ríos o a alteraciones producidas por el hombre. Las condiciones naturales corresponden a las características climáticas y físicas propiciadas por la cuenca en su estado natural, como son: el relieve, el tipo de precipitación, la cobertura vegetal y la capacidad de drenaje. Entre las alteraciones provocadas por la acción del hombre se tienen: la impermeabilización de los suelos al urbanizarlos, la deforestación, la alteración de los cursos y la canalización de los ríos, la construcción de obras hidráulicas, etc.

Una cuenca en estado natural posee mayor interceptación vegetal, mayores áreas permeables, menor escurrimiento superficial del suelo y un drenaje más lento en relación con las características que presenta una vez es intervenida. Por esta razón las inundaciones se producen con menor frecuencia en una cuenca no intervenida.

Los problemas resultantes de los desbordamientos de las corrientes de agua dependen del grado de ocupación de la planicie de inundación y de la frecuencia con la cual ocurren las inundaciones. La población de mayor poder adquisitivo tiende a habitar las localidades seguras, mientras que la población más pobre tiende a ocupar las áreas de alta amenaza de inundación, provocando problemas sociales que se repiten durante cada creciente. Cuando la frecuencia de las inundaciones es baja la población subvalora la amenaza y ocupa las zonas inundables. Esta situación genera consecuencias catastróficas cuando se presentan nuevos desbordamientos. No obstante, la predicción de las inundaciones y sus efectos es una tarea bastante compleja, por cuanto el pronóstico del comportamiento hidrológico de largo plazo es difícil, debido, a la aleatoriedad de los fenómenos meteorológicos y, al gran número de parámetros y variables involucradas en los procesos hidrológicos (lluvia – escorrentía).

Normalmente las inundaciones suelen ser descritas en términos de su periodo de retorno, el cual corresponde al intervalo promedio de recurrencia entre eventos que igualan o exceden una magnitud especificada. Una inundación con un periodo de retorno de 100 años se refiere a un evento que presenta una probabilidad de ocurrencia del 1% en cualquier año, o también al evento que se presenta cada 100 años, en promedio. Estos periodos de retorno se determinan a partir de la información histórica existente, que en muchos casos corresponde a periodos demasiado cortos, por lo cual la estimación realizada tiene asociada una fuerte incertidumbre.

La variación del nivel del agua en una creciente de un río depende de las características climáticas y físicas de la cuenca hidrográfica y su predicción puede ser realizada a corto o largo plazo. La previsión a corto plazo, también llamada en tiempo real, permite establecer el nivel y su tiempo de ocurrencia en una sección de un río con una anticipación que depende de los tiempos de escurrimiento de la cuenca y las distribuciones temporal y espacial de la precipitación. Dado que estas distribuciones sólo pueden ser estimadas en forma confiable con antecedencia de pocos días u horas, la predicción de niveles no puede realizarse con una anticipación muy grande.

La predicción a largo plazo cuantifica la probabilidad de ocurrencia de inundaciones en términos estadísticos, sin precisar cuándo ocurrirán. La predicción se basa en la estadística de ocurrencia de niveles en el pasado y permite escoger los niveles de crecientes para algunos riesgos escogidos.

6.6.3. Medidas para el control y el manejo de inundaciones

Las medidas para el control y el manejo de las inundaciones pueden ser de tipo estructural y no estructural. Las medidas estructurales son aquellas que modifican el sistema fluvial evitando o mitigando los daños generados por las crecientes, en tanto que las medidas no estructurales son aquellas en que la magnitud de los daños se reduce como consecuencia de una mejor convivencia de la población con las crecientes. Las medidas estructurales son todas aquellas obras de ingeniería (diques, presas, canales de desviación, etc.) en las cuales se interviene el sistema fluvial natural afectando sus proceso hidrodinámicos y morfológicos. Estas intervenciones pueden originar efectos adversos en el sistema fluvial que requerirán para su manejo y control la construcción de nuevas obras.

Las medidas estructurales no pueden ser proyectadas para dar una protección total, ya que esto exigiría una protección contra la mayor creciente posible, lo cual física y económicamente no es factible. Es decir, las medidas estructurales no permiten controlar o evitar por completo las inundaciones, solamente tienden a minimizar los impactos originados por éstas. Una medida estructural puede crear una falsa sensación de seguridad, generando una mayor ocupación de áreas inundables, lo cual podría ocasionar daños significativos cuando se presenten inundaciones superiores al evento de diseño.

En consecuencia, el control y el manejo más eficaz de las inundaciones se obtiene al establecer estrategias que combinen las medidas estructurales y no estructurales, permitiendo a la población minimizar las pérdidas y lograr una convivencia armónica con el río. Es decir, las medidas no estructurales complementan con gran efectividad las actuaciones estructurales por encima de su umbral de protección.

El costo de protección de un área inundable a través de medidas estructurales, en general, es superior al de las medidas no estructurales. Por esta razón, las medidas no estructurales en conjunto con las estructurales pueden disminuir significativamente los daños con un costo menor.

6.6.3.1. Medidas estructurales

Las medidas estructurales son obras de ingeniería construidas para reducir el riesgo originado por las crecientes. Estas medidas pueden ser extensivas o intensivas. Las medidas extensivas son aquellas que cubren toda la cuenca, procurando modificar la relación entre precipitación y caudal,

como, por ejemplo, un cambio en la cobertura vegetal del suelo, la cual reduce y retarda los picos de las crecientes y controla la erosión de la cuenca.

Las medidas intensivas son aquellas que se enfocan en el río y pueden ser de tres tipos: (*i*) obras que aceleran el escurrimiento, como son la construcción de diques, el aumento de la capacidad de descarga de los ríos y el corte de meandros; (*ii*) obras que regulan la creciente, como, por ejemplo, las presas; y, (*iii*) obras que desvían parte del caudal, como son los canales de desvíos. En la Tabla 6.16 se presentan las principales características de las medidas estructurales.

Tabla 6.16. Descripción de las principales obras estructurales para control de las crecientes e inundaciones

MEDIDAS		VENTAJA	DESVENTAJA	APLICACIÓN
Extensivas	Cambio de la cobertura vegetal	Reducción pico de la creciente	Impracticable para grandes áreas	Cuencas pequeñas
	Control de pérdidas	Reducción del escurrimiento	Impracticable para grandes áreas	Cuencas pequeñas
Intensivas	Construcción de diques	Alto grado de protección	Generación de grandes daños si fallan	Ríos grandes
	Reducción de la rugosidad por desobstrucción	Aumento en la capacidad de drenaje con poca inversión	Efecto localizado	Ríos pequeños
	Corte de meandros	Aceleración del escurrimiento	Impacto negativo en ríos aluviales	Áreas de inundación estrechas
	Construcción de represas	Regulación de la creciente	Difícil localización	Cuencas medianas
	Canales de desvío	Reducción del caudal en el canal principal	Dependencia de la topografía	Cuencas medianas y grandes

Fuente: elaboración propia

6.6.3.2. Medidas no estructurales

Las medidas estructurales son obras de ingeniería construidas para reducir el riesgo originado por las crecientes. Estas medidas pueden ser extensivas o intensivas. Las medidas extensivas son aquellas que cubren toda la cuenca, procurando modificar la relación entre precipitación y caudal, por ejemplo, un cambio en la cobertura vegetal del suelo, la cual reduce y retarda los picos de las crecientes y controla la erosión de la cuenca.

Las medidas intensivas son aquellas que se enfocan en el río y pueden ser de tres tipos: (*i*) obras que aceleran el escurrimiento, como son la construcción de diques, el aumento de la capacidad de descarga de los ríos y el corte de meandros; (*ii*) obras que regulan la creciente, como, por ejemplo, las presas; y, (*iii*) obras que desvían parte del caudal, como son los canales de desvíos.

6.7. MAPA DE AMENAZA POR INUNDACIÓN POR DESBORDAMIENTO

Los mapas de amenaza por inundaciones constituyen una medida no estructural para el control de inundaciones. Estos mapas son modelos que permiten la evaluación y predicción de las

consecuencias de un evento de precipitaciones extraordinarias; es decir, permiten identificar, clasificar y valorar las áreas potencialmente inundables del territorio.

La condición de amenaza se presenta únicamente cuando ocurre un evento natural en un área ocupada por actividades humanas (elementos expuestos) que deben soportar las consecuencias de dicho evento. En consecuencia, el riesgo puede dividirse en tres componentes estrechamente interrelacionados: la amenaza, la vulnerabilidad y la exposición.

La amenaza o peligro se define como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno natural con una cierta magnitud, generalmente de carácter sorpresivo y de evolución rápida, que afecta a un componente o a la totalidad del sistema territorial expuesto. En consecuencia, las inundaciones constituyen las amenazas, que son el resultado de la combinación de la tipología, las características de los eventos lluviosos y el conjunto de factores físicos del área afectada. Desde esta perspectiva, la diferencia fundamental entre la amenaza y el riesgo es que la primera se refiere a la probabilidad de que se manifieste un evento natural, mientras que el segundo está relacionado con la probabilidad de que se den ciertas consecuencias.

La vulnerabilidad se refiere a la predisposición o susceptibilidad de los componentes antrópicos del sistema territorial para ser dañados total (destrucción) o parcialmente (deterioro) debido al impacto de la amenaza. Representa la medida de probabilidad de daño o pérdida de un componente o sistema territorial expuesto a la acción de la amenaza. La vulnerabilidad depende de dos condiciones: la ubicación del componente respecto a la zona de impacto de la amenaza (exposición) y las características y el estado de conservación del mismo. Por tanto, la vulnerabilidad es esencialmente una condición humana (Lavell, 1996).

La exposición o elementos en riesgos se refieren a la distribución espacial de la población, actividades económicas, bienes materiales, obras de ingeniería, etc., sobre las que puede impactar la amenaza. En consecuencia, el riesgo de las inundaciones depende de la ocurrencia y magnitud de la amenaza natural y de la vulnerabilidad de un elemento o sistema territorial expuesto a ella.

Un desastre natural constituye la ocurrencia efectiva y real del riesgo que, debido a la vulnerabilidad de los elementos expuestos, causa efectos negativos sobre los mismos. En el caso de las inundaciones, la manifestación del desastre se presenta cuando el impacto de los desbordamientos supera los mecanismos de defensa adoptados por la sociedad, generando perjuicios económicos, sociales, físicos, etc. Así, para que un evento de desbordamiento se convierta en desastre es necesario que sus consecuencias tengan un impacto en una estructura humana vulnerable. Por esta razón, no todos los eventos de precipitaciones fuertes o constantes pueden ser considerados como amenazas, por cuanto su peligrosidad depende del grado de vulnerabilidad de los elementos expuestos al riesgo.

Para la evaluación del riesgo de inundaciones es necesario determinar, en primer término, los mapas de amenazas (mapa de inundación) y de vulnerabilidad, para posteriormente integrarlos, obteniendo el mapa de riesgos.

La realización de una cartografía de riesgo es un paso previo ineludible a la puesta en práctica de cualquier tipo de medida no estructural y, por tanto, esencial para poder llevar a cabo una gestión eficaz de las zonas inundables.

6.7.1. Clasificación de la amenaza en planicies de inundación

El estado del arte en los criterios de evaluación de la magnitud del evento está basado en las combinaciones de factores hidrodinámicos y características del terreno sobre el cual actúa el fenómeno. En general, la magnitud e intensidad de la amenaza, originada por el desbordamiento de un río, en una planicie de inundación se ha establecido a partir de cuatro criterios.

1. Magnitud e intensidad asociada a las profundidades de agua. Se estima que profundidades de agua superiores a cierto valor pueden causar daños importantes. Este criterio es el más utilizado y en algunas ocasiones el único implementado por las entidades encargadas de la administración de los recursos hídricos.

2. Magnitud e intensidad asociada a la velocidad del flujo. Se fundamenta en el peligro que representa para las personas y los vehículos la capacidad de arrastre y erosión de flujos de agua de altas velocidades.

3. Magnitud e intensidad asociada a la combinación de las profundidades de agua y las velocidades. A partir de ciertos valores esta combinación resulta peligrosa e impide que las personas permanezcan de pie o puedan maniobrar a través del flujo. Este criterio fue propuesto en la última década utilizando una cantidad limitada de datos experimentales. En la actualidad se están desarrollando experimentos tendientes a determinar la profundidad y la velocidad del flujo que generan inestabilidad en las personas.

4. Magnitud e intensidad asociada a la capacidad del flujo para generar erosión y transportar escombros.

Adicionalmente, el tiempo de duración de la creciente es otro parámetro importante en la determinación de la magnitud e intensidad de la amenaza por inundaciones

6.7.2. Determinación de caudales extremos

La extensión de las áreas inundadas durante un desbordamiento está asociada al caudal que genera la creciente. Entre mayor sea el caudal que discurre por el río mayores serán las áreas que resultarán anegadas. Los caudales que generan crecientes corresponden a eventos extremos que afectan eventualmente los sistemas hidrológicos. La magnitud de estos caudales está inversamente relacionada con la frecuencia de ocurrencia (caudales muy extremos se presentan con una frecuencia muy baja) a través de un análisis basado en distribuciones de probabilidad.

El número promedio de años en que un caudal de determinada magnitud es igualado o excedido se define como el periodo de retorno o de recurrencia de ese caudal. El periodo de retorno es un concepto estadístico que no implica que un determinado caudal no pueda ser superado dos veces en un número de años menor al especificado por dicho período.

La determinación de los caudales extremos en los diferentes cauces involucrados se realizó mediante la modelación hidrológica (a través de la implementación del modelo HEC-HMS del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos) con base en los análisis de los registros de precipitaciones en las estaciones climatológicas localizadas en la zona de estudio.

6.7.3. Modelación hidrodinámica y generación del mapa de inundación por desbordamiento

Para la modelación hidrodinámica de las crecientes y la posterior generación de los correspondientes mapas de inundación se realizó inicialmente un análisis preliminar de las características de las inundaciones que se presentan en la quebrada Limones. Las crecientes de estos cauces presentan duraciones relativamente variables. Sin embargo, en promedio las crecientes presentan una duración entre 3 y 12 horas. En este estudio se adoptó el valor más crítico registrado que corresponde a 8 horas para un periodo de retorno de 100 años.

La modelación hidrológica permitió determinar las hidrógrafas de caudales en las fronteras seleccionadas de los cauces de la zona de estudio, las cuales describen el comportamiento o evolución temporal de las crecientes. Posteriormente, mediante la implementación del modelo hidrodinámico HEC RAS, se realizó el tránsito de las hidrógrafas de caudales, generando de esta manera los mapas de inundaciones. Los parámetros de calibración de los modelos hidrodinámicos se determinaron siguiendo la metodología descrita previamente

6.7.3.1. Modelación hidrodinámica y generación de mapas de inundación por escenarios para los fenómenos de inundaciones

La modelación hidrodinámica de las crecientes de los cauces y la escorrentía superficial de las lluvias correspondientes a los periodos de retorno de 10, 30 y 100 años se inicia definiendo la zona de modelación, la cual debe incluir el área urbana y de expansión urbana del municipio. La quebrada Limones son cauces importantes que atraviesan el casco urbano. Después de definir las hidrógrafas de caudales como condiciones hidrodinámicas en las fronteras del modelo se procedió a realizar la simulación hidrodinámica siguiendo las diferentes etapas como se describió detalladamente con anterioridad (implementación del modelo, análisis de sensibilidad, calibración y simulación de escenarios). Con base en los resultados del modelo hidrodinámico HEC RAS se generaron los mapas de inundación utilizando el software ArcGIS.

Una vez obtenidos los mapas de inundaciones para los eventos correspondientes a periodo de retorno de 100 años se procedió a implementar la metodología de amenaza (niveles de intensidad vs. niveles de frecuencia) para determinar los mapas de amenaza por inundaciones, permitiendo así establecer en cada escenario los niveles de amenaza (alta, media y baja).

6.8. GENERACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA DE AMENAZA GLOBAL POR INUNDACIONES

Para el fenómeno de inundaciones por desbordamiento se determinó el mapa de amenaza, considerando en cada espacio del territorio (o celda de la malla computacional) la situación o nivel de amenaza más crítico establecido para el periodo de retorno evaluado de 100 años.

Los mapas de inundación por desbordamiento y precipitaciones sobre la cabecera urbana del municipio de Zarzal para el periodo de retorno de 100 años obtenidos se presentan en la Figura 6.5 en ella se muestra la zonificación de los diferentes niveles de amenaza por inundación por desbordamiento.

6.8.1. Integración de los mapas de amenaza global por inundaciones

Con base en los mapas de amenaza global por inundaciones y por avenidas torrenciales se determinó finalmente un mapa único de amenaza para el municipio de Zarzal que integra estos dos mapas, adoptando los niveles de amenaza más críticos establecidos en cada una de las celdas del área de estudio. Este mapa establece el nivel de amenaza más crítico hallado en cada celda de la zona de estudio considerando los dos fenómenos evaluados. El mapa integrado de amenaza por inundaciones se presenta en la Figura 6.5.

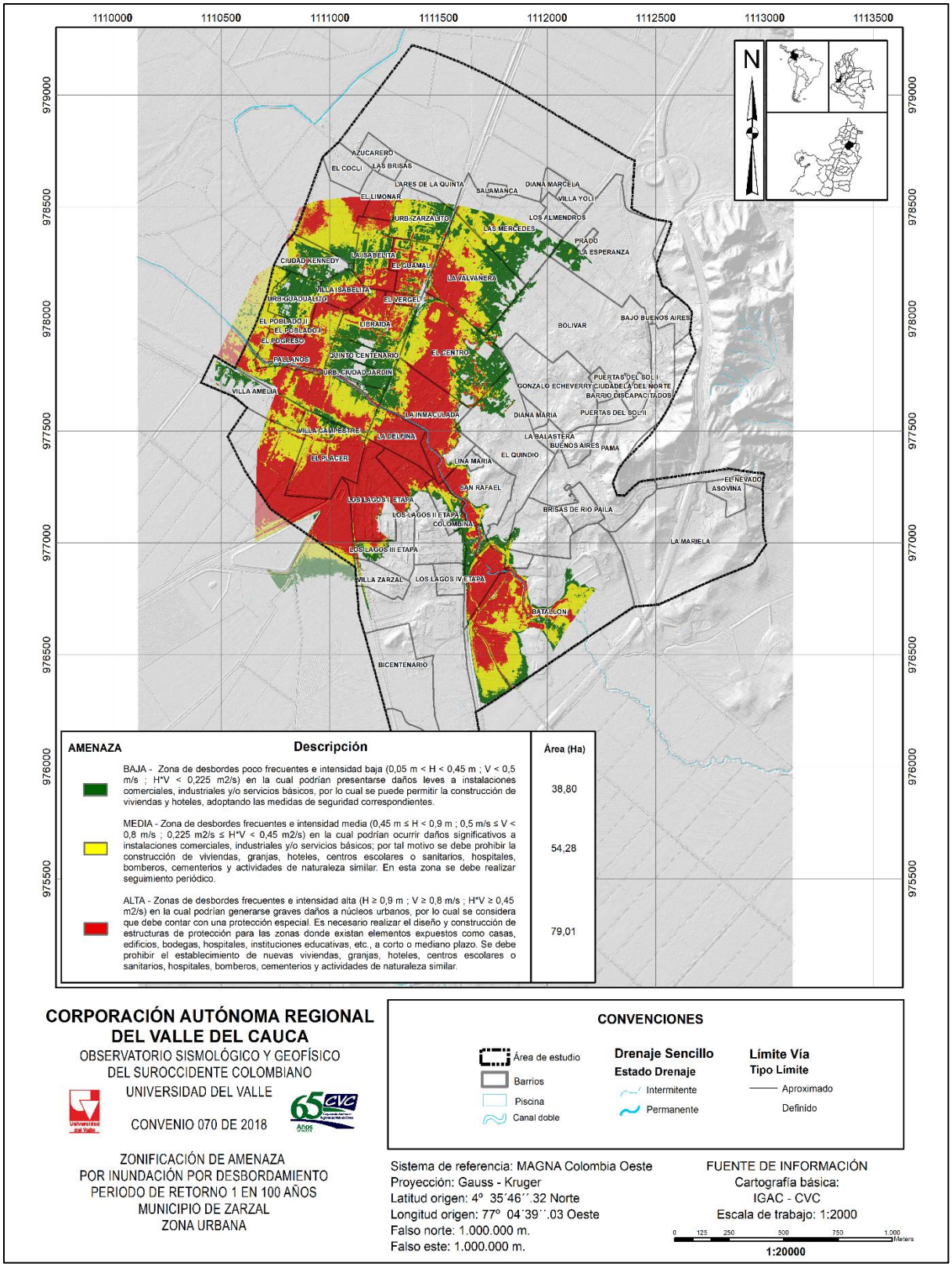


Figura 6.5. Zonificación de amenaza por inundación por desbordamiento - Periodo de retorno de 100 años

Fuente: elaboración propia

7. AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

La zonificación de amenazas del territorio es una de las herramientas necesarias para la administración racional de la ocupación de áreas socio-económicamente aprovechables. También permite a los entes territoriales la toma de decisiones en relación con el mejoramiento de la calidad de vida de la comunidad, ya que es un insumo para el ordenamiento, planeación territorial y la gestión de riesgos, entre otros. Es fundamental para determinar bien sea el emplazamiento de vivienda, usos comerciales, industriales, institucionales, recreación, infraestructura, conservación entre otros. Además, permitirá restringir y condicionar el uso del suelo, en zonas de amenaza alta, de manera que en el futuro se eviten eventuales demandas y problemas asociados a reubicación de viviendas.

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 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 requiere gran cantidad de información de aspectos tales 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, régimen de flujo de aguas subterráneas), parámetros geomecánicos de materiales e intensidad y probabilidad de ocurrencia de factores detonantes tales como lluvias y sismos (CVC y Univalle, 2010).

Una vez expedida la Ley 1523 de 2012 (Ley de Gestión del Riesgo de Desastres), los municipios de Colombia, deben realizar estudios de riesgos naturales como parte fundamental de las políticas encaminadas a la planeación territorial, en post del desarrollo de la población y del municipio. Siendo la evaluación de la amenaza una parte en la valoración del riesgo, este capítulo se enfoca en evaluar y zonificar la amenaza por movimientos en masa para el área urbana del municipio de Zarzal - Valle del Cauca, incorporado en el Convenio Interadministrativo N°070 de 2018 entre la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca -CVC y La Universidad del Valle , el cual tiene como objeto “Aunar Esfuerzos Técnicos y Recursos Económicos para la Elaboración de los Estudios de Zonificación de Amenaza y Vulnerabilidad y Escenarios de Afectación a nivel de detalle, para Áreas urbanas de los municipios de El Dovio, Obando, Pradera, Toro, Ulloa y Zarzal en el Valle del Cauca”.

Los estudios, que dan como resultado la zonificación de amenazas, vulnerabilidad y riesgos, se elaboran con el fin de aportar a la disminución de la vulnerabilidad frente a las amenazas naturales y socio naturales en cada una de las áreas urbanas en relación con las limitaciones del territorio, es decir, se aborda el proceso de conocimiento del riesgo a partir del análisis de amenazas y riesgos a nivel de zonas urbanas, acorde con lo definido por el Decreto 1077 de 2015, lo cual permitirá abordar de manera adecuada los procesos de planificación ambiental y territorial, definiendo con mayor precisión las medidas prospectivas y correctivas a implementar.

Para la evaluación se toma como base parte de la metodología empleada en la Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa del Servicio Geológico.

Colombiano de 2016, igualmente, para determinar la amenaza por movimientos en masa, se realizó un amplio trabajo de campo, que permitió cartografiar y evaluar los principales parámetros que caracterizan el terreno, logrando con ello determinar los niveles de la amenaza presentes en el municipio. La metodología empleada para elaborar la modelación de la amenaza fue Equilibrio Limite, Talud Infinito, Montecarlo, etc. El método de Montecarlo consiste en una técnica numérica para calcular probabilidades y otras cantidades relacionadas, utilizando secuencias de números aleatorios, los datos se obtienen a partir de los estudios geotécnicos, las pruebas en campo y ensayos de laboratorio. La distribución espacial de la amenaza busca aportar conocimientos que permitan una planificación del territorio acorde con sus verdaderos requerimientos y necesidades, puesto que, la amenaza por movimientos en masa es una herramienta útil para definir políticas regionales que contribuyan a la defensa del medio ambiente, conservación y protección de los suelos, de los ecosistemas, planificación territorial y en general toma de decisiones concernientes a la población, la economía y desarrollo sostenible del municipio. Cabe mencionar que esta amenaza por movimientos en masa es un insumo para la valoración de la vulnerabilidad y riesgos, los cuales estarán contenidos en otro informe.

7.1. CONCEPTUALIZACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIEMTO EN MASA

7.1.1. Amenaza

La ley 1523 del 2012 la define la amenaza como “el peligro latente de que un evento natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdidas de vidas, lesiones u otros impactos en la salud, así como también daños y pérdidas en los bienes, la infraestructura, los medios de sustento, la prestación de serviciosy los recursos ambientales”.

Enfocado al estudio en cuestión, la Unión Internacional de Ciencias Geológicas - IUGS (1997) (citada por Suárez 2009) establece la amenaza relacionada directamente con los movimientos en masa como “una condición con el potencial de causar una consecuencia indeseable. Una descripción de amenaza a deslizamientos debe incluir las características de éstos, el volumen o áreas de los movimientos, las profundidades, las velocidades y su probabilidad de ocurrencia. La amenaza es la probabilidad de que ocurra un deslizamiento particular en un determinado tiempo”.

El Servicio Geológico Colombiano SGC define que los movimientos en masa incluyen todos aquellos movimientos ladera abajo de una masa de roca, de detritos o de tierras por efectos de la gravedad. Los cuales equivalen a definiciones como procesos de remoción en masa, fenómenos de remoción en masa, deslizamientos o fallas de taludes y laderas (SGC, 2016: 19).

7.1.2. Zonificación de amenaza

La “zonificación, es 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 dada en función de la escala de trabajo” (Decreto 1077 de 2015). “Para la zonificación de la amenaza, ésta se categorizará en alta, media y baja, que se establece según el método empleado. En todo caso las áreas con procesos activos se consideran en la categoría alta” (SGC, 2016: 19).

Adicional a lo anterior, el Centro de Estudios Agrarios y Ambientales de Chile expresa que "la zonificación es parte del proceso de ordenamiento territorial. Consiste en definir zonas con un manejo o destino homogéneo que en el futuro serán sometidas a normas de uso a fin de cumplir los objetivos para el área. El modelo de zonificación es útil para distintos tipos de uso seleccionados (…)".

7.1.3. La clasificación de los movimientos en masa

La clasificación de los movimientos en masa presente en este documento, sigue la distribución hecha por Cruden y Varnes (1996), donde enfatizan en el material involucrado y el tipo de deslizamiento, estos se basaron en la clasificación propuesta por Varnes (1978), adicionalmente los autores introducen términos que consideran factores como: actividad (estado, distribución, estilo), tasa de movimiento y contenido de agua; además, proponen la combinación de nombres según el orden en que se presentan los movimientos (caída de rocas-flujo de detritos).

Caída: Separación o desprendimiento de suelo o roca desde una pendiente pronunciada a lo largo de una superficie en la que poco se produce desplazamiento de cizallamiento (desplazamiento). Una vez ocurrido el desprendimiento, el material desciende a través del aire, principalmente en caída libre, rebotando o rodando. El movimiento es muy rápido excepto cuando la masa desplazada ha sido socavada, la caída irá precedida de pequeños movimientos de deslizamiento o caída que separan el material desplazado de la masa no perturbada (Cruden y Varnes 1996).

Volcamiento: Comprende la rotación hacia delante de una masa de roca o suelo en una ladera, alrededor de un pivote o eje, por debajo del centro de gravedad de la masa que se desplaza, se divide en tres tipos (Cruden y Varnes 1996).

- Volcamiento de bloques de roca
- Volcamientos de bloques aislados
- Volcamiento de detritos

Deslizamiento: Movimiento ladera abajo de una masa de suelo o roca, predominantemente a lo largo de una superficie de ruptura o de zonas relativamente delgadas sometidas a intensos esfuerzos de corte (ibíd.). Los autores plantean que la superficie de ruptura no se desarrolla de manera simultánea a lo largo de la masa que se desplazará, sino que se inicia por agrietamientos en el terreno en la parte superior de la ladera, donde más tarde se conforma la corona del deslizamiento. Este tipo de movimiento en masa se divide en tres tipos:

- Rotacional,
- Traslacional
- Compuesto

Flujo: Se refiere a movimientos espacialmente continuos con superficies de corte efímeras y estrechamente espaciadas, las cuales por lo general no se preservan. La distribución de velocidades en la masa desplazada es similar a la de un líquido viscoso. Su límite inferior puede ser una superficie a lo largo de la cual se ha presentado un movimiento diferencial apreciable o una zona

espesa de cizallamiento distribuido. En realidad, se da una transición de deslizamiento a flujo, dependiendo del contenido de agua, la movilidad y la evolución del movimiento.

Los flujos más rápidos corresponden a los flujos canalizados de detritos, en los cuales el material pierde bastante cohesión, admite bastante agua o encuentra laderas con alta pendientes (ibíd.).

Propagación lateral: Extensión o dilatación lateral de un suelo cohesivo o masa de roca blanda, combinada con subsidencia general del material fracturado suprayacente en ese material blando, sin que se forme una superficie de falla bien definida. La extensión se manifiesta como la extrusión de material propenso a licuación o flujo plástico. Se pueden presentar dos casos generales

- Propagación lateral en bloque
- Propagación lateral por licuación

Creep: "Deformación del terreno a esfuerzo constante" que involucra el material inconsolidado de la parte superior de las laderas.

Estos materiales se pueden relacionar con saprolitos y suelos residuales, suelos volcánicos, laderas de rocas lodosas hídricamente degradadas y, con más frecuencia, coluviones arcillosos asociados a rocas lodosas.

7.2. METODOLOGÍA

En este punto se describen los aspectos metodológicos propuestos para la evaluación y posterior zonificación de amenaza por movimientos en masa, según lo dispuesto en el Decreto 1807 de 2014, "*la zonificación de amenaza en estudios básicos para el casco urbano, se realiza a escala 1:5000 con base en análisis determinísticos, mientras que para los estudios a detalle se realiza a escala 1:2000, por medio del análisis probabilístico*". Para desarrollar esta evaluación, se toma como base el diseño metodológico planteado en la "Guía para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa" del Servicio Geológico Colombiano. Este flujograma (Figura 7.1) enseña los pasos llevados a cabo para el desarrollo del presente capítulo.

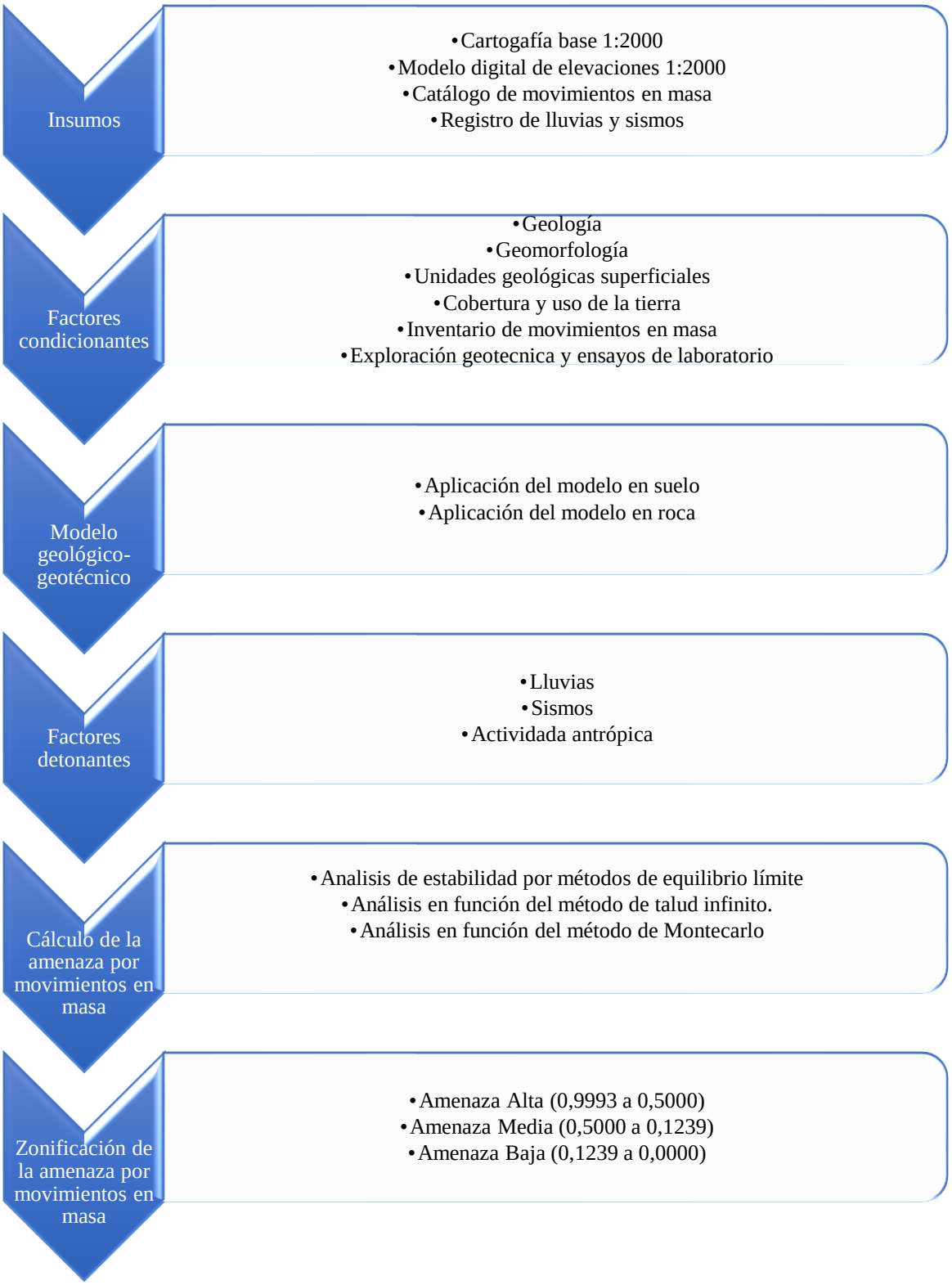


Figura 7.1. Diseño metodológico para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa-municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia, a partir del SGC (2016).

El modelo digital de elevaciones se elaboró a partir de puntos tomados con LIDAR a 30 cm (sensor óptico que transmite rayos láser hacia un objetivo mientras se mueve a través de rutas de topográficas específicas, está técnica de teledetección óptica utiliza la luz de láser para obtener una muestra densa de la superficie de la tierra produciendo mediciones exactas deX, Y y Z) con el fin de tener los valores de elevación de cada formación geológica superficial.

Catálogo de movimientos en masa: se obtuvo mediante la recopilación de información en campo y la consulta en distintas entidades, principalmente se utilizó el método intensivista, el cual consiste que con el conocimiento previo de eventos y mediante la búsqueda de diversas fuentes (publicaciones periódicas, archivo, documentos, bases de datos, catálogos) permite adquirir mayor y mejor información, con el fin de precisar datos de hora, lugar de ocurrencia, efectos y daños causados, para así establecer parámetros de medición acerca de la frecuencia de estos fenómenos. Con este método se "intensifica y extiende" el conocimiento de los eventos históricos y puede cambiarse o mejorarse la calidad de los datos existentes (Rodríguez de la Torres, 1993).

Geología, unidades geológicas superficiales y geomorfología, estas variables, fueron obtenidas por medio de observaciones y levantamientos en campo del grupo de geólogos. Puntualmente, se inició con la revisión bibliográfica con el fin de obtener la información geológica y geomorfológica existente para el municipio, seguido de un estudio fotogeológico y análisis multitemporal en el que se interpretaron los vuelos: FAL448 F42B fotos 371, 372, 373, 374, 375, 376, 377 y 378 del año 2004, FAL407 F41S fotos 256 y 257 del año 1998 e IGAC C1474 fotos 156 y 157 del año 1973, adicional a ello se analizaron el modelo digital de elevaciones y el mapa de pendientes para verificar las características de la superficie

Posteriormente se realizaron actividades de reconocimiento en campo donde se corroboraron y definieron la geología, las unidades superficiales, la geomorfología y los procesos morfodinámicos y de remoción en masa; además de las zonas erosivas presentes en el área urbana del municipio de Zarzal.

Una vez establecidos el ambiente morfogenético del área de estudio y los posibles elementos geomorfológicos presentes, se define la nomenclatura asociada, la cual fue tomada de la Guía metodología para estudios de amenazas, vulnerabilidad y riesgos por movimientos de masa del Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2015), donde la primera letra (en mayúscula) indica el origen de la geoforma (Volcánico, Marino, Eólico Antropogénico (…) y a partir de la segunda letra (en minúscula), se indican características particulares del elemento, rasgo o proceso geomorfológico (loma residual, llenos mixtos, terrazas acumulativas, entre otros). En el subcapitulo 3 se presenta en detalle la metodología utilizada.

Cobertura de la tierra: se elaboró a partir de la metodología Corine Land cover adaptada para Colombia, la cual definió una metodología específica para realizar el inventario de la cobertura de la tierra. "La base de datos de Corine Land Cover Colombia (CLC) permite describir, caracterizar, clasificar y comparar las características de la cobertura de la tierra, interpretadas a partir de la utilización de imágenes de satélite de resolución media (Landsat), para la construcción de mapas de cobertura a diferentes escalas" (IDEAM, 2014). El Corine Land Cover contempla las siguientes etapas:

Adquisición y preparación de la información; para generar los datos se emplean imágenes Landsat TM o Spot las cuales están disponibles con una frecuencia de adquisición de 16 y 26 días respectivamente, adicional a lo anterior, para complementar o validar la información, también se tienen capas de topografía, mapas de cobertura del territorio, censos o inventarios de diferentes tipos de uso u ocupación del territorio o datos estadísticos de uso y cobertura (IDEAM, 2014). Una vez se cuenta con las imágenes satelitales, se procede a ortorectificarlas, proceso que consiste en la transformación de la imagen satelital en una proyección ortogonal para eliminar la inclinación de los elementos por efecto del relieve.

Análisis e interpretación de las coberturas: se realiza a través de la visualización en computador, empleando el software ArcGis. Luego se delinean las diferentes unidades de mapeo. El procesamiento digital de las imágenes (mejoramientos espectrales, corte, proyección) se realiza con el software ERDAS 8.5 (IDEAM, 2014).

Verificación de campo: Para la verificación de campo se seleccionan zonas piloto teniendo en cuenta la diversidad de coberturas de la tierra y la toma representativa de diferentes sectores del área de estudio (IDEAM, 2014).

Control de calidad y generación de la capa temática escala 1:2000: El control de calidad hace referencia a un proceso de revisión y corrección continuo y sistemático de seguimiento del avance de las diferentes actividades que se deben adelantar en cada una de las etapas del proceso, con el propósito de garantizar la calidad geométrica, temática y topológica de la base de datos del proyecto (IDEAM, 2014).

Para este ítem la información espacial fue clasificada a escala 1:2 000, aplicando la leyenda Corine Land Cover (CLC) adaptada para Colombia (IDEAM, 2010) tal como lo recomienda la guía del Servicio Geológico Colombiana (SGC) (Ávila-Álvarez et al., 2015). La metodología consistió en la interpretación de ortofotos de 10x10 cm de resolución espacial, la verificación en campo y el análisis de la clasificación final a la luz de los requerimientos para la zonificación de amenaza por movimiento en masa en Colombia. En la Figura 7.2, se describe gráficamente el proceso metodológico.

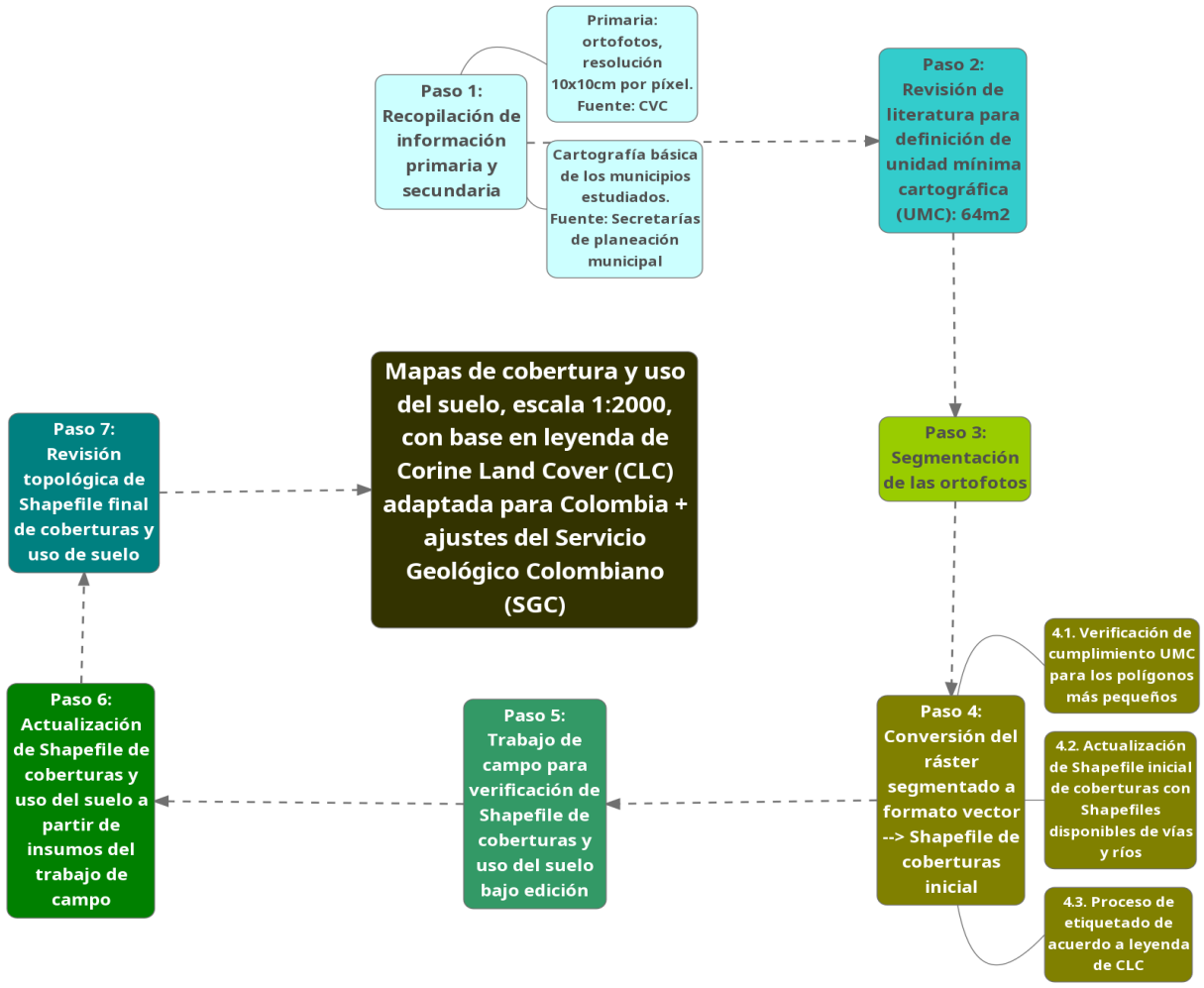


Figura 7.2. Procedimiento metodológico para la elaboración de mapas de cobertura de la tierra
Fuente: elaboración propia

La herramienta «Mean Shift Segmentation» (Comaniciu y Meer, 2002) fue usada para clasificar ortofotos de acuerdo a la UMC (Unidad Mínima Cartográfica) establecida. Luego, se realizó la conversión de los mapas segmentados de formato ráster a vector para su posterior manipulación y etiquetado según la leyenda de «Corine Land Cover» (CLC) (Ávila-Álvarez et al., 2015; IDEAM, 2010). También se definió una «zona de influencia» o «Buffer» de cien metros a parir del perímetro del municipio para establecer el límite del área a clasificar. El Shapefile de coberturas segmentado fue cortado, con la referencia de la zona de influencia definida. Más adelante, se ejecutó la herramienta «Eliminate» para asegurar que los polígonos más pequeños (resultados de la conversión de ráster a polígono) tuvieran como mínimo 64m^2 (área de la UMC).

Con el fin de facilitar el etiquetado de las zonas verdes urbanas, se realizó una consulta y selección SQL (Lenguaje de consulta estructurada (SQL, por sus siglas en inglés)). de los valores de segmentación —resultado de la herramienta «Mean Shift Segmentation», cuyo rango es 0-240— menores a 80 para Zarzal. En ese mismo los polígonos de tejido urbano continuo y discontinuo se seleccionaron consultando los valores superiores a 100 para El municipio de Zarzal.

Se realizó trabajo de campo con el acompañamiento de oficiales de la CVC, Oficina de Planeación Municipal y UMATA (Unidad Municipal de Asistencia Técnica Agropecuaria) del municipio. Se hizo la verificación en oficina y campo. Las principales coberturas verificadas durante las visitas fueron los diferentes tipos de cultivos transitorios y permanentes, así como especies arbóreas predominantes. En cuanto a los usos del suelo, se identificaron todas las edificaciones y usos ubicados en las zonas urbanizadas pertenecientes a los niveles 4 y 5 de la leyenda CLC. Después de realizar la revisión de las coberturas y usos del suelo, se realizó la revisión topológica de la capa final. Con este último paso, se aseguró que el Shapefile final no tuviera vacíos o áreas sobrepuestas.

Adicional a la descripción y zonificación de las coberturas del suelo, se calcula la evapotranspiración para determinar e inferir su influencia en la generación de movimiento en masa asociado al tipo de cobertura.

La evapotranspiración (EVT) es la combinación de dos procesos separados, por los que el agua se pierde a través de la superficie del suelo: evaporación y transpiración de la cobertura. La evapotranspiración se expresa normalmente en milímetros (mm) por unidad de tiempo. En términos de susceptibilidad a remoción en masa, se plantea que entre mayores valores de evapotranspiración tenga una cobertura, menor es la cantidad de agua que se almacena en el sistema suelo-planta, lo que implica una disminución en la saturación de los suelos y por ende en la potencial ocurrencia de eventos de remoción en masa (SGC, 2013).

La evapotranspiración puede estimarse de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$EVT_{Cobertura} = \sum K_C \cdot EVT_{Potencial}/P_{Zona} \quad (28)$$

Donde,

$EVT_{Cobertura}$ corresponde a la evapotranspiración de la cobertura; EVT potencial corresponde a la evapotranspiración potencial media; P a la precipitación media y Kc al coeficiente de la cobertura.

Para poder reemplazar estos valores a partir de información secundaria fue necesario realizar una revisión detallada de literatura con el fin de identificar tablas de referencia para el valor del coeficiente del cultivo Kc para cada una de las coberturas (IDEAM, 2012), revisar valores de precipitación media de las estaciones meteorológicas más cercanas a las cabeceras municipales y tener los valores aproximados de la evapotranspiración potencial media por cabera municipal, los cuales fueron generados por IDEAM a partir de la zonificación de pisos térmicos, unidades climáticas y zonas de vida de Holdrige cruzada con la información de evaporación de las estaciones meteorológicas.

Entendiendo que entre mayor sea el Kc mayor será la magnitud de la evapotranspiración, lo cual puede favorecer la condición de estabilidad de los terrenos en la medida que sale mayor cantidad de humedad de los suelos y de la cobertura disminuyendo los efectos de saturación de los suelos.

Precipitación: Los datos de precipitación media y otras variables climáticas de la zona son tomadas de las estaciones hidrometereológicas activas del IDEAM más cercanas a cada una de las cabeceras municipales.

Evapotranspiración Potencial (EVTzona): Este valor se obtiene del mapa de Distribución de la Evapotranspiración Potencial Total Media Anual sobre el Área del Territorio Continental e Insular de Colombia durante el período 1981-2010 generado por IDEAM. Los datos empleados para su generación fueron tomados de las estaciones meteorológicas que tiene el IDEAM en toda el área del Territorio Continental e Insular de Colombia. La Distribución de la Evapotranspiración Potencial Total Media Anual está clasificada en siete (7) rangos significativos que oscilan desde 600 hasta 2200 milímetros (IDEAM, 2010).

Coeficiente del Cultivo (Kc): El valor aproximado de Kc correspondiente a la cantidad de agua que las coberturas extraen del suelo se toma de datos de la FAO e IDEAM. Con estos valores se construyen las tablas de Kc para las coberturas identificadas en el nivel 3 de la leyenda CLC para cada uno de los municipios (IDEAM; SGC, 2016)

7.2.1. Exploración geotécnica y ensayos de laboratorio

Para realizar la caracterización geotécnica, se definió un programa de exploración del subsuelo con base en el análisis de la cartografía de unidades geológicas superficiales y zonas críticas encontradas en el municipio (seleccionar los sitios de exploración, tipo y profundidad aproximada). El objeto del estudio geotécnico y los ensayos de laboratorio está orientado a obtener los modelos geológico-geotécnicos del subsuelo de las unidades geológicas superficiales identificadas, donde se pueda definir la disposición y distribución estratigráfica de los materiales, superficies de falla, profundidad del nivel freático y determinación de parámetros geotécnicos de los materiales, información fundamental para la etapa de análisis de estabilidad y evaluación de la amenaza.

Con el fin de realizar la caracterización y estimar las propiedades geotécnicas de los materiales presentes en el subsuelo, se llevaron a cabo exploraciones de tipo directo e indirecto. La exploración directa consistió en la ejecución de una serie de perforaciones mecánicas a percusión y apiques, con su respectiva descripción del perfil estratigráfico y toma de muestras inalteradas. Por otro lado, la exploración indirecta consistió en la ejecución de ensayos de campo a través de líneas geofísicas de refracción sísmica.

La exploración geotécnica consistió en realizar perforaciones profundas con muestreo continuo inalterado (perforación a percusión), apiques con toma de muestras en bloque y líneas de refracción sísmica, con el fin de definir los espesores e identificar los diferentes materiales del subsuelo en la zona de estudio, adicional a ello tener el reporte del nivel freático en cada una de las perforaciones realizadas.

En palabras de Suriol Castellví, J., Josa García-Tornel, A., y Lloret Morancho, A., (2007) y Jimeno, C. L., (2013) el Ensayo de Penetración Estándar o SPT (por sus siglas en ingles), es una prueba de penetración dinámica, este tipo de ensayo consiste en medir el número de golpes necesarios para que se introduzca a una determinada profundidad una cuchara muy robusta (diámetro exterior de 51 milímetros e interior de 35 milímetros, lo que supone una relación de áreas superior a 100), que le permite tomar una muestra en su interior, naturalmente alterada. El peso de la maza y la altura de la caída libre, están normalizados, siendo de 63'5 kilopondios (kilogramos-fuerza) y 76 centímetros, respectivamente.

En paralelo a la exploración del suelo y posterior a la finalización de la primera perforación y apique, las muestras obtenidas, tanto de suelo como de roca, fueron llevadas y ensayadas en el laboratorio con el fin de estimar sus propiedades desde el punto de vista físico y mecánico. *Los ensayos de laboratorio* incluyeron clasificación, granulometría y propiedades geomecánicas (resistencia), etc. En otras palabras, los ensayos de laboratorio tienen por objeto la caracterización geomecánica de los materiales que componen el subsuelo bajo el área de estudio, para lo cual se llevaron a cabo ensayos de clasificación y de resistencia. Dentro de los ensayos de clasificación de suelos se realizaron humedad natural, límites de consistencia, granulometría y peso unitario. Con el ánimo de estimar los parámetros de resistencia al corte de los materiales, se realizaron ensayos de compresión inconfinada, corte directo sobre muestras de suelo, recuperadas en las perforaciones y apiques realizados. Este ensayo se realizó para condiciones pico, lo que permitió obtener una envolvente residual y de esta manera estimar los parámetros de resistencia en estado crítico. Estas pruebas se realizaron sobre muestras de suelo a nivel superficial y profundo, incluyendo la estimación de los parámetros de resistencia del suelo (cohesión y ángulo de fracción interna). Este ensayo se realizó para tres niveles de esfuerzos, cada uno a través de tres etapas: saturación, consolidación y falla.

Para calcular la deformación del suelo se realizó el ensayo de compresión inconfinada, la cual se puede definir "como el valor del esfuerzo que se debe aplicar normalmente a un espécimen de suelo para producir en este la condición de falla. Cuando se decidió realizar por primera vez este tipo de ensayo se hizo con el fin de determinar de una manera rápida los valores de resistencia al corte de los suelos, bajo el criterio del círculo de Mohr Coulomb, determinando así el valor de resistencia al corte como 0,5 veces el valor de la resistencia a la compresión inconfinada" (Botía Díaz, 2015).

Este ensayo se aplica a suelos cohesivos, los cuales durante la etapa de carga mantienen su resistencia intrínseca después de remover la presión de confinamiento. Materiales fracturados o fisurados, muy blandos, con alto porcentaje de arenas o de materia orgánica (humus), no arrojaran valores significativos de su resistencia a la compresión inconfinada. Este ensayo se puede realizar por medio de control de deformaciones o control de esfuerzos.

Finalmente, la información geológica, geotécnica y geofísica obtenida fue integrada para definir los modelos geológicos-geotécnicos del subsuelo, sobre secciones previamente establecidas de comportamiento geotécnico similar con base en la unidad geológica superficial y el inventario de movimientos en masa.

A partir de los procesos mencionados anteriormente, se establece el modelo geológico - geotécnico o secciones en el que se relacionan las exploraciones geotécnicas básicas que permiten caracterizar las propiedades geomecánicas, los materiales del subsuelo y efectuar un análisis determinístico de estabilidad, para el caso de taludes en suelos, se hace por medio de un modelo de talud infinito y para taludes en roca, mediante modelos convencionales de estabilidad de macizos rocosos, según lo establezcan las fuentes consultadas. Este modelo para evaluar la estabilidad del municipio permite modelar los mecanismos de falla presentes en las áreas seleccionadas siendo un aporte al momento de calibrar los resultados de los análisis. Las secciones se elaboraron, teniendo en cuenta la cartografía geológica, la información topográfica, geomorfológica, los registros estratigráficos (de perforaciones, apiques y líneas de refracción sísmica) y parámetros geotécnicos, entre otros y de forma que atravesaran las unidades geológicas superficiales y los cuerpos inestables.

Una vez identificados los mecanismos de falla (traslacional, caída y rotacional), y realizada la respectiva caracterización geotécnica, se definieron y construyeron los perfiles geológico-geotécnicos, con el fin de realizar los respectivos análisis de estabilidad (modelación numérica). Para efectos de evaluar la estabilidad de los diferentes sectores se procedió a realizar los análisis de la siguiente manera, en función del factor de seguridad y la probabilidad de falla:

Análisis de estabilidad en depósitos coluviales arcillosos sobre suelos residuales y transportados
Análisis de estabilidad del material superficial alterado, suelto (suelo residual y transportados)

Por lo anterior, se procedió a analizar el espectro de posibilidades que se pueden obtener variando los parámetros de resistencia de los materiales y el nivel de intensidad de los agentes detonantes considerados (lluvia y sismo). De esta manera, los análisis de estabilidad en términos de probabilidad de falla se tornan más representativos que el reporte de un factor de seguridad, el cual es el simbolismo numérico de uno de los múltiples eventos factibles.

Sin embargo, la deducción de la probabilidad de falla implica conocer la distribución estadística del factor de seguridad (González, 1999), específicamente la de sus dos primeros momentos: μFS y σFS, es decir, la media y la desviación estándar. La solución a la relación predictiva entre estas dos variables (Pf y FS) y la obtención de ellas, se plantea aquí con el empleo de métodos aproximados, específicamente mediante el método de Montecarlo.

En este orden de ideas, la probabilidad de ocurrencia de un evento particular (Movimientos en Masa) se evalúa en términos de sus eventos condicionantes, a través de la ley de probabilidades totales, de tal manera que la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento está definida por la siguiente ecuación:

$$p(D) = P(D/LS)p(LS) + P(D/L\bar{S})p(L\bar{S}) + P(D/\bar{L}S)p(\bar{L}S) + P\left(\frac{D}{\overline{LS}}\right)p(\overline{LS}) \qquad (29)$$

Dicha probabilidad, como lo expresan sus términos, es función de las probabilidades condicionales de presentarse el deslizamiento para todas las posibles combinaciones de precipitación y sismo, así:
$p(D)$: Es la probabilidad de ocurrencia de un deslizamiento
$p(D/LS)$: Es la probabilidad condicional de que acaezca el deslizamiento dado que haya lluvia y sismo.
$p(LS)$: Es la probabilidad de que se presenten la lluvia y el sismo simultáneamente
$p(D/\bar{L}S)$: Es la probabilidad condicional de que ocurra el deslizamiento dado que se presente el sismo y que no tenga lugar la lluvia
$p(\overline{LS})$: Es la probabilidad de que haya lluvia y no se produzca el sismo.
$p(D/\overline{LS})$: Es la probabilidad condicional de que ocurra el deslizamiento dado que no haya lluvia ni sismo
$p(LS)$: Es la probabilidad de que no tenga lugar ni el sismo ni la lluvia

Con el fin de evaluar la probabilidad de falla del talud, es necesario entrar a evaluar los agentes que pueden afectar la estabilidad de la ladera. Para el desarrollo de este tema se requiere el tratamiento previo de cuatro hipótesis:

- Parámetros de resistencia efectivos para cada material.

- Mecanismo de falla.
- Método de análisis.
- Agentes detonantes.

Es importante destacar que la segunda y tercera hipótesis se consideran unidades determinísticas, debido a que son invariables, mientras que la primera y la cuarta están regidas por los principios de la incertidumbre, bien sea por la variabilidad espacial de los parámetros de resistencia o bien por la variabilidad temporal de los agentes detonantes, por lo que se les asignan distribuciones de probabilidad, las cuales se explican a continuación.

Los métodos de análisis utilizados se basan en la teoría de equilibrio límite, también se utilizó como modelo integrante el criterio de resistencia de Mohr – Coulomb para suelos. Para el cálculo y para modelar los movimientos con mecanismo de falla rotacional – traslacional, se utilizó el programa SLIDE (v6.0). Adicional a ello se realizaron pruebas en MATLAB (2014) para el análisis de talud infinito.

Para obtener los parámetros geomecánicos asignados a los diferentes materiales, se utilizarón los resultados de trabajos cartográficos de campo y el plan de ensayos de laboratorio realizados sobre muestras inalteradas, ejecutados en el área de estudio.

Dentro de los agentes detonantes que pueden afectar la estabilidad de las laderas en el área de estudio, se consideraron los eventos sísmicos y la presencia de agua en el subsuelo, se tienen en cuenta estos factores, porque son los que mayor incidencia tienen en la ocurrencia de movimientos en masa.

Para el análisis de la *lluvia* en la zona de estudio, se construyó una base de datos con la información de precipitación mensual de las estaciones meteorológicas localizadas en la zona de influencia del proyecto. Para analizar la precipitación media mensual se consideró un periodo hidrológico de 49 años. Una vez se tienen los datos se procede a elaborar las Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia (Curvas IDF), estas sirven para calcular los periodos de retorno de las precipitaciones

La elaboración de las curvas IDF, se realizará por medio de la ecuación planteada por Vargas y Díaz-Granados (1998), en la cual, se divide el país en 5 regiones (basados en la división planteada por Vélez (1983) y se emplean parámetros calculados para cada una de ellas, en esta fórmula se tienen en cuenta variables tales como los días de lluvia, la elevación de la estación, la precipitación total y la lluvia máxima, se denota que esta ecuación se fundamenta en la diseñada por Bernard (1932). A continuación, se muestra la fórmula empleada para elaborar las curvas IDF para el área de estudio.

$$I = a * \frac{T^b}{t^c} * M^d * N^e * PT^f * ELEV^g \quad (30)$$

Donde:

I: Intensidad (mm/h)	*a*	Parámetros calculados por Vargas y Díaz-
T: Periodo de retorno (años)	*b*	
t: Duración de la lluvia (horas)	*c*	

M: Promedio de la precipitación máxima anual (mm)	*d*	Granados en 1998 para la región,
N: Promedio del número de días con lluvia al año	*e*	
PT: Promedio de la precipitación media anual (mm)	*f*	
ELEV: Elevación sobre el nivel del mar (msnm)	*g*	

K es la constante que depende del sitio

Dado de $K = a * M^d * N^e * PT^f * ELEV^g$, reemplazamos en la ecuación 2 quedando al final la ecuación 31

$$I = k * \frac{T^b}{t^c} \quad (31)$$

Adicional a ello para determinar la posición del nivel freático, después de ocurrida la lluvia, se elabora el análisis suponiendo la variación a largo plazo del nivel freático la cual sigue una distribución normal con un periodo de retorno de 25 años (Figura 7.3), así que la profundidad del nivel freático para dicho periodo se puede estimar con una ecuación (32)

$$Pf25 = (Pf - 1{,}65\ CV\ Pf) - (Ii25 * 24) \quad (32)$$

Donde:

Pf25: corresponde a la profundidad del nivel freático asociado a una lluvia de 25 años de periodo de retorno, en milímetros (SGC, 2015b).
Pf: corresponde a la profundidad media del nivel freático, en milímetros.
CV Pf: corresponde a la desviación estándar asignada a la variación del nivel freático, expresada en términos del coeficiente de variación de los acumulados anuales de precipitación infiltrada, en milímetros (SGC, 2015b).

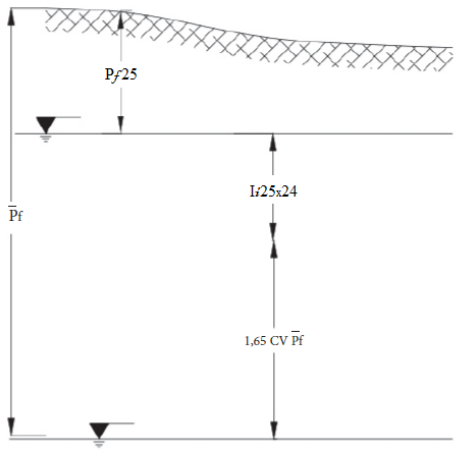


Figura 7.3. Representación gráfica de la ecuación para medir el nivel freático
Fuente: SGC (2015b)

En relación con la *amenaza sísmica*, se tomó la evaluación hecha mediante métodos probabilísticos y la NSR_10, realizada por el Servicio Geológico Colombiano (SGC) y la Asociación Colombiana

de Ingeniería Sísmica (AIS) (2010), en esta evaluación el municipio de Zarzal se localiza en zona de amenaza sísmica alta, con una aceleración pico efectiva de 0,25g

Con los valores de amenaza sísmica y el valor del nivel freático se procede a calcular la probabilidad de ocurrencia o no del evento, para lo cual se utilizó el periodo de retorno de 30 años.

Se toma este valor, basados en González, A., Zamudio, E. C. R., y Castellanos, J. R., (1999), considerando el escenario futuro a 50, para lo cual se utilizará las siguientes

$$P^{+} = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^{\beta} \quad (33)$$

$$P^{-} = 1 - P^{+} \quad (34)$$

Dónde:
P^{+} = Probabilidad de ocurrencia del evento crítico
T= Periodo de retorno
β= Tiempo de exposición
P^{-} = Probabilidad de no ocurrencia del evento crítico

Para determinar el análisis probabilístico de estabilidad en suelos arcillosos, se utilizó el método de equilibrio límite para estimar los factores de seguridad, empleando la probabilidad de falla mediante el software SLIDE v6.0, haciendo uso del Método de Montecarlo (para ellos, se utilizaron celdas de tamaño 2 x 2 m). Lo anterior para simular el mecanismo de falla rotacional.

Con ello, se determinó el FS para múltiples casos (del orden de mil simulaciones) utilizando combinaciones aleatorias de parámetros que seguían distribuciones de probabilidad normal (parámetros de resistencia de los materiales) y exponencial (para el sismo y la lluvia). Todas las modelaciones se realizan para el escenario futuro.

En relación con el análisis probabilístico de estabilidad en material superficial alterado dada la alta variabilidad de los parámetros de resistencia, se realizó un análisis estadístico y probabilístico mediante simulaciones por el método de Monte Carlo. Para este análisis se evalúa el factor de seguridad en la ladera mediante la siguiente expresión:

$$FS = \frac{(c'b\ sec\ \alpha + (\gamma bh\ cos\ \alpha - k\gamma bh\ sin\ \alpha - \gamma_w h_w cos^2\alpha)\ tan\ \Phi')}{\gamma bh\ sin\ \alpha + k\gamma bh\ cos\ \alpha} \quad (35)$$

Donde:

C'= Cohesión efectiva	k= Coeficiente de aceleración horizontal
Φ = Angulo efectivo de fricción	b= Espesor de estrato deslizante
h_w = altura de la lámina de agua para el periodo de retorno dado	h= Proporción del estrato deslizante que se encuentra saturado
γ = Peso unitario del suelo	α = Angulo de inclinación de la superficie de falla
γ_w= Peso unitario del agua	

Para ello se necesita desarrollar las siguientes matrices, todas de igual tamaño (m x n): matriz de elevación (se obtiene de la topografía desarrollando un modelo digital de elevación), matriz de

pendientes (se desarrolla haciendo uso de las herramientas de ArcGis) y matrices de valores de cohesión, ángulo de fricción y peso unitario del suelo, datos provenientes de la cartografía geológica y caracterización geotécnica realizada para el presente estudio. Para el tratamiento de los datos se creó un código desarrollado en Matlab donde se genera una matriz de tamaño (m x n) con los valores de factor de seguridad para cada pixel del mapa.

Como el objetivo es desarrollar un mapa probabilístico, la creación de las matrices de los parámetros del suelo, cohesión, ángulo de fricción y peso unitario, se han desarrollado haciendo uso del Método Montecarlo considerando una distribución normal para estos parámetros (los parámetros geotécnicos se comportan normalmente según varios autores). Para la variable del espesor del estrato deslizante, se ha tomado una distribución uniforme. Estas distribuciones se muestran a continuación en la ecuación:

Como el objetivo es desarrollar un mapa probabilístico, la creación de las matrices de los parámetros del suelo, cohesión, ángulo de fricción y peso unitario, se han desarrollado haciendo uso del Método Montecarlo considerando una distribución normal para estos parámetros (según varios autores los parámetros geotécnicos se comportan normalmente). Para la variable del espesor del estrato deslizante, se ha tomado una distribución uniforme. Estas distribuciones se muestran a en la ecuación (36). generación de una matriz (m x n) con m x n valores a partir de una distribución normal:

$$r = (randn(m,n) * sd) + mu \tag{36}$$

Donde:

Sd = Desviación estándar del parámetro geotécnico (phi, c o gamma).
Mu = Media del parámetro geotécnico (phi, c o gamma).
Randn = función que genera valores aleatorios de 0 a 1.

Generación de una matriz (m x n) con m x n valores a partir de una distribución uniforme:

$$r = a + randn(m,n) * (b - a) \tag{37}$$

Donde:
a = valor mínimo del parámetro geotécnico (phi (Φ), c o gamma (ɣ))
b = valor máximo del parámetro geotécnico (phi (Φ), c o gamma (ɣ))
Randn = función que genera valores aleatorios de 0 a 1

Haciendo uso de las anteriores expresiones en el código desarrollado en Matlab, se obtienen las matrices de los parámetros geotécnicos basados en el método de Monte Carlo.

El código desarrollado en Matlab, se crea a partir de una matriz o raster de pendientes extraídos del modelo digital de elevaciones, con el fin de aplicar el método de Monte Carlo, para ello se debe crear un vector (m x n, 1) cuyo objetivo es evaluar la expresión de F.S en cada pixel del modelo digital de elevaciones, haciéndose necesario que el número de iteraciones esté dentro del rango de 2000 a 10000 (Heuvelink, 1996). Al concluir este último paso, obtenemos una matriz de tamaño (m x n, número de iteraciones). Seguidamente, se debe analizar los datos de cada fila buscando

encontrar que tipo de comportamiento presentan los datos. Se encuentra que los datos se comportan normalmente (Figura 7.4).

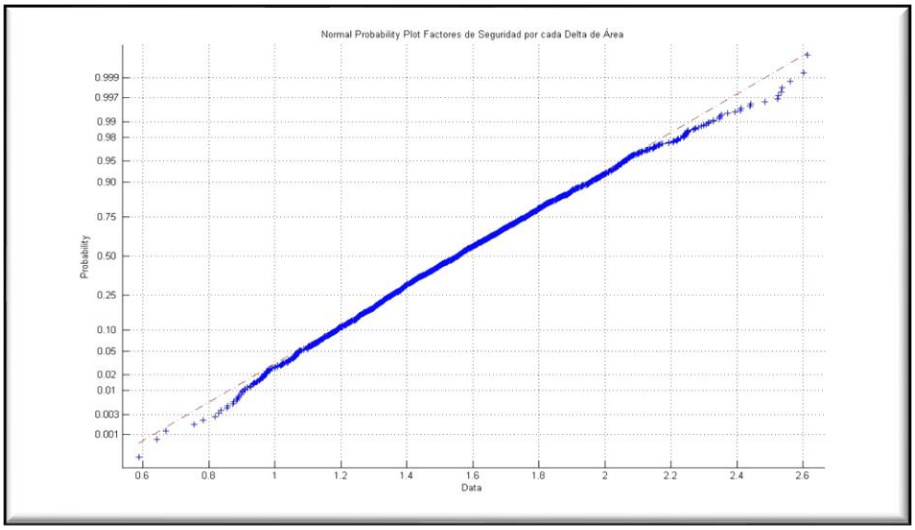


Figura 7.4. Gráfica de probabilidad normal
Fuente: elaboración propia

Una vez determinado el comportamiento de los valores, se calculan los parámetros estadísticos para cada pixel (desviación estándar, media e intervalo de confianza) en una nueva matriz donde cada columna corresponde a cada parámetro estadístico y cada fila corresponde a un pixel. Con los parámetros estadísticos se calcula la probabilidad de falla (Pf) por movimientos en masa para cada pixel. Por último, con el fin de visualizar los valores de PF en ArcGis, se escribe un archivo ASCII que luego se importa al Sistema de Información Geográfica.

7.2.2. Zonificación de la amenaza por movimientos en masa:

Este ítem tiene por objeto determinar el nivel de amenaza por movimientos en masa, al que se encuentra expuesta la zona de estudio, integrando en un solo mapa los resultados obtenidos en los análisis de estabilidad realizados para cada uno de los mecanismos de falla identificados, en el escenario considerado. De esta manera se superponen los resultados de F.S y P.F, obteniendo la zonificación de amenaza para la condición futura.Los resultados obtenidos fueron categorizados según la propuesta de González y Millán (2005), la cual la Secretaría Distrital de Bogotá 2006 adopta en la resolución 227 del mismo año (Tabla 7.1).

Tabla 7.1.Categorización de la Amenaza, Resolución 227 de 2006

TIEMPO DE EXPOSICIÓN Te (años)	FACTOR DE SEGURIDAD		K	PROBABILIDAD DE FALLA		NIVEL DE AMENAZA	
	DE	A		DE	A		
CONDICIONES EXTREMAS							
	0,1954	1,0000		0,9993	0,5000	ALTA	A
50	1,0000	1,3000	4,2040	0,5000	0,1239	MEDIA	M
	1,3000	3,4000		0,1239	0,0000	BAJA	B

Fuente: Adoptado de González y Millán, (2005)

Teniendo en cuenta los resultados de la amenaza por movimientos en masa, se procede a destacar los principales aspectos de esta para la condición futura, así como su significado, es decir las características que posee cada grado de amenaza:

Amenaza Baja: Corresponde a los sectores donde en general el terreno es estable por movimientos en masa ante agentes externos. Estas áreas corresponden a zonas planas, de menor pendiente, urbanizadas y con una cobertura vegetal bastante importante. Sin embargo, estas zonas, pueden ser propensas a fenómenos de inundación y flujos torrenciales.

Amenaza Media: Estos sectores se caracterizan por presentar pendientes intermedias, y se encuentran ubicadas en la generalidad de los casos en el sector montañoso, donde el mecanismo de falla es de tipo traslacional. Estos sectores se caracterizan adicionalmente, por presentar una buena cobertura vegetal.

Amenaza Alta: Corresponden a sectores de pendientes medias a fuertes, caracterizadas por presentar un espesor importante de la capa de suelo. El mecanismo de falla predominante es de tipo rotacional. Estas zonas se caracterizan por la falla del talud, por efecto de algunos de los agentes externos previamente descritos o por la combinación de ellos.

7.3. ANÁLISIS FACTORES CONDICIONANTES

Se reconocen como factores condicionantes, aquellas propiedades del terreno, las cuales aportan a que éste se pueda deslizar sin el aporte de elementos externos (detonantes) como pueden ser las precipitaciones, el efecto de un sismo o la actividad humana.

7.3.1. Geología

La geología: es la ciencia que persigue la comprensión del planeta Tierra. Esta ciencia se ha dividido tradicionalmente en dos amplias áreas: la geología física y la histórica. La primera, estudia los materiales que componen latierra y busca comprender los diferentes procesos que actúan debajo y encima de la superficie terrestre. Mientras que el objetivo de la Geología histórica es comprender el origen de la tierra y su evolución a lo largo del tiempo. Por tanto, procura ordenar cronológicamente los múltiples cambios físicos y biológicos que han ocurrido en el pasadogeológico. El estudio de la Geología física precede lógicamente al estudio de la historia de la Tierra, porque, antes de intentar revelar su pasado, debemos comprenderprimero cómo funciona (Tarbuck, E. J., Lutgens, F. K. y Tasa, D, 2005).

Existen cuatro unidades geológicas presentes en la zona urbana del municipio de Zarzal como se aprecia en la Figura 7.5. en los lomeríos del costado oriental se encuentran las unidades Formación La Paila (TMp) y Formación Zarzal (TPz); Las Terrazas (Qta) correspondiente a la zona plana, abarcan la mayoría del casco urbano y la unidad Aluviones (Qal) abarca una mínima parte en la zona norte del perímetro urbano.

En las zonas Sur y Oriente se presentan diversos fallamientos (inferidos), que atraviesan el perímetro urbano. Además, en estas mismas zonas, se evidenciaron diversas estratificaciones horizontales e inclinadas.

7.3.2. Geomorfología

El IGAC (2012) define la geomorfología como la "ciencia que estudia el relieve terrestre: su estructura, origen, historia y dinámica actual", en otras palabras, "El estudio geomorfológico incluye la descripción de las formas (morfología), su origen (génesis), dinámica actual y su relación con la actividad humana" (Hubp, 2011). La variable indica cómo se forma el paisaje y como agentes internos y externos ayudan a su formación.

Sobre la zona urbana del municipio de Zarzal existen cinco unidades geomorfológicas, como se evidencia en la Figura 7.6 En su mayoría, el casco urbano está sobre la unidad Terraza de acumulación (Fta) de origen fluvial, en la zona Sur y Occidente se encuentran dos unidades de origen denudacional, como lo son: Lomo residual (Dlres) y Montículo y ondulaciones denudacionales (Dmo); también, se presentan dos unidades de origen antrópico: Laderas terraceadas (Alt) y Llenos mixtos (All), esta última, también teniendo presencia en la zona norte y occidente del área urbana.

7.3.3. Unidades geológicas superficiales (UGS)

"Las Unidades Geológicas Superficiales se consideran como el conjunto de materiales que conforman la superficie del terreno hasta profundidades del orden de decenas de metros, e incluyen rocas con diferentes grados de meteorización y fracturamiento, así como suelos y depósitos inconsolidados" (Ibañez et al., 2012).

"Estas unidades se desarrollan a partir de procesos morfodinámicos, debido a la acción de agentes exógenos y endógenos que modelan la superficie terrestre y son unidades cartografiables. En el mapa de Unidades Geológicas Superficiales se clasifican los materiales geológicos como Roca (R), Suelo Residual, (Sr) Transportado (St) y Material de rellenos o suelos antrópicos (Stla)" (Ibañez et al., 2012).

La Figura 7.7 exhibe la distribución de las seis UGS presentes en el área de estudio. Sobre el costado oriental se encuentran las unidades Roca dura conglomerática (Rdc) y la Roca blanda volcano sedimentaria (Rbvs), en una menor proporción se encuentra la unidad Suelo antrópico (Sa). Abarcando dos áreas muy pequeñas, se encuentran las unidades: Suelo antrópico relleno de escombros (Sale) sobre la zona centro y la unidad Suelo antrópico jarillón (Saj) sobre el cosatdo occidental del área urbana.

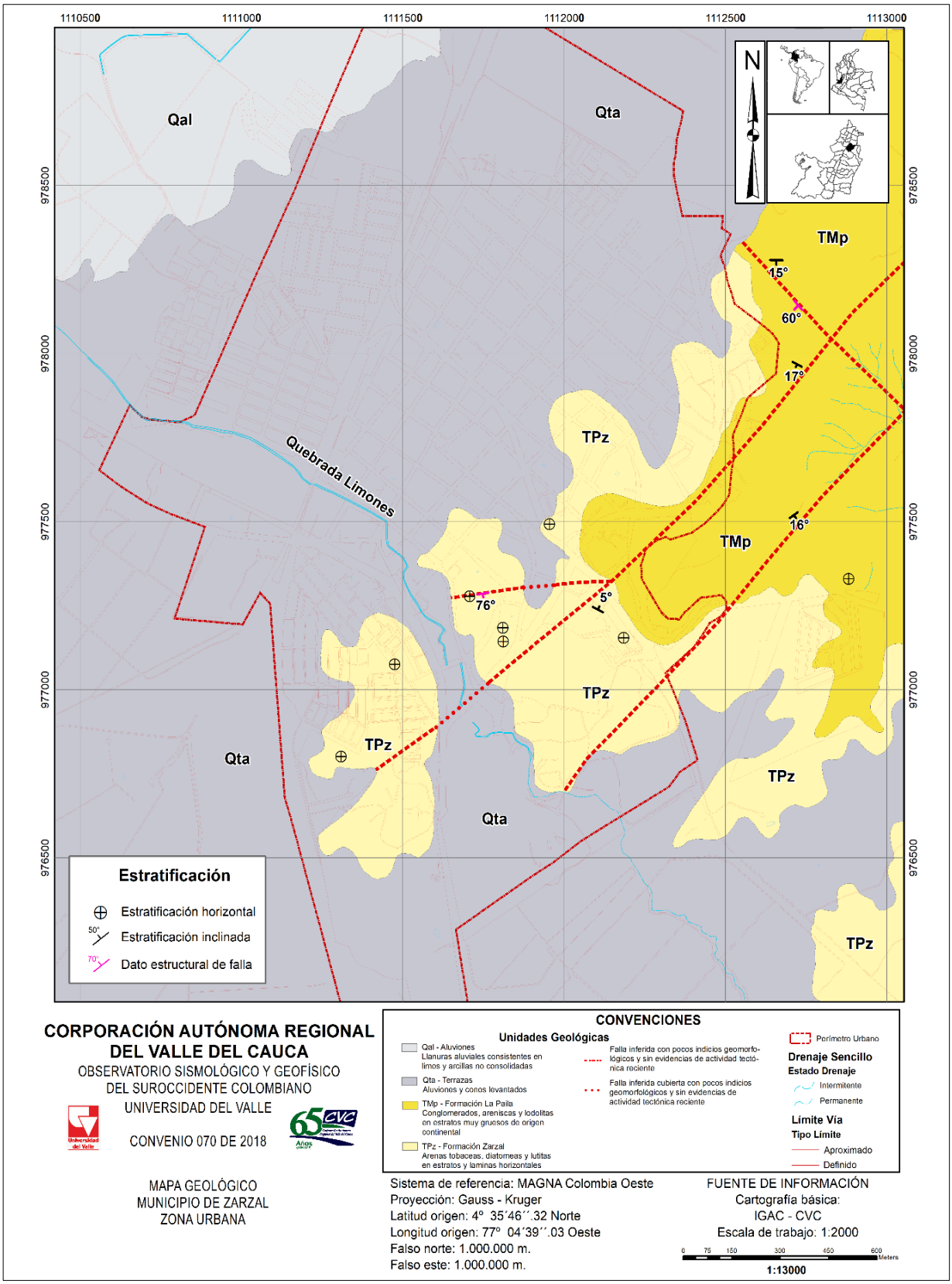


Figura 7.5.. Mapa geológico municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

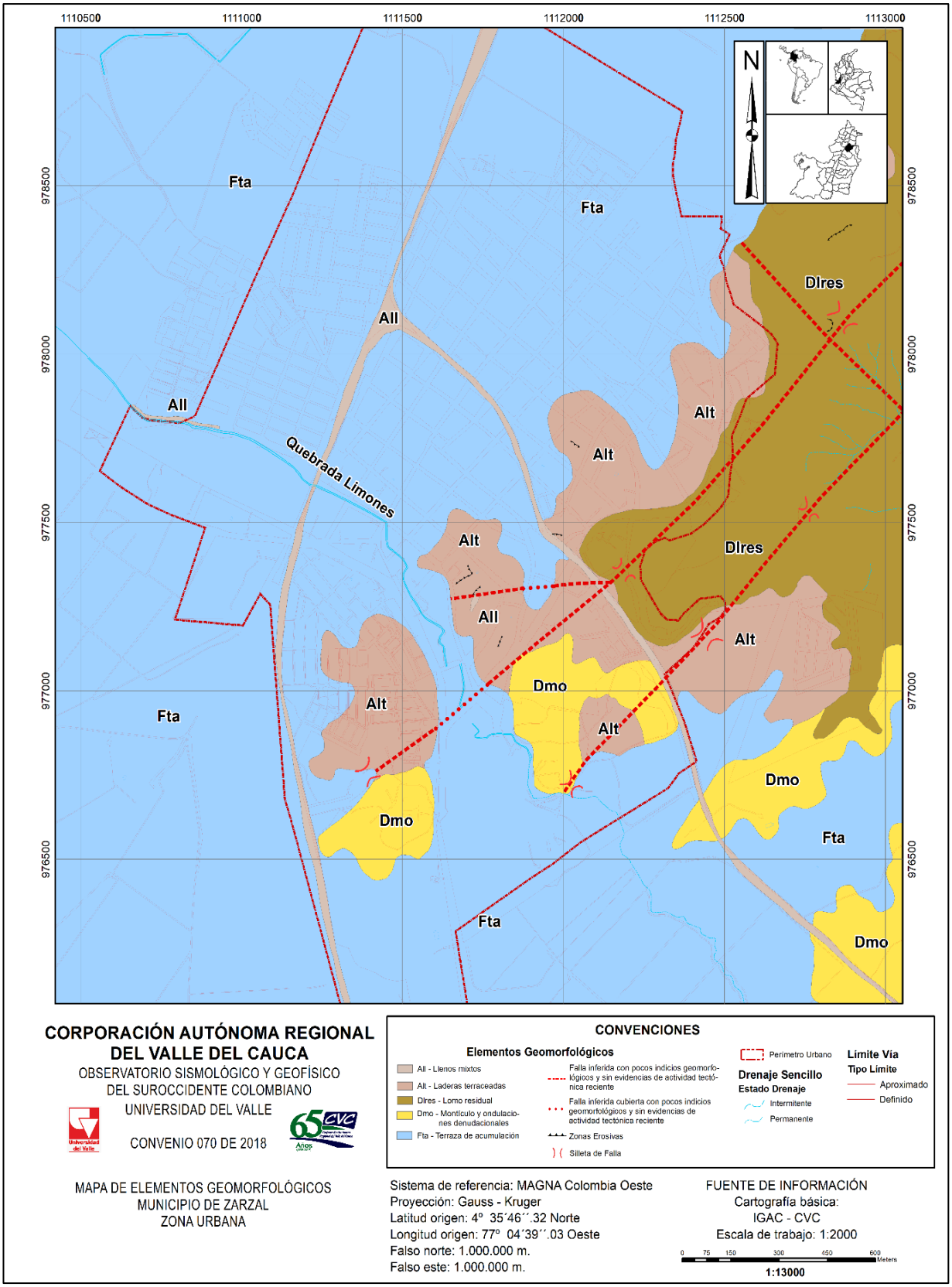


Figura 7.6. Mapa geomorfológico del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

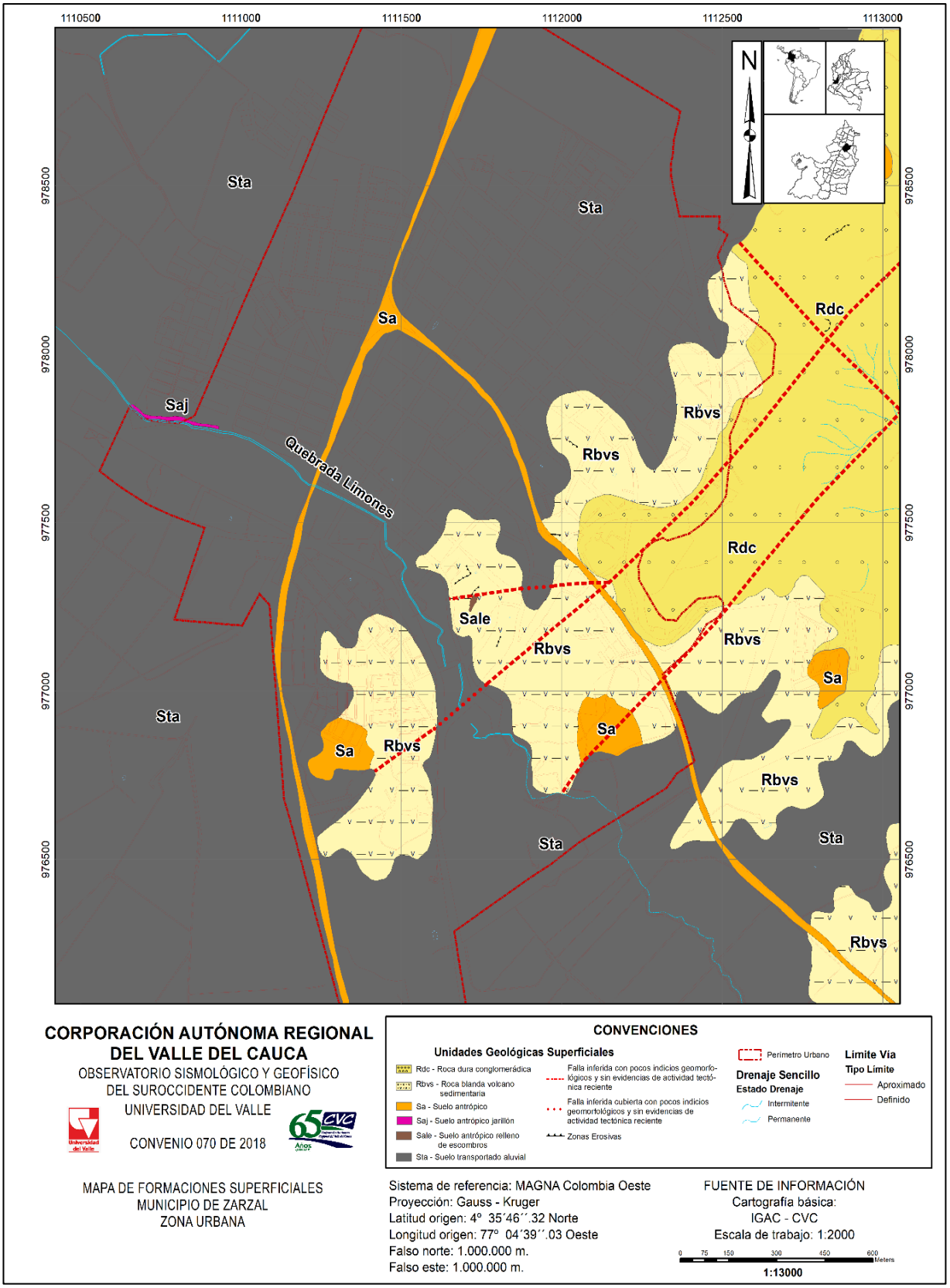


Figura 7.7. Mapa Unidades Geológicas Superficiales del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

7.3.4. Cobertura y uso de la tierra

"El uso del suelo representa las actividades que se desarrollan en el suelo, es decir, la utilización de la tierra por la humanidad, en contraste con el término cobertura de la tierra, el cual denota el carácter físico y biótico de la superficie terrestre, mientras el primero es estudiado en gran parte por los científicos sociales, el segundo es por científicos naturales" (Meyer y Turner, 1992. 39). Teniendo claro la definición de cada uno, y los datos obtenidos para el desarrollo del proyecto, la información espacial fue clasificada a escala 1:2 000, aplicando la leyenda Corine Land Cover (CLC) adaptada para Colombia (IDEAM, 2010) tal como lo recomienda la guía del Servicio Geológico Colombiana (SGC) (Ávila-Álvarez et al., 2015). La metodología consistió en la interpretación de ortofotos de 10x10cm de resolución espacial, verificación en campo y el análisis de la clasificación final a la luz de los requerimientos para las zonificaciones de amenaza por movimiento en masa en el municipio.

El proceso y desarrollo dio como resultado la distribución y área aproximada de las coberturas y uso del suelo, de ello se encontró los porcentajes de área ocupada por los diferentes tipos de cobertura de la tierra, de acuerdo con el nivel 1 de CLC (Corine Land Cover). El total de área ocupada por el casco urbano y la zona de influencia de 100 metros establecida para la clasificación es de 299 hectáreas (ha). De ese total, los territorios agrícolas ocupan el 63%, mientras que las áreas artificializadas el 26%, los bosques y áreas seminaturales el 11% y las superficies de agua el 1% (ver Figura 7.8). Es necesario anotar que la zona de influencia abarcó una gran porción de área rural al sur y oriente del casco urbano razón por la cual el porcentaje de área de territorios agrícolas es ampliamente superior al de áreas artificializadas, siendo «pastos arbolados», la cobertura predominante.

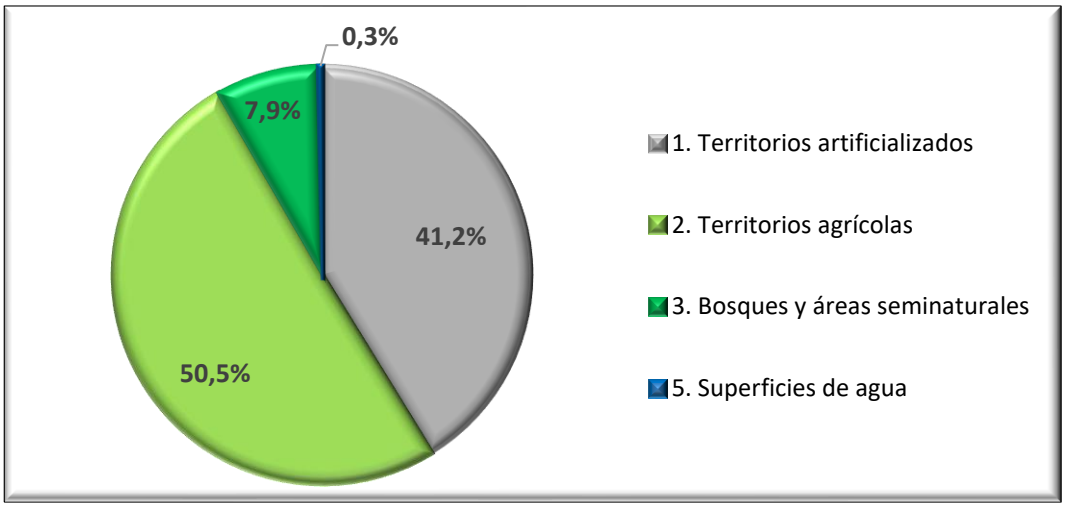


Figura 7.8. Porcentajes de áreas ocupados por grandes tipos de cobertura de la tierra en Zarzal (nivel 1 de CLC)
Fuente: elaboración propia

Como resultado de la interpretación y posterior análisis de la clasificación final, se obtiene la Figura 7.9, la cual hace referencia al mapa de coberturas y usos del suelo para el municipio de Zarzal, clasificado según el nivel 3 de CLC. En total, se identificaron veintiún (21) coberturas de la tierra

y cinco (5) usos del suelo. Dentro de las coberturas predominan los pastos, seguido del área urbana y en tercer lugar los viñedos. Dentro del uso del suelo prevalecen las edificaciones destinadas a servicios públicos (educación, hospitales, servicios, galerías y cultura).

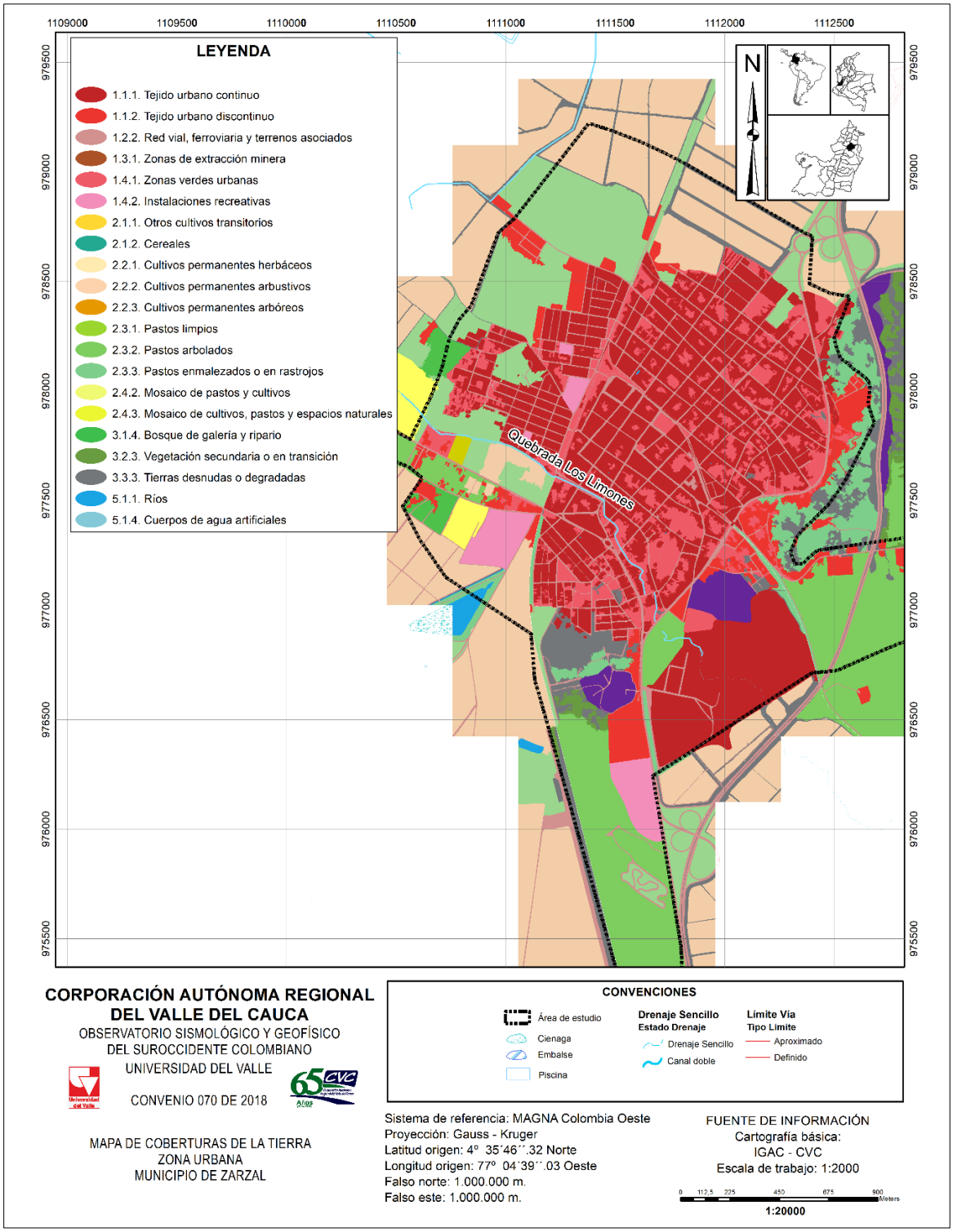


Figura 7.9. Mapa de cobertura de la tierra municipio Zarzal
Fuente: elaboración propia

Para complementar la información espacializada en el mapa de cobertura y uso de suelo, se elabora la Tabla 7.2, donde se muestra el área que abarca cada cobertura en el nivel 3 de la clasificación de CLC, se observa que las coberturas con áreas iguales o superiores a veinte hectáreas sin tejido urbano continuo cubren un área de 20,2 ha, los cultivos permanentes arbustivos 23,5 ha, tejido urbano continuo (27,6 ha), pastos limpios (33,2 ha) y pastos arbolados (73,7 ha). En este mismo sentido, la tabla presenta el detalle de área física ocupada por coberturas usando el nivel 3 de CLC, con sus respectivos porcentajes respecto al total del área clasificada.

Tabla 7.2. Coberturas, área física y porcentaje de área de coberturas de la tierra de acuerdo con el nivel 3 de CLC

NIVEL 3	Área (ha)	Área (%)
2,2,1, Cultivos permanentes herbáceos (Caña)	182	24,4%
1,1,1, Tejido urbano continuo	152	20,4%
2,3,2, Pastos arbolados	81	10,8%
2,3,1, Pastos limpios	77	10,3%
1,2,2, Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	54	7,2%
1,4,1, Zonas verdes urbanas	48	6,4%
3,3,3, Tierras desnudas o degradadas	45	6,0%
1,1,2, Tejido urbano discontinuo	30	4,0%
2,3,3, Pastos enmalezados o en rastrojos	24	3,2%
1,4,2, Instalaciones recreativas	13	1,7%
1,3,1, Zonas de extracción minera	12	1,6%
2,1,2, Cereales (Maíz)	9	1,2%
3,2,3, Vegetación secundaria o en transición	9	1,2%
3,1,3, Bosque fragmentado	5	0,7%
2,2,1, Cultivos permanentes herbáceos (Sandía)	4	0,5%
5,1,4, Cuerpos de agua artificiales	2	0,3%
2,1,4, Hortalizas	1	0,1%
Total	**747**	**100%**

Fuente: elaboración propia

El municipio de Zarzal tiene una fuerte vocación agropecuaria relacionada principalmente con la producción de caña de azúcar, de hecho, Zarzal es uno de los municipios con mayor producción de caña de todo el departamento del Valle del Cauca. Las áreas correspondientes a zonas verdes, cultivos, pastos y diferentes tipos de vegetación en el área de estudio abarcan el 58,8%.

Adicionalmente, la ganadería lechera (intensiva y extensiva) es un renglón muy importante de la economía municipal, usando en algunos casos sistemas silvopastoriles (representados en los pastos arbolados - 81 ha), donde incluyen especies arbóreas en el sistema para incrementar la productividad a partir del sombrío al ganado, y donde hay un uso más eficiente del agua en comparación a los sistemas de ganadería tradicional. Y en menor proporción se practica la piscicultura de tilapia roja y cachama a través del cultivo en cuerpos de agua artificial.

Con respecto a la relación entre las coberturas del suelo en el municipio y la evapotranspiración, el SGC, (2013) plantea que entre mayores valores de evapotranspiración tenga una cobertura, menor es la cantidad de agua que se almacena en el sistema suelo-planta, lo que implica una disminución en la saturación de los suelos y por ende en la potencial ocurrencia de eventos de remoción en

masa, en otras palabras, se entiende que entre mayor sea el Kc mayor será la magnitud de la evapotranspiración, lo cual puede favorecer la condición de estabilidad de los terrenos en la medida que sale mayor cantidad de humedad de los suelos y de la cobertura disminuyendo los efectos de saturación. Para el municipio de Zarzal, La Tabla 7.3 enseña los valores para cada una de las coberturas de nivel 3 zonificadas en el municipio de lo cual se denota que las zonas verdes urbanas son las que poseen un menor valor en cuanto a la evapotranspiración seguido de cultivos transitorios, esto aunado a la poca profundidad efectiva (Tabla 7.4) que tenga un sector puede favorecer en mayor medida la inestabilidad del terreno.

Tabla 7.3. Evapotranspiración potencia de la cobertura del suelo

NIVEL 3 DE CLC	EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL COBERTURA
1,1,1, Tejido urbano continuo	0,164
1,1,2, Tejido urbano discontinuo	0,164
1,2,2, Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	0,164
1,3,1, Zonas de extracción minera	0,164
1,4,1, Zonas verdes urbanas	0,984
1,4,2, Instalaciones recreativas	0,82
2,1,2, Cereales	0,984
2,1,4, Hortalizas	0,984
2,2,1, Cultivos permanentes herbáceos (Sandía)	1,476
2,2,1, Cultivos permanentes herbáceos (Caña)	1,476
2,3,1, Pastos limpios	0,656
2,3,2, Pastos arbolados	0,984
2,3,3, Pastos enmalezados o en rastrojos	0,82
3,1,3, Bosque fragmentado	2,296
3,2,3, Vegetación secundaria o en transición	1,64
3,3,3, Tierras desnudas o degradadas	0,164

Fuente: elaboración propia

La profundidad efectiva de las coberturas de la tierra en el municipio de Zarzal presentes en la Tabla 7.4 evidencia que las zonas verdes urbanas y los pastos limpios poseen espesores de suelo menores, Salazar e Hincapié, (2006) mencionan que en suelos susceptibles a movimientos en masa con pendientes fuertes y largas, poca profundidad efectiva, pedregosos o cascajosos, pesados, de drenaje lento, es necesario establecer cultivos que brinden mayor cohesión al suelo, ya que ayudan a extraer los excesos de agua y por ende aumentar los niveles de resistencia de los suelos.

Tabla 7.4. Profundidad efectiva de la cobertura del suelo

NIVEL 3 DE CLC	PROFUNDIDAD EFECTIVA (m)
1.1.1. Tejido urbano continuo	0,0
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	0,0
1.2.2. Red vial. ferroviaria y terrenos asociados	0,0
1.3.1. Zonas de extracción minera	0,0
1.4.1. Zonas verdes urbanas	0,5
1.4.2. Instalaciones recreativas	0,5
2.1.2. Cereales	0,8
2.1.4. Hortalizas	0,8
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos (Sandía)	1
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos (Caña)	1,0
2.3.1. Pastos limpios	0,5

NIVEL 3 DE CLC	PROFUNDIDAD EFECTIVA (m)
2.3.2. Pastos arbolados	1,0
2.3.3. Pastos enmalezados o en rastrojos	0,8
3.1.3. Bosque fragmentado	3,0
3.2.3. Vegetación secundaria o en transición	1,2
3.3.3. Tierras desnudas o degradadas	0,0

Fuente: elaboración propia

7.3.5. Inventario de movimientos en masa

Se definen como proceso de remoción en masa, a "un conjunto de procesos denudativos relacionados con la deformación del terreno y el deslizamiento o transposición más o menos rápida y localizada de diferentes volúmenes de suelo, de mantos completos de meteorización, incluyendo material de suelo, detritos, bloques y masas rocosas, cuesta abajo por incidencia de fuerzas de desplazamiento, a veces con participación mayor o menor del agua, del suelo, del hielo y otros agentes" (Villota, 2005).

Consiste en el registro en orden y precisión de los movimientos en masa presentes en el área de estudio, siendo una parte fundamental para verificar, rectificar y/o complementar los mapas de amenaza por este fenómeno el municipio de Zarzal. En el área de estudio se localizaron dos (2) eventos de movimiento en masa identificado por medio de rasgos geomorfológicos, mediante registros de historicidad (comprendido entre 1980 y febrero de 2019), los cuales dejaron seis afectaciones puntuales y una en un segmento de vía, en el análisis, se denota que los movimientos se presentan principalmente en el oriente del casco urbano, en áreas cuyas pendientes pueden alcanzar hasta los cincuenta y cinco grados (55°). La espacialización de los registros se presentan en la Figura 7.10 (espacialización de los registros de movimientos en masa).

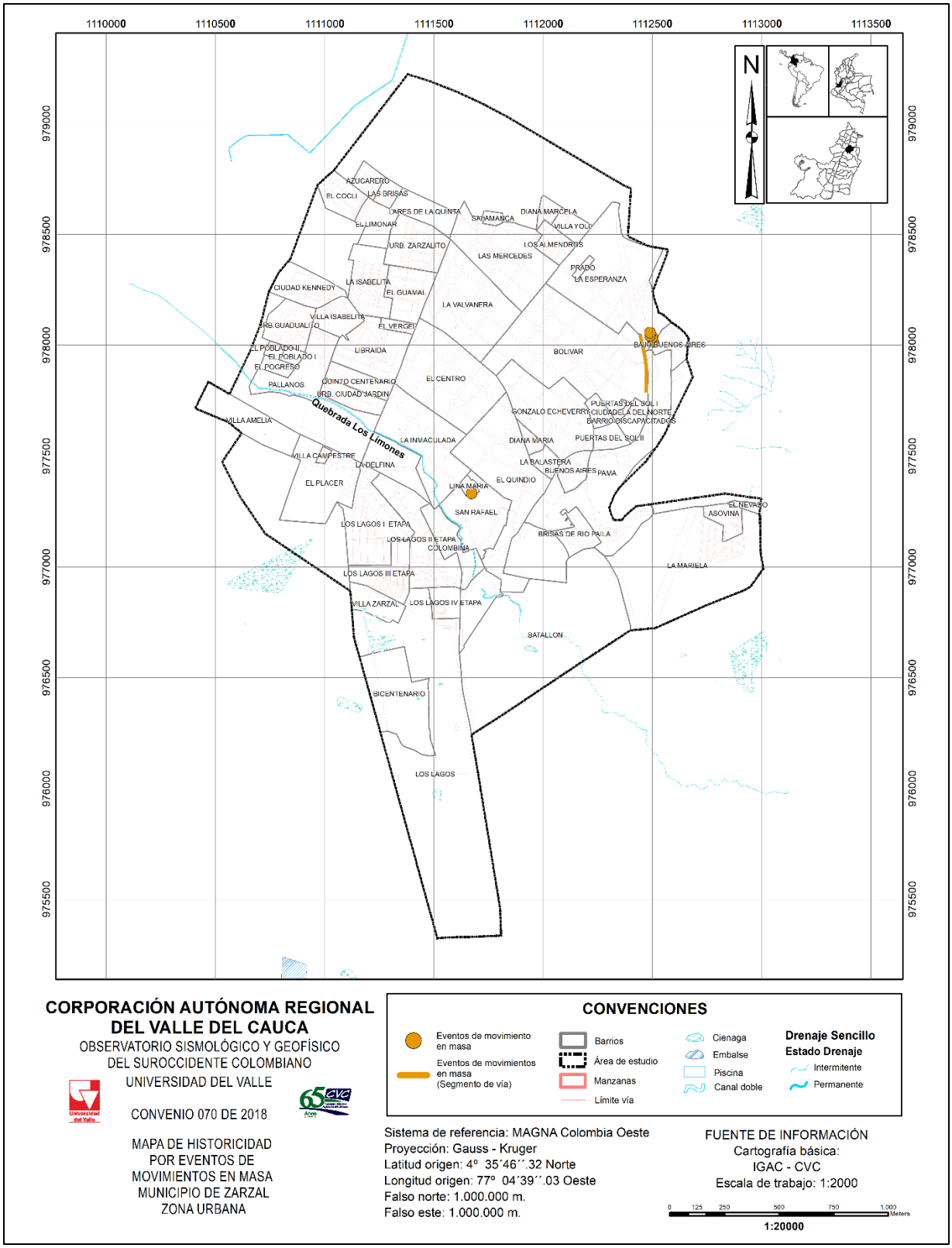


Figura 7.10. Mapa de eventos históricos de movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

7.3.6. Exploración geotécnica y ensayos de laboratorio

Esta serie de pruebas ayudan a determinar las características del suelo y su capacidad de resistencia, al corte, por medio de la exploración geotécnica se busca obtener la mayor información posible, ya que a partir de las exploraciones y mediante correlaciones se pueden inferir ciertas propiedades de los materiales en el área de estudio, mientras que con los ensayos de laboratorio, se pretende identificar el tipo de material presente en el área de estudio y al mismo tiempo establecer los parámetros de resistencia del suelo requerido para análisis posteriores.

7.3.6.1. Perforaciones a percusión

En este estudio, se realizaron diez (20) perforaciones a percusión, cuya profundidad de exploración se determina en relación el número de golpes necesarios para provocar el corte del suelo hasta el punto de rechazo, es decir, abarca desde la superficie hasta la profundidad donde se encuentre roca o grava gruesa. Las perforaciones alcanzaron una profundidad de 5 metros, durante las cuales se recuperaron muestras inalteradas de los materiales presentes en el sector, permitiendo su descripción, estimación de espesores y caracterización geomecánica. La distribución y resultados de dichas perforaciones permitieron identificar la secuencia estratigráfica de materiales y corroborar la información geológica regional y local.

La Figura 7.11 presenta la espacialización de las perforaciones, cabe resaltar que para la ubicación de cada perforación se tuvo en cuenta la distribución de las unidades geológicas superficiales y las áreas que previamente han reportado procesos de remoción en masa, información corroborada en los registros de las entidades municipales y documentos oficiales.

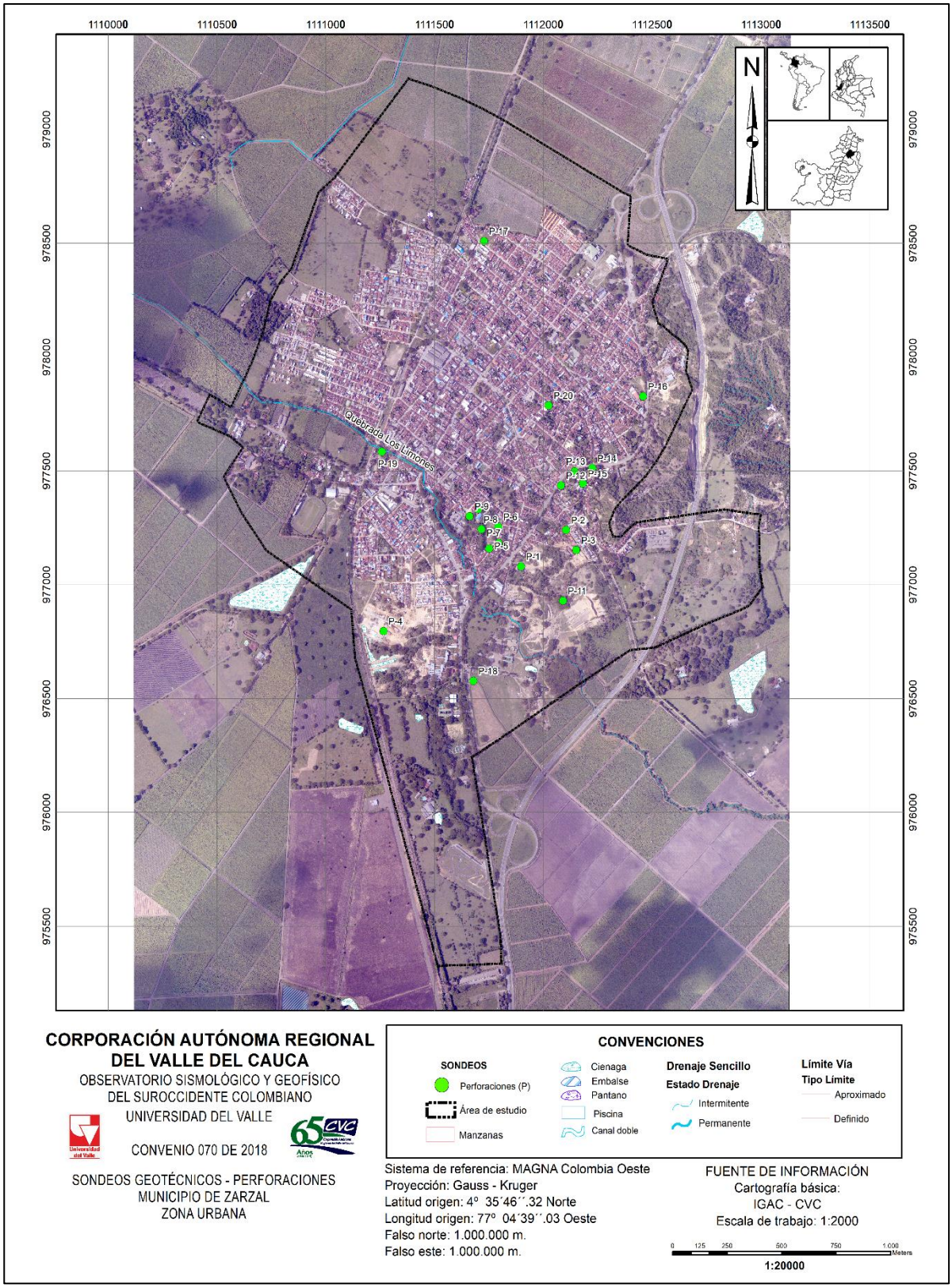


Figura 7.11. Ubicación de las perforaciones mecánicas hechas para el presente estudio en el municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

En la Tabla 7.5 se relacionan las coordenadas de los sitios de perforación, profundidad de exploración, la cantidad de muestras tomadas y la posición del nivel freático medido después de las labores. En particular, se muestra la relación de profundidades alcanzadas en cada perforación, ejecutando un total de 50 m de perforación.

Tabla 7.5. Relación de las perforaciones realizadas, coordenadas (planas Magna-Sirgas), alcance en profundidad y cantidad de muestras tomadas en el municipio de Zarzal

PERFORACIÓN CÓDIGO	LONGITUD	LATITUD	PROFUNDIDAD ALCANZADA (m)	NIVEL FREÁTICO (m)	NÚMERO DE MUESTRA	UGS	
P1	1111898.3116	977081.1847	5	No se encontró	6	Rbvs	Roca blanda volcano sedimentaria
P2	1112104.4885	977241.4564	5	No se encontró	6	Rbvs	Roca blanda volcano sedimentaria
P3	1112151.3199	977152.2916	5	No se encontró	6	Rbvs	Roca blanda volcano sedimentaria
P4	1111265.9681	976796.6051	5	No se encontró	5	Sa	Suelo antrópico
P5	1111751.7211	977159.7903	5	No se encontró	6	Rbvs	Roca blanda volcano sedimentaria
P6	1111793.5253	977255.8343	5	No se encontró	6	Rbvs	Roca blanda volcano sedimentaria
P7	1111715.7355	977244.4814	5	No se encontró	6	Sale	Suelo antrópico de relleno de escombros
P8	1111715.7355	977332.7995	5	No se encontró	7	Rbvs	Roca blanda volcano sedimentaria
P9	1111661.3767	977301.3802	5	No se encontró	6	Rbvs	Roca blanda volcano sedimentaria
P10	1111795.1900	977184.1563	5	No se encontró	6	Rbvs	Roca blanda volcano sedimentaria
P11	1112090.4127	976930.4204	5	No se encontró	6	Sa	Suelo antrópico
P12	1112081.6550	977436.7942	5	No se encontró	6	Rdc	Roca dura conglomerática
P13	1112143.8322	977499.3022	5	No se encontró	5	Rdc	Roca dura conglomerática
P14	1112225.5224	977512.8621	5	No se encontró	6	Rdc	Roca dura conglomerática
P15	1112181.9322	977445.3270	5	3,0	6	Rdc	Roca dura conglomerática
P16	1112458.6870	977828.5768	5	No se encontró	6	Rbvs	Roca blanda volcano sedimentaria
P17	1111728.1709	978509.8802	5	1,0	7	Sta	Suelo transportado aluvial
P18	1111678.5879	976578.2064	5	4,2	6	Sta	Suelo transportado aluvial
P19	1111258.5346	977585.1067	5	No se encontró	6	Sta	Suelo transportado aluvial
P20	1112024.7033	977788.4394	5	No se encontró	5	Rbvs	Roca blanda volcano sedimentaria

Fuente: elaboración propia

7.3.6.2. Apiques

Además de las perforaciones realizadas, se llevó a cabo la apertura de veinte (20) apiques exploratorios en diferentes zonas del área de estudio (Figura 7.12), con el fin de conocer los estratos superficiales del suelo, los cuales tuvieron dimensiones de 2 m x 2 m x 2 m, la muestra se tomó en bloques de 25cm x 25cm x 25cm. Mediante este tipo de exploración se permitió describir y obtener muestras de los depósitos de suelo superficiales, hasta profundidades máximas de 2 m. Se recuperaron muestras inalteradas consideradas representativas de los materiales detectados, relleno y suelo arcilloso residual, fueron ensayados y caracterizados en el laboratorio.

En la Tabla 7.6 se relacionan el código, las coordenadas de los sitios de apiques y profundidad de la exploración. En particular se muestra la relación de profundidades alcanzadas en cada apique, ejecutando un total de 38 m de excavación.

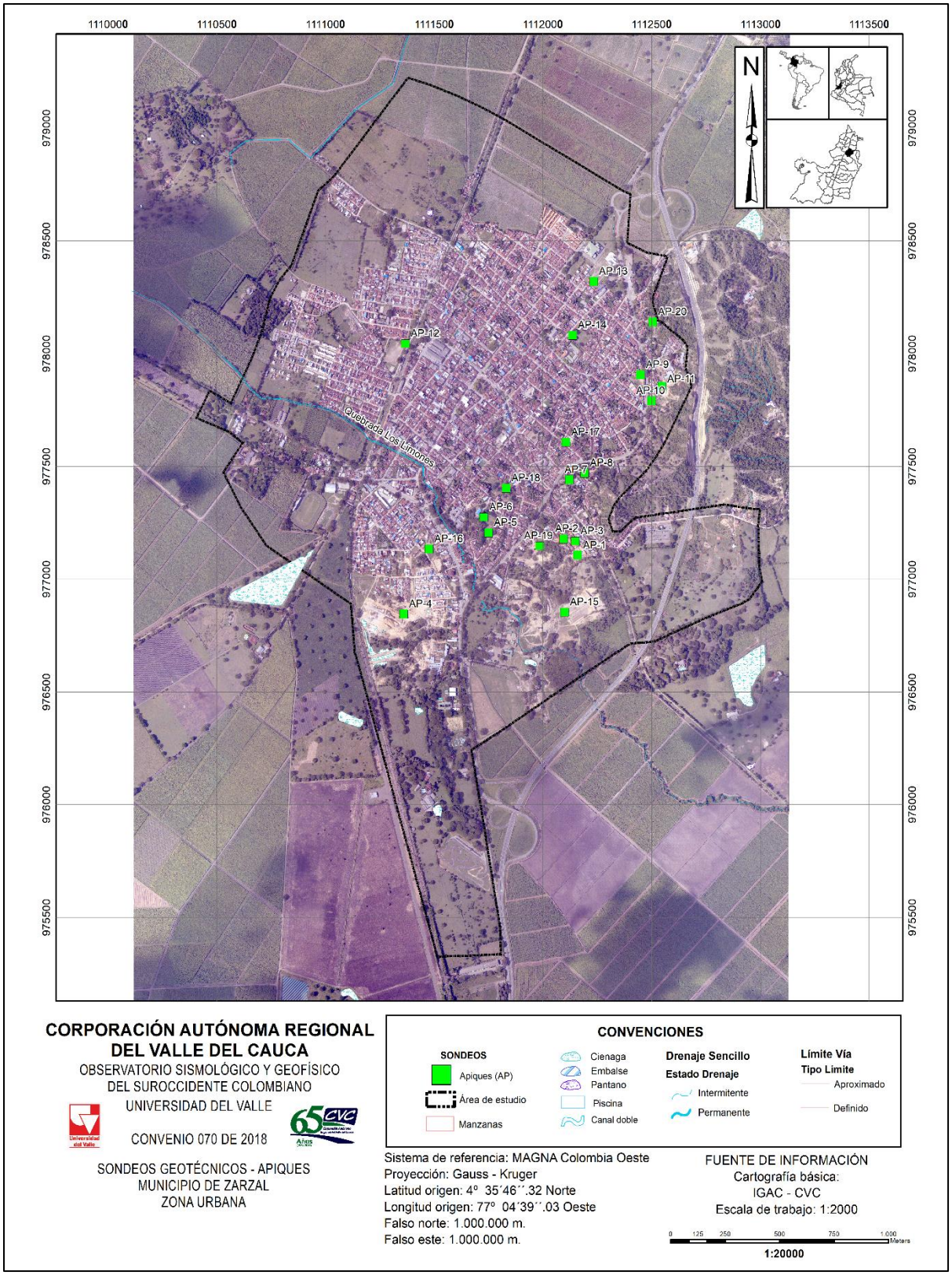


Figura 7.12. Ubicación en planta de los apiques para el presente estudio en el municipio de Zarzal

Fuente: elaboración propia.

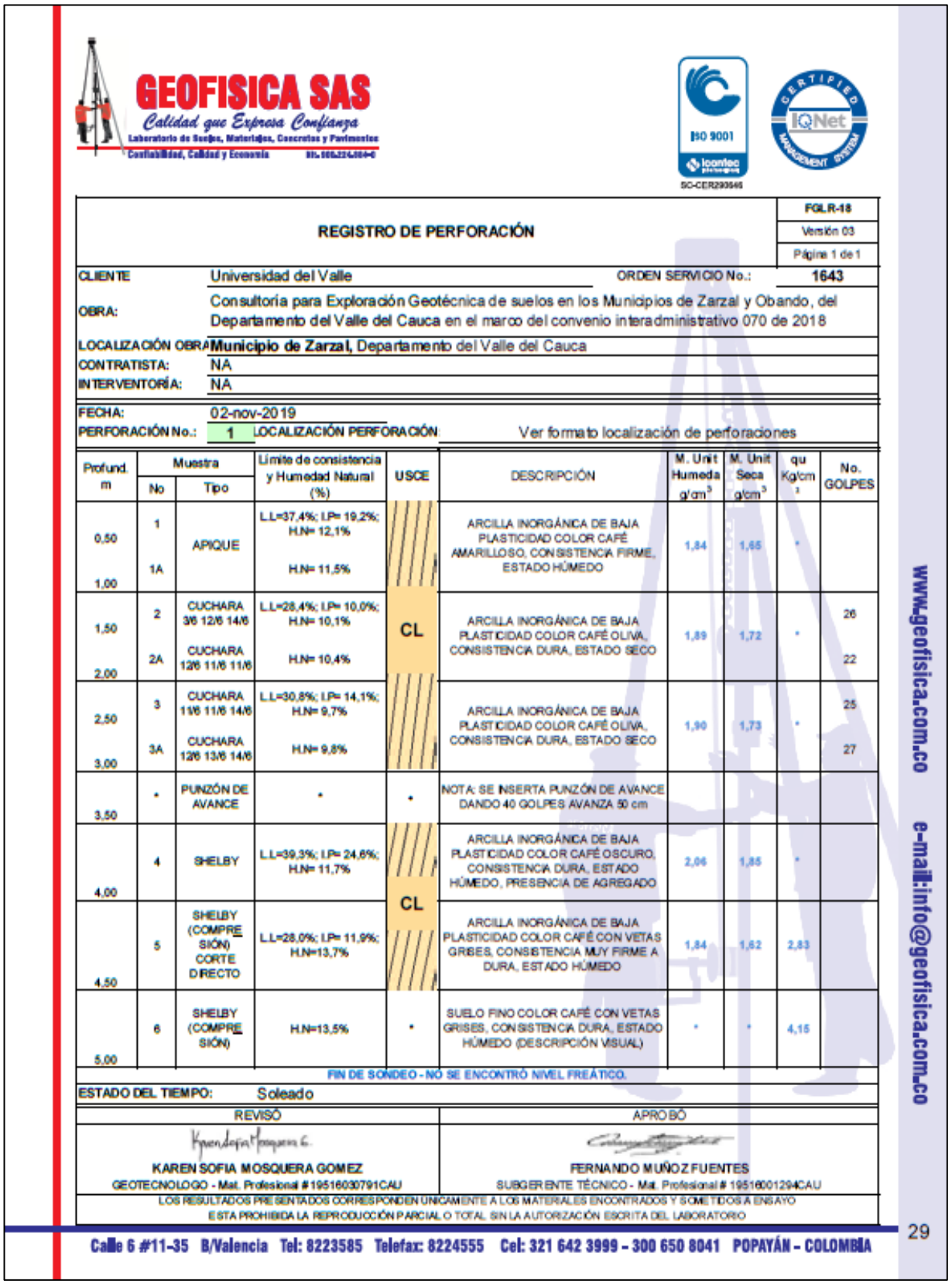
Tabla 7.6. Relación de los apiques realizados, coordenadas (planas Magna Sirgas), alcance en profundidad en el municipio de Zarzal

APIQUE CÓDIGO	LONGITUD	LATITUD	PROFUNDIDAD
AP1	1112160.2496	977107.6431	2
AP2	1112095.8234	977180.0729	2
AP3	1112148.7402	977169.4896	2
AP4	1111360.2803	976846.3665	2
AP5	1111750.6605	977207.0957	2
AP6	1111728.9647	977276.1521	2
AP7	1112122.6655	977442.1520	2
AP8	1112192.2510	977471.7854	2
AP9	1112449.1619	977906.8936	2
AP10	1112500.4912	977791.5350	2
AP11	1112548.1163	977855.0352	2
AP12	1111368.0061	978045.3503	2
AP13	1112234.2537	978320.3853	2
AP14	1112137.4160	978082.2598	2
AP15	1112100.8373	976854.4914	2
AP16	1111476.7721	977134.5535	2
AP17	1112106.5479	977609.0670	2
AP18	1111831.6673	977404.5437	2
AP19	1111985.7874	977148.5588	2
AP20	1112505.6947	978141.1782	2

Fuente: elaboración propia

- **Perfiles estratigráficos en los sitios de exploración**

Aprovechando las descripciones de los materiales extraídos durante las perforaciones, la evaluación posterior de las muestras conservadas para ensayos in situ, y las características de los contactos geológicos presentes en la zona, fue posible generar perfiles estratigráficos en cada uno de los sitios de perforación. La descripción de estos estratos incluye: el tipo de material, litología, características físicas, espesor de cada estrato identificado y las condiciones de humedad. Para cada tipo de suelo se define también una representación gráfica consecuente con el tipo de material encontrado y la descripción del suelo, la cual se mantiene para materiales similares en los diferentes perfiles estratigráficos mostrados. A manera ilustrativa, en la Figura 7.13, se aprecia el perfil estratigráfico establecido en el sitio de perforación P-7, el cual se montó utilizando el software STRATER versión 5.



GEOFISICA SAS
Calidad que Expresa Confianza
Laboratorio de Suelos, Materiales, Concretos y Pavimentos
Confiabilidad, Calidad y Economía

ISO 9001 — SC-CER290646 — IQNet

REGISTRO DE PERFORACIÓN	FGLR-18
	Versión 03
	Página 1 de 1

CLIENTE	Universidad del Valle	ORDEN SERVICIO No.:	1643
OBRA:	Consultoría para Exploración Geotécnica de suelos en los Municipios de Zarzal y Obando, del Departamento del Valle del Cauca en el marco del convenio interadministrativo 070 de 2018		
LOCALIZACIÓN OBRA	**Municipio de Zarzal,** Departamento del Valle del Cauca		
CONTRATISTA:	NA		
INTERVENTORÍA:	NA		
FECHA:	02-nov-2019		
PERFORACIÓN No.:	1	LOCALIZACIÓN PERFORACIÓN:	Ver formato localización de perforaciones

Profund. m	Muestra No	Muestra Tipo	Límite de consistencia y Humedad Natural (%)	USCE	DESCRIPCIÓN	M. Unit Humeda g/cm³	M. Unit Seca g/cm³	qu Kg/cm²	No. GOLPES
0,50	1	APIQUE	L.L=37,4%; I.P= 19,2%; H.N= 12,1%	CL	ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD COLOR CAFÉ AMARILLOSO, CONSISTENCIA FIRME, ESTADO HÚMEDO	1,84	1,65	*	
1,00	1A		H.N= 11,5%						
1,50	2	CUCHARA 3/6 12/6 14/6	L.L=28,4%; I.P= 10,0%; H.N= 10,1%		ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD COLOR CAFÉ OLIVA, CONSISTENCIA DURA, ESTADO SECO	1,89	1,72	*	26
2,00	2A	CUCHARA 12/6 11/6 11/6	H.N= 10,4%						22
2,50	3	CUCHARA 11/6 11/6 14/6	L.L=30,8%; I.P= 14,1%; H.N= 9,7%		ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD COLOR CAFÉ OLIVA, CONSISTENCIA DURA, ESTADO SECO	1,90	1,73	*	25
3,00	3A	CUCHARA 12/6 13/6 14/6	H.N= 9,8%						27
3,50	*	PUNZÓN DE AVANCE	*	*	NOTA: SE INSERTA PUNZÓN DE AVANCE DANDO 40 GOLPES AVANZA 50 cm				
4,00	4	SHELBY	L.L=39,3%; I.P= 24,6%; H.N= 11,7%	CL	ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD COLOR CAFÉ OSCURO, CONSISTENCIA DURA, ESTADO HÚMEDO, PRESENCIA DE AGREGADO	2,06	1,85	*	
4,50	5	SHELBY (COMPRESIÓN) CORTE DIRECTO	L.L=28,0%; I.P= 11,9%; H.N=13,7%		ARCILLA INORGÁNICA DE BAJA PLASTICIDAD COLOR CAFÉ CON VETAS GRISES, CONSISTENCIA MUY FIRME A DURA, ESTADO HÚMEDO	1,84	1,62	2,83	
5,00	6	SHELBY (COMPRESIÓN)	H.N=13,5%	*	SUELO FINO COLOR CAFÉ CON VETAS GRISES, CONSISTENCIA DURA, ESTADO HÚMEDO (DESCRIPCIÓN VISUAL)	*	*	4,15	

FIN DE SONDEO - NO SE ENCONTRÓ NIVEL FREÁTICO.

ESTADO DEL TIEMPO: Soleado

REVISÓ	APROBÓ
KAREN SOFIA MOSQUERA GOMEZ	FERNANDO MUÑOZ FUENTES
GEOTECNOLOGO - Mat. Profesional # 19516030791CAU	SUBGERENTE TÉCNICO - Mat. Profesional # 19516001294CAU

LOS RESULTADOS PRESENTADOS CORRESPONDEN UNICAMENTE A LOS MATERIALES ENCONTRADOS Y SOMETIDOS A ENSAYO
ESTA PROHIBIDA LA REPRODUCCIÓN PARCIAL O TOTAL SIN LA AUTORIZACIÓN ESCRITA DEL LABORATORIO

Calle 6 #11-35 B/Valencia Tel: 8223585 Telefax: 8224555 Cel: 321 642 3999 - 300 650 8041 POPAYÁN - COLOMBIA
www.geofisica.com.co e-mail:info@geofisica.com.co

29

Figura 7.13. Perfil estratigráfico establecido
Fuente: elaboración propia

7.3.6.3. Líneas de refracción sísmica

Se basa en determinar los tiempos de recorrido de las ondas, tanto de compresión (ondas P) como de corte (ondas S), desde un punto conocido (fuente sísmica) hasta una serie de receptores (geófonos) situados a lo largo de una línea de adquisición. Conociendo el tiempo de recorrido que las ondas emplean en recorrer la distancia que separa la fuente y los receptores, se puede determinar la velocidad de propagación del medio. A partir de los valores de velocidad se puede obtener un modelo del subsuelo compuesto por capas de velocidad constante y espesor variable. Este método es muy útil para determinar, de manera indirecta, la estratigrafía del subsuelo.

La conformación del subsuelo por este método se validó con las perforaciones realizadas en el sector, con el fin de obtener un modelo geológico-geotécnico ajustado a las condiciones de campo. Las líneas sísmicas permiten cubrir mayor área en comparación con las perforaciones, por lo tanto, su empleo resulta óptimo para interpolar lo identificado en sitios específicos.

La toma de datos en campo se realizó con el sismógrafo digital (SARA ELECTRONICS) referencia DoReMi de 12 canales y un cable con una separación de 5 m entre geófonos para una profundidad de investigación mínima de 30 m (la cual puede ser fácilmente aumentada a 50 o 60 m. usando shotpoint distales) y geófonos de 4.5 Hz de frecuencia natural de vibración (ver Figura 7.14).

Figura 7.14. Realización en campo de una línea sísmica en el municipio de Zarzal
Fuente: fotografías propias

En total se realizaron cinco (5) líneas sísmicas de 60 m de longitud cada una, ubicadas de forma tal que cubrieran la mayor parte del área de interés y obteniendo alcances entre 5 a 30 m de profundidad, permitiendo así identificar características de los suelos aflorantes en el sector de estudio y aportar datos para la determinación de las propiedades geomecánicas de los materiales relevantes para los análisis y modelos de estabilidad. Estas se realizaron en zonas donde existía espacio suficiente para su realización. En la se presenta la ubicación de las líneas realizadas dentro del área de estudio.

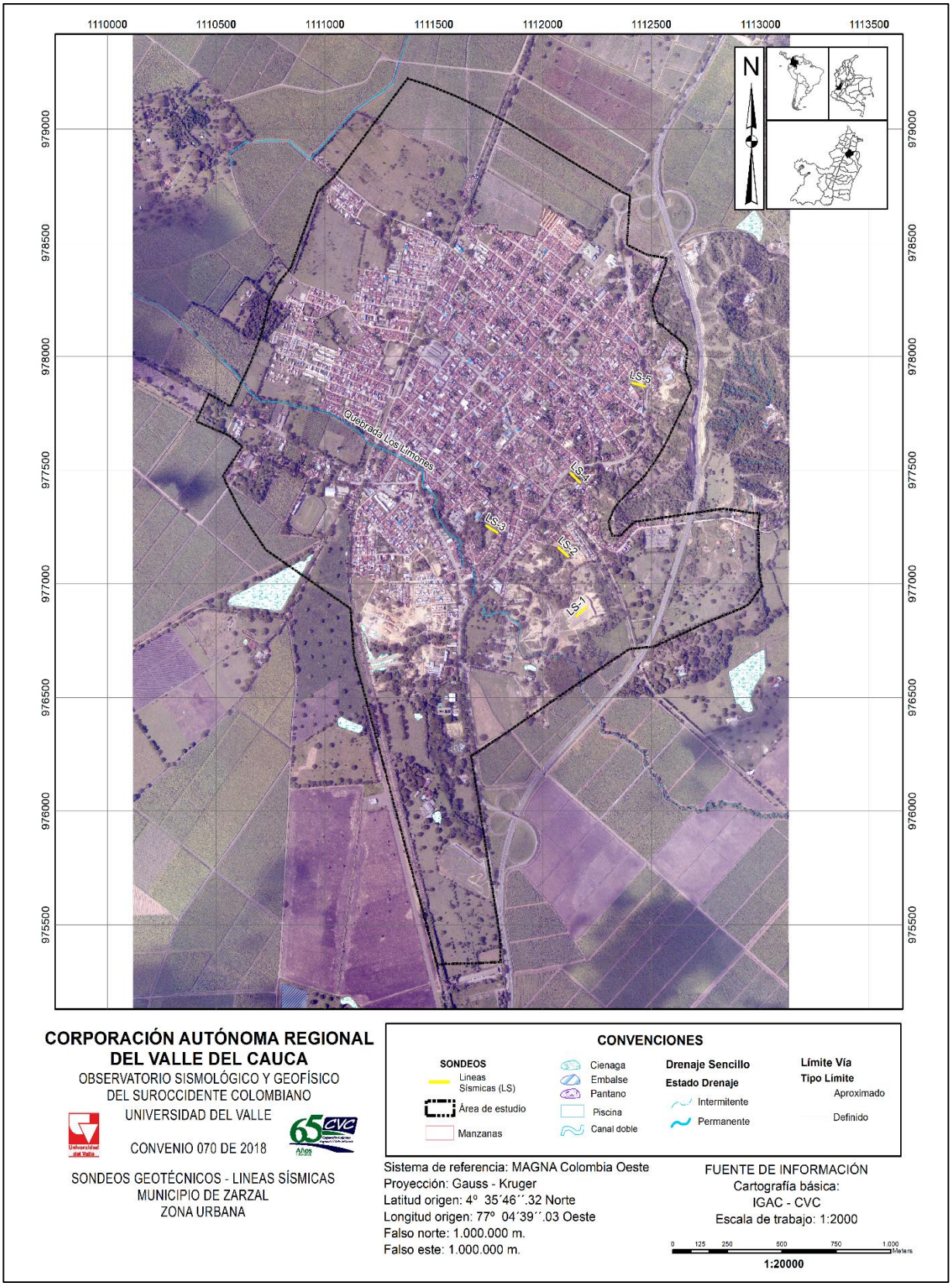


Figura 7.15. Localización de las líneas de refracción sísmica en el municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

La Tabla 7.7, muestra la ubicación de las líneas de refracción sísmicas hechas en el área de estudio para conocer los diferentes comportamientos del suelo, es decir, si el suelo es blando o duro a partir de la onda que emite, adicional a ello se presenta la longitud y la profundidad alcanzada con cada sondeo, siendo la LS2 la que alcanzó mayor profundidad. Resultados que definen cuatro horizontes de velocidad; el primero se correlaciona con suelos de consistencia blanda hasta una profundidad de 1,20 a 3,50 metros y velocidad de 200 metros/segundo. El segundo y tercer horizonte se correlaciona con la roca meteorizada de consistencia muy blanda a blanda, alcanza una profundidad de 5.30, 8,00 y 10,00 metros con velocidades del orden de 440 y 650 metros/segundo, pertenecientes a la Formación Zarzal constituida por intercalaciones de arcillas y tobas arenosas. El cuarto horizonte se correlaciona con una secuencia de diatomitas, arcillas y arenas tobáceas de consistencia media pertenecientes a la Formación Zarzal con velocidad de 1000 metros/segundo.

Tabla 7.7. Ubicación de las líneas de refracción sísmica realizadas para el presente estudio en el municipio de Zarzal

COORDENADAS LÍNEAS SÍSMICAS MUNICIPIO DE ZARZAL					
CÓDIGO	**VÉRTICE**	**LONGITUD**	**LATITUD**	**LONGITUD (m)**	**PROFUNDIDAD (m)**
LS1	LS1_Inicial	1112154.9579	976858.9342	60	> (5.00)(9.50)
LS1	LS1_Final	1112200.5133	976897.9817		
LS2	LS2_Inicial	1112071.9447	977160.4937	60	> 10.00
LS2	LS2_Final	1112117.2482	977121.1543		
LS3	LS3_Inicial	1111741.2700	977256.4958	60	> (5.50)(9.00)
LS3	LS3_Final	1111792.6524	977225.5144		
LS4	LS4_Inicial	1112128.2217	977488.7188	60	> (4.50)(6.00)
LS4	LS4_Final	1112170.9877	977446.6347		
LS5	LS5_Inicial	1112412.6494	977884.6686	60	> (6.90)(9.00)
LS5	LS5_Final	1112470.6383	977869.2647		

Fuente: elaboración propia

Para el procesamiento de la información se usó el paquete SeisImager de Geometrics. Este software está conformado por cuatro módulos (Pickwin, Plotrefa, WaveEq, Geoplot) que sirven para analizar datos de refracción. Estos conforman el programa SeisImager/2D. Para el desarrollo de este trabajo se usó el módulo Plotrefa y Pickwin.

Los datos adquiridos en campo se procesaron inicialmente para el picado de primeros arribos y obtener las curvas llamadas domocronas o traveltime (tiempo de viaje). A partir de los diferentes archivos generados por cada disparo a lo largo de la línea de adquisición, se genera un conjunto de picados de primeros arribos pertenecientes a cada disparo, cada picado representa los primeros arribos de la onda a través del subsuelo. En la Figura 7.16, se presenta un mosaico de los datos registrados por medio del software SeisImager, durante la medición de las ondas P.

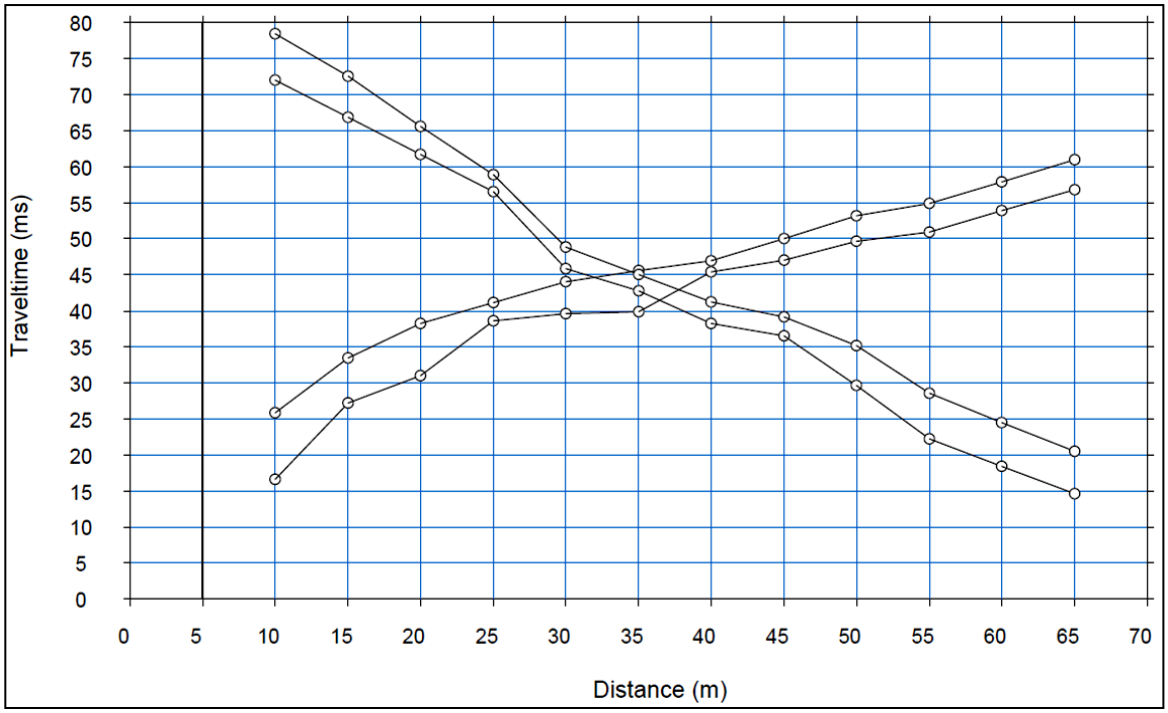


Figura 7.16. Ilustración típica de la captura de datos en campo mediante el software SeisImager correspondiente a la ejecución de la línea de refracción para ondas P
Fuente: elaboración propia

Una vez realizada la selección de los primeros arribos, el módulo Plotrefa, lleva a cabo la inversión sísmica de los datos y de esta manera generar el modelo de capas. Para llevar a cabo el método de tomografía de refracción sísmica, resulta necesario generar un modelo de velocidades inicial a través del cual se rastrean los rayos de manera iterativa a través de éste y se comparan el tiempo de viaje calculado con el tiempo de viaje observado, modificando así el modelo hasta minimizar el error entre los datos observados y los calculados. El objetivo de realizar la tomografía en el programa SeisImager es conseguir el mínimo tiempo de viaje entre la fuente y el receptor para cada par fuente- receptor. El resultado del procesamiento de la información adquirida se muestra en la siguiente imagen.

En la Figura 7.17 se presenta una imagen del análisis realizado mediante el software SeisImager, la cual, se puede interpretar en mínimo TRES secciones o capas con características de velocidades de ondas compresionales Vp muy diferentes. La primera de baja velocidad asociado a efectos de meteorización y materiales recientes, representados por los tonos rojos a naranjas (esta capa a su vez puede subdividirse). La segunda sección o capa de colores amarillos es interpretada como materiales muy compactos y hasta se pueden clasificar como roca blanda ya que las propiedades de este material todavía pueden presentar efectos de meteorización y puede presentar saturaciones de agua lo que aumenta las velocidades de la onda compresional. La tercera sección o capa es la que se representa de color verde la cual ya presenta velocidades lo suficientemente alta para considerar el material como roca.

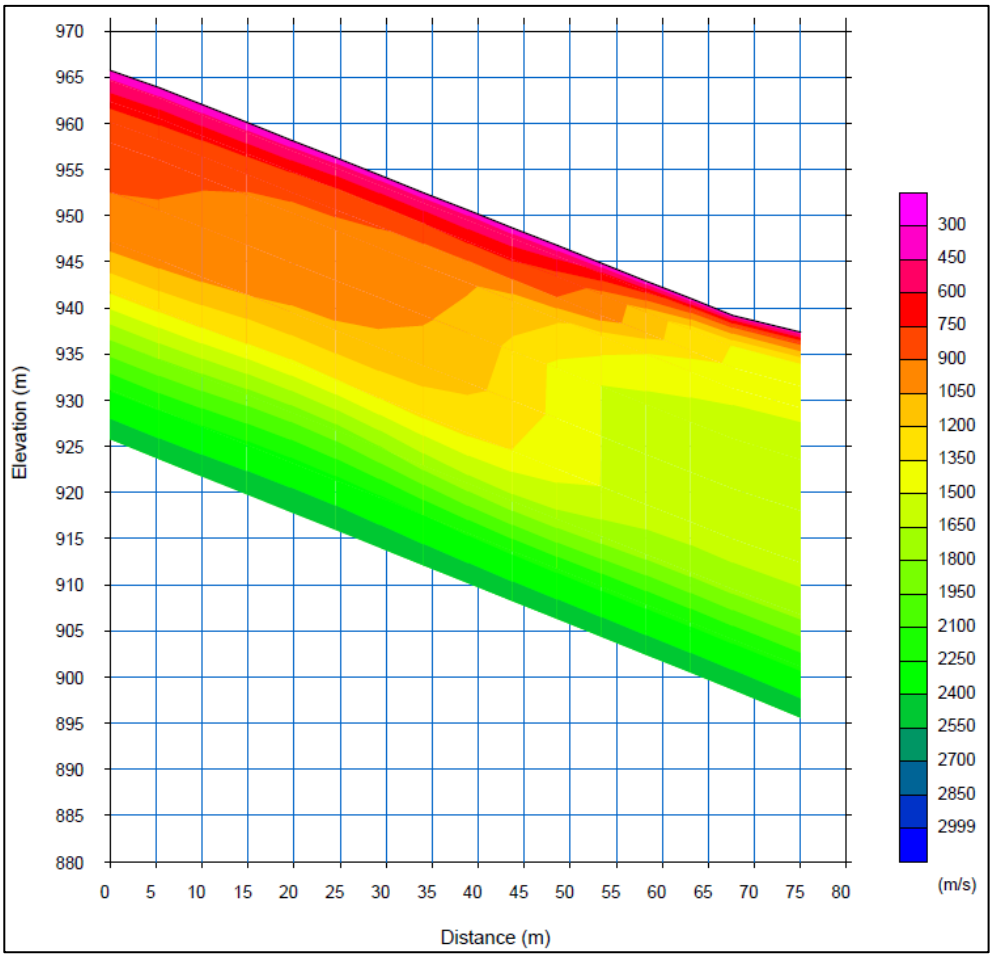


Figura 7.17. Ilustración típica del procesamiento de datos mediante el software SeisImager correspondiente a la línea de refracción para ondas P.
Fuente: elaboración propia

Una vez obtenidas las domocrónicas y el perfil de velocidad Vp / profundidad para cada una de las líneas, se calculará Vs la cual será calculada como el 50% de Vp, con los valores de obtenidos Vs se definirá el perfil de suelo utilizando la Tabla 7.8 (A.2.4-1 del NSR 2010).

Tabla 7.8. Relación entre tipo de suelo, valor N(SPT) y Vs (m/s)

TIPO DE SUELO	N (SPT)	VS (M/S)
Roca	-	>720
Suelo Firme	>50	360
Suelo Medio	15 - 50	180
Suelo Blando	<50	90

Fuente: MDOC-DS, 2008

A partir del análisis de las dromócronas se determinan las diferentes pendientes que indican finalmente las velocidades características de cada uno de los estratos. Se observa en dichas dromócronas que a medida que se aumenta la distancia desde el punto de golpeo, se presentan cambios de pendientes menores, lo que se traduce en mayores velocidades a profundidad, ya que

se debe recordar que a medida que la onda se aleja del punto de golpeo, los geófonos reciben la señal a mayor profundidad.

La Tabla 7.9, se enseñan las velocidades calculadas para cada uno de los puntos de golpeo. A partir de dichas velocidades y en comparación con las tomografías del terreno, se determinan los espesores de cada estrato, relacionados con sus velocidades de transmisión de Ondas S. lo cual ayuda a determinar si el horizonte está compuesto por suelo, roca meteorizada o basamento rocoso.

Tabla 7.9. Estratos, velocidades y espesores identificados en cada una de las líneas sísmicas realizadas en el área de estudio

LÍNEAS	ESTRATOS	VELOCIDADES [m/s] Vs	PROFUNDIDAD [m]
LS1	1	240	0.00 – (1.60)(3.20)
	2	530	(1.60)(3.20) – (5.00)(9.50)
	3	1140	> (5.00)(9.50)
LS2	1	200	0.00 – (1.20)(3.50)
	2	440	(1.20)(3.50) – (5.30)(8.00)
	3	650	(5.30)(8.00) – 10.00
	4	1000	> 10.00
LS3	1	200	0.00 – (1.30)(2.10)
	2	420	(1.30)(2.10) – (2.90)(5.50)
	3	750	(2.90)(5.50) – (6.00)(9.00)
	4	1300	> (5.50)(9.00)
LS-4	1	390	0.00 – (1.70)(2.20)
	2	1200	(1.70)(2.20) – (4.50)(6.00)
	3	1500	> (4.50)(6.00)
LS5	1	260	0.00 – (1.20)(4.50)
	2	420	(1.20)(4.50) – (6.90)(9.00)
	3	550	> (6.90)(9.00)

Fuente: elaboración propia

En la Figura 7.18, se presenta el perfil del terreno de la línea sísmica LS-4 (ubicada en el barrio Buenos Aires al oriente de la cabecera municipal), donde se observan 4 horizontes de velocidad. El primer horizonte está constituido por depósitos de ladera que alcanzan una profundidad de 1.70 a 2.20 metros y velocidad de 390 metros/segundo de consistencia blanda. El segundo horizonte se correlaciona con rocas de la Formación La Paila constituida por intercalaciones de conglomerados y areniscas de grano medio a grueso de color habano a crema, alcanza una profundidad de 4.50 a 6.00 metros con velocidad de 1200 metros/segundo, de consistencia media. El tercer horizonte está constituido por rocas pertenecientes a la Formación La Paila de consistencia dura con velocidad de 1500 metros/segundo.

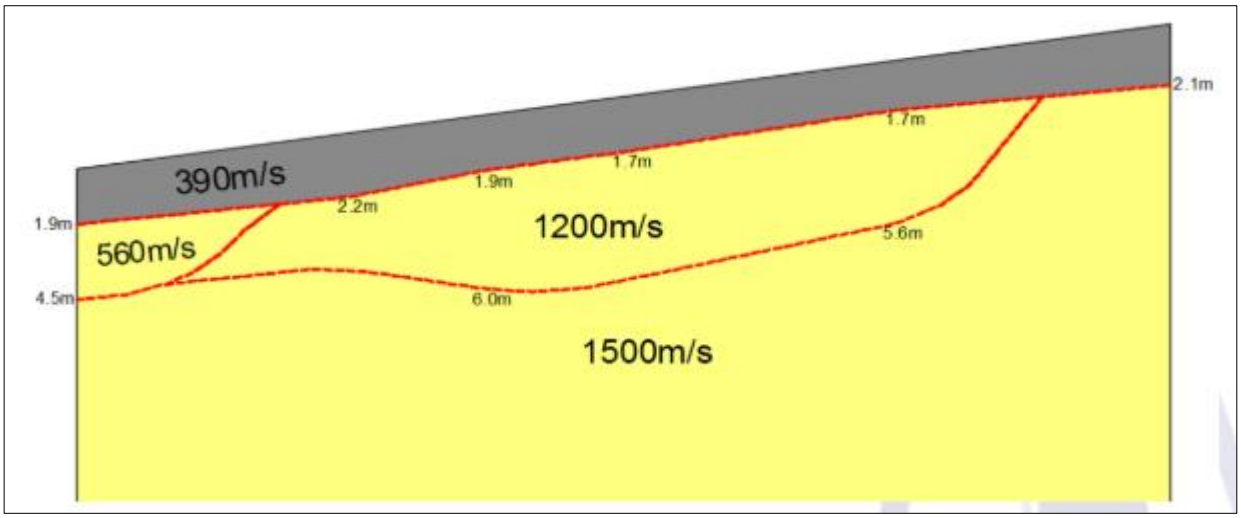


Figura 7.18. Tomografía del terreno, velocidades de onda plana (Vp), LS-2.
Fuente: elaboración propia

7.3.6.4. Ensayos de laboratorio

El plan de ensayos de laboratorio tuvo por objeto la caracterización geomecánica de los materiales que componen el subsuelo bajo el área de estudio, para lo cual se llevaron a cabo ensayos de clasificación y de resistencia. Dentro de los ensayos de suelos se realizaron los límites de consistencia, granulometría, contenido de humedad, gravedad específica, compresión inconfinada, corte directo y peso unitario.

La Tabla 7.10, se presentan el tipo y número de ensayos realizados para la caracterización de los materiales recuperados en el proceso de exploración geotécnica en el municipio de Zarzal.

Tabla 7.10. Ensayos de laboratorio realizados para el presente estudio

ENSAYO DE LABORATORIO	CANTIDAD
Granulometría por tamizado	36 - 56
Gravedad especifica empleando el picnómetro	10 - 13
Determinación de los límites de consistencia	48 - 73
Contenido de humedad	108 - 165
Compresión inconfinada	13 - 23
Corte directo 3 puntos (consolidado drenado)	10 - 13
Peso unitario	50 - 63

Fuente: elaboración propia

En complemento a la tabla anterior, en la

Tabla ***7.11*** se reportan los resultados obtenidos en los ensayos de laboratorio realizados para cada muestra de suelo. Donde en la granulometría por tamizado se encontró que predominan los suelos finos, principalmente compuestos por arcillas y limos mezclados con un porcentaje mínimo de arenas.

Tabla 7.11. Relación de resultados de ensayos de laboratorio realizados a las muestras recuperadas en las labores de exploración en el municipio de Zarzal.

ID EXPLORACIÓN	ID MUESTRA	PROFUNDIDAD [m]		PESO UNITARIO HÚMEDO (g/cm³)	PESO UNITARIO SECO (g/cm³)	HUMEDAD (%)	LIMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	GRANULOMETRÍA			CLASIFICACIÓN USCS	CORTE DIRECTO		DESCRIPCIÓN
		DESDE	HASTA							% DE GRAVAS	% DE ARENAS	% DE FINOS		ÁNGULO DE FRICCIÓN PICO f (°)	COHESIÓN PICO (KPa)	
P-01	M5	4,0	4,5	1,84	1,62	13,7	28,0	16,1	11,9	2,3	26,9	70,8	CL	42,00	70,41	Arcilla inorgánica de baja plasticidad color café con vetas grises, consistencia muy firme a dura, estado húmedo.
P-02	M5	4,0	4,6	1,97	1,60	23,1	46,6	18,7	27,9	0,0	30,2	69,8	CL	21,00	60,84	Arcilla inorgánica de baja plasticidad color gris oscuro con vetas cafés, consistencia dura, estado húmedo.
P-03	M4	3,0	3,5	2,05	1,72	19,6	60,7	31,1	29,6	0,3	2,5	97,3	MH	-	-	Limo inorgánico de alta compresibilidad color café amarillosos con franjas café oliva, consistencia dura, estado húmedo.
P-04	M5	4,0	5,0	2,01	1,79	12,3	27,6	22,7	4,9	6,8	46,0	47,2	SM	-	-	Arena limosa color gris oliva, compacidad dura, estado húmedo.
P-05	M5	4,0	4,5	1,86	1,48	25,8	57,6	30,0	27,6	8,0	8,9	83,1	CH	10,00	62,54	Arcilla inorgánica de alta plasticidad color gris cafesoso, consistencia firme, estado húmedo.
P-06	M5	4,0	4,5	2,34	2,04	14,9	47,0	19,2	27,9	8,6	24,3	67,0	CL	25,00	40,03	Arcilla inorgánica de baja plasticidad color claro con vetas amarillas, consistencia muy firme, estado húmedo.
P-07	M5	4,0	4,5	1,66	1,27	30,4	62,4	31,2	31,2	8,1	5,9	86,1	CH	24,87	31,86	Arcilla inorgánica de alta plasticidad color gris claro con vetas amarillas y negras, consistencia dura, estado húmedo.
P-08	M6 M6A	3,0 3,5	3,5 4,5	1,89	1,65	15,0 14,8	43,4	27,8	15,6	9,8	19,7	70,4	ML	-	-	Limo inorgánico de baja compresibilidad color oliva con franjas cafés, consistencia dura, estado húmedo.
P-09	M5	4,0	4,5	1,84	1,49	23,5	55,9	21,8	34,1	0,0	26,5	73,5	CH	20,00	55,52	Arcilla inorgánica de alta plasticidad color café con vetas grises, consistencia dura, estado húmedo.
P-10	M5	4,0	4,5	1,81	1,61	12,8	39,2	19,2	20,1	33,1	51,7	15,1	CL	21,00	74,84	Relleno: arena arcillosa color café grisáceo, compacidad dura, estado húmedo, resistencia de material de mampostería.
P-11	M5	4,0	4,5	1,66	1,25	33,3	63,6	30,5	33,1	0,0	0,6	99,4	CH	22,72	45,78	Arcilla inorgánica de lata plasticidad color café amarilloso con franjas cafés, consistencia dura. Estado húmedo.
P-12	M5	4,0	4,5	1,93	1,84	4,9	33,2	20,7	12,5	62,1	29,9	7,9	CL	-	-	Grava mal gradada arcillosa color gris, cementación fuerte con matriz de suelo fino color café, consistencia dura, presencia de partículas sub redondeadas.
P-13	M5	4,5	5,0	1,98	1,86	6,8	31,3	20,5	10,7	54,3	29,4	172,	GC	-	-	Grava arcillosa color café, cementación moderada, estado húmedo, presencia de partículas sub redondeadas de alta dureza.
P-14	M5	4,0	4,5	1,91	1,54	24,3	0,0	19,4	80,6	0,0	19,4	80,6	CH	19,00	70,00	Arcilla inorgánica de alta plasticidad color café con trazos rojos, consistencia dura, estado húmedo.
P-15	M5	4,0	4,5	1,99	1,85	7,7	31,4	17,7	13,7	30,0	54,4	15,1	SC	36,00	14,16	Arena arcillosa color café, compacidad dura, estado húmedo, presencia de agregado.
P-16	M5	4,0	4,5	1,82	1,50	21,2	34,5	21,4	13,1	0,0	23,5	76,5	CL	22,00	30,40	Arcilla inorgánica de baja plasticidad color verdoso, consistencia firme, estado húmedo.
P-17	M6	4,0	4,5	1,84	1,42	29,5	31,8	18,1	13,6	0,2	26,9	72,9	CL	27,75	38,61	Arcilla inorgánica de baja plasticidad color gris verdoso, consistencia blanda muy firme, estado saturado.
P-18	M5	4,0	4,5	1,94	1,53	27,1	73,3	24,5	48,9	2,1	12,9	85,0	CH	22,95	39,14	Arcilla inorgánica de alta plasticidad color oliva con vetas cafés y negras, consistencia muy firme estado húmedo.
P-19	M5	4,0	4,5	1,84	1,48	24,1	51,3	21,8	29,4	0,0	8,1	91,9	CH	28,00	77,30	Arcilla inorgánica de alta plasticidad color gris verdoso con franjas arcillosas, consistencia dura, estado húmedo.
P-20	M5	4,5	5,0	1,77	1,34	31,8	72,8	30,7	42,1	0,0,	2,1	97,9	CH	29,00	9,02	Arcilla inorgánica de lata plasticidad color café claro, consistencia muy firme, estado húmedo.
AP-1	M3	1,30	1,65	1,57	1,32	14,6	48,7	25,6	23,0	0,2	14,8	84,9	CL	-	-	Arcilla inorgánica de baja plasticidad color café grisáceo, consistencia dura, estado húmedo.

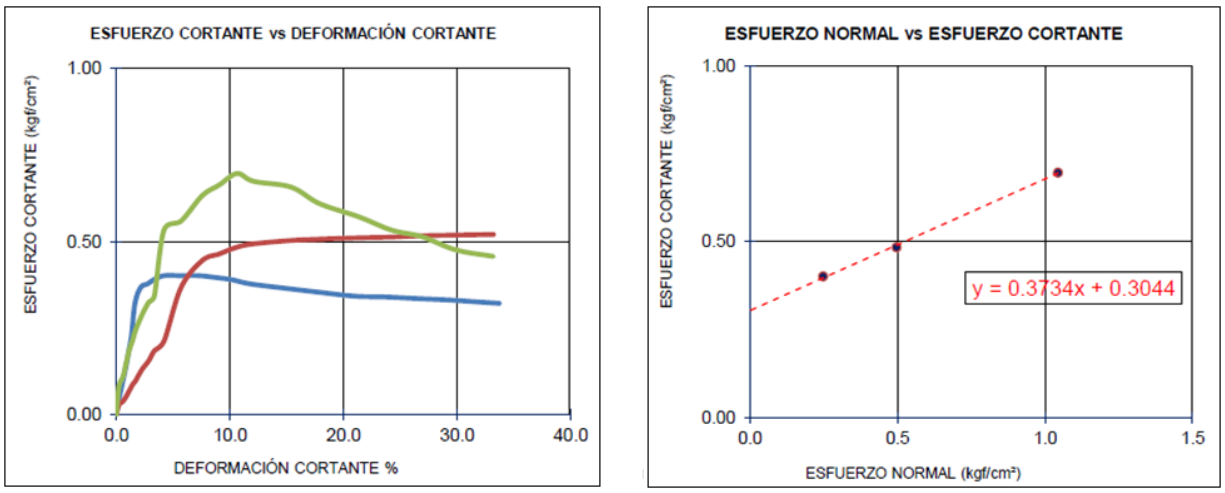
ID EXPLORACIÓN	ID MUESTRA	PROFUNDIDAD [m]		PESO UNITARIO HÚMEDO (g/cm³)	PESO UNITARIO SECO (g/cm³)	HUMEDAD (%)	LIMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	GRANULOMETRÍA			CLASIFICACIÓN USCS	CORTE DIRECTO		DESCRIPCIÓN
		DESDE	HASTA							% DE GRAVAS	% DE ARENAS	% DE FINOS		ÁNGULO DE FRICCIÓN PICO f (°)	COHESIÓN PICO (KPa)	
AP-2	M3	1,00	1,50	1,86	1,45	28,1	41,6	20,5	21,0	0,1	19,2	80,7	CL	-	-	Arcilla inorgánica de baja plasticidad color café amarilloso, consistencia blanda, estado húmedo, presencia de raíces.
AP-3	M3	1,00	1,50	1,68	1,16	45,2	61,9	29,1	32,8	0,0	0,7	99,3	CH	20,57	9,29	Arcilla inorgánica de alta plasticidad color gris cafesoso con vetas grises, consistencia muy firme, estado húmedo.
AP-4	M3	0,60	1,00	1,59	1,42	12,1	38,1	20,6	17,5	0,0	78,0	22,0	CL	23,93	12,75	Arena arcillosa color oliva con franjas rojas, compacidad firme, estado húmedo.
AP-5	M3	1,15	1,60	1,49	1,16	27,8	51,7	22,8	28,9	0,0	1,8	98,2	CH	-	-	Arcilla inorgánica de alta plasticidad color café amarilloso con vetas grises, consistencia dura, estado húmedo.
AP-6	M2	0,60	1,00	1,74	1,23	41,7	59,9	30,4	29,5	0,0	1,2	98,8	CH	23,11	48,49	Arcilla inorgánica de alta plasticidad color café oliva con vetas cafés y oxidaciones rojas, consistencia dura, estado húmedo.
AP-7	M3	1,00	1,50	1,74	1,18	47,2	60,5	26,9	33,6	0,0	1,6	98,4	CH	24,61	14,72	Arcilla inorgánica de alta plasticidad color gris con vetas cafés, consistencia dura, estado húmedo.
AP-8	M3	0,60	1,00	1,96	1,41	39,5	88,2	22,9	65,2	0,0	12,0	88,0	CH	-	-	Arcilla inorgánica de alta plasticidad color cafesosos con vetas amarillosas, consistencia dura, estado húmedo.
AP-9	M3	1,00	1,50	1,92	1,51	26,8	43,3	29,2	14,1	0,0	25,2	74,8	ML	-	-	Limo inorgánico de baja compresibilidad color gris con franjas color gris claro, consistencia muy firme, estado húmedo.
AP-10	M3	1,00	1,50	1,89	1,67	13,0	58,4	21,4	37,0	0,0	29,3	70,7	CH	-	-	Arcilla inorgánica de alta plasticidad color café muy oscuro, consistencia dura, estado húmedo, presencia de roca meteorizada.
AP-11	M3	1,00	1,50	1,72	1,61	6,9	41,9	20,7	21,2	49,3	33,2	17,5	GC	-	-	Grava arcillosa color café claro, cementación fuerte, estado húmedo, presencia de partículas sub redondeadas y sub angulares de tamaño 1".
AP-12	M3	1,00	1,50	1,81	1,48	22,4	51,7	21,9	29,8	0,0	24,1	75,9	CH	-	-	Arcilla inorgánica de alta plasticidad color oliva con una franja negra, consistencia firme, estado húmedo.
AP-13	M2	1,00	1,50	1,64	1,17	40,4	71,7	27,9	43,9	0,0	7,1	92,9	CH	-	-	Arcilla inorgánica de alta plasticidad color gris con franjas cafés, consistencia firme, estado húmedo.
AP-14	M3	1,00	1,50	1,68	1,17	44,1	53,4	22,7	30,6	0,0	9,8	90,2	CH	20,09	3,77	Arcilla inorgánica de alta compresibilidad color gris oscuro, consistencia blanda, estado saturado, presencia de raicillas.
AP-15	M2	1,40	1,70	1,62	1,22	32,8	61,4	35,9	25,5	0,0	0,6	99,4	MH	23,17	70,73	Limo inorgánico de alta compresibilidad color café amarilloso con una franja gris, consistencia dura, estado húmedo.
AP-16	M3	1,00	1,50	1,52	1,30	16,7	47,1	26,7	20,4	0,5	7,6	91,8	CL	-	-	Arcilla inorgánica de baja plasticidad color café oliva claro con vetas rojas, consistencia firme, estado húmedo.
AP-17	M3	1,00	1,50	1,73	1,20	44,9	70,6	26,0	44,6	0,0	0,4	99,6	CH	-	-	Arcilla inorgánica de alta plasticidad color café grisáceo con vetas rojas, consistencia firme, estado húmedo, presencia de raicillas.
AP-18	M3	1,00	1,50	1,91	1,57	21,6	50,1	18,8	31,3	0,0	8,6	91,4	CH	23,93	40,31	Arcilla inorgánica de alta plasticidad color café con vetas olivas y negras, consistencia dura, estado húmedo.
AP-19	M4	1,50	2,00	1,58	1,35	16,3	61,8	27,5	34,3	0,0	1,9	98,1	CH	-	-	Arcilla inorgánica de alta plasticidad color café oliva con vetas cafés y negras, consistencia dura, estado húmedo.
AP-20	M2	1,00	1,50	1,64	1,26	30,2	54,6	31,1	23,4	11,5	46,1	42,4	SM	-	-	Arena limosa color café oliva con vetas rojas y blancas, compacidad firme, estado húmedo.

Fuente: elaboración propia

7.3.6.5. Ensayo de corte directo

Con el ánimo de estimar los parámetros de resistencia al corte de los materiales, se realizaron ensayos de corte directo sobre muestras de suelo, recuperadas en las perforaciones y apiques realizados. Este ensayo se realizó para condiciones pico, lo que permitió obtener una envolvente residual para así estimar los parámetros de resistencia en estado crítico. Se realizaron sobre muestras de suelo a nivel superficial y profundo (2 a 10 metros de profundidad), incluyendo la estimación de los parámetros de resistencia del suelo (cohesión y ángulo de fracción interna). Este ensayo se realizó para tres niveles de esfuerzos, cada uno a través de tres etapas: saturación, consolidación y falla.

La Figura 7.19a, presenta el esfuerzo aplicado y la deformación que ha sufrido la muestra (representado por las 3 líneas), además se puede determinar el comportamiento de la misma (dúctil o frágil). En complemento la Figura 7.19b exhibe el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante, mostrando el intercepto de la cohesión con su respectivo ángulo de fricción.



a **b**

Figura 7.19. Gráficas esfuerzo-deformación pico obtenidas del ensayo de corte directo sobre la muestra M7A de la perforación P-04.
Fuente: elaboración propia.

7.3.6.6. Ensayos de compresión inconfinada

consiste en someter a un esfuerzo de comprensión axial a una muestra inalterada del suelo en estudio, lo cual permite obtener un valor de resistencia al corte del suelo. Este método es aplicable solo a suelos cohesivos que no expulsan agua durante la carga y que mantienen su resistencia intrínseca una vez removidas las presiones de confinamiento. En otras palabras, la finalidad de este tipo de ensayo es determinar la resistencia a la compresión inconfinada, de un cilindro de suelo cohesivo o semi-cohesivo, por medio de la expresión.

$$q_c = \frac{q_u}{2} (kg/ccm^2) \quad (38)$$

Donde q_c es la resistencia al corte y q_u es la compresión no confinada

El cálculo se basa en que el esfuerzo principal menor es cero y que el ángulo de fricción interna se supone cero, en el ensayo se aplica a la probeta la tensión longitudinal, puesto que no es necesario el dispositivo para aplicar la presión lateral, este método se podrá realizar de dos (2) formas, una es el control de deformación y la otro el control de esfuerzos, en el primero se controla la velocidad del avance, mientras que el segundo se realiza incrementando la carga paulatinamente.

7.3.6.7. Parámetros geotécnicos

La Tabla 7.12 resume las propiedades geotécnicas establecidas para cada uno de los materiales identificados en la zona de estudio, apoyados en la cartografía de las unidades geológicas superficiales (UGS), los resultados de la exploración del subsuelo y de los ensayos de laboratorio practicados en el municipio, expuestos en los numerales previos. En ella se discretizan las propiedades en función de su profundidad y UGS, dando valores promedios en cuanto a su clasificación, características básicas y resistencia.

Tabla 7.12. Resumen de los parámetros geotécnicos establecidos para los materiales presentes en la zona de estudio

MATERIAL	APIR PERF.	DESCRIPCIÓN	UGS	W	LL	LP	IP	USCS	%GRAVA	%ARENA	%FINOS	PESO UNITARIO	CORTE PICO C (KPa)	CORTE PICO FI (°)
5	P14	Arcilla inorgánica de alta plasticidad color café con trazos rojos, consistencia dura, estado húmedo.	Rdc	24,3	0,0	19,4	80,6	CH	0,0	19,4	80,6	1,54	70,00	19,00
5	Ap16	Arcilla inorgánica de alta plasticidad color café oliva con vetas cafés y oxidaciones rojas, consistencia dura, estado húmedo.	Rbvs	16,7	47,1	26,7	20,4	CL	0,5	7,6	91,8	1,30	-	-
5	P4	Arena limosa color gris oliva, compacidad dura, estado húmedo.	Sa	12,3	27,6	22,7	4,9	SM	6,8	46,0	47,2	2,01	-	-
2	Ap6	Arcilla inorgánica de alta plasticidad color café oliva con vetas cafés y oxidaciones rojas, consistencia dura, estado húmedo.	Sale	41,7	59,9	30,4	29,5	CH	0,0	1,2	98,8	1,23	48,49	23,11
6	P17	Arcilla inorgánica de baja plasticidad color gris verdoso, consistencia blanda muy firme, estado saturado.	Sta	29,5	31,8	18,1	13,6	CL	0,2	26,9	72,9	1,42	38,61	27,75

Fuente: elaboración propia, a partir de los ensayos de laboratorio

7.4. MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Bajo los lineamientos anteriores y con el fin de realizar la evaluación de estabilidad, se establecieron cinco (5) secciones o modelos geológico-geotécnicos de análisis, representativos de la condición actual del terreno y cuya localización se muestra sobre el mapa (Figura 7.20). Tales secciones fueron definidas de tal manera que atravesaran las unidades geológicas superficiales definidas previamente, y adicionalmente atravesaran los cuerpos inestables, con el fin de modelar los mecanismos de falla presentes, así como calibrar los resultados de los análisis. Para la generación de estas secciones se tuvo en cuenta la información topográfica, la cartografía geológica, geomorfológica y los registros estratigráficos de las perforaciones, apiques, líneas de refracción sísmica y parámetros geotécnicos, entre otros.

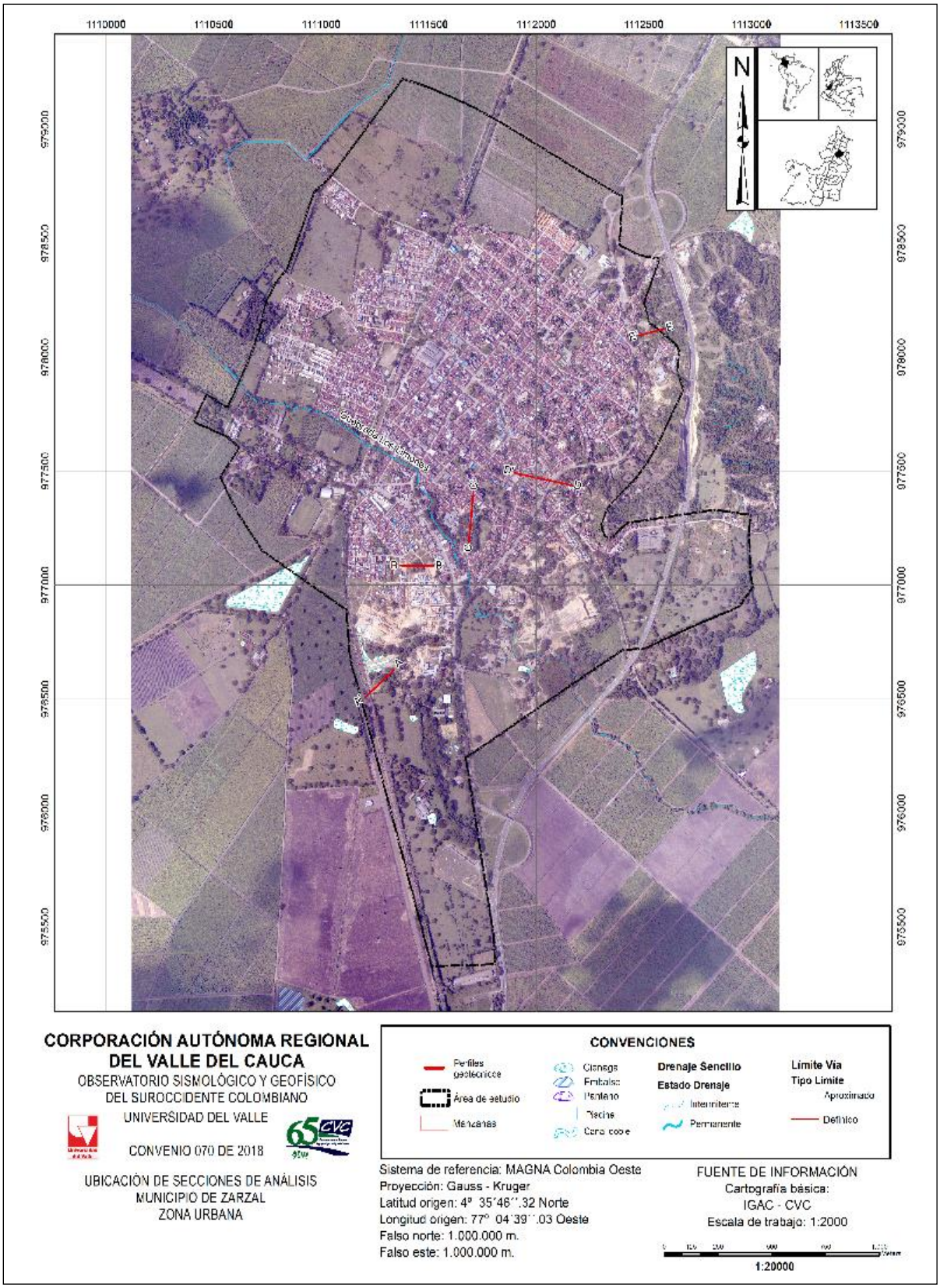


Figura 7.20. Ubicación secciones de análisis Municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

A manera de ilustración, se presentan los 5 perfiles geológico geotécnicos por separado (Figura 7.21, 7.22, 7.23, 7.24 y 7.25) realizados para el área de estudio, en las secciones se aprecian espesores de arcilla limosa que superan los 10 metros de profundidad.

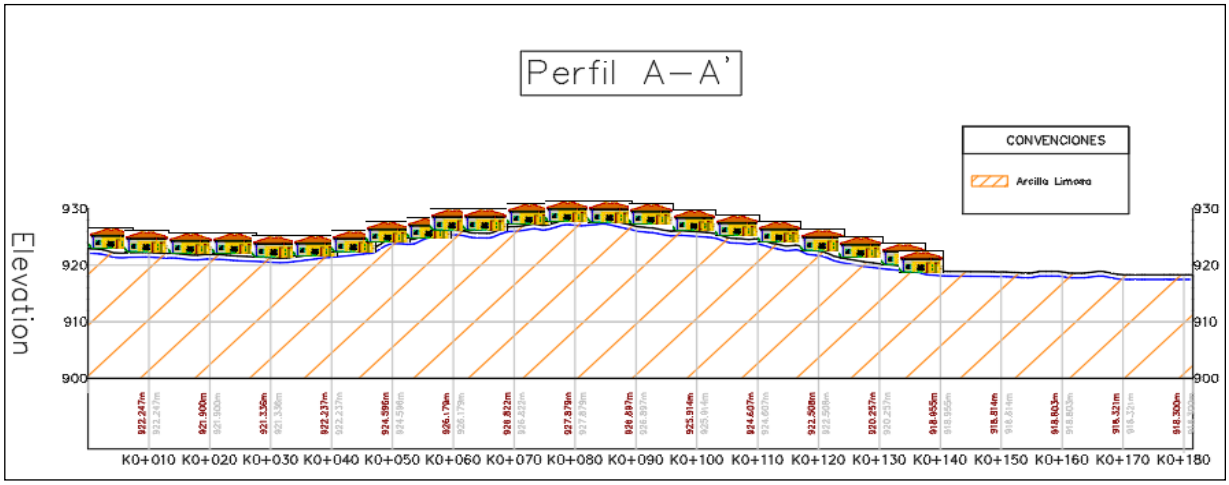


Figura 7.21. Perfil AA' sección de análisis
Fuente: elaboración propia

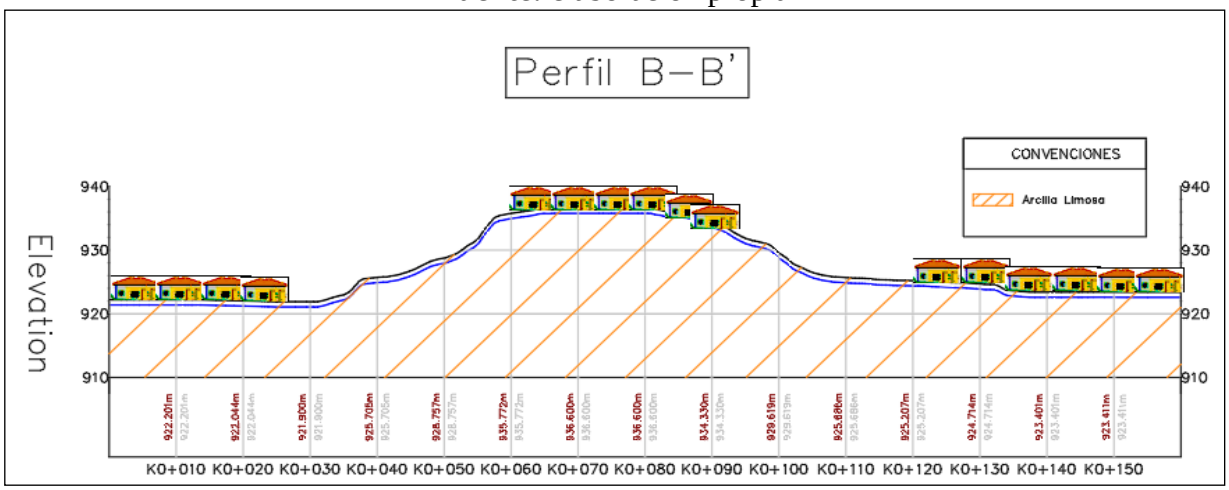


Figura 7.22. Perfil BB' sección de análisis
Fuente: elaboración propia

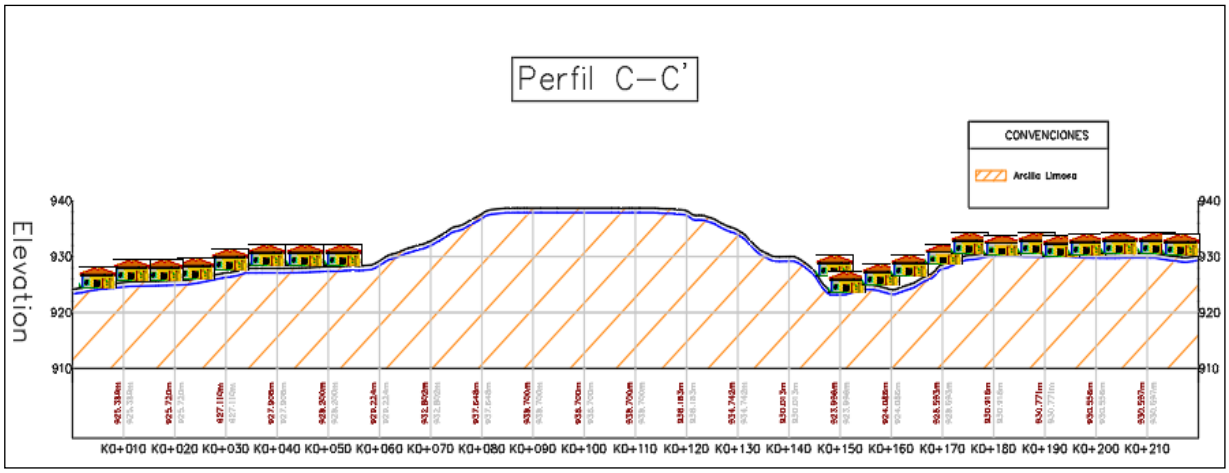


Figura 7.23. Perfil CC' sección de análisis
Fuente: elaboración propia

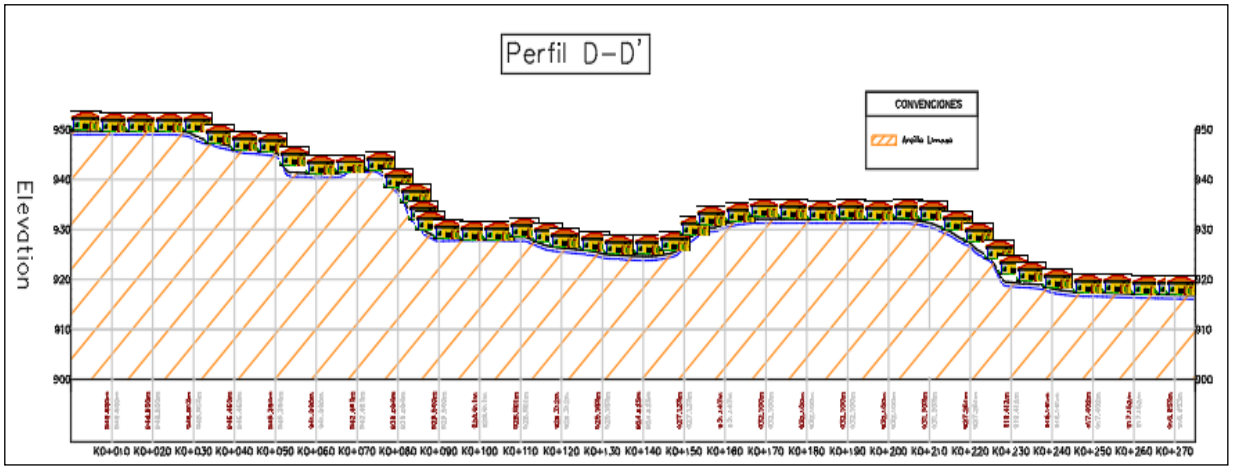


Figura 7.24. Perfil DD' sección de análisis
Fuente: elaboración propia

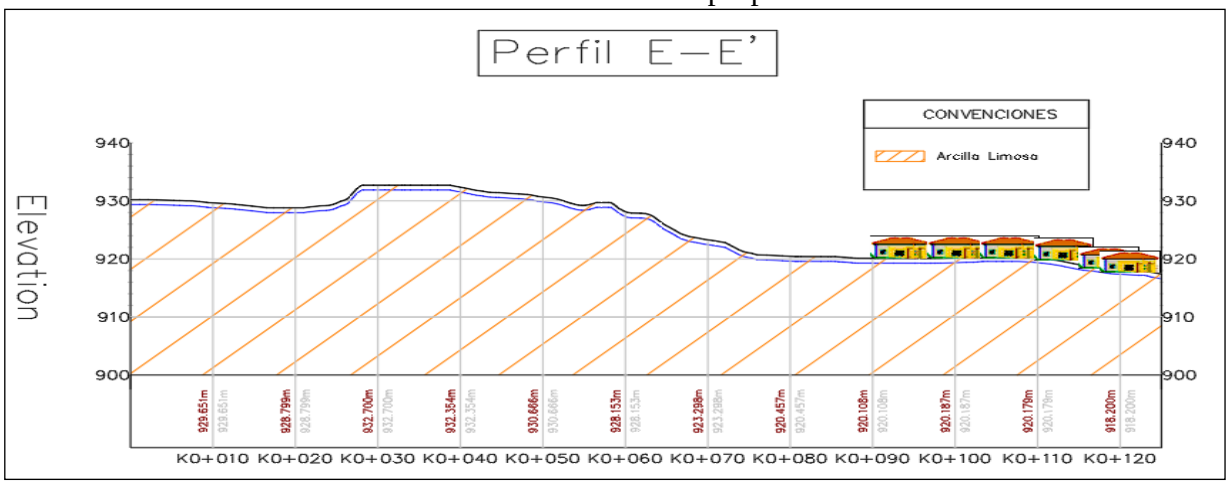


Figura 7.25. Perfil EE' sección de análisis
Fuente: elaboración propia

7.5. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD

Los análisis de estabilidad se enfocan al estudio de los modos y posibilidades de movimientos a lo largo de los planos de debilidad estructural, en los sectores donde hay suelos transportados, lo que abarca la mayor parte de la zona de estudio, así como en los mecanismos de movilización de los depósitos cuaternarios recientes y suelos residuales arcillosos.

Posteriormente, se aborda el modelamiento de los mecanismos de falla, con ayuda de métodos de equilibrio límite, de la respuesta estática y pseudoestática de los estados probables de movilización (según su geometría, el tipo de material, su disposición estratigráfica y condiciones de drenaje), tanto de los principales cuerpos del cuaternario como de los materiales rocosos, a través de deslizamientos rotacionales, traslacionales y planares infinitos, y a la deducción, a partir de los factores de seguridad y de la probabilidad condicional de falla, de los diferentes niveles de amenaza para los estados actual y futuro.

7.5.1. Parámetros de resistencia

Para la obtención de los parámetros geomecánicos que fueron asignados a los diferentes materiales, se utilizaron los resultados de los trabajos cartográficos de campo y del plan de ensayos de laboratorio (Tabla 7.10) realizados sobre muestras inalteradas, ejecutados en el área de estudio.

En particular, en lo que respecta a los parámetros de resistencia, los ensayos consistieron en pruebas de compresiones inconfinadas y cortes directos, estas pruebas son representativas para obtener los parámetros de resistencia en términos de esfuerzos efectivos. El resumen los resultados para los diferentes materiales presentes en el subsuelo de la zona de estudio se ilustra en la Tabla 7.13.

Tabla 7.13. Parámetros de resistencia para los diferentes materiales presentes en la zona

UNIDAD	C (Kpa)	Φ (°)	ϒ (KN/m^3)
Rdc	15	25	11,8
Rbvs	9	29	13,4
Sa	13	24	14,2
Saj	23	12	16,2
Sale	31	24	17,0
Sta	38	28	14,2

Fuente: elaboración propia.

7.5.2. Agentes detonantes

Dentro de los agentes detonantes que pueden afectar la estabilidad de las laderas en el área de estudio, se consideraron los eventos sísmicos y la presencia de agua en el subsuelo, se tienen en cuenta estos factores, porque son los que mayor incidencia tienen en la ocurrencia de movimientos en masa.

Una vez definidas las unidades geotécnicas para los análisis básicos, será necesario contar con cierta información de campo para evaluar la inestabilidad resultante de la acción hídrica relacionada con la fluctuación del nivel freático. A partir del muestreo de campo, realizado de acuerdo con lo estipulado en la exploración básica del subsuelo, se obtiene la profundidad de la tabla de agua, además de las propiedades del suelo que se indican en los siguientes párrafos.

7.5.2.1. Lluvia y agua subterránea

Dado que en los deslizamientos la posición del nivel freático es generalmente un condicionante de la inestabilidad, resulta clave calcular la profundidad de este, asociada a un cierto periodo de retorno, para el cual se considera que ocurrirá la falla. Se sugiere utilizar un periodo de retorno de 20 años, en virtud de que los deslizamientos profundos ocurren debido a un incremento en la presión de poros del suelo generado por el ascenso del nivel freático y que estos procesos están asociados a largos periodos de lluvia, se requiere relacionar de alguna manera la variación del nivel freático con la variabilidad de la lluvia acumulada para largos periodos (SGC, 2015b). Dicha estimación se ha de realiza en atención a que existe una relación directa entre el volumen acumulado de agua caída en un periodo de lluvia y el ascenso del nivel freático, ya que por lo general en nuestro medio no se cuenta con registros de nivel freático levantados sistemáticamente y que se requiere para el análisis a detalle de la amenaza (escala 1:2000) el SGC, (2015b) plantea:

> Se requiere asumir la profundidad del nivel freático correspondiente a una lluvia con periodo de retorno de 20 años y teniendo en cuenta que aquí no se exige realizar modelación hidrogeológica alguna, deberá tomarse dicho valor de precipitación a partir de las curvas, para un periodo de retorno de 20 años y una duración de 24 horas; calcular la precipitación infiltrable correspondiente, asumiendo una condición antecedente de humedad (II), deducir esa altura de precipitación a la profundidad del nivel freático supuesta como media y restar 1,65 veces la desviación estándar (σ) del análisis de acumulados anuales de precipitación infiltrable.

Aunque el SGC (2015b), sugiere que se tome un periodo de retorno de 20 años para asumir la profundidad del nivel freático, para este estudio se tomó el escenario futuro, es decir, un periodo de retorno de 25 años, el cual se asocia a los niveles críticos que puede tomar superficialmente el agua subterránea y relacionado a que la escala de trabajo es mayor (análisis a detalle de la amenaza escala 1:2000) a la planteada por el Servicio Geológico Colombiano.

Para determinar las precipitaciones máximas para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años del Municipio de Zarzal, se realizó una caracterización climática, la cual se elaboró con base en la información de las estaciones meteorológicas existentes en la zona del proyecto (Figura 7.25) donde se analizó el comportamiento de las precipitaciones considerando la temporalidad de los eventos de lluvia máximas y su distribución espacial.

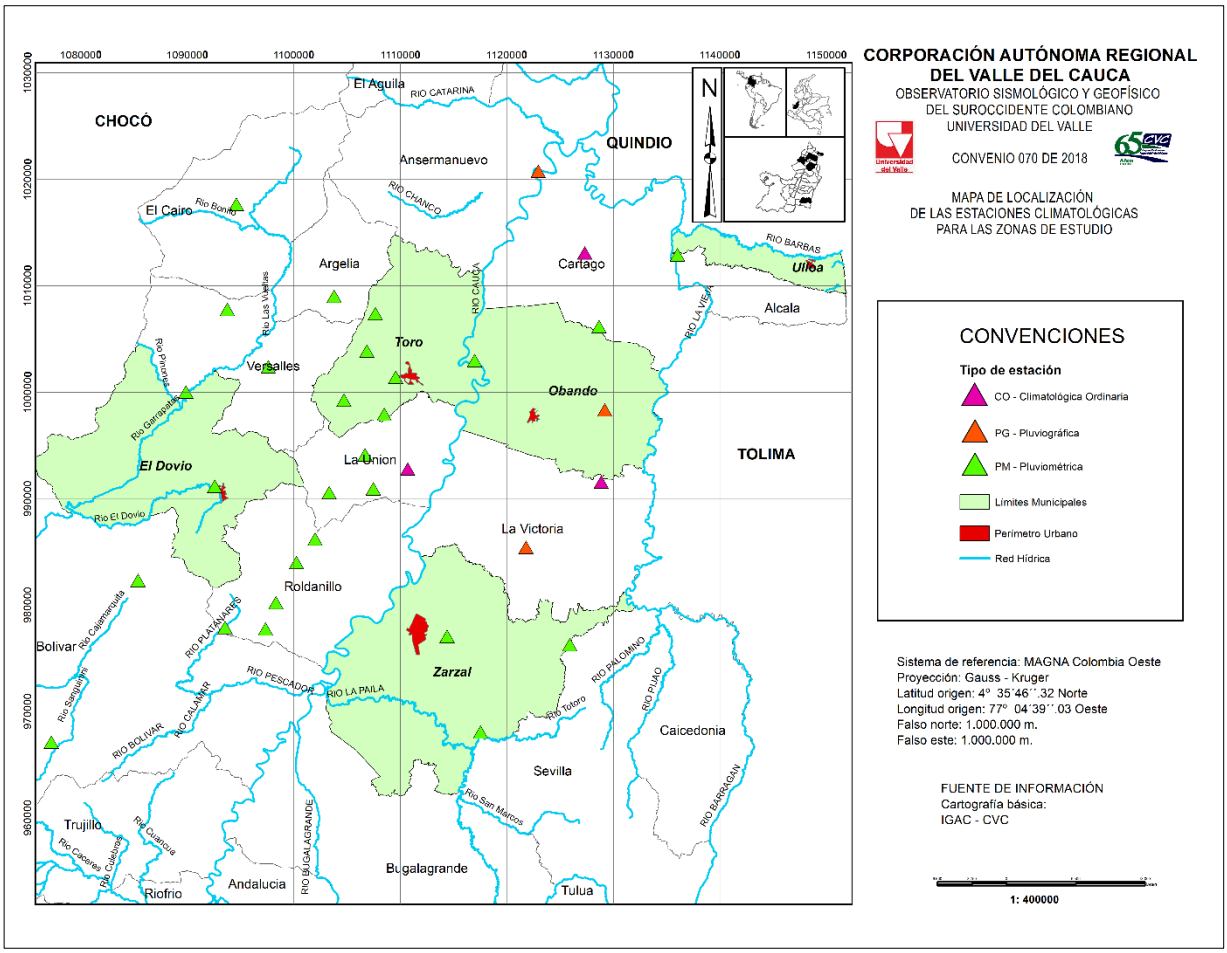
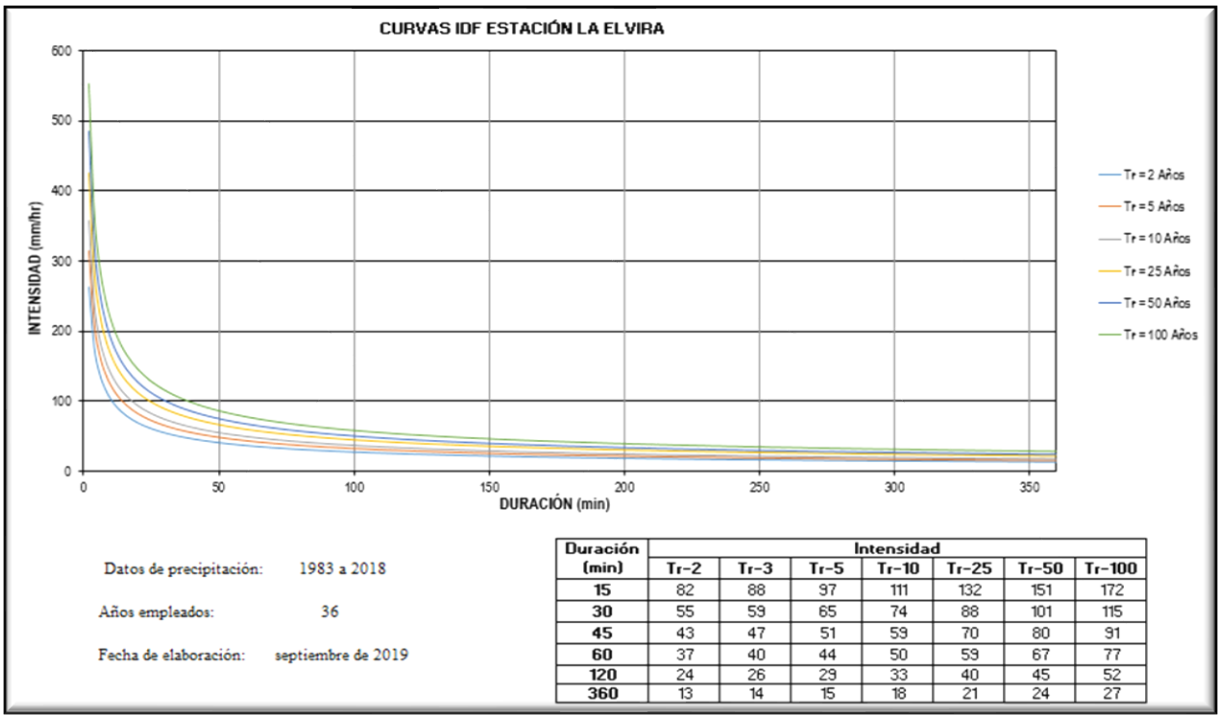


Figura 7.25. Distribución espacial de estaciones hidroclimatológicas
Fuente: elaboración propia

La Figura 7.26 presenta el diseño de las curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia (IDF) de precipitaciones para diferentes periodos de retorno de la estación El Vesubio, donde se muestra la relación entre la cantidad de lluvia por minutos a partir de periodos de retorno y su duración, la figura denota que a mayor Tiempo de Recurrencia, mayor será la intensidad de la lluvia en los primeros 50 minutos, pero una vez las precipitaciones superan este valor la intensidad disminuye conforme crece la duración de las misma, adoptando valores constantes para cada año.



Duración (min)	Intensidad						
	Tr-2	Tr-3	Tr-5	Tr-10	Tr-25	Tr-50	Tr-100
15	82	88	97	111	132	151	172
30	55	59	65	74	88	101	115
45	43	47	51	59	70	80	91
60	37	40	44	50	59	67	77
120	24	26	29	33	40	45	52
360	13	14	15	18	21	24	27

Figura 7.26. Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia con datos de la estación La Elvira
Fuente: CVC, (2019)

Una vez se aplicó la ecuación en el área de estudio se elabora la Tabla 7.14, la cual muestra el nivel freático de cada unidad geológica en un periodo de retorno dado, estimado para 5, 10, 25, 50 y 100 años. Los niveles freáticos son medidos desde la superficie hasta el nivel en donde se encuentre la columna de agua, a medida que aumenta el periodo de retorno, el nivel freático se acerca a la superficie. Los valores negativos expresan que el agua está por arriba de la superficie.

Tabla 7.14. Resultados del cálculo del nivel freático para diferentes periodos de retorno según la unidad geológica superficial

UNIDAD GEOLÓGICA SUPERFICIAL	PROFUNDIDAD N.F. (m)	PROFUNDIDAD N.F. (mm)	Intensidad TR 5 AÑOS (mm/hr)	INTENSIDAD TR 10 AÑOS (mm/hr)	INTENSIDAD TR 25 AÑOS (mm/hr)	INTENSIDAD TR 50 AÑOS (mm/hr)	INTENSIDAD TR 100 AÑOS (mm/hr)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	CV Pf (mm)	$P.N.F_5$ (m)	$P.N.F_{10}$ (m)	$P.N.F_{25}$ (m)	$P.N.F_{50}$ (m)	$P.N.F_{100}$ (m)
Rbvs	5,00	5000	37,0	111,0	132,0	151,0	172,0	1581,14	31,62	4,06	2,28	1,78	1,32	0,82
Rdc	5,00	5000						2073,64	45,08	4,04	2,26	1,76	1,30	0,80
Sa	5,00	5000						1581,14	31,62	4,06	2,28	1,78	1,32	0,82
Saj	5,00	5000						1581,14	31,62	4,06	2,28	1,78	1,32	0,82
Sale	5,00	5000						1581,14	31,62	4,06	2,28	1,78	1,32	0,82
Sta	1,10	1100						1581,14	143,74	-0,03	-1,80	-2,31	-2,76	-3,27

Fuente: elaboración propia

7.5.2.2. Sismos

"Los sismos además del movimiento vibratorio característico, pueden producir una serie de efectos inducidos que dan lugar a grandes deformaciones y roturas en el terreno, entre estos encontramos deslizamientos y desprendimientos de rocas. Éstos se relacionan con el comportamiento geológico y geotécnico del terreno" (Villalta y González, 2011:7). Los movimientos de laderas no sólo dependen del sismo para su generación, sino que requieren que la intensidad sea alta para que los deslizamientos y desprendimientos tengan lugar.

Considerando los anteriores resultados, el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, localiza a Zarzal en zona de amenaza sísmica alta, asignándole un coeficiente de aceleración pico efectivo (Aa) de 0,25g a nivel de roca. Por otro lado, en el Título H de esta norma, establece el coeficiente sísmico pseudoestático (Kst), el cual específicamente para la zona de estudio es de 1,0.

Por lo tanto, la aceleración horizontal a involucrar en los análisis pseudo-estáticos de estabilidad se estima en 0,25 Aa, para el escenario futuro (periodo de retorno de 475 años que corresponde a condiciones extremas).

7.5.2.3. Actividad antrópica

Existen actividades antrópicas que afectan la estabilidad de las laderas, dentro de estas dinámicas podemos encontrar: excavaciones, voladuras, sobrecarga, procesos de urbanización, actividad minera, cortes al pie de la ladera, desforestación, entre otros. Estas prácticas que modifican la topografía del talud, generan cambios circunstanciales como el aumento en los esfuerzos de corte y la diminución en los esfuerzos de compresión.

Finalmente, los resultados de la probabilidad de ocurrencia y de no ocurrencia de todas las combinaciones de sismo y lluvia críticas se calculó con base en su periodo de retorno (Tr=25 años, para la lluvia), considerando el escenario de futuro (50 años), se muestran en la Tabla 7.15,

Tabla 7.15. Probabilidades de los agentes detonantes

PERIODO DE ANÁLISIS	LARGO PLAZO (50 Años)	
AGENTES EXÓGENOS	OCURRENCIA	NO OCURRENCIA
Agua, T=25 años	0,816	0,184
Sismo, T=475 años	0,100	0,900

Fuente: elaboración propia.

7.6. ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

Consiste en analizar la inestabilidad que pueden presentar los suelos arcillosos y/o rocas, para posteriormente modelar los mecanismos de fallas (traslacional superficial, rotacional, entre otros), en otras palabras, consta en espacializar los niveles de amenaza obtenidos mediante el cálculo y modelación de la probabilidad de falla y el factor de seguridad de cada unidad geológica superficial, a partir de métodos de equilibrio límite y la respuesta pseudoestática de cada material (estratigrafía, condición de drenaje y forma). Con lo cual se infiere las posibilidades de deslizamientos o movimientos a lo largo del plano de debilidad estructural.

7.6.1. Análisis probabilísticos de estabilidad en suelos arcillosos

Se obtuvo mediante la modelación de la probabilidad de falla utilizando el método de equilibrio límite, este "análisis permite obtener un factor de seguridad o a través de un análisis regresivo, obtener los valores de la resistencia al cortante en el momento de la falla. Una vez se han determinado las propiedades de resistencia al cortante de los suelos, las presiones de poros y otras propiedades del suelo y del talud, se puede proceder a calcular el factor de seguridad del talud" (Suárez, 2009). Adicional a lo anterior, para complementar el análisis de estabilidad, se aplica el método de Montecarlo, con el fin de simular el mecanismo de falla rotacional, modelado a través de la sección AA', que involucra depósito de suelos transportados de ceniza, suelo transportado coluvial y suelo transportado aluvial de terrazas.

De esta manera, se determinó el factor de seguridad (FS) para múltiples casos (del orden de mil simulaciones) utilizando combinaciones aleatorias de parámetros que siguen distribuciones de probabilidad normal (parámetros de resistencia de los materiales) y exponencial (para el sismo y la lluvia), este análisis de estabilidad consiste en determinar si existe suficiente resistencia en los suelos del talud para soportar los esfuerzos de cortante que tienden a causar la falla o deslizamiento. Todas estas modelaciones se efectúan para el escenario de exposición futura.

A manera ilustrativa, la Figura 7.27 presenta los resultados obtenidos en la Sección AA' para el escenario futuro. Dentro de la sección de análisis se han definido los niveles de amenaza, los cuales aportan información parcial para la construcción de los mapas de amenaza del área de estudio. El resumen de los factores de seguridad y las probabilidades de falla FS-PF estimadas se observan en la Tabla 7.16.

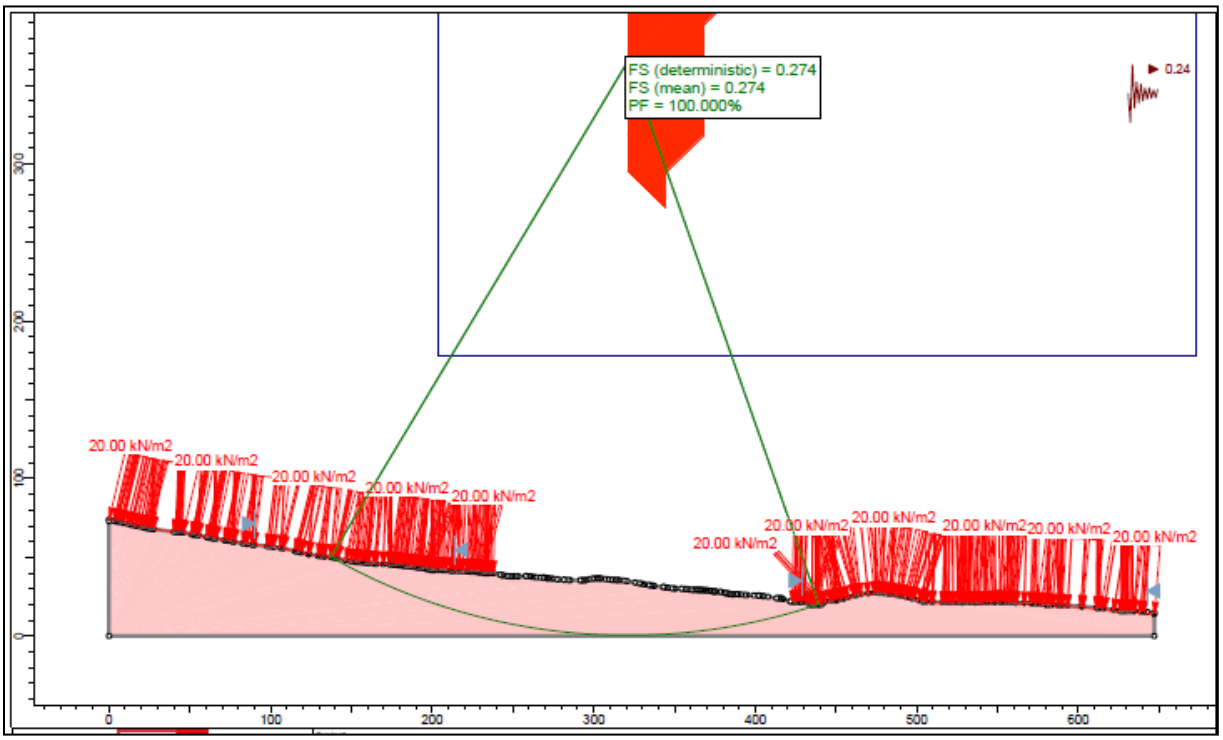


Figura 7.27. Análisis de estabilidad Sección CC', escenario futuro, condición sin obras
Fuente: elaboración propia

Tabla 7.16. Resumen de los factores de seguridad y de la probabilidad de falla sección CC', condición sin obras.

CONDICIÓN	TIPO DE OBRA	ESCENARIO	NIVEL DE AGUA	SISMO – a (g)	F.S	PF
Sin obra	No Aplica	Futuro	Parcialmente saturado	0.24	0.274	100%

Fuente: elaboración propia

Una vez realizada la modelación, se procede a espacializar los resultados de la amenaza por movimientos en masa en el casco urbano del municipio de Zarzal, donde se denota que las áreas con grado de amenaza alto corresponden aquellas con pendientes ente 16° y 55°.

7.6.2. Modelación mecanismos de falla traslacionales superficiales

El mecanismo de falla se puede entender como la explicación técnica de la forma en que un talud estable se convierte en inestable, por la acción del deterioro y los agentes activadores (aumento del nivel freático, sismos y actividad antrópica). Para determinar los parámetros geomecánicos empleados en la modelación de mecanismos de falla traslacional superficial (talud infinito), se utilizaron los ensayos de laboratorio y datos recopilados en las exploraciones de campo realizadas para el presente estudio, la modelación de estos mecanismos se elaboró para cada unidad geológica superficial-UGS presente en el municipio de Zarzal (Tabla 7.17).

Tabla 7.17. Parámetros geomecánicos empleados en la modelación de la UGS en el municipio de Zarzal

UGS	PARÁMETROS GEOMECÁNICOS Y DE MODELACIÓN								
	ANGULO DE FRICCIÓN (°)		COHESIÓN (kN/m^2)		PESO UNITARIO (kN/m^3)		SUPERFICIE DE FALLA (m)		TAMAÑO DE CELDA (m)
	μ	σ	μ	σ	μ	σ	μ	σ	Valor
Rdc	25	2,67	15,00	5,250	11,82	5,25	2,00	-	2 x 2
Rbys	29,00	3,17	9,00	3,15	13,44	1,34	2,00	-	2 x 2
Sa	29,00	3,17	9,00	3,15	13,44	1,34	2,00	-	2 x 2
Saj	24,00	2,55	13,00	4,55	14,18	1,42	2,00	-	2 x 2
Sale	12,00	1,22	23,00	8,05	16,20	1,62	2,00	-	2 x 2
Sta	28.0	28,00	38,00	13,30	14,24	1,42	2,00	-	2 x 2

Fuente: elaboración propia

Debido a la variabilidad intrínseca de los parámetros de resistencia de los materiales detectados in situ, se tomaron valoraciones estadísticas tomando como base el Eurocode, el cual recomienda valores de coeficientes de variación que permiten modelar la incertidumbre asociada cuando no se cuenta con una nube de datos estadísticamente significativa de los parámetros de resistencia.

En el caso de estudio se tomaron los coeficientes de variación (COV) relacionados en la (Tabla 7.18).

Tabla 7.18. Valoración incertidumbre coeficientes de variación en el municipio de Zarzal

PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DE MODELACIÓN	MEDIA	COV (%)	VALOR
Angulo de fricción (°)	31	10	-
Cohesión (kN/m^2)	8	35	-
Peso unitario (kN/m^3)	22	10	-
Superficie de falla (m)	1.5	0	-
Tamaño de celda (m)	-	-	2x 2

Fuente: elaboración propia

Similar a los análisis de estabilidad anteriores, se consideró el escenario actual y cuyos resultados se expresan en función del F.S y de la Pf, así:

Escenario Futuro - Talud parcialmente saturado con sismo correspondiente a tiempo de exposición de 50 años: Este escenario representa un periodo crítico de lluvias y adicionalmente se presenta un sismo de baja probabilidad de ocurrencia anual, pero de intensidad alta con Aa = 0.24.

7.6.3. Zonificación de escenario

Este apartado tiene por objeto calcular y zonificar el nivel de amenaza por movimientos en masa, al que se encuentra expuesta la zona de estudio, integrando en un mapa los resultados obtenidos en los análisis de estabilidad realizados para cada uno de los mecanismos de falla identificados, adicionando los factores condicionantes de la inestabilidad del suelo. De esta manera se superponen los resultados de factor de seguridad y probabilidad de falla, mediante análisis de equilibrio límite y talud infinito, lo anterior, permite obtener la zonificación de amenaza para la condición futura.

Se considerarán diferentes escenarios de acuerdo con la profundidad del nivel freático y la aceleración del terreno

Teniendo presente el efecto adverso de los agentes detonantes lluvia y sismo, se generaron dos (2) escenarios, en los que se tiene en cuenta de manera independiente el efecto del agua y el efecto combinado de los agentes detonantes. En la Tabla 7.19, se ilustran los escenarios propuestos para la generación del mapa de amenazas.

Tabla 7.19. Escenarios de análisis

ESCENARIO	CONDICIÓN	SISMO
1	Parcialmente saturado	Sin Sismo
2	Parcialmente saturado	Con sismo

Fuente: elaboración propia

Una vez calculada la amenaza por movimientos en masa es categorizada según la propuesta de González y Millán (2005), la cual fue adoptada en la resolución 227 de 2006 por Secretaría Distrital de Bogotá (para mayor detalle, ir a la Tabla 7.20).

Tabla 7.20. Categorización de la Amenaza, Resolución 227 de 2006

TIEMPO DE EXPOSICIÓN Te (años)	FACTOR DE SEGURIDAD DE	FACTOR DE SEGURIDAD A	k	PROBABILIDAD DE FALLA DE	PROBABILIDAD DE FALLA A	NIVEL DE AMENAZA	
CONDICIONES EXTREMAS							
	0,1954	1,0000		0,9993	0,5000	ALTA	A
50	1,0000	1,3000	4,2040	0,5000	0,1239	MEDIA	M
	1,3000	3,4000		0,1239	0,0000	BAJA	B

Fuente: Adoptado de González y Millán (2005).

7.6.3.1. Escenario 1. Talud parcialmente saturado sin sismo

Para el perímetro urbano del municipio de Zarzal presenta los niveles de amenaza alta, media y baja, donde el talud estaría parcialmente saturado y sin la ocurrencia de un sismo, el cual en amenaza baja se encuentra el 99,20%, en amenaza media el 0,68% y en amenaza alta el 0,12%, estas zonas se localizan en el barrio San Rafael y en zonas de los barrios La Esperanza y Bajo Buenos Aires al nororiente del perímetro urbano (Tabla 7.21y Figura 7.28).

Tabla 7.21. Áreas según los niveles de amenaza para la condición futura sin sismo en el municipio de Zarzal

NIVEL DE AMENAZA	ÁREA NIVEL DE AMENAZA (Ha)	% NIVEL DE AMENAZA
Baja	481,05	99,20
Media	3,3	0,68
Alta	0,57	0,12
Total	484,92	100%

Fuente: elaboración propia

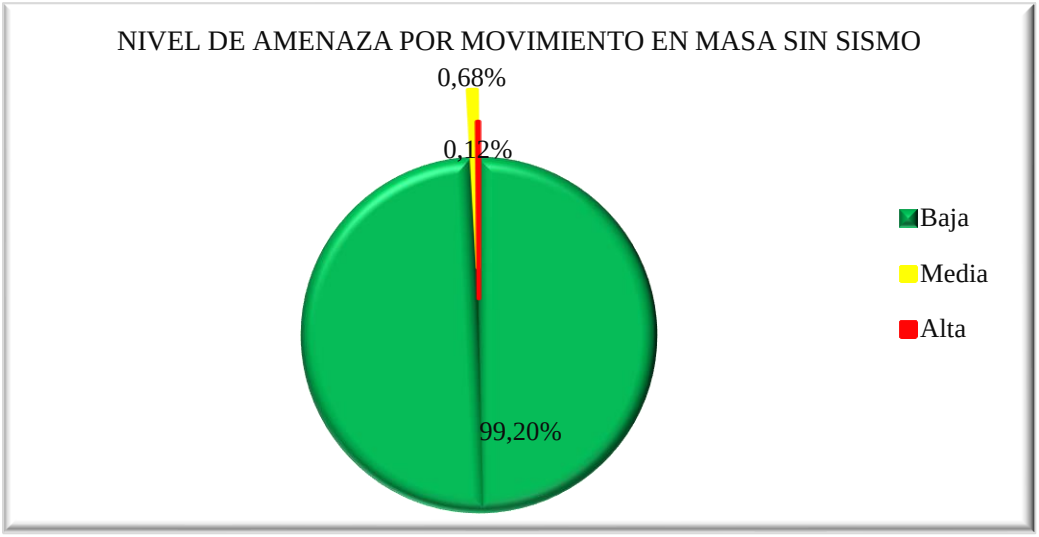


Figura 7.28. Distribución de niveles de amenaza sin sismo para la condición futura en el municipio de Zarzal.
Fuente: elaboración propia

En la Figura 7.29 se muestra en el contexto espacial las zonas que se podrían ver afectadas por la ocurrencia de un movimiento en masa en la zona urbana del municipio.

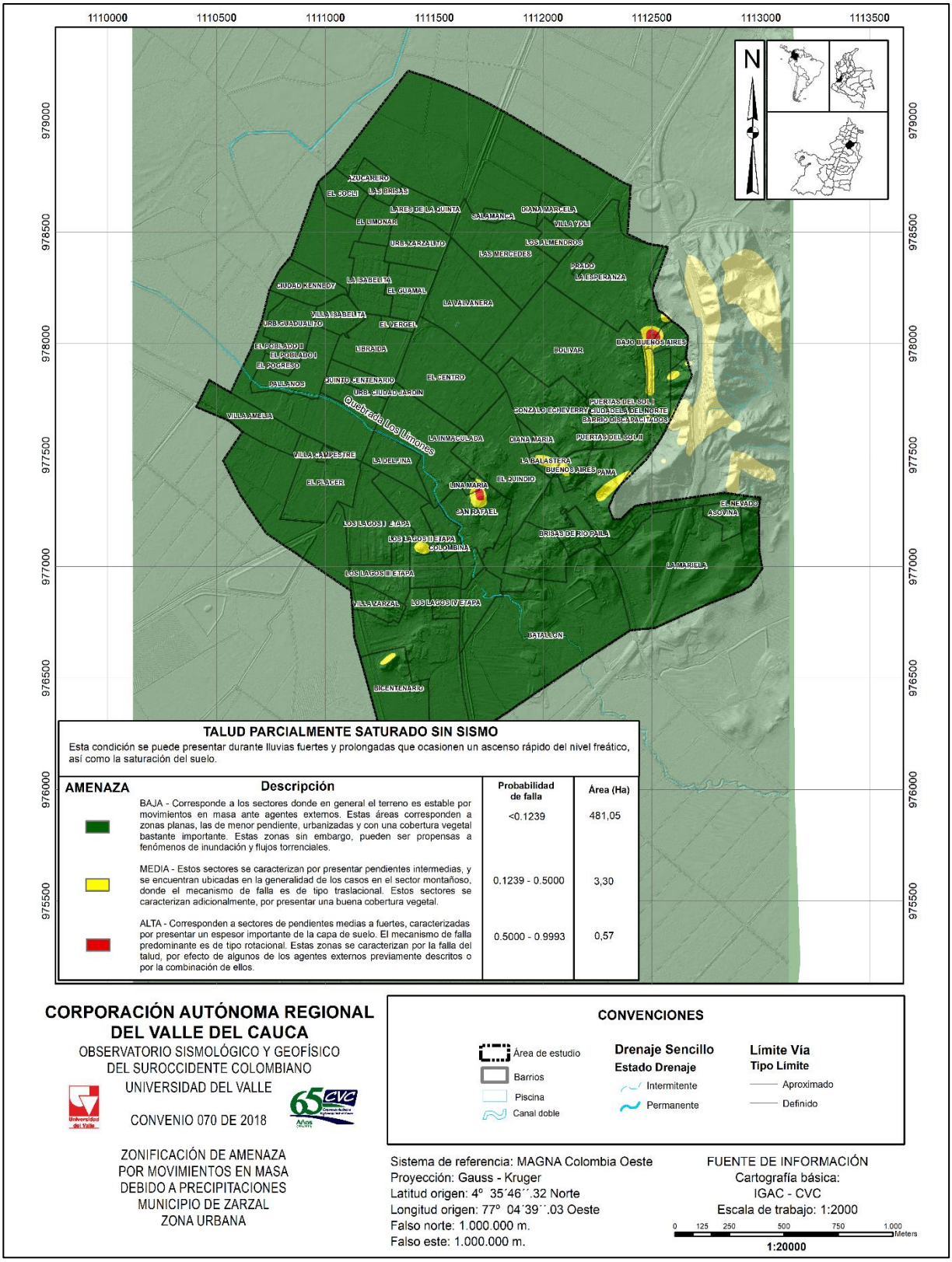


Figura 7.29. Mapa de amenaza correspondiente a la condición futura in sismo para el municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

7.6.3.2. Escenario 2. Talud parcialmente saturado con sismo

La condición futura de la amenaza es media con algunas zonas de amenaza alta, las cuales se deben a las altas pendientes y depósitos de suelos antrópicos y transportados aluviales. Los resultados del análisis de amenaza por movimientos en masa para la condición futura, mediante el método determinístico, se ilustra en la Figura 7.30 y Tabla 7.22, destacándose los siguientes aspectos:

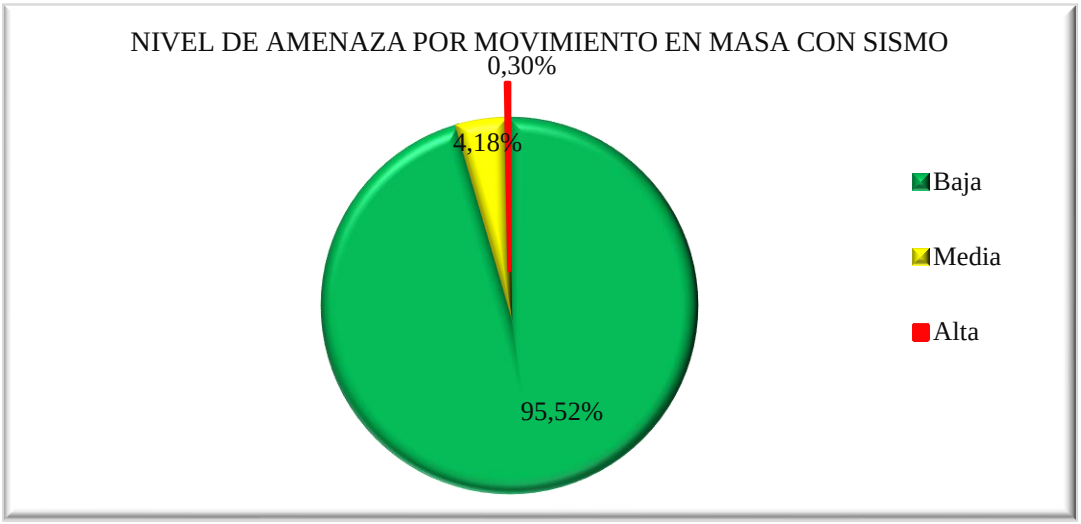


Figura 7.30. Distribución de niveles de amenaza para la condición futura en el municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

Tabla 7.22. Áreas según los niveles de amenaza para la condición futura en el municipio de Zarzal

NIVEL DE AMENAZA	ÁREA NIVEL DE AMENAZA (Ha)	PORCENTAJE (%)
Baja	455,2	95,52
Media	19,93	4,18
Alta	1,41	0,30

Fuente: elaboración propia

Las zonas que presentan amenaza alta corresponden principalmente a áreas de rellenos antrópicos (Sa) y roca blanda volcano sedimentaria (Rbvs), dichas áreas se encuentran de forma dispersa en el casco urbano, principalmente en la zona Centro_Sur, los barrios que abarcan estas áreas son: La Balastera, San Rafael, Batallón, Colombina, Los Lagos II Etapa, Bicentenario y La Esperanza, (Tabla 7.23). Las áreas con amenaza media corresponden a rocas dura conglomeráticas, estas áreas se localizan principalmente hacia el Oriente del área de estudio y en algunas zonas del Sur, pero de forma dispersa.

Tabla 7.23. Porcentaje de amenaza por movimientos en masa en el sector más afectados

BARRIO	PORCENTAJE DE AMENAZA (MM) POR BARRIO (Ha) y (%)					
	ALTA	PORCENTAJE (%)	MEDIA	PORCENTAJE (%)	BAJA	PORCENTAJE (%)
La Balastera	0,19	15,32	0,35	28,22	0,69	55,64

Fuente: elaboración propia

En la Figura 7.31 se muestra la distribución espacial de las zonas de amenaza por movimiento en masa en la zona urbana y de expansión urbana del municipio de Zarzal, en el se puede identificar las zonas que pueden ser afectadas al occidente de la zona urbana del municipio.

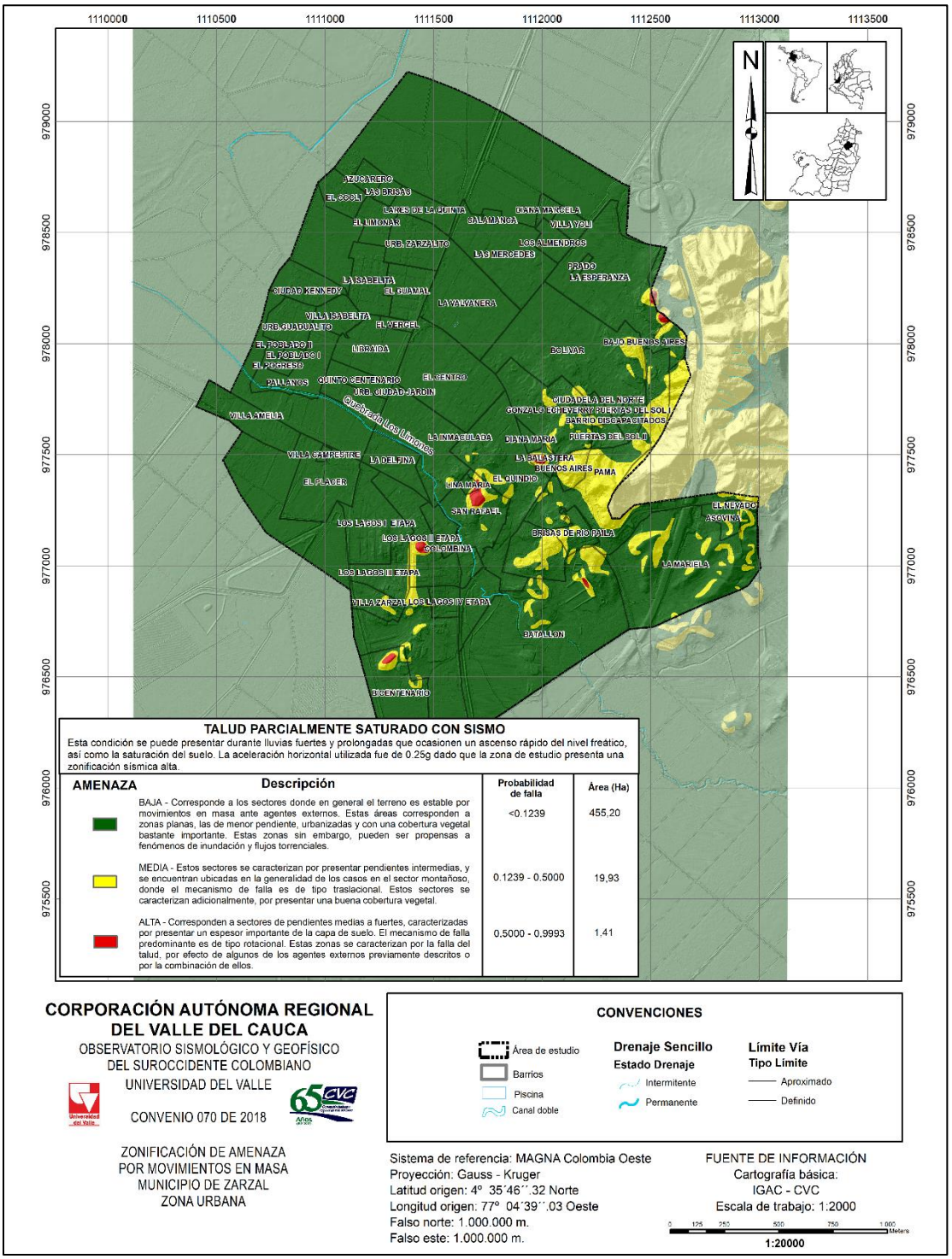


Figura 7.31. Mapa de amenaza correspondiente a la condición futura con sismo para el municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

7.6.4. Caracterización de la amenaza por movimientos en masa

Se relaciona con conocer de las particularidades de los movimientos en masa que se pueden presentar en el área de estudio, una vez se ha zonificado la amenaza por este fenómeno natural. En primer lugar, se procede a determinar qué tan grande pueden ser los deslizamientos (magnitud), hasta donde llegará (distancia de viaje) y qué posibles daños puede causar a la población circundante (intensidad), estas tres cualidades se obtendrán por medio de una serie de cálculos los cuales se desarrollarán a continuación.

7.6.4.1. Magnitud

Se define como parámetro de magnitud el volumen de la masa potencialmente inestable. Para determinar el valor del volumen se deberá contar con un mapa en planta, en el que se detalle el contorno del movimiento potencial, y un perfil donde se pueda estimar el espesor de la masa comprometida en el movimiento. Así, el volumen se calculará de acuerdo con la siguiente ecuación (39) y las definiciones de la Figura 7.32.

$$V = \left(\frac{1}{6}\pi\, D_r W_r L_r\right) f_{exp} \tag{39}$$

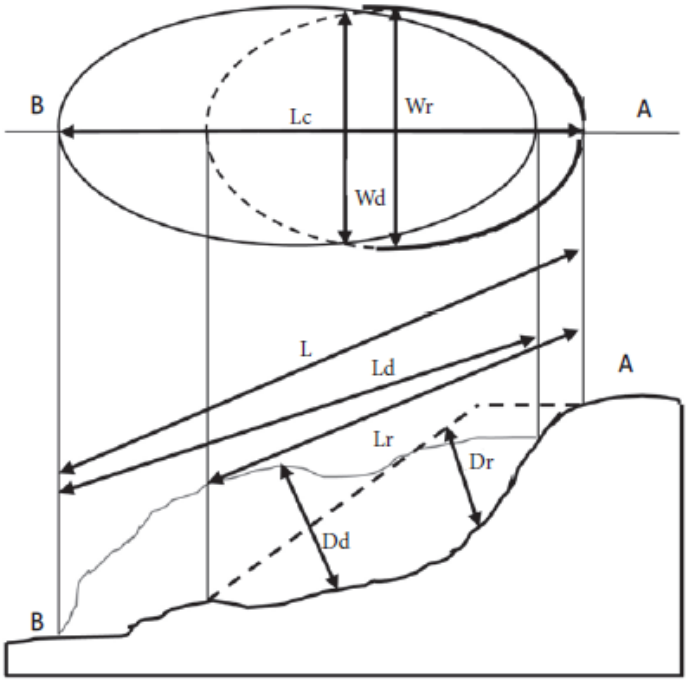


Figura 7.32. Determinación del volumen de un deslizamiento
Fuente: SGC (2015b).

Donde:
V es el volumen del deslizamiento, *Dr* es la profundidad máxima de la superficie de falla, *Wr* es el ancho máximo de la superficie de falla, *Lr* es la longitud de la superficie de falla y *fexp* es un factor de expansión del material deslizado; generalmente este factor es de 1,25 a 1,3 hasta 1,7, dependiendo de los materiales comprometidos.

7.6.4.2. Distancia de viaje

Los métodos geométricos se basan en la hipótesis de dependencia de la distancia de viaje a la configuración geométrica de la ladera (los parámetros considerados aparecen en la Figura 7.33. Así, se han propuesto diversas correlaciones de tales variables para determinar el valor de la distancia de viaje, *L*. A continuación, se presentan algunos resultados de las regresiones reportadas en Hungr, Corominas y Eberhard (2005) (Tabla 7.24 y 7.25).

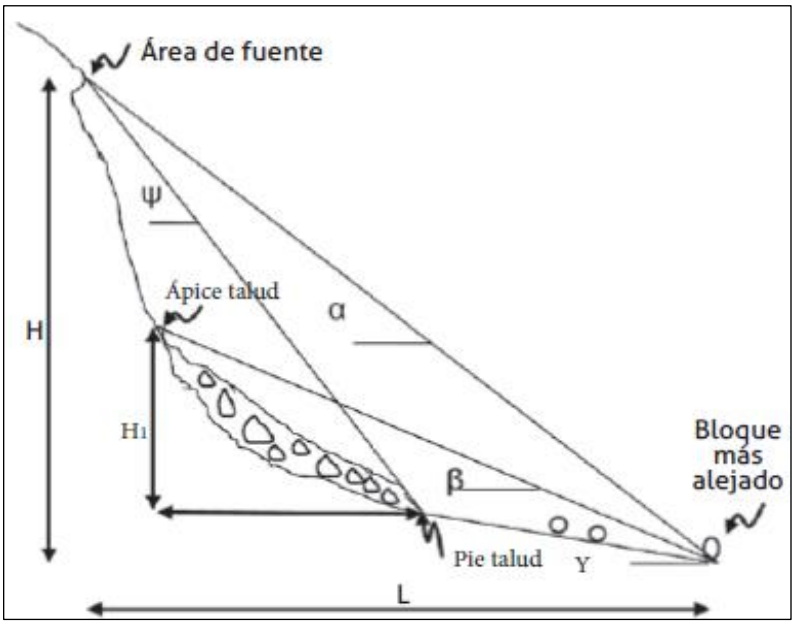


Figura 7.33. Variables geométricas para definir la distancia de viaje de un deslizamiento
Fuente: Hungr et al., 2005

Tabla 7.24. Ecuaciones para determinar la distancia de viaje, obtenidas en Hong Kong

VARIABLE DEPENDIENTE		ECUACIÓN
Corte talud	LCI	Log L= 0,062 + 0,965 Log H – 0,558 Log (tan δ)
	Promedio	Log L= 0,109 + 1,010 Log H – 0,506 Log (tan δ)
	UCI	Log L= 0,156 + 0,155 Log H – 0,166 Log (tan δ)
Relleno talud	LCI	Log L= 0,269 + 0,325 Log H – 0,166 Log (V/W)
	Promedio	Log L= 0,453 + 0,547 Log H – 0,305 Log (V/W)
	UCI	Log L= 0,693 + 0,768 Log H – 0,443 Log (V/W)
Muro de contención	LCI	Log L = 0,037 + 0,350 Log H + 0,108 Log (V/W)
	Promedio	Log L = 0,178 + 0,587 Log H + 0,309 Log (V/W)
	UCI	Log L = 0,319 + 0,825 Log H + 0,150 Log (V/W)
Caída de roca	LCI	Log L = 0,041 + 0,515 Log H – 0,629 Log (tan δ)
	Promedio	Log L = 0,253 + 0,703 Log H – 0,417 Log (tan δ)
	UCI	Log L = 0,466 + 0,891 Log H – 0,206 Log (tan δ)

Fuente: Finlay, Mostyn y Fell, (1999), en Hungr et al., (2005).

Donde: H es la caída vertical, δ es el ángulo del talud, V el volumen de deslizamiento y W el peso del deslizamiento. LCI y UCI son el intervalo superior e inferior del 95 % de confianza, respectivamente.

Tabla 7.25. Ecuaciones de regresión para log (H/L) = A + B * log V

AUTORES	A	B	R
Scheidegger, 1973	0.624	0.15666	0.82
Li Tianchi, 1983	0.664	-0.1529	0.78
Nicoletti y Sorriso - Valvo, 1991	0.527	0.0847	0.37
Coronimas 1996 (promedio)	-0.047	-0.085	0.79

Fuente: Corominas (1996) para diferentes materiales (Hungr et al., 2005).

La distancia de viaje también se podrá estimar mediante la aplicación del método del bloque deslizante, como se muestra en la descripción de la intensidad. Los profesionales que desarrollen el estudio de riesgo evaluaran la correlación más adecuada, de acuerdo con las condiciones del terreno y los materiales en la zona de estudio. Se podrán emplear otras correlaciones reportadas en la bibliografía técnica internacional, como las expresiones de Hsu (1975) y Domaas (1994). En este caso, se indicará la referencia donde se presenta la correlación usada.

7.6.4.3. Intensidad

Se define como parámetro de intensidad la velocidad de la masa involucrada. Para evaluar esta velocidad se propone emplear el método del bloque deslizante, el cual modela el movimiento del deslizamiento como el movimiento de un bloque sobre una superficie curva, con una resistencia friccional constante (Figura 7.34).

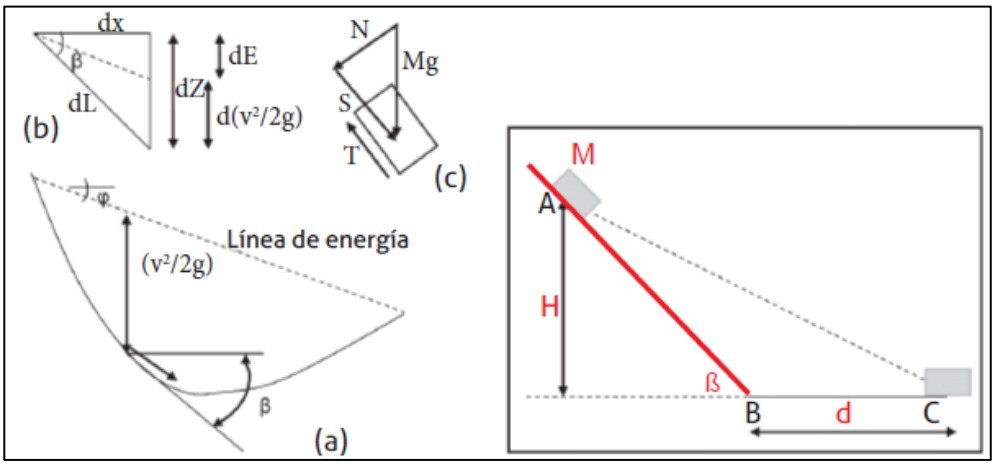


Figura 7.34. Bloque deslizante, consideraciones dinámicas. a) Perfil de la trayectoria. b) Geometría local del contacto. c) Diagrama de fuerzas. d) Planteamiento del problema
Fuente: Yue, 2014

Al aplicar las leyes de Newton y para una condición de ***n*** se obtienen las siguientes ecuaciones.

$$Mgsen\beta - Mgcos\beta tan\phi = Ma(t) \text{ de A hasta B } -Mgtan\phi p = Ma(t) \text{ de B hasta C)} \quad (40)$$

Donde:
M es la masa deslizada y *g* la aceleración de la gravedad
β es la inclinación del terreno
ϕ es el ángulo de fricción interna en el talud (*A*-*B*)

ϕp es el ángulo de fricción interna en la zona plana (*B*-*C*)
a (t) es la aceleración desarrollada por la masa.

De esta manera, la velocidad desarrollada por la masa deslizada mientras baja por el tramo *A*-*B* está definida por la ecuación

$$V_{AB} = \sqrt{2Hg\ (\ 1 - \frac{\tan \emptyset}{\tan \beta})} \tag{41}$$

Presumiendo que no hay pérdida de energía a causa del impacto en el punto *B*, debido al cambio de pendiente, cambiando la dirección de la velocidad, la distancia de viaje *d* y el ángulo de viaje desde *A* hasta *C* están dados por las expresiones

$$d = (1 - \frac{tan\emptyset}{tan\beta}) \frac{H}{tan\emptyset_p} \tag{42}$$

Y la velocidad en el tramo *B*-*C* puede determinarse de acuerdo con la ecuación

$$V_{BC}{}^2 V_{AB}^2 - 2gtan\emptyset p\ d \tag{43}$$

Las velocidades calculadas permiten estimar la intensidad del deslizamiento para los diferentes escenarios.

$$V_{inclinado} = \sqrt{2gh * (1 - \frac{tan\emptyset}{tan\beta})} \tag{44}$$

$$E_c = \frac{1}{2} m\ V_{plano}^2 \tag{45}$$
$$E_p = mgh \tag{46}$$
$$E_c = \frac{1}{2} E_p \tag{47}$$
$$\frac{1}{3} E_p = \frac{1}{2} m V_{plano}^2 \tag{48}$$

Igualamos las ecuaciones 49 y 51

$$\frac{1}{3} mgh = \frac{1}{2} m V_{plano}^2 \tag{49}$$

Remplazamos *Ep* en la ecuación

$$Vplano^2 = \frac{\frac{1}{3}mgh}{\frac{1}{2}m} \tag{50}$$

$$V_{plano}^2 = \frac{2}{3}\text{gh} \tag{51}$$

$$V_{plan} = \sqrt{\frac{2}{3}} gh \tag{52}$$

$$V_{plan}=\begin{cases}Vinclinado - Vplano \\ Vplano - Vinclinado\end{cases} \quad (53)$$
$$depende\ de\ que\ \tan\ grandes\ sean\ los\ valores\ de\ \emptyset\ y\ \beta$$

En la evaluación del riesgo por movimientos en masa, es fundamental predecir el modo de falla de las laderas y cuantificar el desplazamiento de la masa, incluyendo la distancia de viaje y la velocidad (Hungr et al., 2005). Entre los parámetros que definen la magnitud de los movimientos en masa se deben incluir todos aquellos que describan su capacidad destructiva (Australian Geomechanics Society - AGS, 2007). En la (Tabla 7.26) se presentan los resultados de dichos parámetros (Magnitud, intensidad y distancia de viaje) para la caracterización de la amenaza por movimiento en masa en el municipio de Zarzal.

Tabla 7.26. Caracterización de la Amenaza para el municipio de Zarzal

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA			
SECCIÓN	**MAGNITUD Vol (m^3)**	**INTENSIDAD Velocidad (m/s)**	**DISTANCIA DE VIAJE (m)**
A-A'	9116	1,9	6
B-B' Derecha	3009	3,2	7
B-B' Izquierda	2089	4,8	10
C-C' Derecha	3376	4,4	10
C-C' Izquierda	4811	3,2	8
D-D'	3471	4,1	9
E-E'	1756	2,4	5

Fuente: elaboración propia

8. VULNERABILIDAD POR INUNDACIÓN Y MOVIMIENTO EN MASA EN EL MUNICIPIO DE ZARZAL

La zonificación de vulnerabilidad ante inundación tiene como propósito aportar información y conocimiento para la disminución de las condiciones actuales del riesgo en el área de estudio del municipio frente a las amenazas y socio naturales. Esto se realiza en concordancia con el proceso de conocimiento del riesgo, definido por la Ley 1523 de 2012, a partir del análisis de amenazas y riesgos a nivel de zonas urbanas, acorde con lo dispuesto en el Decreto 1077 de 2015, lo cual permitirá abordar de manera adecuada los procesos de planificación ambiental y territorial, definiendo con mayor precisión las medidas prospectivas y correctivas que se deban implementar.

Los fenómenos naturales no se constituyen por sí mismos en un riesgo, sino que se transforman como tal ante la interacción con una comunidad expuesta. La presencia de personas y bienes materiales en áreas sujetas a procesos naturales potencialmente desastrosos dan lugar a que se generen daños y pérdidas relativas; esto significa que en la medida en que se produzca un aumento los elementos expuestos (nuevas construcciones y crecimiento poblacional) que no tengan en consideración las condiciones actuales y futuras del riesgo, habrá un incremento considerable en los posibles daños.

En este capítulo se realiza el análisis de vulnerabilidad ante el fenómeno de inundación y movimiento en masa en el municipio de Zarzal.

El capítulo presenta la siguiente estructura: Primero, una conceptualización de vulnerabilidad, exposición y fragilidad. Segundo, metodología utilizada para el análisis de vulnerabilidad de inundación y movimiento en masa en la zona urbana del municipio. Tercero, análisis y zonificación de vulnerabilidad ante inundación y movimiento en masa, teniendo en cuenta la presión de impacto, la identificación, localización y caracterización de los elementos expuestos en las zonas de amenaza alta y media. Cuarto, conclusiones y recomendaciones.

8.1. CONCEPTUALIZACIÓN DE VULNERABILIDAD

En este apartado se presenta la conceptualización utilizada para el análisis de la vulnerabilidad para movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal.

Según la Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres de las Naciones Unidas (UNISDR, 2009), existen diversos aspectos de la vulnerabilidad que surgen de factores físicos, sociales, económicos y ambientales. Estos se relacionan directamente con la interrelación de los diferentes niveles de organización de la sociedad, entre ellos, los grados de exposición a un tipo de amenaza, formas inadecuadas de construcción, la falta de información y concientización pública, la voluntad política de los dirigentes, la falta de articulación entre las entidades tomadoras de decisiones, los organismos de socorro y la comunidad para hacerle frente a los posibles fenómenos catastróficos que puedan presentarse en un espacio y tiempo determinados.

8.1.1. Vulnerabilidad

El concepto de vulnerabilidad se entiende como la condición de debilidad o fragilidad de un individuo, elemento o sistema (social o ecológico), que por su naturaleza o particularidades

intrínsecas y estando expuesto, está propenso a ser afectado o a sufrir daños ante la ocurrencia de un determinado tipo de fenómeno, evento, suceso o proceso amenazante. En esta definición se resalta que, por un lado, la vulnerabilidad es una propiedad intrínseca del elemento o sistema expuesto que por su naturaleza tiene una condición de fragilidad, que se entiende como una propiedad negativa de un elemento o sistema que reduce su capacidad de resistencia a sufrir daños ante la ocurrencia de un fenómeno que pueda afectarlo (Salcedo, 2015).

La Ley 1523 del 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 define la vulnerabilidad como "la susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad de ser afectada o de sufrir efectos adversos en caso de que un evento físico peligroso se presente. Corresponde a la predisposición a sufrir pérdidas o daños de los seres humanos y sus medios de subsistencia, así como sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos". En otras palabras, la vulnerabilidad se relaciona directamente con la calidad de vida, pues esta es intrínseca al individuo (Congreso de la República de Colombia, 2012).

8.1.2. Escenario de Vulnerabilidad

Los escenarios de vulnerabilidad incluyen la exposición de los elementos (bienes físicos y personas) y su grado de fragilidad en relación con la intensidad del evento amenazante.

Relacionar la fragilidad de los elementos expuestos con variables físicas del fenómeno, como su velocidad, profundidad y densidad, permite conocer su posible impacto y los niveles de daño esperados. Un escenario de vulnerabilidad permite categorizar y zonificar la vulnerabilidad de manera diferenciada para cada amenaza trabajada, pues la respuesta de los elementos expuestos va a ser diferente dependiendo del fenómeno trabajado, y de cómo éste interactúa con sus propias características de fragilidad. De esta forma, teniendo en cuenta lo anterior y la metodología llevada a cabo para el desarrollo del presente proyecto, en adelante se habla de escenarios de vulnerabilidad.

8.1.3. Exposición

Para Cardona (1993), el concepto de exposición hace referencia a "elementos expuestos o elementos bajo riesgo son los contextos social y material, representados por las personas y por los recursos y servicios que pueden ser afectados por la ocurrencia de un evento, es decir, las actividades humanas, los sistemas realizados por el hombre tales como edificaciones, líneas vitales o infraestructura, centros de producción, utilidades, servicios y la gente que los utiliza".

Cabe señalar que los elementos expuestos pueden dividirse en cuatro grupos, los cuales son definidos por (INGEOMINAS y ECI, 2001) de la siguiente manera:

- Elementos corporales: corresponden a las personas o habitantes expuestos en la zona de amenaza. Deben ser los de mayor importancia al evaluar las condiciones de del riesgo y tomar las decisiones para su reducción o mitigación. Por tal razón es fundamental contar un censo actualizado de los habitantes de la zona, contando con el conocimiento dinámico de éstos, es decir, migraciones e inmigraciones.

- Elementos estructurales: representan elementos materiales que a su vez pueden dividirse en: construcciones (viviendas, edificaciones), redes (vías, conducciones, líneas y acequias).

- Elementos funcionales: en esta categoría se consideran todas aquellas de tipo económico y no económico que son susceptibles de ser perturbadas por determinado tipo de proceso en la posible zona de afectación. En este grupo se evalúan actividades agrícolas, comerciales, industriales, entre otras.

- Elementos ambientales: corresponden a todos los elementos en el territorio que pueden ser afectados por un proceso; pueden ser generalizados como los aspectos del medio ambiente que agrupa los del componente abiótico (cuerpos de agua superficial o subterránea, aíre, suelo y paisaje) y biótico (recursos de flora y fauna).

8.1.4. Fragilidad

"La fragilidad está referida al nivel de resistencia y protección frente al impacto de un peligro o amenaza, es decir las condiciones de desventaja o debilidad relativa de una unidad social por las condiciones socioeconómicas" (DGPM-MEF y GTZ, 2007).

Desde el punto de vista estructural la fragilidad es entendida como las condiciones intrínsecas de un elemento expuesto; condición de resistencia o sensibilidad de un material ante la fuerza de un fenómeno. La fragilidad va a depender de la presión del impacto del fenómeno sobre la resistencia del material y se determinada acorde a la magnitud e intensidad de los eventos a los cuales está expuesto.

8.1.5. Intensidad -Tipos y modos de daños

El escenario de vulnerabilidad está asociado a la intensidad y la magnitud del evento sobre las edificaciones, el ambiente y las personas expuestas que pueden padecer diferentes tipos de daño o afectación, que serán valorados en función de la intensidad o magnitud (severidad) con la cual se manifieste el evento amenazante. El tipo y modo de daño que pueden sufrir los elementos expuestos constituyen el elemento fundamental del denominado escenario de vulnerabilidad.

Anteriormente se pensaba que la intensidad de los daños esperados seria limitada y restringida, es decir, que dada una determinada intensidad debería ocurrir un cierto tipo de daños, lo que implicaría que la distribución de daños fuera uniforme, no obstante, la característica intrínseca de los elementos expuestos es diferente según el tipo de evento.

8.2. METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

El análisis de la vulnerabilidad física para el municipio de Zarzal se realiza teniendo como base lo planteado por la *"Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa"* del Servicio Geológico Colombiano (SGC) (2016), la cual brinda las etapas generales a tener en cuenta en la evaluación de la vulnerabilidad física y los elementos necesarios para dar cumplimiento a los lineamientos establecidos en el Decreto 1807 del 2014 (compilado en el Decreto 1077 de 2015) para los estudios a detalle (1:2.000).

La propuesta de caracterización de la vulnerabilidad presentada en dicha guía se ha soportado con base en los estudios de Uzielli et al. (2008), Li et al. (2010) y Du et al. (2013, 2014). Por lo tanto, cabe mencionar que lo presentado por el SGC (2016) y por estos autores, se ha adecuado para el presente estudio conforme a las necesidades del proyecto y a las condiciones del área del estudio, teniendo en cuenta el juicio de expertos de los profesionales que conforman el equipo de trabajo y el respectivo soporte bibliográfico. Así mismo, es de aclarar que, a pesar de ser una metodología enfocada principalmente al fenómeno de movimiento en masa, se ha modificado conforme a criterios técnicos para ser implementada en el fenómeno de inundación.

El análisis de la vulnerabilidad comprende dos etapas fundamentales: la identificación de los escenarios de vulnerabilidad y la zonificación de la vulnerabilidad. Los escenarios de vulnerabilidad se construyen con base en la exposición de los elementos (bienes físicos y personas) y su grado de fragilidad ante el evento amenazante. Una vez se obtienen los escenarios, se procede a realizar la zonificación de la vulnerabilidad en niveles de alta, media y baja (SGC, 2016).

8.2.1. Escenario de Vulnerabilidad

La caracterización del escenario de vulnerabilidad incluye la estimación de la exposición para los elementos físicos y corporales, así como también los niveles de fragilidad ante el evento amenazante, matemáticamente se expresa mediante la siguiente ecuación:

$$V = E * F \tag{54}$$

Dónde: *V* es Vulnerabilidad, *E* representa la Exposición y *F* corresponde a la Fragilidad.

La exposición se refiere a la ubicación geográfica que tienen los diversos elementos ante la amenaza. Mientras que la fragilidad representa la relación entre la fuerza de impacto del fenómeno amenazante y las condiciones de resistencia o capacidades que tienen los elementos expuestos para soportar la severidad de la amenaza. En términos generales, la fragilidad se expresa como:

$$F = \frac{P_{imp}}{S} \tag{55}$$

Dónde: P_{imp} es la presión de impacto del fenómeno amenazante sobre el elemento expuesto, y *S* corresponde a la resistencia del elemento expuesto. La presión de impacto depende de la intensidad del evento, por la tanto, la expresión de la vulnerabilidad se transforma en:

$$V = \frac{1}{2} Exp\left(\frac{I}{1-S}\right)^2 \qquad I \leq 1 - S \tag{56}$$

O

$$V = 1 - \frac{1}{2} Exp\left(\frac{1-I}{S}\right)^2 \qquad I > 1 - S \tag{57}$$

Donde:
V: vulnerabilidad
Exp: exposición

I: Intensidad
S: factor de seguridad (resistencia)

(*v, Exp, I, S)* son adimensionales ϵ *[0,1]*

Por lo tanto, la fragilidad está representa por todo lo que multiplica a la exposición. Tal como se muestra en la siguiente expresión (ecuación 57):

$$\left(\frac{1-I}{S}\right)^2 \quad \text{o} \quad \left(\frac{I}{1-S}\right)^2 \tag{58}$$

Del cálculo de la vulnerabilidad se debe considerar lo siguiente:

- Para estructuras, un valor de 1 significa la destrucción completa de la estructura. Los valores menores que 1 representan el grado de daño, y 0 significa que la edificación no presenta ningún daño (Tabla 8.1).

- En personas, 1 significa la pérdida de la vida, y los valores menores que 1 se traducen como la probabilidad de pérdida de la vida (Tabla 8.1).

Finalmente, con base en los valores de vulnerabilidad definidos se prepara la cartografía correspondiente. La vulnerabilidad alta se identifica con color rojo, la vulnerabilidad media con color amarillo y la vulnerabilidad baja con color verde.

Tabla 8.1. Clasificación de la vulnerabilidad para estructuras y líneas vitales

CLASIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	VALOR DE VULNERABILIDAD	DESCRIPCIÓN	
		ESTRUCTURA (EDIFICACIONES)	PERSONAS
ALTA	0,60 - 1,00	Los elementos expuestos en la zona se caracterizan por presentar mayor contacto con la amenaza, condiciones delicadas de fragilidad estructural, acompañados de una nula capacidad de resistencia frente a situaciones adversas. Se puede presentar colapso total de la estructura.	Las personas expuestas en la zona se caracterizan por presentar mayor contacto con la amenaza, condiciones delicadas de fragilidad corporal, acompañados de una nula capacidad de resistencia con posibilidad de muerte o lesiones serias.
MEDIA	0,30 - 0,60	Los elementos expuestos en la zona se caracterizan por presentar unos niveles de fragilidad estructural relativamente moderados, con insuficientes condiciones de resistencia. Pueden generarse daños moderados de la estructura.	Las personas expuestas en la zona se caracterizan por presentar unos niveles de fragilidad corporal relativamente moderados con posibilidad de lesiones moderadas, pero baja probabilidad de muertes.
BAJA	0,00 - 0,30	Los elementos expuestos en la zona se caracterizan por presentar bajos niveles de exposición y fragilidad	Las personas expuestas en la zona se caracterizan por presentar unos niveles de exposición y fragilidad

CLASIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	VALOR DE VULNERABILIDAD	DESCRIPCIÓN	
		ESTRUCTURA (EDIFICACIONES)	PERSONAS
		estructural, cuyas condiciones de infraestructura son adecuadas y su resistencia es aceptable.	corporal baja con probabilidad de muerte casi nula y lesiones muy leves o inexistentes.

Fuente: elaboración propia

A continuación, se presenta de manera detallada cada una de las fases y procedimientos llevados a cabo para evaluar la vulnerabilidad ante los fenómenos de inundación y movimientos en masa.

8.2.2. Escenarios de vulnerabilidad ante inundación

La caracterización del escenario de vulnerabilidad ante inundación de los elementos expuestos de edificaciones, personas y líneas vitales se describe a continuación los soportes metodológicos y bibliográficos tomados en cuenta para su evaluación.

8.2.2.1. Exposición ante Inundación

Los elementos expuestos incluyen tanto elementos físicos (bienes e infraestructura), como elementos corporales (personas), que por su localización pueden resultar afectados por la materialización de una amenaza (SGC, 2016). En este sentido, con el fin de evaluar la exposición para los dos fenómenos analizados, se asignaron valores de acuerdo con la localización de los elementos con respecto a los niveles de amenaza.

Para el caso de la inundación se asume que las zonas de amenaza alta son aquellas de mayor cercanía a los cauces de los ríos y las que se pueden ver impactadas de manera inmediata por la inundación; mientras que las zonas de amenaza baja son las más alejadas a los cauces y su nivel de exposición al fenómeno es menor. De esta forma, se definen tres zonas de exposición con los siguientes valores (Tabla 8.2 y Figura 8.1).

Tabla 8.2. Zonas y valores de exposición para el fenómeno de inundación

ZONAS DE EXPOSICIÓN	NIVEL DE AMENAZA	VALOR DE EXPOSICIÓN
1	Alta	1
2	Media	0,4
3	Baja	0

Fuente: elaboración propia.

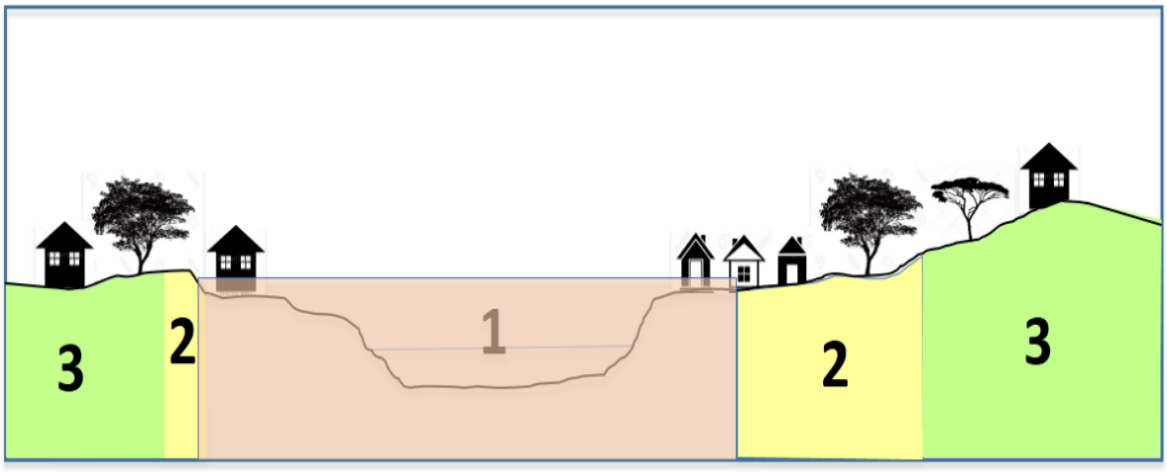


Figura 8.1. Zonas de exposición ante inundación
Fuente: SGC (2016).

8.2.2.2. Fragilidad ante Inundación

La fragilidad está determinada por dos factores principales, uno es la presión de impacto o intensidad del evento, y el otro es la seguridad (factor de resistencia). A continuación, se describe el procedimiento llevado a cabo para la estimación de cada factor:

8.2.2.2.1. Intensidad de la inundación

Para evaluar la intensidad, en el presente trabajo se propone trabajar con los niveles de intensidad de la inundación propuestos por el grupo de amenaza del presente proyecto.

Según la bibliografía consultada, el impacto que generan las inundaciones sobre las edificaciones, las líneas vitales y las personas, está determinado principalmente por la profundidad y velocidad del agua. De esta forma, teniendo como referencia los valores de H*V definidos en la evaluación de la amenaza (Tabla 8.3 y Figura 8.2), se definen los valores de intensidad.

Tabla 8.3. Nivel de intensidad o magnitud de las inundaciones

INTENSIDAD O MAGNITUD DE LA INUNDACIÓN	NIVEL
$H*V \geq 0.45\ m^2/s$	Alta
$0.225\ m^2/s \leq H*V < 0.45\ m^2/s$	Media
$H*V < 0.225\ m^2/s$	Baja

Fuente: informe de amenaza del presente proyecto.

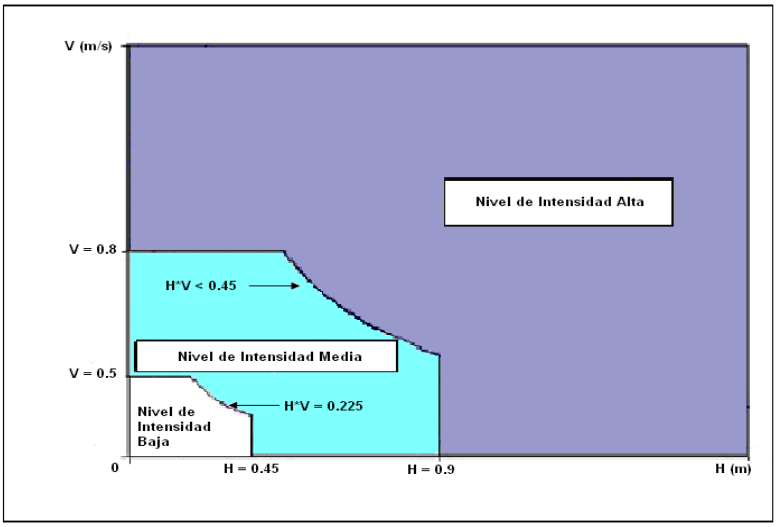


Figura 8.2. Nivel de intensidad o magnitud de la amenaza por inundaciones
Fuente: informe de amenaza del presente proyecto.

- **Intensidad sobre las estructuras (edificaciones)**

La intensidad brinda información sobre la gravedad y las dimensiones del evento. Cuando este ocurre, flujos o diferentes materiales se desplazan a alta velocidad pudiendo afectar directamente a los elementos expuestos mediante una gama de mecanismos de impacto.

Según la propuesta de Du et al. (2014), la intensidad del evento amenazante para las estructuras se define como una función de su profundidad y de la presión de impacto:

$$I = 1 - \left(1 - I_{f-pre}\right)\left(1 - I_{f-prof}\right) \quad (59)$$

Donde:
I: es la intensidad del evento.
$I_{f\text{-}pre}$*:* es el parámetro de la intensidad debido a la presión. Se estima a partir de la relación entre la presión de impacto del evento y la presión límite soportada por la estructura.
$I_{f\text{-}prof}$*:* es el parámetro de la intensidad por la profundidad del evento. Se presenta en función de la relación entre la profundidad del evento y la altura de la edificación.

- ***Presión de impacto de la inundación*** *(*$I_{f\text{-}pre}$*:):*

Para estimar la intensidad del evento en el caso de las inundaciones, en el presente trabajo se adaptó la propuesta original de Du et al. (2014). De esta forma, se definen los siguientes parámetros para ser incluidos en la evaluación de la intensidad (ecuación 60)

$$I_{f-pre} = \frac{P_{iinun}}{P_{le}} \quad (60)$$

Donde:
P_{inun}*:* presión de impacto de la inundación
P_{le}: presión límite soportada por las estructuras.

La presión del impacto de la inundación se estima teniendo como referencia los planteado por Du et al. (2014) para los movimientos en masa. Para este caso, se toma la velocidad y densidad del flujo de agua (ecuación 61):

$$P_{iinun} = \frac{1}{2}\rho v^2 \quad (61)$$

Donde:
P_{iinun}: presión de impacto de la inundación (kPa)
ρ: densidad del agua (kg/m^3)
v: velocidad (m/s)

En relación con el límite de la presión horizontal soportada por las estructuras (P_{le}), se aborda de la misma manera que para el fenómeno de movimiento en masa, considerando que Du et al. (2014) plantean un promedio para diferentes tipos de estructuras, los cuales son complementados por el SGC (2016) (Tabla 8.4). Entre mayor sea valor, más alta es la presión que soporta la estructura.

Tabla 8.4. Límite de presión horizontal soportada de las estructuras.

TIPOLOGÍA	PRESIÓN LÍMITE DE LA ESTRUCTURA (KPA)
Otro (Material Reciclado)	1
Madera, Tapia y Bahareque	5
Mampostería No Reforzada	8
Mampostería Confinada	11

Fuente: modificado Du et al. (2014) y SGC (2016).

- ***Profundidad de la inundación ($I_{f\text{-}prof}$):*** el parámetro $I_{f\text{-}prof}$ se representa en función de la relación entre la profundidad de la inundación y la altura de las estructuras por medio de la siguiente expresión (62):

$$I_{f-prof} = \frac{Pinun}{h_e} \quad (62)$$

Donde:
$P_{f\text{-}prof}$: parámetro de intensidad por la profundidad de la inundación
$P_{inu:}$ profundidad de la inundación
h_e: altura de las edificaciones (número de pisos)

- **Intensidad de la inundación sobre las personas (corporal)**

Para las variables corporales, los valores de intensidad utilizados son los estimados a nivel estructural, puesto que se asume que la población de encuentra dentro de las infraestructuras.

- **Intensidad de la inundación sobre las líneas vitales**

Como líneas vitales se consideran al conjunto de sistemas y servicios esenciales para el funcionamiento normal de los municipios, tales como: redes de acueducto, alcantarillado, energía eléctrica, telecomunicaciones y sistemas de viales.

Para el caso de las redes viales, su nivel de intensidad es definido teniendo en cuenta los diferentes tipos de vías presentes en el territorio, tales como: vías de tierra o grava, pavimento flexible y pavimento rígido. En primera medida, se parte del supuesto que, en las vías de tierra o grava, comúnmente conocidas como destapadas, la acción del agua generará mayor erosión del suelo, afectando su estabilidad y por lo tanto su impacto será mayor.

En las vías flexibles, las cuales son realizadas de asfalto, uno de los principales mecanismos de daño para este tipo de materiales es la humedad. Por la presencia de agua se presenta una disminución de su resistencia mecánica y de la durabilidad debido a la pérdida de adherencia y cohesión (Rondón et al., 2016). Según Figueroa (2015), a pesar de que el asfalto tiene una bajísima permeabilidad, sus propiedades físico-químicas son alteradas por el agua, incidiendo en la durabilidad del pavimento y en la generación de deformaciones en la vía, agrietamientos y ahuellamientos.

En este sentido, considerando las características del pavimento asfaltico y de la influencia del agua en su estabilidad, se puede considerar que en las zonas donde se encuentran vías con este tipo de materiales, la ocurrencia de una inundación, en la que se tienen grandes volúmenes de agua viajando a diferentes velocidades, puede dejar impactos de consideración.

Por último, las vías rígidas son aquellas que se conforman por una losa de concreto. Representan el tipo de vías más resistente, tienen un mayor tiempo de vida útil y son pocos las actividades de mantenimiento requeridas (Rebolledo, 2010). Aunque son vías de mucha resistencia, en la actualidad predominan las compuestas de asfalto por los costos de diseño y elaboración. Por lo tanto, es de esperar que en este tipo de vías el impacto de una inundación es menor.

Con base en lo descrito anteriormente, en la Tabla 8.5 se presentan los valores de intensidad definidos para este tipo de redes.

Tabla 8.5. Nivel de intensidad por inundación para las redes viales

INTENSIDAD O MAGNITUD DE LA INUNDACIÓN	NIVEL DE INTENSIDAD	TIPO DE MATERIALES DE LAS VIAS		
		TIERRA/ GRAVA (DESTAPADA)	PAVIMENTO FLEXIBLE (ASFALTO)	PAVIMENTO RÍGIDO (CONCRETO)
$H*V \geq 0.45\ m^2/s$	Alta	1	0.8	0.3
$0.225\ m^2/s \leq H*V < 0.45\ m^2/s$	Media	0.8	0.5	0.1
$1H*V < 0.225\ m^2/s$	Baja	0.5	0.3	0

Fuente: elaboración propia.

Para el caso de las redes de acueducto y alcantarillado, direccionado exclusivamente para redes de carácter local, es decir, aquellas que están conectadas directamente con las edificaciones (tuberías pequeñas), se tomó como base para definir el nivel de intensidad de la inundación lo planteado por Gálvez (2011), quien propone los porcentajes de deformación máxima de acuerdo con el tipo de tubería (Tabla 8.6). Con base en lo expuesto por este autor y por EPM (2009), las tuberías flexibles tienen una mayor resistencia a las presiones que las rígidas, por lo que se deduce que la intensidad del evento es menor (Tabla 8.7).

Tabla 8.6. Nivel de deformación de las redes acueducto y alcantarillado

DEFORMACIONES EXTERNAS	DEFORMACIONES INTERNAS	DEFORMACIÓN %
Flexible	Flexible	5
Flexible	Rígida	3-4
Rígida	Rígida	2

Fuente: Gálvez (2011).

Tabla 8.7. Nivel de intensidad por inundación para las redes acueducto y alcantarillado

INTENSIDAD O MAGNITUD DE LA INUNDACIÓN	NIVEL DE INTENSIDAD	TUBERÍAS FLEXIBLES (PVC, Acero, Hierro dúctil, Polietileno, Fibra de vidrio)	TUBERÍAS RÍGIDAS (Asbesto cemento, Hierro fundido, Concreto reforzado)
$H*V \geq 0.45\ m^2/s$	Alta	0.7	1
$0.225\ m^2/s \leq H*V < 0.45\ m^2/s$	Media	0.5	0.7
$1H*V < 0.225\ m^2/s$	Baja	0.3	0.5

Fuente: elaboración propia.

En las redes de energía, la intensidad se relaciona con el tipo de material de los postes. Se asume que aquellos elaborados en madera, dada la naturaleza de su material, el impacto de la inundación será mayor; pues la acción del agua los puede desestabilizar más fácilmente y descomponerlos. De igual, se tiene en cuenta las cargas soportadas por los diferentes materiales, de acuerdo con las normas RETIE y las especificaciones técnicas de EPM (2015), los postes de concreto soportan más y se espera que el impacto sea menor (Tabla 8.8).

Tabla 8.8. Nivel de intensidad por inundación para las redes energía

INTENSIDAD O MAGNITUD DE LA INUNDACIÓN	NIVEL DE INTENSIDAD	POSTES DE MADERA	POSTES METÁLICOS	POSTES DE CONCRETO
$H*V \geq 0.45\ m^2/s$	Alta	1	0.75	0.6
$0.225\ m^2/s \leq H*V < 0.45\ m^2/s$	Media	0.7	0.5	0.4
$1H*V < 0.225\ m^2/s$	Baja	0.5	0.3	0.1

Fuente: elaboración propia.

8.2.2.2.2. Factor de resistencia

La metodología llevada a cabo para la obtención de los factores de resistencia estructural y corporal se describe a continuación.

- **Factor de resistencia estructural**

Para la estimar el factor de resistencia estructural, se tomaron como base las variables planteadas en los trabajos de Uzielli (2008) y Du et al. (2013, 2014): tipología de la construcción, edad de la construcción, número de pisos (altura) y estado de conservación.

Con el fin de obtener la información de cada una de las variables y de dar cumplimiento con las escalas de detalle establecidas en el Decreto 1807 de 2014 (compilado en el Decreto 1077 de 2015), se realizó de inspección en cada una de las edificaciones localizadas en las zonas de amenaza alta y media.

El indicador de Resistencia Estructural (S_e) se construye con base en la fórmula propuesta por Li et al. (2010) y modificada por Du et al. (2013, 2014), tal como se describe a continuación:

$$S_e = 1- [(1-S_{tip})*(1-S_{alt})*(1-S_{con})*(1-S_{ser})] \quad (63)$$

Donde:
S_e: factor de resistencia estructural
S_{tip}: tipo de estructura
S_{alt}: altura de las estructuras
S_{con}: estado de conservación de las estructuras
S_{ser}: servicio de las estructuras

Cabe mencionar que este factor debe comprenderse de manera inversa, es decir, un valor alto representa una resistencia baja de las estructuras o de los elementos corporales, incidiendo en el aumento de la vulnerabilidad.

- *Factor de resistencia por tipo de estructura (S_{tip}):* para el tipo de estructura se consideran los factores de resistencia propuestos por Du et al. (2013) a partir de las tipologías establecidas por Heinimann (1999) (Tabla 8.9).

Tabla 8.9. Factor de resistencia por tipología de las estructuras

TIPOLOGÍA	RESISTENCIA	S_{tip}
Otro (Material Reciclado)	Baja	1
Madera, Tapia y Bahareque	Media	0,9
Mampostería No Reforzada	Alta	0,7
Mampostería Confinada	Muy Alta	0,5

Fuente: modificado de Du et al. (2013).

- *Factor de resistencia por altura de la estructura (S_{alt}):* los valores de este parámetro se plantean conforme a lo establecido en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-1) (AIS, 2010), el cual establece el número de pisos límite que deben tener los diferentes sistemas constructivos existentes en el país. De esta forma, tomando como referencia dichas demarcaciones y teniendo en cuenta el juicio de los profesionales que conforman el equipo de trabajo, se proponen unos rangos de resistencia en función del número de pisos de las estructuras (Tabla 8.10).

Tabla 8.10. Factor de resistencia por altura de las estructuras

TIPOLOGÍA	NÚMERO DE PISOS	S_{alt}
Otro (Material Reciclado)	1	0,90
	≥ 2	1
Madera, Tapia y Bahareque	1	0,70
	≥ 2	0,80
Mampostería no reforzada	1	0,50
	≥ 2	0,60
Mampostería confinada	1	0,30
	≥ 2	0,40

Fuente: elaboración propia.

- *Factor de resistencia por servicio de la estructura (S_{ser}):* el parámetro de resistencia relacionado con el servicio de la edificación se estima a partir de la relación de los años de servicio con respecto a la vida útil de diseño de la edificación (servicio/vida útil). Los valores de este parámetro corresponden a los propuestos por Du et al (2013; 2014) (Tabla 8.26).

Tabla 8.11. Factor de resistencia por servicio de las estructuras

RELACIÓN AÑOS DE SERVICIO/VIDA ÚTIL	S_{ed}
≤0,1	0,05
0,1 - 0,4	0,1
0,4 - 0,6	0,3
0,6 - 0,8	0,5
0,8 - 1,0	0,7
1,0 - 1,2	0,8
>1,2	1

Fuente: Du et al. (2013, 2014).

La vida útil de las edificaciones hace referencia al tiempo donde se puede hacer uso de la estructura sin involucrar mantenimiento de sus elementos estructurales, sólo actividades de conservación de pintura y de elementos menores. En el presente trabajo, la vida útil de las estructuras se estima con base en sus características físicas y soportada en información secundaria.

Para las estructuras elaboradas en mampostería, se tomó la vida útil definida por Gonzáles (2006), quien considera la durabilidad de las edificaciones con base en sus usos. Con el propósito de tener en cuenta la resistencia de las estructuras en las condiciones más desfavorables, se consideran los valores dados en un contexto de uso extremo.

En relación con la tipología de Madera, Tapia y Bahareque, se acoge lo planteado por Kaminski et al. (2016) (Tabla 8.12).

Tabla 8.12. Vida útil de las estructuras

TIPOLOGÍA	VIDA ÚTIL
Otro (Material Reciclado)	15 años
Madera, Tapia y Bahareque	30 años
Mampostería no reforzada	50 años
Mampostería confinada	70 años

Fuente: elaboración propia.

- *Factor de resistencia por conservación de la estructura (S_{con}):* el estado de conservación se evalúa a partir de la inspección visual de las edificaciones y se califica teniendo como referencia los valores propuestos por Du et al. (2013, 2014) (Tabla 8.13).

Tabla 8.13. Estado de conservación de las estructuras

ESTADO DE CONSERVACIÓN	DESCRIPCIÓN	SEPARACIÓN GRIETAS (mm)	S_{con}
Bueno	Solo se observan daños superficiales leves en los acabados.	0-0,5	0,01

ESTADO DE CONSERVACIÓN	DESCRIPCIÓN	SEPARACIÓN GRIETAS (mm)	S_{con}
Daños moderados	Fisuras en juntas horizontales en los extremos superior e inferior de elementos verticales. Desplazamiento relativo o movimiento en el plano fuera del (pandeo).	0,5- 5,0	0,35
Daños graves	Inclinaciones del elemento fuera de su plano vertical. Unidades de mampostería con fallas por aplastamiento.	> 5	0,70
Colapso	Colapso total de la estructura		1

Fuente: modificado de Du et al. (2013, 2014

- **Factor de resistencia corporal**

Uzielli et al. (2008), con base en el trabajo de Ragozin y Tikhvinsky (2000) y Uzielli (2006), plantea que la resistencia de las personas ubicadas dentro de una edificación es proporcional a la resistencia de la estructura. Adopta un modelo donde considera que las lesiones, fatalidad y capacidad de evacuación de las personas está condicionada a la estabilidad de las estructuras (ecuación 64):

$$S_{corp} = (S_e)^{3.2} \quad (64)$$

Donde:
S_{corp}: factor de resistencia corporal
S_e: factor de resistencia de las estructuras

Según lo expuesto por Uzielli et al. (2008), este modelo es aplicable a diferentes tipos de amenazas; por tal razón, para efectos de la presente investigación se utiliza para movimientos en masa e inundaciones.

- **Factor de resistencia de líneas vitales**

Para evaluar la resistencia de las líneas vitales se toma como base lo propuesto por el SGC (2016). Esta evaluación tiene como fundamento la información recopilada en cada uno de los municipios entorno a las características de este tipo de elementos y lo identificado en el trabajo de campo.

- *Red vial:* para la red vial su resistencia se evalúa en función de su ancho, a partir de la ecuación (65) que se presenta a continuación:

$$S_{ancho} = \frac{3,0}{W_{vía}} \quad (65)$$

Donde:
$W_{vía}$: ancho de la vía en metros. 3,0 corresponde al ancho del carril mínimo para que un vehículo pueda transitar en condiciones normales.

- *Red de acueducto:* la resistencia se estima a partir del diámetro de las tuberías de las tuberías primarias de la edificación (Tabla 8.14).

Tabla 8.14. Parámetros de resistencia de la red de acueducto

DIÁMETRO (PULGADAS)	S_{diam}
½	1
¾	0,44
1	0,25
1 ¼	0,16
1 ½	0,11
2	0,06

Fuente: tomado del SGC (2016).

- *Red de alcantarillado:* se define en función del material de fabricación de las redes de alcantarillado primarias de la edificación (Tabla 8.15).

Tabla 8.15. Parámetros de resistencia de la red de alcantarillado

MATERIAL	S_{mat}
Asbesto cemento	0,90
Gres	0,60
Concreto simple	0,60
Polietileno	0,50
Concreto reforzado	0,10

Fuente: tomado del SGC (2016).

- *Redes eléctricas y de comunicaciones:* para este tipo de redes la resistencia se define a partir de la carga nominal de rotura de los postes, la cual es determinada en las normas RETIE e INCONTEC y en las especificaciones técnicas de EPM (2015) (Tabla 8.16).

Cabe mencionar que, la carga nominal hace referencia al esfuerzo que puede soportar un material cuando está sometido a tracción o compresión. Se expresa en N/m^2 o en kg/mm^2.

Tabla 8.16. Parámetros de resistencia de la red eléctrica

MATERIAL	CARGA NOMINAL	S_{mat}
Madera	---	1,00
Concreto	5001 N	0,90
	7355 N	0,82
	10300 N	0,70
	13220 N	0,62
	17640 N	0,53
	19600 N	0,51
Metálicos	3432 N	0,95
	5001 N	0,90
	7354 N	0,80
	10297 N	0,65

Fuente: tomado del SGC (2016).

Con base en la normatividad, cada poste debe contar con una placa visible (localizada a dos metros de la señal de empotramiento) donde se indique la carga nominal de rotura, entre otro tipo de información. Los postes de madera tienen un valor general de resistencia de 1. Para los postes de concreto, según lo planteado por el SGC (2016), en caso de que no se pueda determinar la carga nominal de los postes de concreto localizados en el área de estudio, se utiliza el valor mínimo de 5001 N y su correspondiente parámetro de fragilidad. De igual forma, para el caso de los postes

metálicos, en caso de no contar con un valor claro de la carga nominal de rotura se asigna el valor más bajo de resistencia: 3432 N.

8.2.2.3. Clasificación de los posibles efectos en los elementos expuestos

Para el fenómeno de inundación se determinaron los posibles daños y afectaciones que podría sufrir la población en los elementos de infraestructura, funcionales y ambientales. En la Figura 8.3 presenta la clasificación de los tipos de daños leves, moderados, graves y muy graves en los que se presenta pérdidas humanas y destrucción de las edificaciones en relación con la profundidad y la velocidad del agua ante inundación y condiciones de flujo.

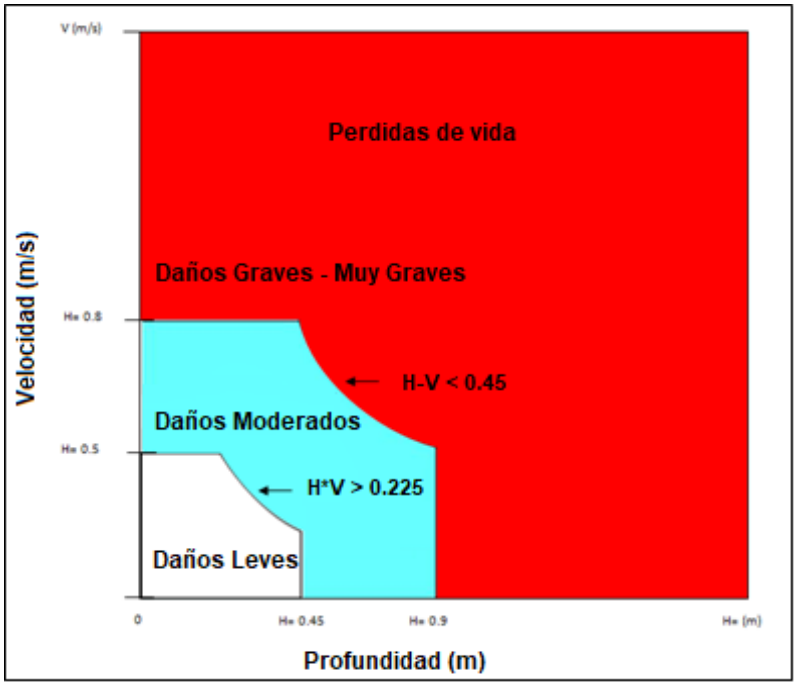


Figura 8.3. Tipos de daños por inundación y condiciones de flujo
Fuente: Ricardo A. Smith, et al., (2004).

En la Tabla 8.17 se presenta la descripción de los posibles efectos o daños generados en los elementos expuestos corporales, estructurales, funcionales y ambientales tomando en consideración los parámetros de la amenaza por inundación, la cual se determina, por un lado, con la magnitud dado por la profundidad de la capa de agua, la intensidad o velocidad del flujo de agua, y, por el otro, con el producto de la profundidad por la velocidad.

Tabla 8.17. Determinación de los posibles efectos acorde con la intensidad y magnitud de las inundaciones

NIVEL	MAGNITUD (Profundidad) *H* (m)	INTENSIDAD (Velocidad) *V* (m/seg)	*H*V* (m^2/seg)	EFECTOS O DAÑOS			
				CONSTRUCCIONES Y LÍNEAS VITALES* 1 2 3 4 5 6	FUNCIONALES	AMBIENTALES	CORPORALES
ALTO (daños graves, muy graves)	H ≥ 0,90	V ≥ 0,80	H*V ≥ 0,45		• Desabastecimiento de alimentos • Daños en las redes de prestación de servicios públicos. • Cierre de instituciones educativas de comercios y de servicios. • Afectación en la prestación de los servicios de aseo y mantenimiento.	• Pérdida de suelo y vegetación. • Pérdida de la capacidad portante del suelo y asentamiento diferenciado. • Pérdida de calidad y/o cantidad de agua disponible. • Cambios en la dinámica de los ecosistemas. • Destrucción o afectación de los cultivos que quedan cubiertos total o parcialmente por el agua durante varios días, a consecuencia del estrés hídrico excesivo. • Cambios en los cursos fluviales y perturbaciones.	• Posible morbilidad y mortalidad en seres humanos. • Migración de población. • Enfermedades infecciosas y epidemias. • Aumento de enfermedades endémicas. • Problemas sanitarios.
MEDIO (daños moderados)	0,45 – 0,90	0,50 – 0,80	0,225 – 0,45		• Daños en el equipamiento del espacio público. • Suspensión temporal de los servicios públicos. • Suspensión temporal de actividades educativas y laborales.	• Pérdida de rendimiento agrícola de los cultivos y de la producción en general. • Saturación de los suelos o aumento significativo de la humedad de los mismos. • Dispersión de contaminantes.	• Pérdida de habilidad. • Personas atrapadas.
BAJO (daños leves)	0,05 – 0,45	0,0 – 0,50	0,0 – 0,225		• Afectaciones y traumatismos en los servicios de transporte	• Anegamiento parcial de suelo agrícola y no agrícola.	• Problemas emocionales leves y transitorios.

Continuación *Tabla 8.17*

NIVEL	1	2	3	4	5	6 SISTEMA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO	6 DAÑOS EN VÍAS	7 NO ESTRUCTURALES
ALTO (daños graves, muy graves)	• Desplomes de viviendas por debilitamiento de su estructura (depende del tiempo de exposición al agua).			• Desplome parcial de paredes o colapso total de la infraestructura.		• Daños en la tubería por sedimentación del barro. • Contaminación de reservorios por aguas residuales. • Colapso del sistema de drenaje de las aguas residuales.	• Ruptura de puentes peatonales y vehiculares, afectados por socavaciones en el suelo y arrastre.	
MEDIO (daños moderados)	• Desprendimiento del revoque.			• Fisuras o grietas en muros y columnas por asentamientos diferenciales del terreno, socavaciones o erosión.	• Debilitamiento de la cimentación por asentamientos diferenciados, socavación y erosión.		• Taponamiento de accesos. • Afectación en el transporte público.	• Desprendimiento, deformaciones y agrietamientos del piso de la infraestructura. • Putrefacción y deformación por humedecimiento en puertas y ventanas de madera. En metálicas se presenta oxidación. • Pérdidas en el inmobiliario por la exposición a la humedad. Generalmente, el efecto de la inundación en el mobiliario es temporal, pues buena parte del mismo se puede recuperar rápidamente.
BAJO (daños leves)	• Deterioro del acabado superficial de los muros.			• Deterioro de los ladrillos de las primeras filas de las paredes por el contacto con el agua. • Desprendimientos de revoques (repellos).	• Fisuras en muros y columnas.			

Fuente: elaboración propia

1. Viviendas de Bahareque
2. Viviendas de Construcciones de Adobe, Tapial
3. Viviendas de Construcciones de Construcciones de caña y madera
4. Viviendas de Mampostería
5. Viviendas de Construcciones de hormigón armado, con diseño sismorresistente
6. Líneas vitales
7. No estructurales

8.2.3. Escenarios de vulnerabilidad ante Movimiento en Masa

La caracterización del escenario de vulnerabilidad ante movimiento en masa de los elementos expuestos de edificaciones, personas y líneas vitales se describe a continuación los soportes metodológicos y bibliográficos tomados en cuenta para su evaluación.

8.2.3.1. Exposición ante Movimiento en Masa

Para el fenómeno de movimiento en masa, se definieron cuatro zonas de exposición y sus respectivos valores con base en lo planteado por el SGC (2016) (Tabla 8.18 y Figura 8.4). La delimitación de las zonas se realiza conforme a los perfiles geológicos-geotécnicos y a las áreas de fallamiento de laderas obtenidas en los estudios de amenaza, en los cuales, es fundamental contar con los criterios de distancia de viaje (m), intensidad(m/s) y magnitud (m^3) determinados al caracterizar la amenaza.

Tabla 8.18. Zonas y valores de exposición para el fenómeno de movimiento en masa

ZONA	DESCRIPCIÓN	DAÑOS ESPERADOS	CRITERIO DE INTENSIDAD O MAGNITUD	VALOR DE EXPOSICIÓN
1	Elementos ubicados sobre la zona estable en la parte superior del talud sin posibilidad de afectación por retrogresión.	No se esperan daños a causa de los movimientos en masa.		0
2	Elementos ubicados sobre una ladera potencialmente inestable o potencialmente afectados por efectos de retrogresión.	Colapso o daños instantáneos debido a pérdida de soporte en la zona de retrogresión. Asentamientos diferenciales, inclinaciones y agrietamientos asociados a con movimientos lentos; colapso de la estructura asociado con movimientos rápidos.	Velocidad del movimiento Actividad del desplazamiento Cantidad de desplazamiento Desplazamientos verticales	1
3	Elementos ubicados en la trayectoria del movimiento en masa o en la zona de depósito del material deslizado.	Daños localizados por impacto, colapso total, obstrucción, enterramiento, entre otros.	Velocidad del movimiento Distancia de viaje Presiones laterales Impactos (volúmenes y energía cinética) Alturas de acumulación de material	0,8
4	Elementos fuera del alcance del movimiento en masa y su área de depósito.	No se esperan daños a causa de los movimientos en masa.		0

Fuente: modificado de SGC (2016).

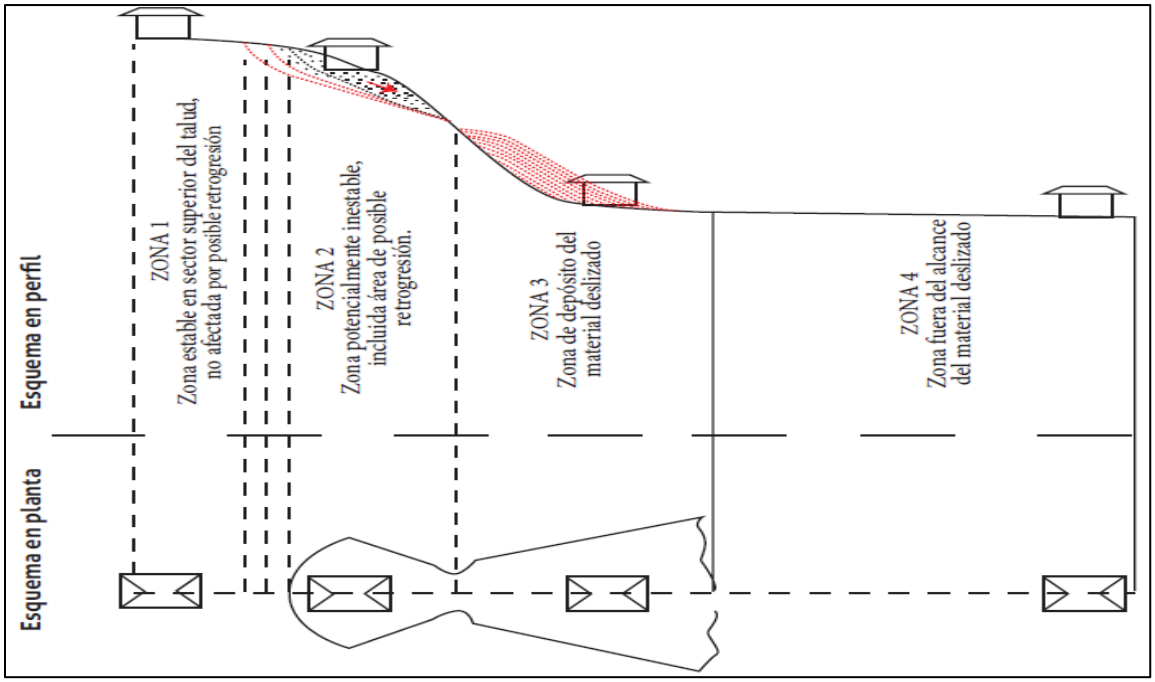


Figura 8.4. Zonas de exposición ante movimientos en masa
Fuente: SGC (2016).

8.2.3.2. Fragilidad ante movimiento en masa

La fragilidad está determinada por dos factores principales, uno es la presión de impacto o intensidad del evento, y el otro es la seguridad (factor de resistencia). A continuación, se describe el procedimiento llevado a cabo para la estimación de cada factor:

8.2.3.2.1. Intensidad ante movimientos en masa

Para evaluar la intensidad del movimiento en masa en el presente trabajo se propone trabajar con los niveles de intensidad del movimiento en masa propuestos por el grupo de amenaza del presente proyecto.

Según la bibliografía consultada, el impacto que generan el movimiento en masa sobre las edificaciones, las líneas vitales y las personas, está determinado principalmente por la intensidad y la magnitud de tierra movida. De esta forma, teniendo como referencia los valores de velocidad (mm/seg) y el volumen (m^3) definidos en la evaluación de la amenaza Tabla 8.31, se definen los valores de intensidad.

Tabla 8.19. Nivel de intensidad y magnitud del movimiento en masa

INTENSIDAD Y MAGNITUD DEL MOVIMIENTO EN MASA		NIVEL
VELOCIDAD (mm/seg)	VOLUMEN (m^3)	
$5x10^{-7} < v < 5x10^{-4}$	$V < 100$	**BAJA**
$5x10^{-4} < v < 5x10^{-1}$	$100 < V < 10^6$	**MEDIA**
$5x10^{-1} < v < 5x10^{3}$	$10^6 < V$	**ALTA**

Fuente: elaboración propia.

- **Intensidad del movimiento en masa sobre las edificaciones**

La intensidad brinda información sobre la gravedad y las dimensiones del evento. Cuando este ocurre, flujos o diferentes materiales se desplazan a alta velocidad pudiendo afectar directamente a los elementos expuestos mediante una gama de mecanismos de impacto.

Según la propuesta de Du et al. (2014), la intensidad para las estructuras se define como una función de su profundidad y de la presión de impacto (ecuación 66):

$$I = 1 - (1 - I_{f-pre})(1 - I_{f-prof}) \quad (66)$$

Donde:
I: es la intensidad del evento.
$I_{f\text{-}pre}$: es el parámetro de la intensidad debido a la presión. Se estima a partir de la relación entre la presión de impacto del evento y la presión límite soportada por la estructura.

$I_{f\text{-}prof}$: es el parámetro de la intensidad por la profundidad del evento. Se presenta en función de la relación entre la altura de la masa acumulada y la altura de la edificación.

- ***Presión de impacto del movimiento en masa*** *(*$I_{f\text{-}pre}$*:):* según la propuesta de Du et al. (2014) el parámetro de la intensidad debido a la presión se estima de la siguiente manera:

$$I_{f-pre} = \frac{P_{imm}}{P_{le}} \quad (67)$$

Donde:
P_{mm}*:* presión de impacto del movimiento en masa.
P_{le}: presión límite soportada por las estructuras.

Por su parte, la presión de impacto del movimiento en masa, de acuerdo con lo planteado por Du et al. (2014) puede aproximarse mediante la siguiente ecuación:

$$P_{imm} = \frac{1}{2}\rho v^2 \quad (68)$$

Donde:
P_{mm}: presión de impacto del movimiento en masa (kPa)
ρ: densidad de la masa movida (kg/m^3)
v: velocidad (m/s)

También mediante la siguiente expresión:

$$P_{imm} = \frac{\rho g v}{A} \approx p g v \quad (69)$$

Donde:
P_{imm}: presión de impacto del movimiento en masa (kPa)
ρ: densidad de la masa movida (kg/m^3)

v: velocidad (m/s)
g: gravedad

En relación con el límite de la presión horizontal soportada por las estructuras (P_{le}), Du et al. (2014) plantean un promedio para diferentes tipos de estructuras, los cuales son complementados por el SGC (2016) (Tabla 8.20). Entre mayor sea valor, más es la presión que soporta la estructura.

Tabla 8.20. Presión limite soportada por las estructuras

TIPOLOGÍA	PRESIÓN LÍMITE DE LA ESTRUCTURA (kPa)	PRESIÓN LÍMITE DE LA ESTRUCTURA (t/m^2)
Otros (Material Reciclado)	1	0.102
Madera, Tapia y Bahareque	5	0.5099
Mampostería No Reforzada	8	0.8158
Mampostería Confinada	11	1.122

Fuente: modificado Du et al. (2014) y SGC (2016).

- ***Altura de la masa acumulada ($I_{f\text{-}prof}$):*** el parámetro $I_{f\text{-}prof}$ se representa en función de la relación entre la altura de la masa acumulada (profundidad) y la altura de las estructuras por medio de la siguiente ecuación:

$$I_{f-prof} = \frac{h_{mm}}{h_e} \quad (70)$$

Donde:
$P_{f\text{-}prof}$: parámetro de intensidad por la altura de la masa acumulada
h_{mm}: altura de la masa acumulada
h_e: altura de las edificaciones (número de pisos)

- **Intensidad del movimiento en masa sobre las personas (corporal)**

Para las variables corporales, los valores de intensidad utilizados son los estimados a nivel estructural, puesto que se asume que la población de encuentra dentro de las infraestructuras.

- **Intensidad del movimiento en masa sobre las líneas vitales**

Como líneas vitales se consideran al conjunto de sistemas y servicios esenciales para el funcionamiento normal de los municipios, tales como: redes de acueducto, alcantarillado, energía eléctrica, telecomunicaciones y sistemas de viales.

Para evaluar el impacto del movimiento en masa sobre las líneas vitales se toma como base lo planteado por el Servicio Geológico Colombiano (2016).

En el caso de las vías, el parámetro de intensidad se define a partir del ancho de vía ocupado por la masa deslizada y la distancia de viaje:

$$I_{vías} = \frac{L_p}{W_e + W_{cal}} \quad (71)$$

Donde:

L_p: distancia de viaje medida desde la pata del talud
W_e: ancho de los elementos que se encuentran entre la calzada y la pata del talud, tales como bermas, andenes, zonas verdes, etc.
W_{cal}: ancho de la calzada útil para el tránsito de vehículos

Para las redes de acueducto y alcantarillado, el valor de intensidad se define con base en la relación entre la deformación de los elementos y el umbral tolerable (Tabla 8.21).

Tabla 8.21. Relación deformación/umbral tolerable

RELACIÓN DEFORMACIÓN/ UMBRAL TOLERABLE	I_{raa}
<0.2	0.1
0.2-0.4	0.2
0.4-0.6	0.4
0.6-0.8	0.6
0.8-1.0	0.8
1.0-1.2	0.9
≥1.2	1.0

Fuente: SGC (2016).

Para la deformación se tomó como referencia lo expuesto por CEDEX (2006) y Gálvez (2011), quienes definen los porcentajes de deformación máxima en el diámetro de las tuberías por la acción de fuerzas externas. Posteriormente, teniendo como base las zonas de exposición definidas y considerando que éstas se delimitan conforme a los efectos esperados, se les asigna un porcentaje de deformación (Tabla 8.22). Cabe mencionar que, para obtener el valor de deformación para las tuberías analizadas en el presente trabajo, el porcentaje se relaciona con el diámetro de cada una de las tuberías.

El umbral tolerable por las redes se trabaja tal como lo define el SGC (2016). Para el alcantarillado se define un umbral de 5 cm y para el acueducto de los umbrales son dados por la siguiente ecuación:

$$\delta = 0.0075 \frac{1}{D} \quad (72)$$

Donde:
D = diámetro de la tubería en metros.

Tabla 8.22. Relación deformación/umbral tolerable

ZONA DE EXPOSICIÓN	DEFORMACIÓN %
1	0
2	5%
3	3%
5	0

Fuente: elaboración propia.

En el caso de las redes eléctricas, el SGC (2016) contempla la presión ejercida por la masa deslizada sobre los postes. De esta forma, la intensidad se define a partir de la relación entre la altura del deslizamiento y la altura nominal del poste (Tabla 8.23).

Tabla 8.23. Relación altura del deslizamiento/altura nominal del poste

RELACIÓN ALTURA DESLIZAMIENTO/ALTURA NOMINAL POSTE	I_{relec}
≤0.1	0.1
0.2	0.4
0.25	0.7
≥0.3	1.0

Fuente: SGC (2016).

8.2.3.2.2. Factor de resistencia por movimiento en masa

La metodología llevada a cabo para la obtención de los factores de resistencia estructural y corporal se describe a continuación.

- **Factor de resistencia estructural**

Para la estimar el factor de resistencia estructural, se tomaron como base las variables planteadas en los trabajos de Uzielli (2008) y Du et al. (2013, 2014): tipología de la construcción, edad de la construcción, número de pisos (altura) y estado de conservación.

Con el fin de obtener la información de cada una de las variables y de dar cumplimiento con las escalas de detalle establecidas en el Decreto 1807 de 2014 (compilado en el Decreto 1077 de 2015), se realizó de inspección en cada una de las edificaciones localizadas en las zonas de amenaza alta y media.

El indicador de Resistencia Estructural (S_e) se construye con base en la fórmula propuesta por Li et al. (2010) y modificada por Du et al. (2013, 2014), tal como se describe a continuación:

$$S_e = 1- [(1-S_{tip})*(1-S_{alt})*(1-S_{con})*(1-S_{ser})] \quad (73)$$

Donde:
S_e: factor de resistencia estructural
S_{tip}: tipo de estructura
S_{alt}: altura de las estructuras
S_{con}: estado de conservación de las estructuras
S_{ser}: servicio de las estructuras

Cabe mencionar que este factor debe comprenderse de manera inversa, es decir, un valor alto representa una resistencia baja de las estructuras o de los elementos corporales, incidiendo en el aumento de la vulnerabilidad.

- *Factor de resistencia por tipo de estructura (S_{tip}):* para el tipo de estructura se consideran los factores de resistencia propuestos por Du et al. (2013) a partir de las tipologías establecidas por Heinimann (1999) (Tabla 8.24).

Tabla 8.24. Factor de resistencia por tipología de las estructuras

TIPOLOGÍA	RESISTENCIA	S_{tip}
Otro (Material Reciclado)	Baja	1
Madera, Tapia y Bahareque	Media	0,9
Mampostería No Reforzada	Alta	0,7
Mampostería Confinada	Muy Alta	0,5

Fuente: modificado de Du et al. (2013).

- *Factor de resistencia por altura de la estructura (S_{alt}):* los valores de este parámetro se plantean conforme a lo establecido en el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-1) (AIS, 2010), el cual establece el número de pisos límite que deben tener los diferentes sistemas constructivos existentes en el país. De esta forma, tomando como referencia dichas demarcaciones y teniendo en cuenta el juicio de los profesionales que conforman el equipo de trabajo, se proponen unos rangos de resistencia en función del número de pisos de las estructuras (Tabla 8.25).

Tabla 8.25. Factor de resistencia por altura de las estructuras

TIPOLOGÍA	NÚMERO DE PISOS	S_{alt}
Otro (Material Reciclado)	1	0,90
	≥ 2	1
Madera, Tapia y Bahareque	1	0,70
	≥ 2	0,80
Mampostería no reforzada	1	0,50
	≥ 2	0,60
Mampostería confinada	1	0,30
	≥ 2	0,40

Fuente: elaboración propia.

- *Factor de resistencia por servicio de la estructura (S_{ser}):* el parámetro de resistencia relacionado con el servicio de la edificación se estima a partir de la relación de los años de servicio con respecto a la vida útil de diseño de la edificación (servicio/vida útil). Los valores de este parámetro corresponden a los propuestos por Du et al (2013; 2014) (Tabla 8.26).

Tabla 8.26. Factor de resistencia por servicio de las estructuras

RELACIÓN AÑOS DE SERVICIO/VIDA ÚTIL	S_{ed}
≤0,1	0,05
0,1 - 0,4	0,1
0,4 - 0,6	0,3
0,6 - 0,8	0,5
0,8 - 1,0	0,7
1,0 - 1,2	0,8
>1,2	1

Fuente: Du et al. (2013, 2014).

La vida útil de las edificaciones hace referencia al tiempo donde se puede hacer uso de la estructura sin involucrar mantenimiento de sus elementos estructurales, sólo actividades de conservación de pintura y de elementos menores. En el presente trabajo, la vida útil de las estructuras se estima con

base en sus características físicas y soportada en información secundaria.

Para las estructuras elaboradas en mampostería, se tomó la vida útil definida por Gonzáles (2006), quien considera la durabilidad de las edificaciones con base en sus usos. Con el propósito de tener en cuenta la resistencia de las estructuras en las condiciones más desfavorables, se consideran los valores dados en un contexto de uso extremo.

En relación con la tipología de Madera, Tapia y Bahareque, se acoge lo planteado por Kaminski et al. (2016) (Tabla 8.27).

Tabla 8.27. Vida útil de las estructuras

TIPOLOGÍA	VIDA ÚTIL
Otro (Material Reciclado)	15 años
Madera, Tapia y Bahareque	30 años
Mampostería no reforzada	50 años
Mampostería confinada	70 años

Fuente: elaboración propia.

- *Factor de resistencia por conservación de la estructura (S_{con}):* el estado de conservación se evalúa a partir de la inspección visual de las edificaciones y se califica teniendo como referencia los valores propuestos por Du et al. (2013, 2014) (Tabla 8.28).

Tabla 8.28. Estado de conservación de las estructuras

ESTADO DE CONSERVACIÓN	DESCRIPCIÓN	SEPARACIÓN GRIETAS (mm)	S_{con}
Bueno	Solo se observan daños superficiales leves en los acabados.	0-0,5	0,01
Daños moderados	Fisuras en juntas horizontales en los extremos superior e inferior de elementos verticales. Desplazamiento relativo o movimiento en el plano fuera del (pandeo).	0,5- 5,0	0,35
Daños graves	Inclinaciones del elemento fuera de su plano vertical. Unidades de mampostería con fallas por aplastamiento.	> 5	0,70
Colapso	Colapso total de la estructura		1

Fuente: modificado de Du et al. (2013, 2014

- **Factor de resistencia corporal**

Uzielli et al. (2008), con base en el trabajo de Ragozin y Tikhvinsky (2000) y Uzielli (2006), plantea que la resistencia de las personas ubicadas dentro de una edificación es proporcional a la resistencia de la estructura. Adopta un modelo donde considera que las lesiones, fatalidad y capacidad de evacuación de las personas está condicionada a la estabilidad de las estructuras (ecuación 74):

$$S_{corp} = (S_e)^{3.2} \quad (74)$$

Donde:

S_{corp}: factor de resistencia corporal
S_e: factor de resistencia de las estructuras

Según lo expuesto por Uzielli et al. (2008), este modelo es aplicable a diferentes tipos de amenazas; por tal razón, para efectos de la presente investigación se utiliza para movimientos en masa e inundaciones.

- **Factor de resistencia de líneas vitales**

Para evaluar la resistencia de las líneas vitales se toma como base lo propuesto por el SGC (2016). Esta evaluación tiene como fundamento la información recopilada en cada uno de los municipios entorno a las características de este tipo de elementos y lo identificado en el trabajo de campo.

- *Red vial:* para la red vial su resistencia se evalúa en función de su ancho, a partir de la ecuación (75) que se presenta a continuación:

$$S_{ancho} = \frac{3{,}0}{W_{vía}} \quad (75)$$

Donde:
$W_{vía}$: ancho de la vía en metros. 3,0 corresponde al ancho del carril mínimo para que un vehículo pueda transitar en condiciones normales.

- *Red de acueducto:* la resistencia se estima a partir del diámetro de las tuberías de las tuberías primarias de la edificación (Tabla 8.29).

Tabla 8.29. Parámetros de resistencia de la red de acueducto

DIÁMETRO (PULGADAS)	S_{diam}
½	1
¾	0,44
1	0,25
1 ¼	0,16
1 ½	0,11
2	0,06

Fuente: tomado del SGC (2016).

- *Red de alcantarillado:* se define en función del material de fabricación de las redes de alcantarillado primarias de la edificación (Tabla 8.30).

Tabla 8.30. Parámetros de resistencia de la red de alcantarillado

MATERIAL	S_{mat}
Asbesto cemento	0,90
Gres	0,60
Concreto simple	0,60
Polietileno	0,50
Concreto reforzado	0,10

Fuente: tomado del SGC (2016).

- *Redes eléctricas y de comunicaciones:* para este tipo de redes la resistencia se define a partir de la carga nominal de rotura de los postes, la cual es determinada en las normas RETIE e INCONTEC y en las especificaciones técnicas de EPM (2015) (Tabla 8.31).

Cabe mencionar que, la carga nominal hace referencia al esfuerzo que puede soportar un material cuando está sometido a tracción o compresión. Se expresa en N/m^2 o en kg/mm^2.

Tabla 8.31. Parámetros de resistencia de la red eléctrica

MATERIAL	CARGA NOMINAL	S_{mat}
Madera	---	1,00
Concreto	5001 N	0,90
	7355 N	0,82
	10300 N	0,70
	13220 N	0,62
	17640 N	0,53
	19600 N	0,51
Metálicos	3432 N	0,95
	5001 N	0,90
	7354 N	0,80
	10297 N	0,65

Fuente: tomado del SGC (2016).

Con base en la normatividad, cada poste debe contar con una placa visible (localizada a dos metros de la señal de empotramiento) donde se indique la carga nominal de rotura, entre otro tipo de información. Los postes de madera tienen un valor general de resistencia de 1. Para los postes de concreto, según lo planteado por el SGC (2016), en caso de que no se pueda determinar la carga nominal de los postes de concreto localizados en el área de estudio, se utiliza el valor mínimo de 5001 N y su correspondiente parámetro de fragilidad. De igual forma, para el caso de los postes metálicos, en caso de no contar con un valor claro de la carga nominal de rotura se asigna el valor más bajo de resistencia: 3432 N.

8.2.3.3. Clasificación del tipo y modo de daños ante Movimientos en Masa

En la Tabla 8.32 se presentan los niveles de daños de acuerdo con los criterios de intensidad y la magnitud. En el nivel bajo, los daños se considerarían leves, en el medio los daños que se esperarían corresponden a agrietamientos, pérdidas parciales de las edificaciones, daños en las vías, en las redes de acueducto, alcantarillado y de gas natural y las personas tendrían lesiones.

Tabla 8.32. Determinación de los posibles efectos o daños acorde con la intensidad y magnitud de los movimientos en masa

NIVEL	INTENSIDAD VELOCIDAD (mm/seg)	MAGNITUD VOLUMEN (m^3)	EFECTOS (DAÑOS)			
			Construcción	Funcionales	Ambientales	Corporales
BAJO	$5x10^{-7} < v < 5x10^{-4}$	$V < 100$	–	–	Perdida local de suelo agrícola y no agrícola	–
MEDIO	$5x10^{-4} < v < 5x10^{-1}$	$100 < V < 10^6$	Daño local a la infraestructura civil, agrietamientos menores en viviendas. Daños parciales en pequeñas zonas urbanas. Daños en instalaciones sociales o industriales.	Daños en infraestructura vial. Daño en redes de servicios público.	Perdida de cultivos o de importancia económica. Pérdidas moderadas en extensiones agrícolas y de cultivos	Heridos
ALTO	$5x10^{-1} < v < 5x10^{3}$	$10^6 < V$	Destrucción de viviendas o infraestructuras civiles. Destrucción de grandes zonas urbanas (barrios, pueblos y veredas)	Grandes pérdidas económicas	Grandes extensiones de terreno agrícolas y no agrícolas	Pérdida de vidas humanas.

Fuente: elaboración propia con datos Cruden y Varnes (1996), Vargas, C, G (2000), ASG, (2007).

8.1. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD ANTE INUNDACIÓN

El análisis de la vulnerabilidad ante inundaciones se realizó siguiendo la metodología expuesta anteriormente, considerando los parámetros de presión de impacto, exposición y fragilidad de los elementos expuestos arriba indicados.

A continuación, se presentan los parámetros tenidos en cuenta para el análisis de la vulnerabilidad ante un evento de inundación.

8.1.1. Identificación, localización y caracterización de elementos expuestos ante inundaciones

A partir de la información recolectada en campo y la información secundaria de los documentos del PBOT del año 2000, Censo 2018, se llevó a cabo la fase de identificación, localización y caracterización de los elementos expuestos para el municipio de El Dovio.

8.1.1.1. Exposición de elementos

Cabe resaltar que en exposición predial por el fenómeno de inundación se tiene 125 predios. Pero como resultado final del trabajo de campo, se obtuvo información en 119 predios, esto es consecuente al encontrar que algunos predios observados en campo están divididos y sin desglose oficial en la base de datos del IGAC, convirtiéndose en un solo predio o en dos. Este dato también varía entre otras razones por el acceso a predios, es decir, casos donde el dueño no permite el ingreso.

En el área de estudio del municipio de El Dovio expuesta a amenaza por inundación, se logró acceder al 52% del interior de las edificaciones, es decir, 65 edificaciones y el 48% restante se realizó una inspección desde el exterior es decir 60, debido a que el 41.67% de ellas se encontraban sin personas al momento de la vista, en el 21.67% no permitieron el ingreso y entrega de información, el 8.33% restante de las edificaciones se encontraba desocupadas o en reparación.

Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación, se describe la exposición de elementos corporales y estructurales con la información obtenida:

8.1.1.1.1. Exposición corporal

El análisis de la exposición de elementos corporales se realizó con base en la información recolectada a través del Censo desarrollado por el equipo, en las edificaciones localizadas en las zonas clasificadas en amenaza media y alta en el área urbana del municipio de Zarzal, teniendo en cuenta las variables: habitantes totales, día y noche.

Como resultado de los entrevistados que permitieron el ingreso a las edificaciones se obtuvo que habitan un total 4.972 en 909 edificaciones, de ellas 2.727 personas permanecen en 902 edificaciones durante el día y 4.624 personas permanecen en 880 edificaciones en la noche.

De acuerdo con lo anterior se hace el análisis de la población teniendo en cuenta el uso de la edificación, es asi como se considera en un solo grupo, el uso residencial y mixto donde se encuentran 3.352 personas, las cuales habitan en 855 edificaciones, de esas 2.229 personas permanecen en el día en 806 edificaciones y 3.264 personas permanecen en la noche las cuales habitan en 846 edificaciones. En cuanto a las edificaciones de uso comercial se encuentran 98 edificaciones en ellas permanecen en el día 399 personas y en la noche 125 personas. Luego están las edificaciones de uso educativo se encuentran 10 edificaciones, en una de ellas se obtuvo información de permanencia en el día de 1200 personas entre estudiantes, profesores y administrativos y en horas de la noche 2 personas de vigilancia. Las 7 edificaciones de uso culto en 4 de ellas habitan 17 personas, en el día pueden encontrasen en promedio 63 personas y en la noche 12 personas. Seguido de las 6 edificaciones de uso institucional, de las cuales en dos brindaron información, de que están habitadas por 15 personas, sin embargo, en el día pueden permanecer 30 personas y en la noche 23 personas. Finalmente, se encuentra las edificaciones de uso de salud, las cuales se encontraron 4 y en una de ellas brindaron información de que en el día pueden permanecer 4 personas.

En la Tabla 8.33 se muestra el total de habitantes, las personas que permanecen en el día y la noche con respecto a las edificaciones de uso residencial y mixto, igualmente se presentan el promedio de habitantes por edificación es de 4 personas en total y en la noche, los habitantes por edificación que permanecen en el día son de 3 personas en promedio. Aclarando que se tomó el uso de suelo residencial y mixto, debido a que las personas de las edificaciones de uso comercial, educativo o institucional daría un estimativo mayor a la media de la mayoría que es de uso residencial.

Tabla 8.33. Número y promedio de habitantes en las construcciones en que se logró el acceso

HORARIO	N° DE HABITANTES	N° DE EDIFICACIONES	PROMEDIO DE HABITANTES POR EDIFICACIÓN
Total	3352	855	3,92
Día	2229	806	2,77
Noche	3264	846	3,86

Fuente: elaboración propia

A continuación, se presenta el análisis de la población que se encuentran expuesta en zona de amenaza alta y media considerando todas las edificaciones. Por lo tanto, en la Tabla 8.34 y Figura 8.5 se muestra que 80 personas que permanecen en casa durante el día se encuentran expuesto a amenaza media y 52 en amenaza alta, durante la noche se tienen 139 en exposición media y 83 en exposición alta. Es de resaltar que esta información solo da cuenta del personal que permitió el ingreso a las viviendas y accedió a dar la información, pero se puede preveer que son muchas más las personas expuestas.

Tabla 8.34. Número de habitantes, total, día y noche de la población encuestada, expuestos ante inundación de la zona urbana del municipio de Zarzal

HORARIO	NÚMERO DE HABITANTES		TOTAL
	EXPOSICIÓN MEDIA	EXPOSICIÓN ALTA	
Total	2710	2085	4795
Día	1122	1605	2727
Noche	2676	1948	4624

Fuente: elaboración propia

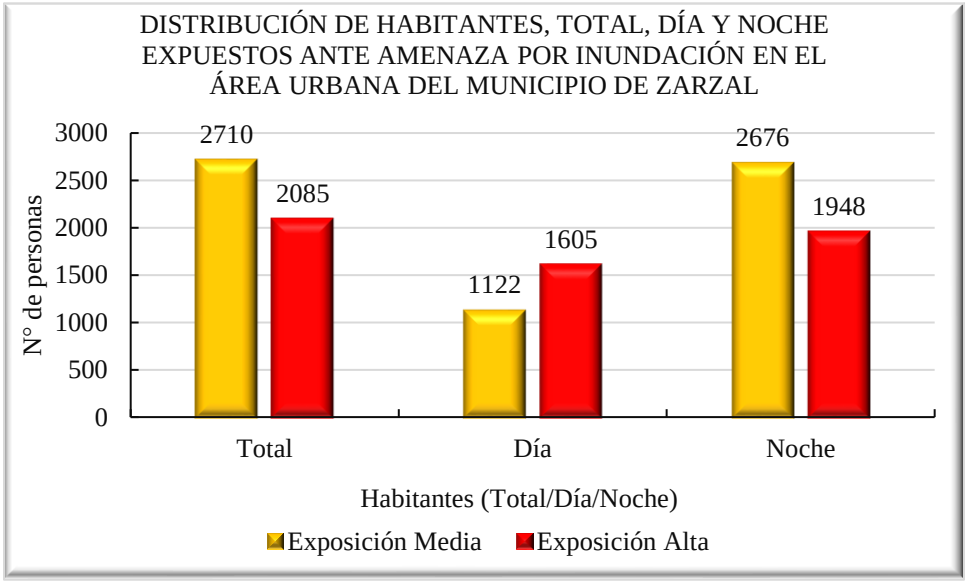


Figura 8.5. Distribución del número total de habitantes, día y de noche de la población encuestada, expuestos a inundación de la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

8.1.1.1.2. Exposición de estructural

El análisis de la exposición de elementos estructurales se realizó a nivel edificación considerando que algunos de los predios cuentan con varias edificaciones para los factores o variables: 1) uso del predio, 2) tipología de edificación, 3) estado de conservación, 4) edad o tiempo de servicio de la edificación y 5) número de pisos de edificación.

En la zona urbana del municipio con exposición alta y medio ante la ocurrencia de inundación. El área total expuesta ante la amenaza por inundación es de 565.863,64 m^2 y un total de 2381 predios, donde en amenaza alta se tiene un área de 333.562,55 m^2 y un total de 1.352 predios es decir un 56,8%, en exposición media el área es de 232.301,09 m^2 para un total de 1.029 predios (43,2%) (Tabla 8.35 y Figura 8.6)

Tabla 8.35. Número de predios expuestos a inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal

NIVEL DE EXPOSICIÓN	ÁREA M²	N° DE PREDIOS	% N° PREDIOS
Media	232301,09	1029	43,2%
Alta	333562,55	1352	56,8%
Total	**565.863,64**	**2381**	**100%**

Fuente: elaboración propia

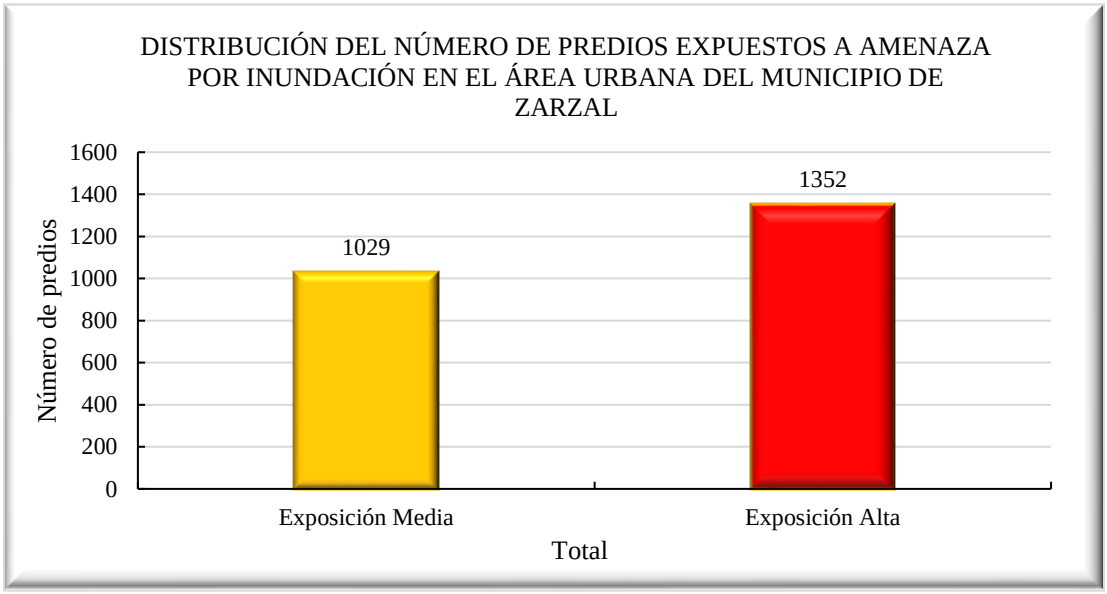


Figura 8.6. Distribución del número de predios expuestos ante inundación en la zona urbana del municipio de el Zarzal
Fuente: elaboración propia.

En las zonas de exposición en media y alta para el fenómeno de inundación hay un total de 2.413 predios, de los cuales: 190 predios se encuentran sin construcción, de los 70 predios con exposición media y 120 predios se encuentran expuestos en zona de amenaza alta. en cuanto a los predios con edificaciones se encuentran 2.191 de los cuales 959 predios con 988 edificaciones están expuestos en zona de amenaza media y 1.232 predios con 1.425 edificaciones están expuestos en zona de amenaza alta (Tabla 8.36).

Tabla 8.36. Número de predios sin edificaciones, con edificaciones y número de edificaciones expuestos a inundación en el área urbana del municipio de Zarzal.

NIVEL DE EXPOSICIÓN	PREDIOS SIN EDIFICACIONES	PREDIOS CON EDIFICACIONES	EDIFICACIONES
Media	70	959	988
Alta	120	1.232	1.425
Total	**190**	**2.191**	**2.413**

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los resultados anteriores, en la Tabla 8.37, se muestra las 2.413 edificaciones por nivel de exposición ante amenaza por inundación con respecto a los barrios con mayor número de edificaciones expuestas a un nivel de amenaza alta y media son: el barrio Los Lagos I con 298 edificaciones expuestas, donde 290 de ellas se localizan en amenaza alta y 8 en amenaza media, seguido de La Valvanera con 243 edificaciones de las cuales, 143 están en exposición media 100 edificaciones en exposición alta. En La Inmaculada se encuentran 242 edificaciones en expuestas en amenaza alta y media, de las cuales 201 en amenaza alta y en amenaza media 41 edificaciones. En el barrio El Centro con 241 edificaciones, donde 102 se encuentran expuestas en amenaza media y 139 en amenaza alta. Las 234 edificaciones del barrio Pallanos se encuentran expuestas en amenaza media 96 edificaciones y en amenaza alta 138 edificaciones. En La Libraida se encuentran expuestas en amenaza media 80 edificaciones y en amenaza alta se encuentran 89 edificaciones, para un total de 169. En Villa Isabelita se encuentran 131 edificaciones, de las cuales 21 están expuestas en amenaza media y 110 en amenaza alta. El barrio el Guamal cuanta con 54 edificaciones expuestas en amenaza media y 57 edificaciones en amenaza alta.

Tabla 8.37. Número de edificaciones por barrio expuestos por inundación en el área urbana del municipio de Zarzal.

BARRIOS	NÚMERO DE EDIFICACIONES		
	EXPOSCION MEDIA	EXPOSCION ALTA	TOTAL
Ciudad Kennedy	14	4	18
Colombina	8	9	17
El Centro	102	139	241
El Guamal	54	57	111
El Placer	19	29	48
El Poblado I	23	12	35
El Poblado II	29	2	31
El Progreso	9	31	40
El Quindío	4	1	5
El Vergel	2	22	24
La Delfina	5	59	64
La Inmaculada	41	201	242
La Isabelita	54	33	87
La Valvanera	143	100	243
Las Mercedes	67	0	67
Libraida	80	89	169
Los Lagos I	8	290	298
Los Lagos II	8	48	56
Los Lagos III	8	0	8
Pallanos	96	138	234
Quinto Centenario	4	0	4
San Rafael	10	12	22
Urb. Ciudad Jardín	33	1	34
Urb. Zarzalito	62	0	62

BARRIOS	NÚMERO DE EDIFICACIONES		TOTAL
	EXPOSCION MEDIA	EXPOSCION ALTA	
Urb. Guadalito	62	7	69
Villa Amelia	16	30	46
Villa Campestre	5	0	5
Villa Isabelita	21	110	131
Sin especificar	2	0	2
Total	**989**	**1424**	**2413**

Fuente: elaboración propia.

- **Uso de suelo observado**

El análisis del uso del suelo permite identificar la actividad que se está ejerciendo en cada edificación, dato relevante para evaluar las pérdidas económicas en caso de la manifestación de un evento de inundación.

En el municipio, el uso predial predominante es el residencial con 1.979 edificaciones, es decir el 82,01% de los cuales 1.130 edificaciones se encuentran en exposición alta y 849 en amenaza media, seguido de las edificaciones con uso de suelo comercial con 213 edificaciones, es decir el 8,83% en exposición alta se encuentran 153 edificaciones y 60 edificaciones en amenaza media, luego uso mixto con 190 edificaciones, siendo el 7.87% donde 125 se encuentran en exposición alta y 65 en media. Finalmente se encuentran las edificaciones de uso educativo con 9 edificaciones (0,37%), el de uso culto con 7 edificaciones (0,29%), el de uso institucional con 6 edificaciones (0,25%), el de uso de salud con 4 edificaciones (0.17%), el de uso recreacional con 3 edificaciones siendo el 0,12%, y por último el de uso cultural con 2 edificaciones, siendo el 0,8% (Tabla 8.38 y Figura 8.7).

Tabla 8.38. Uso del Suelo observado en las edificaciones expuestas a amenaza por inundación en el área urbana del municipio de Zarzal

USO DE SUELO	NÚMERO DE EDIFICACIONES		TOTAL	% PREDIOS
	EXPOSICIÓN MEDIA	EXPOSICIÓN ALTA		
Comercial	60	153	213	8,83 %
Culto	2	5	7	0,29 %
Cultural	2	0	2	0,08 %
Educación	5	4	9	0,37 %
Institucional	3	3	6	0,25 %
Mixto	65	125	190	7,87 %
Recreación	1	2	3	0,12 %
Residencial	849	1130	1979	82,01 %
Salud	1	3	4	0,17 %
Total	**988**	**1425**	**2413**	**100%**

Fuente: elaboración propia

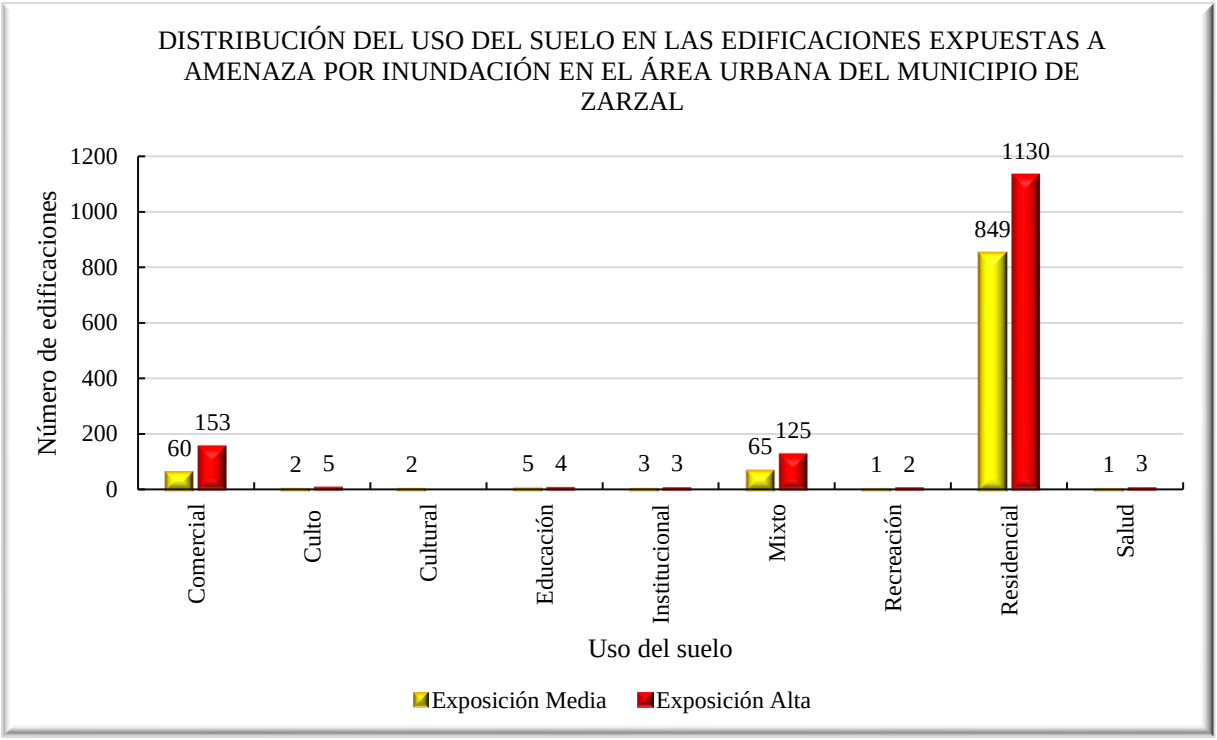


Figura 8.7. Uso del suelo observado en las edificaciones expuestas a amenaza por inundación en el área urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

- **Tipología estructural de la edificación**

A continuación, se presenta el análisis de la exposición de los elementos estructurales de acuerdo con la tipología constructiva, la altura, la edad, el número de pisos y el estado de conservación.

El análisis de la tipología de las edificaciones permite establecer el material empleado en su construcción y que tan resistentes pueden ser, con el fin de establecer la cantidad de edificaciones de cada tipología expuestas y las pérdidas potenciales que podrían presentarse en cada una de ellas. Para el análisis de la tipología de las edificaciones, se siguió la normativa de la NRS-10 (2010), y con lo observado en el reconocimiento de la zona de estudio, se acotaron las siguientes tipologías (Tabla 8.39).

Tabla 8.39. Tipología de edificaciones

TIPO DE EDIFICACION	DESCRIPCIÓN
Mampostería Confinada y Edificaciones reforzadas (MC)	Edificaciones con estructura en concreto y acero de los grupos de importancia I y II construidas con pórticos en concreto reforzado, sistema combinado en concreto reforzado, pórticos resistentes a momentos en acero, pórticos arriostrados en acero, etc. También se incluyen aquellas del grupo A construidas antes de 1998. Y aquellas edificaciones que tienen un sistema estructural de mampostería con elementos de refuerzo (barras, laminas, pernos, platinas, etc.). También se incluyen las edificaciones en mampostería confinada.
Mampostería no reforzada (MNR)	Estructuras con confinamiento deficiente y estructura hibridas edificaciones con muros cargueros, pero sin confinamiento adecuado (mampostería no reforzada).

TIPO DE EDIFICACION	DESCRIPCIÓN
Muro Tapia, Bahareque (MTB)	Estructura ligera y edificaciones construidas con materiales tradicionales o de baja calidad, con un sistema estructural de muros cargueros. Dentro de esta tipología se incluyen las edificaciones construidas con materiales como adobe, bahareque, madera bruta, tapia pisada y las prefabricadas.
Otro	Se consideraron construcciones simples edificaciones que no poseen una estructura definida, de carácter improvisado, generalmente construidas utilizando materiales precarios o de recuperación. Entre estas se incluyen las edificaciones en proceso de construcción y las construidas en materiales de recuperación, pórticos y paneles de madera, y pórticos de madera y paneles en otros materiales. Son ejemplo de este tipo de edificaciones tugurios, ranchos, campamentos, carpas, etc.

Fuente: elaborada con información de NRS-10, (2010) y SGC (2016).

En la Tabla 8.40 y Figura 8.8, muestra el número de edificaciones con su respectiva tipología de edificación y el nivel de exposición al fenómeno de inundación. De las 2.413 edificaciones, en mampostería no reforzadas se encentran 1.355 (56,15%) edificaciones de las cuales 616 edificaciones se tienen un nivel de exposición en amenaza media y 739 en exposición alta. En mampostería confinada se encuentran 1.002 (41,53%) edificaciones, de las cuales 352 tienen un nivel de exposición media y 650 edificaciones con un nivel de exposición alta. Seguido de las 54 (2,24%) edificaciones construidas en madera, tapia o bahareque, las cuales se encuentran con nivel de exposición media 20 edificaciones y 34 edificaciones en exposición alta. Finalmente se encuentran 2 (0,08%) edificaciones construidas con material reciclado.

Tabla 8.40. Tipología de las edificaciones expuestas a inundación en el área urbana del municipio de Zarzal

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	NÚMERO DE EDIFICACIONES		TOTAL	% PREDIOS
	EXPOSICIÓN MEDIA	EXPOSICIÓN ALTA		
Mampostería no reforzada	616	739	1355	56,15 %
Mampostería confinada	352	650	1002	41,53 %
Madera, tapia, bahareque	20	34	54	2,24 %
Otro (Material reciclado)	0	2	2	0,08 %
Total	**988**	**1425**	**2413**	**100%**

Fuente: elaboración propia

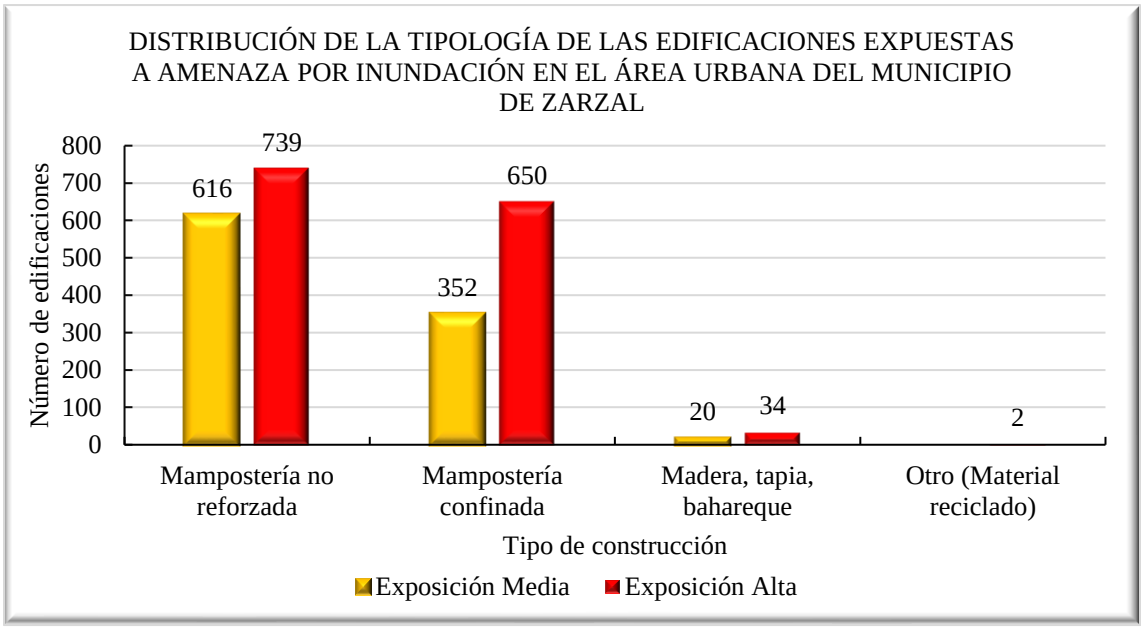


Figura 8.8. Distribución de la tipología de las edificaciones expuestas a inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

- **Estado de conservación de la edificación**

El análisis del estado de conservación de las edificaciones se definió mediante tres categorías: bueno, daños moderados y daños graves de las 2413 edificaciones, el cual se observaron los daños que presenta la construcción tales como grietas, fisuras, humedad, caída, fractura, entre otros. Estas variables influyen en el comportamiento de la edificación y el desplazamiento o encharcamiento del agua en caso de que se presente una inundación. A continuación, se describen los resultados de los puntos anteriores.

De las 2413 edificaciones expuestas en amenaza alta y media, 1.683 edificaciones están en estado de conservación bueno, en exposición media 747 y en exposición alta 1.116 edificaciones. Las 495 edificaciones que presentan daños moderados 218 edificaciones se encuentran expuestas en amenaza media y 277 se encuentran en expuestas en amenaza alta. Las edificaciones que presentan daños graves son 55, de las cuales 23 están expuestas en amenaza media y 32 en amenaza alta (Tabla 8.41 y Figura 8.9).

Tabla 8.41. Estado de conservación de las edificaciones expuestas a inundación en el área urbana del municipio de Zarzal

ESTADO DE CONSERVACIÓN	NÚMERO DE EDIFICACIONES		TOTAL
	EXPOSICIÓN MEDIA	EXPOSICIÓN ALTA	
Bueno	747	1116	1863
Daños Moderados	218	277	495
Daños Graves	23	32	55
Total	**988**	**1425**	**2413**

Fuente: elaboración propia.

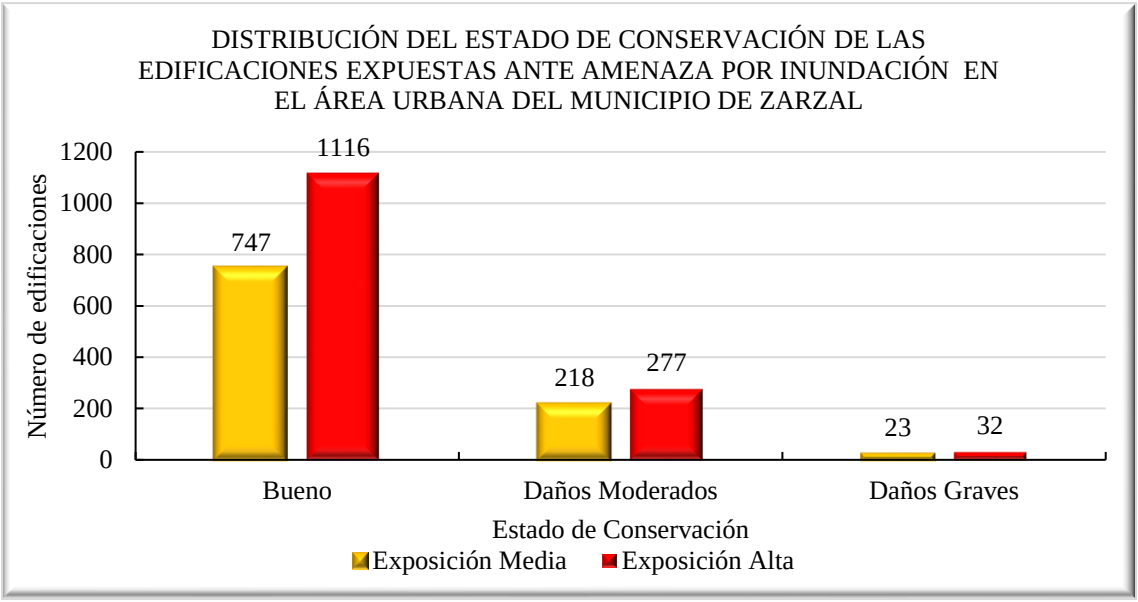


Figura 8.9. Distribución del estado de conservación de las edificaciones expuestas ante inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

- **Edad o tiempo de servicio de la edificación**

Para el análisis de edad o tiempo de servicio de las edificaciones 2413 edificaciones, 988 edificaciones se encuentran expuestas en amenaza media, de ellas 20 edificaciones con un tiempo de servicio entre 30-39 años y 968 edificaciones con tiempo de servicio entre 50-79 años. En amenaza alta se encuentran expuestas 1.425 edificaciones, de las cuales, 2 edificaciones tienen un tiempo de servicio menor de 20 años, 54 edificaciones están en un rango del tiempo de servicio entre 30-39 años y 2.357 edificaciones tienen un tiempo de servicio entre 50-79 años. Finalmente, de acuerdo con los resultados obtenidos en el trabajo de campo se logra evidenciar que el 97,68% de las edificaciones tienen un tiempo de servicio entre 50-79 años (Tabla 8.42 y Figura 8.10).

Tabla 8.42. Edad o tiempo de servicio de las edificaciones expuestas a inundación en el área urbana del municipio de Zarzal

RANGO DE EDAD O TIEMPO DE SERVICIO	NÚMERO DE EDIFICACIONES		TOTAL	% TOTAL DE EDIFICACIONES
	EXPOSICIÓN MEDIA	EXPOSICIÓN ALTA		
<20	436	681	1117	46,29
[20; 29]	164	271	435	18,03
[30; 49]	289	325	614	25,45
[50; 79]	90	131	221	9,16
>=80	9	17	26	1,08
Total	**988**	**1425**	**2413**	**100 %**

Fuente: elaboración propia.

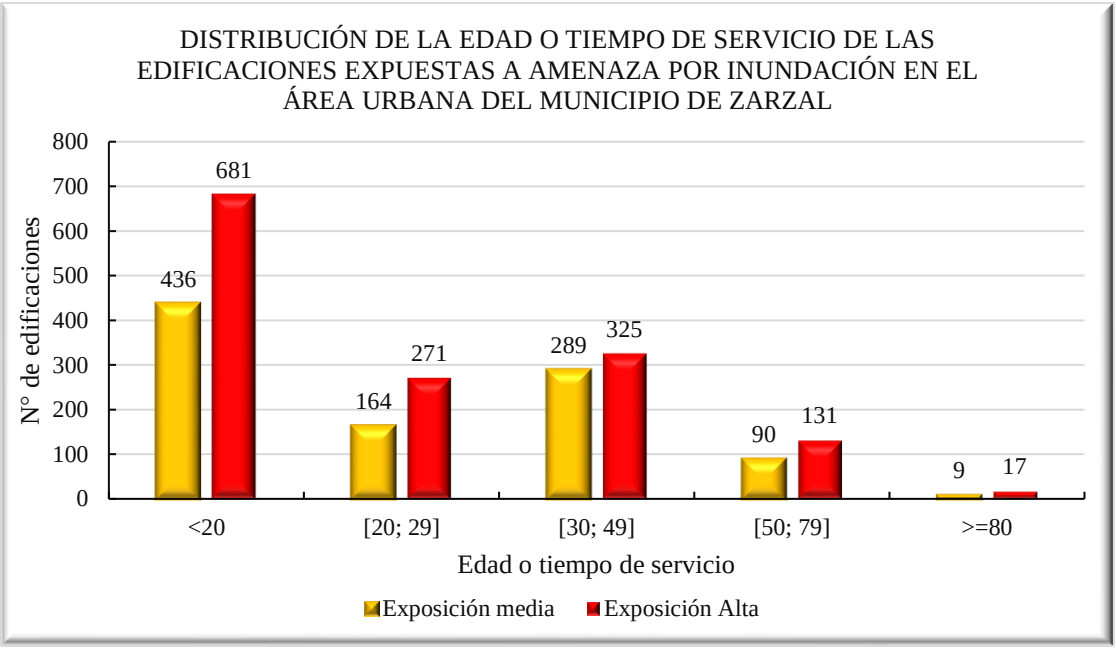


Figura 8.10. Distribución de la edad de las edificaciones expuestas a inundación en el área urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

- **Altura de la edificación**

En relación con el número de pisos de las 2.413 edificaciones expuestas ante amenaza alta y media por inundación, 1.580 edificaciones son de 1 piso, las cuales 681 de ellas se encuentra en exposición media y 899 tienen exposición alta. Seguido de 693 edificaciones de 2 piso, las cuales 251 edificaciones presentan niveles de exposición media y 442 tiene nivel de exposición alta. Las 132 edificaciones son de 3 piso, las cuales se encuentran en exposición media 53 edificaciones y en exposición alta 79. Las 8 edificaciones de 4 pisos, 3 de ellas se encuentran en expuestas en amenaza media y 5 edificaciones están expuestas en amenaza alta. Finalmente, de acuerdo con los resultados obtenidos el 65,5% de las edificaciones son de un piso (Tabla 8.43 y Figura 8.11).

Tabla 8.43. Número de pisos de las edificaciones expuestas a inundación en el área urbana del municipio de Zarzal

NÚMERO DE PISOS	NÚMERO DE EDIFICACIONES		TOTAL	% TOTAL DE EDIFICACIONES
	EXPOSICIÓN MEDIA	EXPOSICIÓN ALTA		
1	681	899	1580	65,5 %
2	251	442	693	28,7 %
3	53	79	132	5,5 %
4	3	5	8	0,3 %
Total	**988**	**1425**	**2413**	**100 %**

Fuente: elaboración propia.

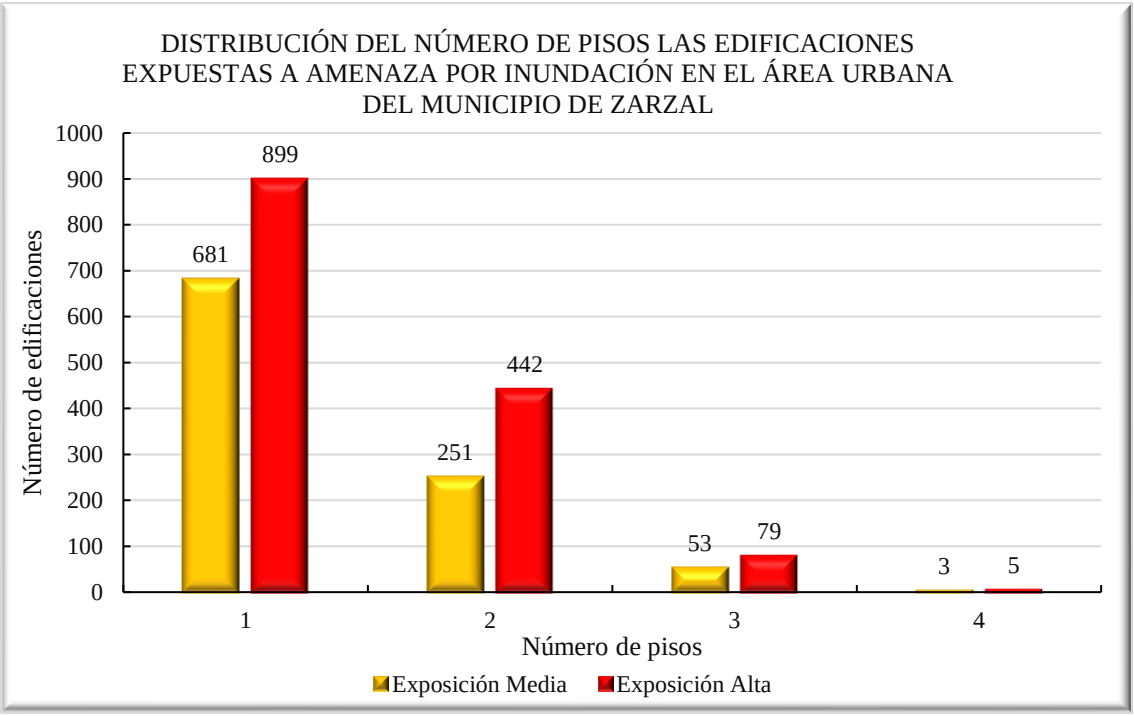


Figura 8.11. Distribución del número de pisos las edificaciones expuestas a inundación en el área urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

La Figura 8.12 muestra el comportamiento espacial de la exposición estructural por el fenómeno de inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal, donde se puede observar que los barrios Los Lagos I, La Valvanera, La Inmaculada, El Centro, Pallanos, Libraida, Villa Isabelita, El Guamal, La Isabelita, Urb. Guadalito, Las Mercedes, La Delfina, Los Lagos II, El Placer, Villa Amelia, El Progreso, El Poblado I, Urb. Ciudad Jardín, El Poblado II, El Vergel, San Rafael, Ciudad Kennedy, Colombina, El Quindío tienen edificaciones con niveles de exposición alta y media. Por otra parte, las edificaciones de los barrios Las Mercedes, Urb. Zarzalito, Los Lagos III, Villa Campestre y Quinto Centenario se encuentran expuestas en amenaza media.

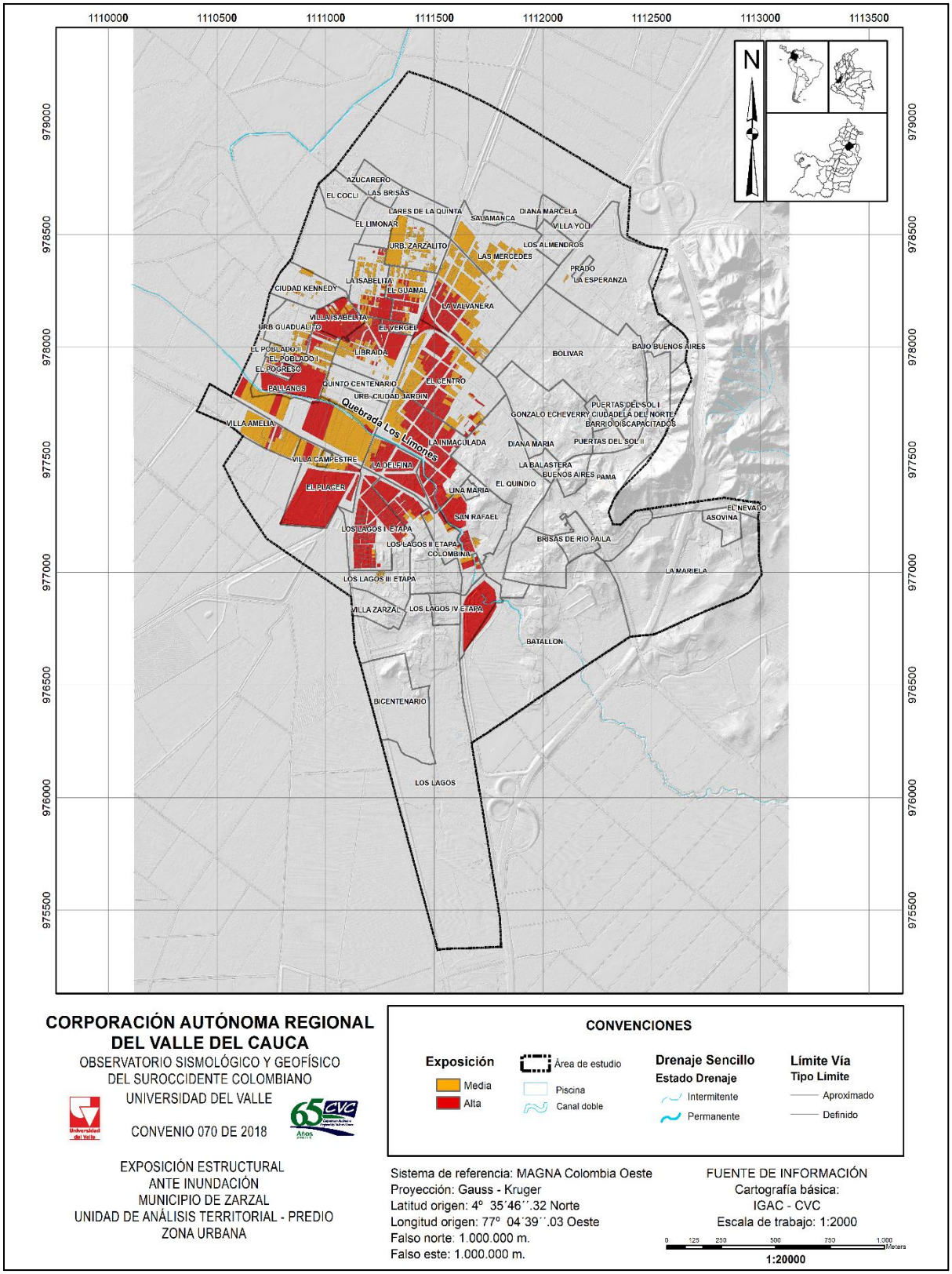


Figura 8.12. Mapa de exposición estructural ante inundación, zona urbana del municipio de Zarzal

Fuente: elaboración propia.

8.1.1.1.3. Exposición de líneas vitales

Para el análisis de los elementos expuestos funcionales para las zonas de exposición alta y media por inundación se consideró la longitud (m) de la red vial, redes de acueducto, alcantarillado pluvial y red eléctrica (cantidad de postes) se encuentran expuestas ante la posible ocurrencia de una inundación.

La Tabla 8.44 y la Figura 8.13 contiene la información de las líneas vitales en las zonas de exposición media y alta por inundación. Para red vial se tiene 17.341,64 m que se distribuye en exposición alta ante inundación 10.028,33 m, y en media 7.313,31 m. La red de acueducto con 27.969,87 m, los cuales están distribuidos en exposición alta 18.326,64 m y 9.643,23 m en media. Finalmente, la red de alcantarillado con 1.529,91 m distribuidos en exposición media 794,69 y 735,22 en exposición alta.

Tabla 8.44. Líneas vitales expuestas ante inundación de la zona urbana del municipio de Zarzal

TIPO DE LÍNEA VITAL	LONGITUD (M)		TOTAL
	EXPOSICIÓN MEDIA	EXPOSICIÓN ALTA	
Red vial	7313,31	10028,33	17341,64
Red de acueducto	9643,23	18326,64	27969,87
Red de alcantarillado pluvial	794,69	735,22	1529,91

Fuente: elaboración propia.

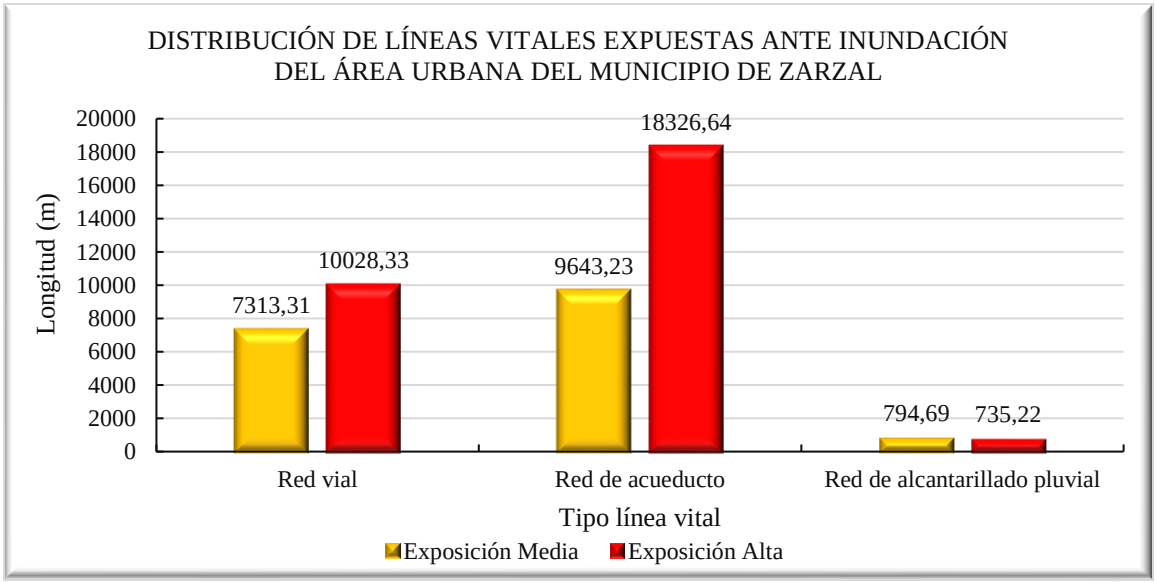


Figura 8.13. Distribución de líneas vitales expuestas ante inundación del área urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

- ***Red vial***

La Tabla 8.45 y Figura 8.14 contiene la información de los 17.006,18 m de longitud de red vial en las zonas de exposición media y alta por inundación. De estas se encuentra construidas en asfalto

3918,13 m, las cuales 2.627,38m están en exposición alta y 1.290,75m en exposición media. En material de concreto se encuentra 9.128,64m, de ellas 5.228,17m están en exposición alta y 3.900,4m en exposición media. Por último, están 3.959,41m sin recubrimiento, es decir destapada, de ellas 1.981,44m están en exposición alta y 1.977,96 están en exposición.

Tabla 8.45. Distribución de la longitud (m) de la vía según su material y exposición ante inundación en el área urbana del municipio de Zarzal

MATERIAL DE LA RED VIAL	LONGITUD (m)		TOTAL
	EXPOSICIÓN ALTA	EXPOSICIÓN EDIA	
Asfalto	2.627,38	1.290,75	3918,13
Destapada	1.981,44	1.977,96	3959,41
Concreto	5.228,17	3.900,47	9128,64
Total	**9.836,99**	**7.169,19**	**17006,18**

Fuente: elaboración propia

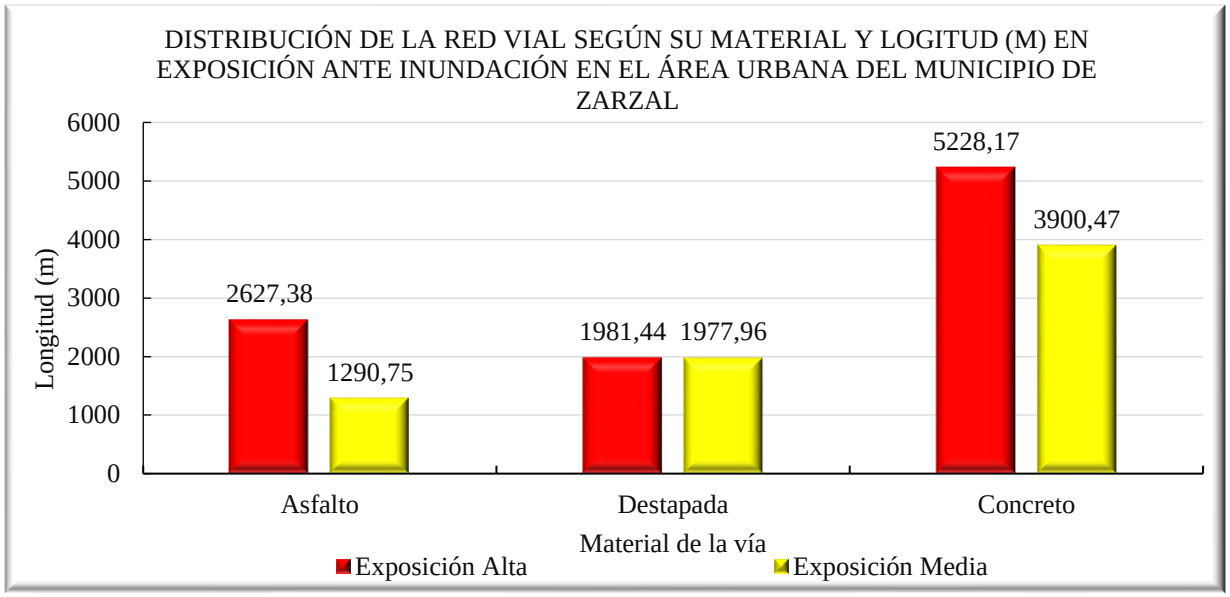


Figura 8.14. Distribución de la red vial según material y longitud (m) en exposición ante inundación en el área urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

Con relación al ancho de las vías los 17341,6 m se encuentran en exposición alta 10028,3m es decir el 57.82% y en exposición media 7313,3m con el 42;18%. Se identificó que presentan ancho entre 1 y 10 metros de los cuales en exposición alta se encuentran 2.726m de vía con un ancho de 7m, seguido de 1729,5 m y 1722,9m con un ancho de 5 m y 4 m respectivamente. Con un ancho de 6 m se encuentran 1552m, las vías de 3 m de ancho se encuentran expuestas 993,8, las vías de 10 m y 8 m de ancho se encuentran 754,6m y 548,6m respectivamente. En exposición media se encuentran 2.190m de 7 m de ancho, seguido de 1.929,4m con un ancho de 6m; en cuanto a las vias de 4 m se encuentra 1.174,4m. las vías de 3m de ancho se encuentra 940,2m. Finalmente con las vias de 5m, 8m y 10m de ancho se encuentra 636m, 360,7 y 82,7 m respectivamente (Tabla 8.46 y Figura 8.15).

Tabla 8.46. Distribución de la red vial según longitud (m) y ancho en exposición ante inundación en el área urbana del municipio de Zarzal

ANCHO DE VIA	LONGITUD (M)		TOTAL
	EXPOSICIÓN ALTA	EXPOSICIÓN MEDIA	
3	993,8	940,2	1933,92
4	1722,9	1174,4	2897,23
5	1729,5	636,0	2365,50
6	1552,1	1929,4	3481,50
7	2726,9	2190,0	4916,90
8	548,6	360,7	909,26
10	754,6	82,7	837,33
Total	**10028,3**	**7313,3**	**17341,6**

Fuente: elaboración propia

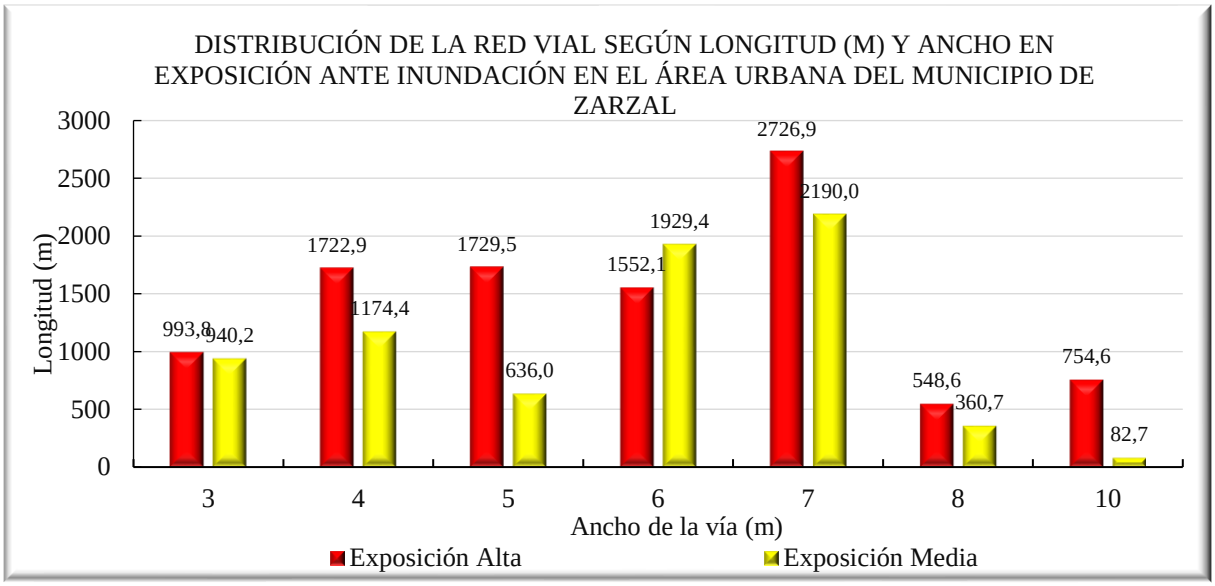


Figura 8.15. Distribución de la longitud (m) la vía según su ancho y exposición ante inundación en el área urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

Las Figura 8.16 y 17, muestran la distribución espacial y el nivel de exposición ante el fenómeno de inundación, de la red vial, red de acueducto y red de alcantarillado en los barrios. Los Lagos I, La Valvanera, La Inmaculada, El Centro, Pallanos, Libraida, Villa Isabelita, El Guamal, La Isabelita, Urb. Guadalito, Las Mercedes, La Delfina, Los Lagos II, El Placer, Villa Amelia, El Progreso, El Poblado I, Urb. Ciudad Jardín, El Poblado II, El Vergel, San Rafael, Ciudad Kennedy, Colombina, El Quindío tienen edificaciones con niveles de exposición alta y media. Por otra parte, las edificaciones de los barrios Las Mercedes, Urb. Zarzalito, Los Lagos III, Villa Campestre y Quinto Centenario se encuentran expuestas en amenaza media.

En la Figura 8.18 se muestra espacialmente la red de alcantarillado pluvial se encuentra con niveles de exposición alta y media en los barrios La Valvanera, El Centro, La Inmaculada, El Placer y Los Lagos I etapa.

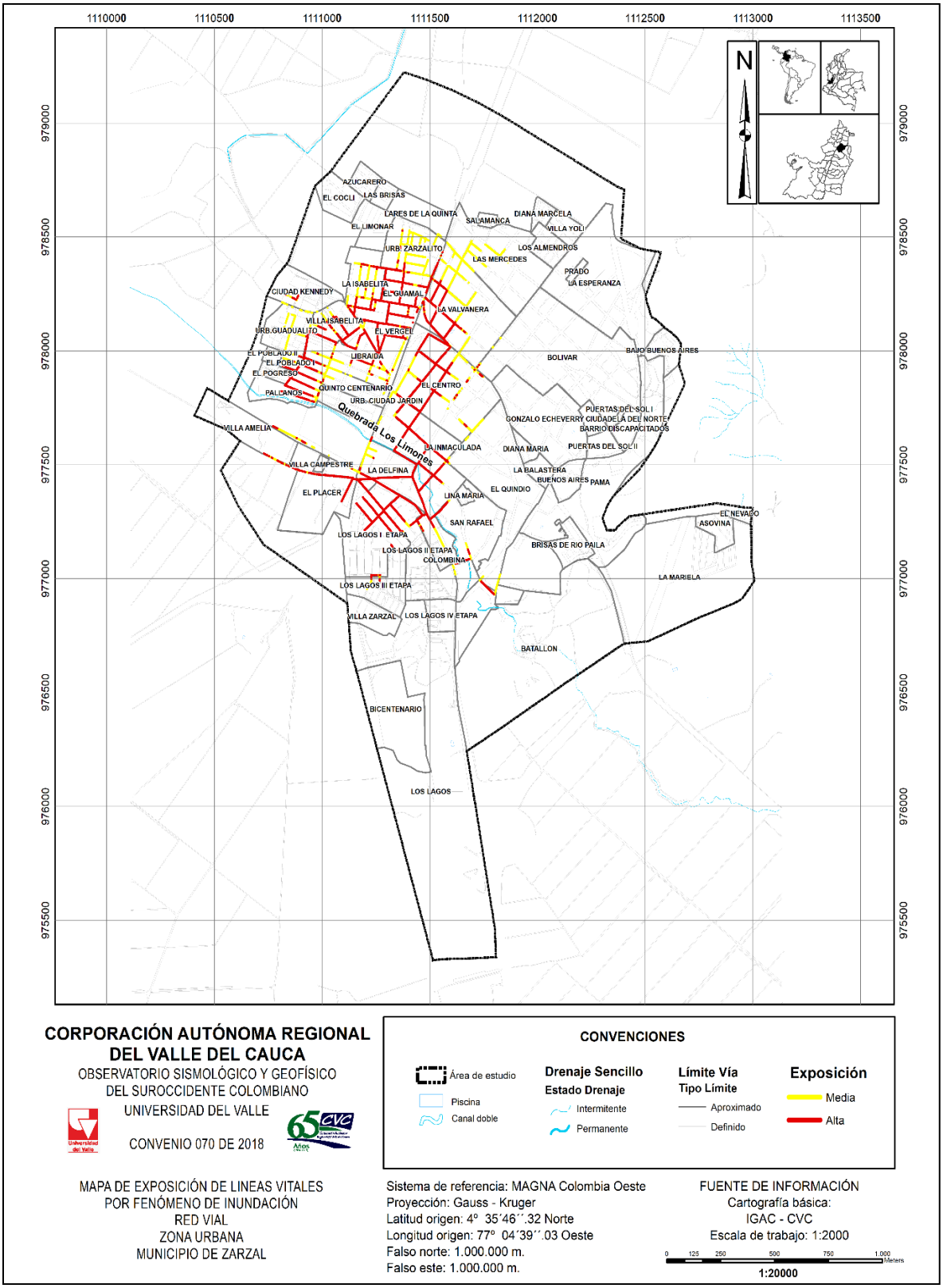


Figura 8.16. Mapa de exposición de la red vial, por fenómeno de inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

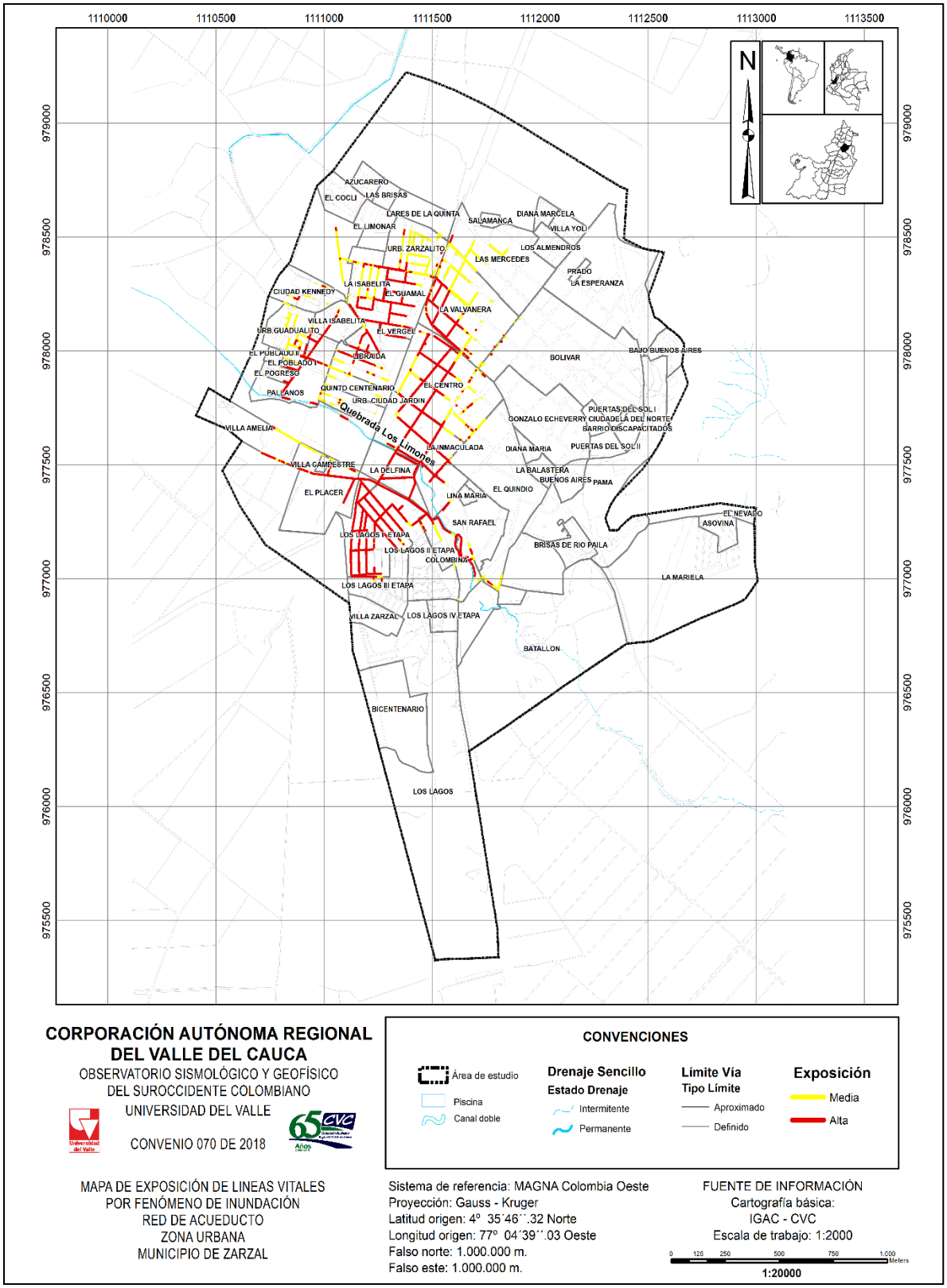


Figura 8.17. Mapa de exposición de la red de acueducto, por fenómeno de inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

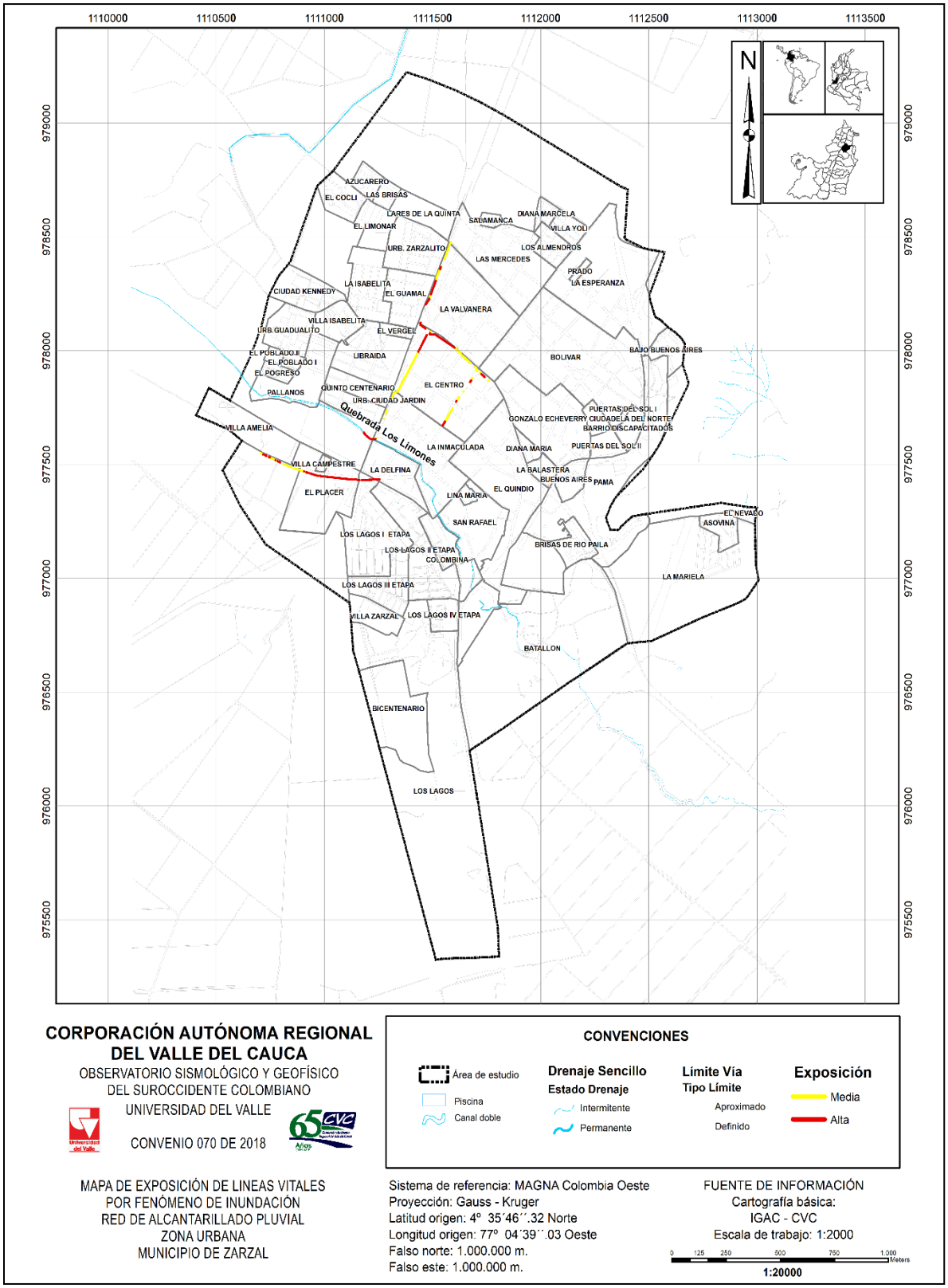


Figura 8.18. Mapa de exposición de la red de alcantarillado, por fenómeno de inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

- ***Red eléctrica***

En la Tabla 8.47 y Figura 8.19, se encuentra la distribución de los 628 postes de concreto expuestos en zona de amenaza por inundación en el área urbana del municipio, donde 264 postes se encuentran en exposición media y 364 en exposición alta. Todos los postes al ser de material de concreto tienen una carga nominal de 5001N.

Tabla 8.47. Cantidad de postes expuestos ante inundación del área urbana del municipio de Zarzal

MATERIAL	CARGA NOMINAL (N)	NÚMERO DE POSTES		TOTAL
		EXPOSICIÓN MEDIA	EXPOSICIÓN ALTA	
Concreto	5001N	264	364	628

Fuente: elaboración propia

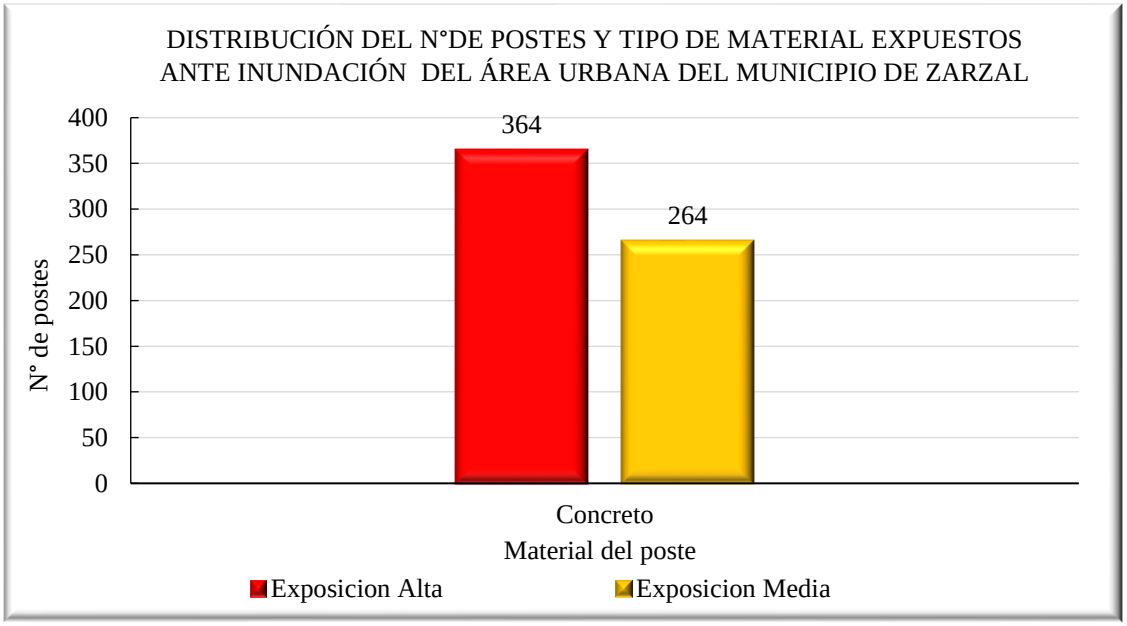


Figura 8.19. Distribución de los postes que soportan la red de energía eléctrica expuestos ante inundación del área urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

En la Figura 8.20 se presenta la distribución espacial de cada uno de los postes que soportan la red de energía eléctrica en los barrios Los Lagos I, La Valvanera, La Inmaculada, El Centro, Pallanos, Libraida, Villa Isabelita, El Guamal, La Isabelita, Urb. Guadalito, Las Mercedes, La Delfina, Los Lagos II, El Placer, Villa Amelia, El Progreso, El Poblado I, Urb. Ciudad Jardín, El Poblado II, El Vergel, San Rafael, Ciudad Kennedy, Colombina, El Quindío tienen edificaciones con niveles de exposición alta y media. Por otra parte, las edificaciones de los barrios Las Mercedes, Urb. Zarzalito, Los Lagos III, Villa Campestre y Quinto Centenario se encuentran expuestas en amenaza media.

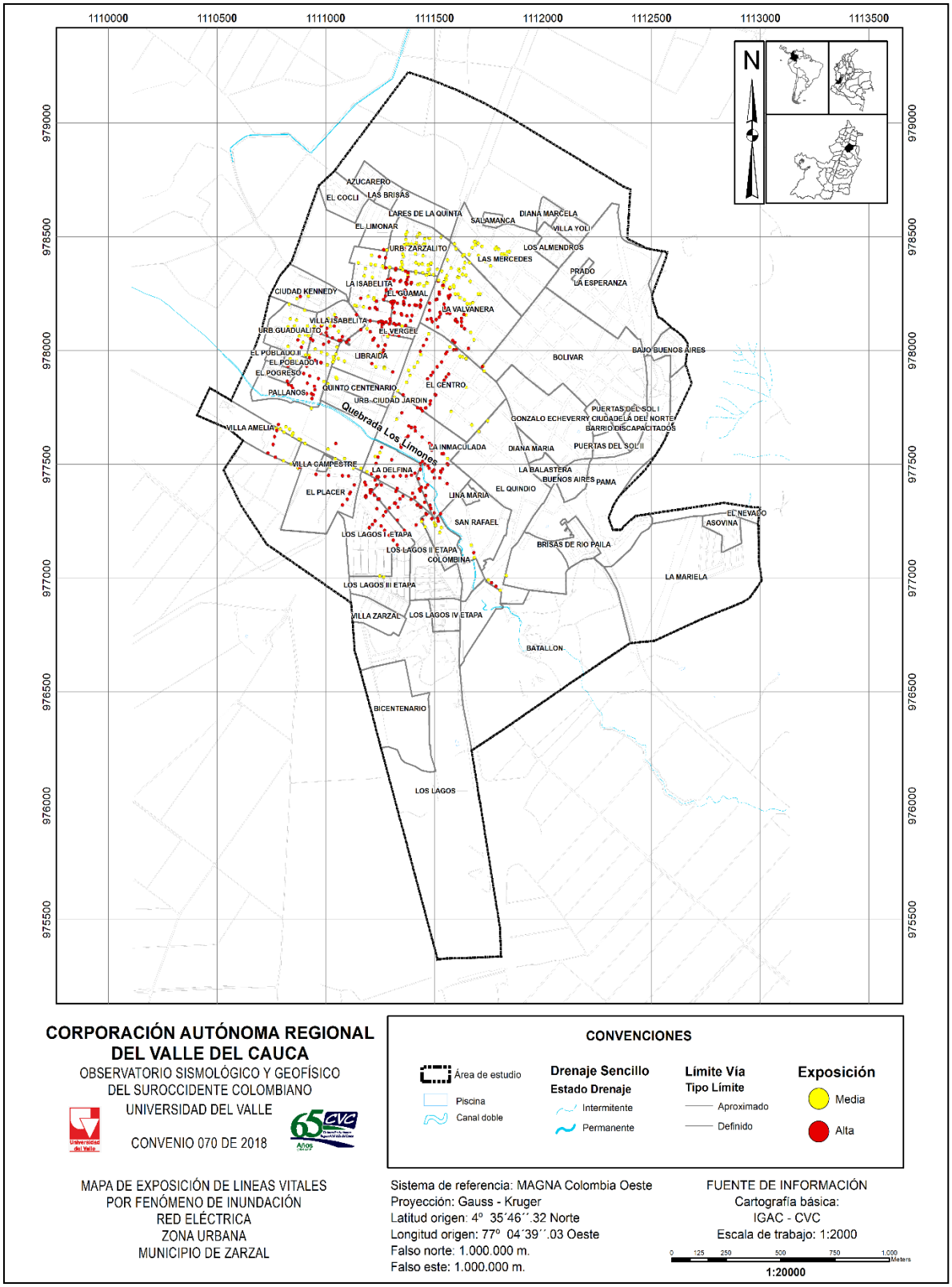


Figura 8.20. Mapa de localización de los postes que soportan la red de energía eléctrica expuestos ante inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

8.1.1.2. Fragilidad

Como se ha mencionado en la metodología, la fragilidad está determinada por dos factores principales, uno es la intensidad del evento y el otro es la seguridad (factor de resistencia).

La intensidad se obtiene con la información de presión de impacto y la presión límite de la estructura.

8.1.1.2.1. Intensidad

- **Presión de impacto ante inundaciones**

Para el análisis de la presión de impacto ante inundación, se tuvo en cuenta los parámetros de velocidad entre 0 -30 m/s y profundidad entre 0 a 4 metros que alcanzaría el agua, causando desbordamientos de la Quebrada Limones posibilitando la afectación de los elementos expuestos ante este fenómeno.

Como resultado de la modelación hidráulica en la Figura 8.21 se muestra espacialmente las áreas que pueden ser impactadas por velocidades de 30 m/s ante el desbordamiento de la Quebrada Limones en sectores de los barrios El Guamal, El Vergel, Libraida, La Isabelita, Los Lagos I etapa. En el resto de las áreas las velocidades menores a 10 m/s.

Con relación a las mayores profundidades se encuentran en algunos sectores de los barrios Los Lagos I etapa, El Placer, San Rafael, La Delfina, La Inmaculada y en el Batallón (Figura 8.22).

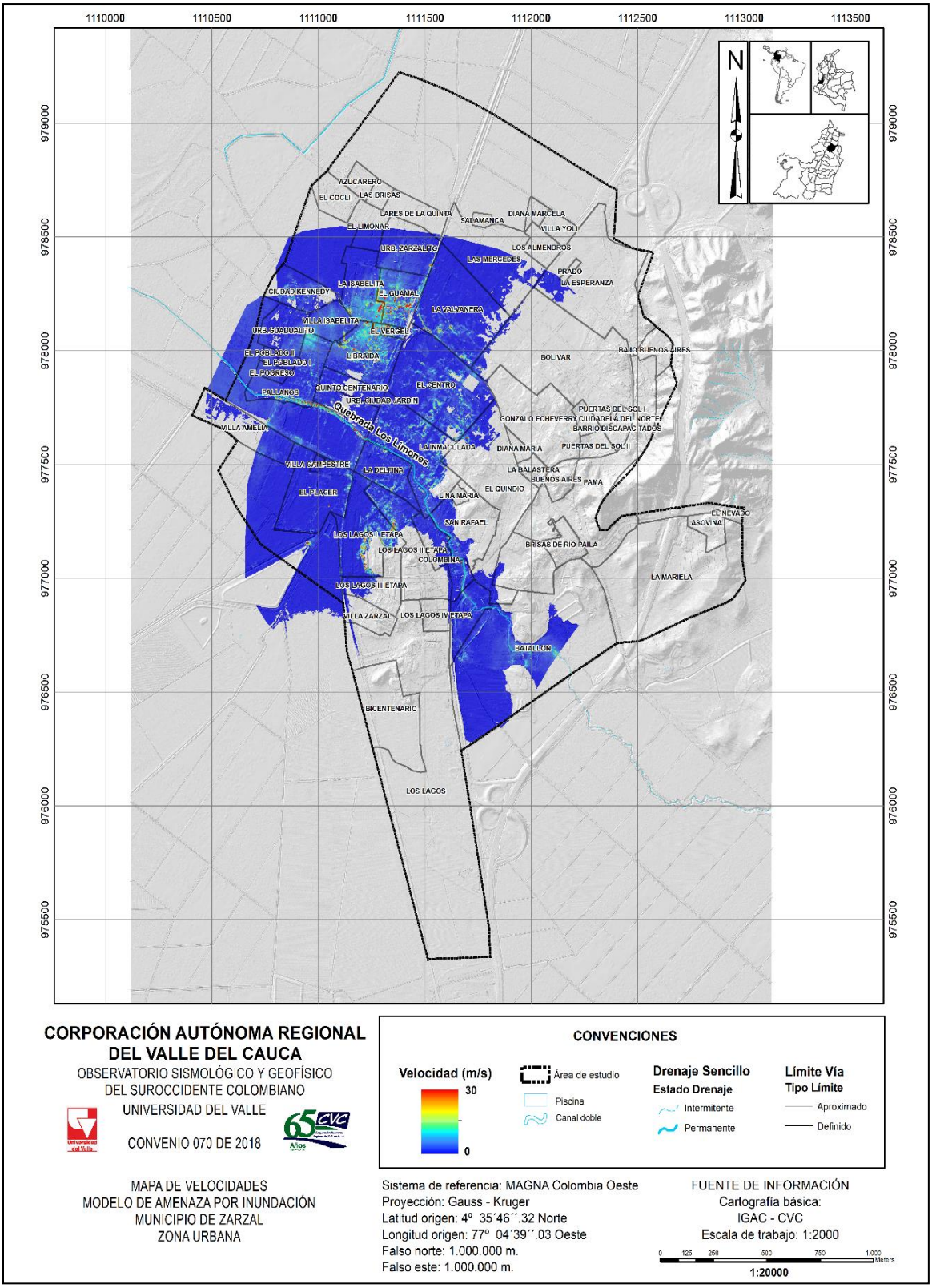


Figura 8.21. Mapa de velocidades modelo de amenaza por inundación en el área urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

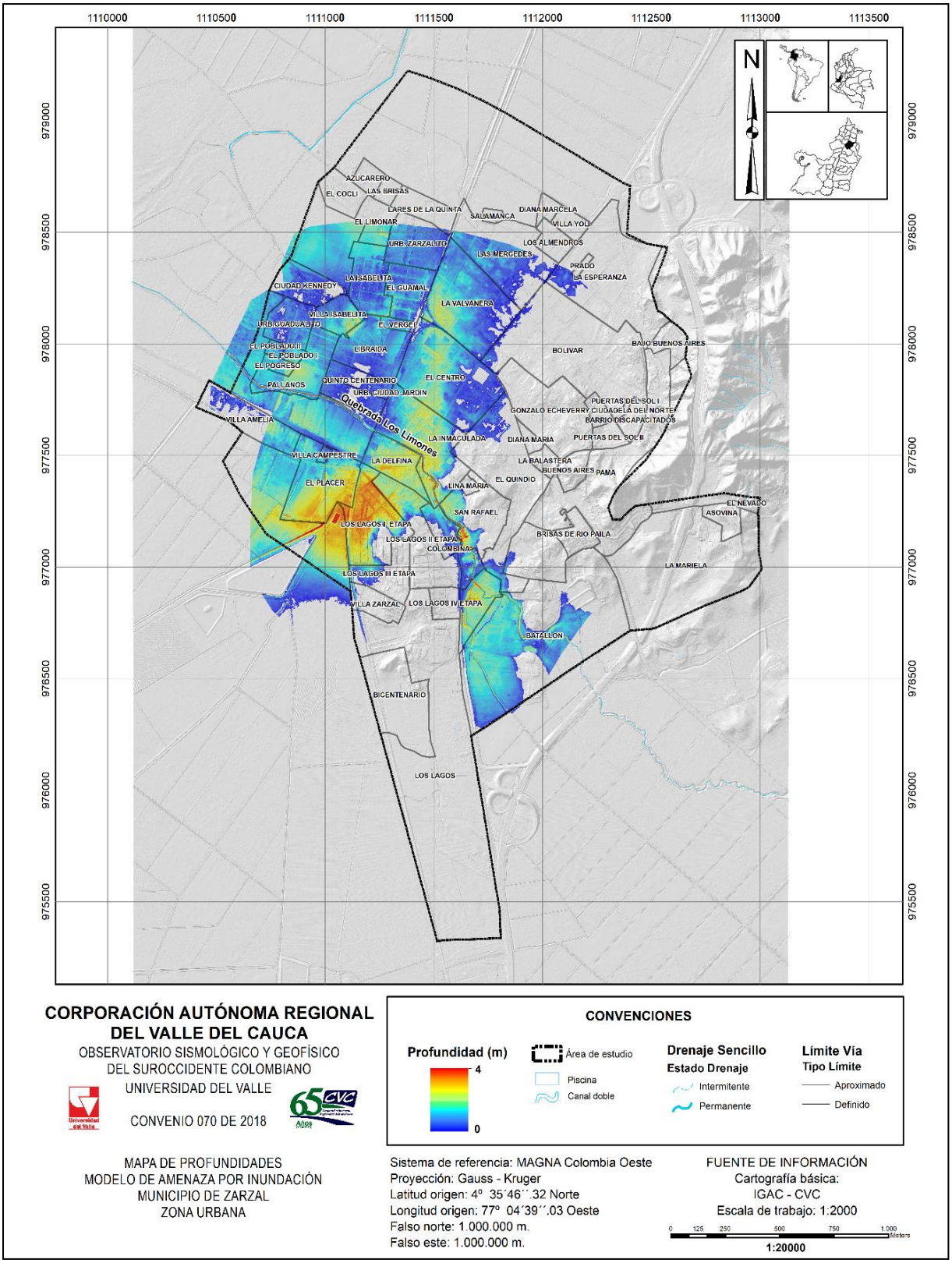


Figura 8.22. Mapa de profundidades modelo de amenaza por inundación en el área urbana municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

8.1.1.2.2. Factor de resistencia de los elementos expuestos

El factor de resistencia, indica cuanto puede soportar o cual sería el nivel o modo de daño de un individuo o elemento expuesta frente a la inundación, está en relación con los niveles de intensidad o magnitud del fenómeno, y las características o capacidades propias o instaladas que tengan los elementos expuestos para no sufrir daño o afectación alguna ante la amenaza.

- **Factor de resistencia corporal**

El factor de resistencia corporal, tal como se presentó en la metodología, está planteado en función a la resistencia de la estructura. En la Tabla 8.48 y Figura 8.23, se encuentra el factor de resistencia corporal, indica que la población expuesta ante la ocurrencia de una inundación presenta un factor de resistencia baja el 47,08%, con factor de resistencia media se encuentra el 48,92% de la población. Por último, se encuentra la población con un factor de resistencia alta, siendo el 4%.

Tabla 8.48. Distribución porcentual del factor de resistencia corporal ante inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal

FACTOR DE RESISTENCIA CORPORAL	PORCENTAJE DE POBLACIÓN
Alta	4,00%
Media	48,92%
Baja	47,08%

Fuente: elaboración propia

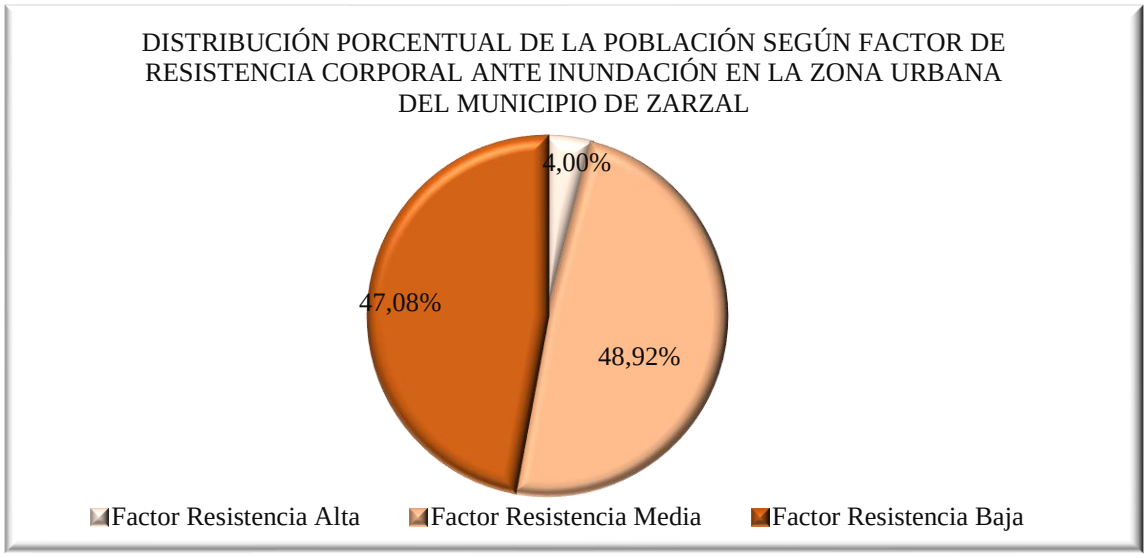


Figura 8.23. Distribución porcentual del factor de resistencia corporal ante inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

La Figura 8.24, muestra la distribución espacial del factor de resistencia corporal ante inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal, donde se puede apreciar que en los barrios Los Lagos I, La Valvanera, La Inmaculada, El Centro, Pallanos, Libraida, Villa Isabelita, El Guamal, La Isabelita, Urb. Guadalito, Las Mercedes, La Delfina, Los Lagos II, El Placer, Villa Amelia, El Progreso, El Poblado I, Urb. Ciudad Jardín, El Poblado II, El Vergel, San Rafael, Ciudad Kennedy,

Colombina, El Quindío, Las Mercedes, Urb. Zarzalito, Los Lagos III, Villa Campestre y Quinto Centenario la población presenta un factor de resistencia baja y media. En cuanto al factor de resistencia alta de la población es menor.

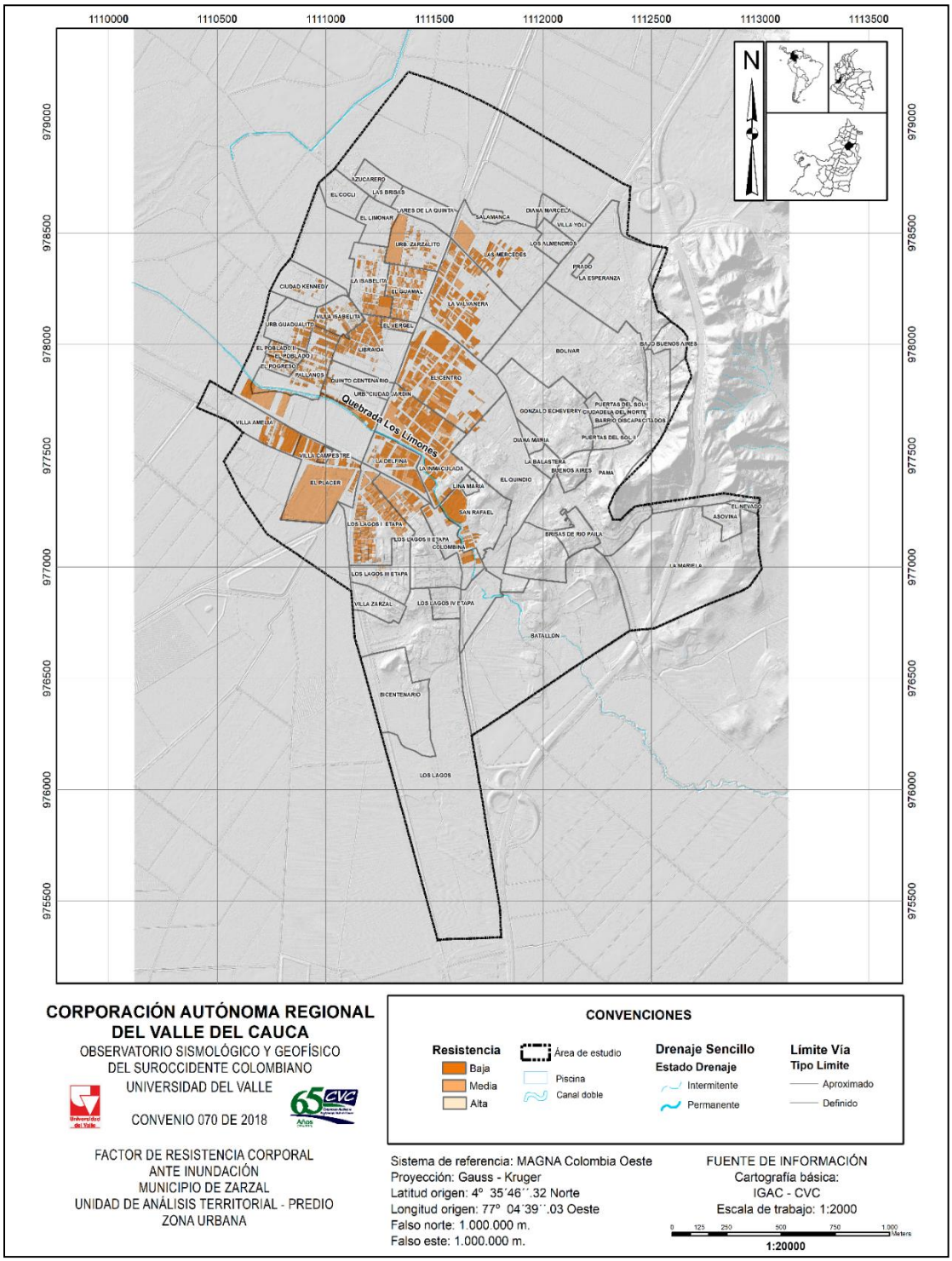


Figura 8.24. Factor de resistencia corporal ante inundación, zona urbana del municipio de Zarzal

Fuente: elaboración propia.

- **Factor de resistencia estructural**

El factor de resistencia de las estructuras se analiza como la capacidad que tienen los elementos estructurales de soportar los esfuerzos a los que están sometidos en una inundación teniendo en cuenta la velocidad y la profundidad del agua con relación al tipo de material empleado en la construcción de la edificación, la altura, el estado de conservación y la edad o tiempo de servicio de la construcción.

Las 2413 edificaciones analizadas arrojaron, de manera general un factor de resistencia de nivel bajo. A continuación, el análisis de cada uno de los factores que conllevo a este resultado.

- **Tipología de la edificación**

Para el análisis del factor de resistencia según la tipología de la edificación, se encontró que las 2413 edificaciones presentan una resistencia baja, de las cuales 1.355 edificaciones, es decir el 56,2% están construidas en mampostería no reforzada, siendo el mayor número de edificaciones del total. Seguido del tipo mampostería confinada con 1.002 edificaciones, es decir el 41,5%. Las edificaciones con tipo de construcción en madera, tapia o bahareque son 54 edificaciones, siendo el 2,2%. Por ultimo, 2 edificaciones tienen otro tipo de construcción, siendo el 0,1% (Tabla 8.49 y Figura 8.25).

Tabla 8.49. Factor de resistencia según tipología de construcción de las edificaciones

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	N° EDIFICACIONES FACTOR DE RESISTENCIA BAJA	% DE EDIFICACIONES
Mampostería no reforzada	1355	56,2 %
Mampostería confinada	1002	41,5 %
Madera, tapia, bahareque	54	2,2 %
Otro (Material reciclado)	2	0,1 %
Total	**2413**	**100%**

Fuente: elaboración propia.

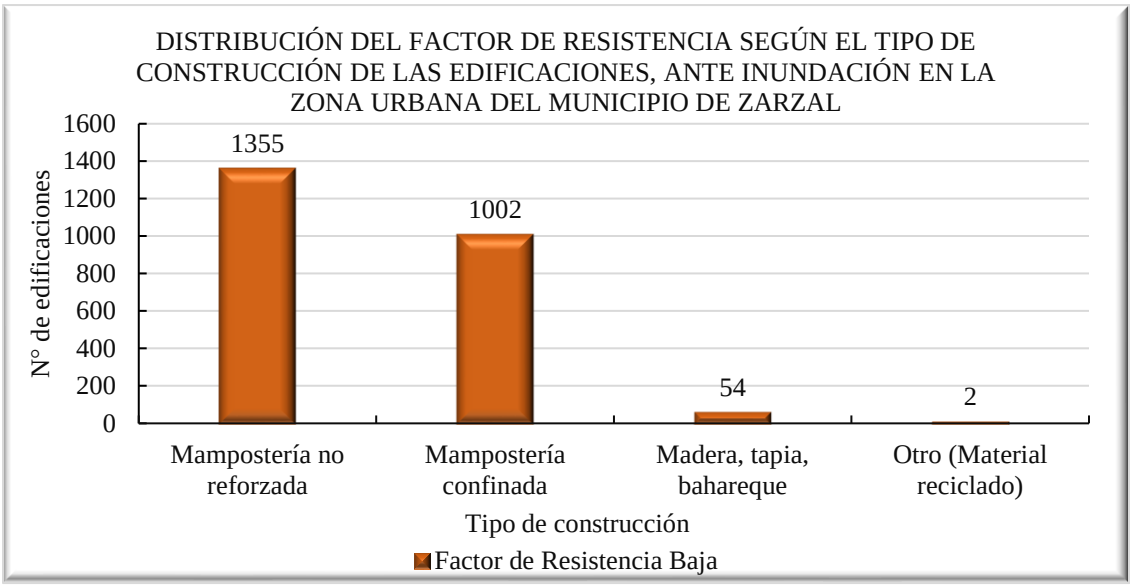


Figura 8.25. Distribución del factor de resistencia según el tipo de construcción de las edificaciones, ante inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

- **Estado de conservación de la edificación**

El análisis del factor de resistencia según el estado de conservación se definió con las categorías: bueno, daños moderados, daños graves. En la Tabla 8.50 y Figura 8.26 se presenta las 2.413 edificaciones con un factor de resistencia baja, de las cuales 1.863 edificaciones, es decir el 77,2%, su estado de conservación es bueno. En cuanto al estado de conservación con daños moderados se encuentran 495 edificaciones, es decir el 20,5%. Por último, están las 55 edificaciones con daños graves, siendo el 2,3%.

Tabla 8.50. Factor de resistencia según estado de conservación de las edificaciones

ESTADO DE CONSERVACIÓN	N° EDIFICACIONES FACTOR DE RESISTENCIA BAJA	% DE EDIFICACIONES
Bueno	1.863	77,2 %
Daños Moderados	495	20,5 %
Daños Graves	55	2,3 %
Total	**2.413**	**100%**

Fuente: elaboración propia.

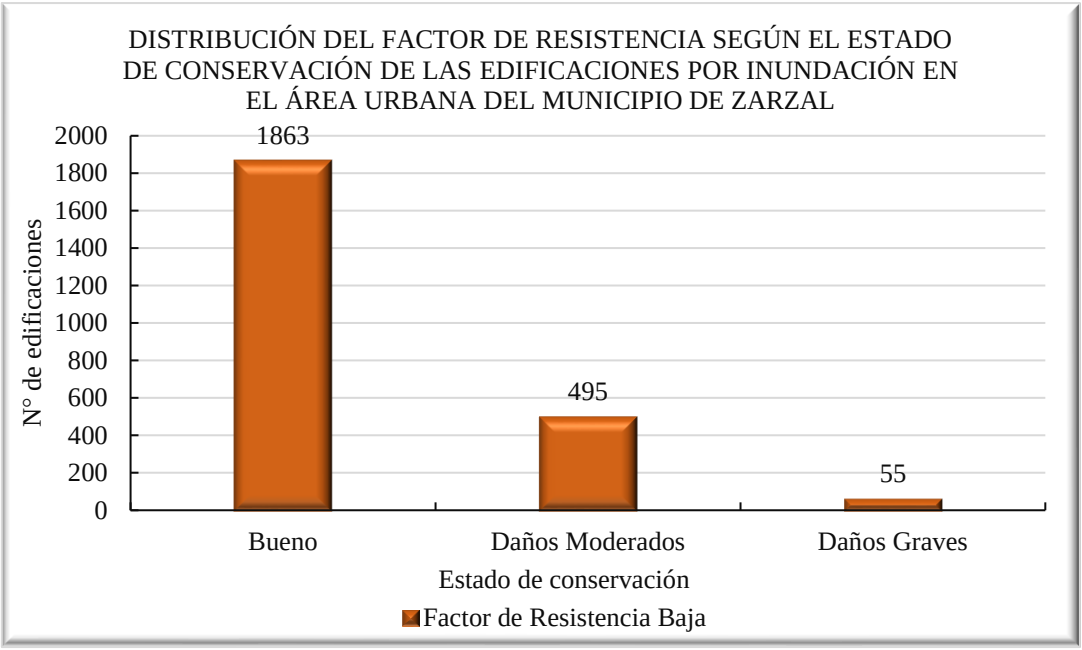


Figura 8.26. Distribución del factor de resistencia según el estado de conservación de las edificaciones ante inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

- **Edad o tiempo de servicio de la edificación**

El factor de resistencia según la edad o tiempo de servicio de la edificación se muestra en la Tabla 8.51 y Figura 8.27, en el cual se establecieron por rangos de acuerdo con la información obtenida en campo en las zonas de amenaza alta y media realizado en el municipio, encontrándose que las 2413 edificaciones tienen baja resistencia, de las cuales 1.117 edificaciones, es decir el 46,3%, tienen menos de 20 años de servicio. Luego están 614 edificaciones, es decir el 25,4%, se encuentran entre 30-49 años de servicio. En el rango de 20-29 años de servicio se encuentran 435 edificaciones con el 18%. En el rango entre 50-79 años de servicio se encuentran 221 edificaciones, es decir el 9,2%. Por último, están las edificaciones tienen un tiempo de servicio mayor o igual a 80 años con 26 edificaciones, es decir el 1,1%.

Tabla 8.51. Factor de resistencia según la edad o tiempo de servicio de las edificaciones

RANGO DE EDAD O TIEMPO DE SERVICIO	N° EDIFICAIONES FACTOR DE RESISTENCIA BAJA	% DE EDIFICACIONES
<20	1117	46,3
[20 - 29]	435	18,0
[30 - 49]	614	25,4
[50 - 79]	221	9,2
>=80	26	1,1
Total	**2.413**	**100%**

Fuente: elaboración propia

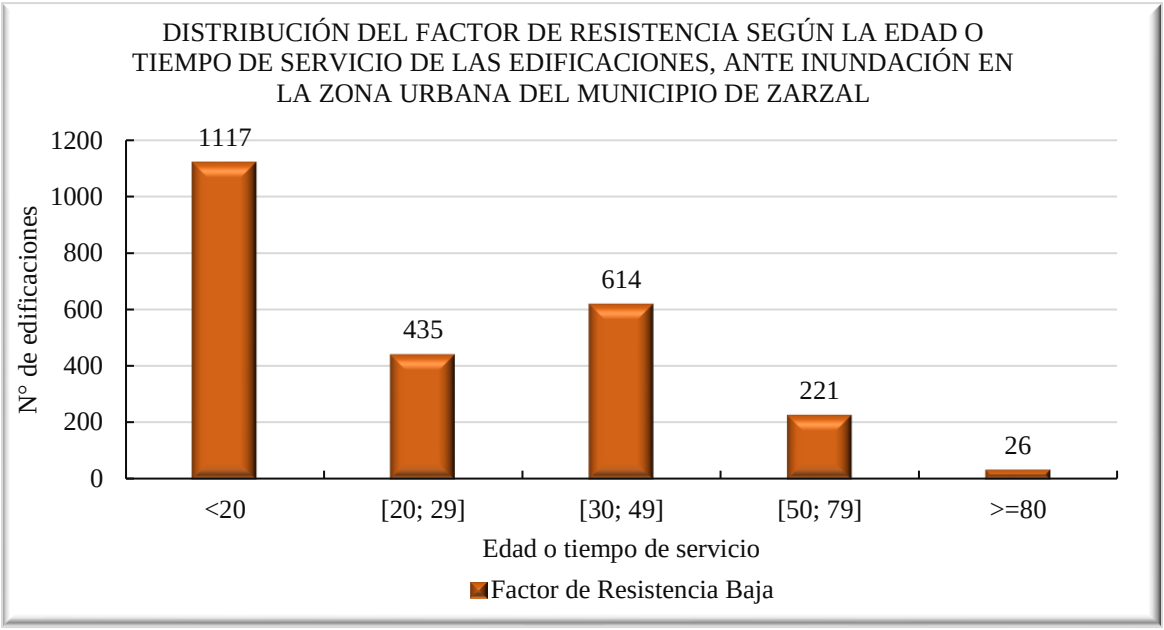


Figura 8.27. Distribución del factor de resistencia según la edad o tiempo de servicio de las edificaciones, ante inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

- **Altura de la edificación**

El factor de resistencia según el número de pisos o altura de las edificaciones localizadas en las zonas de amenaza ante inundación de las 2413 edificaciones su factor de resistencia es baja, de las cuales 1.580 de ellas, es decir el 65,5%, son de un (1) piso. Seguido de las 693 edificaciones con el 29,7% son de dos (2) pisos. Las edificaciones de tres (3) pisos son 132. Por último, se encuentran 8 edificaciones de cuatro (4) o más pisos, siendo el 0,3% de las edificaciones (Tabla 8.52 y Figura 8.28).

Tabla 8.52. Factor de resistencia según la altura de las edificaciones

NÚMERO DE PISOS	N° EDIFICAIONES FACTOR DE RESISTENCIA BAJA	% DE EDIFICACIONES
1	1580	65,5 %
2	693	28,7 %
3	132	5,5 %
4	8	0,3 %
Total	**2413**	**100%**

Fuente: elaboración propia.

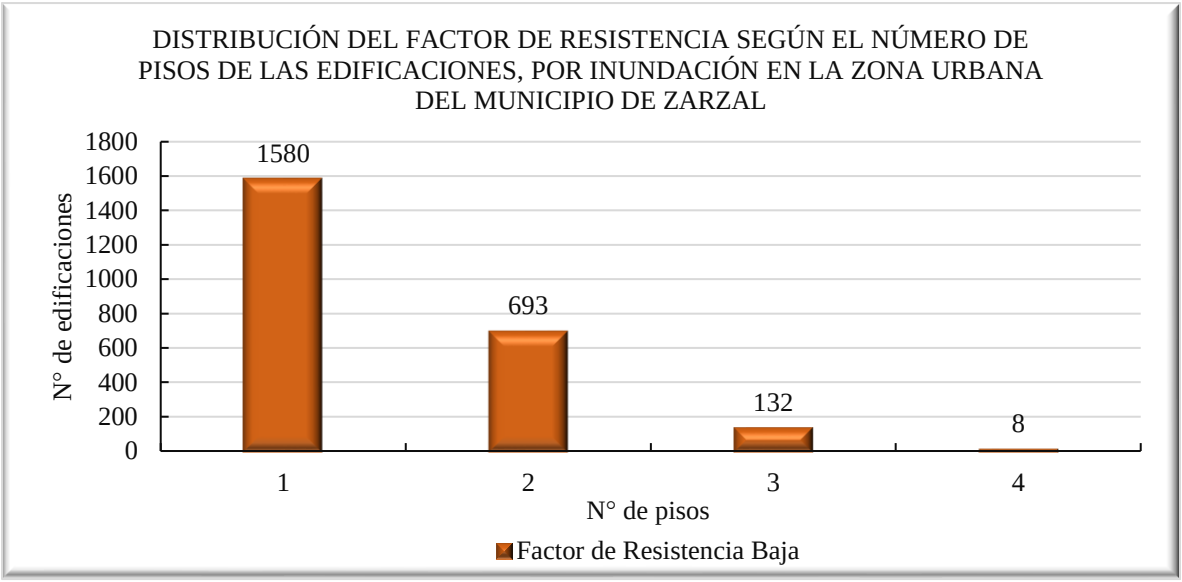


Figura 8.28. Distribución del factor de resistencia según el número de pisos de las edificaciones, ante inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal.
Fuente: elaboración propia.

La Figura 8.29, muestra la distribución espacial del factor de resistencia estructural en las edificaciones por inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal donde los barrios Ciudad Kennedy, Colombina, El Centro,El Guamal, El Placer, El Poblado I, El Poblado II, El Progreso, El Quindío, El Vergel, La Delfina, La Inmaculada, La Isabelita, La Valvanera, Las Mercedes, Libraida, Los Lagos I, Los Lagos II, Los Lagos III, Pallanos, Quinto Centenario, San Rafael, Urb. Ciudad Jardín, Urb. Zarzalito, Urb. Guadalito, Villa Amelia Villa Campestre y Villa Isabelita presentan una debilidad alta ante el fenómeno.

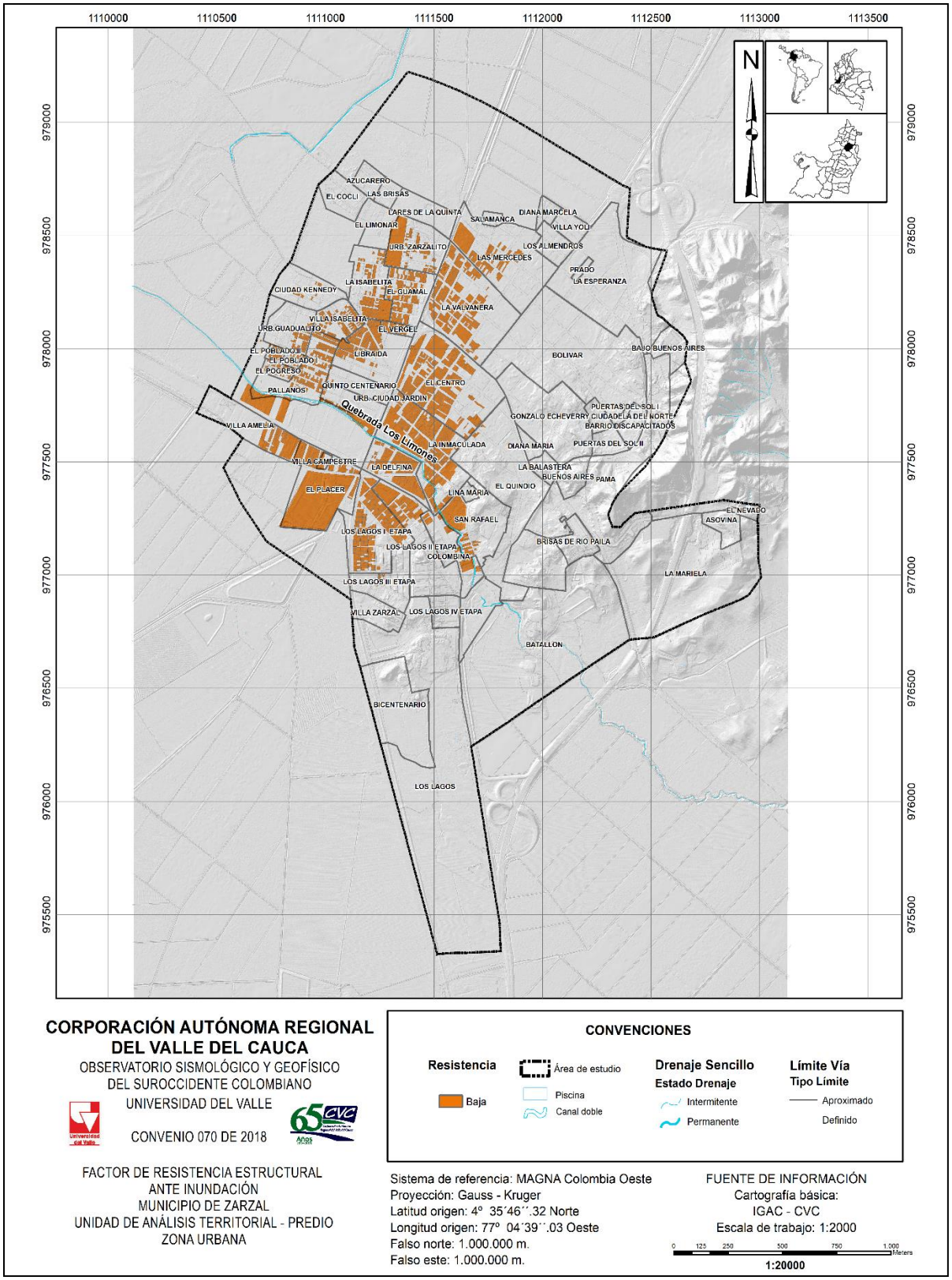


Figura 8.29. Factor de resistencia estructural ante inundación, zona urbana del municipio de Zarzal

Fuente: elaboración propia.

8.1.1.2.3. Factor de resistencia de líneas vitales

En el municipio de Zarzal, el análisis de resistencia de las líneas vitales se realizó para las redes viales y eléctricas. Cabe mencionar, que no fue posible realizar el análisis para las redes de acueducto y alcantarillado al no contar con la información necesaria para implementar la metodología propuesta por el SGC,2016 adaptada para este estudio.

- **Factor de resistencia red vial**

De acuerdo con lo planteado en la metodología, el análisis de la red vial está en función de su ancho y del tipo de material.

La Tabla 8.53, muestra los resultados de factor de resistencia de la red vial según su material de los 17.341,63m de vía se obtuvo con factor de resistencia media 12510,48 m, de las cuales en material de concreto se encuentran 9.289,8 m, en material de asfalto se encuentran 2.391,2 m y las vías sin recubrimiento, es decir destapada 829,5 m. Las vías con factor de resistencia baja se encuentran 4.831,15m de las cuales se logro identificar 3.129,9 m sin recubrimiento y en material de concreto 174,3 m. Por lo tanto, presentan alta debilidad ante el impacto de una inundación (Figura 8.30).

Tabla 8.53. Factor de resistencia de la red vial según su material ante inundación, zona urbana del municipio de Zarzal

MATERIAL DE LA RED VIAL	LONGITUD (M)		TOTAL
	FACTOR RESISTENCIA MEDIA	FACTOR RESISTENCIA BAJA	
Asfalto	2391,2	1526,9	3918,13
Concreto	9289,8	174,3	9464,10
Destapada	829,5	3129,9	3959,41
Total	**12510,48**	**4831,15**	**17341,63**

Fuente: elaboración propia.

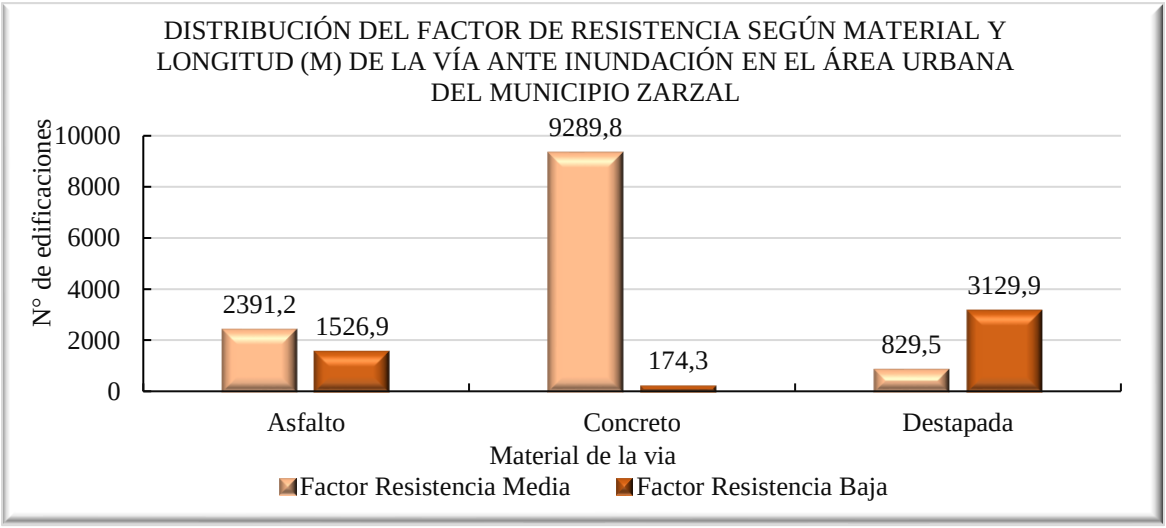


Figura 8.30. Distribución del factor de resistencia según material y longitud (m) de la vía ante inundación en el área urbana del municipio Zarzal
Fuente: elaboración propia

Por otro lado, se obtuvo el factor de resistencia según el ancho de la vía, el cual se describen en Tabla 8.54 y Figura 8.31, donde se muestra los 17.341,64 m de la red vial, los cual los 12.510,49 m presentan factor de resistencia media las vías entre 5 y 10 metros de ancho y con factor de resistencia baja las vías entre 3 y 4 m de anchos.

Tabla 8.54. Factor de resistencia de la red vial según su ancho(m) ante inundación, zona urbana del municipio de Zarzal

ANCHO DE LA RED VIAL	LONGITUD (M)		TOTAL
	FACTOR RESISTENCIA MEDIA	FACTOR RESISTENCIA BAJA	
3	0	1933,92	1933,92
4	0	2897,23	2897,23
5	2365,50	0	2365,50
6	3481,50	0	3481,50
7	4916,90	0	4916,90
8	909,26	0	909,26
10	837,33	0	837,33
Total	**12510,49**	**4831,15**	**17341,64**

Fuente: elaboración propia.

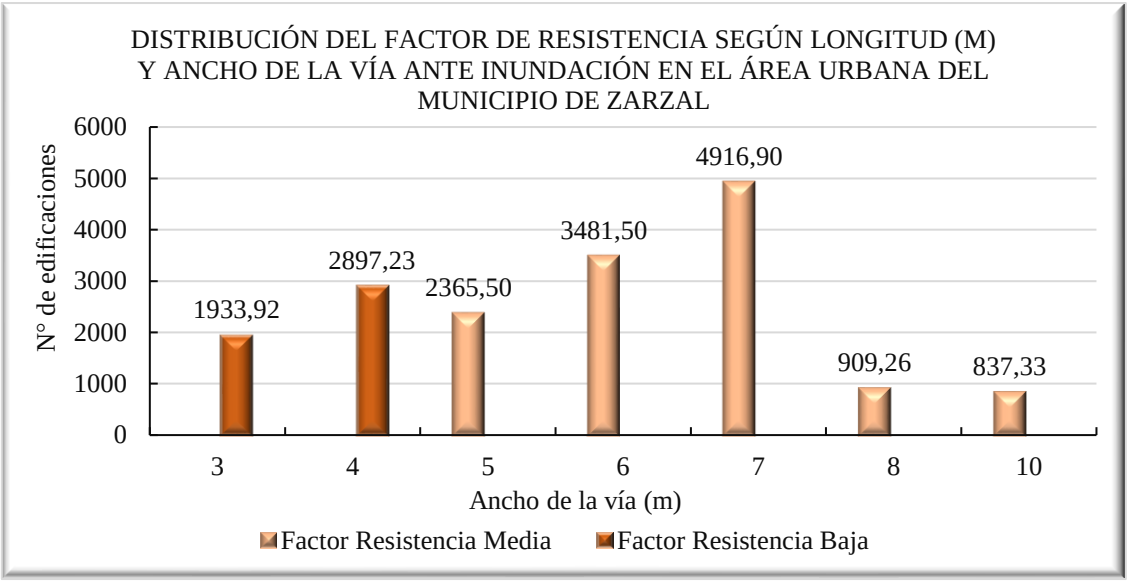


Figura 8.31. Distribución del factor de resistencia de la red vial según su material ante inundación, zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

La Figura 8.32, muestra la distribución espacial del factor de resistencia de la red vial por inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal donde los tramos viales analizados presentan factor de resistencia media a baja.

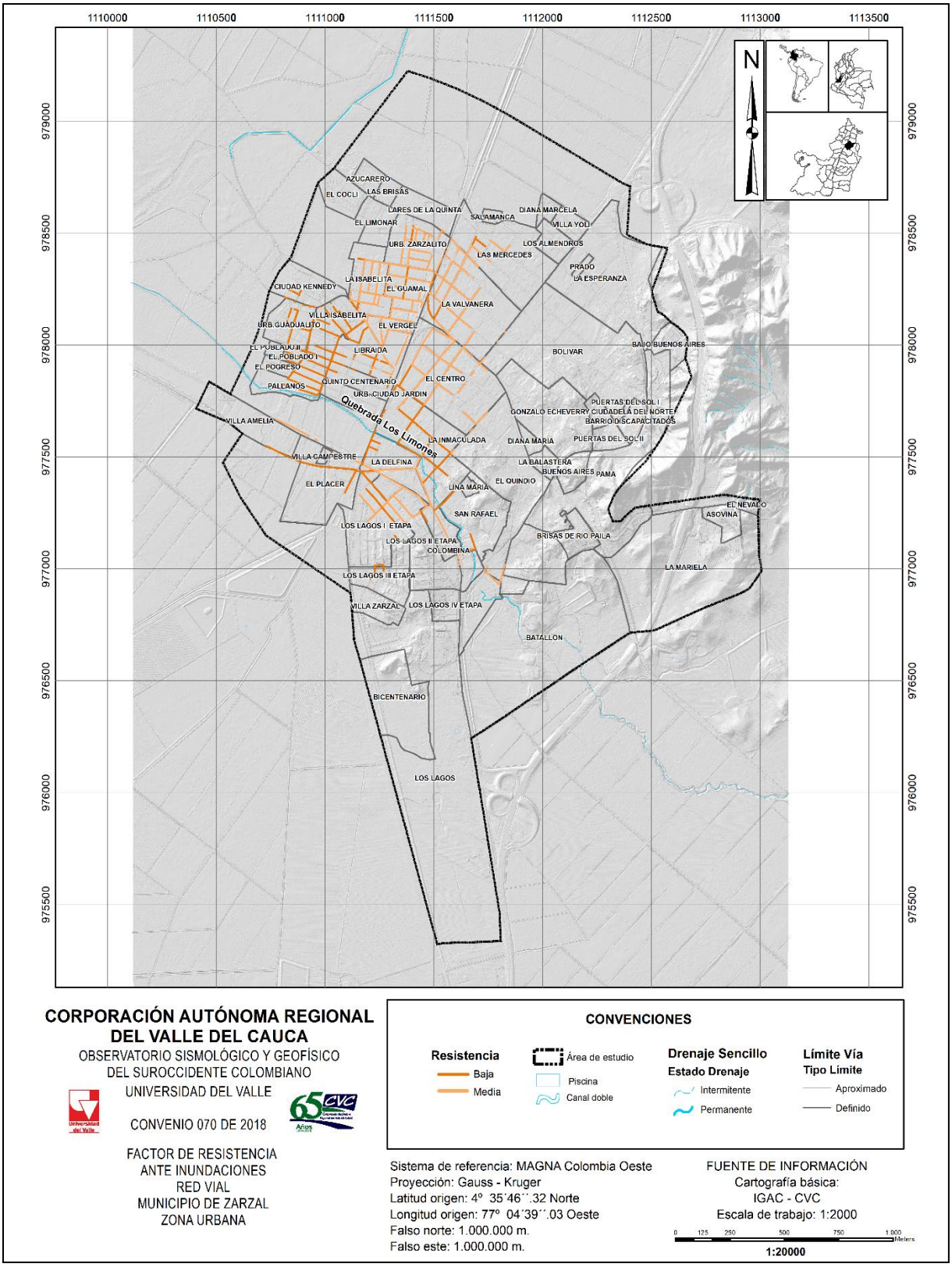


Figura 8.32. Factor de resistencia de la red vial ante inundación, zona urbana del municipio de Zarzal

Fuente: elaboración propia.

- **Factor de resistencia de la red eléctrica**

De acuerdo con la metodología el cálculo del factor de resistencia en la red eléctrica tiene dos criterios de análisis importantes el material y la carga nominal de los postes. Por lo tanto, los 628 postes que soportan la red de energía eléctrica se les otorgo una carga nominal de 5001N y presentan un factor de resistencia bajo ante la ocurrencia de una inundación, es decir, alta fragilidad.

La Figura 8.33 muestra la distribución espacial del factor de resistencia en la red eléctrica ante inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal. Los 628 postes con factor de resistencia baja se localizan en los barrios Los Lagos I, La Valvanera, La Inmaculada, El Centro, Pallanos, Libraida, Villa Isabelita, El Guamal, La Isabelita, Urb. Guadalito, Las Mercedes, La Delfina, Los Lagos II, El Placer, Villa Amelia, El Progreso, El Poblado I, Urb. Ciudad Jardín, El Poblado II, El Vergel, San Rafael, Ciudad Kennedy, Colombina, El Quindío, Las Mercedes, Urb. Zarzalito, Los Lagos III, Villa Campestre y Quinto Centenario.

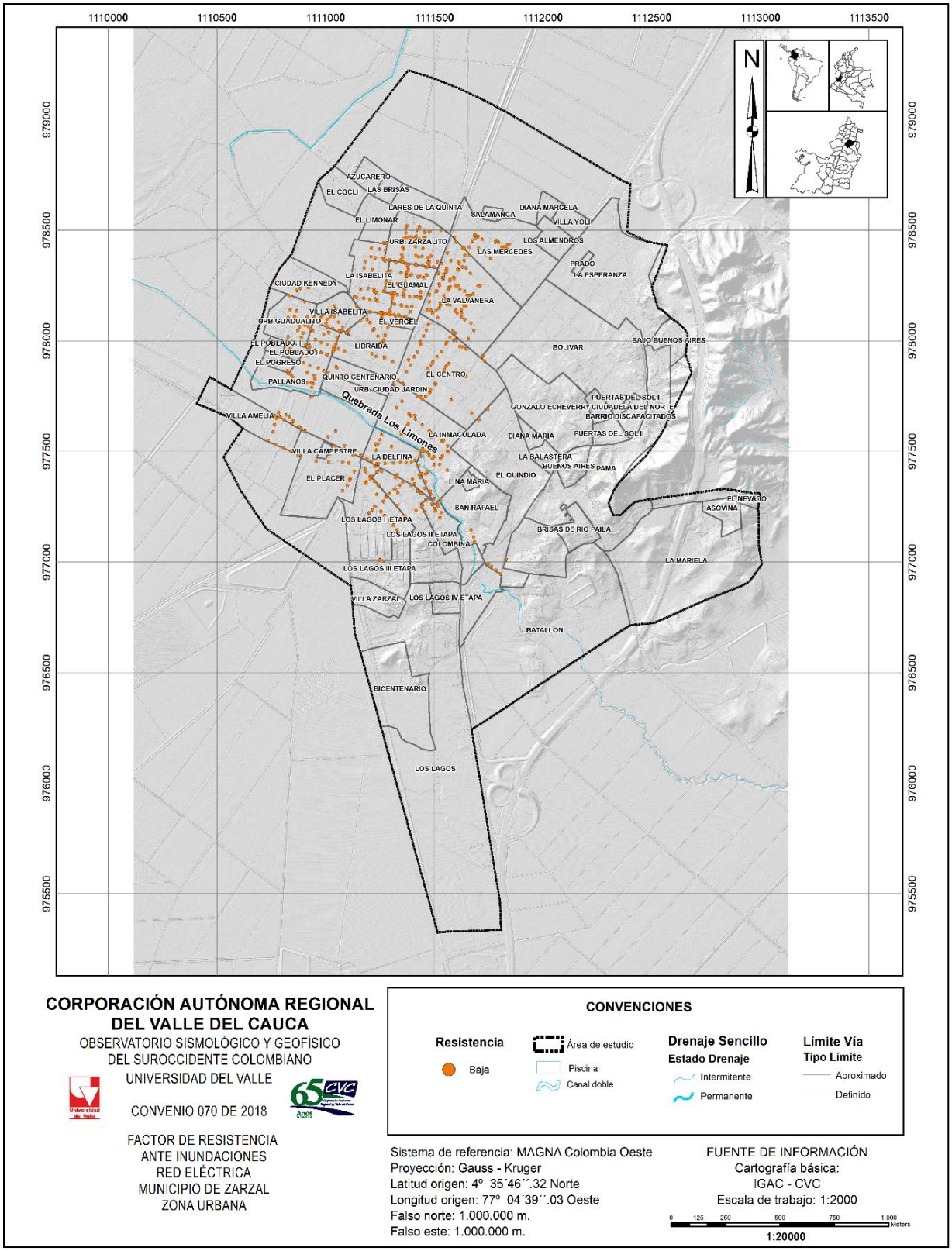


Figura 8.33. Factor de resistencia de la red eléctrica ante inundación, zona urbana del municipio de Zarzal

Fuente: elaboración propia.

8.1.2. Cálculo y zonificación de vulnerabilidad ante inundación

Para el análisis de la vulnerabilidad se consideran los resultados obtenidos de la exposición ante la amenaza y el factor de resistencia de la población y las edificaciones para el fenómeno de inundación en el área urbana del municipio de Zarzal. A continuación, se presentan los resultados de vulnerabilidad corporal, vulnerabilidad estructural y vulnerabilidad de líneas vitales ante el fenómeno de inundación.

8.1.2.1. Vulnerabilidad corporal

El análisis de vulnerabilidad corporal se consideró la exposición y el factor de resistencia ante inundaciones de la población que habita en las edificaciones.

El análisis de la vulnerabilidad corporal de acuerdo a los parámetros de exposición y fragilidad considerando la intensidad y el factor de resistencia ante inundaciones de la población que permitieron el ingreso y suministraron los datos para un total de 4.795 personas que se registraron en campo en 967 edificaciones, 92 personas en 28 edificaciones tienen vulnerabilidad alta, en vulnerabilidad media se encuentran 6 personas de 2 edificaciones y en vulnerabilidad baja, se encuentran 102 personas en 25 edificaciones.

El análisis de la vulnerabilidad corporal de acuerdo con los parámetros de exposición y fragilidad considerando la intensidad y el factor de resistencia ante inundaciones se clasificó en vulnerabilidad en alta, media y baja. Por lo tanto, se estimó el nivel de vulnerabilidad de las personas que habitan en las 2.413 edificaciones, de los cuales la población de 1215 edificaciones presenta una vulnerabilidad alta, es decir el 50,35%; seguido de la población de 306 edificaciones con vulnerabilidad media, siendo el 12,68%. Por último, la población de 892 edificaciones presenta una vulnerabilidad baja con el 36,97%. En cuanto a los resultados se logra evidenciar que el mayor porcentaje de edificaciones, su población se encuentra en vulnerabilidad alta (Tabla 8.55 y Figura 8.34). El área total es de 509078,08 m^2, el cual se encuentran en vulnerabilidad alta un área de 331534,72 m^2, es decir el 65.1%; en vulnerabilidad media un área de 40160,03 m^2 siendo el 7,9%. Finalmente, en vulnerabilidad baja se encuentra un área de 137.383,3 m^2, es decir el 27% del área.

Tabla 8.55. Distribución del nivel de la vulnerabilidad corporal en la zona urbana del municipio de Zarzal

NIVEL DE VULNERABILIDAD	% POBLACIÓN	ÁREA M^2	% ÁREA
Alta	50,35	331534,72	65,1
Media	12,68	40160,03	7,9
Baja	36,97	137383,33	27,0
Total	**100%**	**509078,08**	**100%**

Fuente: elaboración propia.

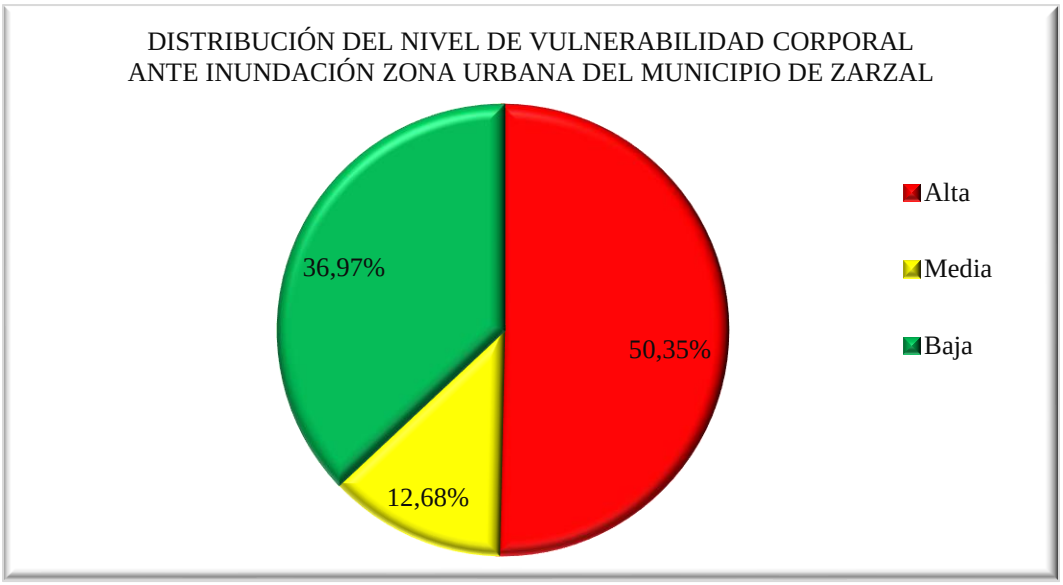


Figura 8.34. Distribución nivel de la vulnerabilidad corporal por inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

La Figura 8.35, muestra en la distribución espacial de la vulnerabilidad corporal ante inundaciones en la zona urbana del municipio de Zarzal donde la mayoría de la población presentan vulnerabilidad alta.

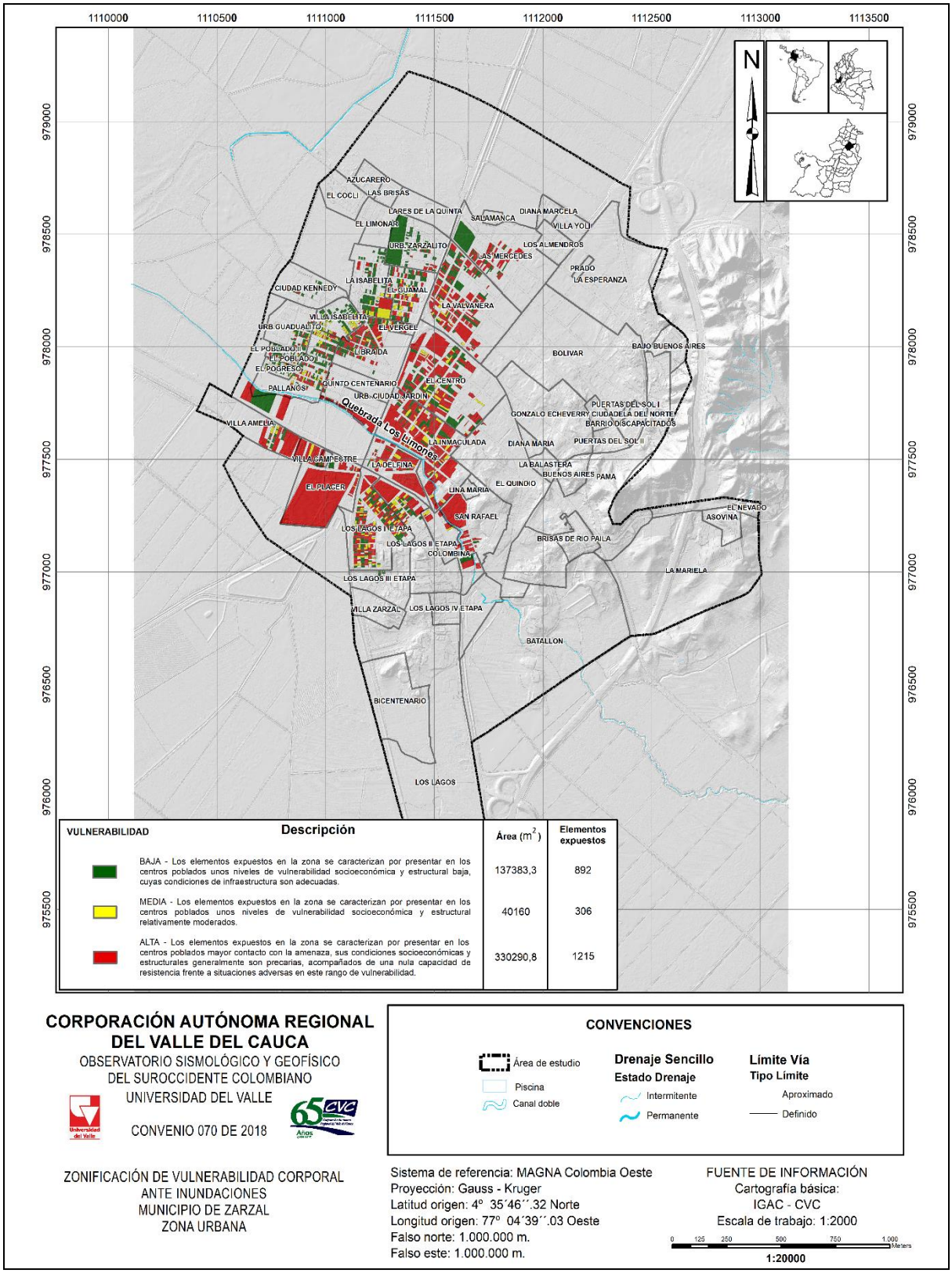


Figura 8.35. Zonificación de la vulnerabilidad corporal ante inundaciones, zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

8.1.2.2. Vulnerabilidad estructural

En el análisis de vulnerabilidad estructural se clasificó en alta, media y baja por el número de edificaciones y el área m^2, dando como resultado un total de 2413 edificaciones en área de 509.078,08m^2 distribuidas así: en vulnerabilidad alta 2081 edificaciones en 447.527,25m^2 y un porcentaje de área del 87,9%%, en vulnerabilidad media 131 edificaciones con 16088,60m^2 y un porcentaje del 3,2% y en vulnerabilidad baja 201 edificaciones con un área de 45462,23m^2 , siendo el 8,9% del porcentaje de área total (Tabla 8.56 y Figura 8.36).

En la Figura 8.38 muestra el comportamiento espacial del nivel de vulnerabilidad estructural ante inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal.

Tabla 8.56. Vulnerabilidad estructural ante inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal

NIVEL DE VULNERABILIDAD	N° EDIFICACIONES	% EDIFICACIONES	ÁREA M^2	% ÁREA
Alta	2081	86,24 %	447527,25	87,9%
Media	131	5,43 %	16088,60	3,2%
Baja	201	8,33 %	45462,23	8,9%
Total	**2413**	**100%**	**509078,08**	**100%**

Fuente: elaboración propia.

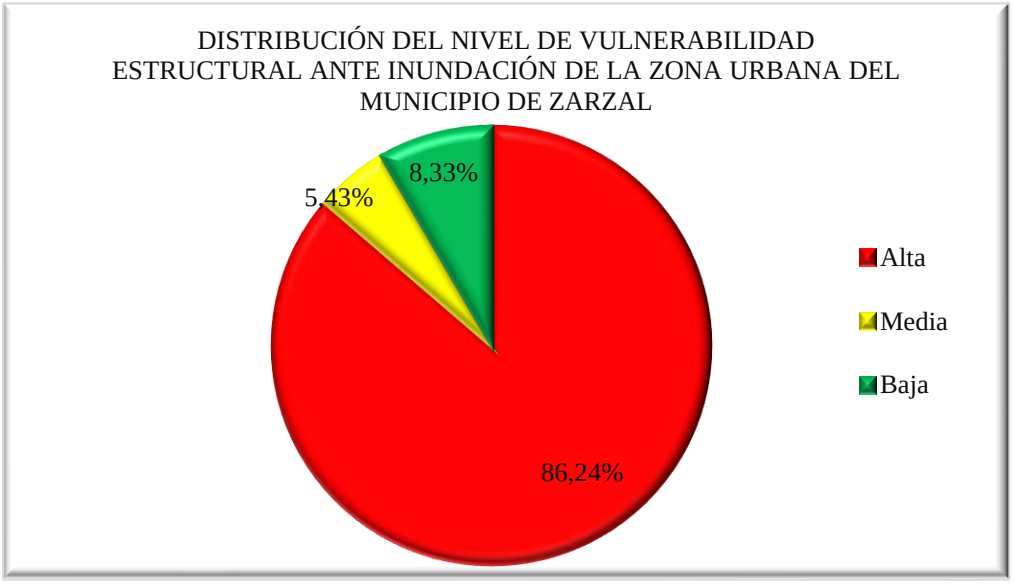


Figura 8.36. Distribución del nivel de vulnerabilidad estructural por inundación de la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

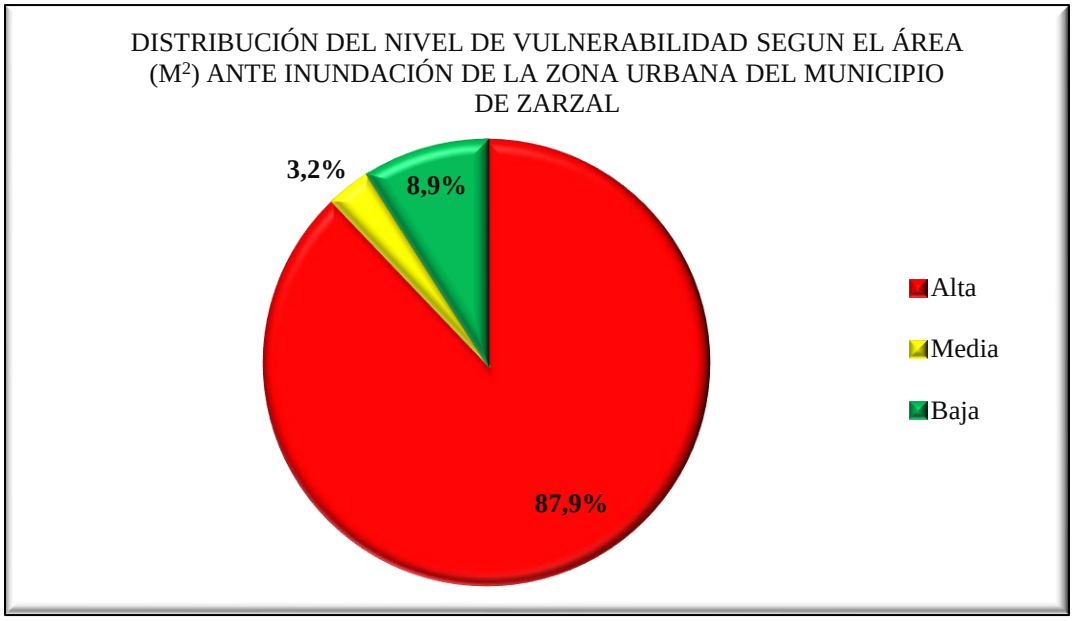


Figura 8.37. Distribución del nivel de vulnerabilidad estructural por inundación de la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

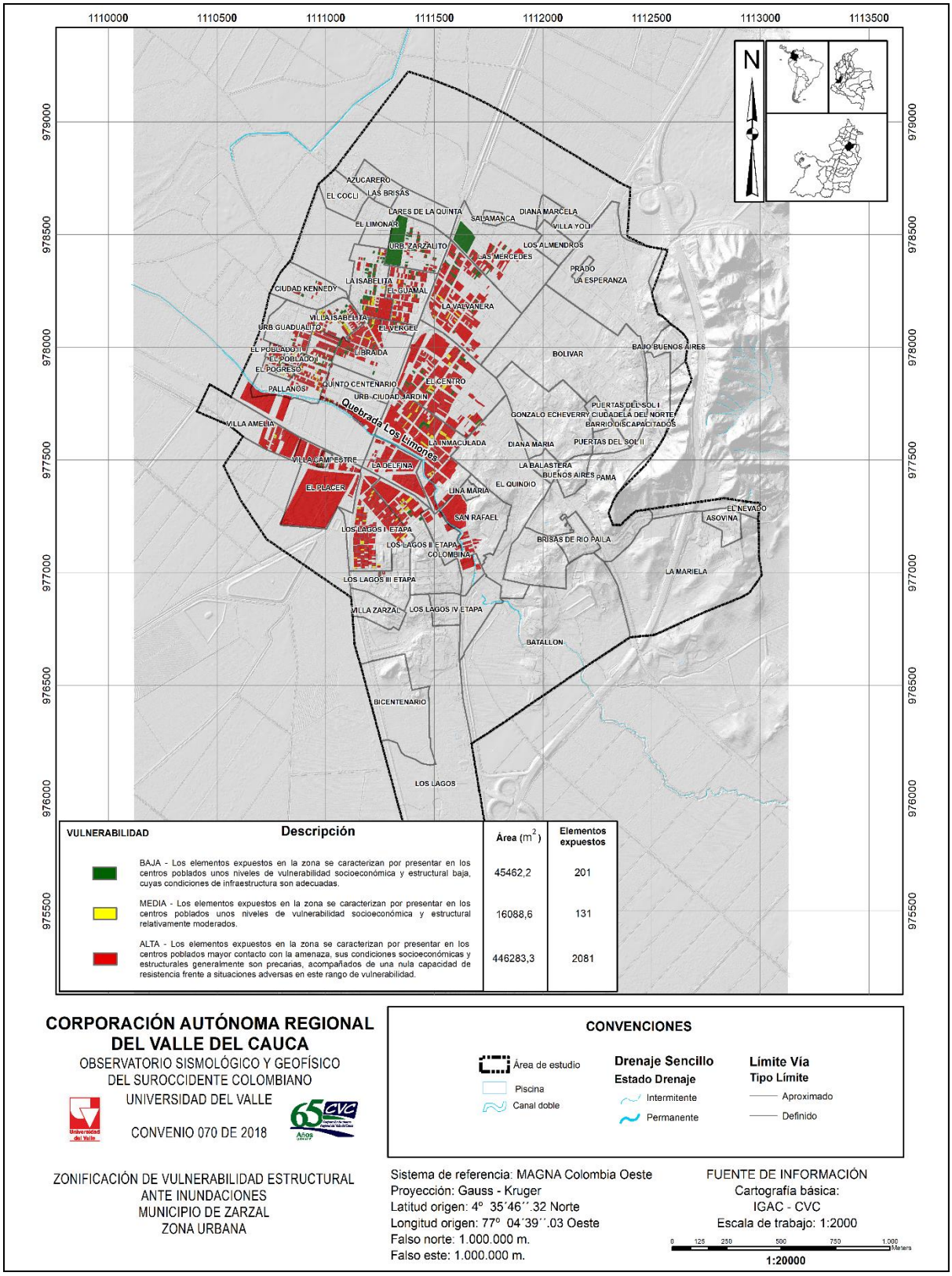


Figura 8.38. Zonificación de la vulnerabilidad estructural ante inundación, zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

8.1.2.3. Vulnerabilidad de líneas vitales

En el municipio de Zarzal, el análisis de vulnerabilidad de las líneas vitales se realizó para las redes viales y eléctricas de acuerdo con la información disponible.

A continuación, el análisis de la vulnerabilidad para la red vial y la red eléctrica por el fenómeno de inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal.

- **Vulnerabilidad de la red vial**

La vulnerabilidad de la red vial expuestas ante inundación se muestra en la Tabla 8.57 con una longitud de 17648,82 m, de los cuales 4421,67m con el 25,05% presentan vulnerabilidad alta, 996,56 m con el 5,65 % presentan vulnerabilidad media y 12230,59 m con el 69,30 % vulnerabilidad baja. De acuerdo con los resultados la red vial presenta una vulnerabilidad baja.

Tabla 8.57. Nivel de Vulnerabilidad de la red vial por inundación zona urbana del municipio de Zarzal

NIVEL VULNERABILIDAD	LONGITUD (M)	% DE LA RED VIAL
Alta	4421,67	25,05 %
Media	996,56	5,65 %
Baja	12230,59	69,30 %
Total	**17648,82**	**100%**

Fuente: elaboración propia

La Figura 8.39, muestra la distribución espacial de la red vial con nivel de vulnerabilidad ante el fenómeno de inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal, donde las vías con vulnerabilidad alta se concentran en los barrios al occidente y las vías con vulnerabilidad baja se concentran en el sector centro.

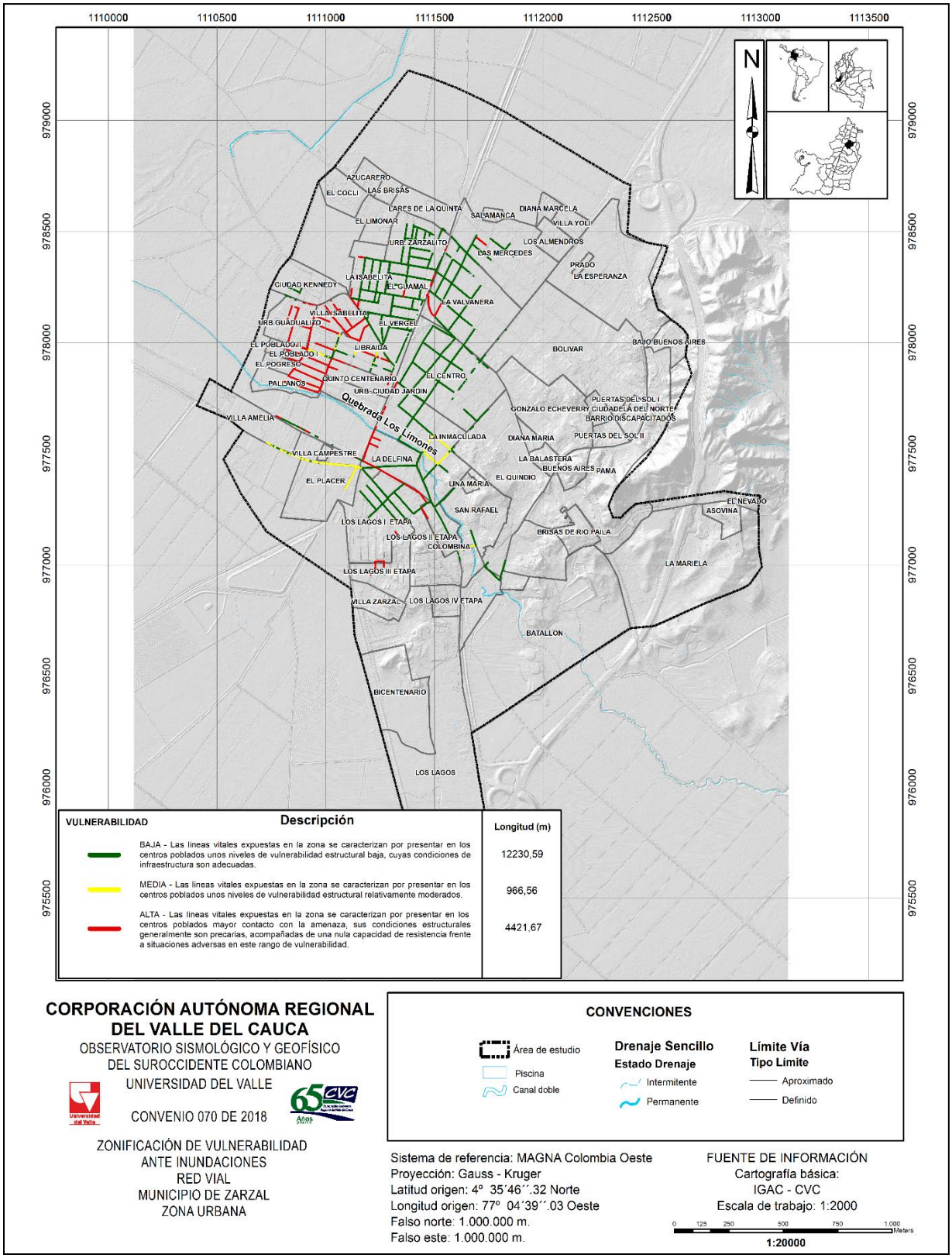


Figura 8.39. Zonificación de vulnerabilidad de la red vial ante inundaciones en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

- **Red eléctrica**

La vulnerabilidad de la red eléctrica en la zona urbana del municipio de Zarzal por el fenómeno de inundación se muestra en la Tabla 8.58 los resultados de vulnerabilidad en la red eléctrica (postes) que los 628 postes de concreto con carga nominal de 5001N son altamente vulnerables ante la ocurrencia de una inundación. En la Figura 8.40 muestra la distribución espacial de la vulnerabilidad en la red eléctrica por el fenómeno de inundación en la zona urbana del municipio Zarzal.

Tabla 8.58. Vulnerabilidad de la red eléctrica ante el fenómeno de inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal

NIVEL DE VULNERABILIDAD	RED ELÉCTRICA
	NÚMERO DE POSTES
Alta	628
Total	**628**

Fuente: elaboración propia.

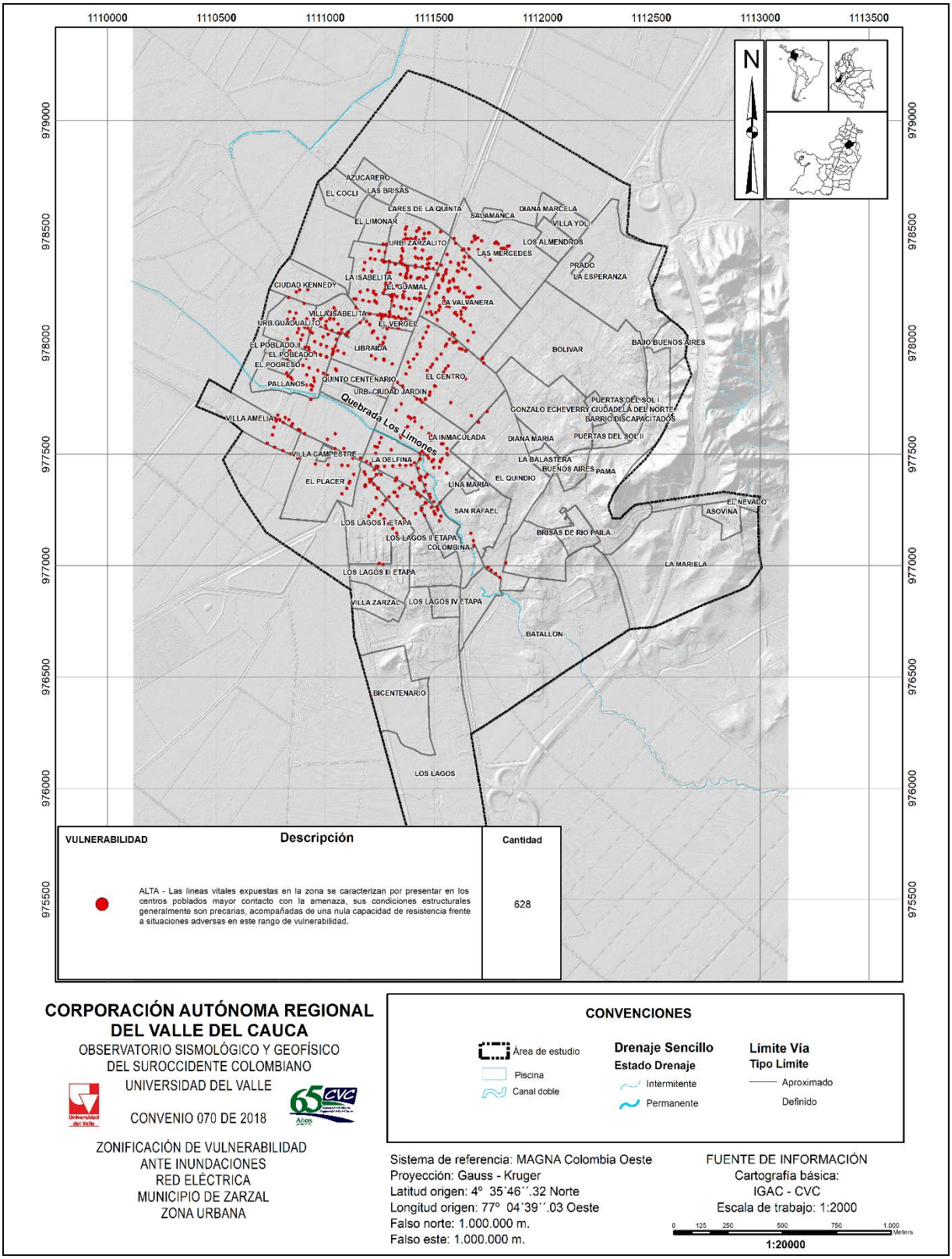


Figura 8.40. Zonificación de la vulnerabilidad de la red eléctrica ante inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal

Fuente: elaboración propia.

8.1.3. Curva de fragilidad de los elementos expuestos por inundación

Las curvas de fragilidad representan la probabilidad de excedencia de un estado límite de daño como una función de la severidad del fenómeno y la respuesta estructural (Di Páscuale y Cakmak, 1989). Dicha curva está en función de la intensidad y la capacidad de resistencia de los elementos expuestos.

En las Figura 8.41 a 8.44 se muestra el comportamiento de la intensidad con relación a la vulnerabilidad de las edificaciones, personas y líneas vitales en el municipio de Zarzal. Donde la intensidad presenta valores de 0,7 a 1,0 y la vulnerabilidad de 0 a 0,8.

Con el objetivo de identificar el comportamiento de la vulnerabilidad con relación a cada nivel de intensidad y factor de resistencia con respecto a los posibles daños que se pueden presentar es así que para el rango S=1, el grado de vulnerabilidad es alto (0,7) y la intensidad de la inundación aumenta de 0, a 1 y al llega al pico más alto cuando el valor de intensidad se encuentra entre 0,3 y 0,5. En esta etapa se pueden esperar daños. De la misma manera en la curva S=9 el grado de vulnerabilidad es superior a 0,5 y una intensidad de 0,1 a 1, se esperan daños cuando la intensidad este entre 0,3 y 0,5 son similares al anterior, a medida que la intensidad aumenta la vulnerabilidad también. En estas dos curvas se puede concluir que los valores de vulnerabilidad empiezan a ser altos aun cuando la intensidad es baja, así mismo cuando los niveles de vulnerabilidad son baja, aumenta la intensidad.

A diferencia de las anteriores en la curva S=0,8 los grados de vulnerabilidad inician en 0,1 a 1 , aumentando a medida que aumenta la intensidad con un pico entre 0,3 y 0,5 sin embargo las intensidad va entre 0 y 0,8 . Por último esta S=0,7 inicia con bajos niveles de vulnerabilidad y su comportamiento se relaciona más con la intensidad. En estos rangos la vulnerabilidad asciende con relación a la intensidad y llega al pico más alto cuando el valor de intensidad se encuentra entre 0,5 y 0,6. En esta etapa se pueden prever graves daños en las estructuras e incluso colapso de las mismas, una alta posibilidad de pérdida de la vida o lesiones significativas y suspensión total o parcial de actividades, incluyendo movilidad vial y alumbrado público.

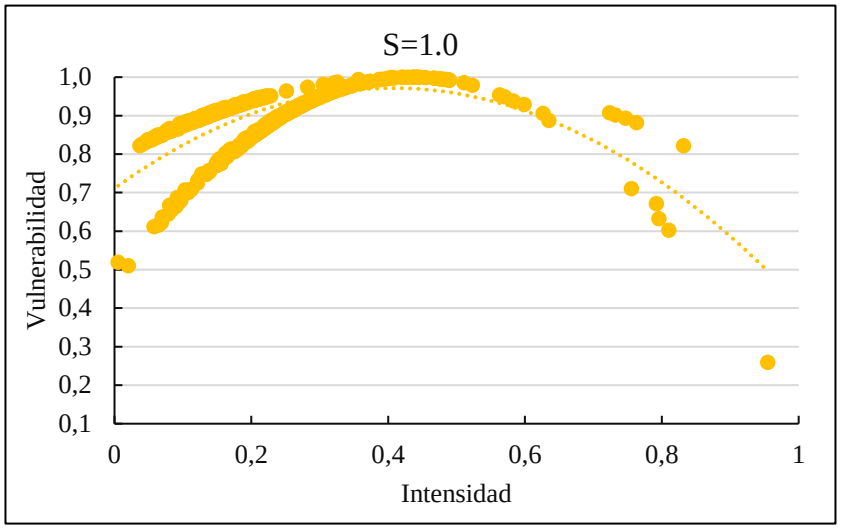


Figura 8.41. Curva de fragilidad S= 1,0

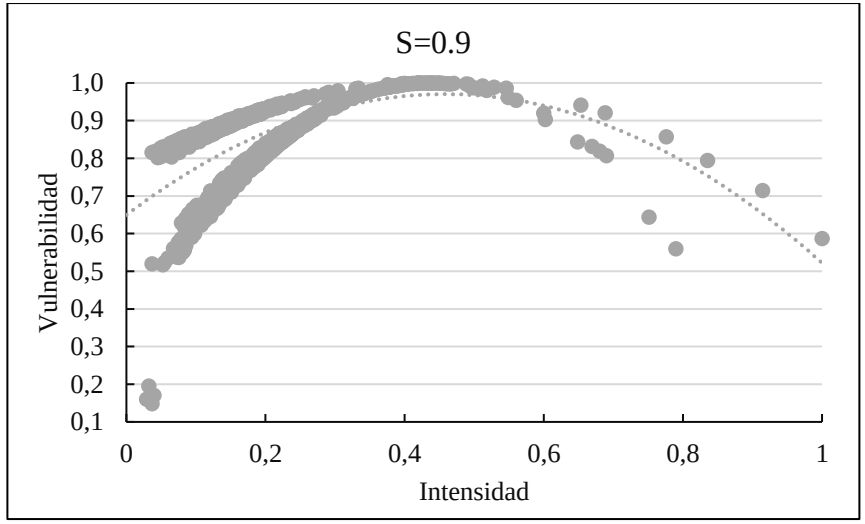


Figura 8.42. Curva de fragilidad S= 0,9

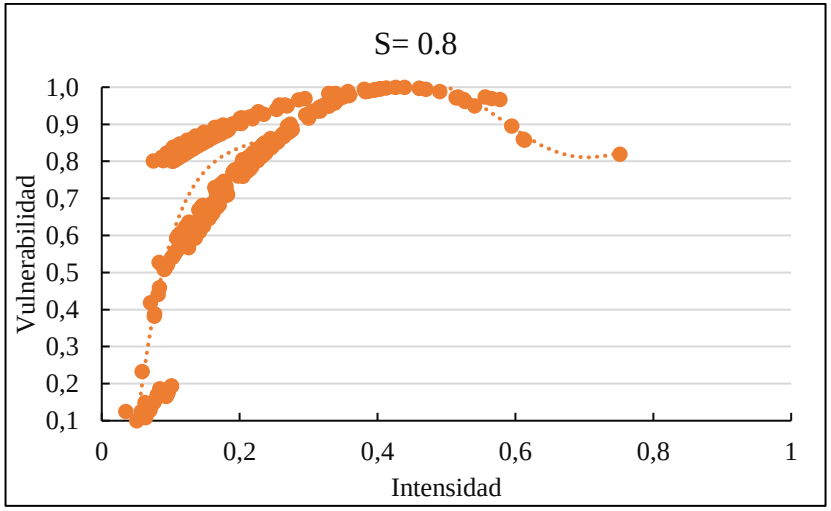


Figura 8.43. Curva de fragilidad S= 0,8

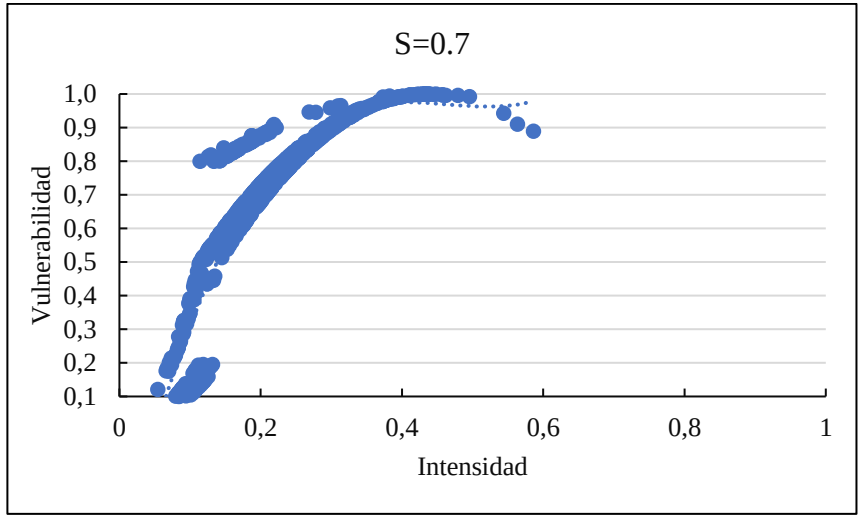


Figura 8.44. Curva de fragilidad S= 0,7

Fuente: elaboración propia

8.2. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD ANTE MOVIMIMIENTO EN MASA

El análisis de la vulnerabilidad ante movimientos en masa se realiza conforme a la metodología descrita anteriormente, donde se tiene en cuenta la exposición y la fragilidad. Esta última, considera la intensidad, la cual está determinada por la presión de impacto del evento, establecida mediante, la magnitud, la intensidad y la distancia de viaje de la masa deslizable y el factor de resistencia de los elementos expuestos estructurales y corporales.

8.2.1. Identificación, localización y caracterización de elementos expuestos ante movimiento en masa

En el municipio de Zarzal se realizaron los estudios geológicos, geomorfológicos y geotécnicos para la zonificación de la amenaza alta, media y baja por movimientos en masa en el área urbana en los barrios Pama, Bolívar, Gonzalo Echeverry, Buenos Aires, El Quindio, Los Lagos Etapa III, San Rafael, Ciudadela del Norte, Los Lagos, Brisas de Rio Paila, Lina María, Los Lagos Etapa II, La Balastera, La Inmaculada, El Nevado, Asovina, La Mariela, Bajo Buenos Aires y Puertas del Sol II, todos los otros barrios presentan nivel de exposición media:Por lo tanto, la caracterización de los elementos expuestos estructurales, corporales y funcionales, así como la determinación de la vulnerabilidad y afectación se definieron para este barrio.

8.2.1.1. Exposición de elementos ante movimiento en masa

Para el análisis de la exposición de elementos corporales y estructurales se consideró lo establecido en el Decreto 1807 (compilado en el Decreto 1077 de 2015), en el cual se indica el nivel de escala de los estudios, en este caso es 1:2.000, por lo tanto, se debe realizar el levantamiento de información a nivel de predio.

Cabe resaltar que en exposición predial por fenómeno de movimiento en masa se tienen 312 predios. Pero como resultado final de trabajo de campo, se obtuvo información en 306 edificaciones, esto es consecuente al encontrar algunos predios en campo divididos y sin desglose oficial en la base de datos de IGAC, convirtiéndose en un solo o en dos predios. Este dato también varía entre otras razones por el acceso a predios, es decir, casos donde el dueño no permite el ingreso.

Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación, se describe la exposición de elementos corporales y estructurales con la información obtenida:

8.2.1.1.1. Exposición corporal

El análisis de la exposición de elementos corporales se realizó con base en la información recolectada a través del Censo desarrollado por el equipo, en las edificaciones presentes en las zonas clasificadas en amenaza media y alta en la zona urbana del municipio de Zarzal teniendo en cuenta las variables: habitantes totales durante el día o de noche.

Con la entrevista realizada a las personas que permitieron el ingreso a las edificaciones, se encontró que habitan un total de 604 personas, de las cuales 350 permanecen en el día y 602 en la noche, esto indica que el 58% de la población encuestada permanecen en el día, también se evidenció que

en promedio hay 4 personas por edificación, teniendo en cuenta que se incluyeron edificaciones de tipo residencial y mixto (Tabla 8.59).

Tabla 8.59. Número y promedio de habitantes en las edificaciones en que se logró el acceso al interior

HABITANTES	NÚMERO DE HABITANTES	PROMEDIO DE HABITANTES POR EDIFICACIÓN
Total	604	4,08
Día	350	2,36
Noche	602	4,07

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 8.60 se especifica la cantidad de personas en la edificación según las tres variables priorizadas: personas totales, personas presentes en el día y en la noche que el 0.49 % de los habitantes o se encuentra en nivel de amenaza alta, es decir 3 habitantes de 604 y la mayor parte se encuentra concentrada en nivel de amenaza media con 99.51% de habitantes de los cuales 350 permanecen en el día y 599 en la noche (Figura 8.45).

Tabla 8.60. Número total de habitantes, día y de noche de la población encuestada, expuestos a movimiento en masa de la zona urbana del municipio de Zarzal

HABITANTES	NÚMERO DE HABITANTES		TOTAL
	EXPOSICIÓN MEDIA	EXPOSICIÓN ALTA	
Total	601	3	604
Día	350	0	350
Noche	599	3	602

Fuente: elaboración propia

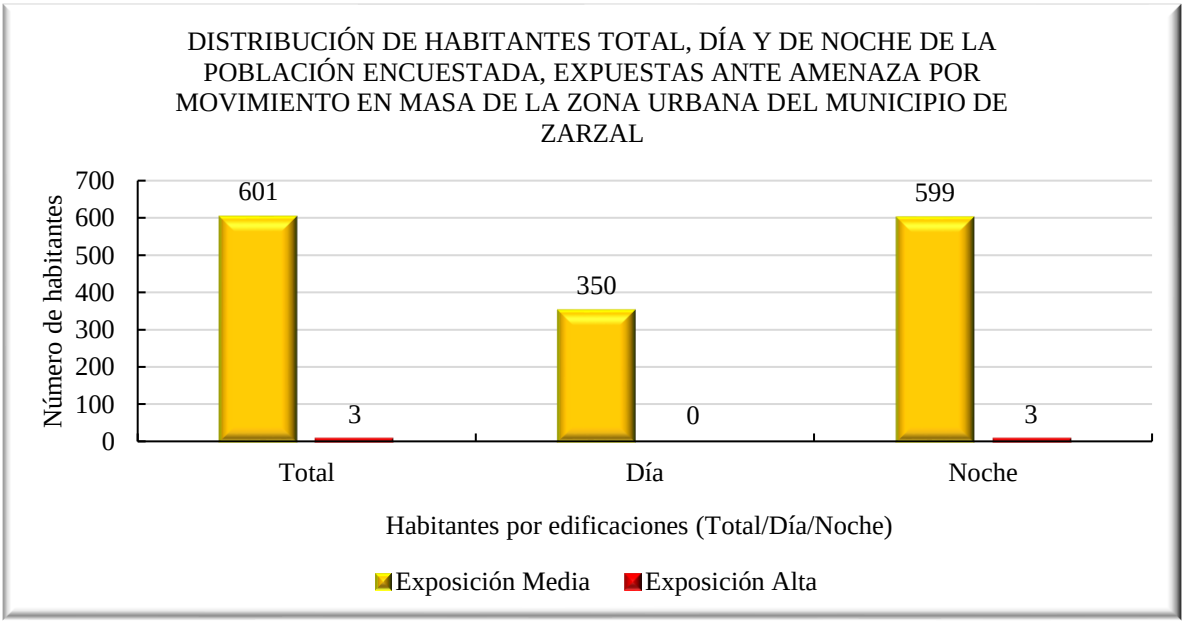


Figura 8.45. Distribución del número total de habitantes, día y de noche de la población encuestada, expuestos a movimiento en masa de la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

8.2.1.1.2. Exposición estructural

Los 312 predios expuestos en amenaza alta y media, de los cuales 301 predios, es decir el 96.5% presentan exposición media con un área predial de 94190,72 m^2 y 11 predios es decir el 3.5% se encuentran en exposición alta, con 8515,46 m^2 de área predial (Tabla 8.61 y Figura 8.46).

Tabla 8.61. Número y área (m^2) de los predios expuestos a movimiento en masa en el área urbana del municipio de Zarzal

NIVEL DE EXPOSICIÓN	ÁREA M²	N° DE PREDIOS	% PREDIOS
Alta	8515,46	11	3,5 %
Media	94190,72	301	96,5 %
Total	**102706,18**	**312**	**100.%**

Fuente: elaboración propia.

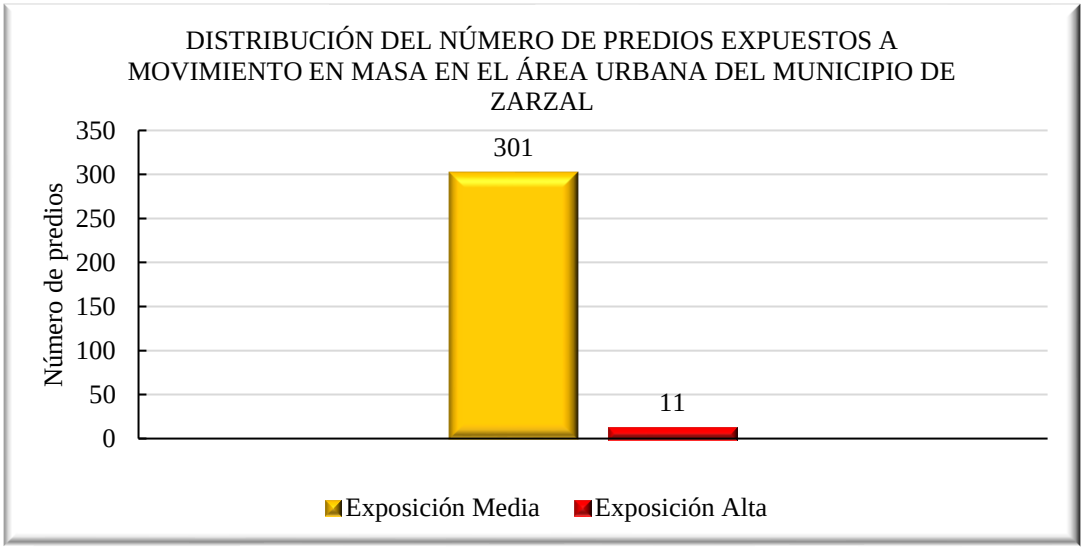


Figura 8.46. Distribución del número de predios expuestos a movimiento en masa en el área urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

En la zona urbana de exposición ante amenaza media y alta por movimientos en masa se tiene un total de 312 predios de los cuales: 29 predios se encuentran sin edificaciones y 283 predios presentan al menos una edificación. En la Tabla 8.62 se presenta en 283 predios, en 273 de ellos se encuentra 296 edificaciones expuestos en amenaza media y en los 10 predios en cada uno ellos se encuentra una edificación, las cuales están expuestos en amenaza alta.

Tabla 8.62. Número de predios sin edificaciones, con edificaciones expuestos a movimiento en masa en el área urbana del municipio de Zarzal

NIVEL DE EXPOSICIÓN	PREDIOS SIN EDIFICACIONES	PREDIOS CON EDIFICACIONES	NÚMERO DE EDIFICACIONES
Alta	1	10	10
Media	28	273	296
Total	**29**	**283**	**306**

Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta lo anterior la Tabla 8.63 muestra la distribución de las edificaciones en exposición alta y media. Los barrios San Rafael y Lina María tiene 4 y 6 edificaciones respectivamente en exposición alta. Los barrios en exposición media son Pama tiene 66 edificaciones, es decir 21.56%, Bolívar tiene 59 (19.28%) edificaciones, Gonzalo Echeverry tiene 43 edificaciones que equivalen al 14%, Buenos Aires tiene 32 edificaciones el cual equivale al 10,5%. Los barrios Quindio y Los Lagos Etapa III tienen 14 edificaciones que equivalen al 4.6% respectivamente, Los barrios La Ciudadela del Norte y Los Lagos tiene 12 edificaciones es decir el 3.9% respectivamente, los barrios Las Brisas de Rio Paila y San Rafael tienen 9 edificaciones cada uno, es decir el 2,9%. Los Lagos Etapa II se encuentran 7 edificaciones, es decir el 2,3%. Las Balastera tiene 6 edificaciones con el 2%. Los barrios La Inmaculada y El Nevado tienen 3 edificaciones. Los barrios Asovina y Lina María tiene 2 edificaciones. Por ultimo los barrios La Mariela, Bajo Buenos Aires y Puertas del Sol II tienen 1 edificación.

Tabla 8.63. Número de edificaciones por barrio expuestos a movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal

BARRIO	NÚMERO DE EDIFICACIONES		TOTAL
	EXPOSICION MEDIA	EXPOSICION ALTA	
Pama	66	0	66
Bolívar	59	0	59
Gonzalo Echeverry	43	0	43
Buenos Aires	32	0	32
El Quindio	14	0	14
Los Lagos Etapa III	14	0	14
San Rafael	9	4	13
Ciudadela del Norte	12	0	12
Los Lagos	12	0	12
Brisas de Rio Paila	9	0	9
Lina María	2	6	8
Los Lagos Etapa II	7	0	7
La Balastera	6	0	6
La Inmaculada	3	0	3
El Nevado	3	0	3
Asovina	2	0	2
La Mariela	1	0	1
Bajo Buenos Aires	1	0	1
Puertas del Sol II	1	0	1
Total	**296**	**10**	**306**

Fuente: elaboración propia.

- **Uso de suelo observado**

El análisis del uso del suelo permite identificar la actividad que se está ejerciendo en cada edificación, dato relevante para evaluar las pérdidas económicas en caso de la manifestación de un evento de movimiento en masa.

De acuerdo con lo anterior, en el municipio de Zarzal el uso de suelo observado predominante corresponde al uso residencial con 302 edificaciones, es decir el 98.69%, donde 293 están en

exposición media que equivalen al 95.75% de las edificaciones y solo 9 edificaciones se encuentran en exposición alta. Los usos de Educativo, Institucional y Mixto tiene 1 edificación en exposición media. El uso de Culto tiene una edificación en exposición alta (Tabla 8.64 y Figura 8.47).

Tabla 8.64. Uso del Suelo observado en las edificaciones expuestas a amenaza por movimiento en masa en el área urbana del Municipio de Zarzal.

USO DE SUELO	NÚMERO DE EDIFICACIONES		TOTAL
	EXPOSICIÓN MEDIA	EXPOSICIÓN ALTA	
Residencial	293	9	302
Educación	1	0	1
Institucional	1	0	1
Culto	0	1	1
Mixto	1	0	1
Total	**296**	**10**	**306**

Fuente: elaboración propia

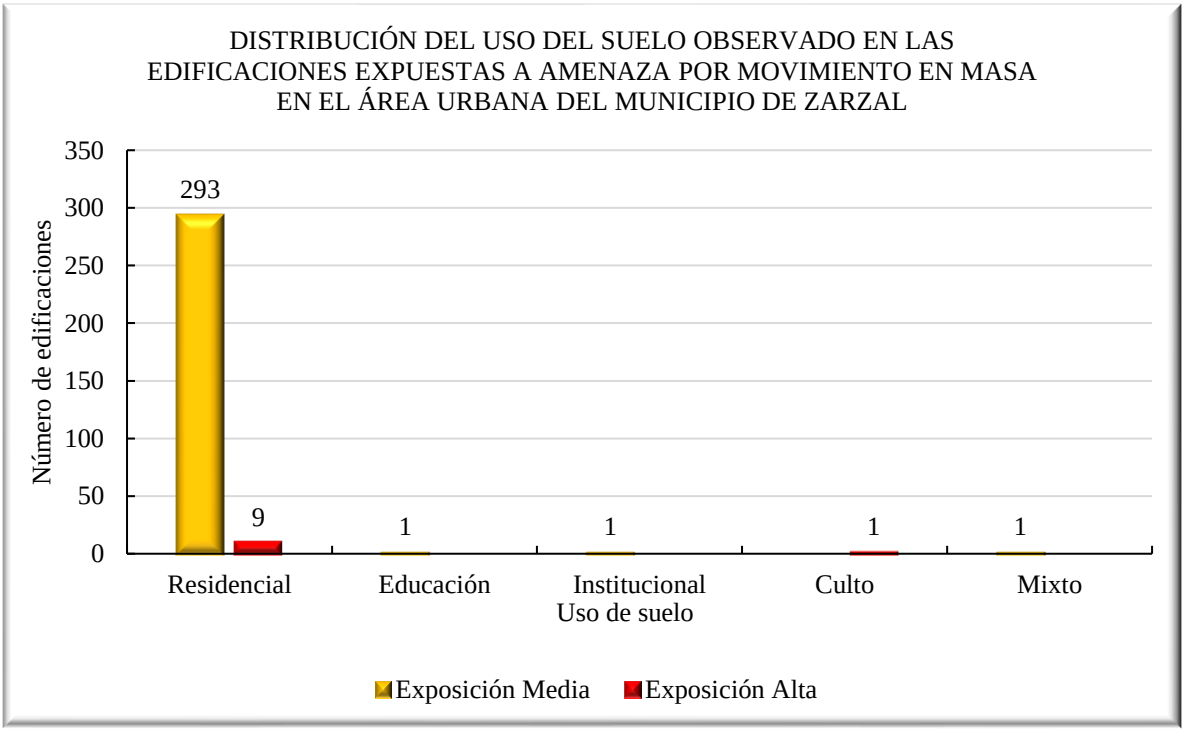


Figura 8.47. Distribución del Uso del Suelo observado en las edificaciones expuestas a amenaza por movimiento en masa en el área urbana del Municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

El análisis de la exposición de elementos estructurales se realizó a nivel predial teniendo en cuenta los factores o variables: 1) tipología de edificación, 2) estado de conservación, 3) edad o tiempo de servicio de la edificación y 4) número de pisos de edificación.

Cada uno de los factores considerados en la exposición de los elementos estructurales se describe a continuación:

- **Tipología estructural de la edificación**

Para el análisis de la tipología de las edificaciones, se siguió la normativa de la NRS-10, y con lo observado en el reconocimiento de la zona de estudio, se acotaron las siguientes tipologías (Tabla 8.65). Lo que permite establecer el tipo de material empleado en la construcción, así mismo que tan resistentes pueden ser.

Tabla 8.65. Tipología de edificaciones

TIPO DE EDIFICACION	DESCRIPCIÓN
Mampostería Confinada y Edificaciones reforzadas (MC)	Edificaciones con estructura en concreto y acero de los grupos de importancia I y II construidas con pórticos en concreto reforzado, sistema combinado en concreto reforzado, pórticos resistentes a momentos en acero, pórticos arriostrados en acero, etc. También se incluyen aquellas del grupo A construidas antes de 1998. Y aquellas edificaciones que tienen un sistema estructural de mampostería con elementos de refuerzo (barras, laminas, pernos, platinas, etc.). También se incluyen las edificaciones en mampostería confinada.
Mampostería no reforzada (MNR)	Estructuras con confinamiento deficiente y estructura hibridas edificaciones con muros cargueros, pero sin confinamiento adecuado (mampostería no reforzada).
Muro Tapia, Bahareque (MTB)	Estructura ligera y edificaciones construidas con materiales tradicionales o de baja calidad, con un sistema estructural de muros cargueros. Dentro de esta tipología se incluyen las edificaciones construidas con materiales como adobe, bahareque, madera bruta, tapia pisada y las prefabricadas.
Otro	Se consideraron construcciones simples edificaciones que no poseen una estructura definida, de carácter improvisado, generalmente construidas utilizando materiales precarios o de recuperación. Entre estas se incluyen las edificaciones en proceso de construcción y las construidas en materiales de recuperación, pórticos y paneles de madera, y pórticos de madera y paneles en otros materiales. Son ejemplo de este tipo de edificaciones tugurios, ranchos, campamentos, carpas, etc.

Fuente: elaborada con información de NRS-10, 2010 y SGC (2016).

En la Tabla 8.66 correspondiente a la tipología de la edificación, se muestra que un 96,7% de todas las edificaciones se localizan en exposición media, 296 edificaciones son en mampostería no reforzada, 44 edificaciones con mampostería confinada, 11 edificaciones del tipo constructivo madera, tapia y bahareque y solo 2 son de otro tipo constructivo. Por otra parte, el 3,27% de las edificaciones que están en exposición alta, 2 tienen tipo de construcción en mampostería no reforzada y 8 con mampostería confinada (Figura 8.48).

Tabla 8.66. Tipo de construcción de las edificaciones expuestas a movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	NÚMERO DE EDIFICACIONES		TOTAL
	EXPOSICIÓN MEDIA	EXPOSICIÓN ALTA	
Mampostería no Reforzada	238	2	240
Mampostería Confinada	44	8	52
Madera, Tapia, Bahareque	11	0	11
Otro (Material reciclado)	3	0	3
Total	**296**	**10**	**306**

Fuente: elaboración propia.

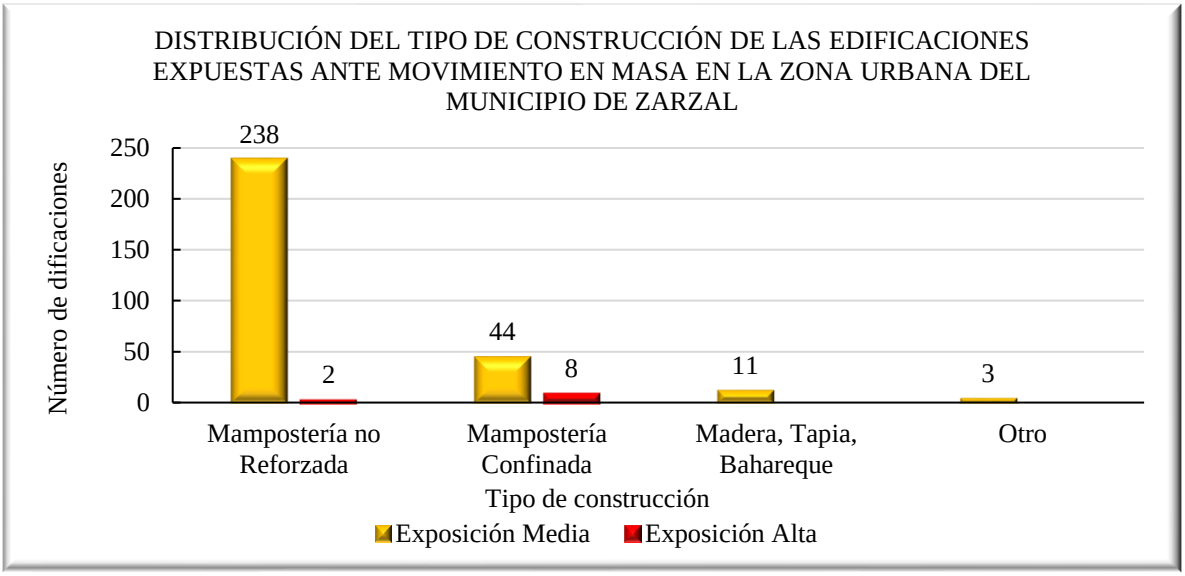


Figura 8.48. Distribución del tipo de construcción de las edificaciones expuestas ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

- **Estado de conservación de la edificación**

El análisis del estado de conservación de las edificaciones se definió mediante tres categorías: bueno, daños moderados y daños graves de las 306 edificaciones, el cual se observaron los daños que presenta la construcción tales como grietas, fisuras, humedad, caída, fractura, entre otros. Estas variables influyen en el comportamiento de la edificación y el desplazamiento o encharcamiento del agua en caso de que se presente una inundación. A continuación, se describen los resultados de los puntos anteriores.

La distribución del número de las 306 edificaciones de acuerdo con el estado de conservación se muestra en la Tabla 8.67 y Figura 8.49, En estado de conservación bueno 145 están en exposición media y 8 en exposición alta. Con daños moderados, 111 edificaciones en exposición media y 2 edificaciones en exposición alta. Por último, 40 edificaciones con daños graves en exposición media.

Tabla 8.67. Estado de conservación de las edificaciones expuestas a movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal

ESTADO DE CONSERVACIÓN	NÚMERO DE EDIFICACIONES		TOTAL
	EXPOSICIÓN MEDIA	EXPOSICIÓN ALTA	
Bueno	145	8	153
Daños Moderados	111	2	113
Daños Graves	40	0	40
Total	**296**	**10**	**306**

Fuente: elaboración propia

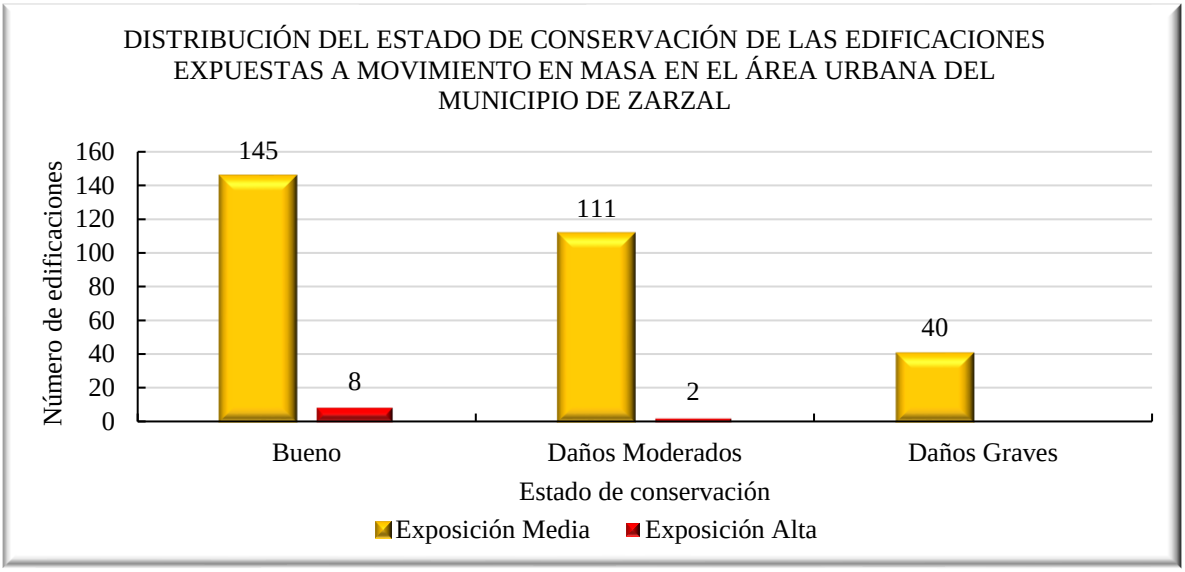


Figura 8.49. Distribución del estado de conservación de las edificaciones expuestas a movimiento en masa en el área urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

- **Edad o tiempo de servicio de la edificación**

En el análisis de la edad de las edificaciones, se consideraron 5 rangos de edad. El que obtuvo mayor frecuencia fue el rango menor a 20 años con 123 edificaciones de las cuales, 120 están en exposición media y 3 en exposición alta. Además, se encontró entre los 20 y 29 años, hay 77 edificaciones, 73 están en exposición media y 4 en exposición alta. Para el rango 30 y 39 años se encuentran 84 edificaciones evidenciaron exposición media 81 y 3 en exposición alta. En cuanto al rango entre 50 y 79 años, se encontró que 18 están en exposición media. Por último, en el rango mayor o igual a 80 años se encontró 4 edificación en exposición media (Tabla 8.68 y Figura 8.50).

Tabla 8.68. Edad o tiempo de servicio de las edificaciones expuestas a movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal

RANGO DE EDAD O TIEMPO DE SERVICIO	NÚMERO DE EDIFICACIONES		TOTAL
	EXPOSICIÓN MEDIA	EXPOSICIÓN ALTA	
<20	120	3	123
[20 - 29]	73	4	77
[30 - 49]	81	3	84
[50 - 79]	18	0	18
>=80	4	0	4
Total	**296**	**10**	**306**

Fuente: elaboración propia.

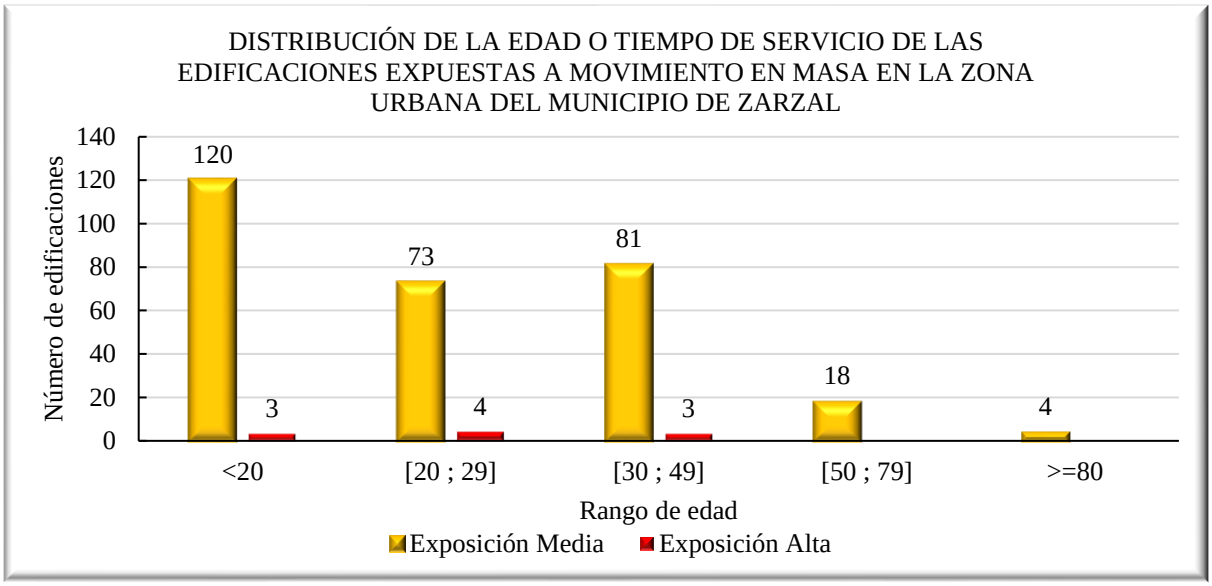


Figura 8.50. Distribución de la edad o tiempo de servicio de las edificaciones expuestas a movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

- **Número de pisos**

La altura representativa de las edificaciones fue 1 piso con un total de 243, de las cuales 235 se encuentran en exposición media y 8 en exposición alta. También se observó que 55 edificaciones han sido construidas con altura de 2 pisos, 53 localizadas en exposición media y 2 en exposición alta. Por último, se encuentran 8 edificaciones construidas con alturas de 3 piso en exposición media (Tabla 8.69 y Figura 8.51).

Tabla 8.69. Número de pisos de las edificaciones expuestas a movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal

NÚMERO DE PISOS	NÚMERO DE EDIFICACIONES		TOTAL
	EXPOSICIÓN MEDIA	EXPOSICIÓN ALTA	
1	235	8	243
2	53	2	55
3	8	0	8
Total	**296**	**10**	**306**

Fuente: elaboración propia.

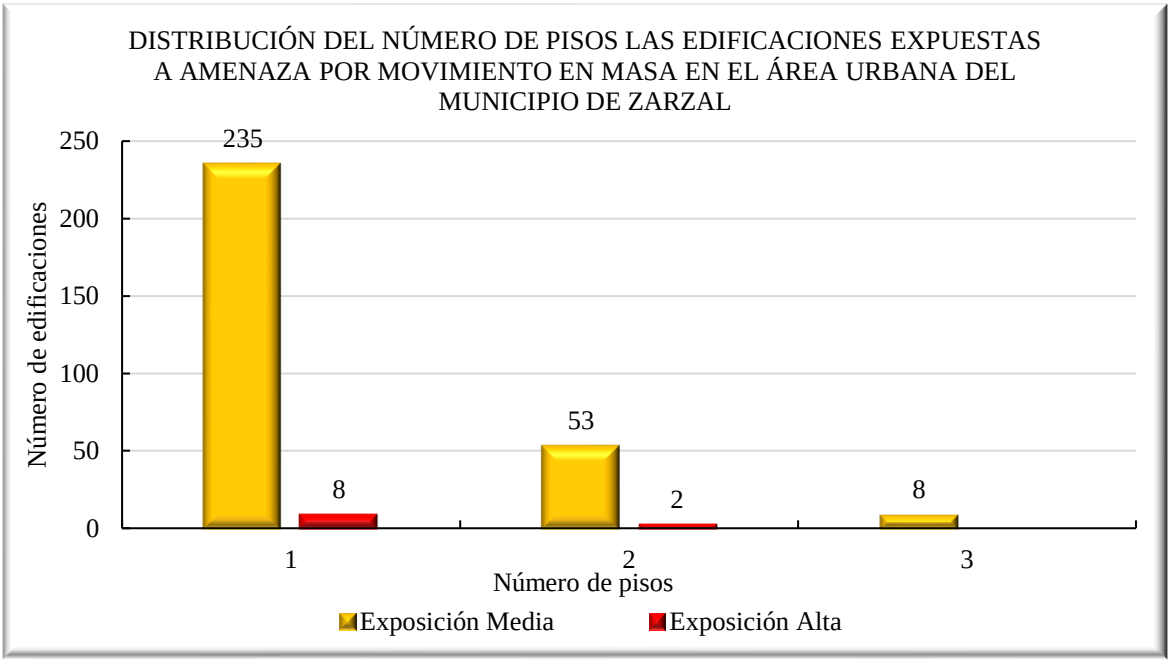


Figura 8.51. Distribución del número de pisos las edificaciones expuestas a movimiento en masa en el área urbana del Municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

La Figura 8.52, muestra la distribución de la exposición estructural por movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal. En los barrios Pama, Bolívar, Gonzalo Echeverry, Buenos Aires, El Quindio, Los Lagos Etapa III, San Rafael, Ciudadela del Norte, Los Lagos, Brisas de Rio Paila, Lina María, Los Lagos Etapa II, La Balastera, La Inmaculada, El Nevado, Asovina, La Mariela, Bajo Buenos Aires y Puertas del Sol II, sus estructuras presentan exposición media y alta.

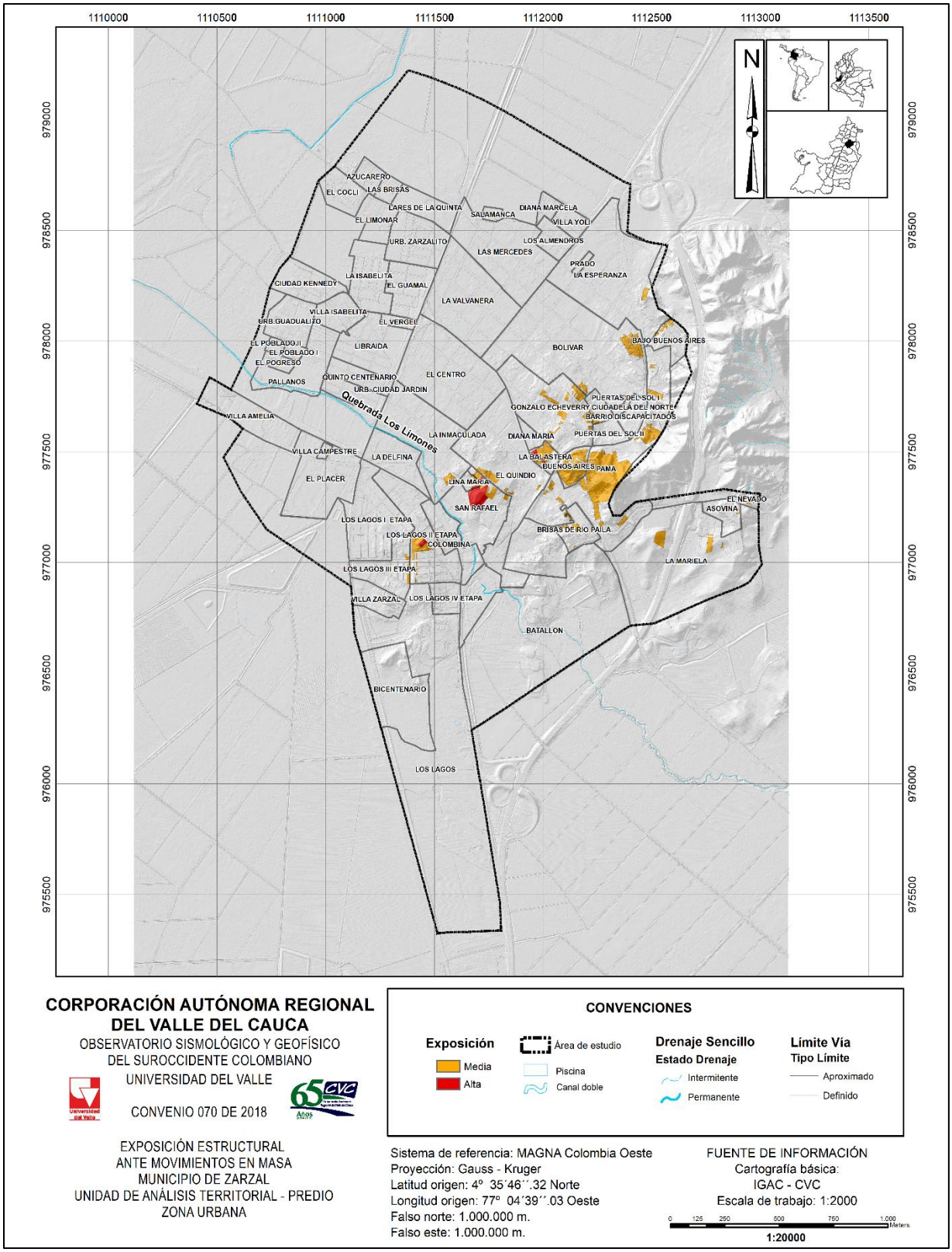


Figura 8.52. Exposición estructural ante movimiento en masa, zona urbana del municipio de Zarzal

Fuente: elaboración propia.

8.2.1.1.3. Exposición de líneas vitales

Para el análisis de los elementos expuestos funcionales para las zonas de exposición alta y media por movimiento en masa se consideró la longitud en metros lineales (m) de la red vial y la red de acueducto y cantidad de postes de energía que se encuentran expuestas ante la posible ocurrencia de un movimiento en masa.

En la Tabla 8.70 y la Figura 8.53 contiene la información en metros (m) de las líneas vitales en exposición media y alta por movimiento en masa. Estas redes se encuentran en por 1663,27 m de red vial en exposición media. La red de acueducto con 2336,10 m distribuidos en exposición media con 2335,52 m y en exposición alta con 0,58 m.

Tabla 8.70. Líneas vitales expuestas a movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal

TIPO DE LÍNEA VITAL	LONGITUD (M)		TOTAL
	EXPOSICIÓN MEDIA	EXPOSICIÓN ALTA	
Red vial	1663,27	0	1663,27
Red de acueducto	2335,52	0,58	2336,10

Fuente: elaboración propia.

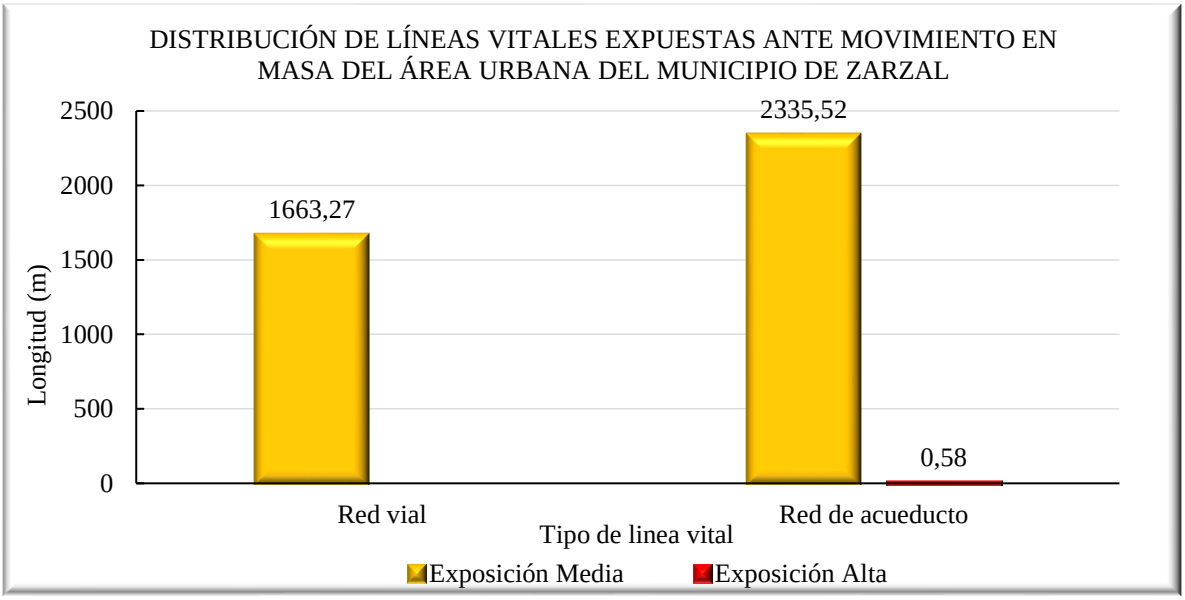


Figura 8.53. Distribución de líneas vitales expuestas a movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

Las Figura 8.54 y Figura 8.55 muestran la distribución espacial, y el nivel de exposición ante el fenómeno de movimiento en masa, de la red vial y la red de acueducto. Los barrios Pama, Bolívar, Gonzalo Echeverry, Buenos Aires, El Quindio, Los Lagos Etapa III, San Rafael, Ciudadela del Norte, Los Lagos, Brisas de Rio Paila, Lina María, Los Lagos Etapa II, La Balastera, La Inmaculada, El Nevado, Asovina, La Mariela, Bajo Buenos Aires y Puertas del Sol II presentan exposición media y alta en sus redes.

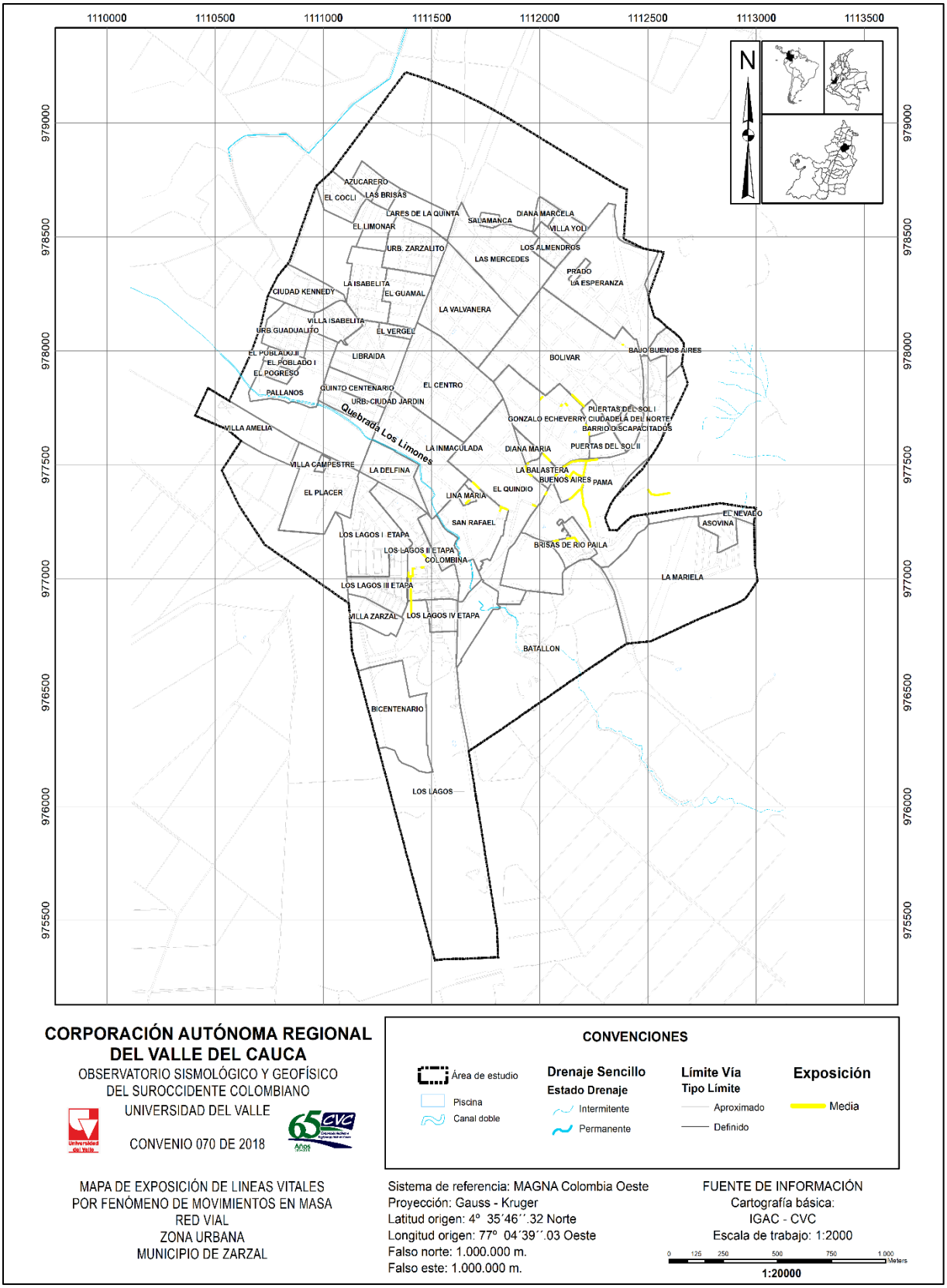


Figura 8.54. Mapa de exposición de la red vial, zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

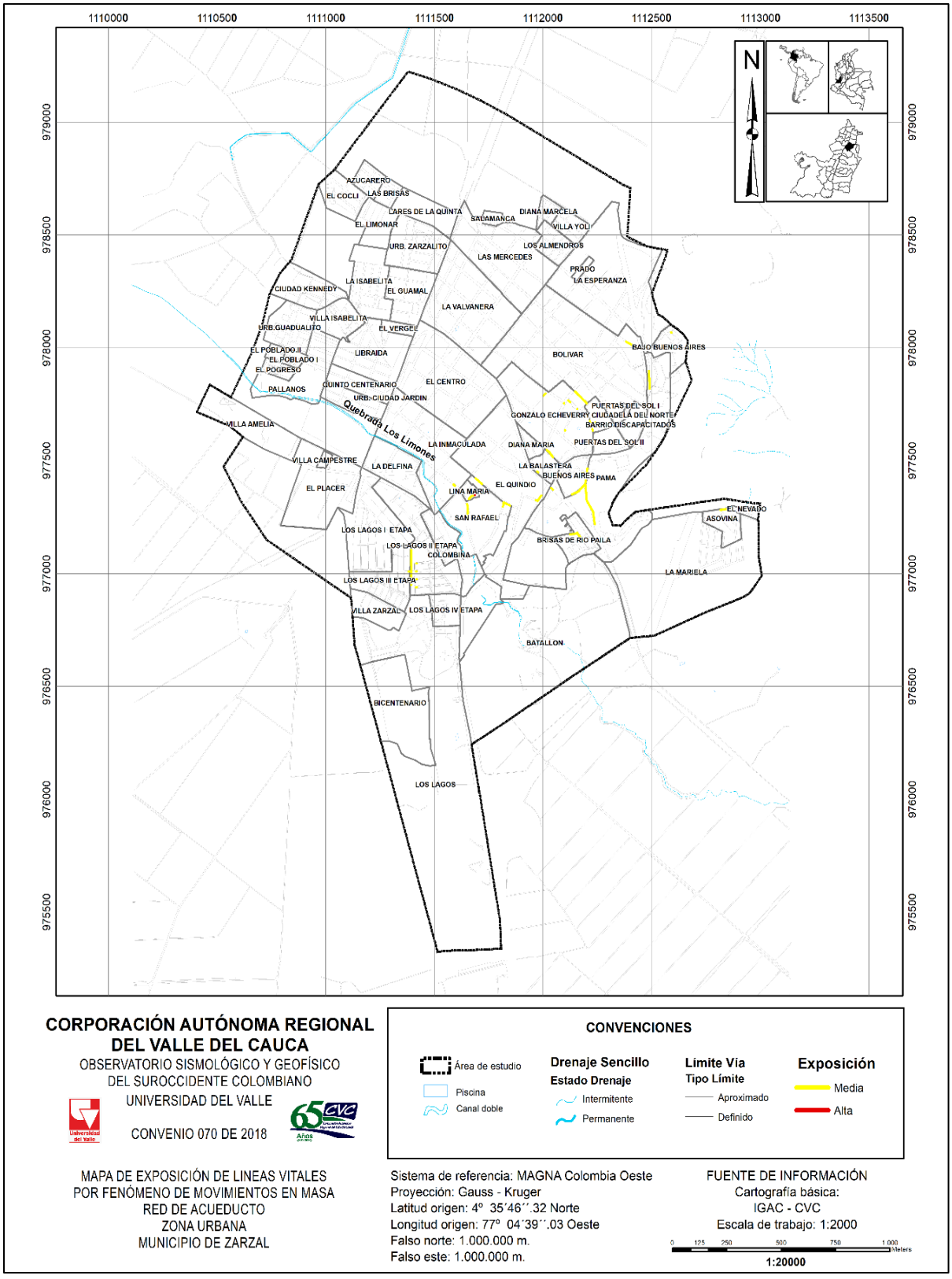


Figura 8.55. Mapa de exposición de la red de acueducto, ante el fenómeno de movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal.
Fuente: elaboración propia

En la Tabla 8.71 se muestra la distribución de los 53 postes que soportan la red de energía eléctrica, los cuales están en exposición media.

Tabla 8.71. Red eléctrica expuesta a movimiento en masa del área urbana del municipio de Zarzal

TIPO DE LÍNEA VITAL	NÚMERO DE POSTES EXPOSICIÓN MEDIA	TOTAL
Red Eléctrica	53	53

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 8.56, se representa la distribución espacial de la red eléctrica expuesta ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal.

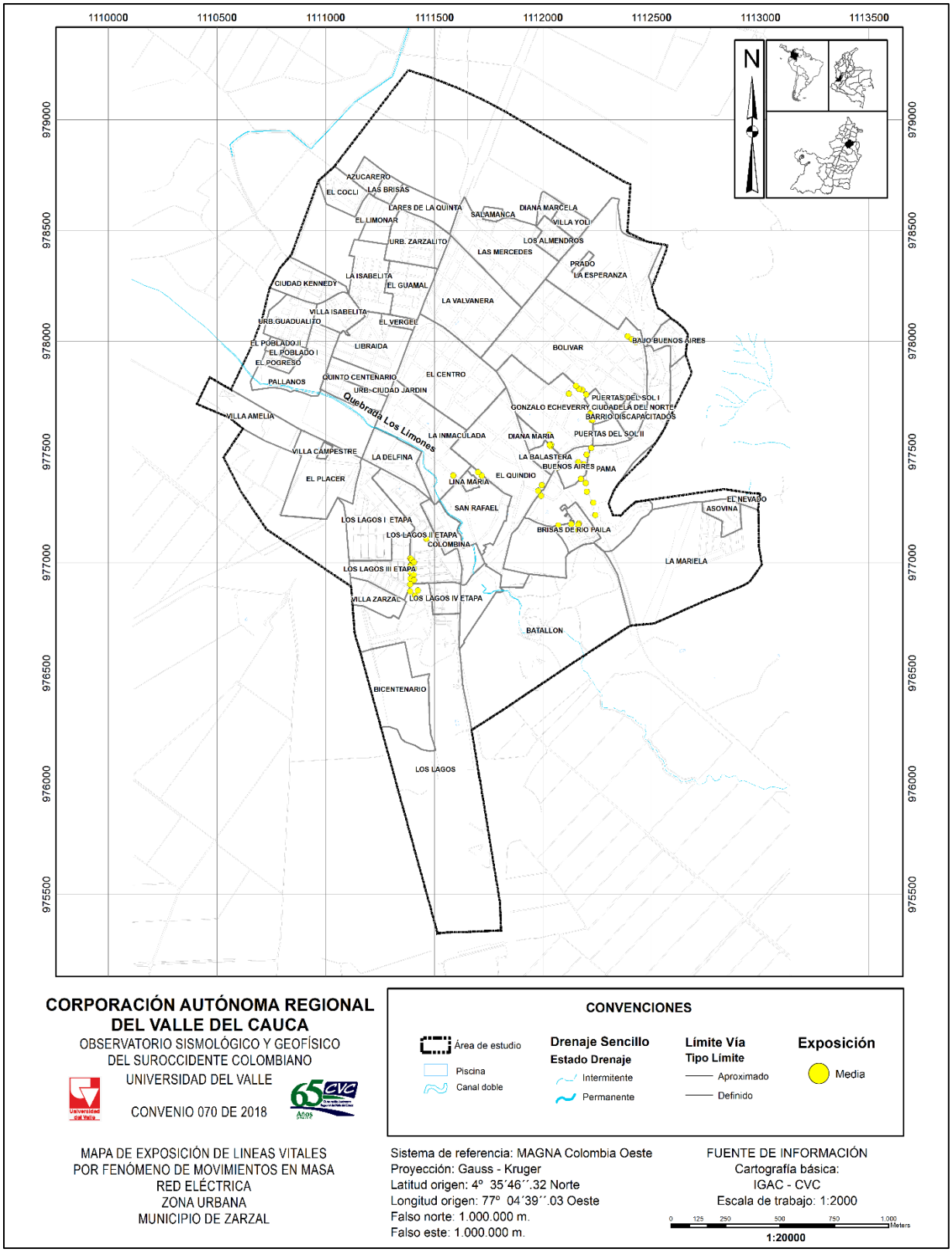


Figura 8.56. Mapa de exposición de la red eléctrica, por fenómeno de movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

8.2.1.2. Fragilidad ante movimiento en masa

Como se ha mencionado en la metodología, la fragilidad está determinada por dos factores principales, uno es la intensidad del evento y el otro es la seguridad (factor de resistencia).

8.2.2. Intensidad

La intensidad se obtiene con la información de presión de impacto y la presión límite de la estructura.

8.2.2.1. Presión de impacto ante movimientos en masa

La presión de impacto ante movimientos en masa se analizó conforme a los perfiles geológicos-geotécnicos y a las zonas de fallamiento de laderas obtenidas en el estudio de amenaza, en el cual se tuvo en cuenta los siguientes criterios de magnitud, se estableció por el volumen (m^3) de tierra que se podría mover; la intensidad, definida por la velocidad (m/s) en la que mueve la masa deslizable; y la distancia de viaje, correspondiente a la longitud recorrida por la masa hasta donde afectaría los elementos expuestos. También se consideraron los valores de exposición según las zonas descritas en la metodología.

En los perfiles topográficos se muestra la asignación de los valores de exposición. En la zona 1, se asigna cero puesto que es la parte superior del talud donde no se presentaría afectaciones por retrogresión; la zona 4 estaría por fuera del alcance del movimiento en masa, en estas dos zonas no se esperan daños a causa de los movimientos en masa. Los elementos ubicados en la zona 2 estarían sobre la zona de la ladera potencialmente inestable, los cuales serían afectados por los efectos de retrogresión; al igual que los elementos ubicados en la zona 3, zona de la trayectoria del movimiento en masa o la zona de depósito del material deslizado. En estas dos zonas se esperaría pérdida de vidas, colapsos o daños de las edificaciones e infraestructura localizada en el área.

En el municipio de Zarzal se establecieron cinco (5) secciones transversales o modelos geológico-geotécnicos de análisis, representativos de la condición actual del terreno de la zona urbana donde se podría presentar el fenómeno de movimientos en masa. En la Figura 8.57 se muestra la localización de cada una de ellas. La sección A-A’ localizada en el barrio Bicentenario, la sección B-B’ se localiza en los barrios Los Lagos I y II Etapa San José, la sección C-C’ localizado en el barrio San Rafael, la sección D-D’ localizado en los barrios, Buenos Aires y La Balastera. Por último esta la sección E-E’ localizado en el barrio Bajo Buenos Aires.

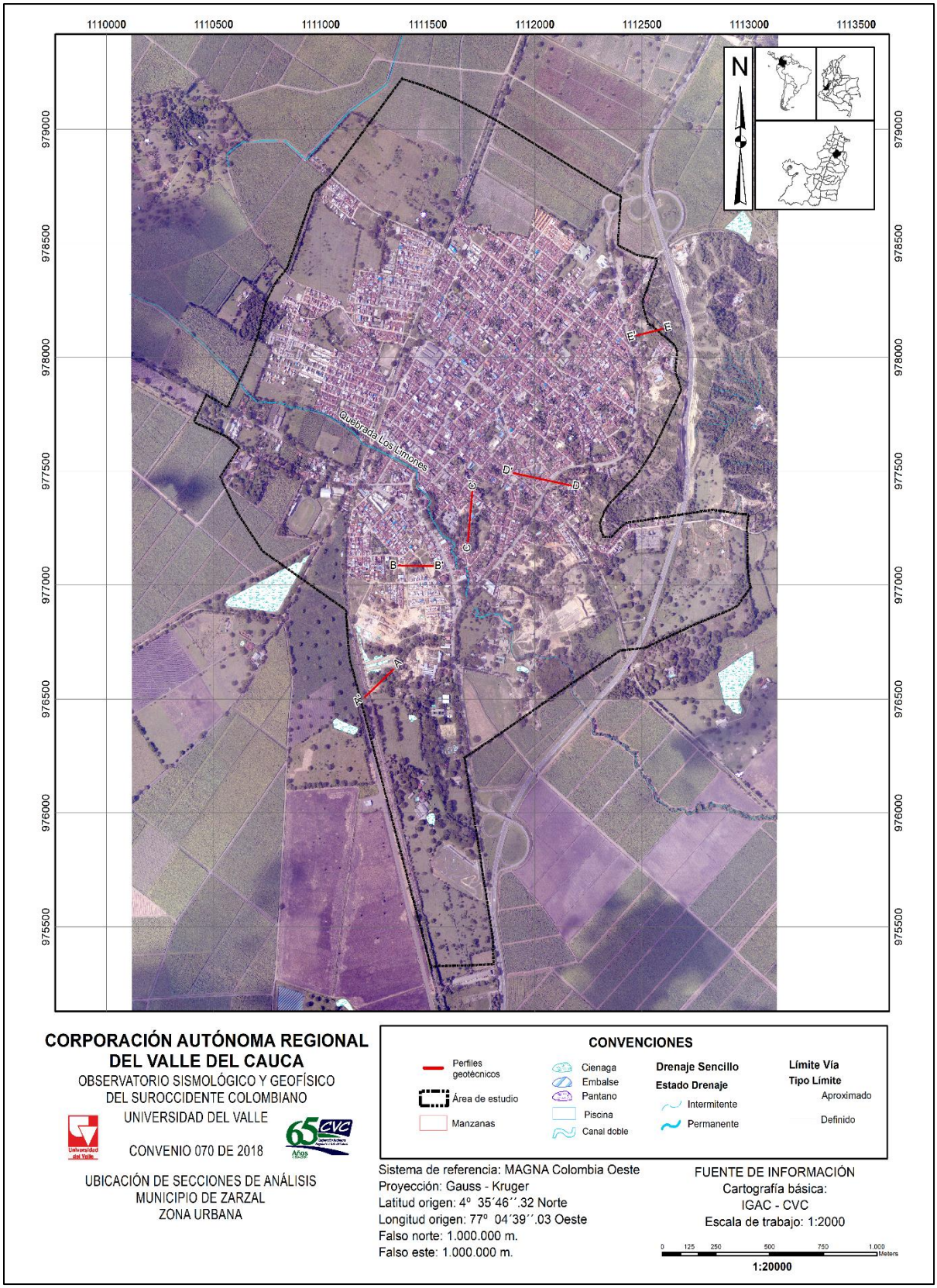


Figura 8.57. Ubicación de las secciones de análisis de la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

En las Figura 8.58 a 8.62 se presentan los perfiles, realizados en la zona urbana del municipio de Zarzal, en la que se definen las zonas de fallamiento de la ladera, donde se delimitan las cuatro zonas de exposición con base en los criterios de intensidad, magnitud y distancia de viaje.

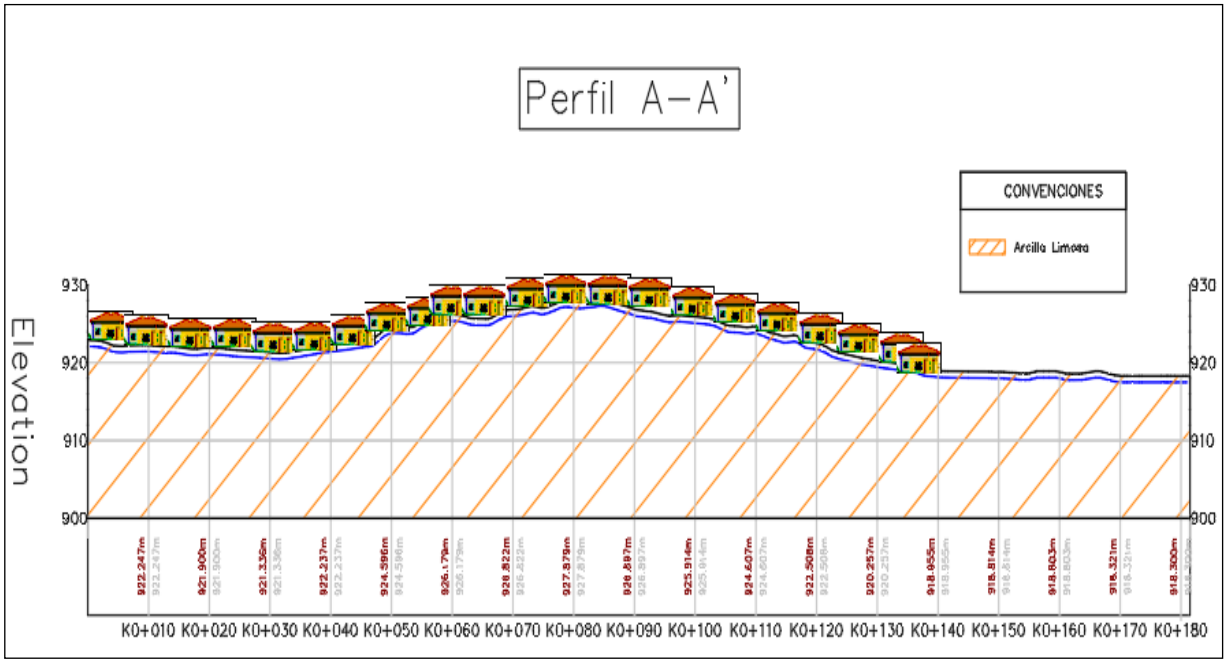


Figura 8.58. Perfil A-A´´ en el barrio Bicentenario
Fuente: elaboración propia

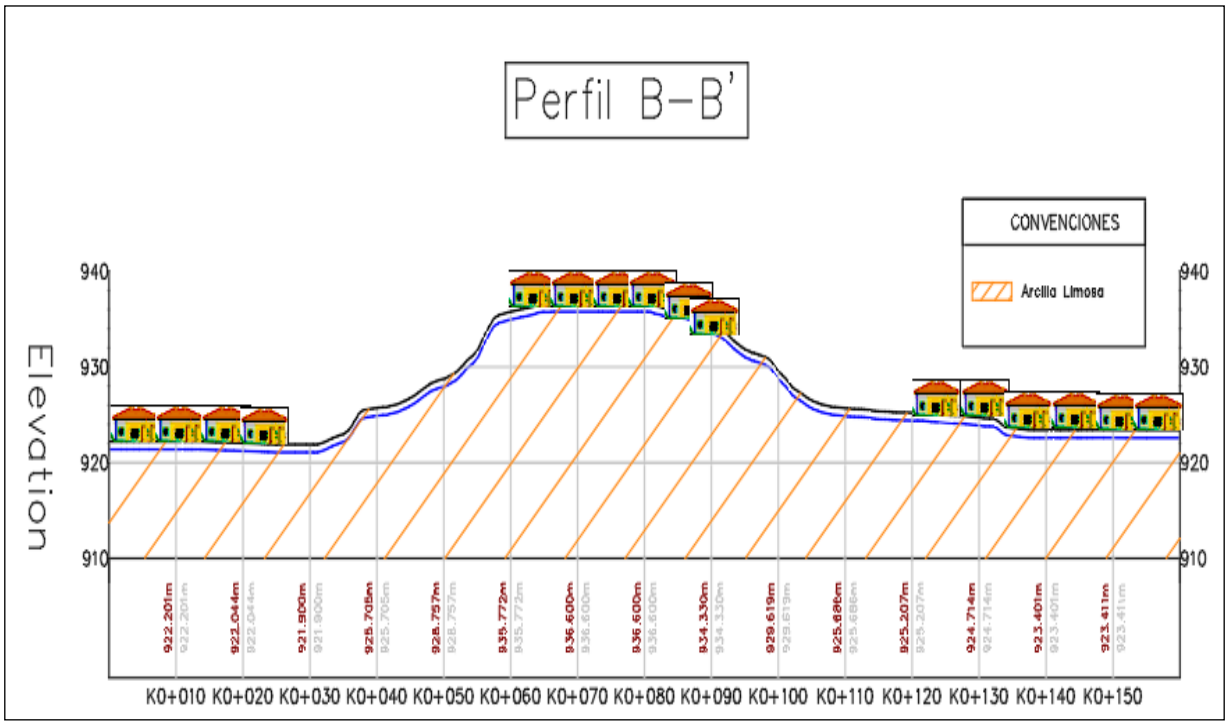


Figura 8.59. Perfil B-B´´ localizado en los barrios Los Lagos I y II Etapa
Fuente: elaboración propia

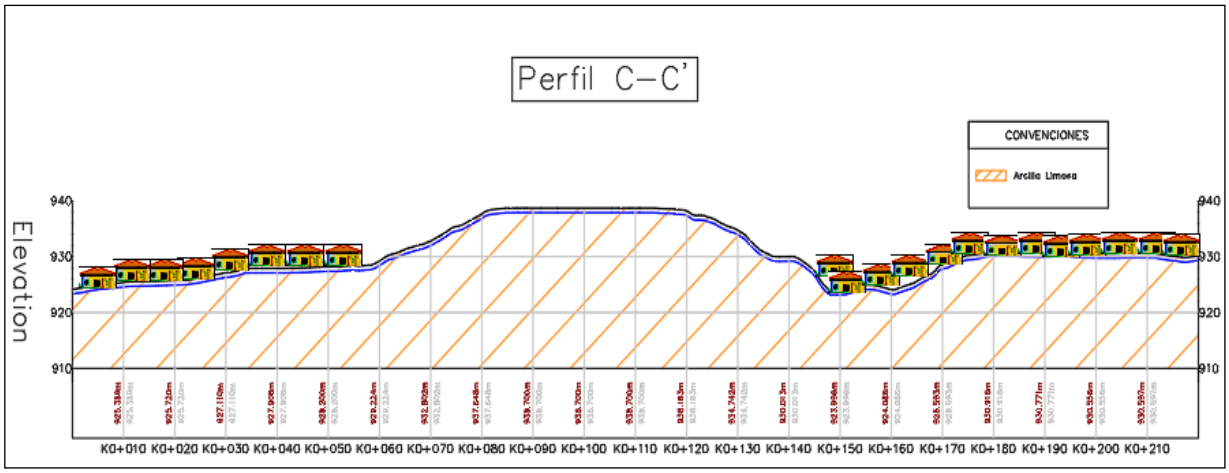


Figura 8.60. Perfil C-C´ localizado en el barrio San Rafael
Fuente: elaboración propia

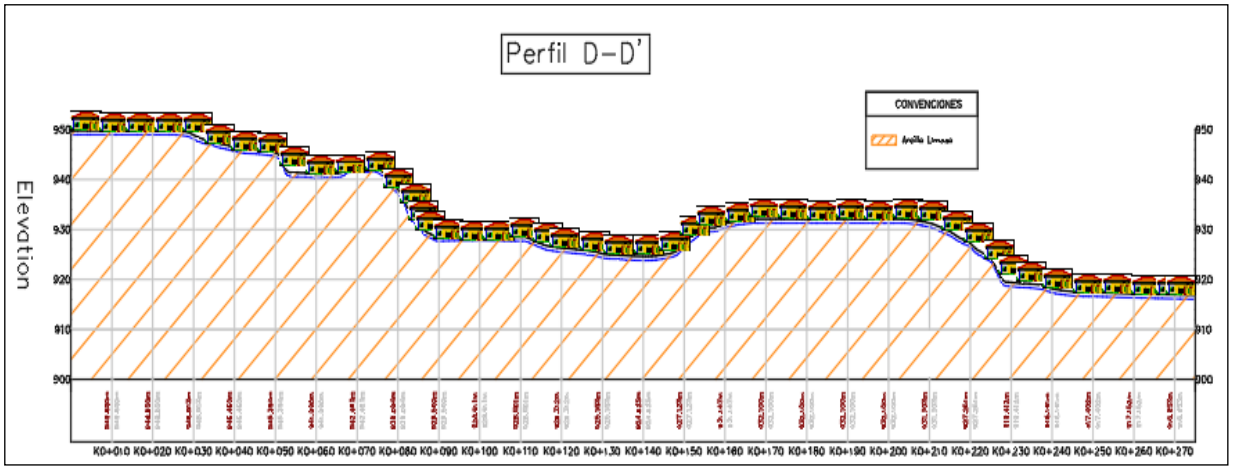


Figura 8.61. Perfil D-D´ localizado en los barrios, Buenos Aires y La Balastera
Fuente: elaboración propia

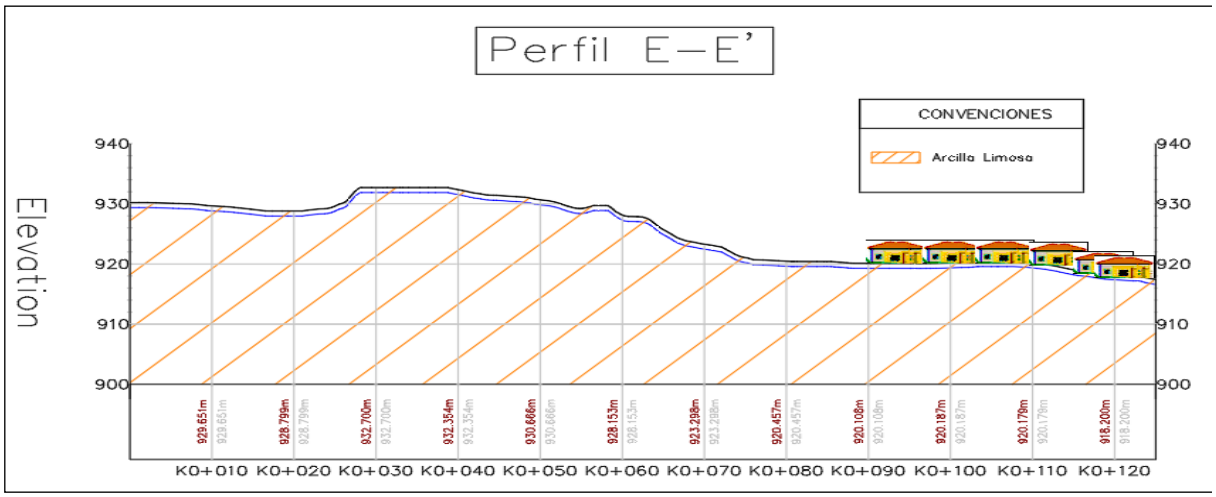


Figura 8.62. Perfil E-E´ localizado en el barrio Bajo Buenos Aires
Fuente: elaboración propia

En la Tabla 8.72, se presentan los datos de las secciones transversales de la zona que encuentran expuestas en amenaza alta y media, donde se caracteriza la probabilidad de ocurrencia de un movimiento en masa de acuerdo con los parámetros de magnitud (m^3), intensidad(m/s) y la distancia (m) establecidos en este estudio.

La sección A-A' tomada en el barrio Bicentenario presenta una magnitud (volumen) de 9116 m^3 con una Intensidad (velocidad) de 1,9 m/s y una distancia de viaje de 6 metros.

La sección B-B´ tomada en los barrios Los Lagos I y II Etapa en esta sección se encuentran dos perfiles B-B´ Derecha con una magnitud (volumen) de 3009 m^3, una intensidad (velocidad) 3,2 m/s y una distancia de viaje 7 metros. El perfil B-B´ Izquierda con una magnitud (volumen) de 2089 m^3, una intensidad (velocidad) 4,8 m/s y una distancia de viaje 10 metros.

La sección C-C´ tomada en el barrio San Rafael, en esta sección se encuentran dos perfiles C-C´ Derecha con una magnitud (volumen) de 3376 m^3, una intensidad (velocidad) 4,4 m/s y una distancia de viaje 10 metros. El perfil C-Izquierda con una magnitud (volumen) de 4811 m^3, una intensidad (velocidad) 3,2 m/s y una distancia de viaje 8 metros.

La sección D-D´ tomada en los barrios, Buenos Aires y La Balastera, con una magnitud (volumen) de 3471 m^3, una intensidad (velocidad) 4,1 m/s y una distancia de viaje 9 m.

Y por último la sección E-E´ tomada en el barrio Bajo Buenos Aires, con una magnitud (volumen) de 1756 m^3, una intensidad (velocidad) 2,4 m/s y una distancia de viaje 5m.

Tabla 8.72. Caracterización de la amenaza por movimiento en masa, zona urbana del municipio de Zarzal

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA			
SECCIÓN	**MAGNITUD Vol (m^3)**	**INTENSIDAD Velocidad (m/s)**	**DISTANCIA DE VIAJE (m)**
A-A'	9116	1,9	6
B-B' Derecha	3009	3,2	7
B-B' Izquierda	2089	4,8	10
C-C' Derecha	3376	4,4	10
C-C' Izquierda	4811	3,2	8
D-D'	3471	4,1	9
E-E'	1756	2,4	5

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 8.73 se presenta en cada una de las secciones la Densidad (kg/m^3), la Gravedad (m/s^2), la Longitud (m), el Pid (N), Pid (KN) y la Profundidad del Deslizamiento Pd (m).

Tabla 8.73. Insumos para la vulnerabilidad de Zarzal

PERFIL	DENSIDAD (kg/m^3)	GRAVEDAD (m/s^2)	LONGITUD (m)	Pid (N)	Pid (KN)	PD PROFUNDIDAD DEL DESLIZAMIENTO (m)
B-B'	1839	9,8	26	468491	468	5
C-C'	1650	9,8	31	501270	501	3
D-D'	1839	9,8	31	558586	559	5

Fuente: elaboración propia.

8.2.2.1.1. Factor de resistencia ante movimiento en masa

El factor de resistencia, indica que tan resistente es el individuo o la estructuras frente al movimiento en masa, está en relación con la información de los niveles de exposición ante el fenómeno.

- **Factor de resistencia corporal**

En la Tabla 8.74 y Figura 8.63 se presenta el factor de resistencia corporal frente al fenómeno de movimiento en masa. El 1,99% de la población obtuvo factor de resistencia alto, 9,11% factor de resistencia medio y el 89,91% presenta un factor de resistencia bajo.

Tabla 8.74. Distribución porcentual del factor de resistencia corporal por movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal

FACTOR DE RESISTENCIA CORPORAL	NUMERO DE HABITANTES	PORCENTAJE DE POBLACIÓN
Alta	12	1,99%
Media	55	9,11%
Baja	537	88,91%

Fuente: elaboración propia.

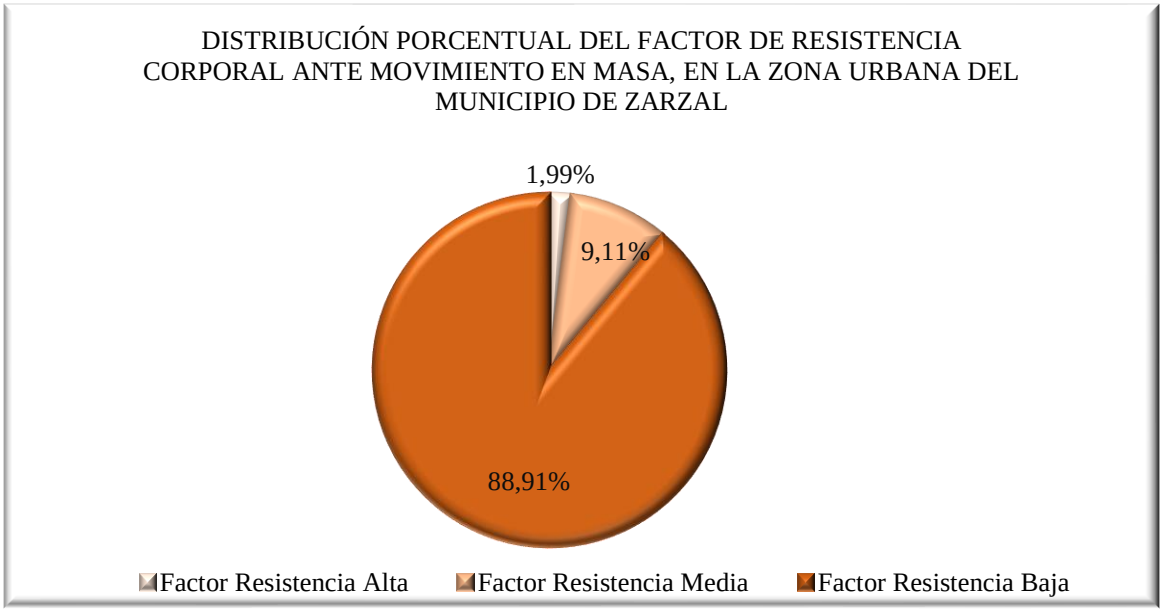


Figura 8.63. Distribución porcentual del factor de resistencia corporal ante movimiento en masa, en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

El factor de resistencia corporal ante el fenómeno de movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal se muestra la distribución espacial los niveles del factor de resistencia alta, media y baja (Figura 8.64).

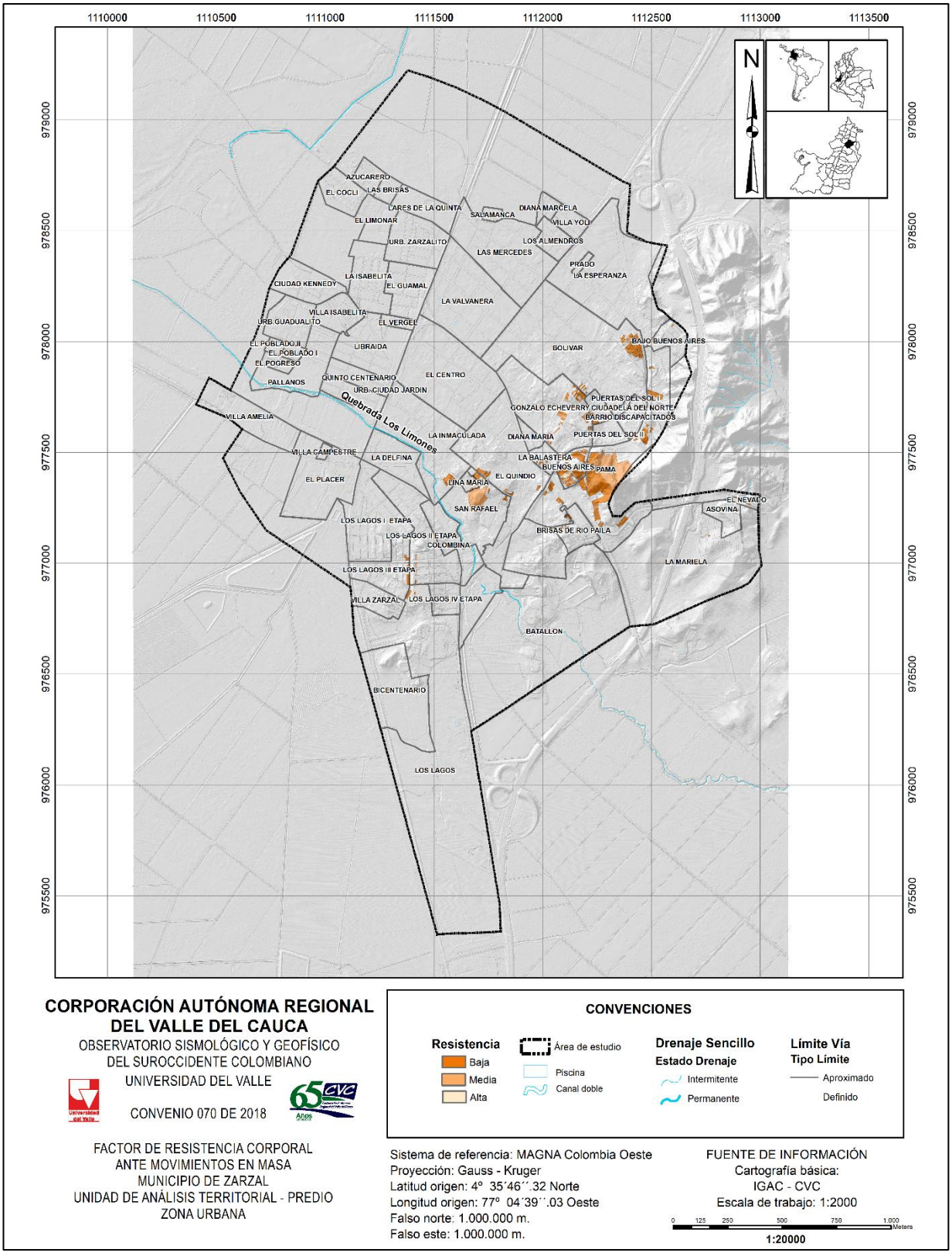


Figura 8.64. Factor de resistencia corporal ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

- **Factor de resistencia estructural**

El factor de resistencia de los elementos corporales se analiza como la capacidad que tienen los elementos estructurales de soportar los esfuerzos a los que están sometidos en un movimiento en masa teniendo en cuenta la velocidad y el volumen con relación al tipo de material empleado en la construcción de la edificación, la geometría o altura, el estado de conservación y la edad de la construcción.

El análisis de 306 edificaciones arrojó de manera general un factor de resistencia nivel bajo. A continuación, el análisis de cada uno de los factores que llevaron a este resultado.

- **Tipología de la edificación**

La tipología con mayor número de edificaciones en resistencia baja fue la mampostería no reforzada con 240 edificaciones, 52 edificaciones de tipo mampostería confinada, seguido de 11 edificaciones en madera, tapia y bahareque. Finalmente, 3 edificación con otro tipo de construcción (Tabla 8.75 y Figura 8.65).

Tabla 8.75. Factor de resistencia según su tipología de edificación

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	NÚMERO DE EDIFICACIONES FACTOR DE RESISTENCIA BAJA
Mampostería no Reforzada	240
Mampostería Confinada	52
Madera, Tapia, Bahareque	11
Otro (Material reciclado)	3
Total	**306**

Fuente: elaboración propia.

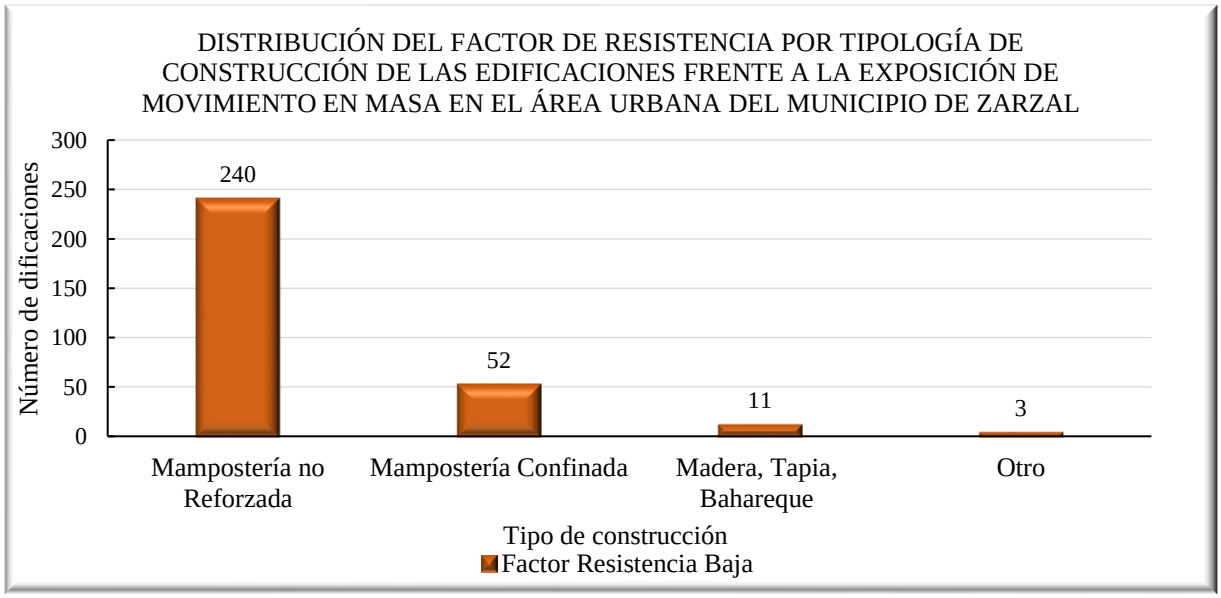


Figura 8.65. Distribución del factor de resistencia por tipología de construcción de las edificaciones ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

- **Estado de conservación de la edificación**

El análisis del factor de resistencia según el estado de conservación se definió con las categorías: bueno, daños moderados, daños graves. En la Tabla 8.76 se presenta que las edificaciones en estado bueno hay 153 edificaciones. Con daños moderados 113 edificaciones y con daños graves 40 edificaciones (Figura 8.66).

Tabla 8.76. Factor de resistencia según estado de conservación

ESTADO DE CONSERVACIÓN	NÚMERO DE EDIFICACIONES FACTOR DE RESISTENCIA BAJA
Bueno	153
Daños Moderados	113
Daños Graves	40
Total	**306**

Fuente: elaboración propia.

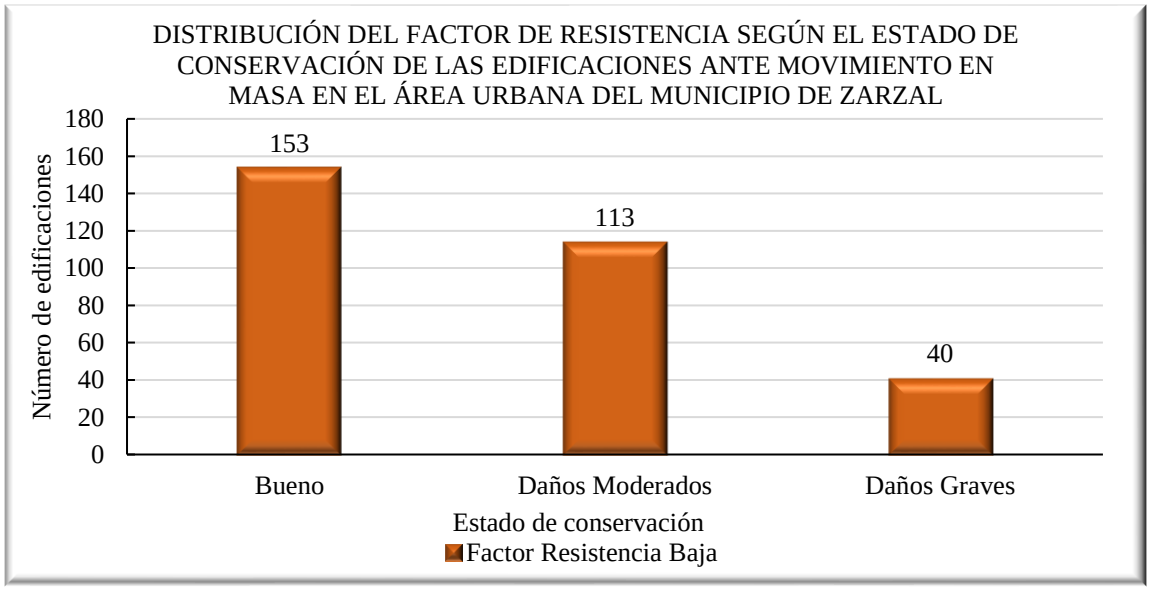


Figura 8.66. Distribución del factor de resistencia según el estado de conservación de las edificaciones por movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

- **Edad o tiempo de servicio de la edificación**

El número de las edificaciones según la edad o el tiempo de servicio de la edificación se muestra en la Tabla 8.77 en la cual, el tiempo de servicio se estableció por rangos. Se encontró que el rango de edad con mayor frecuencia fue menor a 20 años con 123 edificaciones. Edificaciones entre los 20 y 29 años, se tienen 77. Dentro del rango de edad entre los 30 y 39 años, se obtuvieron 84 edificaciones. En cuanto al rango de edad entre los 50 y 79 años, se encontró 18 edificaciones. Finalmente se encuentran 4 edificaciones de 80 años o más de tiempo de construido (Figura 8.67).

Tabla 8.77. Factor de resistencia según rango de edad o tiempo de servicio

RANGO DE EDAD	NÚMERO DE EDIFICACIONES FACTOR DE RESISTENCIA BAJA
<20	123
[20; 29]	77
[30; 49]	84
[50; 79]	18
>=80	4
Total	**306**

Fuente: elaboración propia.

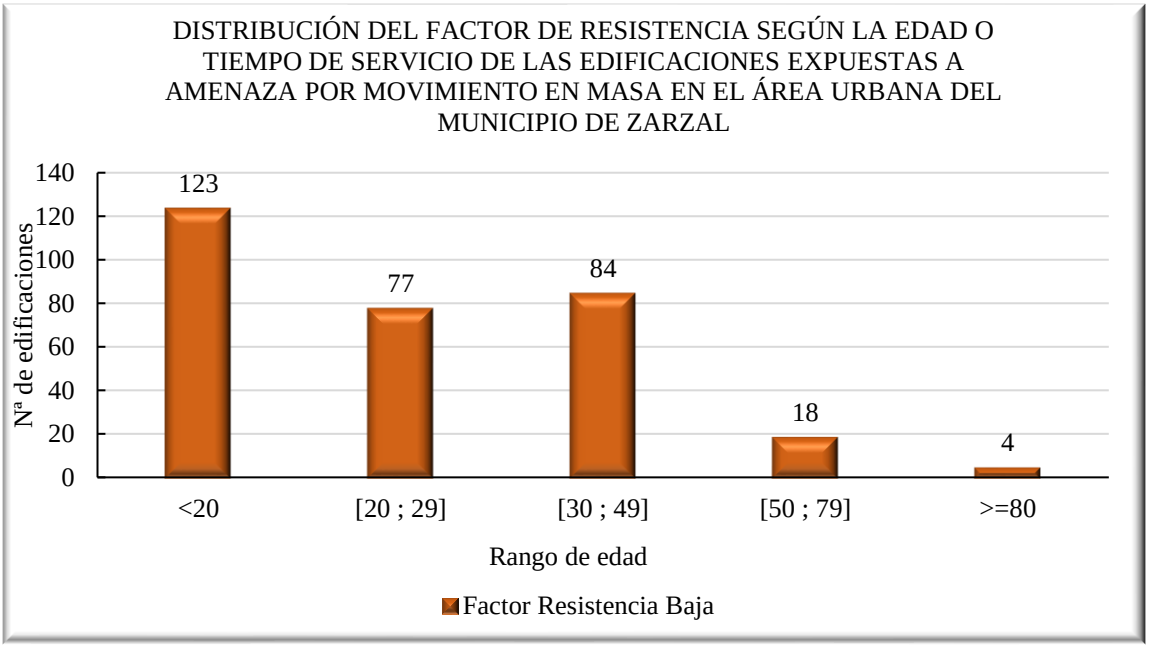


Figura 8.67. Distribución de factor de resistencia según la edad o tiempo de servicio de las edificaciones por movimiento en masa, zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

- **Altura de la edificación**

Según la altura de las edificaciones expuestas ante movimiento en masa, se observó que, de las 88 edificaciones, 79 de ellas tienen 1 piso y 9 edificaciones tiene 2 pisos (Tabla 8.78 y Figura 8.68).

Tabla 8.78. Factor de resistencia según altura de las edificaciones

NÚMERO DE PISOS	NÚMERO DE EDIFICACIONES FACTOR DE RESISTENCIA BAJA
1	243
2	55
3	8
Total	**306**

Fuente: elaboración propia.

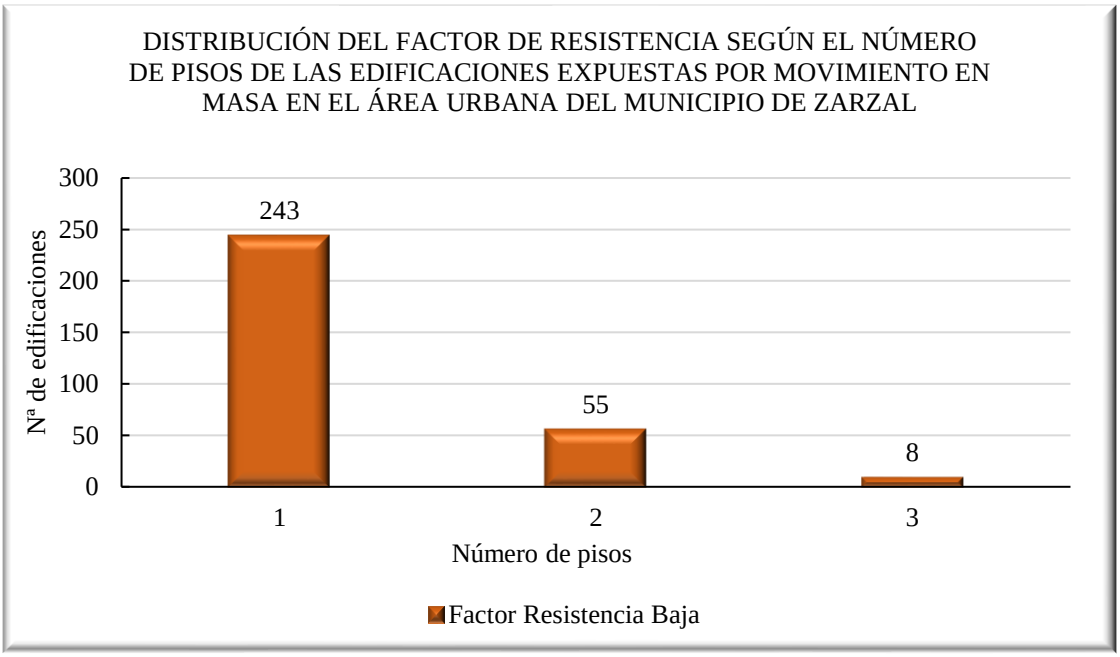


Figura 8.68. Distribución del factor de resistencia según el número de pisos de las edificaciones por movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

La Figura 8.69, muestra el comportamiento espacial de la resistencia estructural ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal. Las edificaciones en los barrios Pama, Bolívar, Gonzalo Echeverry, Buenos Aires, El Quindio, Los Lagos Etapa III, San Rafael, Ciudadela del Norte, Los Lagos, Brisas de Rio Paila, Lina María, Los Lagos Etapa II, La Balastera, La Inmaculada, El Nevado, Asovina, La Mariela, Bajo Buenos Aires y Puertas del Sol II, presentan factor de resistencia baja.

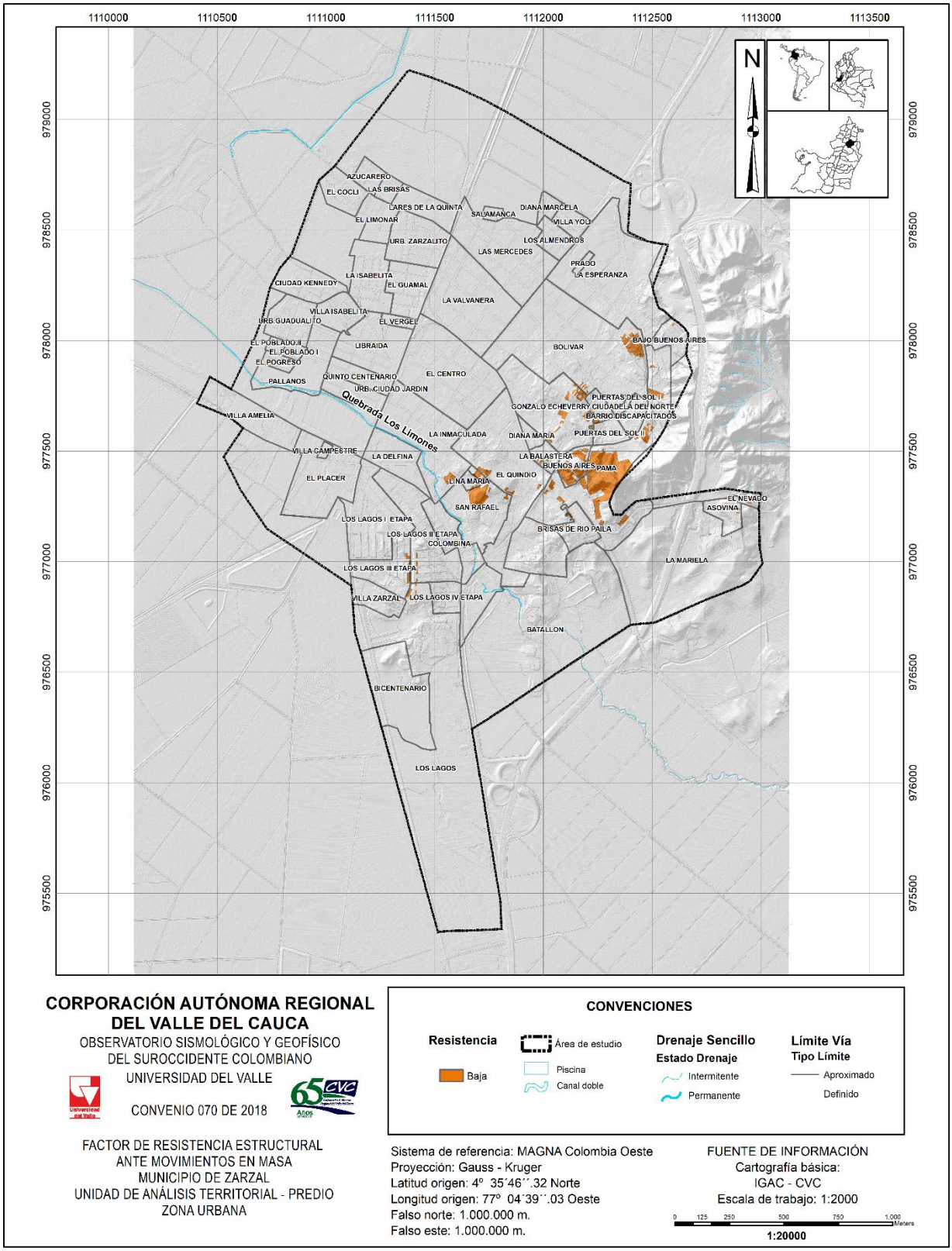


Figura 8.69. Factor de resistencia estructural ante movimiento en masa, zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

- **Factor de resistencia de líneas vitales**

Se realiza el análisis para las redes viales y eléctricas. Cabe mencionar, que no fue posible realizar el análisis para las redes de acueducto, tal como se mencionó en la metodología, puesto que no se contó con la información necesaria para su análisis a detalle.

- **Factor de resistencia red vial**

De acuerdo con lo planteado en la metodología, el análisis de la red vial está en función del tipo de material (asfalto o concreto) y el ancho de la vía.

Los 1663,3 m de red vial en el municipio de Zarzal presenta resistencia baja, el cual 638,59 m se encuentran en material de asfalto, donde 414,47 m tienen factor de resistencia media 325,51 y 224,12 m con factor de resistencia baja. Los 621,64 m de red vial en material de concreto, tienen factor de resistencia media 31,93 m y con factor de resistencia baja se encuentran 310,70 m. Finalmente la red vial sin recubrimiento de capa asfáltica o concreto se encuentran 403,05 m de los cuales con factor de resistencia media 29,42 m y con factor de resistencia baja 373,62 m tiene 71,26 m (Tabla 8.79 y Figura 8.70).

También se obtuvo el factor de resistencia según su distribución de la longitud de la vía y su respectivo ancho de los 1663,3 m. Encontrándose anchos viales de 2 m a 8 m (Tabla 8.80). De los 754,83 m de longitud de la red vial en resistencia media se encuentran 376,7 m con un ancho de 5 m, 128,8 m con un ancho de 6 y 249,4 con un ancho 8 m. Las vías con resistencia baja se encuentran 908,45 m, de los cuales 102,0 m con un ancho de 2 m, 328,0 m con un ancho de 3 m y 478,4 m con un ancho de 4 m (Figura 8.71).

Tabla 8.79. Factor de resistencia de la red vial según su material ante movimiento en masa, zona urbana del municipio de Zarzal

MATERIAL DE LA RED VIAL	LONGITUD (M)		
	FACTOR RESISTENCIA MEDIA	FACTOR RESISTENCIA BAJA	TOTAL
Asfalto	414,47	224,12	638,59
Concreto	310,93	310,70	621,64
Destapada	29,42	373,62	403,05
Total	754,83	908,45	1663,28

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8.80. Factor de resistencia de la red vial según su ancho(m) ante movimiento en masa, zona urbana del municipio de Zarzal

ANCHO DE LA RED VIAL	LONGITUD (M)		
	FACTOR RESISTENCIA MEDIA	FACTOR RESISTENCIA BAJA	TOTAL
2	0	102,0	102,0
3	0	328,0	328,0
4	0	478,4	478,4
5	376,7	0	376,7
6	128,8	0	128,8
8	249,4	0	249,4
Total	**754,83**	**908,45**	**1663,28**

Fuente: elaboración propia.

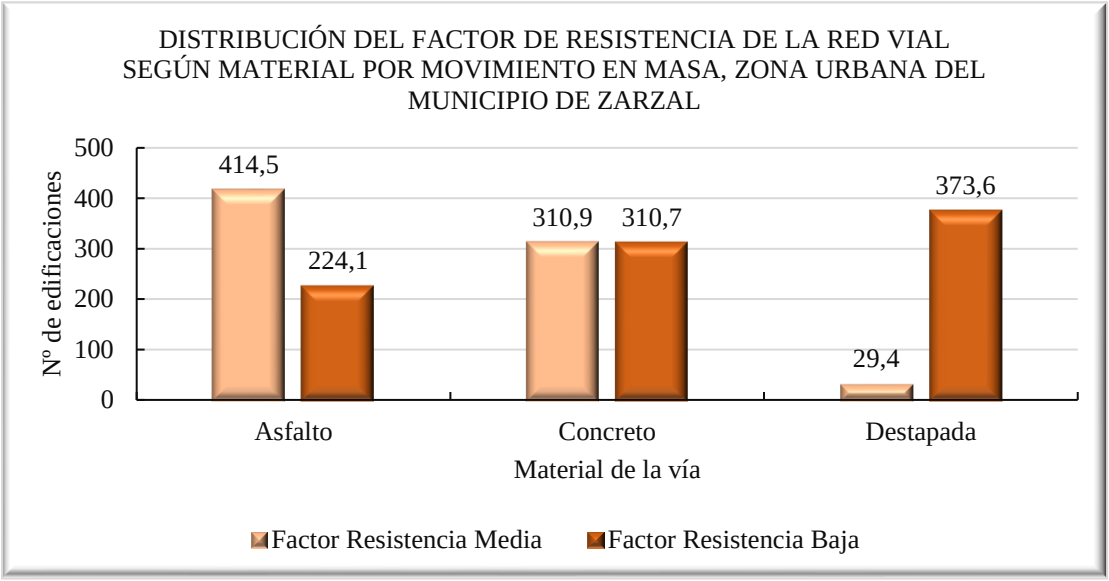


Figura 8.70. Distribución del factor de resistencia de la red vial según su material por movimiento en masa, zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

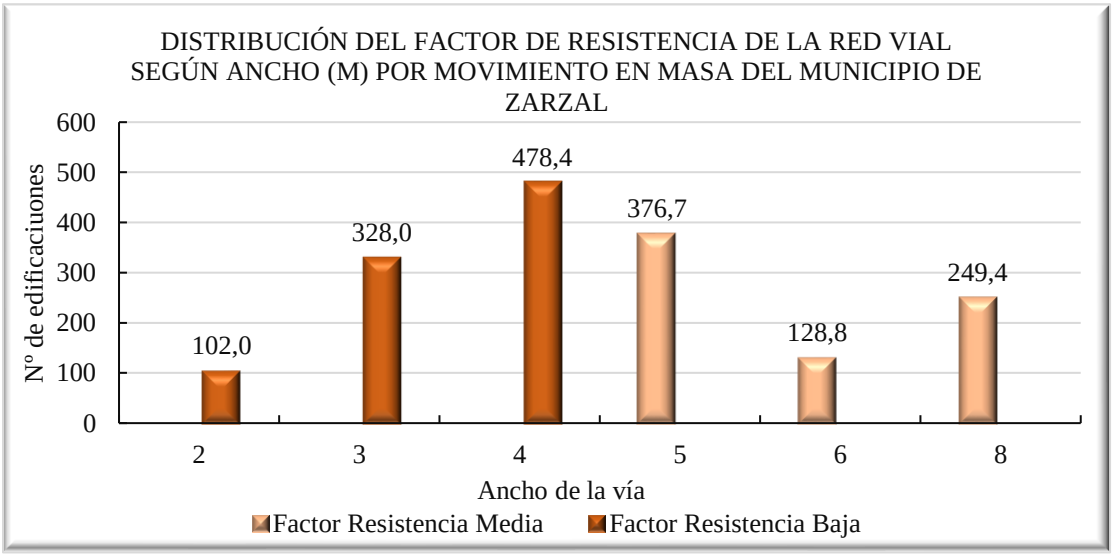


Figura 8.71. Distribución del actor de resistencia de la red vial según ancho(m) por movimiento en masa, zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

La Figura 8.72 muestra el comportamiento espacial del factor de resistencia media y baja en la red vial ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal en tramos de vías en los barrios Pama, Bolívar, Gonzalo Echeverry, Buenos Aires, El Quindio, Los Lagos Etapa III, San Rafael, Ciudadela del Norte, Los Lagos, Brisas de Rio Paila, Lina María, Los Lagos Etapa II, La Balastera, La Inmaculada, El Nevado, Asovina, La Mariela, Bajo Buenos Aires y Puertas del Sol II.

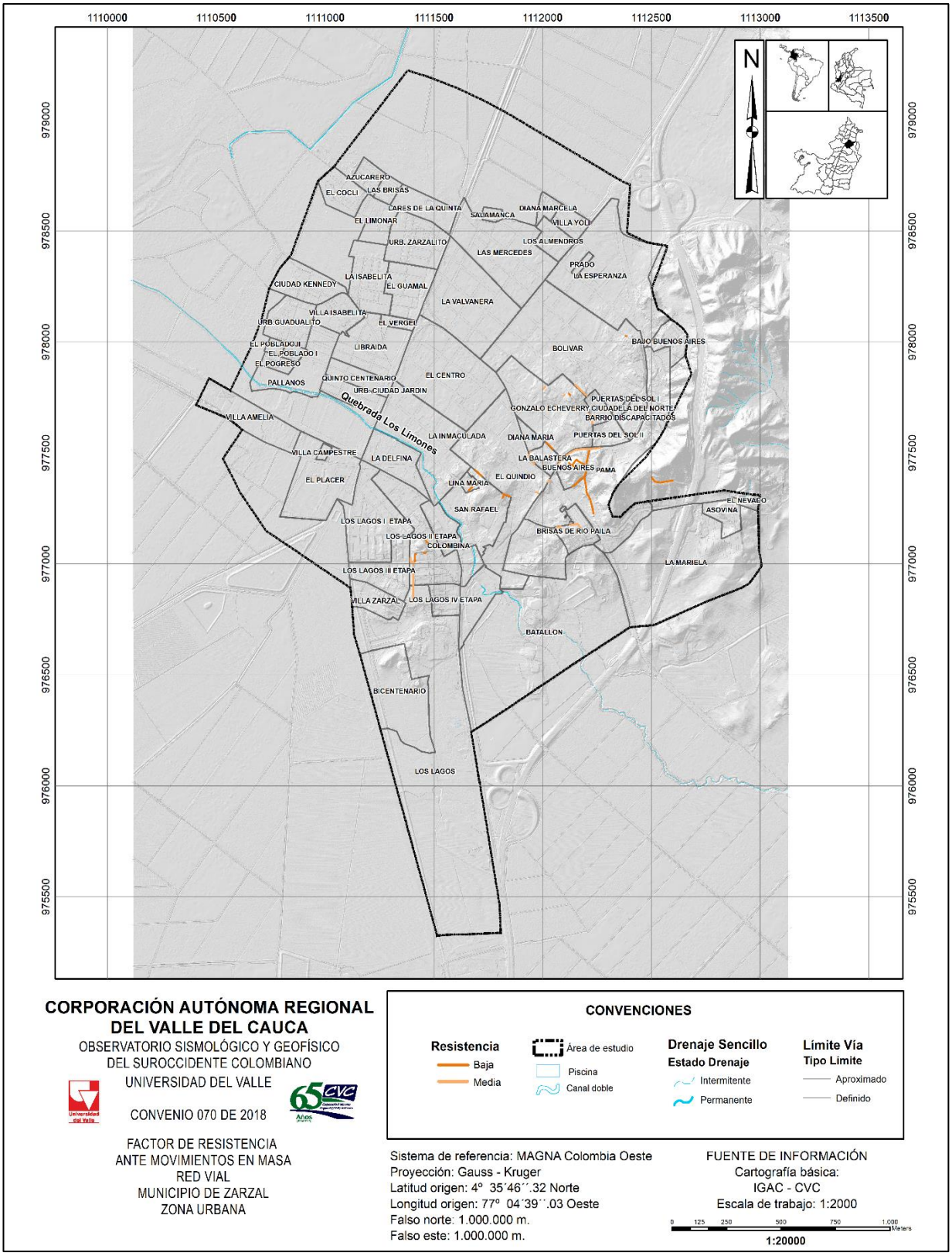


Figura 8.72. Factor de resistencia de la red vial ante movimiento en masa, zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

- **Factor de resistencia red eléctrica**

De acuerdo con la metodología el cálculo del factor de resistencia tiene dos criterios de análisis importantes el material y la carga nominal de los postes. Los resultados arrojaron factor de resistencia baja en los 53 postes expuestos ante movimiento en masa.

La Tabla 8.81 muestra el número de postes y su tipo de material. Los 53 postes analizados son de material de concreto con una carga nominal de 5001N con factor de resistencia baja.

Tabla 8.81. Factor de resistencia de postes según su material y carga nominal

MATERIAL	CARGA NOMINAL	NÚMERO DE POSTES FACTOR DE RESISTENCIA BAJA
Concreto	5001N	53
TOTAL		**53**

Fuente: elaboración propia.

La Figura 8.73 muestra el comportamiento espacial de la resistencia en la red eléctrica ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal. Los 53 postes que soportan la red de energía eléctrica analizados, los cuales presentan factor de resistencia baja localizados en los barrios Pama, Bolívar, Gonzalo Echeverry, Buenos Aires, El Quindio, Los Lagos Etapa III, San Rafael, Ciudadela del Norte, Los Lagos, Brisas de Rio Paila, Lina María, Los Lagos Etapa II, La Balastera, La Inmaculada, El Nevado, Asovina, La Mariela, Bajo Buenos Aires y Puertas del Sol II.

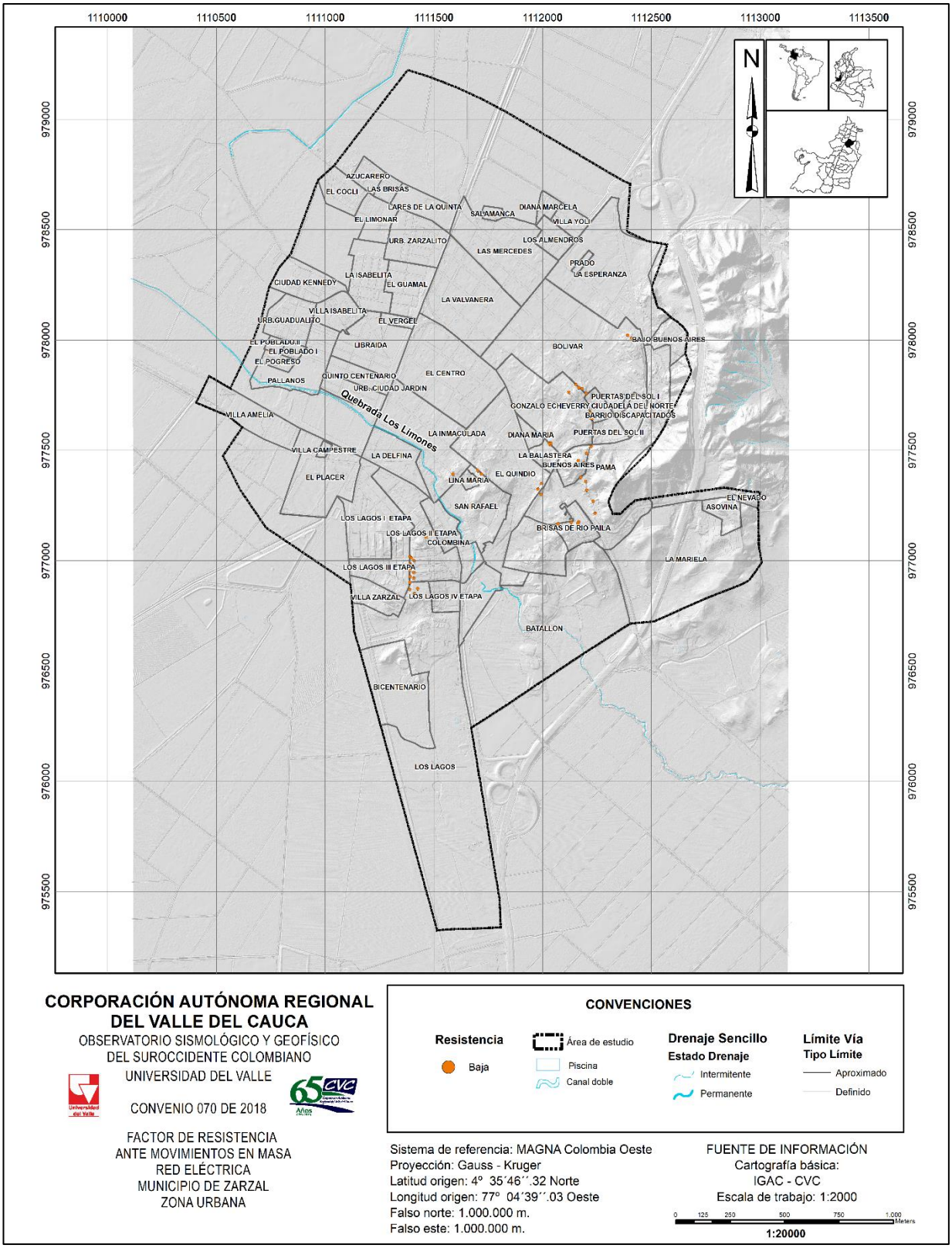


Figura 8.73. Factor de resistencia ante movimiento en masa de la red eléctrica, en la zona del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

8.2.3. Cálculo y zonificación de vulnerabilidad ante movimientos en masa

Para el análisis de la vulnerabilidad se consideran los resultados obtenidos de la exposición ante la amenaza y el factor de resistencia de la población y las edificaciones para el fenómeno de movimiento en masa en el área urbana del municipio de Zaral.

A continuación, se presentan los resultados de vulnerabilidad corporal, vulnerabilidad estructural y vulnerabilidad de líneas vitales.

8.2.3.1. Vulnerabilidad corporal

En el análisis de la vulnerabilidad corporal se consideró la exposición y el factor de resistencia ante movimientos en masa de la población ubicada en las zonas de amenaza alta y media en el área urbana del municipio de Zarzal.

En la Tabla 8.82 y Figura 8.74 se muestra el nivel de vulnerabilidad corporal a partir del porcentaje de la población encuestada, el 80,80% tienen vulnerabilidad alta, el 1,.16% poseen vulnerabilidad media y el 18,04% poseen vulnerabilidad baja.

Tabla 8.82. Distribución del nivel de vulnerabilidad corporal de la zona urbana del municipio de Zarzal

NIVEL VULNERABILIDAD	Nº PERSONAS	Nº EDIFICACIONES	% POBLACIÓN	ÀREA M^2	% ÁREA M^2
Alta	488	115	80,80%	49374,00	59,72%
Media	7	3	1,16%	7117,35	8,61%
Baja	109	30	18,04%	26180,95	31,67%
Total	604	148	100	**82672,30**	**100%**

Fuente: elaboración propia.

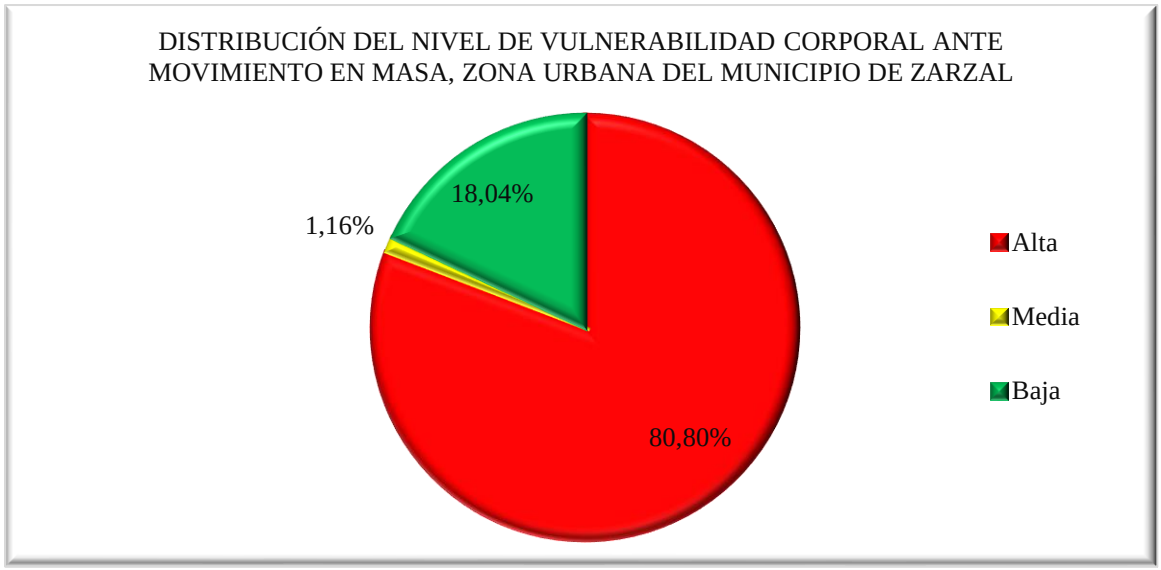


Figura 8.74. Distribución del nivel de vulnerabilidad corporal en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

La Figura 8.75 muestra la distribución de la vulnerabilidad corporal ante el fenómeno de movimiento en masa de la zona urbana del municipio de Zarzal de la población encuestada. Presentando vulnerabilidad corporal alta los barrios Pama con 62 personas, Bolívar con 57, Gonzalo Echeverry, Buenos Aires con 27, Ciudadela del Norte con 7 personas, con 8 personas los barrios El Quindio y San Rafael, Brisas de Río Paila con 7 personas, los barrios El Nevado y La Balastera con 3 personas, los barrios La inmaculada y Lina María con 2 personas. Finalmente están los barrios Asovina, Bajos de Buenos Aires, y La Mariela con una persona vulnerable.

En cuanto a la población vulnerable que se encuentra en las 306 edificaciones en la zona de amenaza alta y media por movimiento en masa, se identificó la población de 223 edificaciones tiene un nivel de vulnerabilidad alta. En 5 edificaciones que la habita presenta en nivel de vulnerabilidad media. Por último, con el nivel de vulnerabilidad baja se encuentra la población de 77 edificaciones.

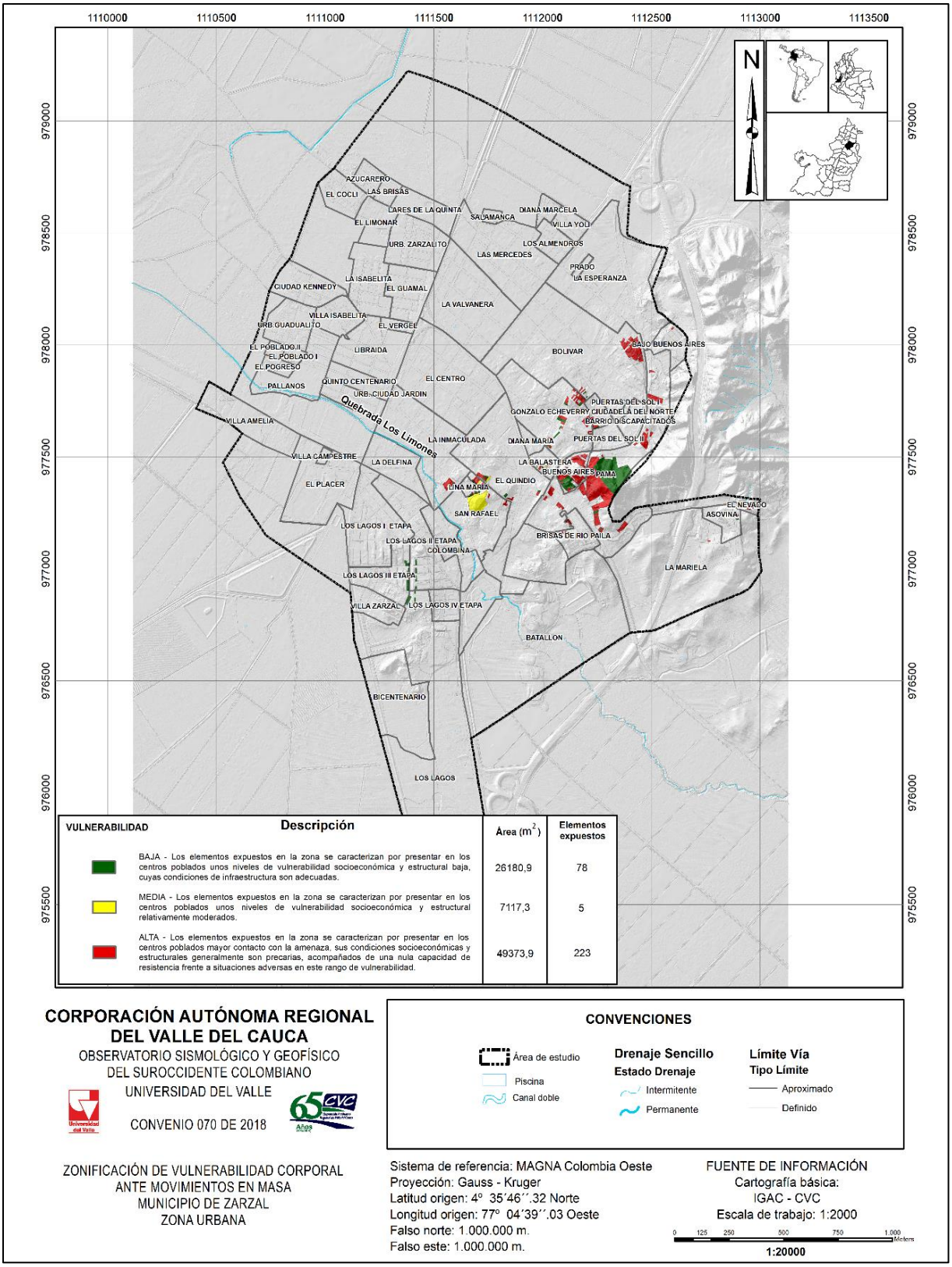


Figura 8.75. Zonificación de vulnerabilidad corporal ante movimiento en masa, zona urbana de municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

8.2.3.2. Vulnerabilidad estructural

En el análisis de vulnerabilidad estructural se clasificó en alta, media y bajo como lo muestra la Tabla 8.83 la relación entre el número de edificaciones, área m^2 y porcentaje de área. En la zona urbana del municipio se encontró un total de 306 edificaciones y un total de área 82672,30 m^2. Las edificaciones con vulnerabilidad alta se halló 286 edificaciones siendo el 95,32% del área. En vulnerabilidad media se encuentran 5 edificaciones y un total de área 1072,37 m^2, es decir el 1,30% Mientras que, en el nivel de vulnerabilidad baja se encontró 15 edificaciones y un total de área 2798,40 m^2 con un porcentaje del área total del 3,38% (Figura 8.76).

Tabla 8.83. Vulnerabilidad estructural por movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal,

VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL	NÚMERO DE EDIFICACIONES	ÁREA M^2	PORCENTAJE ÁREA
Alta	286	78801,52	95,32%
Media	5	1072,37	1,30%
Baja	15	2798,40	3,38%
Total	**306**	**82672,30**	**100%**

Fuente: elaboración propia.

Figura 8.76. Distribución porcentual del área (m^2) de la vulnerabilidad estructural por movimiento en masa de la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

La Figura 8.77 muestra el comportamiento espacial de la vulnerabilidad estructural por movimiento en masa en a la zona urbana del municipio de Zarzal. Obteniendo principalmente edificaciones con vulnerabilidad baja en el barrio los barrios Pama, Bolívar, Gonzalo Echeverry, Buenos Aires, Ciudadela del Norte, El Quindio, San Rafael, Brisas de Río Paila, El Nevado, La Balastera, La Inmaculada, Lina María, Asovina, Bajos de Buenos Aires, La Mariela, Los Lagos, Los Lagos II y III.

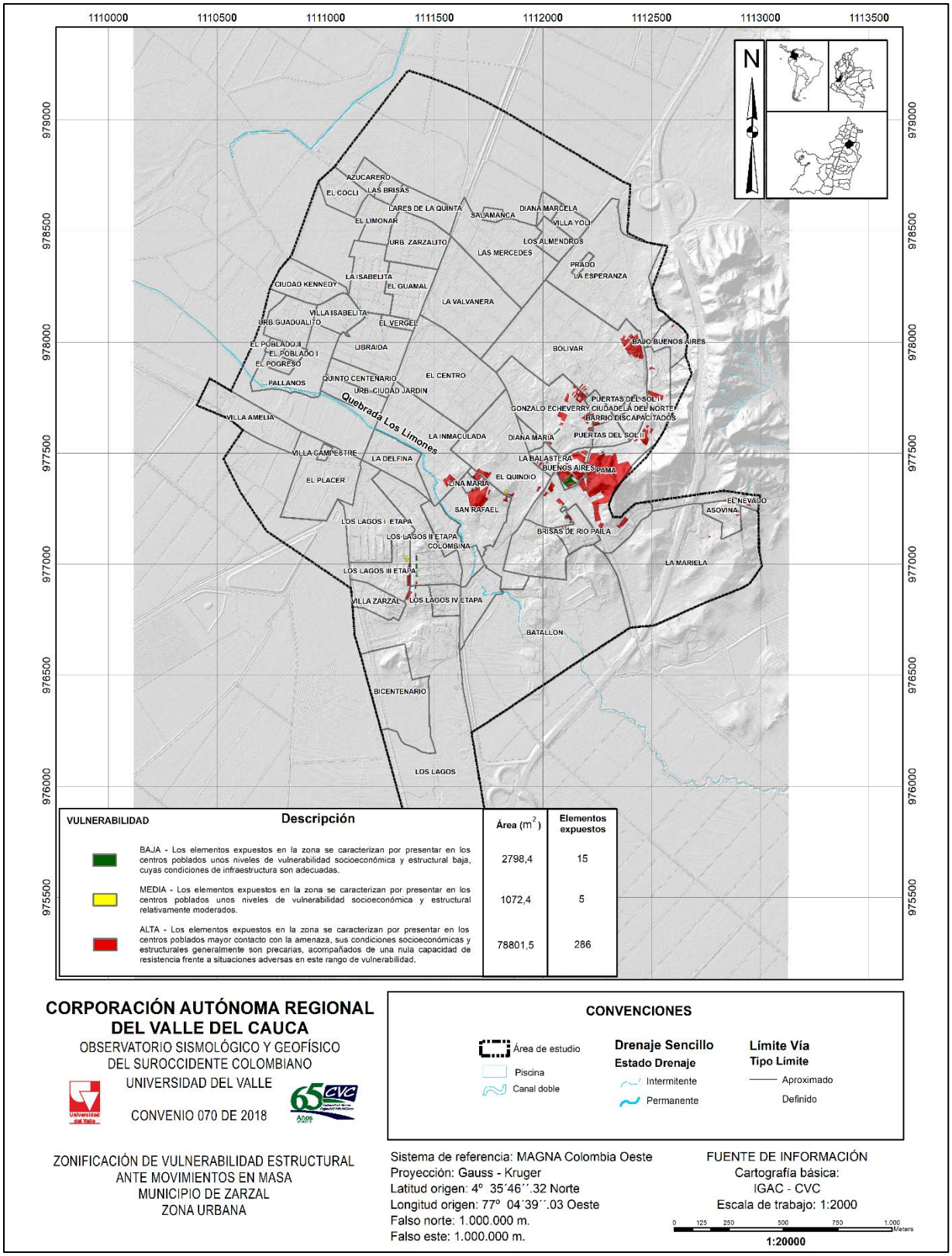


Figura 8.77. Zonificación de vulnerabilidad estructural ante movimiento en masa, zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

8.2.3.3. Vulnerabilidad de las líneas vitales

En el municipio de Zarzal, el análisis de vulnerabilidad de las líneas vitales se realizó para la red vial y los postes que soportan la red eléctrica.

- ***Red vial***

Los 1663,26 metros de longitud de la red vial se clasificó en vulnerabilidad alta y baja ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal, el cual 426,82m se encuentra en vulnerabilidad alta y 1236,44 m en vulnerabilidad baja (Tabla 8.84 y Figura 8.78).

Tabla 8.84. Vulnerabilidad de la red vial por movimiento en masa, zona urbana del municipio de Zarzal

NIVEL DE VULNERABILIDAD	LONGITUD (M) RED VIAL	%RED VIAL
Alta	426,82	25,7
Baja	1236,44	74,3
Total	**1663,26**	**100%**

Fuente: elaboración propia.

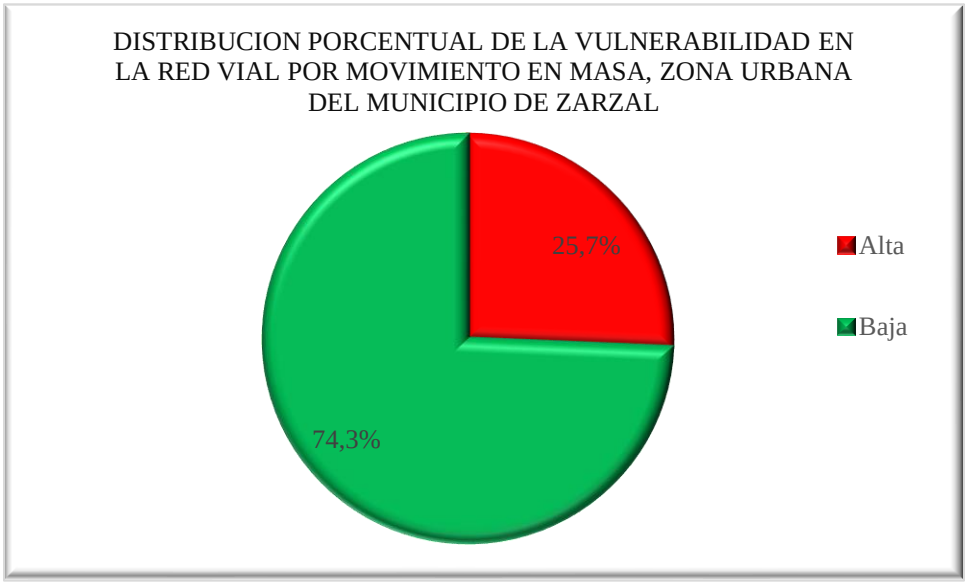


Figura 8.78. Distribución de la vulnerabilidad de la red vial por movimiento en masa, zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

La Figura 8.79 muestra la distribución de la vulnerabilidad en la red vial por movimiento en masa. La red vial del barrio el Lázaro presenta vulnerabilidad baja ante movimiento en masa, mientras que, los tramos de vía analizados en los barrios Pama, Bolívar, Gonzalo Echeverry, Buenos Aires, El Quindio, Los Lagos Etapa III, San Rafael, Ciudadela del Norte, Los Lagos, Brisas de Rio Paila, Lina María, Los Lagos Etapa II, La Balastera, La Inmaculada, El Nevado, Asovina, La Mariela, Bajo Buenos Aires y Puertas del Sol II son altamente vulnerables.

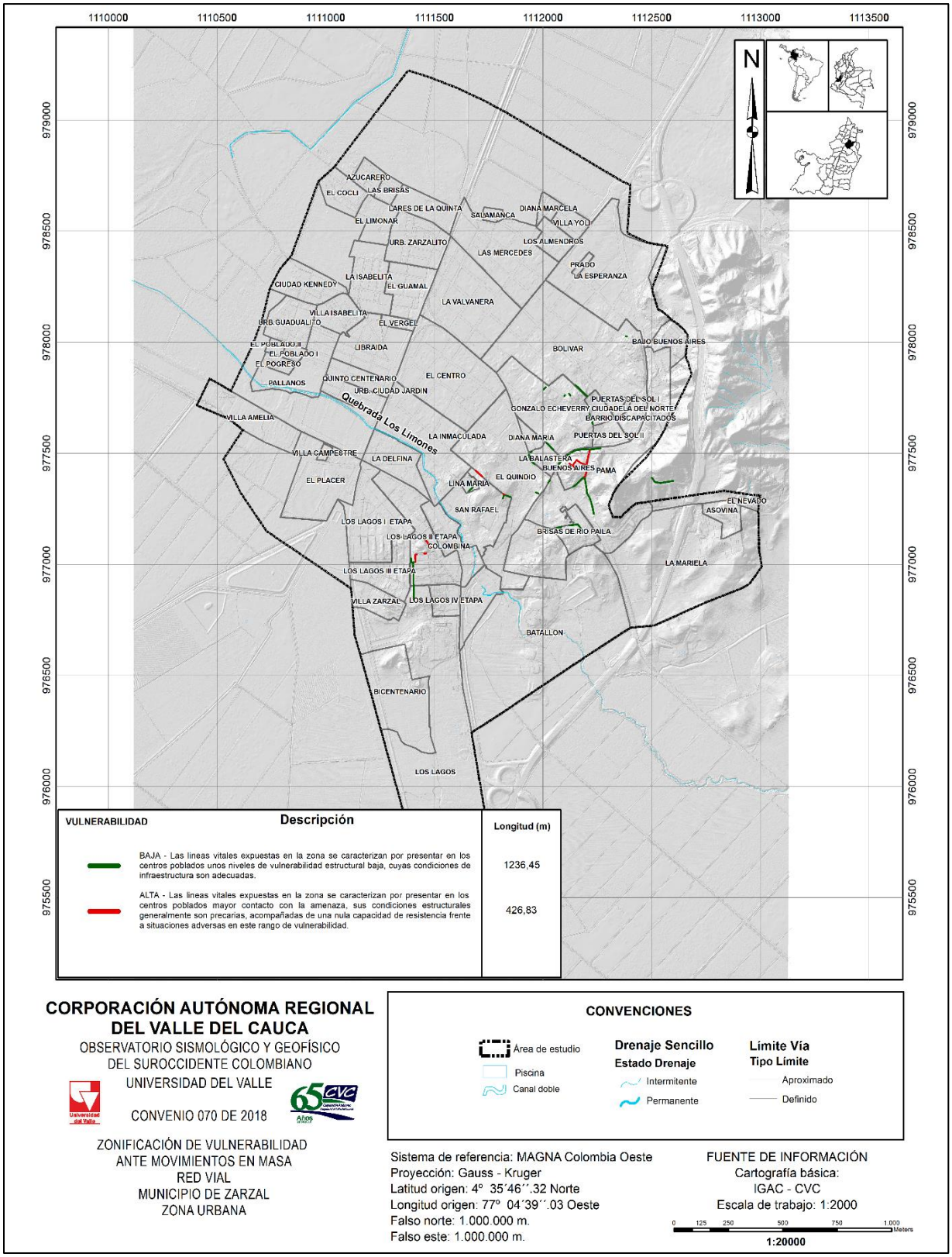


Figura 8.79. Zonificación de vulnerabilidad ante movimiento en masa de la red vial en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

- ***Red eléctrica***

Los 53 postes analizados arrojaron vulnerabilidad alta ante movimiento en masa, como lo muestra la Tabla 8.85

Tabla 8.85. Vulnerabilidad de la red eléctrica por movimiento en masa, zona urbana del municipio de Zarzal

LINEA VITAL	NIVEL DE VULNERABILIDAD (NÚMERO DE POSTES)
	ALTA
Red eléctrica	53
Total	**53**

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 8.80 muestra el comportamiento espacial de la vulnerabilidad en la red eléctrica por movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal. La totalidad de los 53 postes que soportan la red de energía eléctrica distribuidos en los barrios Pama, Bolívar, Gonzalo Echeverry, Buenos Aires, El Quindio, Los Lagos Etapa III, San Rafael, Ciudadela del Norte, Los Lagos, Brisas de Rio Paila, Lina María, Los Lagos Etapa II, La Balastera, La Inmaculada, El Nevado, Asovina, La Mariela, Bajo Buenos Aires y Puertas del Sol II son altamente vulnerables.

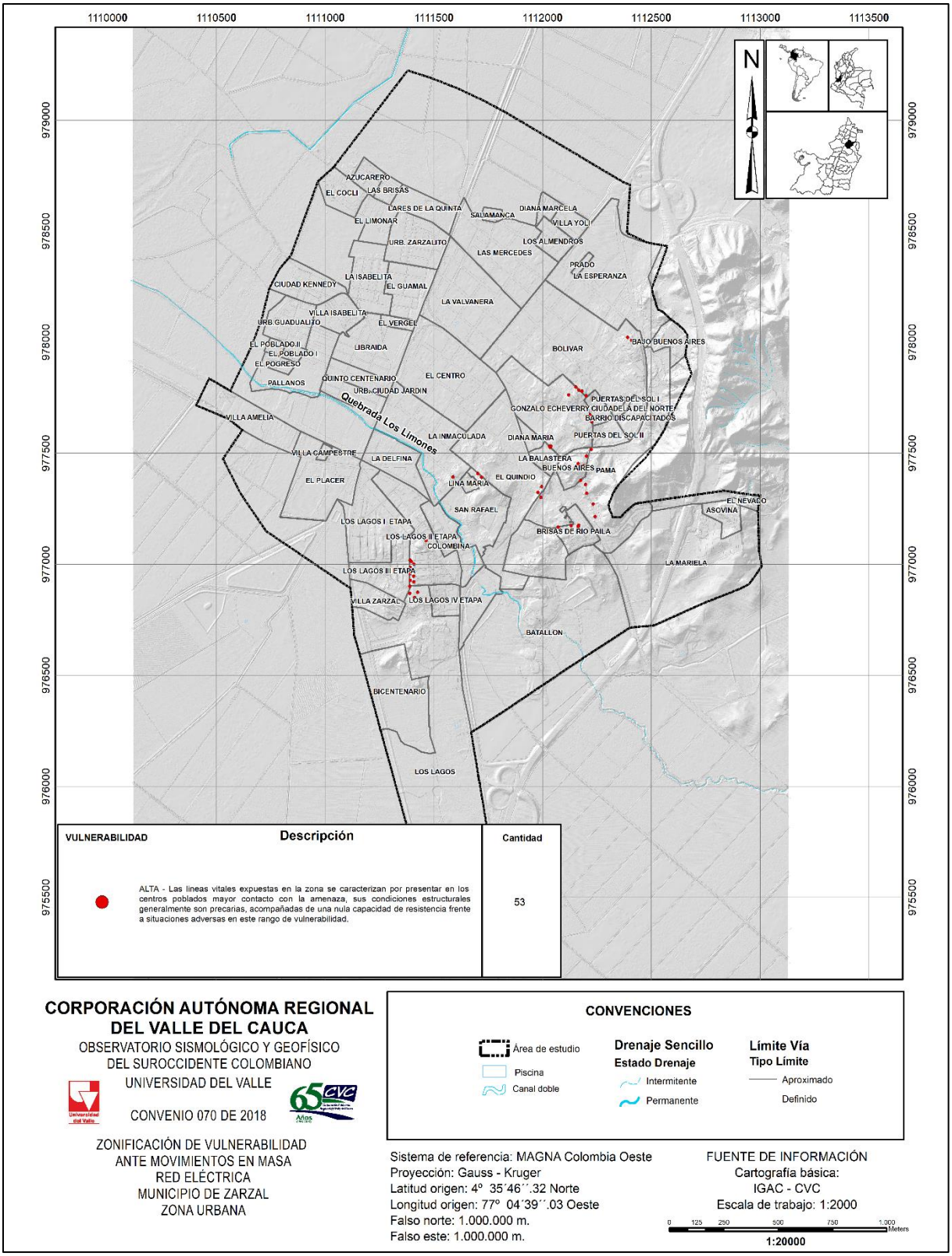


Figura 8.80. Zonificación de vulnerabilidad ante movimiento en masa de los postes que soportan la red eléctrica en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

8.2.4. Curva de fragilidad de los elementos expuestos por inundación

Las curvas de fragilidad representan la probabilidad de excedencia de un estado límite de daño como una función de la severidad del movimiento y la repuesta estructural (Di Páscuale y Cakmak, 1989). Dicha curva está en función de la intensidad y la resistencia de los elementos expuestos.

Las curvas de fragilidad de los elementos expuestos (edificaciones y población) ante el fenómeno de movimientos en masa para la zona urbana del municipio de Zarzal. En ella se observa que, para los 4 factores de resistencia, S=7, S=8, S=9 y S=1, se presentan valores de vulnerabilidad e intensidad media y altas. Lo que evidencia una clara relación de proporcionalidad entre estos factores.

Demostrando que la vulnerabilidad para el área urbana del municipio de Zarzal, está directamente relacionada con la resistencia de sus elementos expuestos, lo que implica que las edificaciones, redes viales, postes de energía que soportan las redes eléctricas y las personas presentan una resistencia entre media y baja (Figura 8.81 a 8.84).

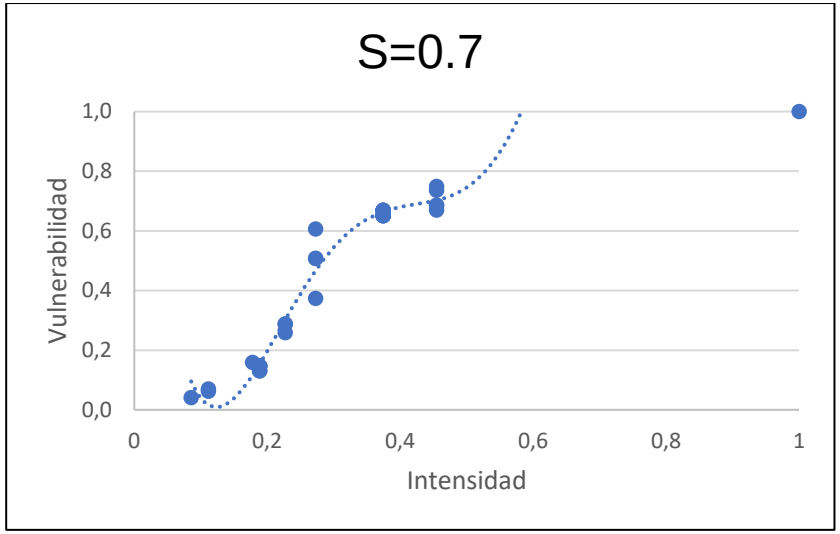


Figura 8.81. Factores de resistencia S=0,7

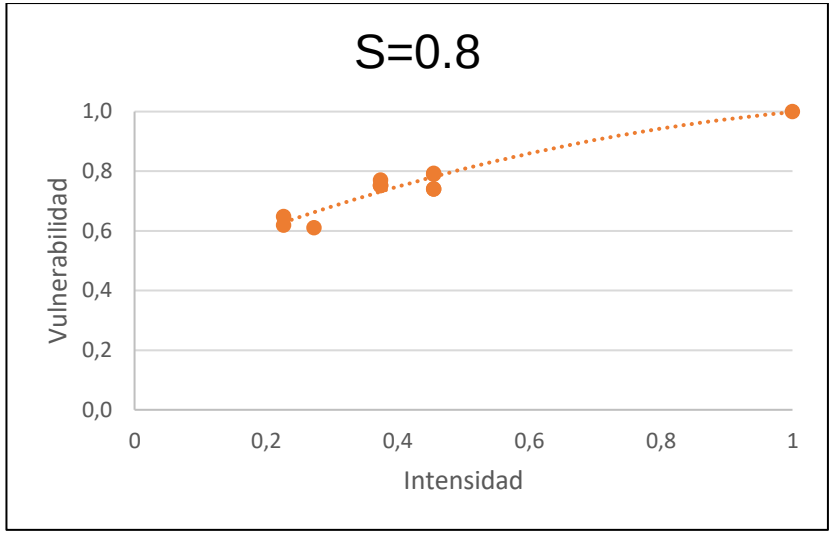


Figura 8.82. Factores de resistencia S=0,08

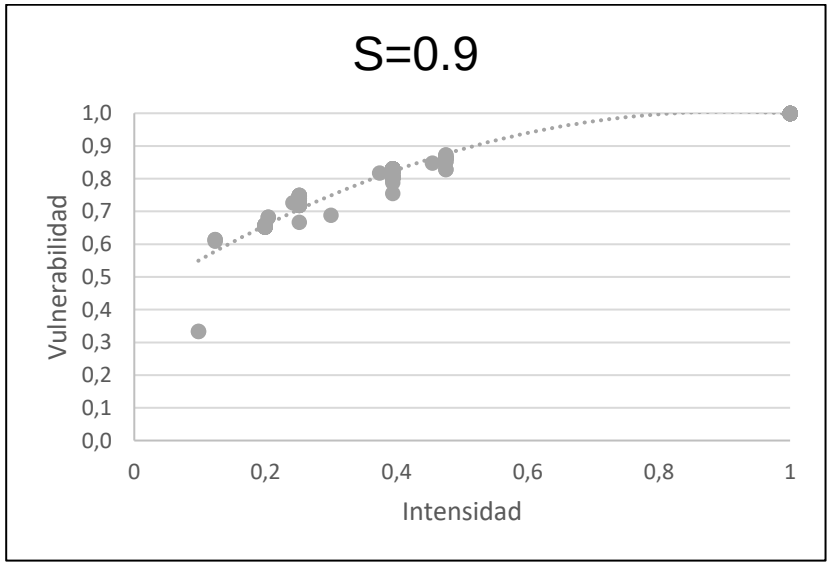


Figura 8.83. Factores de resistencia S=0,9

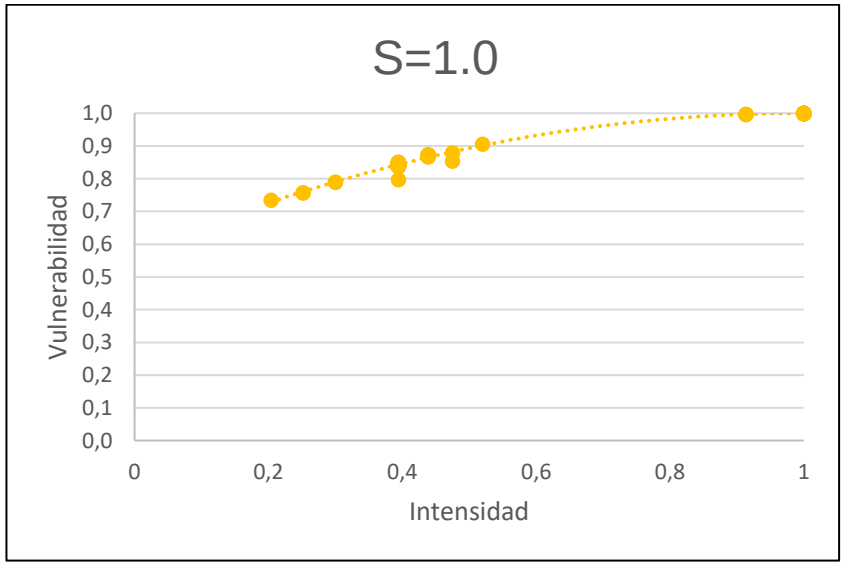


Figura 8.84. Factores de resistencia S=0,1

Fuente: elaboración propia.

9. ESCENARIOS DE AFECTACIÓN POR INUNDACIÓN Y MOVIMIENTO EN MASA DEL MUNCIPIO DE ZARZAL

Las condiciones de amenaza y vulnerabilidad que enmarcan los contextos territoriales de los municipios de Colombia se expresan en complejos escenarios de afectación o riesgo cuya concreción es el resultado de la articulación de peligros de diversa índole con las condiciones de fragilidad multidimensional que subyacen a los sistemas sociales, económicos, culturales, políticos y ambientales.

9.1. CONCEPTUALIZACIÓN DE AFECTACIÓN O RIESGO

9.1.1. Riesgo

El PNUD (2010) define riesgo como la probabilidad de que ocurran consecuencias perjudiciales (víctimas, daños a la propiedad, pérdida de medios de subsidencia, interrupción de actividad económica o deterioro ambiental) como resultado de la interacción entre amenazas naturales o antropogénicas y condiciones de vulnerabilidad.

Según la actual normativa colombiana Ley 1523 del 2012, el riesgo de desastres “Corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural, tecnológico, biosanitario o humano no intencional, en un período de tiempo específico y que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos; por consiguiente, el riesgo de desastres se deriva de la combinación de la amenaza y la vulnerabilidad”.

9.1.2. Evaluación del riesgo

La evaluación de riesgos es un proceso que ayuda a determinar la naturaleza y el alcance de ese riesgo, mediante el análisis de amenazas y la evaluación de las condiciones de vulnerabilidad existentes que podrían causar daños a las personas expuestas, a los bienes, y servicios, medios de subsistencia y medio ambiente de los que dependen. Una evaluación completa de los riesgos no sólo evalúa la magnitud y la probabilidad de pérdidas potenciales, sino que también explica las causas y el impacto de esas pérdidas. La evaluación de riesgos es, por lo tanto, parte integral de los procesos de toma decisiones y adopción de políticas, y requiere de una estrecha colaboración entre las distintas partes de la sociedad (PNUD, 2010).

9.1.3. Escenarios de riesgo

El producto de la interacción entre la amenaza y la vulnerabilidad; estos escenarios son la representación de las condiciones de riesgo que puede enfrentar la población, los tomadores de decisiones y la administración pública, por tanto, dan pistas valiosas para la priorización de proyectos y acciones que el municipio debe realizar en concordancia con los procesos de gestión del riesgo (UNGRD, 2013).

9.1.4. Riesgo Alto No Mitigable

La Resolución 5794 de 2011, por medio de la cual se establece el procedimiento para recibir, manejar y custodiar los inmuebles ubicados en zonas catalogadas de alto riesgo no mitigable. En

el Art. 3, literal e), establece que las Zonas de Alto Riesgo No Mitigable se definen como aquellos sectores en donde por sus características de amenaza y vulnerabilidad, existe una alta probabilidad de que se presenten pérdidas de vidas humanas, bienes e infraestructura. La mitigación no es viable por condiciones técnico-económicas, por lo cual los predios se incluyen dentro del Programa de Reasentamientos de Familias en Alto Riesgo No Mitigable.

El riesgo es no mitigable, cuando las medidas de reducción y mitigación tienen un costo muy superior, al costo de un proceso de Reasentamiento de familias habitantes del territorio con esta condición de riesgo.

9.1.5. Riesgo Mitigable

Corresponde a áreas delimitadas en zonas de riesgo alto que por sus características de amenaza y vulnerabilidad puedan ser susceptibles a una intervención mediante la implementación de obras de mitigación estructurales y no estructurales que conduzcan a la reducción del riesgo.

9.2. METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE AFECTACIÓN (RIESGO) POR INUNDACIÓN Y MOVIMIENTOS EN MASA

La reciprocidad entre el peligro de un fenómeno natural (amenaza) y las condiciones vulnerables creadas por una comunidad en su entorno físico y social es lo que determina cómo el riesgo o grado de afectación que pueda sufrir la misma. Así, el riesgo puede categorizarse como riesgo específico, que describe los posibles daños o afectaciones que sufrirían los elementos expuestos al presentarse la amenaza; y, el riesgo total, que se relaciona con el cálculo de los costos económicos que representarían los posibles daños.

9.2.1. Riesgo específico

De esta forma, el nivel de afectación o riesgo específico se evalúa a partir de la interrelación de estos dos elementos, como lo describe la siguiente ecuación (76):

$$R = A * V \tag{76}$$

Donde *R* es el riesgo (afectación), *A* es la amenaza y *V* la vulnerabilidad.

9.2.2. Riesgo total

El riesgo total se entiende como la probabilidad de tener un valor específico de pérdidas económicas, daños o consecuencias sociales en un sitio donde se puede presentar un fenómeno amenazante ante la presencia de elementos expuestos durante un tiempo determinado. Se obtiene al multiplicar riesgo específico (es decir, la amenaza o probabilidad de ocurrencia del fenómeno con la vulnerabilidad de los elementos expuestos) por el coste que representa la reparación o reposición de los elementos expuestos que resultarían afectados; expresado mediante la siguiente ecuación (75).

$$R = A * V$$

$$R = A*V*E_{(Coste)} \quad (77)$$

Donde:
R = corresponde al riesgo
V – Vulnerabilidad
$C_{(E)}$ – Costos o valor de las pérdidas de los elementos expuestos
A – Amenaza, representa la probabilidad de ocurrencia del evento (nivel de intensidad o magnitud), dentro de un periodo de tiempo determinado, evaluada de la siguiente manera:

$$P = 1 - (1 - \frac{1}{T})^t \quad (78)$$

Donde:
T = periodo de retorno (100 años)
t = vida útil de la estructura

De acuerdo a la fórmula planteada anteriormente, T hace referencia al periodo de retorno. Para inundaciones T es igual 100 y para movimiento en masa es de 25 años, lo que indica que existe la probabilidad que ocurra el evento en estudio, es decir, una inundación o un movimiento en masa que ocasione daños graves; Por otro lado, se encuentra el valor t el cual hace referencia al periodo de vida útil de la estructura (Tabla 9.1), debido a que los materiales con los que están construidos las diferentes estructuras establecidas en riesgo bajo, medio o alto son afectadas en diferente proporción.

Tabla 9.1. Probabilidad por vida útil del material de construcción y nivel de vulnerabilidad estructural para la infraestructura social del municipio de Zarzal

CÁLCULO DE LAS POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS		
TIPO DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	**VIDA UTIL**	**PROBABILIDAD POR VIDA UTIL DEL MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN**
Mampostería Confinada	70	0.51
Mampostería No Reforzada	50	0.39
Madera, Tapia y Bahareque	30	0.26
Otro (Material reciclado)	15	0.14
NIVEL DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL	**RANGO DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL**	
Alta	0,60 – 1,00	
Media	0,30 - 0,60	
Baja	0,00 - 0,30	

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con Montes (2012), la vida útil de una vía se estima en 20 años, transcurrido dicho tiempo sin mantenimiento será necesario reconstruirla, debido al deterioro producido. Por otro lado, con base a la Resolución N° 144 del 2001 (CREG, 2001) expedida por la comisión de regulación de energía y gas, la cual establece normas para regular el acceso de la infraestructura eléctrica, estipula una vida útil de los postes de energía eléctrica cercana a los 25 años (Tabla 9.2).

Tabla 9.2. Vida útil, probabilidad por vida de la línea vital y nivel de vulnerabilidad estructural del municipio de Zarzal

CÁLCULO DE LAS POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS		
INFRAESTRUCTURA LINEAS VITALES	**VIDA UTIL**	**PROBABILIDAD POR VIDA UTIL DE INFRAESTRUCTURA LINEA VITAL**
Red vial	20	0.18
Red eléctrica	25	0.22
NIVEL DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL	**RANGO DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL**	
Alta	0,60 – 1,00	
Media	0,30 - 0,60	
Baja	0,00 - 0,30	

Fuente: elaboración propia.

9.2.3. Riesgo específico por inundación

Para la zona de estudio los escenarios de afectación por inundación se clasificaron en niveles de alto, medio y bajo tanto para las estructuras, como para los elementos corporales.

- *Afectación Baja*: la zona se caracteriza por presentar niveles de amenaza baja (profundidad de la capa de agua entre 0,05 y 0,45 metros o velocidad entre 0,0 y 0,50 m/seg o el producto de estas dos con valores entre 0,0 y 0,225 m^2/seg) y vulnerabilidad relativamente baja. Los daños que pueden presentarse en las viviendas son ligeros (no estructurales) sin que se vea afectada la estabilidad de estas, por lo general se concentran en el deterioro del acabado superficial de los muros y ladrillos de las primeras filas de las paredes por el contacto con el agua, también se pueden presentar desprendimientos de revoques (repellos).

En las personas se pueden presentar problemas emocionales leves y transitorios.

- *Afectación Media*: la zona se caracteriza por presentar unos niveles de amenaza media (profundidad de la capa de agua entre 0,45 y 0,90 metros o velocidad entre 0,50 y 0,80 m/seg o el producto de estas dos con valores entre 0,225 y 0,45 m^2/seg.) y vulnerabilidad moderada. Deben realizarse pequeñas obras de mitigación para reducir la amenaza; así mismo, desarrollarse programas tendientes a la reducción de las condiciones de fragilidad de la población y la adecuación de las viviendas que presentan problemas estructurales considerables.

  A nivel estructural, los daños presentados pueden ser desprendimiento del revoque de las paredes y agrietamiento o debilitamiento de muros y columnas por asentamientos diferenciales del terreno, socavaciones o erosión.

Las personas pueden sufrir pérdida de habilidad o quedar atrapadas:

- *Afectación Alta*: la zona se caracteriza por presentar unas condiciones de amenaza alta (profundidad de la capa de agua entre mayor que 0,90 metros o velocidad mayor a 0,80 m/seg o el producto de estas dos por encima de 0,45 m^2/seg), además de una vulnerabilidad alta caracterizada por viviendas con inadecuados tipos constructivos, en mal estado y una población con poca o nula capacidad de respuesta.

A nivel de las estructuras, los daños que pueden presentar son desplomes de viviendas por debilitamiento de su estructura. (depende del tiempo de exposición al agua).

En las personas se pueden presentar enfermedades infecciosas y epidemias, y el incremento de enfermedades endémicas; algunas personas pueden morir. Se presentan problemas sanitarios y la posible migración de población.

Las Tabla 9.3 respectivamente, presentan las condiciones del riesgo o nivel de afectación que pueden sufrir tanto los elementos estructurales como corporales ante inundaciones.

Tabla 9.3. Matriz de clasificación de la afectación o riesgo para las estructuras y personas por inundación

CLASIFICACIÓN DE LA AMENAZA	CLASIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	DAÑOS Y EFECTOS (RIESGO)	
		ESTRUCTURAS (EDIFICACIONES)	PERSONAS
ALTA H > 0,90 m V > 0,80 m/seg H*V > 0,45 m^2/seg	**ALTA** 0,60 - 1,00	**ALTO** Total- colapso	**ALTO** Alta posibilidad de muerte o lesiones serias.
MEDIA 0,45 < H < 0,90 (m) 0,50 < V < 0,80 (m/seg) 0,225 < H*V < 0,45 (m^2/seg)	**MEDIA** 0,30 - 0,60	**MEDIO** Grave	**MEDIO** Alta posibilidad de lesiones moderadas, pero baja probabilidad de muertes.
BAJA 0,05 < H < 0,45 (m) 0,00 < V < 0,50 (m/seg) 0,00 < H*V < 0,225 (m^2/seg)	**BAJA** 0,00 - 0,30	**BAJO** Moderado	**BAJO** Probabilidad de muerte casi nula y lesiones muy leves o inexistentes.

Fuente: elaboración propia.

9.2.4. Riesgo específico por Movimientos en Masa

Para la zona de estudio los escenarios de afectación por movimiento en masa se clasificaron en niveles de alto, medio y bajo tanto para las estructuras, como para las personas, acorde como se estableció en la Tabla 9.4.

Las zonas de estudio ante el fenómeno de movimientos en masa se clasificaron en escenarios de afectación alta, media y baja:

- *Afectación baja:* zonas que presentan niveles de amenaza y vulnerabilidad bajos dónde podrían presentarse daños leves y en las personas sensación de pánico sin que se afecte su integridad física
- *Afectación media:* zonas que presentan niveles de amenaza y vulnerabilidad moderadas pueden presentarse daños locales en la infraestructura civil, agrietamientos menores en edificaciones e instalaciones sociales o industriales. Pueden presentarse efectos en la integridad de las personas.
- *Afectación alta:* son las zonas que se caracterizan por presentar condiciones de amenaza alta, además de una vulnerabilidad alta debido a que las edificaciones presentan deficiencias

en los materiales de construcción y daños moderados o graves. La población con poca o nula capacidad de resistencia. En estas zonas se pueden presentar destrucción de viviendas o infraestructuras civiles. Las personas pueden resultar gravemente heridas o incluso perder la vida.

Tabla 9.4. Matriz de clasificación para calcular los niveles de escenario de afectación en estructuras y personas por el fenómeno de movimiento en masa

NIVEL	CLASIFICACIÓN DE LA AMENAZA		CLASIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	DAÑOS Y EFECTOS (RIESGO)	
	INTENSIDAD VELOCIDAD (mm/seg)	MAGNITUD VOLUMEN (m^3)		Estructural (Edificaciones)	Corporal (Personas)
BAJO	$5x10^{-7} < v < 5x10^{-4}$	$V < 100$	**BAJA** 0,00 - 0,30	–	–
MEDIO	$5x10^{-4} < v < 5x10^{-1}$	$100 < V < 10^6$	**MEDIA** 0,30 - 0,60	Daño local a la infraestructura civil, agrietamientos menores en viviendas. Daños parciales en pequeñas zonas urbanas. Daños en instalaciones sociales o industriales.	Heridos
ALTO	$5x10^{-1} < v < 5x10^{3}$	$10^6 < V$	**ALTA** 0,60 - 1,00	Destrucción de viviendas o infraestructuras civiles. Destrucción de grandes zonas urbanas (barrios, pueblos y veredas)	Pérdida de vidas humanas.

Fuente: elaboración propia.

9.2.5. Escenario de afectación mitigable y no mitigable por inundación

Para determinar las zonas de riesgo mitigable y no mitigable se tuvieron en cuenta los siguientes criterios normativos, técnicos e históricos.

- Normativo: relacionado con los determinantes ambientales, específicamente en lo concerniente a las franjas forestales protectoras y rondas hídricas. Ley 1450 de 2011, articulo 206, Decreto 2811 de 1974 art 83 literal d), Decreto 1076 de 2015 art 2.2.2.1.2 literal, Decreto 1449 de 1977 art 3, Decreto 2245 de 2017, resolución 0957 del 31 de mayo de 2018 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Resolución 0100 No 0500 0574 del 22 de septiembre 2015 emitida por la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca – CVC. En coherencia con las normas, para efectos de este proyecto se tendrá en cuenta una franja de protección no inferior a 30 metros de ancha, a partir de la orilla, paralela a los causes de los ríos, quebradas y arroyos. Esta franja no aplicará para canales.

- Técnicos: relacionados con los resultados de los estudios de amenaza por inundación, en términos de identificación de áreas de inundación con profundidades y velocidades de las que se derivan las zonas de amenaza alta, (Profundidades mayores 0.90 m, velocidades mayores o iguales a 0.80 m/s o el producto de la velocidad por la profundidad mayor o igual a 0.45 (Tabla 9.3) con la identificación preliminar de posibles obras para las áreas de riesgo mitigable.

- Históricos: los estudios de historicidad son un parámetro de calibración importante para los estudios de amenaza por inundación por ello resulta necesario comparar los resultados de los modelos con los eventos ocurridos en el pasado, en este caso en una ventana de tiempo de 30 años, sin embargo, el que no se encuentren registros históricos de ocurrencia de inundación en las zonas de influencia de los ríos, no significan que no puedan ocurrir.

9.2.5.1. Zonas de afectación alta mitigable por inundación

Para la determinación de las zonas de riesgo alto mitigable, se consideraron los criterios normativos, históricos y técnicos, las áreas que se definieron en riesgo alto y que, por sus condiciones específicas, y estén por fuera de la franja de protección (30 metros desde la orilla a lado y lado del cauce).

Se puedan definir aplicar medidas de intervención estructural y no estructural de tal manera que con ello se puedan reducir sus condiciones de amenaza y vulnerabilidad teniendo en cuenta su viabilidad técnica, económica y ambiental.

El municipio debe considerar el análisis de costo/beneficio de las medidas de intervención, es decir, si la obra de mitigación genera costos superiores a la reubicación o en caso de que las obras sean de gran envergadura y con su construcción se beneficiarían pocas familias. Lo anterior conduciría a declarar estas zonas como de riesgo no mitigable.

9.2.5.2. Zonas de afectación alta no mitigable por inundación

Los criterios planteados para delimitar las zonas de afectación alta no mitigable (zonas que se encuentran dentro de la franja de protección del río a los 30 metros desde la orilla del cauce) en las que se incluirá información de la cantidad de población y de edificaciones dentro del área demarcada, lo cual le permitirán a los municipios considerarlas dentro de los programas de reasentamiento, como se menciona en el Decreto 1807 de 2014 en el artículo 24 numeral 4.3 en el que se plantea que se deben establecer las medidas para su manejo, estrategias de conservación y evitar la ocupación de estas áreas, de acuerdo con el régimen aplicable al suelo de protección.

Finalmente, se considera lo establecido en la Resolución 5794 de 2011, donde se presenta el procedimiento de recibir, manejar y custodiar los inmuebles ubicados en zonas catalogadas de alto riesgo no mitigable en el Art. 3, literal e), donde expresa que las zonas de alto riesgo no mitigable se definen como aquellos sectores en donde por sus características de amenaza y vulnerabilidad, existe una alta probabilidad de que se presenten pérdidas de vidas humanas, bienes e infraestructura. Por lo tanto, la mitigación no es viable por condiciones técnico-económicas.

9.2.6. Escenario de afectación mitigable y no mitigable por movimiento en masa

Para determinar las zonas de afectación mitigable y no mitigable por movimientos en masa, se consideraron los criterios técnicos y los siguientes parámetros:

- *Tamaño de las obras:* Si las obras de mitigación son muy grandes y el costo de la supera el costo de la reubicación, se considera no mitigable.
- *Volúmenes a contener:* Si los volúmenes que se van a deslizar son muy grandes, se considera no mitigable.
- *Costo/ Beneficio:* Si la obra de mitigación genera costos superiores a la reubicación y/o la obra va a beneficiar a pocas familias, se considera no mitigable.

Los criterios técnicos: relacionados con los resultados de los estudios de amenaza por movimientos en masa, en términos de identificación de áreas considerando la intensidad (velocidad mm/seg) y la magnitud (volumen m^3) de las que se derivan las zonas de amenaza alta, (Intensidad mayores a 5x10-1 < v < 5x103 y magnitudes mayores o iguales a 10^6 < V (Tabla 9.4) con la identificación preliminar de posibles obras para las áreas de riesgo mitigable.

9.3. ESCENARIO DE AFECTACIÓN ANTE INUNDACIÓN

Siguiendo la metodología propuesta, a continuación, se presentan los escenarios de afectación corporal y estructural por el fenómeno de inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal.

9.3.1. Escenario de afectación corporal

De acuerdo con la metodología la afectación corporal está ligada a la afectación de las estructuras. La Tabla 9.5 expone la cantidad de población según el nivel de afectación. En afectación alta existe en total 445 habitantes representando el 99% del total de la población y en afectación baja 5 habitantes con el 1% del total de la población (Figura 9.1).

Tabla 9.5. Nivel de afectación corporal por inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal

NIVEL DE AFECTACIÓN	N° DE HABITANTES	PORCENTAJE DE POBLACIÓN
Alto	3.293	68,7%
Medio	17	0,4%
Bajo	1485	31,0%
Total	**4795**	**100%**

Fuente: elaboración propia.

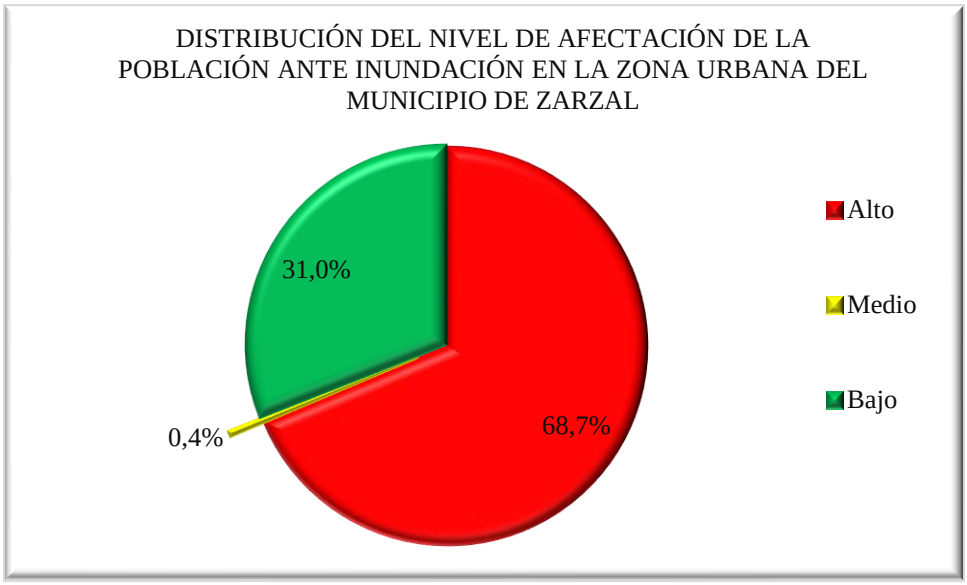


Figura 9.1. Distribución del nivel de afectación corporal por inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

9.3.2. Escenarios de afectación estructural

El escenario de afectación estructural, clasificado en alta, media y baja, por inundación se muestra en la Tabla 9.6 que relaciona nivel de afectación, número de edificaciones y área (m^2). Se obtuvo afectación estructural alta, media y baja para un total de 2.413 edificaciones y un total de 507834,1 área m^2.

La afectación estructural alta tiene 2.413 edificaciones con un área de 462211,9 m^2 representando el 91,63% del área total. En afectación media, solo 29 edificaciones con 3772,3 m^2 y un porcentaje del 1,20% del área total. Y, en afectación estructural baja 173 edificación que corresponde al 7,17% del área total, con un área de 41849,9 m^2 (Figura 9.2).

Tabla 9.6. Escenarios de afectación estructural por inundación de la zona urbana del municipio de Zarzal

NIVEL DE AFECTACIÓN	EDIFICACIONES	ÁREA M^2	% PREDIOS
Alta	2211	462211,9	91,63%
Media	29	3772,3	1,20%
Baja	173	41849,9	7,17%
Total	**2413**	**507834,1**	**100%**

Fuente: elaboración propia.

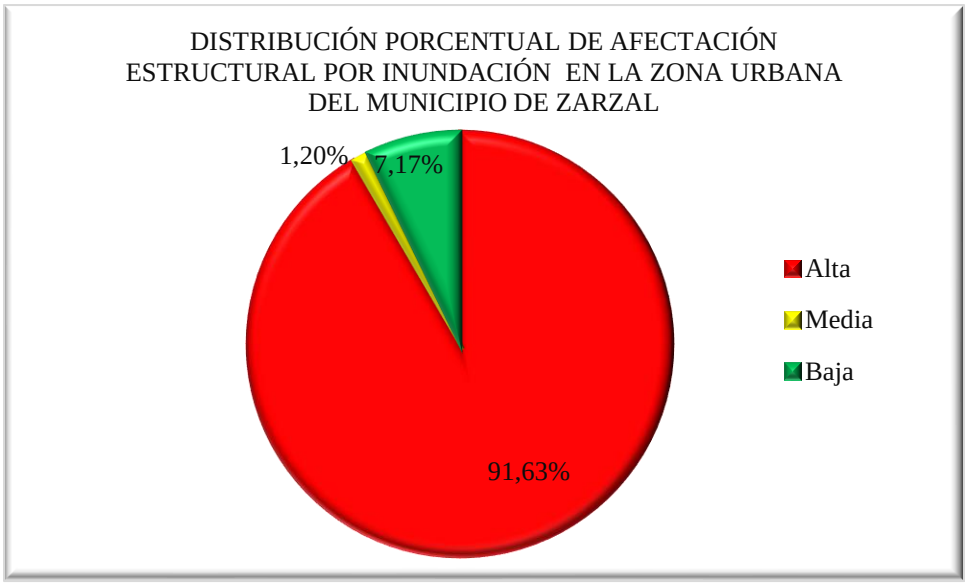


Figura 9.2. Distribución porcentual del escenario de afectación estructural por inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

La Figura 9.3 muestra la distribución espacial del escenario de afectación por inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal. Obteniendo principalmente afectación alta con 2211 edificaciones en los barrios Los Lagos I (297), La Inmaculada (238), El Centro (228), La Valvanera (219), Pallanos (217), Libraida (155), Villa Isabelita (115), El Guamal (101), Urb. Guadualito (65), La Delfina (64), Las Mercedes (56), los barrios La Isabelita y Los Lagos II con 52 edificaciones cada uno, El Placer (47), Villa Amelia (46), los barrios El Poblado II, El Progreso y la Urb. Zarzalito tienen 35 edificaciones cada uno, Urb. Ciudad Jardín se encuentran 34 edificaciones, El Poblado I (30), El Vergel (23), San Rafael (22), Colombina (17), Ciudad Kennedy (14) y Los Lagos II Etapa, El Quindío, Quinto Centenario y Villa Campestre con 4 edificaciones.

En afectación media se encuentran 29 edificaciones de los cuales los barrios Villa Isabelita (8), Isabelita (7), El Progreso (4), El Centro (3), El Guamal (2) y los barrios El Vergel, Libraida, La Inmaculada, Pallanos y La Valvanera tienen una edificación con afectación

En afectación media se encuentran 173 edificaciones en los barrios los barrios La Isabelita (28), la Urb. Zarzalito (27), La Valvanera (23), Pallanos (16), Libraida (13), Las Mercedes (11), El Centro (10), los barrios El Guamal y Villa Isabelita se encuentra 8 edificaciones, El Poblado I (5), los barrios Los Lagos II y III Etapa y la Urb. Guadualito tienen 4 edificaciones, Ciudad Kennedy y La Inmaculada tienen 3 edificaciones. Por último, están los barrios El Placer, El Progreso, Los Lagos I, El Poblado II y Villa Campestre tiene una edificación.

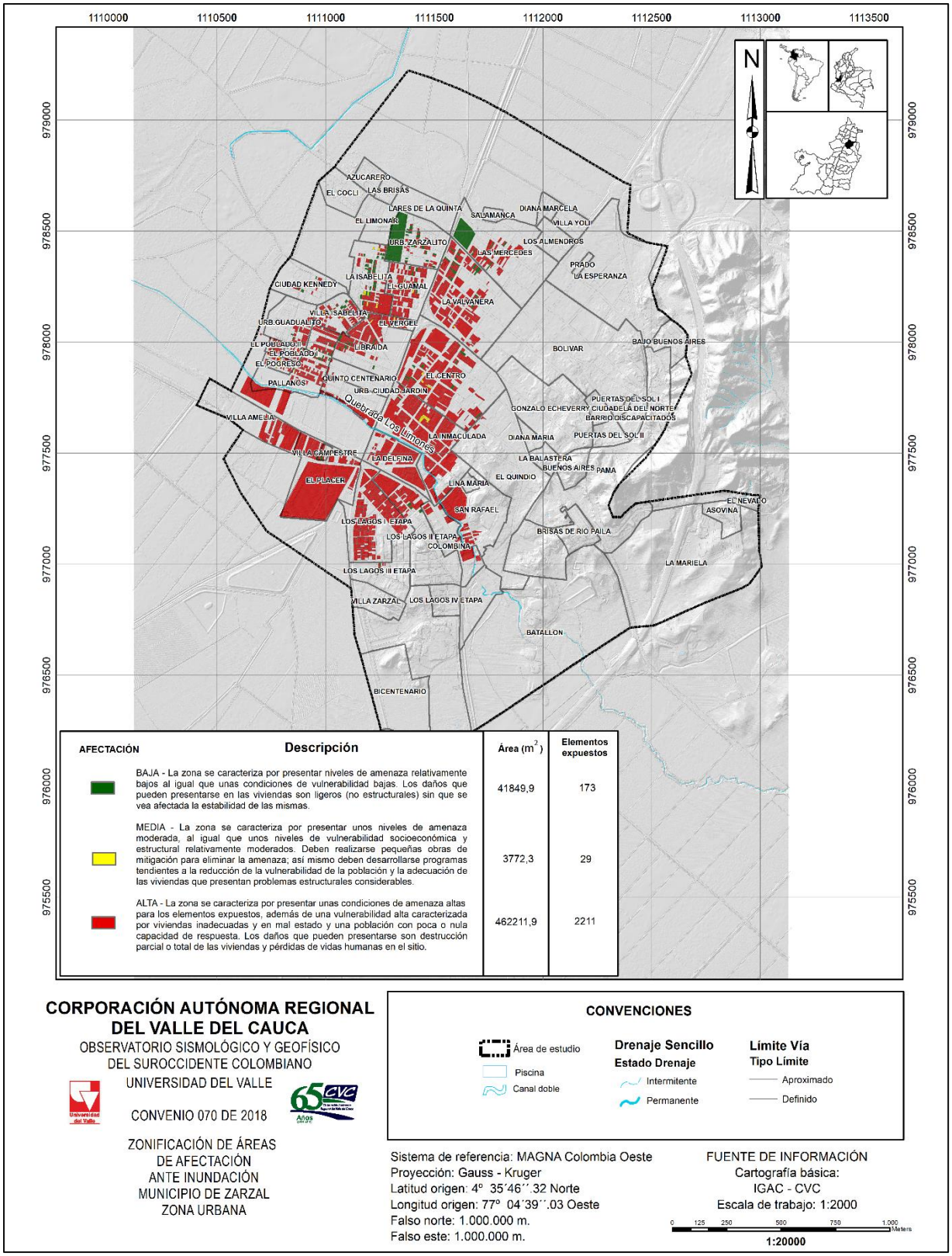


Figura 9.3. Zonificación de afectación estructural ante inundaciones, zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

9.3.3. Escenarios de afectación líneas vitales

En el municipio de Zarzal, el análisis del escenario de afectación las líneas vitales se realizaron para las redes viales y eléctricas. No fue posible realizar el análisis para las redes de acueducto y alcantarillado, tal como se mencionó en la metodología, su abordaje es planteado para redes locales, conectadas directamente con la vivienda.

9.3.3.1. Red vial

El escenario de afectación para la red vial ante el fenómeno de inundación se muestra en la Tabla 9.7 y Figura 9.4 donde el resultado del nivel de afectación de los 17618,83m de la red, se encuentran en afectación alta 5419,98 m de longitud del total de la red siendo el 30,76%. Seguido en afectación media 6810,61, es decir 38,66%. Finalmente, en afectación baja se encuentra 5388,24m, siendo el 30,58%

Tabla 9.7. Escenario de afectación de la red vial por inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal

RED VIAL		
NIVEL DE AFECTACIÓN	**LONGITUD (M)**	**%TOTAL**
Alta	5419,98	30,76
Media	6810,61	38,66
Baja	5388,24	30,58
Total	**17618,83**	**100%**

Fuente: elaboración propia.

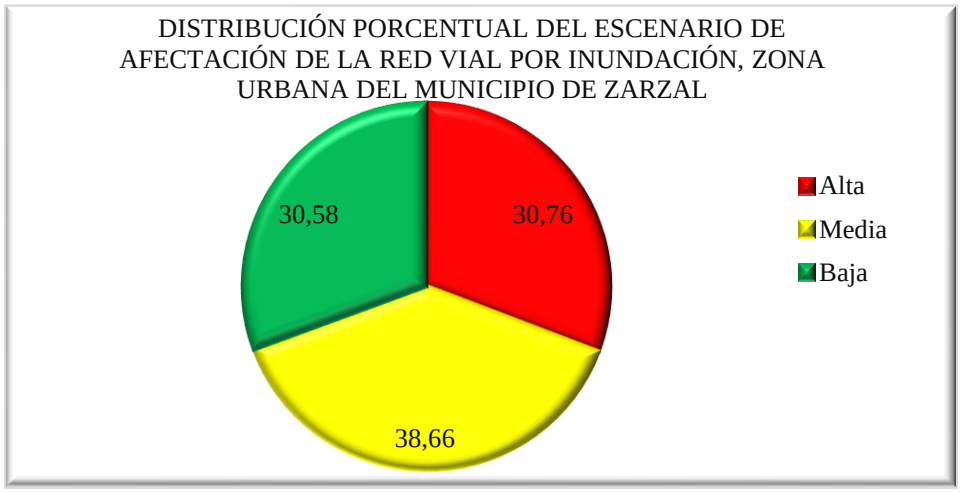


Figura 9.4. Distribución del nivel de afectación para la red vial ante inundación, zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

La Figura 9.5, muestra la distribución espacial del escenario de afectación vial ante el fenómeno de inundación. En afectación alta se encuentran los tramos viales de los barrios al occidente como Villa Isabelita, Urb. Guadualito, El Poblado I y II, El Progreso, Pallanos y El Placer. Los tramos viales con afectación media se localizan en la parte central y sur del municipio. Finalmente, con afectación baja se encuentran los tramos del sector norte del municipio.

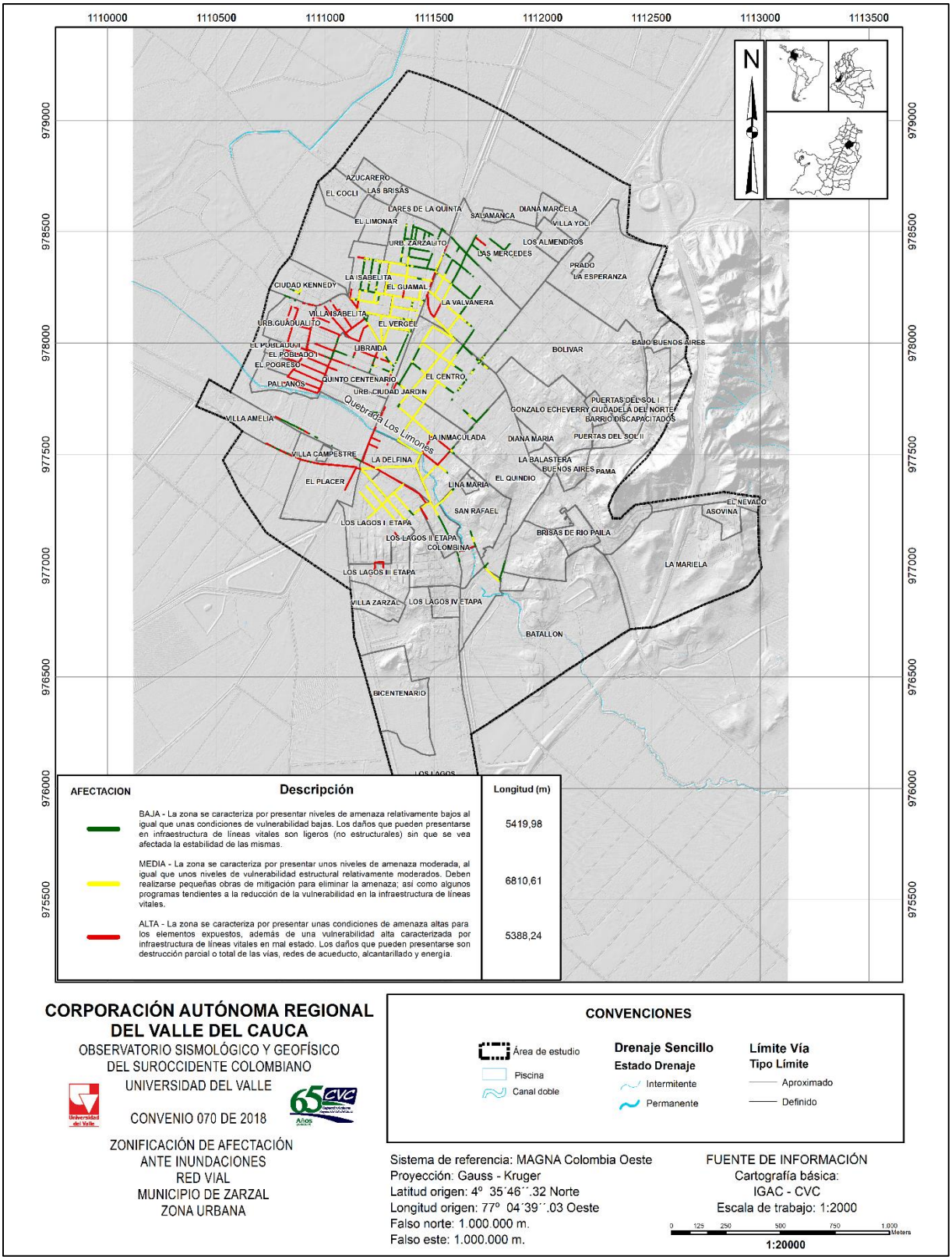


Figura 9.5. Zonificación de afectación de la red vial ante inundaciones, zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

9.3.3.2. Red eléctrica

El escenario de afectación para la red eléctrica arrojó que los 628 postes que soportan la red de energía eléctrica con afectación alta (riesgo) (Tabla 9.8). En la Figura 9.6 se muestra la distribución espacial de cada uno de ellos.

Tabla 9.8. Escenario de afectación de la red eléctrica por inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal

RED ELÉCTRICA	
NIVEL DE AFECTACIÓN	**N° POSTES**
Alta	628
Total	**628**

Fuente: elaboración propia

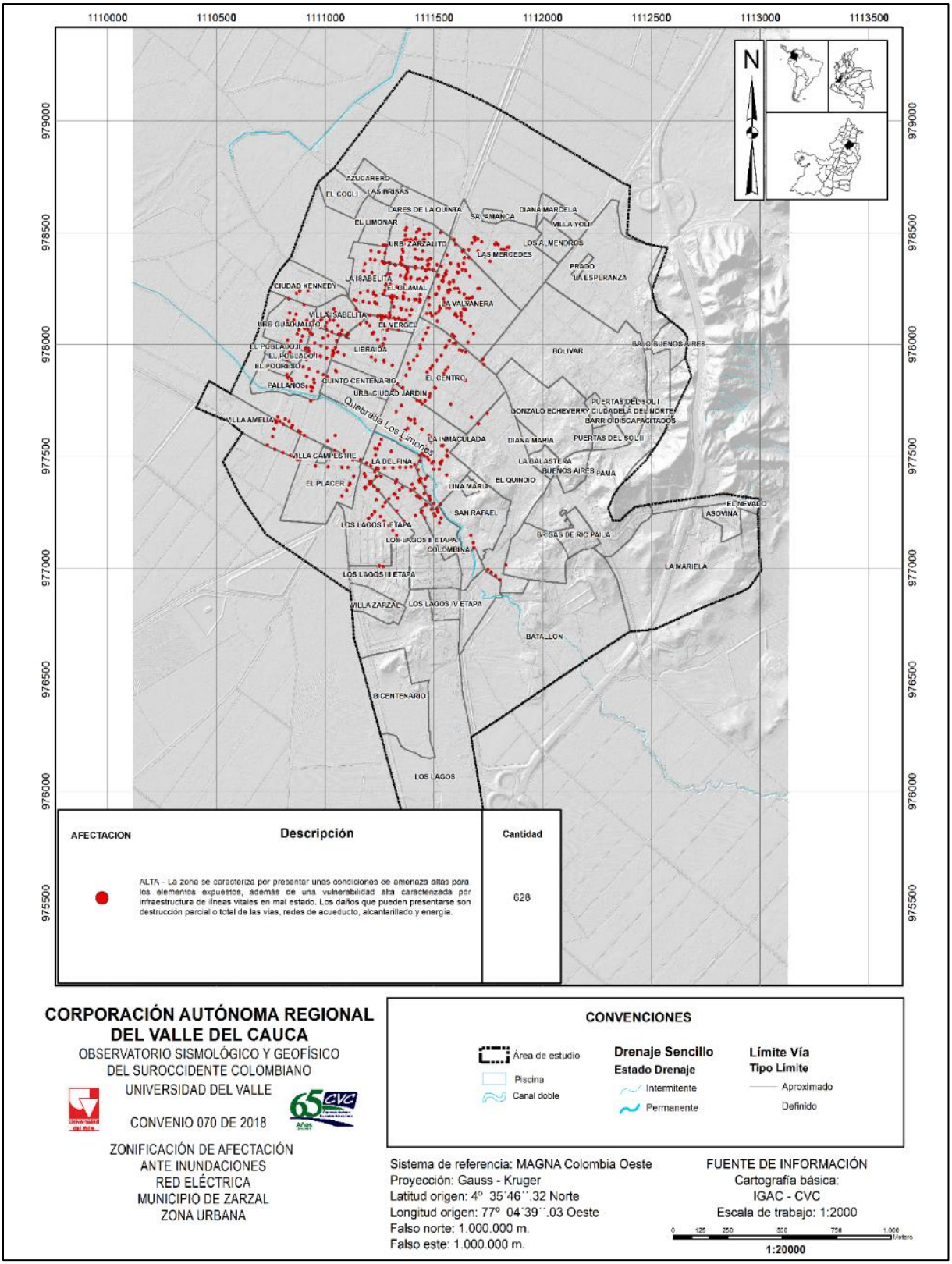


Figura 9.6. Zonificación de afectación de la red eléctrica ante inundaciones, zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

9.4. ESCENARIO DE AFECTACIÓN ALTO MITIGABLE Y NO MITIGABLE POR INUNDACIÓN MUNICIPIO DE ZARZAL

9.4.1. Zonas de afectación (riesgo) alto mitigable y no mitigable

Las zonas de afectación o riesgo alto mitigable o no mitigable se definieron con base en la realización de los estudios técnicos detallados en la zonificación de la amenaza por inundación y la historicidad, el cual determinan la viabilidad de la ejecución de medidas de reducción para permitir que un asentamiento existente pueda permanecer o no en estas áreas. Tal como se mencionó anteriormente, la adopción de estas zonas es una decisión técnica, económica, social y política.

La Tabla 9.9 y Figura 9.7, muestra las zonas de afectación alto mitigable y no mitigable, número de edificaciones y área (m^2) para el fenómeno de inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal. Se obtuvo 2211 edificaciones identificadas en áreas de afectación (riesgo) alto. De estas edificaciones 2082 (94,17%) con un porcentaje de área del 186,53% presentan un nivel de afectación alta mitigable, es decir que en la zona se deben tomar medidas que ayuden en la mitigación del riesgo por inundación. Mientras que 129 (5,83%) edificaciones con un porcentaje de área del 13,47% presentan un nivel de afectación no mitigable, es decir que la zona se debe destinar para suelo de protección.

Tabla 9.9. Zonas de alta afecacion mitigable y no mitigable estructural por inundacion, zona urbana del municipio de Zarzal

NIVEL DE AFECTACIÓN	EDIFICACIONES	% EDIFICACIONES	ÁREA (M^2)	% ÁREA (M^2)
Alta mitigable	2082	94,17 %	399944,4	86,53%
Alta no mitigable	129	5,83%	62267,5	13,47 %
Total	**2211**	**100%**	**462211,9**	**100%**

Fuente: elaboración propia.

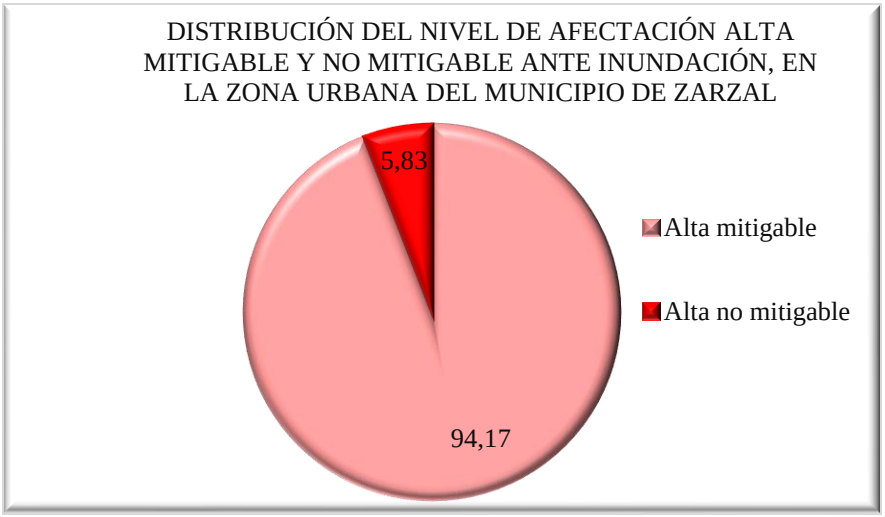


Figura 9.7. Distribución porcentual del nivel de afectación alta mitigable y no mitigable (área m^2) ante inundación, en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

La Figura 9.8, muestra la distribución de las zonas altas mitigables y no mitigables por inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal, donde las 2211 edificaciones están distribuida en los barrios que bordean la quebrada Limones de oriente a occidente.

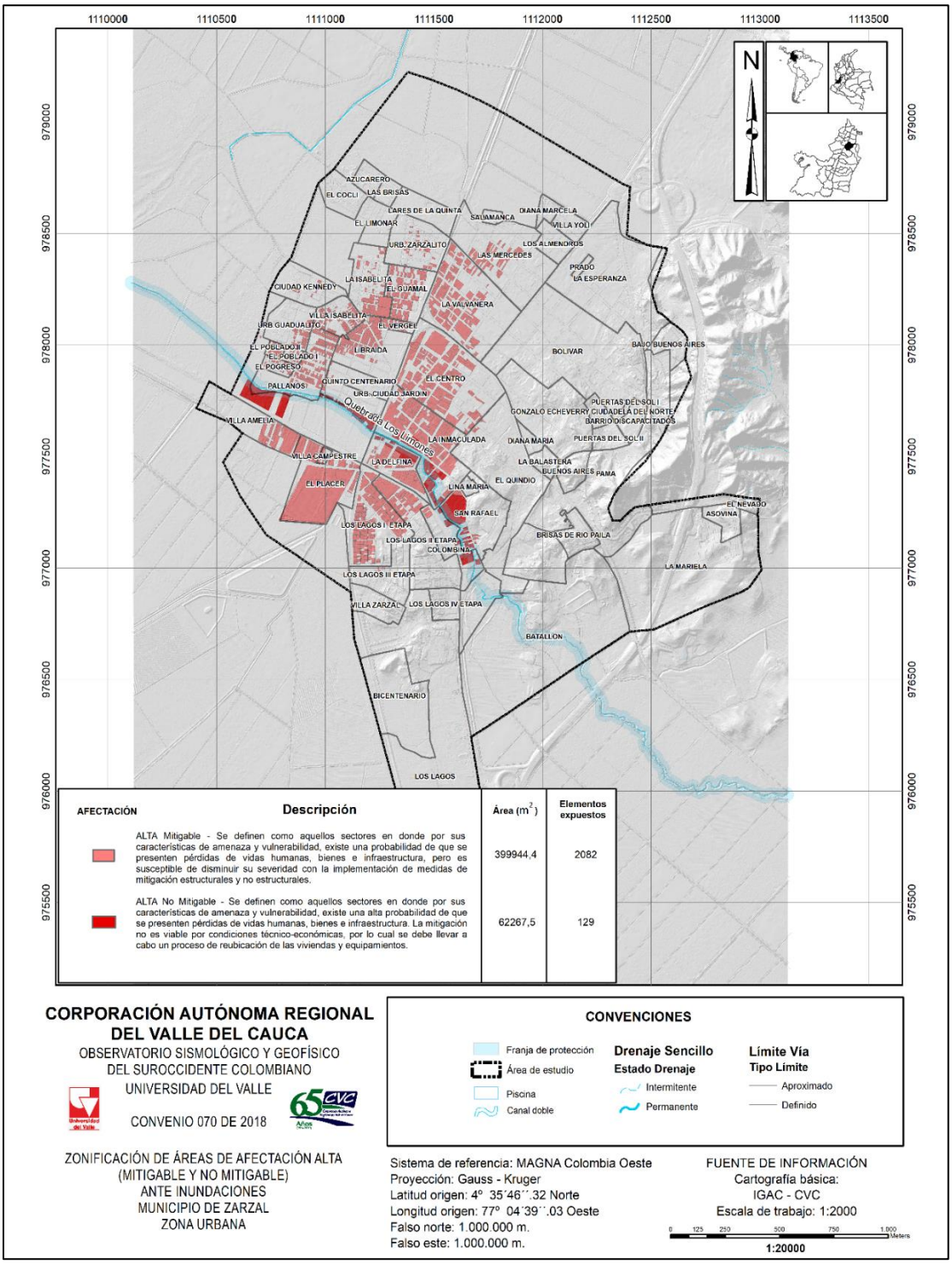


Figura 9.8. Zonificación alta mitigable y no mitigable por inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

9.5. ESCENARIO DE AFECTACIÓN ANTE MOVIMIENTO EN MASA

Siguiendo la metodología propuesta, a continuación, los escenarios de afectación corporal y estructural por el fenómeno de movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal.

9.5.1. Escenario de afectación corporal

De acuerdo con la metodología la afectación corporal está ligada a la afectación de las estructuras. La Tabla 9.10 expone la cantidad de población según el nivel de afectación, en afectación alta existe en total 577 habitantes representando el 95,53% del total de la población, en afectación media 3 habitantes (0,50%) y en afectación baja 24 habitantes (3,97%) de la población total (Figura 9.9).

Tabla 9.10. Afectación corporal ante movimiento en masa

NIVEL DE AFECTACION	NÚMERO DE HABITANTES	PORCENTAJE DE POBLACIÓN
Alta	577	95,53 %
Media	3	0,50 %
Baja	24	3,97 %

Fuente: elaboración propia.

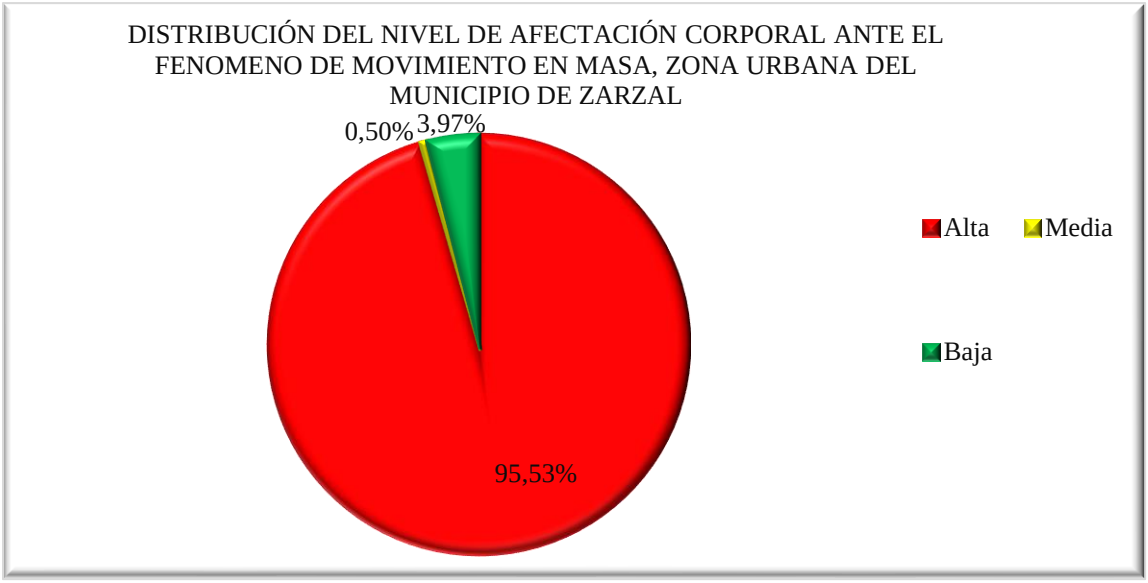


Figura 9.9. Distribución del nivel de afectación corporal por movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

9.5.2. Escenario de afectación estructural

Para este escenario se clasificó alta, media y baja la afectación estructural y su respectiva área en m^2. Con un total de 88 edificaciones, el nivel de afectación principal es principalmente alto, con 287 edificaciones con un área de 79117,95 m^2 equivalente al 95,70% del área total. Seguido de 15 edificaciones con nivel de afectación baja, y un área correspondiente de 2798,40 m^2, representando

el 3,38% del área. Y para la afectación media, presente en 4 edificaciones con un 3,38% del área total *(*Tabla 9.11 y Figura 9.10).

Tabla 9.11. Escenarios de afectación estructural por área (m^2) por movimiento en masa de la zona urbana del municipio de Zarzal

NIVEL DE AFECTACIÓN	NÚMERO DE EDIFICACIONES	ÁREA M²	PORCENTAJE ÁREA
Alta	287	79117,95	95,70%
Media	4	755,94	0,91%
Baja	15	2798,40	3,38%
Total	**306**	**82672,30**	**100%**

Fuente: elaboración propia.

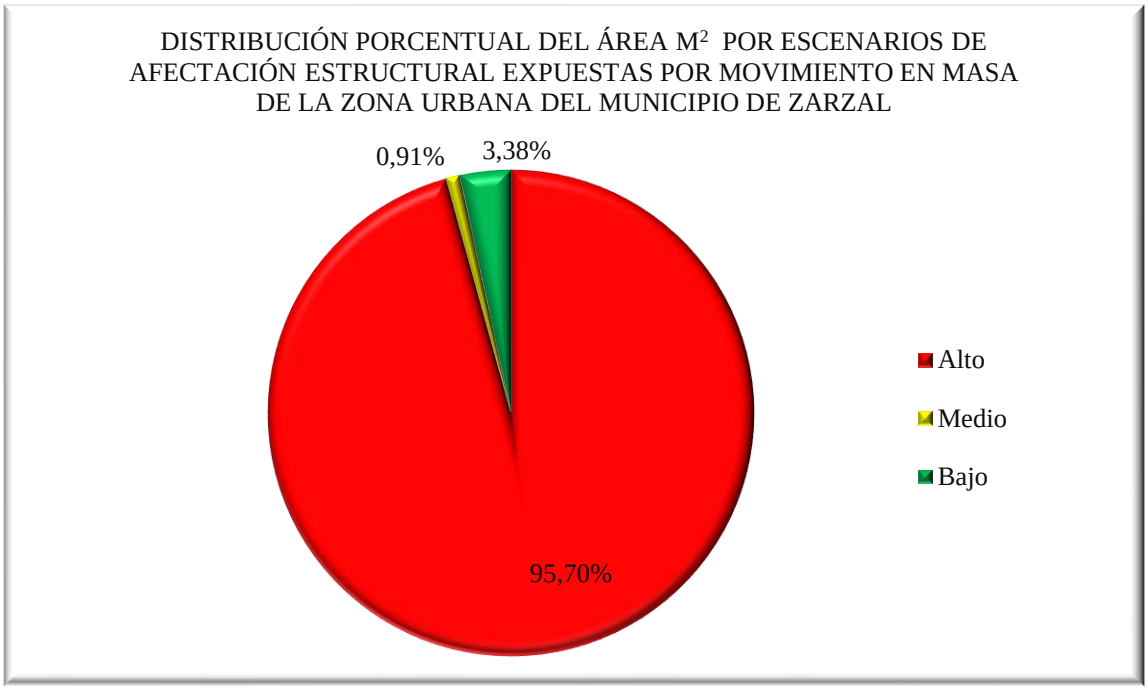


Figura 9.10. Distribución porcentual del área m^2 por escenarios de afectación estructural expuestas por movimiento en masa de la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia

El comportamiento espacial de los escenarios de afectación, se muestran en la Figura 9.11 donde los barrios Pama, Bolívar, Gonzalo Echeverry y Buenos Aires el mayor número de edificaciones con nivel de afectación alta.

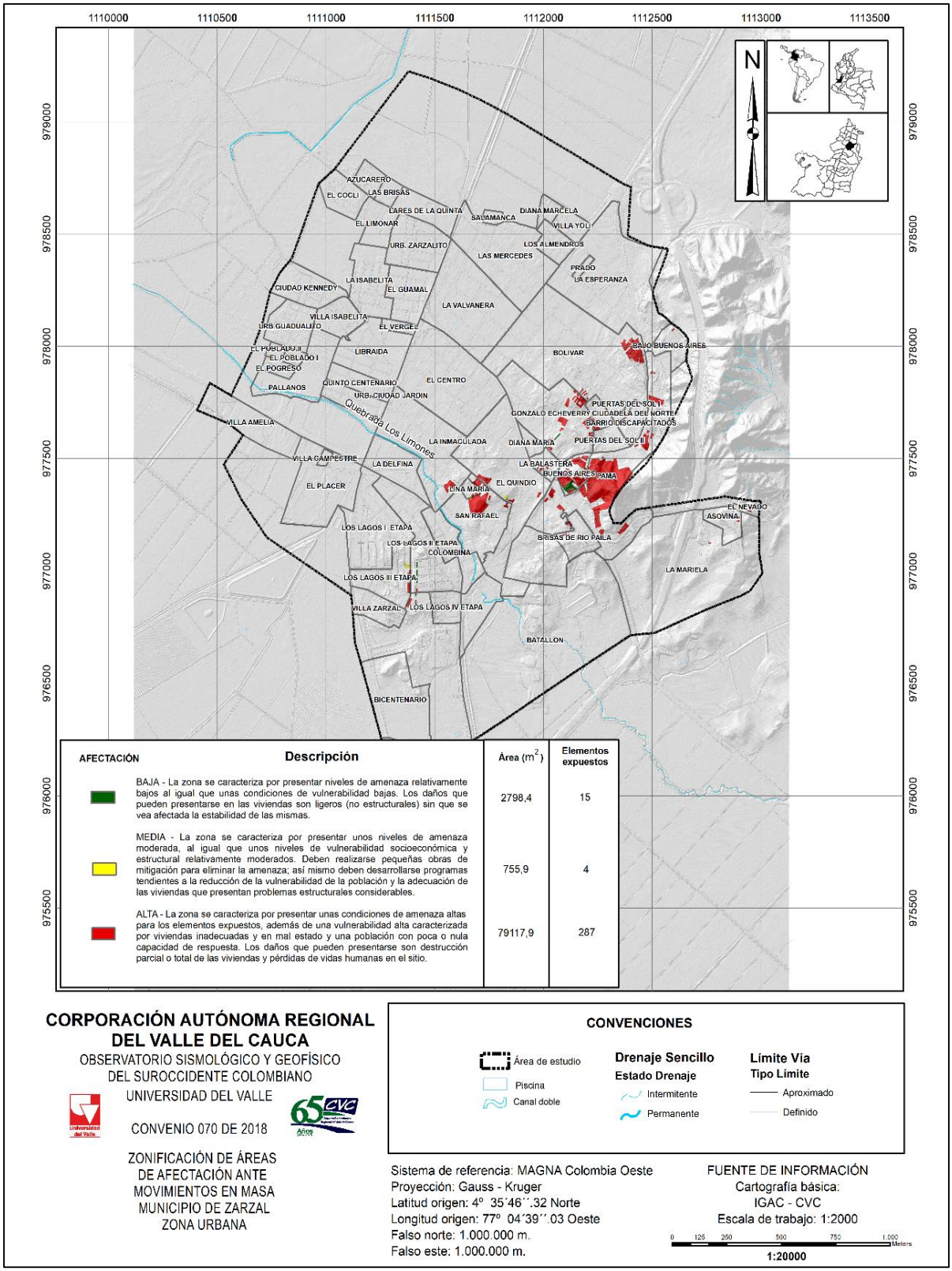


Figura 9.11. Zonificación de áreas de afectación ante movimiento en masa, área urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

9.5.3. Escenario de afectación líneas vitales

En el municipio de Zarzal, el análisis del escenario de afectación las líneas vitales se realizaron para las redes viales y eléctricas. No fue posible realizar el análisis para las redes de acueducto y alcantarillado, tal como se mencionó en la metodología, su abordaje es planteado para redes locales, conectadas directamente con la vivienda.

9.5.3.1. Red vial

En la Tabla 9.12, se muestra los resultados del escenario de afectación de la red vial por movimiento en masa. En afectación alta se tiene 1236,45 m, es decir el 74,34% de longitud del total de la red y en afectación baja, 426,83 m, es decir el 25,66% (Figura 9.12).

Tabla 9.12. Escenario de afectación para la red vial por movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal

NIVEL DE AFECTACIÓN	LONGITUD(M)	% DE LA RED VIAL
Baja	1236,45	73,34 %
Media	426,83	25,66 %

Fuente: elaboración propia.

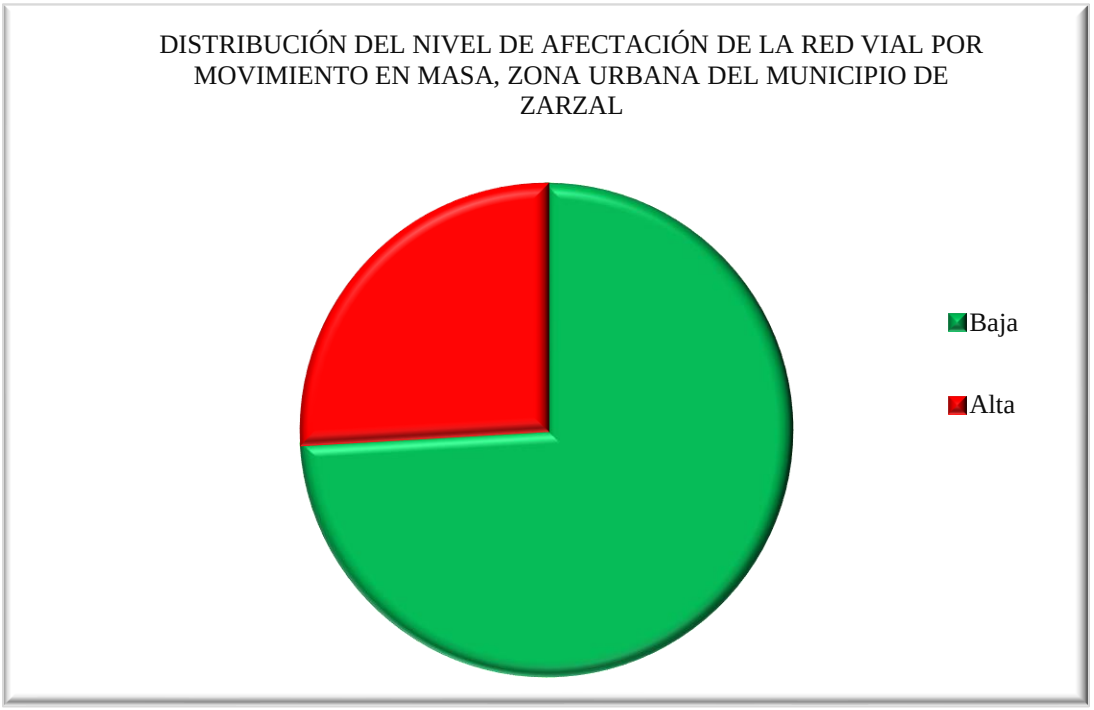


Figura 9.12. Distribución porcentual del escenario de afectación de la red vial por movimiento en masa, zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

La Figura 9.13 muestra la distribución espacial del escenario de afectación de la red vial ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal.

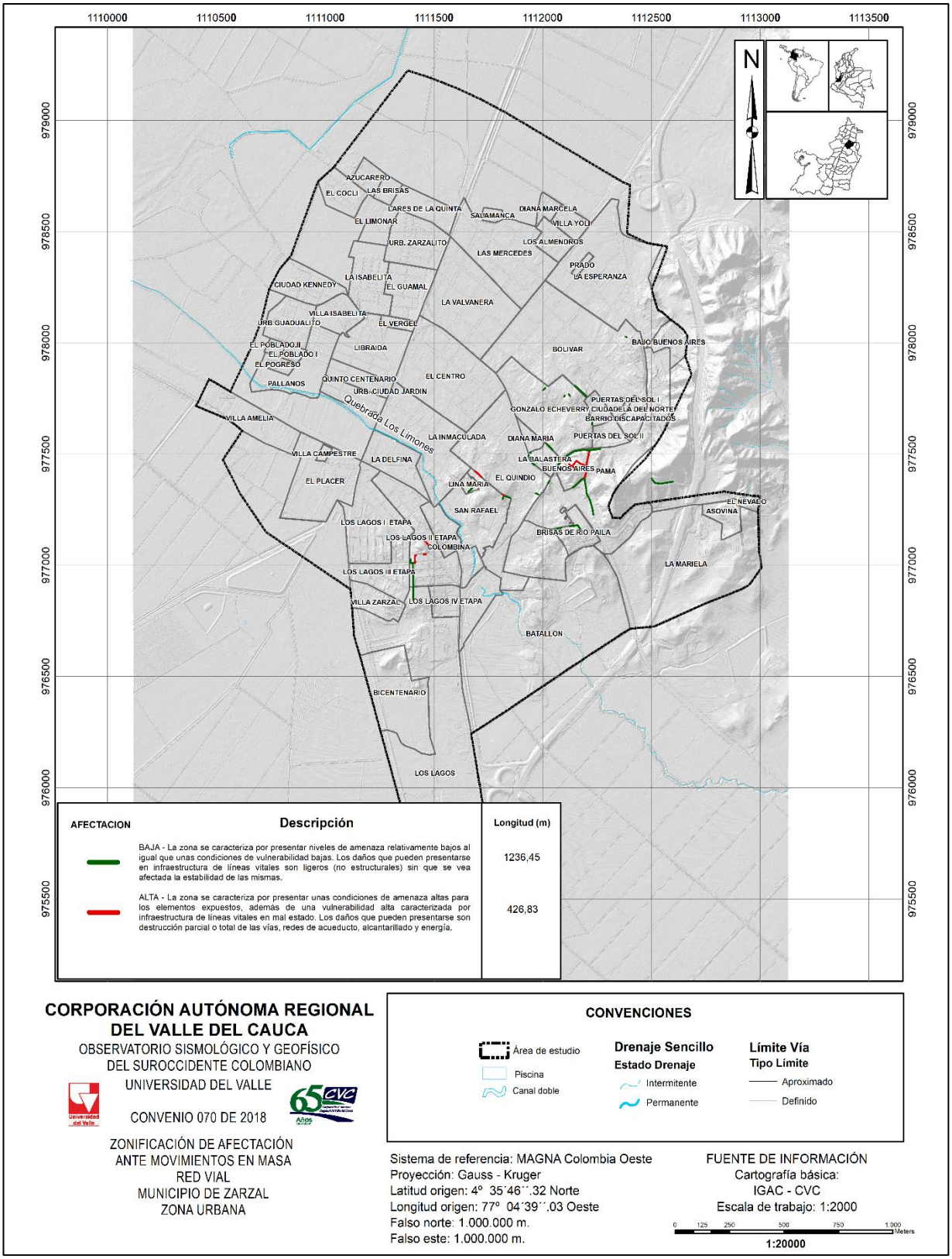


Figura 9.13. Zonificación de afectación por movimiento en masa, red vial, zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

9.5.3.2. Red electrica

La Tabla 9.13 se relaciona el número de postes y su respectiva vulnerabilidad ante movimiento en masa. Los 53 postes presentan una afectación alta

Tabla 9.13. Escenario de afectación en la red eléctrica por movimiento en masa, zona urbana del municipio de Zarzal

NIVEL DE AFECTACION	NÚMERO DE POSTES
Alta	53

Fuente: elaboración propia.

La Figura 9.14, muestra el escenario de afectación alta para los 53 postes que soportan la red de energía eléctrica ante el fenómeno de movimiento en masa en el municipio de Zarzal que podrían ser afectados.

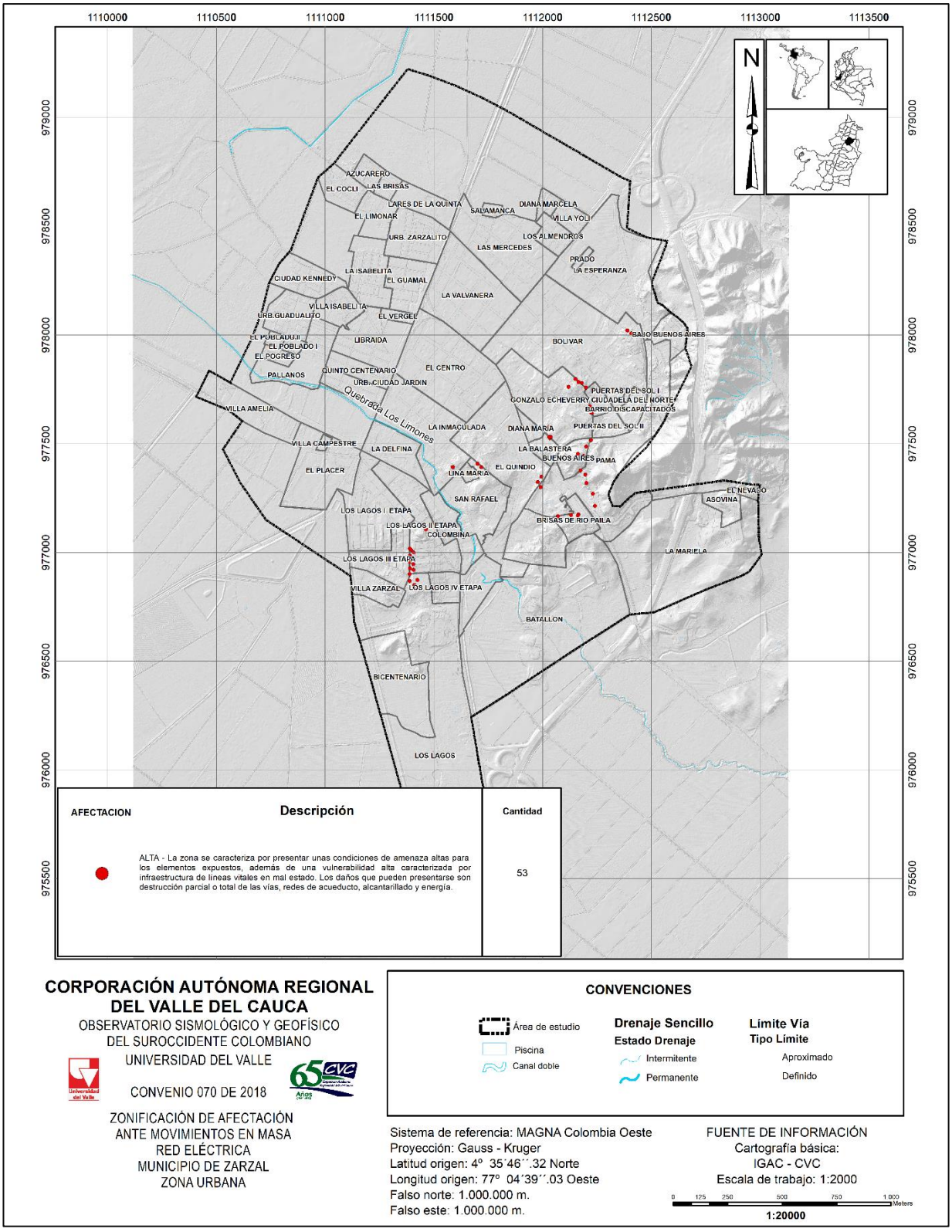


Figura 9.14. Zonificación de afectación por movimiento en masa, red vial, zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

9.6. ESCENARIO DE AFECTACIÓN MITIGABLE Y NO MITIGABLE POR MOVIMIENTO EN MASA MUNICIPIO DE ZARZAL

9.6.1. Zonas de alto riesgo mitigable y no mitigable

Las zonas se definieron con base en la realización de estudios técnicos detallados para la zonificación de la amenaza por movimiento en masa sumada a historicidad de la zona, que determinan la viabilidad de la ejecución de medidas de reducción para permitir que un asentamiento existente pueda permanecer o no en estas áreas. Tal como se mencionó anteriormente, la adopción de estas zonas es una decisión técnica, económica, social y política.

La Tabla 9.14, se muestra las áreas correspondientes a zonas de afectación alta mitigable y no mitigable por el fenómeno de movimiento en masa. Para afectación alta mitigable se tienen 46 edificaciones con un área de 4060 m^2 representando el 44,8% del área total. Y para el alta no mitigable 21 edificaciones con un área de 4997 m^2 y un porcentaje de área de 55,1% (Figura 9.15).

Tabla 9.14. Nivel de afectación alta mitigable y alta no mitigable ante el fenómeno de movimiento en masa

NIVEL DE AFECTACIÓN	EDIFICACIONES	% EDIFICACIONES	ÁREA (M^2)	% ÁREA (M^2)
Alta mitigable	209	72,82 %	35314,91	44,64%
Alta no mitigable	78	27,18 %	43803,04	55,36%
Total	**287**	**100%**	**79117,95**	**100%**

Fuente: elaboración propia.

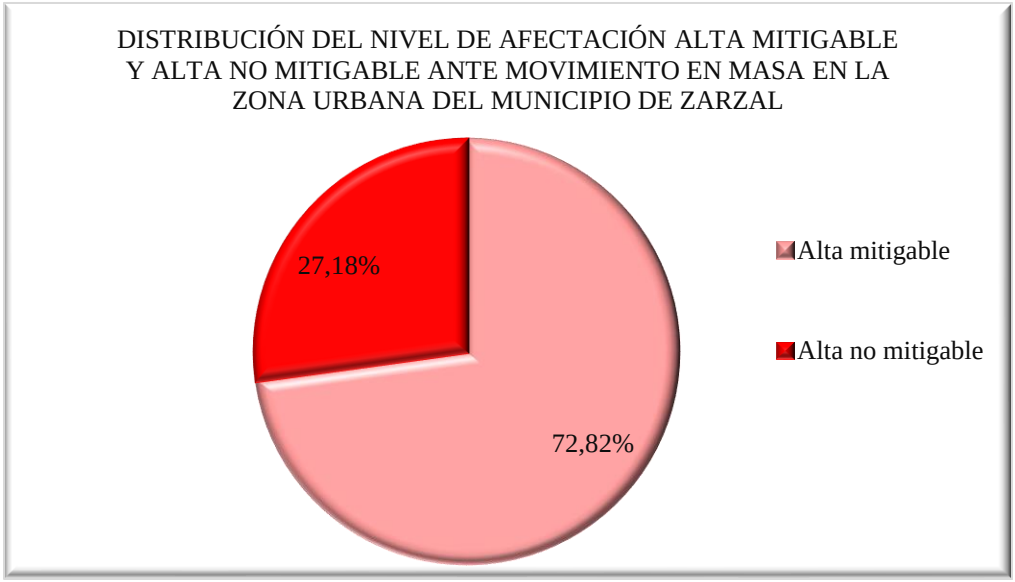


Figura 9.15. Distribución del nivel de afectación alta mitigable y alta no mitigable ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

La Figura 9.16 muestra la zonificación de la afectación alta mitigable y no mitigable por movimiento en la zona urbana del municipio de Zarzal. Los barrios Bolívar y Gonzalo Echeverry

con 59 y 41 edificaciones, respectivamente son los barrios con mayores edificaciones en afectación alta mitigable. Seguido de los barrios Pama con 19 edificaciones, los barrios El Quindío con 13, San Rafael y Ciudadela del Norte con 12 y Los Lagos III etapa con 11 edificaciones, el barrio Brisas de Rio Paila con 9 edificaciones, Los barrios Lina María y Los Lagos I etapa se encuentran 8 edificaciones, La Balastera con 5, El Nevado y La Inmaculada se encuentran 3 edificaciones respectivamente, Asovina con 2. Por ultimo estan los barrios Bajo Buenos Aires, La Mariela, Los Lagos II etapa y Puertas del Sol II con 1 edificación.

En zona de Afectaciones no mitigables en las edificaciones de los barrios Buenos Aires con 31 y Pama con 47 edificaciones.

Las obras que se recomienda realizar con los estudios técnicos necesarios son:

- Muros de gaviones con dimensiones aproximadas entre:

5m de largo y 20m de largo
2m de ancho y 3m de ancho
2m de alto y 4m de alto

Para los barrios en los que se clasificaron en zonas de afectación (riesgo) mitigable se recomienda la realización de muros en gaviones y canales de manejo de aguas.

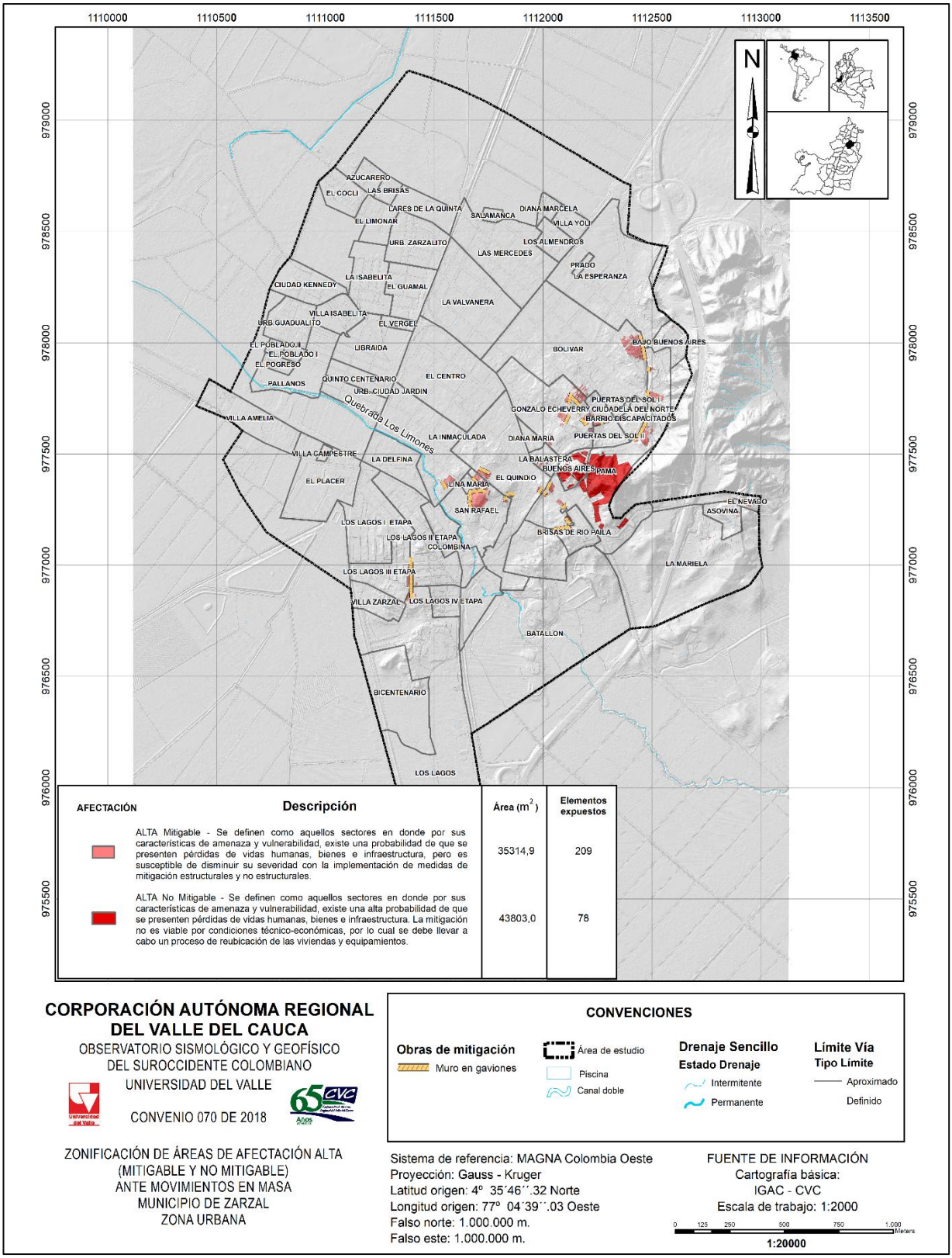


Figura 9.16. Zonificación de afectación alta mitigable y no mitigable ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal
Fuente: elaboración propia.

9.7. CÁLCULO DE POSIBLES PERDIDAS ECONOMICAS POR INUNDACION Y MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE ZARZAL

De acuerdo con Gavidia (1988) en los últimos años se ha observado como el crecimiento de los asentamientos urbanos en América Latina y El Caribe ha desbordado los mecanismos de planificación que han intentado aplicarse para guiar el desarrollo de los mismos, que hoy en día es observable con el crecimiento de la ocupación de áreas que en cierta medida no han sido aptas para ocuparse y que pueden presentar en un futuro un riesgo para la población que habite en ese lugar, este crecimiento puede deberse a muchas razones entre las cuales el autor destaca: i) estilos de desarrollo seguidos de la región, ii) condiciones sociales, iii) condiciones económicas, iv) condiciones políticas, siendo cada una de ellas hoy en día imperantes en el territorio colombiano.

Por estas razones, hay zonas más expuestas a los desastres que tienen consecuencias devastadoras en los ámbitos sociales, económicos y de infraestructura. El departamento del Valle del Cauca, es una región propensa a la aparición de fenómenos amenazantes que pueden poner en riesgo a las poblaciones vulnerables.

Los desastres generan en la gran mayoría de los casos pérdidas económicas y otros daños que son incalculables. Teniendo como consecuencias afectaciones en la zona urbana de las viviendas, red vial, red de gas, red de acueducto, red de alcantarillado, alumbrado público, y otras infraestructuras. Para la administración municipal las afectaciones son parciales o completas en las edificaciones educativas, hospitalarias e institucionales, las cuales dejarían en un déficit fiscal al municipio. Así mismo, afectan las tierras agrícolas dejando pérdidas en los cultivos y de paso el suministro de alimentos a nivel local.

En el Plan Municipal de Gestión del Riesgo Zarzal (2016) se formuló la política de gestión de riesgo que contribuya al desarrollo social, económico y ambiental sostenible del Municipio por medio de la reducción del riesgo asociado con fenómenos de origen natural, socio natural, tecnológico y antrópico, así como con la prestación efectiva de los servicios de respuesta y recuperación en caso de desastre, en el marco de la gestión integral del riesgo.

Considerando este contexto y en complemento a los estudios mencionados, se realiza una estimación de las posibles pérdidas económicas por emergencias y desastres, ante la ocurrencia de inundación y movimiento en masa.

En primer lugar, se identificaron los elementos expuestos en las zonas de riesgo alto y bajo, se realiza la valoración económica de las posibles pérdidas por inundación y movimiento en masa en el municipio de Zarzal, en esta área de estudio, solo se encuentran daños en la infraestructura social de predios residenciales y no residenciales (comerciales, mixtas y culto), además los gastos gubernamentales para atender el evento de inundación, por lo tanto, se descartan afectaciones en edificaciones esenciales (instituciones educativas y hospitales), en las vías y costo de reposición de líneas vitales al no encontrarse información de las mismas.

En esta etapa se hace una estimación de las posibles pérdidas económicas ante la ocurrencia de un evento por inundación y movimiento en masa en las áreas clasificadas en afectación alta, media y baja del municipio de Zarzal teniendo en cuenta las variables de los capítulos anteriores.

Las estimaciones de los posibles costos asociados a la ocurrencia de inundación y movimiento en masa están divididas en 2 partes, a considerar: i) el daño de la infraestructura social; ii) el gasto del gobierno en su esfuerzo por atender las necesidades de las zonas inundadas.

9.7.1. Identificación de los elementos expuestos en escenario de afectación ante inundación

La identificación de los elementos expuestos se realizó considerando el escenario de afectación por inundación. Para éstos se tiene en cuenta la clasificación de elementos estructurales y funcionales. Puntualmente, la valoración se realizó para edificaciones residenciales y no residenciales. A continuación, se detallan los elementos localizados dentro del municipio los cuales poseen afectación alta y baja por inundación.

9.7.1.1. Edificaciones

De acuerdo al censo que se realizó para la evaluación estructural en el área de estudio, señalado en la Tabla 9.15, se encontró que las edificaciones expuestas en afectación alta están en su mayoría construidos en mampostería no reforzada (238), y en menor cantidad de confinada, madera, mampostería tapia, bahareque y de otros materiales. Además, en su mayoría el uso de suelo de la zona urbana de Zarzal ha sido destinado para la construcción de vivienda.

Tabla 9.15. Clasificación de elementos estructurales y funcionales en afectación alta, media y baja por inundaciones en la zona urbana del municipio de Zarzal

TIPOS DE ESTRUCTURAS				**FUNCIONALIDAD DE LOS ELEMENTOS**			
TIPO DE CONSTRUCCIÓN	**N° EDIFICACIONES EN AFECTACIÓN**			**USO DEL SUELO**	**N° EDIFICACIONES EN AFECTACIÓN**		
	ALTA	**MEDIA**	**BAJA**		**ALTA**	**MEDIA**	**BAJA**
Mampostería Confinada	807	26	169	Residencial	1798	26	155
				Comercial	207	0	6
Mampostería No Reforzada	1348	3	4	Mixto	178	2	10
				Recreación	3	0	0
Madera, Tapia y Bahareque	54	0	0	Salud	4	0	0
				Educación	8	0	1
				Culto	7	0	0
Otro (Material Reciclado)	2	0	0	Cultural	2	0	0
				Institucional	4	1	1
TOTAL	**2.211**	**29**	**173**	**TOTAL**	**287**	**29**	**173**

Fuente: elaboración propia.

9.7.1.2. Infraestructura social

Los desastres afectan negativamente las condiciones sociales y económicas de la población, los daños en la infraestructura, elementos internos y la prestación del servicio que brinde la instalación que sufra el daño pueden llegar a ser significativos. Las inundaciones afectan en igual medida a infraestructuras grandes o pequeñas, el daño que puede recibir las instalaciones está relacionado con las características de la construcción y su ubicación.

De acuerdo con la Organización Panamericana de Salud (2013) y su estudio frente a las inundaciones a infraestructuras, los daños que se pueden presentar a elementos estructurales y no estructurales. Para daños en elementos estructurales divido en la subestructura (cimentación) y la

superestructura (columnas, vigas, techos, muros, portante, escaleras) están directamente relacionados con:

- El tipo de evento.
- Ubicación del establecimiento o del inmueble.
- Capacidad portante del terreno.
- Nivel freático.
- Resistencia y estabilidad de la infraestructura para soportar la presión del agua.
- Protección de su cimentación frente al efecto erosivo de las aguas.
- Tecnología constructiva empleada en la edificación.
- Capacidad de los materiales de construcción para permanecer largo tiempo estables bajo el agua.

Los daños que se pueden presentar en elementos no estructurales están directamente relacionados con el contacto con masas de agua generadas por lluvias e inundaciones, entre las principales afectaciones se encuentran:

- Los servicios básicos indispensables internos (agua, alcantarillado, energía eléctrica).
- Elementos de decorativos.
- Divisiones y muebles.
- Todo tipo de equipos (electrodomésticos, tecnológicos).

Los daños que las inundaciones generan en las viviendas con base a lo planteado anteriormente pueden dividirse principalmente en dos:

1. Los daños en el contenido (electrodoméstico y mobiliario) asociado a reposición de los bienes afectados.
2. El daño en la estructura asociado a costes de reparación de la misma.

Por lo que para determinar cada uno de estos daños se realiza la tipificación de una vivienda y su contenido en la cabecera municipal de Zarzal.

En primer lugar, se encontró la relación de bienes que como promedio existen en esta clase de vivienda, consistente en: televisión, nevera, estufa, muebles de sala, comedor, computador y camas.

A cada uno de éstos se le asignó un precio unitario teniendo en cuenta la lista de precios de un almacén de cadena principal del municipio. El siguiente paso fue establecer los intervalos de altura de lámina de agua, para definir el porcentaje de afectación que pudiera tener tanto el contenido del predio como su infraestructura. Las alturas de lámina de agua definidas fueron de 0.45 m - 0.90 m amenaza media y mayores a 0.90 m amenaza alta. No se definieron más alturas ya que a esta última, los daños totales alcanzarían un valor del 100%.

Por último, se calcula el valor del contenido y la estructura de predios residenciales y no residenciales teniendo en cuenta los porcentajes de afectación establecidos de acuerdo con el nivel de amenaza, estimando los porcentajes de daño tanto del contenido como de la estructura de los predios de acuerdo a los costos iniciales, considerando los niveles de inundaciones.

9.7.1.2.1. Estimación del costo de la estructura de predios no residenciales

Con el fin de estimar los costos de la estructura es necesario determinar el total de área construida con base en el censo realizado para la parte estructural del municipio y el precio de los predios no residenciales, el precio de los predios se estableció con base en el cociente entre el promedio del avalúo catastral y del área de dichos predios (se excluyeron los valores atípicos: áreas menores a 50 m^2 y mayores a 500 m^2). Finalmente se obtuvo un valor de $ 376.660 por cada m^2. En el contexto del municipio de Zarzal se encuentran ubicados 18 edificaciones con uso de suelo no residencial en afectación alta y 1 en afectación baja, ante un escenario de inundación.

En el contexto del municipio de Zarzal se encuentran ubicados 413 predios con uso de suelo no residencial en afectación alto, 3 predios en afectación medio y 18 predios en afectación bajo, ante un escenario de inundación. Se estimó un área total construida en nivel de afectación alto de 206.756 m^2, en nivel de afectación medio de 427 m^2 y en nivel de afectación bajo de 24.551 m^2 con un costo total aproximado de $ 77.876.684.591, $ 160.979.648 y $ 9.247.388.360 millones de pesos respectivamente (Tabla 9.16).

Tabla 9.16. Costo total de edificaciones no residenciales en afectación alta por inundación

EDIFICACIONES NO RESIDENCIALES EN AFECTACIÓN			
NIVEL DE AFECTACIÓN	**CANTIDAD DE EDIFICACIONES**	**ÁREA (m^2) TOTAL CONSTRUIDA**	**COSTO TOTAL**
Alta	413	206.756 m^2	$ 77.876.684.591
Media	3	427 m^2	$160.979.648
Baja	18	24.551 m^2	$9.247.388.360
COSTO TOTAL			**$ 87.285.052.599**

Fuente: elaboración propia a partir del avalúo comercial por m^2 del municipio de Zarzal.

9.7.1.2.2. Estimación del costo de la estructura de edificaciones residenciales en zona de afectación alta, media y baja

el precio de los predios se estableció con base en el cociente entre el promedio del avalúo catastral y del área de dichos predios (se excluyeron los valores atípicos: áreas menores a 50 m^2 y mayores a 500 m^2). Finalmente se obtuvo un valor de $ 376.660 por cada m^2. En el contexto del municipio de Zarzal se encuentran ubicados 1798 edificaciones con uso de suelo residencial en afectación alta y 4 en afectación bajo, ante un escenario de inundación. Se estimó un área total construida en nivel de afectación alto de 66.856 m^2 y en nivel de afectación bajo de 555 m^2, con un costo total aproximado de **veintidos mil ciento setenta y seis millones ochocientos setenta mil seiscientos diesciseis pesos ($ 22.176.870.616)** (Tabla 9.17).

Tabla 9.17. Costo total aproximado de edificaciones residenciales en afectación alta, media y baja ante inundación

EDIFICACIONES RESIDENCIALES EN AFECTACIÓN ALTA Y BAJA			
NIVEL DE AFECTACION	**CANTIDAD DE EDIFICACIONES**	**ÁREA (m^2) TOTAL CONSTRUIDA**	**COSTO TOTAL APROXIMADO**
Alta	1.798	256.700 m^2	$ 96.688.596.552
Media	26	3.345 m^2	$ 1.259.894.142
Baja	155	17.299 m^2	$ 6.515.807.129

COSTO TOTAL	$ 104.464.297.823

Fuente: elaboración propia a partir de la base de datos Catastral del municipio Zarzal.).

9.7.1.2.3. Contenidos (electrodomésticos y mobiliarios) promedio en hogares

A partir de la información disponible en la encuesta de calidad de vida del DANE para el Valle del Cauca (2016), y de acuerdo con la muestra que se realizó en el área de influencia se determinó el listado promedio de mobiliario y electrodomésticos por hogar, el cual se resume en la Figura 9.17.

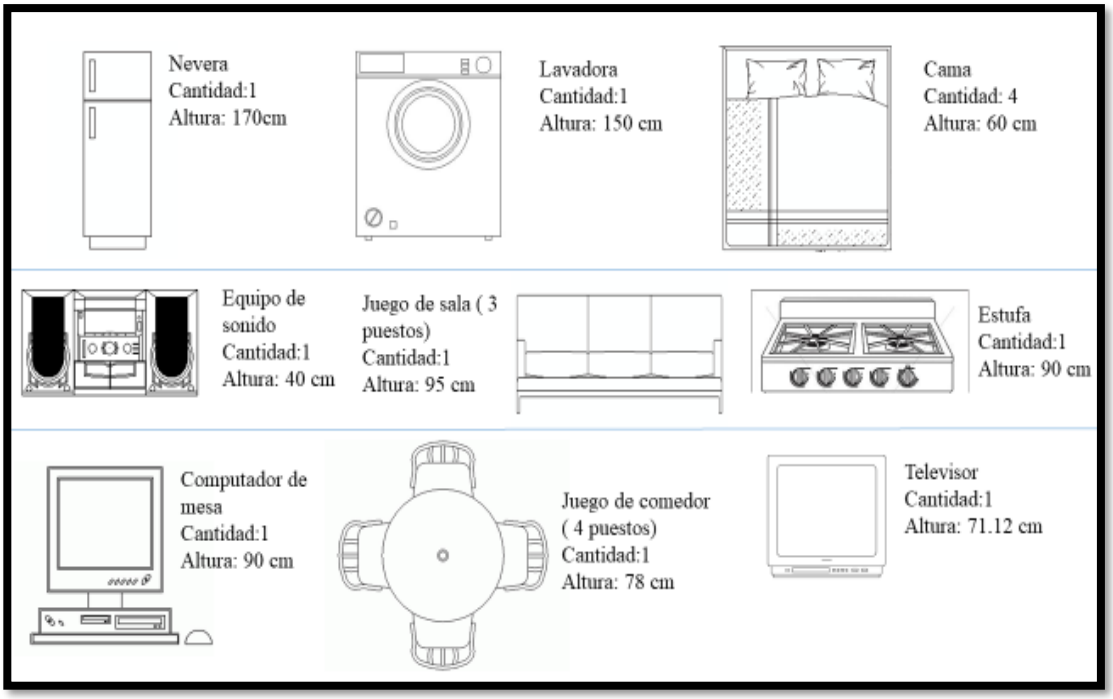


Figura 9.17. Tipificación del contenido de una vivienda en el área de estudio.
Fuente: elaboración propia con información DANE (2016).

A continuación, se procede a estimar el valor económico del contenido y la estructura de las viviendas:

9.7.1.2.4. Estimación de los costos del contenido de las edificaciones

En la Tabla 9.18 se estima el valor económico de los contenidos por vivienda. Inicialmente, se determina el valor del mobiliario y electrodomésticos de una vivienda a través de la multiplicación del valor comercial promedio de los artículos nuevos de acuerdo a la cantidad de los mismos en cada vivienda. Se considera que el contenido de las viviendas tiene un determinado tiempo de vida útil, para los electrodomésticos la vida útil será establecida por el promedio de vida proyectado desde la Organización de Consumidores y Usuarios y para los muebles de hogar 10 años con base en información del sector comercial, en este caso los principales almacenes de cadena en Colombia. Se estipula la depreciación en línea recta que supone una depreciación constante, teniendo en cuenta el valor comercial promedio del articulo y su vida útil, dicha depreciación arroja el cambio de precio que sufre durante el transcurso de los años. Es importante establecer el tiempo promedio

de tenencia como la vida útil media para cada artículo, ya que se tiene en cuenta los años de tenencia de artículos nuevos y antiguos en posesión de los habitantes del municipio de Zarzal. Así se obtiene al final un valor promedio total teniendo en cuenta la depreciación de $ 3.237.632 pesos por vivienda.

Tabla 9.18. Valor aproximado del contenido de las viviendas

CONTENIDOS POR VIVIENDA	CANT.	VALOR COMERCIAL PROMEDIO	VIDA UTIL (años)	DEPRECIACIÓN POR AÑO	TIEMPO PROMEDIO TENENCIA	VALOR TOTAL CON DEPRECIACIÓN
Nevera	1	$ 823.540	12	68628,33333	6	$ 411.770
TV a color	1	$ 553.280	12	46106,66667	6	$ 276.640
Lavadora	1	$ 925.430	10	92543	5	$ 462.715
Computador	1	$ 994.025	6	165670,8333	3	$ 497.013
Equipo de sonido	1	$ 389.421	8	48677,625	4	$ 194.711
Comedor	1	$ 647.200	10	64720	5	$ 323.600
Sala	1	$ 1.053.478	10	105347,8	5	$ 526.739
Estufa	1	$ 345.640	12	28803,33333	6	$ 172.820
Cama	4	$ 743.250	10	74325	5	$ 371.625
VALOR TOTAL CONTENIDOS						**$ 6.475.264**
VALOR TOTAL CON DEPRECIACIÓN DE CADA ARTICULO						**$ 3.237.632**

Fuente: elaboración propia con información del DANE (2016). Precios 2020: Alkosto, Almacenes la 14, Almacenes Éxito, Bodega del mueble, Only muebles.

9.7.1.2.5. Estimación del costo total aproximado por daños de contenido en edificaciones residenciales

La Tabla 9.19, se procedió a multiplicar el valor aproximado con depreciación de cada artículo por el número de edificaciones residenciales en afectación alta, media y baja. El costo total aproximado asociado a la perdida de contenido en edificaciones residenciales afectados por inundación corresponde a **seis mil cuatrocientos siete millones doscientos setenta y tres mil setecientos veintiocho pesos ($6.407.273.728).**

Tabla 9.19. Costo total aproximado por daños de contenido en edificaciones residenciales con afectación alta, media y baja

NIVEL DE AFECTACIÓN	NÚMERO DE EDIFICACIONES	COSTO APROXIMADO POR DAÑOS DE CONTENIDO ($)
Alto	1798	$ 5.821.262.336
Medio	26	$ 84.178.432
Bajo	155	$ 501.832.960
TOTAL	**1.979**	**$ 6.407.273.728**

Fuente: elaboración propia.

9.7.1.2.6. Resumen de costos aproximados de daño en la infraestructura social

El resumen de costos aproximados de daño en la infraestructura social (estructura y contenido) en afectación alta, media y baja solo se tendrá costos de edificaciones residenciales y no residenciales (comercial, mixto y equipamiento), debido a que en la zona urbana del municipio de Zarzal para el escenario afectación de inundación no hay ninguna edificación esencial (instituciones educativas

y hospitales), se obtuvieron costos por **treinta y cinco mil doscientos trece millones setecientos noventa y siete mil ochocientos dos pesos ($ 35.213.797.802) (**Tabla 9.20).

Tabla 9.20. Resumen de costos aproximados de daño en la infraestructura social afectada por inundación

RESUMEN DE COSTOS APROXIMADOS DE DAÑO EN LA INFRAESTRUCTURA SOCIAL	COSTO APROXIMADO DE DAÑO
Costo aproximado de daño en edificaciones no residenciales en afectación (riesgo) ante inundación	$ 10.634.339.554
Costo aproximado de daño en edificaciones residenciales en afectación (riesgo) ante inundación	$ 24.579.458.248
COSTO TOTAL APROXIMADO DE DAÑO EN LA INFRAESTRUCTURA SOCIAL	**$ 35.213.797.802**
COSTO TOTAL APROXIMADO (USD) (1 USD = $ 3.586 COP)	**9.819.798 US$**

Fuente: elaboración propia.

9.7.1.3. Posibles pérdidas por daños en edificaciones esenciales

Realizando el mismo procedimiento del cálculo del costo total de la infraestructura social afectada por inundación, el cálculo de las posibles pérdidas por daño a edificaciones esenciales se estima considerando, el daño de la estructura y el daño en el contenido, en el caso del municipio de Zarzal se encuentran 11 predios destinados al uso de edificaciones esenciales en funcionamiento: 5 pertenecen a instituciones educativas, un Centro de Desarrollo Infantil (CDI), un hospital, la registraduría, la notaría, 1 juzgado y 1 a oficinas descentralizadas de la alcaldía. Para las instituciones educativas y el centro de salud el cálculo de pérdidas se determinará teniendo en cuenta la estructura y contenido (basados en algunos supuestos), sin embargo, para las edificaciones restantes la estimación solo se realizará para el daño de estructura, ya que no se cuenta con la información detalla del contenido. Cabe resaltar que el informe presenta una aproximación de los posibles costos, dado que resulta dispendioso y costoso conocer con exactitud las características materiales de cada edificación internamente.

9.7.1.3.1. Estimación del costo de daños en la estructura de las edificaciones esenciales

Para la estimación del costo de daños en la estructura de las edificaciones esenciales, el precio de los predios se estableció con base en el cociente entre el promedio del avalúo catastral y del área de dichos predios (se excluyeron los valores atípicos: áreas menores a 50 m^2 y mayores a 500 m^2). Finalmente se obtuvo un valor de $ 376.660 por cada m^2.

Se encontró que hay un total de 31.013 m^2 en los predios destinados para uso educativo, de los cuales 8.747 m^2 en nivel de afectación alto y 22.266 m^2 en nivel de afectación bajo, el costo total aproximado de las estructuras presentado en la Tabla 9.21 de $ 11.681.356.580 millones de pesos. El Centro de Desarrollo Infantil (CDI), cuenta con un total de 1.465 m^2 en el predio destinado para su uso, los cuales se encuentran en afectación alto con un costo total aproximado de la estructura, presentado en la Tabla 9.22 de $551.806.900 millones de peso. Por otro lado, la registraduría, tiene un total de 147 m^2 en el predio destinado para su uso, los cuales se encuentran en afectación alto con un costo total aproximado de la estructura, presentado en la Tabla 9.23 de $ 55.369.020. También está la notaría, que tiene un total de 191 m^2 en el predio destinado para su uso, los cuales se encuentran en afectación medio con un costo total aproximado de la estructura, presentado en la

Tabla 9.24 de $ 71.942.060. Otra edificación es el juzgado, el cual tiene un total de 298 m^2 en el predio destinado para su uso, en afectación alto con un costo total aproximado de la estructura, presentado en la Tabla 9.25 de $ 112.244.680. Por último, se encuentran las oficinas descentralizadas de la alcaldía (Sisbén, Unidad local de salud, Personería), las cuales tiene un total de 812 m^2 en el predio destinado para su uso, en afectación alto con un costo total aproximado de la estructura, presentado en la Tabla 9.26 de $ 305.847.920.

Cabe resaltar, que la estimación de costos para daños en estructura no se realizó para el hospital, ya que esta información se encontró en los estados financieros proporcionados por la misma institución.

Tabla 9.21. Área (m^2) Total Construida y Costo Total aproximado de la edificación destinada a uso educativo en riesgo ante inundación.

EDIFICACIONES EDUCATIVAS EN AFECTACIÓN (EN FUNCIONAMIENTO)			
NIVEL DE AFECTACIÓN	**CANTIDAD DE PREDIOS EDUCATIVOS**	**ÁREA (m^2) TOTAL**	**COSTO TOTAL APROXIMADO**
Alto	3	8.747 m^2	$ 3.294.645.020
Bajo	2	22.266 m^2	$ 8.386.711.560
COSTO TOTAL APROXIMADO			**$ 11.681.356.580**

Fuente: elaboración propia a partir del avalúo catastral por m^2 del municipio de Zarzal.

Tabla 9.22. Área (m^2) Total Construida y Costo Total aproximado del Centro de Desarrollo Infantil (CDI) en riesgo ante inundación.

EDIFICACIÓN DEL CENTRO DE DESARROLLO INFANTIL (CDI) (EN FUNCIONAMIENTO)			
NIVEL DE AFECTACIÓN	**CANTIDAD DE PREDIOS**	**ÁREA (m^2) TOTAL**	**COSTO TOTAL APROXIMADO**
Alta	1	1.465 m^2	$ 551.806.900
COSTO TOTAL APROXIMADO			**$ 551.806.900**

Fuente: elaboración propia a partir del avalúo catastral por m^2 del municipio de Zarzal.

Tabla 9.23. Área (m^2) Total Construida y Costo Total aproximado de la registraduría en riesgo ante inundación.

EDIFICACIÓNES DE REGISTRADURIA EN AFECTACIÓN (EN FUNCIONAMIENTO)			
NIVEL DE AFECTACIÓN	**CANTIDAD DE PREDIOS**	**ÁREA (m^2) TOTAL**	**COSTO TOTAL APROXIMADO**
Alta	1	147 m^2	$ 55.369.020
COSTO TOTAL APROXIMADO			**$ 55.369.020**

Fuente: elaboración propia a partir del avalúo catastral por m^2 del municipio de Zarzal.

Tabla 9.24. Área (m^2) Total Construida y Costo Total aproximado de la notaría en riesgo ante inundación.

EDIFICACIÓNES DE NOTARÍA EN AFECTACIÓN (EN FUNCIONAMIENTO)			
NIVEL DE AFECTACIÓN	**CANTIDAD DE PREDIOS**	**ÁREA (m^2) TOTAL**	**COSTO TOTAL APROXIMADO**
Media	1	191 m^2	$ 71.942.060
COSTO TOTAL APROXIMADO			**$ 71.942.060**

Fuente: elaboración propia a partir del avalúo catastral por m^2 del municipio de Zarzal.

Tabla 9.25. Área (m^2) Total Construida y Costo Total aproximado del juzgado en riesgo ante inundación.

EDIFICACIÓNES DEL JUZGADO EN AFECTACIÓN (EN FUNCIONAMIENTO)			
NIVEL DE AFECTACIÓN	**CANTIDAD DE PREDIOS**	**ÁREA (m^2) TOTAL**	**COSTO TOTAL APROXIMADO**
Alta	1	298 m^2	$ 112.244.680
COSTO TOTAL APROXIMADO			**$ 112.244.680**

Fuente: elaboración propia a partir del avalúo catastral por m^2 del municipio de Zarzal.

Tabla 9.26. Área (m^2) Total Construida y Costo Total aproximado de oficinas descentralizadas de la alcaldía en riesgo ante inundación.

EDIFICACIÓNES DE OFICINAS DESCENTRALIZADAS DE LA ALCALDÍA EN AFECTACIÓN (EN FUNCIONAMIENTO)			
NIVEL DE AFECTACIÓN	**CANTIDAD DE PREDIOS**	**ÁREA (m^2) TOTAL**	**COSTO TOTAL APROXIMADO**
Alta	1	812 m^2	$ 305.847.920
COSTO TOTAL APROXIMADO			**$ 305.847.920**

Fuente: elaboración propia a partir del avalúo catastral por m^2 del municipio de Zarzal

9.7.1.4. Estimación del costo de daños en las estructuras y el contenido de las Instituciones Educativas.

Para la estimación del costo de daños se toma como base la información suministrada en el informe "Consulta número de alumnos por aula" del Ministerio de Educación (2018) y los resultados del presente estudio, se muestra en la Tabla 9.27 la existencia de las sedes educativas María Inmaculada, Policarpa Salavarrieta y la Institución Educativa Normal Superior Nuestra Señora de las Mercedes (sede 1) que están en afectación alto por escenario de inundación. Las Instituciones educativas Normal Superior Nuestra Señora de las Mercedes (sede John F Kennedy) y la sede educativa Pablo Emilio Camacho Perea, se encuentran en afectación bajo por escenario de inundación.

Tabla 9.27. Instituciones educativas que se encuentran en riesgo ante la ocurrencia de una inundación.

INSTITUCIÓN EDUCATIVA	SEDE	NÚMERO DE ESTUDIANTES	NIVEL EDUCATIVO
I.E Normal Superior Nuestra Señora de las Mercedes	Nuestra Señora de las Mercedes (1)	1.306	Básica primaria, básica secundaria, media.
	John F. Kennedy (2)	377	Preescolar, básica primaria.
	Policarpa Salavarrieta (3)	184	Preescolar, básica primaria.
I.E Efraín Varela Vaca	María Inmaculada (4)	355	Preescolar, básica primaria.
	Pablo Emilio Camacho (5)	958	Preescolar, básica primaria, básica secundaria

Fuente: elaboración propia a partir del informe "Consulta número de alumnos por aula" del Ministerio de Educación (2018).

Utilizando como base los desastres naturales en el país en los años 2010 y 2011, el Ministerio de Educación cuantificó el número de escuelas afectadas y el gasto en la reparación de la estructura de cada una de ellas por municipio, a través de un plan de acción compuesto por tres fases:

- Fase 1 – *Ayuda humanitaria*: se realizó la implementación de aulas temporales.
- Fase 2 – *Rehabilitación:* consistió en el mantenimiento correctivo, la reparación estructural y la realización de obras de mitigación de las sedes educativas afectadas.
- Fase 3 – *Reubicación:* Reposición y reubicación de sedes educativas.

Para el Valle del Cauca, la mayor parte de las escuelas afectadas sólo requirieron de la fase de rehabilitación. Por esta razón se determinó que, los centros educativos ubicados en la zona de estudio necesitarían de recursos para una etapa de rehabilitación.

De esta manera, en la Tabla 9.28 se observa el valor de las posibles afectaciones (instituciones educativas) y el gasto en la fase 2 para Zarzal teniendo en cuenta la conversión de precios pasados mediante el IPC a precios actuales.

Tabla 9.28. Costo total aproximado de la estructura de la institución educativa. Precios de 2019.

COSTOS ESTIMADOS POR SEDE EDUCATIVA EN FASE 2 A PRECIOS ACTUALES (IPC)	NÚMERO DE INSTITUCIONES EDUCATIVAS	COSTO TOTAL APROXIMADO DE LA ESTRUCTURA EDUCATIVA
$189.660.672	1	$189.660.672

Fuente: elaboración propia con datos del Ministerio de Educación Nacional (2011).

A pesar de que no se cuenta con información detallada del contenido de las instituciones educativas en la zona de riesgo, para el cálculo de las posibles pérdidas económicas se realizaron los siguientes supuestos teniendo en cuenta los grados habilitados por la institución, el número de profesores, la composición de un colegio promedio y la contabilidad de equipos entregados en la institución por parte de la Gobernación del Valle del Cauca mediante la secretaria de educación en el año 2014 (al no conocer la cantidad exacta, se realiza el supuesto de que el número de equipos es igual al número de estudiantes promedio por curso).

1) Sede Nuestra Señora de las Mercedes
- Cuenta con 1 aulas (11 aulas de estudio y 1 aula de sistemas), 12 escritorios y 12 sillas.
- Se cuenta con 40 computadores, 40 mesas de cómputo y 40 sillas.
- El número de pupitres es igual al número de estudiantes.

2) John F. Kennedy
- Cuenta con 7 aulas (7 aulas de estudio), 7 escritorios y 7 sillas.
- No cuenta con computadores.
- El número de pupitres es igual al número de estudiantes.

3) Policarpa Salavarrieta
- Cuenta con 9 aulas (9 aulas de estudio y 1 aula de sistemas), 9 escritorios y 9 sillas.
- Se cuenta con 20 computadores, 20 mesas de cómputo y 20 sillas.
- El número de pupitres es igual al número de estudiantes.

4) María Inmaculada

- Cuenta con 8 aulas (7 aulas de estudio y 1 aula de sistemas), 8 escritorios y 8 sillas.
- No cuenta con computadores.
- El número de pupitres es igual al número de estudiantes.

5) Pablo Emilio Camacho

- Cuenta con 13 aulas (12 aulas de estudio y 1 aula de sistemas), 13 escritorios y 13 sillas.
- Se cuenta con 40 computadores, 40 mesas de cómputo y 40 sillas.
- El número de pupitres es igual al número de estudiantes.

En la Tabla 9.29, se presenta un estimativo del costo de cada uno de los enseres y muebles de un aula educativa.

Tabla 9.29. Muestra de Precio de almacén para la determinación del costo del contenido.

CONTENIDO	PRECIO ($) HOMECENTER
Pupitre	$105.000
Escritorio	$359.900
Mesa de computo	$120.000
Computador	$1.090.000
Silla	$74.900

Fuente: elaboración propia con lista de precios de Homecenter (2019).

Los precios utilizados son del 2019 y se establecieron a partir de una cotización realizada en HOMECENTER de los artículos mencionados para el contenido de las instituciones educativas. De esta manera, multiplicando el número de aulas afectadas por el número de pupitres por salón y a su vez por el precio de cada pupitre ($105.000), se obtuvo el costo total por pupitres dañados. El costo total para los computadores, mesa de cómputo y silla se obtuvo a partir de la suma de los costos de las sillas, mesas y computadores. Cada uno de estos costos surge de la multiplicación entre la cantidad de sillas, mesas y computadores por sus respectivos precios ($74.900 por silla, $120.000 por mesa, $1.090.000 por computador y $359.900 por escritorio).

El costo total del contenido de las sedes educativas se obtuvo a partir de la suma del costo total de pupitres y el costo total por la sala de sistemas dañada. Lo anterior se encuentra en la Tabla 9.30.

Tabla 9.30. Costo total aproximado del contenido de las instituciones educativas (Precios de 2019).

SEDE	COSTO PUPITRES	COSTO ESCRITORIOS	COSTO SILLAS	COSTO MESA COMPUTO	COSTO COMPUTADOR	$ / UNIDAD
1	$137.130.000	$4.318.800	$3.894.800	$4.800.000	$43.600.000	$193.743.600
2	$39.585.000	$2.519.300	$524.300	$0	$0	$42.628.600
3	$19.320.000	$3.239.100	$2.171.100	$2.400.000	$21.800.000	$48.930.200
4	$37.275.000	$2.879.200	$599.200	$0	$0	$40.753.400
5	$100.590.000	$4.678.700	$3.969.700	$4.800.000	$43.600.000	$157.638.400
COSTO TOTAL APROXIMADO DEL CONTENIDO DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA						**$483.334.200**
COSTO TOTAL APROXIMADO EN ESTRUCTURA DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA (USD) (1 USD = 3.586 $ COP)						**134.784US$**

Fuente: elaboración propia con base en la Lista de precios Homecenter (2019) y Ministerio de ducación Nacional (2019).

Finalmente, estos costos surgen de la suma del contenido de la escuela en afectación con el posible costo de la reparación de las estructuras por escenario de movimiento en masa, alcanzando un valor total de **mil cuatrocientos treinta y un millones seiscientos cincuenta y cinco mil quinientos sesenta pesos ($ 1.431.655.560)** tal como se observa en la Tabla 9.31.

Tabla 9.31. Costo total aproximado por Institución Educativa en funcionamiento en afectación por movimiento en masa.

NIVEL DE AFECTACIÓN	SEDE EDUCATIVAS CON AFECTACIÓN	COSTO TOTAL APROXIMADO DE DAÑOS DE CONTENIDO	COSTO APROXIMADO DE REHABILITACIÓN	COSTO TOTAL APROXIMADO
Alta	3	$ 89.877.343	$ 568.982.016	$ 658.859.359
Baja	2	$393.456.857	$ 379.339.344	$ 772.796.201
COSTO TOTAL APROXIMADO DE DAÑO EN SEDE EDUCATIVA		**$ 483.334.200**	**$ 948.303.360**	**$ 1.431.655.560**
COSTO TOTAL APROXIMADO DE DAÑO EN SEDE EDUCATIVA (USD) (1 USD = 3.586 $ COP)		**134.784 US$**	**264.446 US$**	**399.235 US$**

Fuente: elaboración propia con base en la Lista de precios de Homecenter (2019) y Ministerio de Educación Nacional (2011).

9.7.1.5. Estimación del costo de daños en el contenido del Hospital San Rafael.

El Hospital Departamental San Rafael de Zarzal E.S.E es una empresa social del Estado que presta servicios de salud y medicina de baja y mediana complejidad en el municipio de Zarzal y municipios circunvecinos. Esta edificación esencial se encuentra en riesgo alto por escenario de inundación, por lo cual se hizo necesario realizar la estimación de los costos de daños en su estructura y su contenido.

Para la estimación del costo de daños en su contenido se toma como base la información suministrada en el estado financiero a diciembre de 2019 del hospital. En la Tabla 7.53 se puede observar detalladamente el costo de una lista de activos no corrientes que forman parte de las propiedades, planta y equipo del hospital. Estos activos no corrientes suman un valor de 12.018.109.146 millones de pesos, menos una depreciación acumulada de 5.858.906.970 la cual corresponde a aproximadamente el 49% del valor de dichos activos. Por lo tanto, las propiedades, plantas y equipos quedan valorados finalmente en $ 6.159.202.176 millones de pesos. Cabe resaltar, que la póliza todo riesgo para daños materiales del año 2019 para el hospital tiene un valor de $ 5.946.612.791 millones de pesos y el presupuesto destinado en ese mismo año fue de $ 16.371.927.190 millones de pesos.

Por último, es importante mencionar que para el cálculo del costo total aproximado de los daños en estructura y contenido del hospital, solo se tuvo en cuenta la información suministrada en el estado financiero (2019) y no se estimó ninguna cifra adicional. Esto se debe dicho informe, proporcionan los costos tanto de los terrenos, como del contenido de la edificación (Tabla 9.32).

Tabla 9.32. Activos no corrientes del Hospital San Rafael en el municipio de Zarzal: propiedades, planta y equipo.

PROPIEDADES, PLANTA Y EQUIPO	CIFRAS EN PESOS COLOMBIANOS
Terrenos	$1.513.327.991
Construcciones en curso	$2.109.901.294
Propiedad, planta y equipo	$1.115.479.698
Edificaciones	$4.797.136.548
Maquinaria y equipo	$493.519.276
Equipo médico científico	$730.353.655
Muebles, enseres y equipo de oficina	$209.824.550
Equipos de computación y comunicación	$212.251.962
Equipos de transporte, tracción y elevación	$830.567.888
Equipo de comedor, despensa y hotelería	$5.746.284

Fuente: elaboración propia con información del estado financiero del hospital San Rafael del municipio de Zarzal (2019).

9.7.1.6. Asistencia Gubernamental

El análisis de la asistencia gubernamental se estimó la ayuda del gobierno en alimentación y aseo y subsidios de arrendamiento a la población damnificada ante la ocurrencia de un desastre natural.

9.7.1.6.1. Posibles costos por asistencias del gobierno a damnificados

Un componente importante de los costos asociados a los desastres naturales del área de estudio corresponde a las diferentes ayudas que brindan las instituciones estatales, privadas y sin ánimo de lucro ante las emergencias. Para realizar una aproximación a los gastos que estas instituciones asumirían, se tomaron como base los recursos que Colombia Humanitaria, el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) y la Secretaria de Infraestructura Departamental del Valle del Cauca destinaron para los diferentes municipios del Valle del Cauca afectados por la ola invernal de 2010 – 2011. Este monto se actualiza a través del IPC.

De esta manera, la Tabla 9.33 muestra los diferentes tipos de inversiones que dichas instituciones ejecutarían para mitigar una emergencia en la zona de estudio, lo cual representa el gasto del gobierno para situaciones de este tipo.

Tabla 9.33. Montos designados por el Gobierno Nacional para asistencia alimentaria y aseo a damnificados durante situaciones de desastres (precios 2019)

TOTAL, FAMILIA	ALIMENTO/MES	ASEO/MES	TOTAL
De 1 a 3 personas	$ 324.864	$ 54.144	$ 379.008
De 4 a 6 personas	$ 406.080	$ 67.680	$ 473.760
Más de 6 personas	$ 446.688	$ 81.216	$ 527.904

Fuente: elaboración propia con datos de Colombia Humanitaria (2011), sobre la base de la "Ola Invernal" de 2010-2011.

El valor total de asistencia y alimento para el escenario de afectación por inundación es de **novecientos treinta y siete millones quinientos setenta y un mil cuarenta pesos ($ $ 937.571.040).** Y los costos aproximados por asistencia en viviendas es de **seis mil cuatrocientos**

veintinueve millones cincuenta y ocho mil quinientos sesenta pesos ($ $6.429.058.560) (Tabla 9.34).

Tabla 9.34. Costos aproximados por asistencia a familias posiblemente afectadas ante escenario de inundación (Precios 2019).

NIVEL DE AFECTACION	NÚMERO DE FAMILIAS	ASISTENCIA ALIMENTO Y ASEO POR FAMILIA	ASISTENCIA A VIVIENDAS POR FAMILIA	VALOR APROXIMADO DE ASISTENCIA ALIMENTO Y ASEO	VALOR APROXIMADO ASISTENCIA VIVIENDA
Alta	1798	$ 473.760	$ 3.248.640	$851.820.480	$5.841.054.720
Media	26	$ 473.760	$ 3.248.640	$12.317.760	$84.464.640
Baja	155	$ 473.760	$ 3.248.640	$73.432.800	$503.539.200
COSTO TOTAL APROXIMADO				**$937.571.040**	**$6.429.058.560**

Fuente: elaboración propia con datos de Colombia Humanitaria (2011), sobre la base de la "Ola Invernal" de 2010-2011. viviendas.

9.7.2. Líneas vitales

Las líneas vitales son sistemas imprescindibles para la población y su funcionamiento. Representan un conjunto de activos y recursos fundamentales para la provisión de servicios esenciales para mantener estándares de calidad de vida, cuya interrupción generará pérdidas.

9.7.2.1. Afectación en Infraestructura Vial

La infraestructura vial es un sistema esencial para el funcionamiento de las poblaciones y es importante para generar crecimiento económico regional. La existencia de vías garantiza no sólo la comunicación entre poblaciones sino el intercambio comercial y aumento de la productividad a nivel local, regional y nacional ACP (2016). Por lo tanto, es esencial que, si se da una interrupción de la circulación, sea en el menor tiempo posible para prevenir grandes pérdidas económicas ante la ocurrencia de un evento por desastre natural.

9.7.2.2. Costos por posibles afectaciones en infraestructura vial

En caso del escenario de inundación, existe la probabilidad de afectaciones en las vías, siendo necesario encontrar un estimativo del costo a realizar actividades de rehabilitación y mantenimiento con el propósito de preservar en buen estado los elementos que la componen, controlar los daños y, en lo posible, conservar las condiciones iniciales.

De la información levantada para el presente estudio se determinó la infraestructura vial expuesta en el municipio de Zarzal, siendo en total aproximado de 17.342 metros de vía en riesgo por el escenario de inundación, de los cuales 3.959 metros de vía corresponden a material destapada, 3.918 metros de vía corresponden a material de asfalto, 9.129 metros de vía corresponden a concreto y 335 metros de vía corresponden a materiales no identificados. Debido a la dificultad en el estudio para calcular perdidas en vía con material destapado y no identificado, solo se tendrá en cuenta el material de asfalto y de concreto.

Los posibles daños que se ocasionaran por inundación pueden ser totales o parciales a la infraestructura vial, dependiendo de la magnitud del fenómeno, en consecuencia, las eventuales actividades post desastres en este rubro, estarían encaminadas a la reconstrucción y a la rehabilitación de las vías de manera que aseguren el funcionamiento normal de estas, devolviendo el bienestar a la comunidad.

Para hacer el cálculo del costo se basó en la lista de precios para mano de obra, maquinaria, transporte del 2019 (INVIAS, 2019) el cual se desarrolla en la Tabla 9.35.

Tabla 9.35. Costo promedio aproximado por construcción, rehabilitamiento y mantenimiento vial

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO/UNITARIO EN PESOS	OBSERVACIONES
Costo promedio mantenimiento, reparación, reconstrucción, mejoramiento y limpieza vial de m de vía posibles daños ante escenario de avenida torrencial.	M	$ 1.268.683	Se calculó el costo promedio por construcción, rehabilitamiento y mantenimiento teniendo en cuenta la excavación, remoción de materiales, mano de obra y las etapas.

Fuente: elaboración propia a partir de información de APUS Valle 2019-2 del Instituto Nacional de Vías.

En la Tabla 9.36 se muestran los costos asociados al mejoramiento y rehabilitación de las vías respectivamente. Teniendo en cuenta la longitud de los trayectos susceptibles a ser afectados y los valores unitarios por metro, por un valor de **dieciséis mil quinientos cincuenta y dos millones quinientos siete mil ciento un pesos ($ 16.552.507.101).**

Tabla 9.36. Costo total aproximado de mejoramiento y rehabilitación de la infraestructura vial por posibles daños ante escenario de inundación

NIVEL DE AFECTACIÓN	LONGITUD/METRO	COSTO/METRO	COSTO POR NIVEL DE AFECTACIÓN ($)
Alta	3.450	$ 1.268.683	$ 4.376.956.350
Medio	5.120	$ 1.268.683	$6.495.656.960
Baja	4.477	$ 1.268.683	$5.679.893.791
COSTO TOTAL APROXIMADO ($)			**$ 16.552.507.101**
COSTO TOTAL APROXIMADO (USD) (1USD = 3.586COP)			**4.615.869 US$**

Fuente: elaboración propia a partir de información de APUS Valle 2019-2 del Instituto Nacional de Vías (2019).

9.7.2.3. Afectaciones en postes de energía eléctrica

La red de energía es fundamental para el funcionamiento de la sociedad, debido a que es una de las principales y más relevantes fuentes utilizadas para uso doméstico, uso industrial o comercial.

En total, existen 628 postes de energía expuestos zona de afectación ante la ocurrencia de una inundación. A partir de la lista de precios unitarios de la Gobernación del Valle del Cauca (2019), se estableció en la Tabla 9.37 el costo promedio aproximado de reposición de postes de energía, teniendo en cuenta el material, la resistencia y la altura.

Por otro lado, en la Tabla 9.38 se tiene le estimado del costo total aproximado por afectaciones en postes de energía eléctrica teniendo en cuenta la cantidad de postes en el escenario de afectación

por inundación y el costo promedio aproximado de reposición, por un valor total de **treinta millones trescientos noventa y tres mil setecientos veintidós pesos** ($ 30.393.722)

Tabla 9.37. Costos promedio aproximados de reposición de postes de energía por posibles daños ante escenario de afectación por inundación

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO/UNITARIO EN PESOS	OBSERVACIONES
Reposición de postes de energía por posibles daños ante escenario de avenida torrencial.	1	$ 893.933	Se calculó el costo promedio aproximado por reposición de postes de energía teniendo en cuenta el material, la resistencia y la altura. (El costo incluye el poste, la mezcla de concreto, mano de obra y grúa-montacarga)

Fuente: elaboración propia, a partir de la lista de precios unitarios de la Gobernación del Valle (2019).

Tabla 9.38. Costos total aproximado de reposición de postes de energía por posibles daños ante escenario de afectación por inundación

NIVEL DE AFECTACIÓN	CANTIDAD	COSTO/UNIDAD	COSTO POR NIVEL DE AFECTACIÓN ($)
Alto	628	$ 893.933	$561.389.924
COSTO TOTAL APROXIMADO ($)			**$561.389.924**
COSTO TOTAL APROXIMADO ($USD) (1USD = 3.586 COP)			**156.550 US$**

Fuente: elaboración propia, a partir de la lista de precios unitarios de la Gobernación del Valle (2019).

9.7.2.3.1. Resumen de costos aproximados de afectación en infraestructura vial y líneas vitales

En la Tabla 9.39 se encuentra el resumen de los costos aproximados derivados de la afectación en la infraestructura vial y líneas vitales para el escenario de afectación por inundación, por un valor de **quinientos noventa y seis millones doscientos veintiséis mil trescientos cuarenta pesos** ($ 596.226.340).

Tabla 9.39. Resumen de los costos aproximados derivados de la infraestructura vial y líneas vitales por inundación

RESUMEN DE COSTOS APROXIMADOS DERIVADOS DE LA AFECTACIÓN EN INFRAESTRUCTURA VIAL Y LÍNEAS VITALES.	COSTO APROXIMADO DE AFECTACIÓN ($)
Costo aproximado de afectación en infraestructura vial.	**$ 16.552.507.101**
Costo aproximado de afectación en líneas vitales (postes de energía eléctrica).	**$561.389.924**
COSTO TOTAL APROXIMADO DE AFECTACIÓN ($)	**$17.113.897.025**
COSTO TOTAL APROXIMADO (USD) (1 USD = $ 3.586 COP)	**4.772.420 US$**

Fuente: elaboración propia.

9.8. ESTIMACIÓN DEL RIESGO TOTAL (PÉRDIDAS ECONÓMICAS) ANTE INUNDACIÓN

El producto de la Probabilidad de ocurrencia, de la vulnerabilidad y el costo de los elementos expuestos (contenido, estructura, ayudas gubernamentales en edificaciones residenciales).

En los no residenciales solo se tiene en cuenta la estructura, indican el riesgo de pérdidas económicas teniendo en cuenta la vulnerabilidad de la estructura, el coste del contenido perdido de acuerdo con el nivel de amenaza y la probabilidad de que ocurra el suceso, el cual se resume en la Tabla 9.40 para la clasificación correspondiente se suman los costos de cada edificación en el escenario de afectación.

Es importante tener en cuenta que la probabilidad de que se incurra en estos costos depende de la vida útil del tipo de construcción de cada edificación. En la Tabla 9.1 se resume la probabilidad de cada tipo de construcción y los intervalos de la vulnerabilidad estructural.

9.8.1. Total de Posibles pérdida económicas en edificaciones

En la Tabla 9.40 se presenta las posibles pérdidas económicas en las edificaciones clasificadas con niveles de afectación alta, media y baja por inundación, las cuales serían por un valor de **setenta y un mil doscientos noventa y cuatro millones ochocientos noventa y un mil ciento cuarenta y cuatro pesos ($ 71.294.891.144)**

Tabla 9.40. Posibles pérdidas económicas en edificaciones en el escenario de afectación por inundación

EDIFICACIONES EN EL ESCENARIO DE AFECTACIÓN		
NIVEL DE AFECTACIÓN	**CANTIDAD DE EDIFICACIONES**	**POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS TOTALES**
Alta	2211	$ 69.970.405.919
Media	29	$ 130.541.258
Baja	173	$ 1.193.943.967
COSTO TOTAL		**$ 71.294.891.144**

Fuente: elaboración propia.

9.8.2. Costos totales de Posibles pérdidas económicas en lineas vitales (red vial y postes de energía)

Para la infraestructura vial las posibles pérdidas económicas, en un tiempo de retorno de 100 años, tendrían un valor de **sesenta y ocho millones cuatrocientos treinta y dos mil seiscientos setenta y seis pesos** ($68.432.676) las cuales se presentan en la Tabla 9.41. se presentan las posibles pérdidas para la red eléctrica, en un periodo de 100 años, que alcanzaría un valor de **cinco millones novecientos cuarenta mil doscientos cuarenta y uno pesos** ($5.940.241).

Tabla 9.41. Aproximación de posibles pérdidas económicas en infraestructura vial afectada por inundación

INFRAESTRUCTURA VIAL EN EL ESCENARIO DE AFECTACIÓN POR INUNDACIÓN		
NIVEL DE AFECTACIÓN	**LONGITUD/METRO**	**POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURAL VIAL ($)**
Alto	3.450 M	$735.260.499
Medio	5.120 M	$178.663.266
Bajo	4.477 M	$27.844.717
POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS TOTALES ($)		**$ 941.768.482**

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9.42. Aproximación de posibles pérdidas económicas en líneas vitales (red de energía eléctrica) afectada por inundación

LINEAS VITALES (RED DE ENERGIA ELECTRICA) EN Afectación		
NIVEL DE AFECTACIÓN	**CANTIDAD DE POSTES**	**POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN RED DE ENERGÍA ELÉCTRICA ($)**
Alto	628	$ 112.927.841
POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS TOTALES ($)		**$ 112.927.841**

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, las posibles pérdidas económicas en infraestructura de redes vitales, tiene un valor de **mil cincuenta y cuatro millones seiscientos noventa y seis mil trecientos veinte tres pesos ($ 1.054.696.323)** (Tabla 9.43).

Tabla 9.43. Aproximación de posibles pérdidas económicas en infraestructura de redes vitales afectada por inundación

POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURA VIAL ($)	POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN RED DE ENERGÍA ELÉCTRICA ($)	POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURA DE REDES VITALES ($)
$ 941.768.482	$ 112.927.841	$ 1.054.696.323

Fuente: elaboración propia.

9.8.3. Resumen total de posibles pérdidas económicas por inundación

Los costos totales asociados a posibles pérdidas económicas por inundaciones con períodos de retorno de 100 años en la zona afectación derivados de las perdidas en edificaciones, asistencia del gobierno y líneas vitales (red vial y postes que soportan la red de energía eléctrica) corresponden a un valor de **setenta y nueve mil setecientos dieciséis millones doscientos diecisiete mil sesenta y siete pesos ($ 79.716.217.067**) los cuales se resumen en la Tabla 9.44.

Tabla 9.44. Resumen de las posibles pérdidas económicas en infraestructuras y asistencia del gobierno en zonas de afectación (riesgo) ante inundación.

RESUMEN LAS POSIBLES PERDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURAS	POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURA ($)
Posibles pérdidas económicas en infraestructura social.	$ 71.294.891.144
Posibles pérdidas económicas en infraestructura de redes vitales	$ 1.054.696.323
Posibles pérdidas económicasen asistencia del gobierno	$7.366.629.600
POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS TOTALES EN INFRAESTRUCTURA ($)	**$79.716.217.067**
POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS (USD) (1 USD = $ 3.586 COP)	**22.229.843,02 US$**

Fuente: elaboración propia.

9.8.4. Identificación de los elementos expuestos en escenario de afectación ante movimiento en masa

La identificación de los elementos expuestos se realizó considerando el escenario de afectación por movimiento en masa. Para éstos se tiene en cuenta la clasificación de elementos estructurales y funcionales. Puntualmente, la valoración se realizó para los edificaciones residenciales y no residenciales. A continuación, se detallan los elementos localizados dentro del área de influencia las cuales poseen afectación alta, media y baja por movimiento en masa.

9.8.4.1. Edificaciones

De acuerdo con el censo que se realizó para la parte estructural del municipio y presentado en la Tabla 9.45, se encontró que las edificaciones expuestas en afectación alta, media y baja, están en su mayoría construidos en mampostería no reforzada, y en menor cantidad de mampostería confinada, madera, tapia, bahareque y de otros materiales. Además, en su mayoría el uso de suelo de la zona urbana de Zarzal ha sido destinado para la construcción de vivienda.

Tabla 9.45. Clasificación de elementos estructurales y funcionales expuestos ante movimiento en masa de afectación alto y medio en el municipio de Zarzal

TIPOS DE ESTRUCTURAS				FUNCIONALIDAD DE LOS ELEMENTOS			
TIPO DE CONSTRUCCIÓN	N° EDIFICACIONES EN AFECTACIÓN			USO DEL SUELO	N° EDIFICACIONES EN AFECTACIÓN		
	ALTA	MEDIA	BAJA		ALTA	MEDIA	BAJA
Mampostería Confinada	35	2	15	Residencial	284	3	15
Mampostería No Reforzada	238	2	0	Comercial	1	0	0
Madera, Tapia y Bahareque	11	0	0	Mixto	1	0	0
				Institucional	0	0	0
Otro (Material Reciclado)	3	0	0	Educación	1	1	0
				Culto	0	0	0
TOTAL	**287**	**4**	**15**	**TOTAL**	**287**	**4**	**15**

Fuente: elaboración propia.

9.8.4.2. Infraestructura social

De acuerdo con el estudio realizado por geólogos Highland y Bobrowsky (2008), se define el movimiento en masa como un término general utilizado para describir el movimiento descendente

de suelo, rocas y materiales orgánicos bajo el efecto de la gravedad, y también la forma del terreno que resulta de ese movimiento. Los efectos de los movimientos en masa se producen en dos ambientes fundamentales, el entorno construido y el entorno natural, en algunas ocasiones los autores mencionan la intersección de los dos entornos, por ejemplo, tierras agrícolas.

Los movimientos en masa afectan a las estructuras situadas directamente sobre o cerca de la zona de afectación que se identifique para presentar dicho desastre natural. Las edificaciones residenciales construidos en pendientes inestables pueden experimentar daños parciales o destrucción completa cuando los deslizamientos de tierra desestabilizan o destruyen los cimientos, las paredes, los terrenos circundantes y los servicios públicos encima del suelo y subterráneos.

Los daños que un movimiento en masa puede generar en las viviendas con base a lo planteado anteriormente pueden dividirse principalmente en dos:

1. Los daños en el contenido (electrodoméstico y mobiliario) asociado a reposición de los bienes afectados.
2. El daño en la estructura asociado a costes de reparación de la misma.

En el caso de estructuras no residenciales, estás se ven expuestas en igual medida que las edificaciones residenciales ante movimientos en masa, si la estructura no residencial es de uso común, como instituciones, tiendas, iglesia, etc., estas se podrían ver interrumpidas debido a los posibles daños en la estructura real y/o daños a su camino de acceso.

A continuación, se menciona la metodología que se siguió para la valoración económica de los posibles daños en edificaciones residenciales y no residenciales, para los edificaciones residenciales es necesario determinar cada uno de estos daños mediante la tipificación de una vivienda promedio y su contenido en el municipio de Zarzal, para los edificaciones no residenciales se tendrá en cuenta solamente el avaluó comercial debido a falta de información propia de los establecimientos que no corresponden a uso residencial.

En primer lugar, se definieron los costos tanto en edificaciones no residenciales como en residenciales con afectación alta, media y baja mediante el avalúo comercial. En segundo lugar, para el caso de las edificaciones residenciales se encontró la relación de bienes que en promedio existen en esta clase de viviendas, entre los cuales se encuentran: televisión, nevera, estufa, muebles de sala, comedor, computador y camas. A cada uno de éstos se le asignó un precio unitario promedio teniendo en cuenta la lista de precios de varios almacenes de cadena principales del departamento. El siguiente paso fue calcular el valor total del contenido y la estructura de edificaciones residenciales y no residenciales teniendo en cuenta los costos calculados anteriormente. A continuación, se muestra el procedimiento expuesto:

9.8.4.2.1. Estimación del costo de la estructura de edificaciones no residenciales

Con el fin de estimar los costos de la estructura es necesario determinar el total de área construida con base en el cociente entre el promedio del avalúo catastral y del área de dichos predios (se excluyeron los valores atípicos: áreas menores a 50 m^2 y mayores a 500 m^2). Finalmente, se obtuvo un valor de $ 376.660 por cada m^2.

En el contexto del municipio de Zarzal se encuentran ubicados 3 predios con uso de suelo no residencial en afectación alto y 1 en afectación medio, ante un escenario de movimiento en masa. Se estimó un área total construida en nivel de en afectación alto de 20.654 m^2 con un costo total aproximado de **siete mil setecientos setenta y nueve millones quinientos treinta y cinco mil seiscientos cuarenta pesos ($ 7.779.535.640)** y en nivel de en afectación medio de 1.083 m^2 con un costo total aproximado de **cuatrocientos siete millones novecientos veintidós mil setecientos ochenta pesos ($ 407.922.780)** (Tabla 9.46).

Tabla 9.46. Costo total de edificaciones no residenciales en el escenario de afectación alta por movimiento en masa.

EDIFICACIONES NO RESIDENCIALES EN AFECTACIÓN ALTA			
NIVEL DE AFECTACIÓN	**CANTIDAD DE EDIFICACIONES**	**ÁREA (m^2) TOTAL CONSTRUIDA**	**COSTO TOTAL**
Alta	3	20.654 m^2	$ 7.779.535.640
Media	1	1.083 m^2	$407.922.780
COSTO TOTAL			**$ 8.187.458.4201**

Fuente: elaboración propia a partir del avalúo comercial por m^2 del municipio de Zarzal

9.8.4.2.2. Estimación del costo de la estructura de edificaciones residenciales en afectación alto, medio y bajo

Con el fin de estimar los costos de la estructura es necesario determinar el total de área construida con base en el censo realizado para la parte estructural del municipio y el precio de las edificaciones residenciales.

El precio de las edificaciones se estableció con base en el cociente entre el promedio del avalúo catastral y del área de dichos predios (se excluyeron los valores atípicos: áreas menores a 50 m^2 y mayores a 500 m^2). Finalmente, se obtuvo un valor de $ 376.660 por cada m^2.

En el contexto del municipio de Zarzal se encuentran ubicados 284 edificaciones con uso de suelo residencial en afectación alta, 3 en afectación media y 15 en afectación baja. Ante un escenario de movimiento en masa. Se estimó un área total construida en nivel de afectación alto de 55.917m^2, en nivel de afectación medio de 369 m^2 y en nivel de afectación bajo de 2.798 m^2; con un costo total aproximado de **veintidós mil doscientos cincuenta y cuatro millones quinientos setenta y nueve mil cuatrocientos cuarenta pesos ($22.254.579.440**) (Tabla 9.47).

Tabla 9.47. Costo Total de edificaciones residenciales en afectación alto, medio y bajo ante movimiento en masa

EDIFICACIONES RESIDENCIALES EN AFECTACIÓN ALTO, MEDIO Y BAJO			
NIVEL DE AFECTACIÓN	**CANTIDAD DE EDIFICACIONES**	**ÁREA (m^2) TOTAL CONSTRUIDA**	**COSTO TOTAL**
Alta	284	55.917 m^2	$ 21.061.697.220
Media	3	369 m^2	$ 138.987.540
Baja	15	2.798 m^2	$1.053.894.680
COSTO TOTAL			**$22.254.579.440**

Fuente: elaboración propia a partir del avalúo comercial m^2 del municipio de Zarzal.

9.8.4.2.3. Contenido (electrodoméstico y mobiliario) promedio en hogares

El listado promedio de mobiliario y electrodomésticos por hogar de cada uno de las edificaciones que se encuentran en zona de afectación por movimiento en masa en el municipio de Zarzal se resume en la Figura 9.17.

A continuación, se procede a estimar el valor económico aproximado del contenido en las edificaciones residenciales:

9.8.4.2.4. Costo aproximado del contenido en edificaciones residenciales

En la Tabla 9.48 se estima el valor económico de los contenidos por vivienda. Inicialmente, se determina el valor del mobiliario y electrodomésticos de una vivienda a través de la multiplicación del valor comercial promedio de los artículos nuevos de acuerdo con la cantidad de los mismos en cada vivienda. Se considera que el contenido de las viviendas tiene un determinado tiempo de vida útil, para los electrodomésticos la vida útil será establecida por el promedio de vida proyectado desde la Organización de Consumidores y Usuarios y para los muebles de hogar 10 años con base en información del sector comercial, en este caso los principales almacenes de cadena en Colombia.

Se estipula la depreciación en línea recta que supone una depreciación constante, teniendo en cuenta el valor comercial promedio del artículo y su vida útil, dicha depreciación arroja el cambio de precio que sufre durante el transcurso de los años. Es importante establecer el tiempo promedio de tenencia como la vida útil media para cada artículo, ya que se tiene en cuenta los años de tenencia de artículos nuevos y antiguos en posesión de los habitantes del municipio de Zarzal. Así se obtiene al final un valor promedio total teniendo en cuenta la depreciación de $ 3.237.632 pesos por vivienda.

Tabla 9.48. Valor aproximado del contenido de las edificaciones residenciales

CONTENIDOS POR VIVIENDA	CANT.	VALOR COMERCIAL PROMEDIO	VIDA UTIL (años)	DEPRECIACIÓN POR AÑO	TIEMPO PROMEDIO TENENCIA	VALOR TOTAL CON DEPRECIACIÓN
Nevera	1	$ 823.540	12	68628,33333	6	$ 411.770
TV a color	1	$ 553.280	12	46106,66667	6	$ 276.640
Lavadora	1	$ 925.430	10	92543	5	$ 462.715
Computador	1	$ 994.025	6	165670,8333	3	$ 497.013
Equipo de sonido	1	$ 389.421	8	48677,625	4	$ 194.711
Comedor	1	$ 647.200	10	64720	5	$ 323.600
Sala	1	$ 1.053.478	10	105347,8	5	$ 526.739
Estufa	1	$ 345.640	12	28803,33333	6	$ 172.820
Cama	4	$ 743.250	10	74325	5	$ 371.625
VALOR TOTAL APROXIMADO CONTENIDO						**$ 6.475.264**
VALOR TOTAL APROXIMADO CON DEPRECIACIÓN DE CADA ARTICULO						**$ 3.237.632**

Fuente: elaboración propia con información del DANE (2016). Precios 2020: Alkosto, Almacenes la 14, Almacenes Éxito, Bodega del mueble, Only muebles.

9.8.4.2.5. Estimación del costo total aproximado por daños de contenido en edificaciones residenciales

En la Tabla 9.49 se procedió a multiplicar el valor total aproximado con depreciación de cada artículo por el número de edificaciones residenciales en afectación alto, medio y bajo. El costo total aproximado asociado a la perdida de contenido en edificaciones residenciales afectados por movimiento en masa corresponde a **novecientos setenta y siete millones setecientos sesenta y cuatro mil ochocientos sesenta y cuatro pesos ($ 977.764.864).**

Tabla 9.49. Costo total aproximado por daños de contenido en edificaciones residenciales con afectación alto, medio y bajo, ante movimiento en masa

NIVEL DE AFECTACIÓN	NÚMERO DE EDIFICACIONES	COSTO APROXIMADO POR DAÑOS DE CONTENIDO ($)
Alto	284	$ 919.487.488
Medio	3	$ 9.712.896
Bajo	15	$ 48.564.480
TOTAL	**302**	**$ 977.764.864**

Fuente: elaboración propia.

9.8.4.3. Posibles pérdidas por daños en las instituciones educativas.

Realizando el mismo procedimiento del cálculo del costo total de la infraestructura social afectada por el movimiento en masa, el cálculo de las posibles pérdidas por daño a las instituciones educativas se estima considerando, el daño de la estructura y el daño en el contenido, en el caso del municipio de Zarzal se encuentra un predio destinado al uso educativo, el cual pertenece a una institución educativa en funcionamiento, por lo tanto, es posible una estimación del costo de daños más profunda mediante alternativas posibles para su reparación en caso de movimiento en masa y el cálculo del equipamiento (contenido) perteneciente a facilitar el desarrollo de las actividades de la institución educativa.

9.8.4.3.1. Estimación del costo de daños en la estructura de la institución educativa en construcción.

Para la estimación del costo de daños en la estructura de la institución educativa que se encuentra en construcción, el precio de los predios se estableció con base en el cociente entre el promedio del avalúo catastral y del área de dichos predios (se excluyeron los valores atípicos: áreas menores a 50 m^2 y mayores a 500 m^2). Finalmente, se obtuvo un valor de $ 376.660 por cada m^2. Se encuentra que hay un total de 386 m^2 en el predio destinado para uso educativo que se encuentra en un nivel de afectación alto, el costo total aproximado de la estructura presentado en la Tabla 9.50 es de $ 126.557.760 millones de pesos.

Tabla 9.50. Área (m^2) Total Construida y Costo Total aproximado de la edificación destinada a uso educativo en riesgo ante movimiento en masa.

EDIFICACIONES EDUCATIVAS EN RIESGO (EN CONSTRUCCIÓN)

NIVEL DE AFECTACIÓN	CANTIDAD DE PREDIOS EDUCATIVOS	ÁREA (m^2) TOTAL	COSTO TOTAL APROXIMADO
Alto	1	336 m^2	$ 126.557.760
COSTO TOTAL APROXIMADO			**$** 126.557.760

Fuente: elaboración propia a partir del avalúo comercial por m^2 del municipio de Zarzal.

9.8.4.3.2. Estimación del costo de daños en la estructura de la Institución Educativa en funcionamiento

Para la estimación del costo de daños se toma como base la información suministrada en el informe "Consulta número de alumnos por aula" del Ministerio de Educación (2018) y los resultados del presente estudio, se muestra en la Tabla 9.51 la existencia de Institución Educativa Liceo del Saber que está en afectación medio por escenario de movimiento en masa en donde están matriculados 154 alumnos aproximadamente.

Tabla 9.51. Institución educativa que se encuentra en riesgo ante la ocurrencia de un movimiento en masa.

INSTITUCIÓN EDUCATIVA	SEDE	NÚMERO DE ESTUDIANTES	NIVEL EDUCATIVO
I.E Liceo del Saber	I.E Liceo del Saber	425	Preescolar (Transición, pre-Jardines infantiles, kínder), básica primaria, secundaria.

Fuente: elaboración propia a partir del informe "Consulta número de alumnos por aula" del Ministerio de Educación (2018).

Utilizando como base los desastres naturales en el país en los años 2010 y 2011, el Ministerio de Educación cuantificó el número de escuelas afectadas y el gasto en la reparación de la estructura de cada una de ellas por municipio, a través de un plan de acción compuesto por tres fases:

- Fase 1 – *Ayuda humanitaria*: se realizó la implementación de aulas temporales.
- Fase 2 – *Rehabilitación:* consistió en el mantenimiento correctivo, la reparación estructural y la realización de obras de mitigación de las sedes educativas afectadas.
- Fase 3 – *Reubicación:* Reposición y reubicación de sedes educativas.

Para el Valle del Cauca, la mayor parte de las escuelas afectadas sólo requirieron de la fase de rehabilitación. Por esta razón se determinó que, los centros educativos ubicados en la zona de estudio necesitarían de recursos para una etapa de rehabilitación.

De esta manera, en la Tabla 9.52 se observa el valor de las posibles afectaciones (instituciones educativas) y el gasto en la fase 2 para Zarzal teniendo en cuenta la conversión de precios pasados mediante el IPC a precios actuales.

Tabla 9.52. Costo total aproximado de la estructura de la institución educativa. Precios de 2019.

COSTOS ESTIMADOS POR SEDE EDUCATIVA EN FASE 2 A PRECIOS ACTUALES (IPC)	NÚMERO DE INSTITUCIONES EDUCATIVAS	COSTO TOTAL APROXIMADO DE LA ESTRUCTURA EDUCATIVA
$189.660.672	1	$189.660.672

Fuente: elaboración propia con datos del Ministerio de Educación Nacional (2011).

A pesar de que no se cuenta con información detallada del contenido de la institución educativa en la zona de riesgo, para el cálculo de las posibles pérdidas económicas de la sede educativa los siguientes supuestos teniendo en cuenta los grados habilitados por la institución, el número de profesores, la composición de un colegio promedio y la cantidad de equipos de cómputo acorde al promedio de estudiantes matriculados. Por desconocimiento del número de matriculados, se realizó una aproximación teniendo en cuenta dos factores: el área de la institución (386 m^2) y el número máximo de estudiantes que el ministerio de educación permite en cada aula. Como el área es relativamente pequeña, se realiza el supuesto de que hay un aula por grado y 2 salas de sistemas (una para preescolar y primaria y otra para secundaria).

Cuenta con 14 aulas (12 aulas de estudio y 2 aulas de sistemas), 14 escritorios y 14 sillas.

- Se cuenta con 80 computadores, 80 mesas de cómputo y 80 sillas.
- El número de pupitres es igual al número de estudiantes: 65 estudiantes en preescolar y 360 matriculados entre primero de primaria y noveno de secundaria.

En la Tabla 9.53, se presenta un estimativo del costo de cada uno de los enseres y muebles de un aula educativa.

Tabla 9.53. Muestra de Precio de almacén para la determinación del costo del contenido.

CONTENIDO	PRECIO ($) HOMECENTER
Pupitre	$105.000
Escritorio	$359.900
Mesa de computo	$120.000
Computador	$1.090.000
Silla	$74.900

Fuente: elaboración propia con lista de precios de Homecenter (2019).

Los precios utilizados son del 2019 y se establecieron a partir de una cotización realizada en HOMECENTER de los artículos mencionados para el contenido de las instituciones educativas. De esta manera, multiplicando el número de aulas afectadas por el número de pupitres por salón y a su vez por el precio de cada pupitre ($105.000), se obtuvo el costo total por pupitres dañados. El costo total para los computadores, mesa de cómputo y silla se obtuvo a partir de la suma de los costos de las sillas, mesas y computadores. Cada uno de estos costos surge de la multiplicación entre la cantidad de sillas, mesas y computadores por sus respectivos precios ($74.900 por silla, $120.000 por mesa, $1.090.000 por computador y $359.900 por escritorio).

El costo total del contenido de las sedes educativas se obtuvo a partir de la suma del costo total de pupitres y el costo total por la sala de sistemas dañada. Lo anterior se encuentra en la Tabla 9.54.

Tabla 9.54. Costo total aproximado del contenido de la institución educativa (Precios de 2019).

SEDE	COSTO PUPITRES	COSTO ESCRITORIOS	COSTO SILLAS	COSTO MESA COMPUTO	COSTO COMPUTADOR	$ / UNIDAD
1	$44.625.000	$ 4.318.800	$6.890.800	$ 9.600.000	$ 87.200.000	$152.634.600

COSTO TOTAL APROXIMADO DEL CONTENIDO DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA	**$152.634.600**
COSTO TOTAL APROXIMADO EN ESTRUCTURA DE LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA (USD) (1 USD = 3.586 $ COP)	**42.564 US$**

Fuente: elaboración propia con base en la Lista de precios Homecenter (2019) y Ministerio de Educación Nacional (2019).

Finalmente, estos costos surgen de la suma del contenido de la escuela en afectación con el posible costo de la reparación de las estructuras por escenario de movimiento en masa, alcanzando un total de $ 342.295.272 millones de pesos tal como se observa en la Tabla 9.55.

Tabla 9.55. Costo total aproximado por Institución Educativa en funcionamiento en riesgo por Movimiento en masa.

NIVEL DE AFECTACIÓN	SEDE EDUCATIVAS CON AFECTACIÓN	COSTO TOTAL APROXIMADO DE DAÑOS DE CONTENIDO	COSTO APROXIMADO DE REHABILITACIÓN	COSTO TOTAL APROXIMADO
Alta	1	$ 152.634.600	$ 189.660.672	$ 342.295.272
COSTO TOTAL APROXIMADO DE DAÑO EN SEDE EDUCATIVA		**$ 152.634.600**	**$ 189.660.672**	**$ 342.295.272**
COSTO TOTAL APROXIMADO DE DAÑO EN SEDE EDUCATIVA (USD) (1 USD = 3.586 $ COP)		**42.564 US$**	**52.889 US$**	**95.453 US$**

Fuente: elaboración propia con base en la Lista de precios de Homecenter (2019) y Ministerio de Educación Nacional (2011).

9.8.4.4. Resumen de costos aproximados de daño en la infraestructura social

Finalmente, el resumen de costos aproximados de daño en la infraestructura social (estructura y contenido) en afectación alto, medio y bajo debido a que en estas zonas no hay ninguna edificación esencial (instituciones educativas y hospitales), solo se tendrá costos de edificaciones residenciales y no residenciales (comercial, mixto y equipamiento), tal como se observa en la Tabla 9.56, con un valor aproximado de **tres mil novecientos noventa y cuatro millones seiscientos cincuenta mil cuatrocientos treinta y un pesos ($ 3.994.650.431).**

Tabla 9.56. Resumen de costos aproximados de daño en la infraestructura social afectada por movimiento en masa

RESUMEN DE COSTOS APROXIMADOS DE DAÑO EN LA INFRAESTRUCTURA SOCIAL	PRECIOS DE 2019
Costo aproximado de daño en edificaciones no residenciales en afectación ante movimiento en masa.	$ 467.380.891
Costo aproximado de daño en edificaciones residenciales en afectación ante movimiento en masa.	$ 3.184.974.268
Costo aproximado de daño en edificaciones educativas en afectación ante movimiento en masa.	$ 342.295.272
COSTO TOTAL APROXIMADO DE DAÑO EN LA INFRAESTRUCTURA SOCIAL	**$ 3.994.650.431**
COSTO TOTAL APROXIMADO (USD) (1 USD = $ 3.586 COP)	**1.113.957,175 US$**

Fuente: elaboración propia.

9.8.4.5. Asistencia Gubernamental

El análisis de la asistencia gubernamental se estimó la ayuda del gobierno en alimentación y aseo y subsidios de arrendamiento a la población damnificada ante la ocurrencia de un desastre natural.

9.8.4.5.1. Posibles costos por asistencias del gobierno a damnificados

Un componente importante de los costos asociados a los desastres naturales del área de estudio corresponde a las diferentes ayudas que brindan las instituciones estatales, privadas y sin ánimo de lucro ante las emergencias. Para realizar una aproximación a los gastos que estas instituciones asumirían, se tomaron como base los recursos que Colombia Humanitaria, el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) y la Secretaria de Infraestructura Departamental del Valle del Cauca destinaron para los diferentes municipios del Valle del Cauca afectados por la ola invernal de 2010 – 2011. Este monto se actualiza a través del IPC. De esta manera, la Tabla 9.57 muestra los diferentes tipos de inversiones que dichas instituciones ejecutarían para mitigar una emergencia en la zona de estudio, lo cual representa el gasto del gobierno para situaciones de este tipo teniendo en cuenta el contexto del municipio de Zarzal, el cual se resume en la Tabla 9.58, en donde el costo aproximado por asistencia alimento y aseo es de **treinta y nueve millones setecientos noventa y cinco mil ochocientos cuarenta ($ 39.795.840)** y el valor total por asistencia a vivienda es de **novecientos ochenta y un millones ochenta y nueve mil doscientos ochenta pesos ($ 981.089.280).**

Tabla 9.57. Montos designados por el Gobierno Nacional para asistencia alimentaria y aseo a damnificados durante situaciones de desastres (Precios 2019)

TOTAL, FAMILIA	ALIMENTO/MES	ASEO/MES	TOTAL
De 1 a 3 personas	$ 324.864	$ 54.144	$ 379.008
De 4 a 6 personas	$ 406.080	$ 67.680	$ 473.760
Más de 6 personas	$ 446.688	$ 81.216	$ 527.904

Fuente: elaboración propia con datos de Colombia Humanitaria (2011), sobre la base de la "Ola Invernal" de 2010-2011.

Tabla 9.58. Costo aproximado por asistencia a familias posiblemente afectadas ante escenarios de movimiento en masa (Precios 2019)

NIVEL DE AFECTACIÓN	NÚMERO DE FAMILIAS	ASISTENCIA ALIMENTO Y ASEO POR FAMILIA	ASISTENCIA A VIVIENDAS POR FAMILIA	VALOR TOTAL DE ASISTENCIA ALIMENTO Y ASEO	VALOR TOTAL ASISTENCIA VIVIENDA
Alto	284	$ 473.760	$ 3.248.640	$ 134.547.840	$ 922.613.760
Medio	3	$ 473.760	$ 3.248.640	$1.421.280	$9.745.920
Bajo	15	$ 473.760	$ 3.248.640	$7.106.400	$48.729.600
COSTO TOTAL APROXIMADO		**$ 473.760**	**$ 3.248.640**	**$ 143.075.520**	**$ 981.089.280**

Fuente: elaboración propia con datos de Colombia Humanitaria (2011), sobre la base de la "Ola Invernal" de 2010-2011.

9.8.4.5.2. Resumen de costos aproximados derivados de la asistencia gubernamental

Finalmente, en la Tabla 9.59 se encuentra el resumen del costo total aproximado derivado de la asistencia gubernamental, serán solamente los costos probables en asistencia alimentaria y aseo

brindada por el Gobierno, por un valor de **mil ciento veinticuatro millones ciento sesenta y cuatro mil ochocientos pesos ($ 1.124.164.800).**

Tabla 9.59. Resumen de los costos aproximados derivados de la asistencia del gobierno para predios residenciales afectados por movimiento en masa

RESUMEN DE COSTOS APROXIMADOS DERIVADOS DE LA ASISTENCIA DEL GOBIERNO	PRECIOS DE 2020
Costo aproximado en asistencia alimentaria y aseo.	$ 143.075.520
Costo aproximado en asistencia a vivienda.	$981.089.280
COSTO TOTAL APROXIMADO DE ASISTENCIA DEL GOBIERNO	**$ 1.124.164.800**
COSTO TOTAL (USD) (1 USD = $ 3.586 COP)	**313.487 US$**

Fuente: elaboración propia.

9.8.4.6. Líneas vitales

Las líneas vitales son sistemas imprescindibles para la vida humana y el funcionamiento de las poblaciones, representan un conjunto de activos y recursos humanos fundamentales para la provisión de servicios esenciales para mantener estándares de calidad de vida, cuya interrupción generará pérdidas.

9.8.4.6.1. Afectación en Infraestructura Vial

La infraestructura vial es un sistema esencial en cualquier sistema de transportes para la vida humana y el funcionamiento de las poblaciones es importante para generar crecimiento económico regional. La existencia de vías garantiza no sólo la comunicación entre poblaciones sino el intercambio comercial y aumento de la productividad a nivel local, regional y nacional ACP (2016).

Por lo tanto, es esencial que la interrupción de la circulación sea el menor tiempo posible para prevenir grandes pérdidas económicas ante la ocurrencia de un evento por desastre natural.

9.8.4.6.2. Costos por posibles afectaciones en infraestructura vial

En caso del escenario de movimiento en masa, existe la probabilidad de afectaciones en las vías, siendo necesario encontrar un estimativo del costo a realizar actividades de rehabilitación y mantenimiento con el propósito de preservar en buen estado los elementos que la componen, controlar los daños y, en lo posible, conservar las condiciones iniciales.

Con un total de 1.663 metros de vía en afectación por el escenario de movimiento en masa, de los cuales 403 m de vía corresponde a material destapada, 639 m de vía corresponde a material de asfalto y 622 m de vía corresponde a material de concreto. Debido a la dificultad en el estudio para calcular perdidas en vía con material destapado, solo se tendrá en cuenta el material de concreto. Los posibles daños que se ocasionaran por movimiento en masa pueden ser totales o parciales a la infraestructura vial, dependiendo de la magnitud del fenómeno, en consecuencia, las eventuales actividades post desastres en este rubro, estarían encaminadas a la reconstrucción y a la rehabilitación de las vías de manera que aseguren el funcionamiento normal de estas, devolviendo el bienestar a la comunidad.

Para hacer el cálculo del costo se basó en la lista de precios para mano de obra, maquinaria, transporte del 2019 del documento APUS Valle 2019-2 del Instituto Nacional de Vías, el cual se desarrolla en la Tabla 9.60.

Tabla 9.60. Costo promedio aproximado por construcción, rehabilitamiento y mantenimiento vial.

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO/UNITARIO EN PESOS	OBSERVACIONES
Costo promedio mantenimiento, reparación, reconstrucción, mejoramiento y limpieza vial de m de vía posibles daños ante escenario de movimiento en masa.	M	$ 1.268.683	Se calculó el costo promedio por construcción, rehabilitamiento y mantenimiento teniendo en cuenta la excavación, remoción de materiales, mano de obra y las etapas.

Fuente: elaboración propia a partir de información de APUS Valle 2019-2 del Instituto Nacional de Vías

En la Tabla 9.61 se muestran los costos asociados al mejoramiento y rehabilitación de las vías respectivamente, teniendo en cuenta la longitud de los trayectos susceptibles a ser afectados y los valores unitarios por metro para un total de **mil quinientos noventa y ocho millones quinientos cuarenta mil quinientos ochenta pesos ($ 1.598.540.580).**

Tabla 9.61. Costo total aproximado de mejoramiento y rehabilitación de la infraestructura vial por posibles daños ante escenario de movimiento en masa

NIVEL DE AFECTACIÓN	LONGITUD/METRO	COSTO/METRO	COSTO POR NIVEL DE AAFECTACIÓN ($)
Alto	162	$ 1.268.683	$ 205.526.646
Bajo	1.098	$ 1.268.683	$1.393.013.934
COSTO TOTAL APROXIMADO ($)			**$ 1.598.540.580**
COSTO TOTAL APROXIMADO (USD) (1USD = 3.586COP)			**445.773 US$**

Fuente: elaboración propia a partir de información de APUS Valle 2019-2 del Instituto Nacional de Vías (2019).

9.8.4.6.3. Afectaciones en postes de energía eléctrica

La red de energía se define como línea vital puesto que es fundamental para el funcionamiento de la sociedad, debido a que es visto en la actualidad como una de las principales y más relevantes fuentes utilizadas tanto para uso doméstico como para uso industrial o comercial. Por tal razón, se consideró en la valoración económica de las posibles pérdidas.

En total, hay53 postes de energía expuestos en riesgo ante la ocurrencia de un movimiento en masa. A partir de la lista de precios unitarios de la Gobernación del Valle del Cauca (2019), se estableció en la Tabla **9.62** el costo promedio aproximado de reposición de postes de energía, teniendo en cuenta el material, la resistencia y la altura.

Tabla 9.62. Costos promedio aproximados de reposición de postes de energía por posibles daños ante escenario de afectación por movimiento en masa

DESCRIPCIÓN	UNIDAD	COSTO/UNITARIO EN PESOS	OBSERVACIONES
Reposición de postes de energía por posibles daños ante escenario de movimiento en masa.	1	$ 893.933	Se calculó el costo promedio aproximado por reposición de postes de energía teniendo en cuenta el material, la resistencia y la altura. (El costo incluye el poste, la mezcla de concreto, mano de obra y grúa-montacarga)

Fuente: elaboración propia, a partir de la lista de precios unitarios de la Gobernación del Valle (2019).

Por otro lado, en la Tabla 9.63 se estimó el costo total aproximado por afectaciones en postes de energía eléctrica teniendo en cuenta la cantidad de postes en afectación alta ante movimiento en masa y el costo promedio aproximado de reposición.

Tabla 9.63. Costos totales aproximado de reposición de postes de energía por posibles daños ante escenario de afectación por movimiento en masa

NIVEL DE AFECTACIÓN	CANTIDAD	COSTO/UNIDAD	COSTO POR NIVEL DE AFECTACIÓN ($)
Alto	53	$893.933	$47.378.449
COSTO TOTAL APROXIMADO ($)			**$47.378.449**
COSTO TOTAL APROXIMADO ($USD) (1USD = 3.586 COP)			**13.212 US$**

Fuente: elaboración propia, a partir de la lista de precios unitarios de la Gobernación del Valle (2019).

9.8.5. Resumen de costos aproximados de afectación en infraestructura social y líneas vitales

Los costos aproximados derivados de la afectación en la infraestructura vial y líneas vitales en afectación ante el escenario de movimiento en masa, tiene un valor de **seis mil setecientos sesenta y cuatro millones setecientos treinta y cuatro mil doscientos sesenta pesos ($ 6.764.734.260)** (Tabla 9.64).

Tabla 9.64. Resumen de los costos aproximados derivados de la infraestructura social y líneas vitales por movimiento en masa

RESUMEN DE COSTOS APROXIMADOS DERIVADOS DE LA AFECTACIÓN EN INFRAESTRUCTURA SOCIAL Y LÍNEAS VITALES.	COSTO APROXIMADO DE AFECTACIÓN ($)
Costo aproximado de afectación en infraestructura social y asistencia del gobierno.	$ 5.118.815.231
Costo aproximado de afectación en infraestructura vial.	$ 1.598.540.580
Costo aproximado de afectación en líneas vitales (postes de energía eléctrica).	$ 47.378.449
COSTO TOTAL APROXIMADO DE AFECTACIÓN ($)	**$6.764.734.260**
COSTO TOTAL APROXIMADO (USD) (1 USD = $ 3.586 COP)	**1.886.428,963 US$**

Fuente: elaboración propia.

9.9. ESTIMACIÓN DEL RIESGO TOTAL (PÉRDIDAS ECONÓMICAS) ANTE MOVIMIENTO EN MASA

El producto de la Probabilidad de ocurrencia, de la vulnerabilidad y el costo de los elementos expuestos (contenido, estructura, ayudas gubernamentales en predios residenciales) indican el riesgo de posibles pérdidas económicas correspondiente a la clasificación alto, medio y bajo. Considerando que la probabilidad de que se incurra en estos costos depende de la vida útil del tipo de construcción de cada edificación, el cual en la Tabla 9.1 se resume la probabilidad de vida útil del tipo de construcción de la edificaciones y en la Tabla 9.2 se presenta la probabilidad de vida útil del material de construcción de las líneas vitales (red vial y postes de las redes eléctricas) de acuerdo a los intervalos de vulnerabilidad establecidos.

9.9.1.1. Estimación de posibles pérdidas económicas en edificaciones y líneas vitales localizadas en la zona de afectación (riesgo)

Es de aclarar que en las edificaciones no residenciales solo se tiene en cuenta la estructura. En la Tabla 9.65 indican las posibles pérdidas económicas totales correspondiente a los costos de cada edificación en el escenario de afectación ante movimiento en masa por un total de **once mil ochenta y tres millones novecientos ochenta mil doscientos cuatro pesos ($11.083.980.204).**

Tabla 9.65. Aproximación de posibles pérdidas económicas en edificaciones residenciales y no residenciales afectados por movimiento en masa.

EDIFICACIONES EN EL ESCENARIO DE AFECTACIÓN ALTO, MEDIO Y BAJO		
NIVEL DE AFECTACIÓN	**CANTIDAD DE EDIFICACIONES**	**POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS TOTALES**
Alto	287	$ 10.938.817.451
Medio	4	$ 94.691.217
Bajo	15	$ 50.471.536
COSTO TOTAL		**$ 11.083.980.204**
COSTO TOTAL APROXIMADO (USD) (1 USD = $ 3.586 COP)		**3.090.903US$**

Fuente: elaboración propia.

Con base a la metodología para el cálculo del riesgo realizada por González (2002), el producto de la Probabilidad de ocurrencia de la vulnerabilidad y el costo de los elementos expuestos aproximan a las posibles pérdidas económicas en infraestructura vial y líneas vitales (red de energía eléctrica) ver las Tabla 9.66 y 9.55

Tabla 9.66. Aproximación de posibles pérdidas económicas en infraestructura vial afectada por movimiento en masa.

INFRAESTRUCTURA VIAL EN AFECTACIÓN		
NIVEL DE AFECTACIÓN	**LONGITUD/METRO**	**POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURAL VIAL ($)**
Alto	162 M	$ 74.854.006
Bajo	1.098 M	$21.953.247
POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS TOTALES ($)		**$ 96.807.253**

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9.67. Aproximación de posibles pérdidas económicas en líneas vitales (red de energía eléctrica) afectada por movimiento en masa

LINEAS VITALES (RED DE ENERGIA ELECTRICA) EN AFECTACIÓN		
NIVEL DE AFECTACIÓN	**CANTIDAD DE POSTES**	**POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN RED DE ENERGÍA ELÉCTRICA ($)**
Alta	53	$ 10.526.479
POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS TOTALES ($)		**$ 10.526.479**

Fuente: elaboración propia.

Las posibles pérdidas económicas en infraestructura de redes vitales se obtuvieron de la suma entre la aproximación de posibles pérdidas económicas en infraestructura vial y en la red de energía eléctrica (postes) en todos los niveles de afectación ante movimiento en masa, obteniendo un valor de ciento **siete millones trecientos treinta y tres mil setecientos treinta y dos pesos** (**$ 107.333.732)** tal como se observa en la Tabla 9.68.

Tabla 9.68. Aproximación de posibles pérdidas económicas en infraestructura de redes vitales afectada por movimiento en masa

POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURA VIAL ($)	POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN RED DE ENERGÍA ELÉCTRICA ($)	POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURA DE REDES VITALES ($)
$ $ 96.807.253	$ 10.526.479	$ 107.333.732

Fuente: elaboración propia.

9.9.1.2. Resumen posibles pérdidas económicas totales en infraestructura social y líneas vitales en zonas de afectación ante movimiento en masa

Finalmente, en la Tabla 9.69 se encuentra el resumen de las posibles pérdidas económicas en infraestructura derivados de los costos en daño de la infraestructura social e infraestructura de redes vitales que se encuentran en afectación ante la ocurrencia de un movimiento en masa, por un valor de **once mil ciento noventa y un millones trecientos trece mil novecientos treinta y seis pesos ($ 11.191.313.936).**

Tabla 9.69. Resumen de las posibles pérdidas económicas en infraestructura social y líneas vitales con afectación (riesgo) ante un movimiento en masa

RESUMEN LAS POSIBLES PERDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURA SOCIAL Y LINEAS VITALES	POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURA SOCIAL Y LINEAS VITALES ($)
Posibles pérdidas económicas en infraestructura social.	$ 11.083.980.204
Posibles pérdidas económicas en infraestructura de redes vitales.	$ 107.333.732
POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS TOTALES EN INFRAESTRUCTURA ($)	**$ 11.191.313.936**
POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS (USD) (1 USD = $ 3.586 COP)	**3.120.834 US$**

Fuente: elaboración propia.

9.10. POSIBLES PÉRDIDAS EN EDIFICACIONES LOCALIZADAS EN ZONAS DE AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE ANTE INUNDACIÓN Y MOVIMIENTO EN MASA

En este apartado se presenta la clasificación de los elementos estructurales y funcionales en las zonas de afectación alta mitigable y no mitigable por inundación y movimientos en masa.

9.10.1. Clasificación de elementos estructurales y funcionales en zonas de afectación alta mitigable y no mitigable ante inundación

Con las 2211 edificaciones ubicados en zonas de afectación alta ante un evento de inundación en el municipio de Zarzal, se adelantará la caracterización de afectación alto mitigable y no mitigable. A continuación, se realizará la clasificación de elementos estructurales y funcionales expuestos. Seguidamente, se estimará el costo de la estructura de las edificaciones y finalmente se establecerán las posibles pérdidas económicas en infraestructura.

De acuerdo al censo que se realizó para la parte estructural y funcional del municipio y presentado en la Tabla 9.70 se realiza la clasificación de elementos estructurales y funcionales expuestos en afectación alto mitigable y no mitigable ante inundación en el municipio de Zarzal, se encontró que las edificaciones expuestas en afectación alto mitigable se encuentran 1251 edificaciones están construidas en mampostería no reforzada, 780 edificaciones en están construidas en mampostería confinada, 49 edificaciones en madera tapia y bahareque y 2 edificaciones están construidas en otros materiales. En cuanto a las 129 edificaciones que se encuentran en afectación no mitigable 97 están construidas en mampostería no reforzada, 27 edificaciones en mampostería confinada y 5 edificaciones en madera, tapia o bahareque. Además, en su mayoría el uso de suelo en el municipio de Zarzal es de uso residencial.

Tabla 9.70. Clasificación de elementos estructurales y funcionales expuestos en afectación alta mitigable y no mitigable ante inundación en el municipio de Zarzal

TIPOS DE ESTRUCTURAS			FUNCIONALIDAD DE LOS ELEMENTOS		
TIPO DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	NÚMERO DE EDIFICACIONES		USO DEL SUELO	NÚMERO DE EDIFICACIONES	
	AFECTACIÓN ALTO MITIGABLE	AFECTACIÓN ALTO NO MITIGABLE		AFECTACIÓN ALTO MITIGABLE	AFECTACIÓN ALTO NO MITIGABLE
Mampostería Confinada	780	27	Residencial	1.701	97
			Comercial	188	19
Mampostería No Reforzada	1.251	97	Culto	7	0
			Mixto	168	10
Madera, Tapia y Bahareque	49	5	Institucional	4	0
			Cultural	2	0
Otro (Material reciclado)	2	0	Educación	8	0
			Recreación	3	0
			Salud	1	3
TOTAL	**2082**	**129**	**TOTAL**	**2082**	**129**

Fuente: elaboración propia.

9.10.2. Estimación del costo de la estructura de las edificaciones en riesgo alto mitigable y no mitigable ante inundación

Para estimar los costos de la estructura es necesario determinar el total de área construida con base en el censo realizado para la parte estructural del municipio y el precio de las edificaciones no residenciales.

El precio de las edificaciones se estableció con el avalúo comercial del inmueble, mediante el precio de las edificaciones se estableció con base en el cociente entre el promedio del avalúo catastral y del área de dichos predios (se excluyeron los valores atípicos: áreas menores a 50 m^2 y mayores a 500 m^2). Finalmente se obtuvo un valor de $ 376.660 por cada m^2. En el contexto del municipio de Zarzal se encuentran ubicadas las 2.082 edificaciones en un área de 399.944 m^2 en afectación alto mitigable y 129 edificaciones en un área de 63.511 m^2 en afectación alta no mitigable ante un escenario de inundación. El costo total aproximado de **doscientos quince mil seiscientos setenta y un millones quinientos sesenta y un mil veinticuatro mil ochocientos sesenta millones cuatrocientos doce mil seiscientos seis ($ 215.671.561.850)** representado en la Tabla 9.71.

Tabla 9.71. Costo Total de las edificaciones en afectación alta mitigable y no mitigable ante inundación

EDIFICACIONES EN AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE ANTE INUNDACIÓN			
AFECTACIÓN ALTA	**CANTIDAD DE EDIFICACIONES**	**ÁREA (m^2) TOTAL CONSTRUIDA**	**COSTO TOTAL POR NIVEL AFECTACIÓN ($)**
Mitigable	2.082	399.944 m^2	$ 191.749.350.421
No Mitigable	129	63.511 m^2	$ 23.922.211.429
COSTO TOTAL ($)			**$ 215.671.561.850**

Fuente: elaboración propia a partir del censo estructural y avalúo comercial por m^2 del municipio de Zarzal.

9.10.3. Posibles pérdidas económicas en edificaciones localizadas en zona de afectación alta mitigable y no mitigable ante inundación

El producto de la probabilidad de ocurrencia de la vulnerabilidad y el costo de los elementos expuestos por cada edificación (estructura), con la teoría establecida anteriormente por Gonzales (2002), aproximan a las posibles pérdidas económicas en edificaciones con riesgo alto mitigable y no mitigable, por un valor de **ocho mil novecientos veintiún millones setecientos sesenta y nueve mil treinta y un pesos ($8.921.769.031**), las cuales se resumen en la Tabla 9.72.

Tabla 9.72. Aproximación de posibles pérdidas económicas en edificaciones con riesgo alto mitigable y no mitigable por inundación

EDIFICACIONES EN AFECTACIÓN ALTO MITIGABLE Y NO MITIGABLE		
NIVEL AFECTACIÓN ALTO	**CANTIDAD DE EDIFICACIONES**	**POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN EDIFICACIONES EN AFECTACIÓN ALTO MITIGABLE Y NO MITIGABLE ($)**
Mitigable	2.082	$ 60.341.176.827
No Mitigable	129	$ 9.629.229.092
POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS TOTALES ($)		**$ 69.970.405.919**
POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS (USD) (1 USD = $ 3.586 COP)		**19.512.104,27 US$**

Fuente: elaboración propia.

9.10.4. Clasificación de edificaciones en afectación alta mitigable y no mitigable ante movimiento en masa

A continuación, con las 374 edificaciones ubicadas en zonas de afectación alta ante un evento de movimiento en masa en el municipio de Zarzal, se adelantará la caracterización de afectación alta mitigable y no mitigable; Se realizará la clasificación de elementos estructurales y funcionales expuestos. Seguidamente, se estimará el costo de la estructura de las edificaciones y finalmente se establecerán las posibles pérdidas económicas en infraestructura.

De acuerdo al censo que se realizó para la parte estructural y funcional del municipio y presentado en la Tabla 9.73 se realiza la clasificación de elementos estructurales y funcionales expuestos en afectación alto mitigable y no mitigable ante movimiento en masa en el municipio de Zarzal se encontró que las edificaciones expuestas en afectación alto mitigable están en su mayoría construidas en mampostería no reforzada, y en menor cantidad de mampostería confinada y otros materiales.

Por otro lado, las edificaciones expuestas en riesgo alto no mitigable están en su mayoría construidas en mampostería no reforzada, y en menor cantidad de mampostería confinada y otros materiales. Además, en su mayoría el uso de suelo en edificación con afectación alto mitigable y no mitigable en el municipio de Zarzal es de uso residencial.

Tabla 9.73. Clasificación de elementos estructurales expuestos en alta mitigable y no mitigable ante movimiento en masa en el municipio de Zarzal

TIPOS DE ESTRUCTURAS			FUNCIONALIDAD DE LOS ELEMENTOS		
TIPO DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	NÚMERO DE EDIFICACIONES		USO DEL SUELO	NÚMERO DE EDIFICACIONES	
	AFECTACIÓN ALTO MITIGABLE	AFECTACIÓN ALTO NO MITIGABLE		AFECTACIÓN ALTO MITIGABLE	AFECTACIÓN ALTO NO MITIGABLE
Mampostería Confinada	28	7	Residencial	207	77
Mampostería No Reforzada	177	61	Culto	1	0
Madera, Tapia y Bahareque	4	7	Mixto	1	0
Otro (Material reciclado)	0	3	Institucional	0	1
TOTAL	**209**	**78**	**TOTAL**	**209**	**78**

Fuente: elaboración propia.

9.10.4.1. Estimación del costo de la estructura de las edificaciones en afectación alto mitigable y no mitigable ante movimiento en masa

Con el fin de estimar los costos de la estructura es necesario determinar el total de área construida con base en el censo realizado para la parte estructural del municipio y el precio de las edificaciones no residenciales, el precio de las edificaciones se estableció con base en el avalúo catastral y del área de dichos predios (se excluyeron los valores atípicos: áreas menores a 50 m^2 y mayores a 500 m^2) Finalmente se obtuvo un valor de $ 376.660 por cada m^2. En el contexto del municipio de

Zarzal se encuentran ubicadas 209 edificaciones en afectación alta mitigable y 78 edificaciones en afectación alta no mitigable ante un escenario de movimiento en masa. Se estimó un área total construida en nivel de afectación alto mitigable de 35.315 m^2 y en nivel de afectación alto no mitigable de 43.803 m^2 con un costo total aproximado de **catorce mil novecientos cincuenta y un millones trescientos sesenta y ocho mil ochocientos ochenta pesos ($ 14.951.368.880)** representados en la Tabla 9.74.

Tabla 9.74. Costo Total de las edificaciones en afectación alta mitigable y no mitigable ante movimiento en masa

EDIFICACIONES EN AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE ANTE MOVIMIENTO EN MASA			
AFECTACIÓN ALTO	**CANTIDAD DE EDIFICACIONES**	**ÁREA (m^2) TOTAL CONSTRUIDA**	**COSTO TOTAL POR NIVEL AFECTACIÓN ($)**
Mitigable	209	35.315 m^2	$ 13.301.747.900
No Mitigable	78	43.803 m^2	$ 1.649.620.980
COSTO TOTAL ($)			**$ 14.951.368.880**

Fuente: elaboración propia a partir del censo estructural y avalúo comercial por m^2 del municipio de Zarzal.

9.10.5. Posibles pérdidas económicas en edificaciones localizadas en zona de afectación (riesgo) alto mitigable y no mitigable ante movimiento en masa

El producto de la probabilidad de ocurrencia, de la vulnerabilidad y el costo de los elementos expuestos por cada edificación (estructura), con base en la teoría establecida anteriormente por Gonzales (2002), aproximan a las posibles pérdidas económicas en edificaciones con riesgo alto mitigable y no mitigable, con un valor de **diez mil doscientos ochenta y siete millones setecientos setenta y seis mil quinientos veinticinco pesos** ($ **10.287.776.525**) (Tabla 9.75).

Tabla 9.75. Aproximación de posibles pérdidas económicas en edificaciones con alto mitigable y no mitigable por movimiento en masa

EDIFICACIONES EN AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE		
NIVEL DE AFECTACIÓN ALTA	**CANTIDAD DE EDIFICACIONES**	**POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN EDIFICACIONES EN AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE ($)**
Mitigable	209	$ 4.626.006.370
No Mitigable	78	$ 5.661.770.155
POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS TOTALES ($)		**$ 10.287.776.525**
POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS (USD) (1 USD = $ 3.586 COP)		**2.868.872,427 US$**

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

El estudio de historicidad realizado para el municipio de Zarzal desde el periodo de 1980 a febrero de 2019, en relación con los fenómenos de movimiento en masa (2 eventos) e inundación (54 eventos), permitió construir el catálogo y la cartografía correspondientes, donde se registraron los eventos históricos que han tenido algún tipo de afectación en la zona urbana del municipio.

Se identificaron zonas en el área urbana con mayor frecuencia de ocurrencia, concentración de eventos y donde se han generado los mayores efectos, lo cual representa un insumo fundamental para plantear medidas de intervención.

Cabe destacar que el fenómeno más recurrente en el municipio son las inundaciones de tipo pluvial al no contar con un sistema de alcantarillado de aguas lluvias que evacuen el agua cuando se presentan altas precipitaciones. Los barrios que se ven afectados son Las Mercedes, Los Almendros, La Esperanza, Bolívar, La Valvanera, El Guamal, La Isabelita y la Urb. Zarzalito, al oriente Gonzalo Echeverry y El Quindío

Los barrios en lo que se obtuvo San Rafael, Los Lagos I, II, III, El Batallón, Colombina, El Placer, Villa Amelia, Quinto Centenario, El Poblado I y II, Libraida, La Inmaculada, El Centro y las Urbanizaciones Ciudad Jardín y Guadualito

Para el fenómeno de movimiento en masa, en la cabecera municipal, los reportes históricos no fueron tan representativos, se contó solo con 2, que no dejan de ser importantes para su análisis.

Los movimientos en masa presentan menor recurrencia en la zona urbana, afectando los barrios Buenos Aires Alto y Bajo, La Cruz y el sector de la iglesia La Milagrosa. Estos eventos se han asociado a las precipitaciones por la filtración del agua que al acumularse se genere el movimiento en masa por el peso del agua, a la intervención antrópica, debido al corte realizado para la construcción de la variante y a un sistema constructivo deficiente. Por último, a las dinámicas y procesos geológicos de la tierra.

En cuanto al trabajo de geología La Qb. Los Limones en su recorrido por el casco urbano de Zarzal presenta varios giros no naturales, los cuales son la causa continua de desbordamiento de ésta al tratar de continuar su recorrido normal. El puente vial ubicado en la carrera 10 es una construcción que obstruye el caudal normal de la Qb. Los Limones, lo que provoca desbordamientos continuos de la quebrada. Además, El sistema de drenaje actual (Tubo de cemento de 22”) ubicado en la zona de la galería no es eficiente para poder evacuar toda el agua lluvia o de desbordamiento de la Qb. Los Limones que llega al sitio. Existen varios puntos o vías que están debajo del nivel normal (Depresiones), las cuales son sitios de inundaciones continuas.

Por otra parte, en lo visto en campo no es claro un control urbanístico en el Municipio al momento de la construcción de viviendas en la ribera de la quebrada Limones, donde se debe conservar un margen de seguridad en los barrios y así evitar inundaciones.

De acuerdo a los datos de precipitación media mensual multianual obtenidos de las estaciones aledañas al área de influencia de los drenajes que discurren por la zona urbana del municipio de Zarzal, Se observa que la distribución temporal de la lluvia tiende a presentar un régimen

hidrológico bimodal bien definido, es decir presenta dos periodos de alta pluviosidad y dos periodos de baja pluviosidad; las mayores lluvias se registran en el periodo comprendidos entre los meses de marzo a mayo y de septiembre a noviembre, mientras que los periodos de menor pluviosidad está entre los meses de junio a agosto y de enero a febrero incluyendo el mes de diciembre, a partir de lo cual se deben implementar acciones de monitoreo y seguimiento sobre el comportamiento de los cauces de los cuerpos de agua en estudio, que según sea el caso, generen alertas tempranas para actuaciones preventivas sobre el territorio y los elementos expuestos.

La modelación hidráulica realizada a través del software HEC RAS, empleó la información disponible para los tramos de la quebrada Limones cuyos resultados aplican específicamente a las condiciones encontradas, evidenciando inundación por desbordamiento en algunas zonas bajas aledañas al cauce, debido a la irregularidad del terreno, a la reducción del cauce en algunos tramos y a la presencia de estructuras hidráulicas con áreas menores a las requeridas para el tránsito de caudales generados en época de altas precipitaciones, formando represamiento en algunos sectores, asimismo se hace evidente el encharcamiento de las precipitaciones hacia sectores donde la pendiente es casi nula.

La cartografía de amenaza de inundaciones por desbordamiento se constituye en una importante herramienta de apoyo que puede ser utilizada para la optimización de los planes de ordenamiento territorial del municipio de Zarzal, la optimización de los sistemas de alerta y emergencia, el diseño y construcción de obras de protección y, en general, la gestión del riesgo. La cartografía de amenaza generada representa una medida no estructural para el control de estos fenómenos naturales.

Teniendo en cuenta, los resultados del presente documento, respecto a la condición encontrada en los sectores en estudio se deberá considerar el acotamiento de las respectivas rondas hídricas como medida no estructural, dirigida a proteger las comunidades y la infraestructura aledaña a los cuerpos de agua que discurren por la zona urbana del municipio de Zarzal, esto atendiendo lo determinado en el Parágrafo del Artículo 2.2.3.2.3A.3., del Decreto 1076 de 2015 que acoge lo señalado en el Decreto 2245 de 2017 y en la Resolución 0957 de 2018 , actos administrativos que adoptan la “Guía técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia”.

Es importante identificar y demarcar las zonas susceptibles a sufrir movimientos en masa, con el fin de proteger estos sectores, con lo cual se busque disminuir el proceso erosivo, se debe realizar un control en la zona de ladera ya que factores como las coberturas de la tierra inadecuadas a las condiciones del terreno, las aguas de escorrentía se convierten en un factor desestabilizador del suelo, y las obras que se realicen deben ser acorde con el tipo de suelo, pues estas deben fortalecer y evitar la pérdida del mismo. En otras palabras, no aportar peso al suelo que ayude a disminuir su resistencia.

El municipio requiere la implementación de medidas ingenieriles que ayuden a reforzar el suelo y ayuden a evitar la pérdida de suelo por escorrentía (control de aguas de escorrentía). Pues como se pudo denotar las áreas con eventos registrados se encuentran principalmente en el oriente y otros en la zona sur del municipio, cuyas pendientes pueden alcanzar hasta los 55°.

En la zona de amenaza alta se recomienda no realizar construcciones y/o adecuaciones del terreno siempre y cuando no se realicen obras que mitiguen el impacto del evento. Tampoco utilizar estas áreas identificadas como inestables (las cuales pueden tener las siguientes características: altas

pendientes, zonas con erosión, áreas aledañas a la ribera de la quebrada Limones, o antiguos cauces) para localizar actividades antrópicas

Los barrios que tienen parte de su territorio con amenaza alta ante movimientos en masa son: Bicentenario, Batallon, Colombina, San Rafael, Lina María, La Balastera y La Esperanza. A partir de la modelación de la amenaza frente a movimientos en masa, se obtuvo que el barrio La Balastera posee la mayor parte de su territorio en amenaza alta con un 15,32% que equivale a 0,19Ha lo cual se asocia a que este barrio se construyó sobre roca conglomeraticas que pueden presentar fácil meteorización, conllevando a inestabilidad del suelo, por ende, es necesario establecer norma que determinen el tipo de construcción y el número máximo de pisos que estas deben tener.

La amenaza por movimientos en masa en el municipio de Zarzal se obtuvo por medio de la modelación de los parámetros de resistencia, las lluvias y los sismos que se presentan en la zona de estudio. La amenaza es baja en la mayor parte del territorio (95,52 %), media en un porcentaje notoriamente inferior (4,18 %), y alta es del (0,30 %), lo cual es el resultado de la poca incidencia de los detonantes sobre el terreno por su topografía principalmente plana.

El análisis realizado a los elementos expuestos ante inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal las 2413 edificaciones, 1425 se encuentran en exposición alta y 988 se encuentra en exposición media.

En lo que respecta a la exposición de líneas vitales frente al fenómeno de inundación, se encontró 17341,64 m de red vial, 27969,87 m de red de acueducto, 1529,91 m de la red de alcantarillado pluvial y 628 poste que soportan la red de energía. Sin embargo, por la poca información adquirida de las redes de acueducto y alcantarillado no se logró realizar el análisis de vulnerabilidad y afectación de estas redes, dejando la necesidad de hacer un estudio a detalle de estas redes, siendo vital el conocimiento del estado de estas redes para el municipio.

En lo que compete al análisis de fragilidad, se encontró que, en el factor de resistencia corporal, el 48,92% de la población analizada ante el fenómeno tiene un factor resistencia media, el 47,08% tiene un factor de resistencia baja y el 4% tiene un factor de resistencia alta. En cuanto al factor de resistencia estructural de las 2413 edificaciones es baja, los postes que soportan la red eléctrica que fueron evaluados presentan un factor de resistencia baja. Los 17341,63 m de la red vial, tienen un factor de resistencia media 12510,48m y 4831,15 factor de resistencia baja.

Los resultados de vulnerabilidad demostraron que la población y las estructuras presentan niveles de vulnerabilidad alta en 2081 edificaciones, vulnerabilidad media en 131 y baja en 201 edificaciones ante una inundación.

El escenario de afectación corporal, estrechamente ligado con el escenario de afectación estructural por inundación, arrojó un nivel de afectación alta, con 3293 habitantes con poca o nula resistencia al fenómeno de inundación, representando el 68,7% de la población analizada, en afectación baja se encuentran 1485 representado en el 31% y en afectación media solo 0,4%. Aclarando que la población analizada es la que aporto información en el momento de la visita.

El análisis realizado a los elementos expuestos ante inundación en la zona urbana del municipio de Zarzal las 2413 edificaciones, 2211 tienen afectación alta, 29 edificación tiene un nivel de

afectación media y solo 173 edificaciones un nivel de afectación baja. Dadas las condiciones propias de amenaza y las vulnerabilidades físicas propias de las estructuras

La red vial y la red eléctrica, presenta afectaciones ante inundación. Por lo que se debe plantear estudios a detalles de la infraestructura vial, sobre todo las que no cuentan con recubrimiento y en las que están pavimentadas hacer mantenimiento y rehabilitación puesto que presentan daños moderados a graves. En la red eléctrica, se debe plantear sistemas de estructura que refuercen los postes o el cambio de estos.

Las posibles pérdidas económicas por inundaciones con períodos de retorno de 100 años en la zona afectación derivados de las perdidas en edificaciones, asistencia del gobierno y lineas vitales (red vial y postes que soportan la red de energía eléctrica) corresponden a un valor de **setenta y nueve mil setecientos dieciséis millones doscientos diecisiete mil sesenta y siete pesos ($ 79.716.217.067**)

El análisis realizado a los elementos expuestos ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Zarzal evidencia que de las 306 edificaciones se encuentran expuestas 296 en zona de amenaza media y 10 en zonas de amenaza alta. Los barrios que presentan mayores edificaciones expuestas son Pama, Bolívar, Gonzalo Echeverry y Buenos Aires.

En lo que respecta a la exposición de líneas vitales frente al fenómeno, se obtuvo que la red vial están en exposición media 1.663,27 m y la red de acueducto están expuestas 2.336,10 m expuestos y postes que soportan la red eléctrica están expuestos 53.

En lo que corresponde al análisis de fragilidad se encontró que, en el factor de resistencia corporal, el 88,91% de la población analizada ante el fenómeno tiene un factor de resistencia baja, el 9,11% resistencia media y el 1,99% presenta un factor de resistencia alta. En cuanto al factor de resistencia estructural, se evidenció que las 306 edificaciones evaluadas presentan un factor de resistencia baja. La red vial presenta factores de resistencia baja y media y los 53 postes de energía presentan resistencia baja.

Los resultados de vulnerabilidad ante movimiento en masa demostraron que la población analizada presenta principalmente una vulnerabilidad corporal alta con 80,80%, en vulnerabilidad media 1,16% y con vulnerabilidad baja 18,04%. En cuanto a la vulnerabilidad en las 306 edificaciones, con vulnerabilidad alta se encuentran 286 edificaciones, es decir el 95,32% del área, 5 edificaciones, siendo el 1,30% del área presenta vulnerabilidad media y 15 edificación con el 3,38% del área está en vulnerabilidad baja.

El escenario de afectación corporal, estrechamente ligado con el escenario de afectación estructural por movimiento en masa, arrojó un nivel de afectación (riesgo) alta, con 577 habitantes con poca o nula resistencia al fenómeno de inundación, representando el 95,53% de la población analizada, en afectación media 3 habitantes representando el 0,50% y en afectación baja 24 habitantes representando el 3,97%.

Para el escenario de afectación estructural ante movimiento en masa, se encontró que las 306 edificaciones, 287 tienen afectación alta, 4 edificaciones afectación media y 15 tiene afectación

baja. Dadas las condiciones propias de amenaza donde se localizaron y las vulnerabilidades físicas propias de las estructuras.

La red vial presenta el 73,34% de afectación alta y 25,66% afectación baja y la red eléctrica ante movimiento en masa, presenta afectación alta en los 53 postes.

las posibles pérdidas económicas en infraestructura derivados de los costos en daño de la infraestructura social e infraestructura de redes vitales que se encuentran en afectación ante la ocurrencia de un movimiento en masa, por un valor de **once mil ciento noventa y un millones trecientos trece mil novecientos treinta y seis pesos ($ 11.191.313.936).**

RECOMENDACIONES

Se hacen necesario que estos estudios se extiendan a la zona rural con el fin de reconocer las dinámicas físicas del municipio y así poder administrar, planificar y preparar el territorio municipal.

Generar una estrategia correctiva que evite que el agua de escorrentía de ladera cause detrimento en la zona urbana. Realizar estudios previos que permitan identificar los barrios del municipio que tengan deficiencias en el alcantarillado para poder intervenir y mejorar el sistema, con el fin de evitar riesgos ambientales, a la salud y a la calidad de vida de los habitantes de la zona urbana.

Es recomendable que las entidades públicas y privadas del municipio que manejen documentación de archivo (minutas, informes, actas, listados de damnificados, etc.,), incorporen en sus procesos la Ley Nacional de Archivo.

Cuando se adelante los estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo en la zona rural del municipio de Zarzal es de especial interés el centro poblado la Paila, debido a los altos reportes de afectaciones por inundación son en este corregimiento, además por ser vital en el desarrollo económico del municipio al estar localizados dos grandes industrias del país.

Es necesario elaborar un estudio en el cual se proponga un sistema de alcantarillado de aguas lluvias ya que el municipio solo cuenta con algunos tramos y no alcanza su capacidad para evacuar el agua de los barrios que se ven afectados con las altas precipitaciones en diferentes puntos de la ciudad especialmente en los barrios localizados al norte y oriente de la zona urbana del municipio.

Frente a la amenaza por movimientos en masa en el municipio se debe tener en cuenta que una unidad territorial como la estudiada, posee unas dinámicas especiales, donde se presentan diferentes escenarios de infraestructuras, fuentes hídricas, que prestan una serie de servicios y posee una amplia variedad de recursos naturales y económicos, que también se encuentran sometidas a actividades antrópicas, que en su mayoría afectan de manera negativa la conservación de este tipo de lugares, razón por la cual deben considerarse las áreas de amenaza media y alta que pueden llegar a convertirse en un riesgo futuro.

Es importante identificar y demarcar las zonas susceptibles a sufrir movimientos en masa, con el fin de proteger estos sectores, con lo cual se busque disminuir el proceso erosivo, se debe realizar un control en la zona de ladera ya que factores como las coberturas de la tierra inadecuadas a las condiciones del terreno, las aguas de escorrentía se convierten en un factor desestabilizador del suelo, y las obras que se realicen deben ser acorde con el tipo de suelo, pues estas deben fortalecer y evitar la pérdida del mismo, en otras palabras, no aportar peso al suelo que ayude disminuir su resistencia.

En la zona de amenaza alta se recomienda no realizar construcciones y/o adecuaciones del terreno siempre y cuando no se realicen obras que mitiguen el impacto del evento. Tampoco utilizar estas áreas identificadas como inestables (las cuales pueden tener las siguientes características: altas pendientes, zonas con erosión, áreas aledañas a las riberas de los ríos, quebradas, o antiguos cauces) para localizar actividades antrópicas.

Es muy importante la implementación y optimización de los sistemas de alerta temprana y emergencia ante la ocurrencia de inundaciones por desbordamiento. La predicción de la profundidad que alcanzaría el agua en la planicie de inundación, así como la velocidad del flujo y el producto de la profundidad por la velocidad, permiten estimar el posible impacto generado por una creciente y, en consecuencia, establecer prioridades en las actividades a implementar (medidas no estructurales) antes, durante y después de los desbordamientos.

Se recomienda el diseño de obras de protección, mitigación y/o control. Los mapas de amenaza indican las zonas potencialmente inundables y las características de los flujos en dichas zonas en caso de presentarse un evento extremo, por lo cual permiten plantear y analizar diferentes alternativas de obras (medidas estructurales) que conduzcan a la prevención, mitigación y/o control del fenómeno y definir finalmente la alternativa más apropiada considerando los diferentes aspectos sociales, ambientales, técnicos y económicos.

Teniendo en cuenta que el presente estudio ha sido financiado por la CVC y la Universidad del Valle con resultados a nivel de detalle para la zona urbana del municipio tal como se establece en el Decreto 1807 de 2014, se recomienda realizar los estudios en el área rural a nivel básico o de detalle para la actualización en el PMGRD y su posterior incorporación en el PBOT.

Se recomienda a las autoridades municipales y demás entidades privadas relacionadas con la gestión del riesgo hacer seguimiento permanente a los diferentes factores de vulnerabilidad de las zonas que se identificaron con niveles alta, media y baja. Se han señalado algunos puntos de intervención donde se considera realizar algún tipo de obra para mitigar parte del riesgo que está ocurriendo en el municipio. Se recomienda hacer estudios detallados en los que se determine el tipo de obra, sus dimensiones y costos.

Realizar los estudios a nivel de detalle de amenaza, vulnerabilidad y afectación de las redes de acueducto y alcantarillado primarias y domiciliarias del área urbana y centros poblados del municipio de Zarzal

Es necesario que se tomen medidas para las edificaciones que se encuentran en la franja forestal protectora, como la reubicación de aquellas estructuras que se están en afectación alta no mitigable y planes de mejoramiento de vivienda para las localizadas en alta mitigable, esto permitiría reducir el riesgo una inundación máxima.

Se recomienda realizar un mayor control en las áreas definidas como franjas de protección que se definan para evitar la ocupación y asentamiento de nuevos grupos poblacionales.

A mediano y largo plazo realizar reasentamiento de la población localizada en zona de afectación (riesgo) alta no mitigable asentada en las márgenes de la quebrada Limones, así como implementar planes de mejoramiento de vivienda para las edificaciones en zonas de afectación alta mitigable.

REFERENCIAS

Agencia Catalana del Agua. (2003). Recomendaciones técnicas para los estudios de inundabilidad locales. Guía técnica. Cataluña.

Agencia Nacional de Hidrocarburos_ANH (2008). Estratigrafía de la Formación La Paila, un potencial Reservorio de Hidrocarburos en la Cuenca Cauca-Patía. 303 pp.

Alcaldía de Zarzal (2001). Plan Básico de ordenamiento Territorial del Municipio de Zarzal, Valle del Cauca.

Álvarez, J., 1970. Memorandos Geológicos internos. INGEOMINAS Medellín. Inédito.

Álvarez, E., Gonzalez, H., (1978). - Geología y Geoquímica del Cuadrángulo I-7. Informe 1761. Ingeominas, Bogotá, 347 p.

American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), (2004). ASPRS Guidelines Vertical Accuracy Reporting for Lidar Data.

Aparicio, J. (2003). Lluvias e inundaciones. Recuperado el 24 de febrero del 2012 de la Web: http://www.iaem.es/GuiasRiesgos/Lluviaseinundaciones.pdf

Asociación Colombiana de ingeniería Sísmica (AIS) (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Asociación Colombiana del Petróleo ACP (2016). Infraestructura vial. Informe de Gestión Social. Colombia Recuperado de: https://acp.com.co/web2017/es/infraestructura-via.

Atkinson, A. (2003). Estudio teorico para elcontrol posicional en imagenes de teledeteccion georreferenciadas. Teledetección y Desarrollo Regional. X Congreso de Teledeteccion (págs. 117-222). Caceres, España: Universidad de Extremadura.

Audemard, F.A. (2003). Geomorphic and geologic evidence of ongoing uplift and deformation in the Merida Andes, Venezuela. Quaternary International, 101-102: 43-65

Australian Geomechanics Society -AGS (2007). Commentary on guideline for landslides susceptibility, hazard and risk zoning for land use planning. Aust Geomech, 42 (1), 37-62.

Ávila-Álvarez, G. E., Cubillos-Peña, C. E., Granados-Becerra, A. E., Medina-Bello, E., Rodríguez-Castiblanco, É. E., Rodríguez-Pineda, C. E., & Ruíz-Peña, G. L. (2015). Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Escala detallada. Bogotá, D.C.: Ministerio de Minas y Energía, y Servicio Geológico Colombiano.

Barrero, D., (1979). Geology of the Central Western Cordillera, west of Buga and Roldanillo, Colombia. Pub. Esp. INGEOMINAS 4, Bogotá, 75 p.

Bernard, M. M. (1932). Formulas for Rainfall intensities of Long Durations, Trans. ASCE, Vol 96

Botía Díaz, W. A. (2015). Manual de procedimientos de ensayos de suelos y memoria de cálculo (Trabajo de grado). Universidad Militar Nueva Granada, Bogotá, Colombia. Recuperado de: http://hdl.handle.net/10654/6239

Boussingault, J. B. (1903). Memorias. Biblioteca Nacional de Colombia. Bogotá.

Calvo García, Francisco (2001). Sociedades y territorios en riesgo. Barcelona, España: Ediciones el Serbal. 186p. ISBN 8476283784.

Caballero J. (2011). Las avenidas torrenciales: Una amenaza potencial en el valle de Aburrá. Revista Gestión y Ambiente. 14 (3), 45 - 46. Diciembre del 2011.

Cardona, J. F., Ortiz, M. (1994). Aspectos Estratigráficos de las unidades del intervalo Plioceno – Holoceno entre Pereira y Cartago. Propuesta de definición para la Formación Pereira. Universidad de Caldas. Tesis de grado, 155 pp.

Carvajal, J.H. (2012). Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia. Colección Guías y Manuales, Servicio Geológico Colombiano. Bogotá

Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) (2006). Guía Técnica sobre tuberías para el transporte de agua a presión. Tercera edición. España: Ministerio de Fomento y Ministerio de Ambiente.

Casanova, M. L. (2002). Topografia Plana. Merida: Unversidad de los Andes.

Cardona, O D (1993). *Evaluación de la amenaza, la vulnerabilidad y el riesgo: elementos para el ordenamiento y la planeación del desarrollo*. En: Los desastres no son naturales, comp. Andrew Maskrey, 45-65. Lima: Red de Estudios Sociales en Prevención de Desastres en América Latina: La Red.

Cardona, J. F., Ortiz, M. (1994). Aspectos Estratigráficos de las unidades del intervalo Plioceno – Holoceno entre Pereira y Cartago. Propuesta de definición para la Formación Pereira. Universidad de Caldas. Tesis de grado, 155 pp.

Chow, V.T. David R. Maidment, Larry W. Mays (1994). Hidrología Aplicada. Mc Graw Hill.

Chow, V.T. (1959). Open-channel hydraulics. McGraw-Hill

Comaniciu, D., y Meer, P. (2002). Mean shift: a robust approach toward feature space analysis. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 24(5), 1-37. https://doi.org/10.1109/34.1000236

Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG) (2001). Resolución N°144 del 13 de noviembre de 2001 "Por la cual se expiden normas para regular el acceso a la infraestructura eléctrica para la prestación del servicio de televisión, de conformidad con los establecido en el Artículo 13 de la Ley 680 de 2001. Bogotá DC. Colombia

Consejo Municipal de Zarzal. (2001). Acuerdo N° 01 "Por medio del cual se adopta el plan de desarrollo del municipio de Zarzal valle del cauca, para la vigencia fiscal 2001 – 2003". Zarzal Colombia.

Consejo Municipal de Zarzal. (2016). Acuerdo N°453 de 2016, por el cual se adopta el Plan de Desarrollo del municipio de Zarzal Valle del Cauca, para el periodo 2016-2019 y se dictan otras disposiciones. Zarzal. Colombia.

Congreso de la República de Colombia (24 de abril de 2012). Ley de Gestión del Riesgo de Desastres y se establece el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (Ley 1523 de 2012). DO: 48.411

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) y Universidad del Valle, (2007). Metodología implementada para la generación de mapas de inundación en la llanura aluvial del río Cauca. Proyecto de modelación río Cauca – Proyecto PMC.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). (1998). Vuelo A2_1998_07_20_0_407_F41S_256 y 257.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). (2004). Vuelo A2_2004_02_00_00_FAL_448_373 a 375.

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) (2015). Resolución 0100 N° 0500 0574 de 2015 "Por la cual se expiden determinantes ambientales a escala departamental en estructura ecológica y amenazas y riesgos para los procesos de planificación territorial en el área de jurisdicción de la CVC". Valle del Cauca, Colombia

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (2019). Red de estaciones de monitoreo. Recuperado de: https://ecopedia.cvc.gov.co/portal-hidroclimatologico.html

Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca -CVC- y Universidad del Valle - Univalle (2010). Zonificación de Amenazas y Escenarios de Riesgo por Movimientos en Masa,

Inundaciones y Crecientes Torrenciales del Área Urbana y de Expansión de los Municipios de Buga, Riofrío, Dagua, El Cairo y La Unión. Proyecto Midas, Contrato Interadministrativo CVC – Univalle 188 de 2008

Cooper, M. A., Addison, F. T., Álvarez. R., Coral. M., Graham, R. H., Hayward, A. B., Howe, S., Martínez, J., Naar, J., Penas, R., Pulham, A. J., Taboada, A., (1995). Basin development and tectonic history of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and middle Magdalena Valley, Colombia. American Association of Petroleum Geologist. Bulletin, 79, 1421 – 1443.

Corominas, J. (1996). The angle of reach as a mobility index for small and large landslides. Canadian Geotechnical Journal, 33, 260-271

Cowan,W.L. (1956). Estimación del Coeficiente de Rugosidad Hidráulica.

Cruden, D. M. (1991). A simple definition of a landslide. Bulletin of Engineering Geology and the Environment, 43(1), 27-29.

Cruden D. M. y Varnes D.J. (1996). Landslide types and processes. http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/sr/sr29/29-003.pdf

Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Zarzal (1980-2019). Minuta de Guardia. Zarzal Colombia.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) (2005) Resultados y proyecciones (2005-2020). Consultado el 12 de febrero de 2019.

Departamento Administrativo Nacional de Estadística-DANE-(2016). Encuesta de calidad de vida. Recuperado de: https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/salud/calidad-de-vida-ecv/encuesta-nacional-de-calidad-de-vida-ecv-2016

Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) (2018). Censo nacional de población y vivienda. Tabla de datos - Viviendas, Personas y Hogares - Total de unidades de vivienda con personas presentes. Bogotá DC. Colombia. Recuperado de: http://geoportal.dane.gov.co/geovisores/sociedad/cnpv-2018/?lt=4.5961855279822394&lg=-75.94949380899999&z=12

Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE (2019) Resultados y proyecciones (2005-2020) del censo 2005. Consultado el 15 de junio de 2019.

De Porta, J. (1966). Geología del extremo sur del Valle Medio del Magdalena entre Honda y Guataquí (Colombia). Boletín de Geología, N° 22 – 23, 347 pp, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.

De Smith, M. J. (2009). Geospatial Analysis: A comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools. Leicester, Inglaterra: Troubador Publishing Ltd.

Di Pásquale, E., y Cakmak, A. S. (1989). *On the relation between local and global damage indices*. National Center for Earthquake Engineering Research.

Dirección General de Programación Multianual del Ministerio de Economía y Finanzas DGPM-MEF (2007). Conceptos asociados a la gestión del riesgo de desastres en la planificación e inversión para el desarrollo. Documento 1, Serie Sistema Nacional de Inversión Pública y la Gestión del Riesgo de Desastres. Lima: (DGPM-MEF y PDRS-GIZ).

Domaas, U. 1994. Geometrical methods of calculating rockfall range Oslo. NGI, 585910-1. 21 pp

Du, J., Yin, K., Nadim, F., y Lacasse, S. (2013). Quantitative vulnerability estimation for individual landslides. In *Proceedings of the 18th international conference on soil mechanics and geotechnical engineering, Paris* (pp. 2181-2184).

Du, J., Yin, K., Lacasse, S., y Nadim, F. (2014). Quantitative vulnerability estimation of structures for individual landslide: application to the Metropolitan Area of San Salvador, El Salvador. *Electron J Geotech Eng*, *19*, 1251-1264.

Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (EPM) (2009). Normas de Diseño de Sistemas de Acueducto de EPM. Medellín, Antioquia

Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (EPM) (2015). Especificaciones técnicas de postes de concreto. ttps://www.epm.com.co/site/Portals/3/documentos/Energia/EspecificacionesTecnicas/Postes/ET-TD-ME04-01 POSTES DE CONCRETO.PDF

Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (EPM) (2015). Especificaciones técnicas de postes metálicos. Recuperado de: https://www.epm.com.co/site/Portals/3/documentos/Energia/EspecificacionesTecnicas/Postes/ET-TD-ME04-02 POSTES METÁLICOS 15-12-2015.pdf

Figueroa Infante, A. S. (2015). Investigación sobre el efecto del agua en el asfalto y su impacto en la mezcla asfáltica.

Finlay, P.J., Mostyn, G.R. y Fell, R. (1999). Landslide risk assessment: prediction of travel distance. Canadian Geotechnical. Journal 36: 556-562.

Franquet, B. J. (2010). Nivelación de terrenos por regresión tridimensional. José María Franquet Bernis.

Gálvez, D. (2011). Cálculo estructural de tuberías enterradas por el método de elementos finitos, con base en el informe técnico CEN/TR 1295-3. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.

Gallardo, S. J. (2014). Batimetría de Rios, Arroyos de la Comunidad Autonoma del pais Vasco. Ingeniería Cartográfica GAROA, S.L.

García, R., Rodríguez, J.J. y O'Brien, J.S. (2001). Metodología para delimitación de mapas de amenaza propuesta. Proyecto PREVENE

Gavidia, J. (1988). Evaluación de los efectos económicos y sociales de los desastres naturales y la planificación de los asentamientos.

Gobierno de Aragón – Iberinsa, (2005). Metodología propuesta en el Plan Medioambiental del río Ebro y tramo bajo del río Cinca

Gobernación del Valle del Cauca (2019). Listado de análisis unitarios. Recuperado de: https://www.valledelcauca.gov.co/documentos/11756/analisis-de-precios-de-referencia-para-contratacion/

Google Earth, (2019). Imagen digital del municipio de Zarzal del 2/14/2017.

González, A. J. (1999). Estimativos de parámetros efectivos de resistencia con el SPT. X Jornadas geotécnicas de la ingeniería colombiana. Colombia.

González, A., Zamudio, E. C. R., y Castellanos, J. R. (1999). Relaciones de Precipitación Crítica-Duración Lluvias que Disparan Movimientos en Masa en Santa Fe de Bogotá–Colombia. Bogotá DC. Panamerican Conference on soil Mechanics and Geothenical Engineering (PCSMGE), Foz do Iguacu, 709 -716

González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., y Oteo, C. (2002). Ingeniería geológica. Madrid: Pearson Educación. 744p.

González, A. J., y Millan, J. A. (2005). Landslide hazard evaluation for Bogotá, Colombia. In Proc. of the International Conference on Landslide Risk Management. Balkema Publisher (Hungr, Fell, Couture y Eberhardt Editors). Vancouver, Canada. pp. 475-485.

Gonzáles Mora, R. (2006). Vida Útil Ponderada de Edificaciones. Costa Rica.

Haining, R. P. (2003). Spatial Data Analysis:Theory and Practice. Cambridge, Reino Unido: Camersity Pressbridge Univ.

Heinimann, H.R. (1999). Risikoanalyse bei gravitativen NaturgefahrenFallbeispiele & Daten. Umwelt-Materialen NR. 107/II. Naturgefahren.

Heuvelink, G. (1996). Error propagation in quantitative spatial modelling: applications in geographical information systems. Nederlandse Geografische Studies. 163.

Hoggan, D.H. (1990). Computer Assisted Floodplain Hydrologic & Hydraulics. McGraw-Hill

Highland, L., y Bobrowsky, P. T. (2008). The landslide handbook: a guide to understanding landslides (p. 129). Reston: US Geological Survey.

Hsu, K. J. (1975). Catastrophic debris streams (sturzstroms) generated by rockfalls. Geological Society of America Bulletin, 86 (1), 129-140.

Hubach, E., Alvarado, B., (1934). Geología de los departamentos de Valle y Cauca, en especial del carbón. Informe 224. Serv. Geol. Nal. Bogotá.

Hubp J. (2011). Diccionario Geomorfológico. Geografía para el siglo XXI. Serie: textos universitarios, Universidad Nacional Autónoma de México, Instituto de Geografía. México D.F.

Hungr, O., Corominas, J. y Eberhardt, E. (2005). State of the Art Paper # 4. Estimating landslide motion mechanism, travel distance and velocity. Landslides Risk Management. Proceedings. Vancouver, Canadá.

Ibañez, D., Castro, E., Arturo J., Perez, R. y Cuellar M. (2012). Geología y Geomorfología para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa en el municipio de Soacha, Cundinamarca, Colombia. Servicio Geológico Colombiano. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/309674137_Geologia_y_Geomorfologia_para_la_evaluacion_de_la_amenaza_por_movimientos_en_masa_en_el_municipio_de_Soacha_Cundinamarca_Colombia

Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS) (1984). Reseña explicativa del mapa geológico preliminar de la plancha 223 El Cairo. Escala 1:100.000. INGEOMINAS, Bogotá.

Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS) (1995). Reseña explicativa del mapa geológico preliminar de la plancha 242 Zarzal. Versión 2009. Escala 1:100.000. INGEOMINAS, Bogotá.

Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS) (2006). Mapa Geológico de Colombia. Escala 1:2.800.000, Bogotá

Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS) (2012). Propuesta metodológica sistemática para la generación de mapas geomorfológicos analíticos aplicados a la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1:100.000. Bogotá D.C. 88p.

Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS) y Escuela Colombiana de Ingeniería (2001). Evaluación del riesgo por fenómenos de remoción en masa. Guía metodológica. Bogotá: Escuela Colombiana de Ingeniería e INGEOMINAS.

Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS) y Departamento Administrativo de Gestión del Medio Ambiente (DAGMA) (2005). Estudio de Microzonificación sísmica de Santiago de Cali. (1-44). Bogotá. Colombia: INGEOMINAS.

Instituto de Estudios Ambientales y Meteorológicos - (IDEAM) y Universidad Nacional de Colombia (2013). Zonificación de amenazas por inundaciones a escala 1:2000 y 1:5000 en áreas urbanas para 10 municipios del territorio colombiano. Bogotá DC. Colombia

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales, IDEAM, (2013). Unidades Geomorfológicas del Territorio colombiano. Bogotá DC. Colombia

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) e Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS) (1998). Investigación integral del Andén Pacífico Colombiano. Tomo 1. Geología.

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2010). Leyenda nacional de coberturas de la tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia Escala 1:100.000. Bogotá, D.C.: Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2012). Metodología para la zonificación de suceptibilidad general del terreno a los movimientos en masa. Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología Metereología y Estudios Ambientales de Colombia

Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2013). Metodologia para realizar trabajos de hidrotopografia. Bogotá DC. Colombia

Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2014). Metodología Corine Land Cover. Recuperado de: http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/metodologia-corine-land-cover

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (1973). Vuelo IGAC_C_1474_FOTO_156 y 157_AÑO_1973.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2004). Aspectos Prácticos de la Adopción del marco geocéntrico nacional dde referencia MAGNA-SIRGAS como datum oficial de Colombia, Bogotá.

Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2012). Metodología para la Zonificación de Susceptibilidad General del Terreno a los Movimientos en Masa. Bogotá D.C., Cundinamarca, Colombia.

Instituto Geografico Agustín Codazzi (IGAC) (2016). Especificciones Técnicas Cartografia Basica Digital.

Instituto Geografico Agustín Codazzi (IGAC) e Instituto Colombiano de Geología y Minería (INGEOMINAS) (1998). Investigación integral del Andén Pacífico Colombiano. Tomo 1. Geología.

Instituto Nacional de Vías (2019). Análisis de precios unitarios para el Valle 2019-2. Recuperado de: https://www.invias.gov.co/index.php/informacion-institucional/hechos-de-transparencia/analisis-de-precio-unitarios#valle

Instituto Nicaraguense de Estudios Territoriales y Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (COSUDE) (2005). Proyecto MET-ALARN INETER/COSUDE "INUNDACIONES FLUVIALES MAPAS DE AMENAZA". Recomendaciones técnicas para su elaboración. Managua, Nicaragua.

International Union of Geological Sciences (IUGS) (1997). Quantitative risk assessment for slopes and landslides – Th e state of the art. IUGS Working Group on Landslides, Committee on Risk Assessment. En D. M. Cruden & R. Fell (eds.). Landslide Risk Assessment. Rotterdam: Balkema, pp. 3-12.

Jaramillo, D., (2015). Estudio micropaleontológico de diatomeas continentales: Implicaciones paleoecológicas y paleolimnológicas en intervalos de la Fm. Zarzal, Valle del Cauca, Colombia. Tesis de Pregrado. Instituto de Investigación en Estratigrafía – IIES. Universidad de caldas, Manizales, Colombia.

Jimeno, C. L. (Ed.). (2013). Ingeniería del terreno. UD Proyectos, ETSI Minas, UPM.

Kaminski, S., Lawrence, A. y Trujillo, D. (2016). Guía de Diseño para la Vivienda de Bahareque Encementado. Informe técnico de INBAR Nº 38.

Keith, J. F. J., Rine, J. M. y Sacks, P. E., (1988). Frontier basins of Colombia-Valle del Cauca field report, University of South Carolina. Earth Sciences and Resources Institute.

Kirpich, Z.P. (1940). Tiempo de concentración de pequeñas cuencas agrícolas. Civil Eng.

Lavell, A. 1996. Degradación ambiental, riesgo y desastre urbano. Problemas y conceptos: hacia la definición de una agenda de investigación. *In* Ciudades en Riesgo. Comp.MA, Fernández. Peru, La Red. ,p. 21-59.

Li, Z., Nadim, F., Huang, H., Uzielli, M., y Lacasse, S. (2010). Quantitative vulnerability estimation for scenario-based landslide hazards. *Landslides*, *7*(2), 125-134.

McCourt, W. J., (1984). The Geology of the Central Cordillera in the Department of Valle del Cauca, Quindío and NW Tolima: British Geological Survey Report, v. Series 84, p. 8- 49.

McCourt, W. J., (1984b). The Geology of the Central Cordillera in the Department of Valle del Cauca, Quindío and NW Tolima. British Geological Survey Report, Series 84: 8-49.

McCourt, W.; Aspden, J. y Brook, M., (1984). New geological and geochronological data from the Colombian Andes: Continental growth by multiple accretion. Jour. Geol. Soc., 141: 831 - 845. London.

McCourt, W. J., Feininger. T., Aspden, J. A., Verdugo, G., Millward, D. & Espinosa, A. (1985). Mapa Geologíco preliminar, plancha 262 – Genova. Escala 1:100.000. INGEOMINAS. Bogotá.

MDOC-DS (2008). Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por Sismo (MDOC-DS), 2008, Comision Federal de Electricidad (CFE), Rio Rodano num. 14, Col. Cuauhtemoc, Del. Cuauhtemoc, C. P. 06598, Mexico, D.F.

Mejía, M. y Salazar, G. (1989). (publicado 2007). Memoria explicativa de la Geología de la Plancha 114 (Dabeiba) y parte W de la 115 (Toledo). Escala 1:100.000. INGEOMINAS. 111p. Medellín.

Meyer, W. B. y Turner, B. L. (1992). Human population growth and global land-use/cover change. Anual review of Ecology and Systematics, Vol. 23 (November 1), 39-61. [Documento en línea]. Consulta [15 de abril de 2019] Disponible en: http://www.annualreviews.org/doi/abs/10.1146/annurev.es.23.110192.000351?journalCode=ecolsys.1

Ministerio de Ambiente Vivienda y Desarrollo Territorial (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente: NRS 10. Titulo H- Estudios geotécnicos. Bogotá DC.

Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018). Resolución 0957 del 01 de junio de 2018 "Por la cual se adopta la Guía Técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia y se dictan otras disposiciones". Bogota DC. Colombia.

Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible (2017). Decreto N°2245 del 29 de diciembre de 2017. "Por el cual se reglamenta el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011 y se adiciona una sección al Decreto 1076 de 2015, Decreto Único Reglamentario del Sector Ambiente y Desarrollo Sostenible, en lo relacionado con el acotamiento de rondas hídricas". Bogotá DC. Colombia. Recuperado de: https://www.minambiente.gov.co/images/normativa/app/decretos/Decreto_2245_29-12-2017-Ronda_Hidrica-a1.pdf

Ministerio de Salud y Protección Social de Colombia (2011). Informe de Colombia Humanitaria sobre Resoluciones, Instructivos y otros. Recuperado de: https://www.minsalud.gov.co/comunicadosPrensa/Documents/instructivo_colombia_humanitaria.pdf

Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible – Universidad Nacional de Colombia. (2013) Proyecto: Implementación de la guía para el acotamiento de rondas hídricas en tres corrientes priorizadas y proponer metodologías de amenaza, vulnerabilidad y riesgo en cuencas. Informe Final: Metodología para la evaluación del riesgo en los POMCAs.

Ministerio de Vivienda, Salud y Territorio de Colombia (2014). Decreto 1807 del 19 septiembre de 2014. "Por el cual se 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 y se dictan otras disposiciones". Recuperado de: http://wsp.presidencia.gov.co/Normativa/Decretos/2014/Documents/SEPTIEMBRE/19/DECRETO%201807%20DEL%2019%20DE%20SEPTIEMBRE%20DE%202014.pdf

Ministerio de Vivienda Ciudad y Territorio de Colombia (2015). Decreto 1077 de 2015"Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio" Consulta Recuperado de: http://www.ssf.gov.co/wps/wcm/connect/b4990c16-f53c-4483-92a4-ea08cf2a05e9/Decreto+1077-2015.+Decreto+%C3%BAnico+Sector+Vivienda+pdf.pdf?MOD=AJPERES&CVID=lO8C85v&CVID=lO8C85v

Montes, J. (2012). Recuperación, rehabilitación y mantenimiento de la malla vial. Bogotá DC. Colombia

Moncayo J., Castro Marín E., Valencia Núñez A., y Fonseca González S. (2001). Evaluación de riesgo por fenómenos de remoción en masa: Guía Metodológica. Colombia: Escuela Colombiana de Ingeniería. 166p. ISBN 958-8060-20-6.

Naciones Unidas Estrategia Internacional para la Reducción de Desastres -UNISDR. (2009). Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. Ginebra Suiza. http://www.minvivienda.gov.co/NormativaInstitucional/1077%20-%202015.pdf

Nelson, H.W., (1962). Contribución al conocimiento de la Cordillera Occidental. Sección Cali - Buenaventura. Bol. Geol. Serv. Geol. Nal. Bogotá, V.10:95-104.

Neuwerth, R., Suter, F., Guzman, C. a., & Goring, G. E., (2006). Soft – Sediment deformation in a tectonicall active área: The Plio-Pleistocene Zarzal Formation in the Cauca Valley (Western Colombia). Sedimentary Geology, 186, 67-88. Doi: 10.1016/j.sedgeo.2005.10.009.

Nivia, A., Galvis, N., y Maya, M. (1995). Geología de la Plancha 242, Zarzal. INGEOMINAS. (1997). Mapa geológico de Colombia. Geología de la plancha 242-Zarzal. Escala 1:100.000. Memoria explicativa, Bucaramanga, INGEOMINAS. Bogotá.

Nivia, A.; Galvis, N. & Maya, M., (1997). Mapa geológico de Colombia. Geología de la plancha 242 Zarzal. INGEOMINAS, 84 p. Cali.

Nivia, A. (2001). Mapa geológico departamento del Valle del Cauca. Escala 1:250.000. Memoria explicativa, INGEOMINAS. Bogotá.

Organización Panamericana de la Salud (OPS) (2013). Conceptos y guía de análisis de impacto en salud para la Región de las Américas. Área de Desarrollo Sostenible y Salud Ambiental. Washington, DC

Page, W.D. (1986). Geología sísmica y sismicidad del noroeste de Colombia. Woodward-Clyde Consultants, ISA, Integral, Medellín, 156 pp.

Parra P. et. al. (1984). Mapa geológico Plancha 223 El Cairo. Escala 1:100.000. Versión 2009, INGEOMINAS, Bogotá.

Paris, G., Machette, M., Dart, R. y Haller, K. (2000). Map and database of Quaternary faults and folds in Colombia its offshore regions. USGS open-file report 00-0284. Map at 2,500,000 scale and report, 66 pp. USGS.

Paris, G. y Sauret, B., (1993), Microzonificación Sismogeotécnica de Popayán. Subproyecto Neotectónica. Proyecto Colombo EuropeoNo. CCE NA 84/03. INGEOMINAS-BRGMADK - KS (en preparación).

Peña M, C. y Mosquera A, C. (2010). Reevaluación de la amenaza sísmica en la ciudad de Cali por medio de un método de análisis integral de la información sismológica. geofísica y geológica. Memoria de Tesis para optar al título de Ingeniero Civil. Escuela de Ingeniería Civil y Geomática. Universidad del Valle. Santiago de Cali. Colombia, 122p.

Porras, V. A. (2014). Diplomado en analisís de informacion geoespacial: Tipos de muestreo. Mexico CD, Mexico: Centro público de información CONACYT.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) (2010). Gestión de Riesgo Climático. Buró de Prevención de Crisis y Recuperación.

Ragozin, A. L., y Tikhvinsky, I. O. (2000). Landslide hazard, vulnerability and risk assessment. Landslides in research, theory and practice, 1257-1262.

Rebolledo, M. (2010). Deterioros en pavimentos Flexibles y Rígidos (Doctoral dissertation, Tesis para optar el título de Ingeniero Civil. Valdivia–Chile.

República de Colombia (1974). Decreto Ley 2811 de 1974 "Por el cual se dicta el Código Nacional de Recursos Naturales Renovables y de Protección al Medio Ambiente". Bogotá D.C. Colombia.

Ricardo A, S., Vélez, J.I., Rave, C.C, Caballero, H, Botero, V. y Escobar, D. (2004). Evaluación de riesgos en cuencas urbanas. XXI Congreso Latinoamericano de Hidráulica São Pedro, Estado de São Paulo, Brasil. Recuperado de: http://www.bdigital.unal.edu.co/4403/1/AA3737.pdf

Rodríguez de la Torre, F. (1993). Lecturas sistemáticas de prensa periódica. Hacia una revisión de la sismicidad europea durante los siglos XVII y XVIII. En: Historical investigation of European earthquakes. M. Stucchi, editor. CNR. 1: 247-258.

Rondón Quintana, H. A., Ruge Cárdenas, J. C., y Moreno Anselmi, L. Á. (2016). Efecto del agua sobre el asfalto y su posible influencia en el daño por humedad en una mezcla asfáltica porosa. Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, 24(4), 558-569.

Royo y Gómez, J. (1949). Estudio Paleontológico de una diatomita del Depto del Cauca. Ministerio de Minas y Petroleos. Servicio Geológico Nacional.

Salazar L. F. e Hincapié E. (julio de 2006). Causa de los movimientos masales y erosión avanzada en la zona cafetera colombiana. En avances técnicos Cenicafé. *num 348,* P8.ISSN-0120-0178 https://www.cenicafe.org/es/publications/avt0348.pdf

Salcedo, E. (2015). Informe de análisis de la vulnerabilidad y el riesgo. En estudio de la vulnerabilidad y riesgos derivados del flujo de lodo del volcán nevado del Huila. Grupo de Estudios Ambientales GEA. Universidad del Cauca. Popayán. 44 pp.

Sandoval, J. (1953). Yacimientos de Diatomitas en el Valle del Cauca. Ministerio de Minas y Petróleo. Instituto Geológico nacional. Informe N° 930, Investigaciones de Geología.

Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C (13 de julio de 2006). Resolución 227 de 2006. "Por la cual se adoptan los términos de referencia para la ejecución de estudios detallados de amenaza y riesgo por fenómenos de remoción en masa para proyectos urbanísticos y de construcción de edificaciones en Bogotá D.C. (Consulta 12 de marzo de 2019) Recuperado de: https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjurMantenimiento/normas/Norma1.jsp?i=20845

Secretaria de Estado de Interior de España. (1995). Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones. España.

Servicio Geológico Colombiano (SGC) (2013). Calificación de las variables edáficas y de cobertura de la tierra para la evaluación de la susceptibilidad a movimientos en masa, versión No.2. Bogotá D.C.

Servicio Geológico Colombiano (SGC) (2015a) Mapa Geológico Colombiano Bogotá, DC, Colombia: Imprenta Nacional de Colombia.

Servicio Geológico Colombiano (SGC) (2015b). Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa. Escala detallada. Bogotá, D. C, Cundinamarca, Colombia: Imprenta Nacional de Colombia

Servicio Geológico Colombiano (SGC) (2016). Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa. Bogotá, DC, Colombia: Imprenta Nacional de Colombia.

Servicio Geológico Colombiano (20019). Mapa Geológico Plancha 223 - El Cairo, Valle del Cauca – Colombia. Versión 2009, Transformada a datum MAGNA SIRGAS 2013.

Suárez Díaz, Jaime. (2009). Deslizamientos: Análisis geotécnico. Vol. I. Bucaramanga: División de publicaciones UIS, 588 p. ISBN 978-958-8504-03-2.

Suriol Castellví, J., Josa García-Tornel, A., y Lloret Morancho, A. (2007). Reconocimiento geotécnico del terreno. Universitat Politécnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politécnica. España

Suter, F., Neuwerth, G. y G. (2005). Depositional model for the Quaternary Zarzal Formation (Colombia) and its stratigraphic relationship with the volcaniclastic mass flows derived from the Central Cordillera, 1 – 2.

Tarbuck, E. J., Lutgens, F. K. y Tasa, D. (2005). Ciencias de la Tierra. Madrid: Pearson Educación

Toussaint, J. y Restrepo, J., (1987). Collage de megaterrenos alóctonos en la Cordillera Central de Colombia. Seminario Gerardo Botero Arango. Memorias: 175-187. Medellín.

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (UNGRD) (2013). Guía metodológica para la elaboración de planes departamentales de gestión del riesgo de desastres. Bogotá: UNGRD.

Uzielli, M., Lacasse, S., Nadim, F. y Phoon, K. K. (2006). Soil variability analysis for geotechnical practice. Characterization and engineering properties of natural soils, 3, 1653-1752.

Uzielli, M., Nadim, F., Lacasse, S., y Kaynia, A. M. (2008). A conceptual framework for quantitative estimation of physical vulnerability to landslides. *Engineering Geology*, *102*(3-4), 251-256.m

Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín - Servicio Geológico Colombiano (SGC) (2016). Susceptibilidad por Coberturas de la Tierra. Convenio Especial de Cooperación No 011 de 2015. Anexo D.

U.S. Army Corps of Engineers (2000). Water Surface Profiles HEC-HMS, User Manual, Hydrologic Engineering Center, Davis, California.

Van Der Hamment, T., (1958). Estratigrafía del 'Terciario y Maestrichtiano continentales y Tectogénesis de los Andes Colombianos. Bol. Geol., Bogotá. Vol. 6: 67-128.

Van Zuidam, R. (1985). Aerial photointerpretation in terrain analysis and geomorphical mapping. International Institute for Aerospace Survey ad Earth Science. The Hauge.Th e Netherlands: ITC, Smits Publishers, 442 pp.

Vargas, M. R., y Díaz-Granados, D. M. (1998). Curvas sintéticas regionalizadas de intensidad-duración-frecuencia para Colombia.

Varnes, D. (1978). Slope Movement: Types and Proceses. In Scuster & Krizek, Landslides: Analysis and Control. Special report 176. Transportation Comisión on Sociotechnical Systems,National Research Council. Washington. D.C: National Academy of Sciences.

Vélez, F. (1983). Curvas de Intensidad Duración y Frecuencia en regiones climatológicas de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Universidad Santo tomas de Aquino

Villalta A y González M (2011). Zonificación de Amenazas Geológicas por Movimientos en Masa que permita el Ordenamiento Territorial en la Urbanización Ciudad Victoria de Loja (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador. Recuperado de: http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/16301/1/Gonz%C3%A1lez%20Capa%2C%20Mar%C3%ADa%20Paola%2C%20Villalta%20Castillo%2C%20Azucena%20Ondina.pdf

Villota, Hugo (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. Bogotá D.C.: 2d. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. p. 32.

Yue, Z. Q. (2014). Dynamics of large and rapid landslides with long travel distance underdense gas expanding power. Landslide Science for a Safer Geoenvironment, 3. Springer, pp. 233-240.

Zuñiga. O. Padilla, L. E. (1993). Exploración Geofísica en el Corregimiento de Vallejuelo del Municipio de Zarzal (Valle). Revista de Ciencias. Universidad del Valle.

Bases de datos

Corporación OSSO- Colombia, LA RED y UNIDR (2019). *Desinventar. Sistema de inventario de efectos de desastres.* Recuperado de http://www.deSinventar.org/es/ Consultado febrero de 2019

Servicio Geológico Colombiano, SGC (2018). Sistema de Información de Movimientos en Masa, SIMMA. Recuperado de http://simma.sgc.gov.co/ Consultado febrero de 2019.

Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres (2017). Emergencias naturales Datos abiertos. Recuperado de: https://www.datos.gov.co/Ambiente-y-Desarrollo-Sostenible/Emergencias-Naturales/xjv9-mim9/data. Consultado febrero de 2019.

ANEXOS

1. Fichas de reporte de eventos históricos de inundación y movimiento en masa

Mapas tamaño Pliego

2. Mapa de Historicidad de reportes de Inundación
3. Mapa de Historicidad de reportes de Movimiento en Masa
4. Mapa de Geología
5. Mapa de Unidades Superficiales
6. Mapa Geomorfológico
7. Mapa de Zonificación de Amenaza por Inundación
8. Mapa de Zonificación de Amenaza por Movimiento en Masa
9. Mapa de Zonificación de Vulnerabilidad por Inundación
10. Mapa de Zonificación de Vulnerabilidad por Movimiento en Masa
11. Mapa de Afectación por Inundación
12. Mapa de Afectación por Movimiento en masa
13. Mapa de Afectación Alta Mitigable y No Mitigable por Inundación
14. Mapa de Afectación Alta Mitigable y No Mitigable por Movimiento en Masa