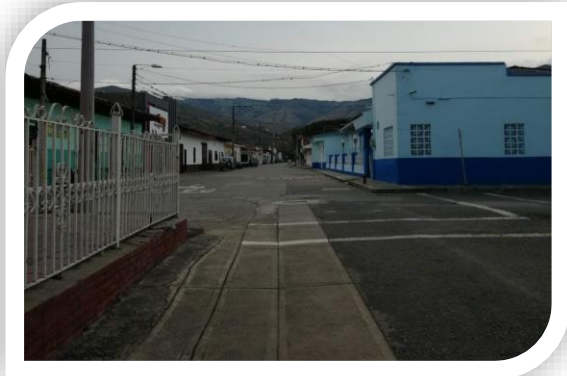


CONVENIO INTERADMINISTRATIVO N° 070 DE 2018 CVC – UNIVALLE
MUNICIPIO DE TORO



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



Santiago de Cali, 2020



CONVENIO INTERADMINISTRATIVO N°070 DE 2018
CVC – UNIVALLE
MUNICIPIO DE TORO



PRESENTACIÓN

Para la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, CVC, es una gran satisfacción aportar al municipio de Toro, 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



CONVENIO INTERADMINISTRATIVO N°070 DE 2018
CVC – UNIVALLE
MUNICIPIO DE TORO





AGRADECIMIENTO

Agradecimiento a la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, La subdirección Técnica Ambiental DAR-BRUT, a la Secretaría 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 Toro. 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 escenarios 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..... | 39 |
| OBJETIVOS | 41 |
| GENERAL | 41 |
| ESPECÍFICOS | 41 |
| ALCANCE | 41 |
| 1. GENERALIDADES DEL MUNICIPIO DE TORO VALLE DEL CAUCA | 42 |
| 1.1. CONTEXTO HISTÓRICO DEL MUNICIPIO | 42 |
| 1.2. CONTEXTO GEOGRÁFICO DEL MUNICIPIO | 42 |
| 1.2.1. LÍMITES | 42 |
| 1.2.2.1. ZONA URBANA | 43 |
| 1.2.2.2. ZONA RURAL | 46 |
| 1.2.3. DEMOGRAFÍA..... | 48 |
| 1.2.4. CLIMATOLOGÍA | 49 |
| 1.2.5. HIDROLOGÍA | 49 |
| 1.3. CONTEXTO FISIAGRÁFICO DEL MUNICIPIO | 51 |
| 1.3.1. FISIGRAFÍA Y RELIEVE..... | 51 |
| 1.3.2. GEOLOGÍA Y MORFOLOGÍA..... | 51 |
| 1.3.2.1. LITOLOGÍA..... | 51 |
| 1.3.2.2. ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS..... | 52 |
| 1.3.2.3. GEOMORFOLOGÍA | 52 |
| 2. HISTORICIDAD DE EVENTOS DE INUNDACIÓN Y MOVIMIENTO EN MASA..... | 54 |
| 2.1. CONCEPTUALIZACIÓN DE INUNDACIÓN Y MOVIMIENTO EN MASA..... | 54 |
| 2.1.1. INUNDACIÓN | 54 |
| 2.1.1.1. TIPOS DE INUNDACIÓN | 54 |
| 2.1.1.1.1. SEGÚN LA DURACIÓN..... | 54 |
| 2.1.1.1.2. SEGÚN EL MECANISMO DE GENERACIÓN | 55 |
| 2.1.2. MOVIMIENTO EN MASA | 55 |
| 2.1.2.1. TIPOS DE MOVIMIENTO EN MASA | 55 |
| 2.2. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE EVENTOS HISTÓRICOS | 57 |
| 2.2.1. MÉTODOS INTENSIVISTA Y EXTENSIVISTA..... | 57 |
| 2.2.2. ESPACIALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS DE HISTORICIDAD | 58 |
| 2.2.2.1. DENSIDAD DE KERNEL DEFINICIÓN DE ÁREAS DE SUSCEPTIBILIDAD A INUNDACIÓN A PARTIR DE DATOS PUNTUALES DE HISTORICIDAD. | 59 |
| 2.2.2.2. ANÁLISIS A PARTIR DE LA SUPERFICIE DEL TERRENO | 60 |
| 2.2.2.3. ESPACIALIZACIÓN DE INFORMACIÓN HISTÓRICA NO PUNTUAL | 61 |
| 2.2.3. FUENTES DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTOS CONSULTADOS | 62 |
| 2.2.3.1. ARCHIVO | 63 |
| 2.2.3.2. BIBLIOGRÁFICAS..... | 63 |
| 2.2.3.3. HEMEROGRÁFICA | 63 |
| 2.2.3.4. BASES DE DATOS | 64 |
| 2.3. EVENTOS POR INUNDACIÓN | 65 |
| 2.3.1. REPORTES SOBRE EVENTOS POR INUNDACIÓN..... | 65 |
| 2.3.1.1. DESCRIPCIÓN Y TIPIFICACIÓN DE EVENTOS DE INUNDACIÓN | 67 |
| 2.3.1.1.1. ARCHIVO DEL CUERPO DE BOMBEROS VOLUNTARIOS DE TORO..... | 67 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 2.3.1.1.2. | BASE DE DATOS DESINVENTAR..... | 75 |
| 2.3.1.1.3. | ARCHIVO DE LA OFICINA DE GESTIÓN DEL RIESGO | 75 |
| 2.3.1.2. | MAPAS DE INUNDACIONES HISTÓRICAS DEL MUNICIPIO DE TORO PERIODO 1980- FEBRERO 2019 | 77 |
| 2.3.1.3. | INVENTARIO GENERAL DE REPORTES POR EVENTOS HISTÓRICOS DE INUNDACIONES DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO PERIODO 1980 HASTA FEBRERO DE 2019 | 82 |
| 2.4. | EVENTOS DE MOVIMIENTO EN MASA | 87 |
| 2.4.1. | REPORTE SOBRE EVENTOS POR MOVIMIENTO EN MASA..... | 87 |
| 2.4.1.1. | DESCRIPCIÓN Y TIPIFICACIÓN DE EVENTOS DE MOVIMIENTOS EN MASA..... | 88 |
| 2.4.1.1.1. | ARCHIVO DEL CUERPO DE BOMBEROS VOLUNTARIOS DE TORO..... | 88 |
| 2.4.1.1.2. | ARCHIVO OFICINA DE GESTIÓN DE RIESGO | 89 |
| 2.4.1.2. | MAPAS HISTÓRICOS DE MOVIMIENTO EN MASA DEL MUNICIPIO DE TORO PERIODO 1980 HASTA JULIO DE 2019 | 89 |
| 2.4.1.2.1. | INVENTARIO GENERAL DE REPORTES POR EVENTOS HISTÓRICOS DE MOVIMIENTO EN MASA DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO PERIODO 1980-FEBRERO 2019 | 91 |
| 2.5. | TALLER DE SOCIALIZACIÓN Y VALIDACIÓN..... | 93 |
| 2.5.1. | SOCIALIZACIÓN DEL PROYECTO Y EJECUCIÓN DEL TALLER CON LOS ASISTENTES | 93 |
| 3. | GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 100 |
| 3.1. | GEOLOGIA REGIONAL | 100 |
| 3.1.1. | BASALTOS DE LA TRINIDAD (KSB) | 102 |
| 3.1.2. | FORMACIÓN CONSOLIDA (KMST) | 103 |
| 3.1.3. | FORMACIÓN LÁZARO (KCAA Y/O KSO) | 103 |
| 3.1.4. | FORMACIÓN ZARZAL (TPLZ)..... | 104 |
| 3.1.5. | DEPÓSITOS..... | 106 |
| 3.1.5.1. | TERRAZAS – QTA, CONOS – QCA Y ALUVIONES – QAL..... | 106 |
| 3.1.5.2. | ABANICO ALUVIAL DEL TORO (QAFT)..... | 106 |
| 3.2. | GEOLOGIA ESTRUCTURAL REGIONAL | 106 |
| 3.2.1. | FALLA TORO..... | 106 |
| 3.2.2. | FALLA GARRAPATAS | 107 |
| 3.2.3. | FALLA CALI - PATÍA | 108 |
| 3.3. | GEOLOGÍA LOCAL..... | 108 |
| 3.3.1. | MAPA GEOLÓGICO LOCAL | 108 |
| 3.3.1.1. | FORMACIÓN LÁZARO (KCAA/KSO)..... | 111 |
| 3.3.1.2. | BASALTOS DE LA TRINIDAD (KSB) | 111 |
| 3.3.1.3. | FORMACIÓN ZARZAL (TPLZ)..... | 116 |
| 3.3.1.4. | ABANICO ALUVIAL DE TORO (QAFT)..... | 123 |
| 3.4. | GEOLOGIA ESTRUCTURAL LOCAL | 125 |
| 3.4.1. | TRAZO DE LA FALLA TORO INFERIDA CON INDICIOS GEOMORFOLÓGICOS, PERO SIN EVIDENCIAS DE ACTIVIDAD TECTÓNICA RECIENTE | 125 |
| 3.5. | UNIDADES GEOLOGICAS SUPERFICIALES | 127 |
| 3.5.1. | UNIDAD DE ROCA DURA (Rd)..... | 127 |
| 3.5.2. | UNIDAD DE ROCA INTERMEDIA (Ri) | 127 |
| 3.5.3. | UNIDAD DE ROCA BLANDA (Rb)..... | 127 |
| 3.5.4. | UNIDAD DE SUELO TRANSPORTADO (St) | 127 |
| 3.6. | GEOMORFOLOGÍA | 129 |
| 3.6.1. | FASE 1 | 129 |
| 3.6.2. | FASE 2 | 131 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 3.6.3. | FASE 3 | 142 |
| 3.6.3.1. | ANÁLISIS, RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LA GEOMORFOLOGÍA | 142 |
| 3.6.4. | MOVIMIENTOS EN MASA Y EROSIÓN..... | 144 |
| 3.6.5. | EROSIÓN | 148 |
| 3.6.6. | INUNDACIONES | 150 |
| 4. | TOPOGRAFÍA DEL MUNICIPIO DE TORO | 156 |
| 4.1. | SISTEMAS Y MARCOS DE REFERENCIA | 156 |
| 4.2. | LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON ESTACIÓN TOTAL | 160 |
| 4.3. | TOPO BATIMETRÍA | 163 |
| 4.4. | DEFINICIÓN DE PRODUCTOS DE INFORMACIÓN GEOMÁTICA PRIMARIA..... | 165 |
| 4.5. | ANÁLISIS DE ESTÁNDARES DE CALIDAD DE CADA PRODUCTO..... | 165 |
| 4.5.1. | CARTOGRAFÍA BÁSICA DIGITAL | 166 |
| 4.5.2. | CONSTRUCCIÓN DE MODELOS DIGITALES DEL TERRENO | 167 |
| 4.5.3. | MUESTREO..... | 169 |
| 4.5.3.1. | MUESTREO ALEATORIO..... | 169 |
| 4.5.3.2. | MUESTREOS NO PROBABILÍSTICOS | 170 |
| 4.5.3.3. | MUESTREOS ESPACIALES | 170 |
| 4.6. | NÚMERO DE PUNTOS..... | 172 |
| 4.6.1. | DISTRIBUCIÓN DE PUNTOS DE CONTROL | 173 |
| 4.6.2. | UBICACIÓN DE LOS PUNTOS | 173 |
| 4.7. | DISEÑO DE PROCEDIMIENTOS | 173 |
| 4.7.1. | CONSTRUCCIÓN REDES DE CONTROL GNSS..... | 173 |
| 4.7.2. | MUESTREO..... | 174 |
| 4.7.3. | TOPOGRAFÍA CONVENCIONAL | 175 |
| 4.7.3.1. | MOVIMIENTOS EN MASAS | 175 |
| 4.7.3.2. | BATIMETRÍA FLUVIAL PARA CUERPOS DE AGUA PEQUEÑOS Y DRENAJES INTERMITENTES | 175 |
| 4.8. | TRABAJO DE CAMPO | 175 |
| 4.8.1. | RESULTADOS AMARRE A LA RED GEODÉSICA NACIONAL..... | 176 |
| 4.8.2. | EVALUACIÓN DE CALIDAD DE UN MODELO DE ELEVACIÓN DEL TERRENO | 181 |
| 4.9. | BATIMETRÍA..... | 182 |
| 5. | HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA | 188 |
| 5.1. | CONCEPTUALIZACIÓN | 189 |
| 5.2. | METODOLOGÍA..... | 191 |
| 5.2.1. | RESULTADOS DE LAS INVESTIGACIONES DE CAMPO | 191 |
| 5.2.1.1. | LEVANTAMIENTOS TOPOBATIMÉTRICOS | 191 |
| 5.2.1.1.1. | QUEBRADA TORO | 192 |
| 5.2.1.1.2. | QUEBRADA DE LAZARO | 193 |
| 5.2.2. | CLIMATOLOGÍA | 194 |
| 5.2.3. | MORFOMETRÍA | 195 |
| 5.2.4. | HIDROLOGÍA..... | 195 |
| 5.2.5. | HIDRÁULICA | 195 |
| 5.3. | CARACTERIZACION CLIMATICA MUNICIPIO DE TORO | 195 |
| 5.3.1. | ELEMENTOS Y VARIABLES CLIMATOLÓGICAS | 196 |
| 5.3.1.1. | RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS | 196 |
| 5.3.1.2. | TEMPERATURA MEDIA | 198 |
| 5.3.1.3. | BRILLO SOLAR..... | 200 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 5.3.1.4. | HUMEDAD RELATIVA | 201 |
| 5.3.1.5. | EVAPORACIÓN | 202 |
| 5.3.1.7. | PRECIPITACIÓN | 204 |
| 5.3.1.7.1. | ANÁLISIS TEMPORAL DE LAS PRECIPITACIONES | 204 |
| 5.3.1.7.2. | PRECIPITACIONES MÁXIMAS DIARIAS | 207 |
| 5.3.1.7.3. | PRECIPITACIONES MÁXIMAS ASOCIADAS A DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO..... | 208 |
| 5.3.1.7.4. | CURVAS DE INTENSIDAD FRECUENCIA Y DURACIÓN IFD Y TORMENTA DE DISEÑO | 211 |
| 5.3.2. | RUGOSIDAD DEL LECHO DE LOS CAUCES DEL MUNICIPIO DE TORO | 214 |
| 5.3.3. | RUGOSIDAD DE LAS LLANURAS DE INUNDACIÓN DEL MUNICIPIO DE TORO | 214 |
| 5.4. | ESTUDIO HIDROLÓGICO..... | 214 |
| 5.4.1. | MODELACIÓN HIDROLÓGICA..... | 215 |
| 5.4.1.1.1. | CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA | 216 |
| 5.4.2. | IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO | 224 |
| 5.4.2.1. | DATOS DE ENTRADA DEL MODELO HEC-HMS | 224 |
| 5.4.2.2. | CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LAS SUBZONAS..... | 224 |
| 5.5. | ESTUDIO HIDRÁULICO..... | 225 |
| 5.5.1. | MODELACIÓN HIDRAULICA HEC GEO RAS | 225 |
| 5.5.1.1. | CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS..... | 225 |
| 5.5.1.2. | CÁLCULO DE PERFILES DE AGUA SUPERFICIAL | 225 |
| 5.5.1.3. | COEFICIENTE DE MANNING PARA EL CANAL PRINCIPAL | 226 |
| 5.5.1.4. | EVALUACIÓN DE LA CABEZA PRINCIPAL DE ENERGÍA CINÉTICA | 227 |
| 5.5.1.5. | EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS POR FRICCIÓN..... | 227 |
| 5.5.1.6. | EVALUACIÓN DE CONTRACCIONES Y EXPANSIONES | 228 |
| 5.5.1.7. | LIMITACIONES DEL PROGRAMA..... | 228 |
| 5.5.1.8. | INFORMACIÓN DE ENTRADA AL MODELO | 228 |
| 5.5.1.9. | CAUDALES DE MODELACIÓN | 228 |
| 5.5.1.10. | COEFICIENTE DE RUGOSIDAD | 229 |
| 5.5.1.11. | SECCIONES TRANSVERSALES | 229 |
| 5.6. | RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA | 229 |
| 5.7. | IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO HIDRAULICO HEC RAS..... | 229 |
| 5.7.1.2. | RUGOSIDAD DE LAS LLANURAS..... | 231 |
| 5.7.1.3. | ESQUEMATIZACIÓN DE LOS RÍOS Y CANALES | 231 |
| 5.7.1.4. | CONDICIONES DE FRONTERA..... | 232 |
| 5.7.1.5. | CONDICIONES INICIALES | 232 |
| 5.7.1.6. | SIMULACIÓN | 233 |
| 5.7.1.7. | CALIBRACIÓN | 233 |
| 5.7.1.8. | VERIFICACIÓN DEL MODELO | 234 |
| 5.7.1.9. | ANÁLISIS DE SENSIBILIDAD..... | 234 |
| 6. | AMENAZA POR INUNDACIÓN POR DESBORDAMIENTO | 236 |
| 6.1. | CONCEPTUALIZACIÓN | 236 |
| 6.1.1. | AMENAZA | 237 |
| 6.1.2. | ZONIFICACIÓN | 237 |
| 6.2. | METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE NIVELES DE AMENAZA POR INUNDACIONES..... | 237 |
| 6.2.1. | ESTADO DEL ARTE..... | 237 |
| 6.3. | METODOLOGÍA ADOPTADA EN EL PRESENTE ESTUDIO..... | 247 |
| 6.3.1. | NIVELES DE FRECUENCIA DE LOS EVENTOS DE INUNDACIONES | 247 |

| | | |
|-----------|---|------------|
| 6.3.2. | NIVELES DE INTENSIDAD O MAGNITUD DE LOS EVENTOS DE INUNDACIONES | 248 |
| 6.3.3. | METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LOS NIVELES DE AMENAZA POR INUNDACIONES ... | 248 |
| 6.3.4. | DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE AMENAZA POR INUNDACIONES | 249 |
| 6.4. | RESULTADOS | 250 |
| 6.4.1. | DETERMINACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA DE AMENAZA POR INUNDACIÓN | 250 |
| 6.4.2. | CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LAS INUNDACIONES | 250 |
| 6.4.3. | MEDIDAS PARA EL CONTROL Y EL MANEJO DE INUNDACIONES | 251 |
| 6.4.3.1. | MEDIDAS ESTRUCTURALES | 252 |
| 6.4.3.2. | MEDIDAS NO ESTRUCTURALES..... | 253 |
| 6.5. | MAPA DE AMENAZA POR INUNDACIÓN POR DESBORDAMIENTO | 253 |
| 6.5.1. | CLASIFICACIÓN DE LA AMENAZA EN PLANICIES DE INUNDACIÓN | 254 |
| 6.5.2. | DETERMINACIÓN DE CAUDALES EXTREMOS..... | 255 |
| 6.5.3. | MODELACIÓN HIDRODINÁMICA Y GENERACIÓN DEL MAPA DE INUNDACIÓN POR DESBORDAMIENTO..... | 255 |
| 6.5.3.1. | MODELACIÓN HIDRODINÁMICA Y GENERACIÓN DE MAPAS DE INUNDACIÓN POR ESCENARIOS PARA LOS FENÓMENOS DE INUNDACIONES | 256 |
| 6.6. | GENERACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA DE AMENAZA GLOBAL POR INUNDACIONES | 256 |
| 6.6.1. | INTEGRACIÓN DE LOS MAPAS DE AMENAZA GLOBAL POR INUNDACIONES | 256 |
| 7. | AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA | 269 |
| 7.1. | CONCEPTUALIZACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIEMTO EN MASA..... | 270 |
| 7.1.1. | AMENAZA | 270 |
| 7.1.2. | ZONIFICACIÓN DE AMENAZA..... | 270 |
| 7.1.3. | LA CLASIFICACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA..... | 271 |
| 7.2. | METODOLOGÍA..... | 272 |
| 7.2.1. | EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA Y ENSAYOS DE LABORATORIO | 278 |
| 7.2.2. | ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA: | 285 |
| 7.3. | ANÁLISIS FACTORES CONDICIONANTES..... | 286 |
| 7.3.1. | GEOLOGÍA | 286 |
| 7.3.2. | GEOMORFOLOGÍA | 287 |
| 7.3.3. | UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES (UGS)..... | 287 |
| 7.3.4. | COBERTURA Y USO DE LA TIERRA | 291 |
| 7.3.5. | INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA | 295 |
| 7.3.6. | EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA Y ENSAYOS DE LABORATORIO | 297 |
| 7.3.6.1. | PERFORACIONES A PERCUSIÓN..... | 297 |
| 7.3.6.2. | APIQUES | 299 |
| 7.3.6.3. | LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICA | 302 |
| 7.3.6.4. | ENSAYOS DE LABORATORIO..... | 310 |
| 7.3.6.5. | ENSAYO DE CORTE DIRECTO | 311 |
| 7.3.6.6. | ENSAYOS DE COMPRESIÓN INCONFINADA | 311 |
| 7.4. | MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO | 311 |
| 7.5. | ANÁLISIS DE ESTABILIDAD..... | 313 |
| 7.5.1. | PARÁMETROS DE RESISTENCIA..... | 314 |
| 7.5.2. | AGENTES DETONANTES..... | 314 |
| 7.5.2.1. | LLUVIA Y AGUA SUBTERRÁNEA | 314 |
| 7.5.2.2. | SISMOS | 317 |
| 7.5.2.3. | ACTIVIDAD ANTRÓPICA | 317 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 7.6. | ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA..... | 318 |
| 7.6.1. | ANÁLISIS PROBABILÍSTICOS DE ESTABILIDAD EN SUELOS ARCILLOSOS | 318 |
| 7.6.2. | MODELACIÓN MECANISMOS DE FALLA TRASLACIONALES SUPERFICIALES | 319 |
| 7.6.3. | ZONIFICACIÓN DE ESCENARIO..... | 321 |
| 7.6.4. | CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA | 324 |
| 7.6.4.1. | MAGNITUD | 324 |
| 7.6.4.2. | DISTANCIA DE VIAJE | 325 |
| 7.6.4.3. | INTENSIDAD | 326 |
| 8. | VULNERABILIDAD POR INUNDACIÓN Y MOVIMIENTO EN MASA EN EL MUNICIPIO DE TORO..... | 328 |
| 8.1. | CONCEPTUALIZACIÓN DE VULNERABILIDAD | 329 |
| 8.1.1. | VULNERABILIDAD..... | 329 |
| 8.1.2. | ESCENARIO DE VULNERABILIDAD..... | 329 |
| 8.1.3. | EXPOSICIÓN | 330 |
| 8.1.4. | FRAGILIDAD..... | 330 |
| 8.1.5. | INTENSIDAD -TIPOS Y MODOS DE DAÑOS | 331 |
| 8.2. | METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD..... | 331 |
| 8.2.1. | ESCENARIO DE VULNERABILIDAD..... | 332 |
| 8.2.2. | ESCENARIOS DE VULNERABILIDAD ANTE INUNDACIÓN | 334 |
| 8.2.2.1. | EXPOSICIÓN ANTE INUNDACIÓN | 334 |
| 8.2.2.2. | FRAGILIDAD ANTE INUNDACIÓN | 334 |
| 8.2.2.2.1. | INTENSIDAD DE LA INUNDACIÓN | 335 |
| 8.2.2.2.2. | FACTOR DE RESISTENCIA | 339 |
| 8.2.2.3. | CLASIFICACIÓN DE LOS POSIBLES EFECTOS EN LOS ELEMENTOS EXPUESTOS..... | 343 |
| 8.2.3. | ESCENARIOS DE VULNERABILIDAD ANTE MOVIMIENTO EN MASA | 347 |
| 8.2.3.1. | EXPOSICIÓN ANTE MOVIMIENTO EN MASA..... | 347 |
| 8.2.3.2. | FRAGILIDAD ANTE MOVIMIENTO EN MASA..... | 348 |
| 8.2.3.2.1. | INTENSIDAD ANTE MOVIMIENTOS EN MASA | 348 |
| 8.2.3.2.2. | FACTOR DE RESISTENCIA POR MOVIMIENTO EN MASA | 352 |
| 8.2.3.3. | CLASIFICACIÓN DEL TIPO Y MODO DE DAÑOS ANTE MOVIMIENTOS EN MASA..... | 356 |
| 8.3. | ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD ANTE INUNDACIÓN..... | 357 |
| 8.3.1. | IDENTIFICACIÓN, LOCALIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ELEMENTOS EXPUESTOS ANTE INUNDACIONES | 357 |
| 8.3.1.1. | EXPOSICIÓN DE ELEMENTOS | 357 |
| 8.3.1.1.1. | EXPOSICIÓN CORPORAL | 358 |
| 8.3.1.1.2. | EXPOSICIÓN DE ESTRUCTURAL | 359 |
| 8.3.1.1.3. | EXPOSICIÓN DE LÍNEAS VITALES | 367 |
| 8.3.1.2. | FRAGILIDAD..... | 373 |
| 8.3.1.2.1. | INTENSIDAD..... | 373 |
| 8.3.1.2.2. | FACTOR DE RESISTENCIA DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS | 376 |
| 8.3.1.2.3. | FACTOR DE RESISTENCIA DE LÍNEAS VITALES | 383 |
| 8.3.2. | CÁLCULO Y ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD ANTE INUNDACIÓN | 389 |
| 8.3.2.1. | VULNERABILIDAD CORPORAL..... | 389 |
| 8.3.2.2. | VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL | 391 |
| 8.3.2.3. | VULNERABILIDAD DE LÍNEAS VITALES..... | 393 |
| 8.3.3. | CURVA DE FRAGILIDAD DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS POR INUNDACIÓN | 397 |
| 8.4. | ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD ANTE MOVIMIMIENTO EN MASA..... | 399 |

| | | |
|------------|---|------------|
| 8.4.1. | IDENTIFICACIÓN, LOCALIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ELEMENTOS EXPUESTOS ANTE MOVIMIENTO EN MASA..... | 399 |
| 8.4.1.1. | EXPOSICIÓN DE ELEMENTOS ANTE MOVIMIENTO EN MASA..... | 399 |
| 8.4.1.1.1. | EXPOSICIÓN CORPORAL | 399 |
| 8.4.1.1.2. | EXPOSICIÓN ESTRUCTURAL..... | 401 |
| 8.4.1.1.3. | EXPOSICIÓN DE LÍNEAS VITALES | 409 |
| 8.4.1.2. | FRAGILIDAD ANTE MOVIMIENTO EN MASA..... | 415 |
| 8.4.2. | INTENSIDAD | 415 |
| 8.4.2.1. | PRESIÓN DE IMPACTO ANTE MOVIMIENTOS EN MASA | 415 |
| 8.4.2.1.1. | FACTOR DE RESISTENCIA ANTE MOVIMIENTO EN MASA..... | 418 |
| 8.4.3. | CÁLCULO Y ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD ANTE MOVIMIENTOS EN MASA | 432 |
| 8.4.3.1. | VULNERABILIDAD CORPORAL | 432 |
| 8.4.3.2. | VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL | 434 |
| 8.4.3.3. | VULNERABILIDAD DE LAS LÍNEAS VITALES | 436 |
| 8.4.4. | CURVA DE FRAGILIDAD DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS POR INUNDACIÓN | 440 |
| 9. | ESCENARIOS DE AFECTACIÓN POR INUNDACIÓN Y MOVIMIENTO EN MASA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 442 |
| 9.1. | CONCEPTUALIZACIÓN DE AFECTACIÓN O RIESGO | 442 |
| 9.1.1. | RIESGO | 442 |
| 9.1.2. | EVALUACIÓN DEL RIESGO | 442 |
| 9.1.3. | ESCENARIOS DE RIESGO | 442 |
| 9.1.4. | RIESGO ALTO NO MITIGABLE..... | 442 |
| 9.1.5. | RIESGO MITIGABLE | 443 |
| 9.2. | METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE AFECTACIÓN (RIESGO) POR INUNDACIÓN Y MOVIMIENTOS EN MASA.... | 443 |
| 9.2.1. | RIESGO ESPECÍFICO..... | 443 |
| 9.2.2. | RIESGO TOTAL | 443 |
| 9.2.3. | RIESGO ESPECÍFICO POR INUNDACIÓN | 445 |
| 9.2.4. | RIESGO ESPECÍFICO POR MOVIMIENTOS EN MASA | 446 |
| 9.2.5. | ESCENARIO DE AFECTACIÓN MITIGABLE Y NO MITIGABLE POR INUNDACIÓN | 447 |
| 9.2.5.1. | ZONAS DE AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE POR INUNDACIÓN | 448 |
| 9.2.5.2. | ZONAS DE AFECTACIÓN ALTA NO MITIGABLE POR INUNDACIÓN..... | 448 |
| 9.2.6. | ESCENARIO DE AFECTACIÓN MITIGABLE Y NO MITIGABLE POR MOVIMIENTO EN MASA | 449 |
| 9.3. | ESCENARIO DE AFECTACIÓN ANTE INUNDACIÓN | 449 |
| 9.3.1. | ESCENARIO DE AFECTACIÓN CORPORAL..... | 449 |
| 9.3.2. | ESCENARIOS DE AFECTACIÓN ESTRUCTURAL | 450 |
| 9.3.3. | ESCENARIOS DE AFECTACIÓN LÍNEAS VITALES | 453 |
| 9.3.3.1. | RED VIAL | 453 |
| 9.3.3.2. | RED ELÉCTRICA | 455 |
| 9.4. | ESCENARIO DE AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE POR INUNDACIÓN MUNICIPIO DE TORO | 457 |
| 9.4.1. | ZONAS DE ALTO RIESGO MITIGABLE Y NO MITIGABLE | 457 |
| 9.5. | ESCENARIO DE AFECTACIÓN ANTE MOVIMIENTO EN MASA..... | 459 |
| 9.5.1. | ESCENARIO DE AFECTACIÓN CORPORAL..... | 459 |
| 9.5.2. | ESCENARIO DE AFECTACIÓN ESTRUCTURAL..... | 459 |
| 9.5.3. | ESCENARIO DE AFECTACIÓN LÍNEAS VITALES | 462 |
| 9.5.3.1. | RED VIAL | 462 |

| | | |
|------------|---|-----|
| 9.5.3.2. | RED ELECTRICA | 464 |
| 9.6. | ESCENARIO DE AFECTACIÓN MITIGABLE Y NO MITIGABLE POR MOVIMIENTO EN MASA MUNICIPIO DE TORO | 466 |
| 9.6.1. | ZONAS DE ALTO RIESGO MITIGABLE Y NO MITIGABLE | 466 |
| 9.7. | CÁLCULO DE POSIBLES PERDIDAS ECONOMICAS POR INUNDACION Y MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 469 |
| 9.7.1. | IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS EN ESCENARIO DE AFECTACIÓN ANTE INUNDACIÓN | 470 |
| 9.7.1.1. | EDIFICACIONES | 470 |
| 9.7.1.2. | INFRAESTRUCTURA SOCIAL..... | 470 |
| 9.7.1.2.1. | ESTIMACIÓN DEL COSTO DE LA ESTRUCTURA DE PREDIOS NO RESIDENCIALES | 472 |
| 9.7.1.2.2. | ESTIMACIÓN DEL COSTO DE LA ESTRUCTURA DE EDIFICACIONES RESIDENCIALES EN ZONA DE AFECTACIÓN ALTA, MEDIA Y BAJA | 472 |
| 9.7.1.2.3. | CONTENIDOS (ELECTRODOMÉSTICOS Y MOBILIARIOS) PROMEDIO EN HOGARES | 473 |
| 9.7.1.2.4. | ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DEL CONTENIDO DE LAS EDIFICACIONES | 473 |
| 9.7.1.2.5. | ESTIMACIÓN DEL COSTO TOTAL APROXIMADO POR DAÑOS DE CONTENIDO EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES | 474 |
| 9.7.1.2.6. | RESUMEN DE COSTOS APROXIMADOS DE DAÑO EN LA INFRAESTRUCTURA SOCIAL | 475 |
| 9.7.1.3. | ASISTENCIA GUBERNAMENTAL | 475 |
| 9.7.1.3.1. | POSIBLES COSTOS POR ASISTENCIAS DEL GOBIERNO A DAMNIFICADOS | 475 |
| 9.7.1.4. | INFRAESTRUCTURA VIAL..... | 476 |
| 9.7.1.5. | COSTOS POR POSIBLES AFECTACIONES EN INFRAESTRUCTURA VIAL | 476 |
| 9.7.2. | LÍNEAS VITALES..... | 477 |
| 9.7.2.1. | AFECTACIONES EN POSTES DE ENERGÍA ELÉCTRICA..... | 477 |
| 9.7.2.1.1. | RESUMEN DE COSTOS APROXIMADOS DE AFECTACIÓN EN INFRAESTRUCTURA VIAL Y LÍNEAS VITALES | 478 |
| 9.8. | ESTIMACIÓN DEL RIESGO TOTAL (PÉRDIDAS ECONÓMICAS) ANTE INUNDACIÓN..... | 479 |
| 9.8.1. | TOTAL DE POSIBLES PÉRDIDA ECONÓMICAS EN EDIFICACIONES..... | 479 |
| 9.8.2. | COSTOS TOTALES DE POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN LINEAS VITALES (RED VIAL Y POSTES DE ENERGÍA)..... | 479 |
| 9.8.3. | RESUMEN TOTAL DE POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS POR INUNDACIÓN | 480 |
| 9.8.4. | IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS EN ESCENARIO DE AFECTACIÓN ANTE MOVIMIENTO EN MASA..... | 481 |
| 9.8.4.1. | EDIFICACIONES | 481 |
| 9.8.4.2. | INFRAESTRUCTURA SOCIAL..... | 482 |
| 9.8.4.2.1. | ESTIMACIÓN DEL COSTO DE LA ESTRUCTURA DE EDIFICACIONES NO RESIDENCIALES .. | 482 |
| 9.8.4.2.2. | ESTIMACIÓN DEL COSTO DE LA ESTRUCTURA DE EDIFICACIONES RESIDENCIALES EN AFECTACIÓN ALTO, MEDIO Y BAJO | 483 |
| 9.8.4.2.3. | CONTENIDO (ELECTRODOMÉSTICO Y MOBILIARIO) PROMEDIO EN HOGARES | 484 |
| 9.8.4.2.4. | COSTO APROXIMADO DEL CONTENIDO EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES | 484 |
| 9.8.4.2.5. | ESTIMACIÓN DEL COSTO TOTAL APROXIMADO POR DAÑOS DE CONTENIDO EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES | 485 |
| 9.8.4.3. | RESUMEN DE COSTOS APROXIMADOS DE DAÑO EN LA INFRAESTRUCTURA SOCIAL | 485 |
| 9.8.4.4. | ASISTENCIA GUBERNAMENTAL | 486 |
| 9.8.4.4.1. | POSIBLES COSTOS POR ASISTENCIAS DEL GOBIERNO A DAMNIFICADOS | 486 |

| | | |
|------------|--|------------|
| 9.8.4.4.2. | RESUMEN DE COSTOS APROXIMADOS DERIVADOS DE LA ASISTENCIA GUBERNAMENTAL | |
| | 487 | |
| 9.8.4.5. | LÍNEAS VITALES..... | 487 |
| 9.8.4.5.1. | AFECTACIÓN EN INFRAESTRUCTURA VIAL | 487 |
| 9.8.4.5.2. | COSTOS POR POSIBLES AFECTACIONES EN INFRAESTRUCTURA VIAL | 488 |
| 9.8.4.5.3. | AFECTACIONES EN POSTES DE ENERGÍA ELÉCTRICA..... | 489 |
| 9.8.5. | RESUMEN DE COSTOS APROXIMADOS DE AFECTACIÓN EN INFRAESTRUCTURA SOCIAL Y LÍNEAS VITALES | 489 |
| 9.9. | ESTIMACIÓN DEL RIESGO TOTAL (PÉRDIDAS ECONÓMICAS) ANTE MOVIMIENTO EN MASA..... | 490 |
| 9.9.1.1. | RESUMEN DE POSIBLES PÉRDIDAS TOTALES ECONÓMICAS POR MOVIMIENTO EN MASA. | 490 |
| 9.9.1.2. | RESUMEN DE COSTOS APROXIMADOS DE AFECTACIÓN EN INFRAESTRUCTURA VIAL Y LÍNEAS VITALES | 491 |
| 9.9.1.3. | ESTIMACIÓN DE POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURA VIAL Y LÍNEAS VITALES LOCALIZADAS EN LA ZONA DE AFECTACIÓN (RIESGO)..... | 491 |
| 9.9.1.4. | POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS TOTALES EN INFRAESTRUCTURA SOCIAL Y LÍNEAS VITALES EN ZONAS DE AFECTACIÓN ANTE MOVIMIENTO EN MASA | 492 |
| 9.10. | POSIBLES PÉRDIDAS EN EDIFICACIONES LOCALIZADAS EN ZONAS DE AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE ANTE INUNDACIÓN Y MOVIMIENTO EN MASA..... | 493 |
| 9.10.1. | CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y FUNCIONALES EN ZONAS DE AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE ANTE INUNDACIÓN | 493 |
| 9.10.2. | ESTIMACIÓN DEL COSTO DE LA ESTRUCTURA DE LAS EDIFICACIONES EN RIESGO ALTO MITIGABLE Y NO MITIGABLE ANTE INUNDACIÓN | 494 |
| 9.10.3. | CÁLCULO DE PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN EDIFICACIONES LOCALIZADAS EN ZONA DE RIESGO ALTO MITIGABLE Y NO MITIGABLE ANTE INUNDACIÓN..... | 494 |
| 9.10.4. | CLASIFICACIÓN DE EDIFICACIONES EN AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE ANTE MOVIMIENTO EN MASA | 494 |
| 9.10.4.1. | ESTIMACIÓN DEL COSTO DE LA ESTRUCTURA DE LAS EDIFICACIONES EN AFECTACIÓN ALTO MITIGABLE Y NO MITIGABLE ANTE MOVIMIENTO EN MASA..... | 495 |
| 9.10.5. | POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN EDIFICACIONES LOCALIZADAS EN ZONA DE AFECTACIÓN (RIESGO) ALTO MITIGABLE Y NO MITIGABLE ANTE MOVIMIENTO EN MASA | 496 |
| | CONCLUSIONES..... | 497 |
| | RECOMENDACIONES..... | 501 |
| | REFERENCIAS | 504 |
| | ANEXOS | 514 |

LISTA DE TABLA

| | | |
|-------------------|--|-----|
| TABLA 1.1. | DIVISIÓN POLÍTICO ADMINISTRATIVA DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 44 |
| TABLA 1.2. | DIVISIÓN POLÍTICO-ADMINISTRATIVA DE LA ZONA RURAL DEL MUNICIPIO DE TORO | 46 |
| TABLA 2.1. | LISTADO DE FUENTES DE INFORMACIÓN | 64 |
| TABLA 2.2. | NÚMERO DE REPORTES SOBRE EVENTOS DE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO, VALLE DEL CAUCA, EN EL PERIODO COMPRENDIDO 1980- JULIO 2019 | 65 |
| TABLA 2.3. | NÚMERO DE EVENTOS HISTÓRICOS DE INUNDACIÓN POR BARRIOS EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 66 |
| TABLA 2.4. | TIPIFICACIÓN DE LOS REPORTES DE EVENTOS POR INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 76 |
| TABLA 2.5. | INVENTARIO DE INUNDACIONES EN EL MUNICIPIO DE TORO DURANTE EL PERIODO 1980 HASTA JULIO DE 2019 | 83 |
| TABLA 2.6. | NÚMERO DE REPORTES SOBRE EVENTOS DE MOVIMIENTOS EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO, VALLE DEL CAUCA, EN EL PERIODO COMPRENDIDO 1980- FEBRERO 2019 | 87 |
| TABLA 2.7 | NÚMERO DE EVENTOS POR BARRIO EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 88 |
| TABLA 2.8. | INVENTARIO DE EVENTOS POR MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO PERIODO DE 1980-2019 | 92 |
| TABLA 3.1. | EJEMPLOS DE NOMENCLATURAS DE ELEMENTOS GEOMORFOLÓGICOS. CARVAJAL (2012) | 137 |
| TABLA 3.2. | SITIOS CON REMOCIÓN DE MASAS | 145 |
| TABLA 4.1. | RESOLUCIÓN ESPACIAL EXPRESADA EN GSD | 166 |
| TABLA 4.2. | SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS MAGNA | 166 |
| TABLA 4.3. | ORÍGENES DE COORDENADAS GAUSS KRUGER | 166 |
| TABLA 4.4. | EXACTITUD ABSOLUTA DE POSICIÓN POR ESCALAS | 167 |
| TABLA 4.5. | NIVEL DE TOLERANCIA POR ESCALA | 167 |
| TABLA 4.6. | PRECISIÓN SEGÚN EL TERRENO | 168 |
| TABLA 4.7. | NUMERO RECOMENDADO DE PUNTOS CHEQUEO BASADOS EN EL ÁREA | 172 |
| TABLA 4.8. | AJUSTE DE RED | 176 |
| TABLA 5.1. | LOCALIZACIÓN DEL PUENTE SOBRE LA QUEBRADA TORO | 192 |
| TABLA 5.2. | LOCALIZACIÓN DE ESTRUCTURAS SOBRE LA QUEBRADA EL CANGREJO | 194 |
| TABLA 5.3. | ESTACIONES METEOROLÓGICAS SELECCIONADAS EN LA ZONA DE ESTUDIO | 197 |
| TABLA 5.4. | VALORES PROMEDIOS MENSUALES MULTIANUALES DE DIFERENTES VARIABLES CLIMÁTICAS REGISTRADAS EN LAS ESTACIONES CENTRO ADMINISTRATIVO LA UNIÓN Y TIERRABLANCA | 198 |
| TABLA 5.5. | PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL MULTIANUAL EN LAS ESTACIONES SELECCIONADAS (MM) | 205 |
| TABLA 5.6. | PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL MULTIANUAL EN EL MUNICIPIO DE TORO | 207 |
| TABLA 5.7. | PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA 24 HORAS, 48 HORAS Y 72 HORAS CON INFORMACIÓN DE LAS ESTACIONES LOCALIZADAS EN INMEDIACIONES DEL MUNICIPIO DE TORO | 208 |
| TABLA 5.8. | PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS (MM) PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO EN LA ESTACIÓN ISUGU | 208 |
| TABLA 5.9. | PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS (MM) PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO. ESTACIÓN EL ORÉGANO | 209 |

| | |
|---|-----|
| TABLA 5.10. PROBABILIDAD DE OCURRENCIA DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS (MM) PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO. ESTACIÓN MONTECRISTO..... | 210 |
| TABLA 5.11. VALORES DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS CON INTERVALOS DE TIEMPO DE 10 MINUTOS, CONSTRUIDAS A PARTIR DE LAS CURVAS IFD. ESTACIÓN CENTRO ADMINISTRATIVO LA UNIÓN | 213 |
| TABLA 5.12. CLASIFICACIÓN DE CLASES ANTECEDENTES DE HUMEDAD (AMC) PARA EL MÉTODO DE ABSTRACCIONES DE LLUVIA DEL SCS. | 220 |
| TABLA 5.13. VALORES DE CN PARA VARIOS TIPOS DE USO DEL SUELO | 220 |
| TABLA 5.14. VALORES DE CN PARA VARIOS TIPOS DE USO DEL SUELO EN CUENCAS | 221 |
| TABLA 5.15. RUGOSIDAD HIDRÁULICA DE MANNING EN CAUCES SEGÚN CHOW (1959) Y COWAN (1956)..... | 227 |
| TABLA 5.16. CODIFICACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LA MODELACIÓN HIDRÁULICA. | 229 |
| TABLA 5.17. VALORES ESTIMADOS DEL COEFICIENTE DE RUGOSIDAD DE MANNING EN LA PLANICIE ALUVIAL DE LA ZONA DE ESTUDIO DEL MUNICIPIO DE TORO | 231 |
| TABLA 6.1. NIVELES DE RIESGOS DEFINIDOS EN LA METODOLOGÍA DEL PATRICOVA..... | 240 |
| TABLA 6.2. NIVEL DEL RIESGO DE ACUERDO CON EL PROCEDIMIENTO SIMPLIFICADO DEL PLAN MEDIOAMBIENTAL DEL RÍO EBRO Y TRAMO BAJO DEL RÍO CAUCA..... | 241 |
| TABLA 6.3. DEFINICIÓN DE RANGOS DE INTENSIDAD PARA INUNDACIONES ESTÁTICAS Y DINÁMICAS (INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES)..... | 243 |
| TABLA 6.4. CATEGORIZACIÓN DE LA INUNDACIÓN SEGÚN EL PERIODO DE RETORNO (INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES)..... | 244 |
| TABLA 6.5. MATRIZ DE NIVELES DE AMENAZA POR INUNDACIONES..... | 245 |
| TABLA 6.6. NIVEL DISCRETO DE AMENAZA..... | 246 |
| TABLA 6.7. DEFINICIÓN DE NIVEL DE AMENAZA | 246 |
| TABLA 6.8. INTENSIDAD DE LA INUNDACIÓN..... | 246 |
| TABLA 6.9. INTENSIDAD DE FLUJO DE LODOS | 247 |
| TABLA 6.10. NIVEL DE FRECUENCIA DE LOS EVENTOS DE INUNDACIONES | 247 |
| TABLA 6.11. NIVEL DE INTENSIDAD O MAGNITUD DEL EVENTO DE INUNDACIÓN | 248 |
| TABLA 6.12. NIVEL DE AMENAZA SEGÚN LA FRECUENCIA Y LA INTENSIDAD O MAGNITUD DE LA INUNDACIÓN | 249 |
| TABLA 6.13. CLASIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR INUNDACIONES | 249 |
| TABLA 6.14. DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES OBRAS ESTRUCTURALES PARA CONTROL DE LAS CRECIENTES E INUNDACIONES | 253 |
| TABLA 6.15. DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES OBRAS ESTRUCTURALES PARA CONTROL DE LAS CRECIENTES E INUNDACIONES | 259 |
| TABLA 7.1. CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA, RESOLUCIÓN 227 DE 2006..... | 285 |
| TABLA 7.2. COBERTURAS, ÁREA FÍSICA Y PORCENTAJE DE ÁREA DE COBERTURAS DE LA TIERRA DE ACUERDO CON EL NIVEL 3 DE CLC | 293 |
| TABLA 7.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIA DE LA COBERTURA DEL SUELO | 294 |
| TABLA 7.4. PROFUNDIDAD EFECTIVA DE LA COBERTURA DEL SUELO..... | 295 |
| TABLA 7.5. RELACIÓN DE LAS PERFORACIONES REALIZADAS, COORDENADAS (PLANAS MAGNA-SIRGAS), ALCANCE EN PROFUNDIDAD Y CANTIDAD DE MUESTRAS TOMADAS EN EL MUNICIPIO DE TORO | 299 |
| TABLA 7.6. RELACIÓN DE LOS APIQUES REALIZADOS, COORDENADAS (PLANAS MAGNA SIRGAS), ALCANCE EN PROFUNDIDAD EN EL MUNICIPIO DE TORO | 301 |
| TABLA 7.7. UBICACIÓN DE LAS LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICA REALIZADAS PARA EL PRESENTE ESTUDIO EN EL MUNICIPIO DE TORO | 306 |

| | |
|---|-----|
| TABLA 7.8. RELACIÓN ENTRE TIPO DE SUELO, VALOR N(SPT) Y Vs (M/S)..... | 308 |
| TABLA 7.9. ESTRATOS, VELOCIDADES Y ESPESORES IDENTIFICADOS EN CADA UNA DE LAS LÍNEAS SÍSMICAS REALIZADAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO | 309 |
| TABLA 7.9. ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS PARA EL PRESENTE ESTUDIO | 310 |
| TABLA 7.11. PARÁMETROS DE RESISTENCIA PARA LOS DIFERENTES MATERIALES PRESENTES EN LA ZONA | 314 |
| TABLA 7.12. RESULTADOS DEL CÁLCULO DEL NIVEL FREÁTICO PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO SEGÚN LA UNIDAD GEOLÓGICA SUPERFICIAL | 317 |
| TABLA 7.13. PROBABILIDADES DE LOS AGENTES DETONANTES | 318 |
| TABLA 7.14. RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA SECCIÓN BB', CONDICIÓN SIN OBRAS..... | 319 |
| TABLA 7.15. PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EMPLEADOS EN LA MODELACIÓN DE LA UGS EN EL MUNICIPIO DE TORO | 320 |
| TABLA 7.16. VALORACIÓN INCERTIDUMBRE COEFICIENTES DE VARIACIÓN EN EL MUNICIPIO DE TORO | 320 |
| TABLA 7.17. CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA, RESOLUCIÓN 227 DE 2006 | 321 |
| TABLA 7.18. ÁREAS SEGÚN LOS NIVELES DE AMENAZA PARA LA CONDICIÓN FUTURA EN EL MUNICIPIO DE TORO | 323 |
| TABLA 7.19. PORCENTAJE DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR MÁS AFECTADOS | 323 |
| TABLA 7.20. ECUACIONES PARA DETERMINAR LA DISTANCIA DE VIAJE, OBTENIDAS EN HONG KONG | 325 |
| TABLA 7.21. ECUACIONES DE REGRESIÓN PARA $\log(H/L) = A + B * \log V$ | 326 |
| TABLA 7.22. CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA PARA EL MUNICIPIO DE TORO..... | 328 |
| TABLA 8.1. CLASIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD PARA ESTRUCTURAS Y LÍNEAS VITALES..... | 333 |
| TABLA 8.2. ZONAS Y VALORES DE EXPOSICIÓN PARA EL FENÓMENO DE INUNDACIÓN | 334 |
| TABLA 8.3. NIVEL DE INTENSIDAD O MAGNITUD DE LAS INUNDACIONES | 335 |
| TABLA 8.4. LÍMITE DE PRESIÓN HORIZONTAL SOPORTADA DE LAS ESTRUCTURAS..... | 336 |
| TABLA 8.5. NIVEL DE INTENSIDAD POR INUNDACIÓN PARA LAS REDES VIALES | 338 |
| TABLA 8.6. NIVEL DE DEFORMACIÓN DE LAS REDES ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO | 338 |
| TABLA 8.7. NIVEL DE INTENSIDAD POR INUNDACIÓN PARA LAS REDES ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO..... | 338 |
| TABLA 8.8. NIVEL DE INTENSIDAD POR INUNDACIÓN PARA LAS REDES ENERGÍA | 339 |
| TABLA 8.9. FACTOR DE RESISTENCIA POR TIPOLOGÍA DE LAS ESTRUCTURAS | 340 |
| TABLA 8.10. FACTOR DE RESISTENCIA POR ALTURA DE LAS ESTRUCTURAS | 340 |
| TABLA 8.11. FACTOR DE RESISTENCIA POR SERVICIO DE LAS ESTRUCTURAS | 340 |
| TABLA 8.12. VIDA ÚTIL DE LAS ESTRUCTURAS | 341 |
| TABLA 8.13. ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS | 341 |
| TABLA 8.14. PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE LA RED DE ACUEDUCTO..... | 342 |
| TABLA 8.15. PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE LA RED DE ALCANTARILLADO | 342 |
| TABLA 8.16. PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE LA RED ELÉCTRICA..... | 343 |
| TABLA 8.17. DETERMINACIÓN DE LOS POSIBLES EFECTOS ACORDE CON LA INTENSIDAD Y MAGNITUD DE LAS INUNDACIONES | 345 |
| TABLA 8.18. ZONAS Y VALORES DE EXPOSICIÓN PARA EL FENÓMENO DE MOVIMIENTO EN MASA | 347 |
| TABLA 8.19. NIVEL DE INTENSIDAD Y MAGNITUD DEL MOVIMIENTO EN MASA | 348 |
| TABLA 8.20. PRESIÓN LIMITE SOPORTADA POR LAS ESTRUCTURAS | 350 |
| TABLA 8.21. RELACIÓN DEFORMACIÓN/UMBRAL TOLERABLE | 351 |

| | |
|--|-----|
| TABLA 8.22. RELACIÓN DEFORMACIÓN/UMBRAL TOLERABLE | 351 |
| TABLA 8.23. RELACIÓN ALTURA DEL DESLIZAMIENTO/ALTURA NOMINAL DEL POSTE | 352 |
| TABLA 8.24. FACTOR DE RESISTENCIA POR TIPOLOGÍA DE LAS ESTRUCTURAS | 353 |
| TABLA 8.25. FACTOR DE RESISTENCIA POR ALTURA DE LAS ESTRUCTURAS | 353 |
| TABLA 8.26. FACTOR DE RESISTENCIA POR SERVICIO DE LAS ESTRUCTURAS | 353 |
| TABLA 8.27. VIDA ÚTIL DE LAS ESTRUCTURAS | 354 |
| TABLA 8.28. ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS | 354 |
| TABLA 8.29. PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE LA RED DE ACUEDUCTO..... | 355 |
| TABLA 8.30. PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE LA RED DE ALCANTARILLADO | 355 |
| TABLA 8.31. PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE LA RED ELÉCTRICA..... | 356 |
| TABLA 8.32. DETERMINACIÓN DE LOS POSIBLES EFECTOS O DAÑOS ACORDE CON LA INTENSIDAD Y MAGNITUD DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA | 357 |
| TABLA 8.33. NÚMERO Y PROMEDIO DE HABITANTES EN LAS CONSTRUCCIONES EN QUE SE LOGRÓ EL ACCESO | 358 |
| TABLA 8.34. NÚMERO TOTAL DE HABITANTES, DÍA Y DE NOCHE DE LA POBLACIÓN ENCUESTADA, EXPUESTOS A INUNDACIÓN DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 358 |
| TABLA 8.35. NÚMERO DE PREDIOS EXPUESTOS A INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 359 |
| TABLA 8.36. NÚMERO DE PREDIOS SIN EDIFICACIONES, CON EDIFICACIONES Y NÚMERO DE EDIFICACIONES EXPUESTOS A INUNDACIÓN EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 360 |
| TABLA 8.37. NÚMERO DE EDIFICACIONES POR BARRIO EXPUESTOS POR INUNDACIÓN EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 361 |
| TABLA 8.38. TIPOLOGÍA DE EDIFICACIONES..... | 361 |
| TABLA 8.39. TIPOLOGÍA DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A INUNDACIÓN EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 362 |
| TABLA 8.40. ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A INUNDACIÓN EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 363 |
| TABLA 8.41. EDAD O TIEMPO DE SERVICIO DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A INUNDACIÓN EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 364 |
| TABLA 8.42. NÚMERO DE PISOS DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A INUNDACIÓN EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 364 |
| TABLA 8.43. LÍNEAS VITALES EXPUESTAS ANTE INUNDACIÓN DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 367 |
| TABLA 8.44. NÚMERO DE POSTES EXPUESTOS DE LA RED ELÉCTRICA ANTE INUNDACIÓN DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 371 |
| TABLA 8.45. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL FACTOR DE RESISTENCIA CORPORAL ANTE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 376 |
| TABLA 8.46. NÚMERO DE EDIFICACIONES SEGÚN TIPOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN | 378 |
| TABLA 8.47. NÚMERO DE EDIFICACIONES SEGÚN ESTADO DE CONSERVACIÓN..... | 379 |
| TABLA 8.48. NÚMERO DE EDIFICACIONES SEGÚN LA EDAD..... | 380 |
| TABLA 8.49. NÚMERO DE EDIFICACIONES SEGÚN SU ALTURA | 380 |
| TABLA 8.50. FACTOR DE RESISTENCIA DE LA RED VIAL SEGÚN SU MATERIAL ANTE INUNDACIÓN, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 383 |
| TABLA 8.51. FACTOR DE RESISTENCIA DE LA RED VIAL SEGÚN SU ANCHO(M) ANTE INUNDACIÓN, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 383 |
| TABLA 8.52. NÚMERO DE POSTES Y SU MATERIAL | 386 |

| | |
|--|-----|
| TABLA 8.53. DISTRIBUCIÓN DE LA VULNERABILIDAD CORPORAL EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 389 |
| TABLA 8.54. VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL ANTE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 391 |
| TABLA 8.55. VULNERABILIDAD DE LA RED VIAL POR INUNDACIÓN ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 393 |
| TABLA 8.56. VULNERABILIDAD DE LA RED ELÉCTRICA ANTE EL FENÓMENO DE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 395 |
| TABLA 8.57. NÚMERO Y PROMEDIO DE HABITANTES EN LAS CONSTRUCCIONES EN QUE SE LOGRÓ EL ACCESO AL INTERIOR..... | 400 |
| TABLA 8.58. NÚMERO TOTAL DE HABITANTES, DÍA Y DE NOCHE DE LA POBLACIÓN ENCUESTADA, EXPUESTOS A MOVIMIENTO EN MASA DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 400 |
| TABLA 8.59. NÚMERO Y ÁREA (M ²) DE LOS PREDIOS EXPUESTOS A MOVIMIENTO EN MASA EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 401 |
| TABLA 8.60. NÚMERO DE PREDIOS SIN EDIFICACIONES, CON EDIFICACIONES EXPUESTOS A MOVIMIENTO EN MASA EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 402 |
| TABLA 8.61. NÚMERO DE EDIFICACIONES POR BARRIO EXPUESTOS A MOVIMIENTO EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 402 |
| TABLA 8.62. TIPOLOGÍA DE EDIFICACIONES..... | 403 |
| TABLA 8.63. TIPO DE CONSTRUCCIÓN DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 403 |
| TABLA 8.64. ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 404 |
| TABLA 8.65. EDAD O TIEMPO DE SERVICIO DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 405 |
| TABLA 8.66. NÚMERO DE PISOS DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 406 |
| TABLA 8.67. LÍNEAS VITALES EXPUESTAS A MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 409 |
| TABLA 8.68. RED ELÉCTRICA EXPUESTA A MOVIMIENTO EN MASA DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 413 |
| TABLA 8.69. CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 418 |
| TABLA 8.70. INSUMOS PARA LA VULNERABILIDAD DE TORO | 418 |
| TABLA 8.71. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL FACTOR DE RESISTENCIA CORPORAL POR MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 419 |
| TABLA 8.72. NÚMERO DE EDIFICACIONES SEGÚN SU TIPOLOGÍA DE EDIFICACIÓN | 421 |
| TABLA 8.73. NÚMERO DE EDIFICACIONES Y SU ESTADO DE CONSERVACIÓN | 422 |
| TABLA 8.74. NÚMERO DE EDIFICACIONES SEGÚN SU RANGO DE EDAD O TIEMPO DE SERVICIO | 423 |
| TABLA 8.75. NÚMERO DE EDIFICACIONES Y SEGÚN EDIFICACIONES..... | 423 |
| TABLA 8.76. FACTOR DE RESISTENCIA DE LA RED VIAL SEGÚN SU MATERIAL ANTE MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 426 |
| TABLA 8.77. FACTOR DE RESISTENCIA DE LA RED VIAL SEGÚN SU ANCHO(M) ANTE MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 426 |
| TABLA 8.78. NÚMERO DE POSTES SEGÚN SU MATERIAL | 429 |

| | |
|--|-----|
| TABLA 8.79. DISTRIBUCIÓN DE LA VULNERABILIDAD CORPORAL DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 432 |
| TABLA 8.80. VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL POR MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 434 |
| TABLA 8.81. VULNERABILIDAD DE LA RED VIAL POR MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 436 |
| TABLA 8.82. VULNERABILIDAD DE LA RED ELÉCTRICA POR MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 438 |
| TABLA 9.1. PROBABILIDAD POR VIDA ÚTIL DEL MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN Y NIVEL DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL PARA LA INFRAESTRUCTURA SOCIAL DEL MUNICIPIO DE TORO | 444 |
| TABLA 9.2. VIDA ÚTIL, PROBABILIDAD POR VIDA DE INFRAESTRUCTURA LÍNEA VITAL Y NIVEL DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL PARA LÍNEAS VITALES DEL MUNICIPIO DE TORO .. | 445 |
| TABLA 9.3. MATRIZ DE CLASIFICACIÓN DE LA AFECTACIÓN O RIESGO PARA LAS ESTRUCTURAS Y PERSONAS POR INUNDACIÓN | 446 |
| 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 | 447 |
| TABLA 9.5. NIVEL DE AFECTACIÓN CORPORAL POR INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 449 |
| TABLA 9.6. ESCENARIOS DE AFECTACIÓN ESTRUCTURAL POR INUNDACIÓN DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 450 |
| TABLA 9.7. ESCENARIO DE AFECTACIÓN DE LA RED VIAL POR INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 453 |
| TABLA 9.8. ESCENARIO DE AFECTACIÓN DE LA RED ELÉCTRICA POR INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 455 |
| TABLA 9.9. ZONAS DE ALTA AFECACION MITIGABLE Y NO MITIGABLE ESTRUCTURAL POR INUNDACION, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 457 |
| TABLA 9.10. AFECTACIÓN CORPORAL ANTE MOVIMIENTO EN MASA | 459 |
| TABLA 9.11. ESCENARIOS DE AFECTACIÓN ESTRUCTURAL POR ÁREA (M ²) POR MOVIMIENTO EN MASA DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 460 |
| TABLA 9.12. ESCENARIO DE AFECTACIÓN PARA LA RED VIAL POR MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 462 |
| TABLA 9.13. ESCENARIO DE AFECTACIÓN EN LA RED ELÉCTRICA POR MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 464 |
| TABLA 9.14. NIVEL DE AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y ALTA NO MITIGABLE ANTE EL FENÓMENO DE MOVIMIENTO EN MASA | 466 |
| TABLA 9.15 CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y FUNCIONALES EN AFECTACIÓN ALTA , MEDIA Y BAJA POR INUNDACIONES EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 470 |
| TABLA 9.16. COSTO TOTAL DE EDIFICACIONES NO RESIDENCIALES EN AFECTACIÓN ALTA POR INUNDACIÓN | 472 |
| TABLA 9.17. COSTO TOTAL APROXIMADO DE EDIFICACIONES RESIDENCIALES EN AFECTACIÓN ALTA, MEDIA Y BAJA ANTE INUNDACIÓN | 473 |
| TABLA 9.18. VALOR APROXIMADO DEL CONTENIDO DE LAS VIVIENDAS | 474 |
| TABLA 9.19. COSTO TOTAL APROXIMADO POR DAÑOS DE CONTENIDO EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES CON AFECTACIÓN ALTA, MEDIA Y BAJA..... | 474 |

| | | |
|--------------------|---|-----|
| TABLA 9.20. | RESUMEN DE COSTOS APROXIMADOS DE DAÑO EN LA INFRAESTRUCTURA SOCIAL AFECTADA POR INUNDACIÓN..... | 475 |
| TABLA 9.21. | MONTOS DESIGNADOS POR EL GOBIERNO NACIONAL PARA ASISTENCIA ALIMENTARIA Y ASEO A DAMNIFICADOS DURANTE SITUACIONES DE DESASTRES (PRECIOS 2019)... | 476 |
| TABLA 9.22. | COSTOS APROXIMADOS POR ASISTENCIA A FAMILIAS POSIBLEMENTE AFECTADAS ANTE ESCENARIO DE INUNDACIÓN (PRECIOS 2019). | 476 |
| TABLA 9.23. | COSTO PROMEDIO APROXIMADO POR CONSTRUCCIÓN, REHABILITAMIENTO Y MANTENIMIENTO VIAL | 477 |
| TABLA 9.24. | COSTO TOTAL APROXIMADO DE MEJORAMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL POR POSIBLES DAÑOS ANTE ESCENARIO DE INUNDACIÓN .. | 477 |
| TABLA 9.25. | COSTOS PROMEDIO APROXIMADOS DE REPOSICIÓN DE POSTES DE ENERGÍA POR POSIBLES DAÑOS ANTE ESCENARIO DE AFECTACIÓN POR INUNDACIÓN..... | 478 |
| TABLA 9.26 | COSTOS TOTAL APROXIMADO DE REPOSICIÓN DE POSTES DE ENERGÍA POR POSIBLES DAÑOS ANTE ESCENARIO DE AFECTACIÓN POR INUNDACIÓN | 478 |
| TABLA 9.27. | RESUMEN DE LOS COSTOS APROXIMADOS DERIVADOS DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y LÍNEAS VITALES POR INUNDACIÓN | 478 |
| TABLA 9.28. | POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN EDIFICACIONES EN EL ESCENARIO DE AFECTACIÓN POR INUNDACIÓN..... | 479 |
| TABLA 9.29. | APROXIMACIÓN DE POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURA VIAL AFECTADA POR INUNDACIÓN..... | 480 |
| TABLA 9.30. | APROXIMACIÓN DE POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN LÍNEAS VITALES (RED DE ENERGÍA ELÉCTRICA) AFECTADA POR INUNDACIÓN..... | 480 |
| TABLA 9.31. | APROXIMACIÓN DE POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURA DE REDES VITALES AFECTADA POR INUNDACIÓN..... | 480 |
| TABLA 9.32. | RESUMEN DE LAS POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURAS Y ASISTENCIA DEL GOBIERNO EN ZONAS DE AFECTACIÓN (RIESGO) ANTE INUNDACIÓN. | 481 |
| TABLA 9.33. | CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES Y FUNCIONALES EXPUESTOS ANTE MOVIMIENTO EN MASA DE AFECTACIÓN ALTO Y MEDIO EN EL MUNICIPIO DE TORO . | 481 |
| TABLA 9.34. | COSTO TOTAL DE EDIFICACIONES NO RESIDENCIALES EN EL ESCENARIO DE AFECTACIÓN ALTA POR INUNDACIÓN | 483 |
| TABLA 9.35. | COSTO TOTAL DE EDIFICACIONES RESIDENCIALES EN AFECTACIÓN ALTO, MEDIO Y BAJO ANTE MOVIMIENTO EN MASA | 483 |
| TABLA 9.36. | VALOR APROXIMADO DEL CONTENIDO DE LAS EDIFICACIONES RESIDENCIALES | 485 |
| TABLA 9.37. | COSTO TOTAL APROXIMADO POR DAÑOS DE CONTENIDO EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES CON AFECTACIÓN ALTO, MEDIO Y BAJO, ANTE MOVIMIENTO EN MASA | 485 |
| TABLA 9.38. | RESUMEN DE COSTOS APROXIMADOS DE DAÑO EN LA INFRAESTRUCTURA SOCIAL AFECTADA POR MOVIMIENTO EN MASA | 486 |
| TABLA 9.39. | MONTOS DESIGNADOS POR EL GOBIERNO NACIONAL PARA ASISTENCIA ALIMENTARIA Y ASEO A DAMNIFICADOS DURANTE SITUACIONES DE DESASTRES (PRECIOS 2019) .. | 486 |
| TABLA 9.40. | COSTO APROXIMADO POR ASISTENCIA A FAMILIAS POSIBLEMENTE AFECTADAS ANTE ESCENARIOS DE MOVIMIENTO EN MASA (PRECIOS 2019)..... | 487 |
| TABLA 9.41. | RESUMEN DE LOS COSTOS APROXIMADOS DERIVADOS DE LA ASISTENCIA DEL GOBIERNO PARA PREDIOS RESIDENCIALES AFECTADOS POR MOVIMIENTO EN MASA . | 487 |
| TABLA 9.42. | COSTO PROMEDIO APROXIMADO POR CONSTRUCCIÓN, REHABILITAMIENTO Y MANTENIMIENTO VIAL. | 488 |

| | | |
|--------------------|--|-----|
| TABLA 9.43. | COSTO TOTAL APROXIMADO DE MEJORAMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL POR POSIBLES DAÑOS ANTE ESCENARIO DE MOVIMIENTO EN MASA | 488 |
| TABLA 9.44. | COSTOS PROMEDIO APROXIMADOS DE REPOSICIÓN DE POSTES DE ENERGÍA POR POSIBLES DAÑOS ANTE ESCENARIO DE AFECTACIÓN POR MOVIMIENTO EN MASA | 489 |
| TABLA 9.45. | COSTOS TOTALES APROXIMADO DE REPOSICIÓN DE POSTES DE ENERGÍA POR POSIBLES DAÑOS ANTE ESCENARIO DE AFECTACIÓN POR MOVIMIENTO EN MASA..... | 489 |
| TABLA 9.46. | RESUMEN DE LOS COSTOS APROXIMADOS DERIVADOS DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y LÍNEAS VITALES POR MOVIMIENTO EN MASA | 490 |
| TABLA 9.47. | APROXIMACIÓN DE POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES Y NO RESIDENCIALES AFECTADOS POR MOVIMIENTO EN MASA..... | 490 |
| TABLA 9.48. | RESUMEN TOTAL DE POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS POR MOVIMIENTO EN MASA | 491 |
| TABLA 9.49. | RESUMEN DE LOS COSTOS APROXIMADOS DERIVADOS DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y LÍNEAS VITALES POR MOVIMIENTO EN MASA | 491 |
| TABLA 9.50. | APROXIMACIÓN DE POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURA VIAL AFECTADA POR MOVIMIENTO EN MASA. | 491 |
| TABLA 9.51. | APROXIMACIÓN DE POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN LÍNEAS VITALES (RED DE ENERGÍA ELÉCTRICA) AFECTADA POR MOVIMIENTO EN MASA | 492 |
| TABLA 9.52. | APROXIMACIÓN DE POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURA DE REDES VITALES AFECTADA POR MOVIMIENTO EN MASA | 492 |
| TABLA 9.53. | RESUMEN DE LAS POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURA SOCIAL Y LÍNEAS VITALES CON AFECTACIÓN (RIESGO) ANTE UN MOVIMIENTO EN MASA | 492 |
| TABLA 9.54 | CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES EXPUESTOS EN AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE ANTE INUNDACIÓN EN EL MUNICIPIO DE TORO | 493 |
| TABLA 9.55. | CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS FUNCIONALES EXPUESTOS EN AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE ANTE INUNDACIÓN EN EL MUNICIPIO DE TORO | 493 |
| TABLA 9.56. | COSTO TOTAL DE LAS EDIFICACIONES EN AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE ANTE INUNDACIÓN | 494 |
| TABLA 9.57 | APROXIMACIÓN DE POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN EDIFICACIONES CON RIESGO ALTO MITIGABLE Y NO MITIGABLE POR INUNDACIÓN | 494 |
| TABLA 9.58. | CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES EXPUESTOS EN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE ANTE MOVIMIENTO EN MASA EN EL MUNICIPIO DE TORO | 495 |
| TABLA 9.59. | CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS FUNCIONALES EXPUESTOS EN ALTO MITIGABLE Y NO MITIGABLE ANTE MOVIMIENTO EN MASA EN EL MUNICIPIO DE TORO | 495 |
| TABLA 9.60. | COSTO TOTAL DE LAS EDIFICACIONES EN AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE ANTE MOVIMIENTO EN MASA | 496 |
| TABLA 9.61. | APROXIMACIÓN DE POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN EDIFICACIONES CON ALTO MITIGABLE Y NO MITIGABLE POR MOVIMIENTO EN MASA | 496 |

LISTA DE FIGURA

| | |
|---|-----|
| FIGURA 1.1. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO, DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA | 43 |
| FIGURA 1.2. MAPA POLÍTICO ADMINISTRATIVO, ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 45 |
| FIGURA 1.3. MAPA DIVISIÓN POLÍTICA DEL ÁREA RURAL DEL MUNICIPIO DE TORO | 47 |
| FIGURA 1.4. DISTRIBUCIÓN DE POBLACIÓN DEL MUNICIPIO DE TORO, PROYECCIÓN 2019 | 48 |
| FIGURA 1.5. DENSIDAD DE POBLACIÓN DEL MUNICIPIO DE TORO | 48 |
| FIGURA 1.6. REDES DE DRENAJE DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 50 |
| FIGURA 1.7. MAPA DE GEOLOGÍA DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 53 |
| FIGURA 2.1. FLUJOGRAMA DEL PROCESO METODOLÓGICO ESTUDIOS DE HISTORICIDAD..... | 58 |
| FIGURA 2.2. ESQUEMA METODOLÓGICO DEL PROCESAMIENTO DE LOS REPORTES | 59 |
| FIGURA 2.3. FUNCIÓN DE DENSIDAD KERNEL A DIFERENTES ANCHOS DE BANDA | 60 |
| FIGURA 2.4. CLASIFICACIÓN DE LA DENSIDAD KERNEL..... | 60 |
| FIGURA 2.5. CLASIFICACIÓN DE PUNTOS SEGÚN CURVAS DE NIVEL | 61 |
| FIGURA 2.6. ESPACIALIZACIÓN DE INFORMACIÓN HISTÓRICA NO PUNTUAL SEGÚN CURVAS DE NIVEL | 62 |
| FIGURA 2.7. DISTRIBUCIÓN DE NÚMERO DE REPORTES POR EVENTOS HISTÓRICOS DE INUNDACIÓN EN EL PERIODO DE 1980 -FEBRERO 2109 LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 66 |
| FIGURA 2.8. DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO DE EVENTOS DE INUNDACIÓN POR BARRIOS, ÁREA URBANA EL MUNICIPIO DE TORO | 67 |
| FIGURA 2.9. MAPA DE FRECUENCIA DE EVENTOS DE INUNDACIÓN REGISTRADOS EN LOS BARRIOS DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 78 |
| FIGURA 2.10. MAPA DE HISTORICIDAD POR EVENTOS PUNTUALES DE INUNDACIÓN, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 79 |
| FIGURA 2.11. MAPA DE HISTORICIDAD DE SECTORES POSIBLEMENTE AFECTADOS POR EVENTOS DE INUNDACIÓN SEGÚN CURVAS DE NIVEL, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 80 |
| FIGURA 2.12. MAPA CONSOLIDADO REPORTES HISTÓRICOS DE INUNDACIÓN, ÁREA URBANA MUNICIPIO DE TORO | 81 |
| FIGURA 2.13. DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO DE EVENTOS HISTÓRICOS DE MOVIMIENTO EN MASA POR BARRIOS, ÁREA URBANA EL MUNICIPIO DE TORO | 88 |
| FIGURA 2.14. MAPA DE HISTORICIDAD POR EVENTOS HISTÓRICOS DE MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 90 |
| FIGURA 2.15. TALLER DE SOCIALIZACIÓN Y VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS DE HISTORICIDAD EL DÍA 14 DE MAYO DEL 2019 | 94 |
| FIGURA 2.16. CARTOGRAFÍA SOCIAL PARA LA VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS DE HISTORICIDAD DE EVENTOS DE INUNDACIÓN PERIODO 1980- ABRIL DEL 2019, ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 96 |
| FIGURA 2.17. CARTOGRAFÍA SOCIAL PARA LA VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS DE HISTORICIDAD DE EVENTOS DE MOVIMIENTO EN MASA PERIODO 1980- ABRIL DEL 2019, ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 97 |
| FIGURA 2.18. MAPA DE EVENTOS HISTÓRICOS POR INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO EN EL PERIODO 1980- ABRIL 2019..... | 98 |
| FIGURA 2.19. MAPA DE EVENTOS HISTÓRICOS POR MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO EN EL PERIODO 1980- ABRIL 2019..... | 99 |
| FIGURA 3.1. MAPA GEOLÓGICO PLANCHA 223 - EL CAIRO, VALLE DEL CAUCA – COLOMBIA..... | 101 |
| FIGURA 3.2. MAPA DE ESTACIONES DE CAMPO ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DEL TORO. | 109 |

| | | |
|---------------------|--|-----|
| FIGURA 3.3. | MAPA GEOLÓGICO DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DEL TORO..... | 110 |
| FIGURA 3.4. | (T063) - CERROS AL N-NE DE TORO CONFORMADOS POR PIZARRAS DE LA FORMACIÓN CONSOLIDA VOLCÁNICA (KMST)..... | 111 |
| FIGURA 3.5. | T001 – BASALTOS DE LA FM. VOLCÁNICA EN AFLUENTE INTERMITENTE EN LA FINCA GUARANGO..... | 112 |
| FIGURA 3.6. | T001 – BASALTOS EN LA BASE DEL AFLORAMIENTO EM INCONFORMIDAD CON LA FM. ZARZAL..... | 112 |
| FIGURA 3.7. | A. (T008): BASALTO METEORIZADO Y FRACTURADO QUE SE APRECIA EN LA CORONA DE UN DESLIZAMIENTO, PARTE N DEL CERRO LA CRUZ. B. (T010): BASALTO METEORIZADO Y FRACTURADO CON UNA TENDENCIA DE FOLIACIÓN DE N75°E/70°NW. | 113 |
| FIGURA 3.8. | (T009): AFLORAMIENTO DE BASALTOS UBICADO AL LADO DE LOS TANQUES DE SEDIMENTACIÓN DE ACUAVALLE..... | 113 |
| FIGURA 3.9. | PORTE NORTE DEL PATINÓDROMO, DETRÁS DE LA CALLE 10 CON CARRERA 8, SE APRECIA AL PISO EL BASALTO CON METEORIZACIÓN ESFEROIDAL Y EN CONTACTO CON PEQUEÑAS FRANJAS DE 10 A 20 CM DE GROSOR PERTENECIENTES A LA FM. ZARZAL. | 114 |
| FIGURA 3.10. | A. VISTA DEL CERRO TAMBOR DE COMPOSICIÓN BASÁLTICA (?) DESDE LA FINCA GUARANGO AL N. B. (T064): POTRERO AL PIE DEL CERRO CON BLOQUES DE BASALTO. | 114 |
| FIGURA 3.11. | (T014): AFLORAMIENTO DONDE SE APRECIA ESTRATOS GRUESOS A MEDIOS DE ARENISCAS FINAS Y DE CHERT NEGRO. | 115 |
| FIGURA 3.12. | (T053): AFLORAMIENTO DE 7 M POR 1,8 M DE ALTO AL COSTADO DE LA TROCHA PARA SUBIR A FINCA, SE APRECIAN ESTRATOS DELGADOS A MEDIOS DE CHERT NEGRO Y LUTITAS GRISES CLARAS, CON DATO ESTRUCTURAL N40°E/90°. | 115 |
| FIGURA 3.13. | A. MÁS ARRIBA DE LA ESTACIÓN T053, A LA BASE DE LA CASA AFLORA DE NUEVO ESTRATOS DELGADOS A MEDIOS DE CHERT NEGRO Y LUTITAS GRISES CLARAS, CON DATO ESTRUCTURAL N30°E/65°NW. B. PANORÁMICA DE LA UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN T053, DE LA TROCHA Y DE LA CASA EN LO ALTO, TODA LA TROCHA ES DE CHERT NEGRO Y LUTITAS GRISES CLARAS. | 116 |
| FIGURA 3.14. | (T001): ESTRATOS GRUESOS DE LA FM. ZARZAL EN CONTACTO HORIZONTAL, SE APRECIAN MOLDES DE CARGA POSITIVOS. A. CONTACTO ENTRE LA LIMOLITA A ARENITA MUY FINA CON LA CENIZA (ARRIBA). B. DETALLE DE LA CENIZA. | 117 |
| FIGURA 3.15. | (T075): ESTRATO GRUESO DE LA FM. ZARZAL DE ARENA FINA A GUIJO GRUESO. ... | 117 |
| FIGURA 3.16. | (T024): A MARGEN DERECHA DE LA QB. TORO SE APRECIA A LA BASE LA CENIZA GRUESA SUPRAYACIDA POR UN FLUJO DE LODO CON BLOQUES FLOTANTES (QAFT). | 118 |
| FIGURA 3.17. | (T028): AFLORAMIENTO A LA MARGEN DERECHA DE LA QB. TORO DONDE SE APRECIA LA FM. ZARZAL CON UN FLUJO DE LODO (QAFT). | 118 |
| FIGURA 3.18. | (T028): A. DETALLE DE LA ROCA CONGLOMERÁTICA. B. DETALLE DE LA CENIZA GRUESA. | 119 |
| FIGURA 3.19. | (T037): AFLORAMIENTO A LA MARGEN DERECHA DE LA QB. TORO DONDE SE APRECIA UN AFLORAMIENTO CON LAS MISMAS CARACTERÍSTICAS DE LA ROCA DESCRITAS ANTERIORMENTE EN LA ESTACIÓN T028. | 119 |
| FIGURA 3.20. | (T040): A. VISTA GENERAL DEL AFLORAMIENTO. B. DETALLE DE LA ARENITA MEDIA CON LOS LENTES DE CONGLOMERADO O FLUJOS DE CANAL. | 120 |
| FIGURA 3.21. | (T052): A. AFLORAMIENTO AL S DE LA VÍA. B. DETALLE DEL CONGLOMERADO METEORIZADO Y LEVEMENTE OXIDADO. | 120 |

| | |
|---|-----|
| FIGURA 3.22. (T068): A. VISTA GENERAL DEL AFLORAMIENTO. B. Y C. DETALLE DE LA CENIZA GRUESA MUY METEORIZADA Y DEL CONGLOMERADO. | 121 |
| FIGURA 3.23. (T073): A. VISTA GENERAL DEL AFLORAMIENTO. B. CONGLOMERADO A LA BASE DEL AFLORAMIENTO. C. CENIZA GRUESA. | 122 |
| FIGURA 3.24. A. (T028): VISTA GENERAL DEL AFLORAMIENTO DONDE SE APRECIA EN LA PARTE SUPERIOR EL ESTRATO DEL FLUJO DE LODO. B. (T029): FLUJO DE LODO CON CLASTOS FLOTANTES DE TAMAÑO DE BLOQUE MUY GRANDE. C. (T024): CONTINUA EL FLUJO DE LODO CON CLASTOS FLOTANTES..... | 123 |
| FIGURA 3.25. A. (T023): ZONA DONDE SE UNEN LA QB. LA CHICA Y LA QB. GRANDE Y FORMAN LA QB. TORO, SE APRECIAN BARRAS DE ARENA Y CONGLOMERADOS, ADEMÁS 2 NIVELES DE TERRAZAS. B. (T028): SE APRECIAN CLASTOS DE BASALTOS DE TAMAÑO BLOQUE PEQUEÑO A MEDIANO. | 124 |
| FIGURA 3.26. T061 – MARGEN IZQUIERDA DE LA QB. LÁZARO DONDE SE APRECIA ESTRATO GRUESO DE CONGLOMERADOS PERTENECIENTES A LOS DEPÓSITOS DE LA QB. | 124 |
| FIGURA 3.27. (T068): VISTA AL SW AL CERRO MARCÁNDOSE EL SEGUNDO LINEAMIENTO DESCRITO POR FOTO-INTERPRETACIÓN. | 125 |
| FIGURA 3.28. A. (T006): VISTA AL SW DONDE SE APRECIA TODO EL RECORRIDO DE LA QB. LA CHICA, LA CUAL ES EL LINEAMIENTO DE LA FALLA TORO. B. (T006): VISTA AL NE DONDE SE APRECIA UN CERRO PERTENECIENTE A LA FM. LÁZARO, EL CUAL PRESENTA UNA SILLETA DE FALLA Y UNA FACETA TRIANGULAR. C. (T008): AFLORAMIENTO EN EL CERRO LA CRUZ, DONDE EXISTE UNA CORONA DE DESLIZAMIENTO, Y SE APRECIA LA ROCA (BASALTO) TOTALMENTE AFECTADA POR METAMORFISMO DINÁMICO (ROCA CATACLASITA). D. (T010): ROCA BASÁLTICA AFECTADA POR METAMORFISMO DINÁMICO, ROCA CATACLASITA CON UN DATO ESTRUCTURA DE N75°E/70°NW. | 126 |
| FIGURA 3.29. MAPA DE UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO. | 128 |
| FIGURA 3.30. FOTOINTERPRETACIÓN DEL VUELO IGAC_C_1260_FOTO_028 Y 029_AÑO_19XX, SIN CLARIDAD DEL AÑO DEL VUELO. | 129 |
| FIGURA 3.31. FOTOINTERPRETACIÓN DEL VUELO DE LA CVC A2_1998-07-20_0_FAL-407_F35_265 Y 266 DEL AÑO 1998. | 130 |
| FIGURA 3.32. FOTOINTERPRETACIÓN DEL VUELO DE LA CVC A2_2003_07_0_FAL-448_F23_005, 006 Y 007 DEL AÑO 2003. | 130 |
| FIGURA 3.33. FOTOINTERPRETACIÓN DEL VUELO DE LA CVC A2_2004_02_00_00_FAL-448_F44_1_249, 250, 251 Y 252 DEL AÑO 2004..... | 131 |
| FIGURA 3.34. ESQUEMA DE JERARQUIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA..... | 132 |
| FIGURA 3.35. MODELO DIGITAL DE TERRENO DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DEL TORO. | 133 |
| FIGURA 3.36. MAPA DE PENDIENTES DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DEL TORO. | 134 |
| FIGURA 3.37. A. (T011): BOX CULVERT CON CONSTRUCCIÓN DE CASA ENCIMA DE ÉL, LO CUAL AUMENTA EL RIESGO DE INUNDACIÓN Y AFECTACIÓN DE LAS VIVIENDAS. B. (T039): DIQUE ANTRÓPICO A MARGEN IZQUIERDA DE LA QB. TORO PARA PREVENCIÓN DE INUNDACIONES, PERO DICHO DIQUE FUE CORTADO PARA HACER UNA VÍA DE ACCESO A UNA FINCA AL OTRO LADO DE LA QB..... | 135 |
| FIGURA 3.38. ELEMENTOS DE ORIGEN DENUDACIONAL. A. (T074): VISTA AL SUR, DONDE SE APRECIA CON ROCAS BASÁLTICAS DE LA FM. VOLCÁNICA (KSB) EL CUAL PRESENTA AMBIENTE DENUDACIONAL, A LA BASE SECTORES CON DCO. B. (T064): VISTA AL NORTE DONDE SE APRECIA EL CERRO LA CRUZ, EL CUAL PRESENTA EN SU BASE S Y E-NE ELEMENTOS DCO, Y A MEDIA LADERA Y EN SU CARA N ELEMENTOS DMM. | 138 |

| | |
|---|-----|
| FIGURA 3.39. 107 (T053): VISTA DEL SECTOR N DEL CASCO URBANO DE TORO, CARRERA 5 A 11, DONDE SE APRECIA LA GEOFORMA DLS. | 138 |
| FIGURA 3.40. (T027 Y T064). LADERAS SUAVES (VLS) DE ORIGEN VOLCÁNICO..... | 139 |
| FIGURA 3.41. (T007): VISTA GENERAL AL SE DEL CASCO URBANO DE TORO DONDE SE APRECIA LA Poca INCLINACIÓN Y LAS CONSTRUCCIONES SOBRE EL ABANICO DE TORO. | 140 |
| FIGURA 3.42. A Y B. (T065 Y T025): TERRAZAS PERTENECIENTES AL ABANICO ALUVIAL DE TORO. | 140 |
| FIGURA 3.43. A. (T063): VISTA AL S DONDE SE APRECIA PARTE DE LOS DEPÓSITOS ALUVIALES DE LA QB. LAZARO. B. (T060): QB. LÁZARO CORTANDO SUS DEPÓSITOS ALUVIALES. ... | 140 |
| FIGURA 3.44. (T024): SE APRECIA ESTRATO GRUESO (2 M DE GROSOR) DE UN FLUJO DE LODOS CON BLOQUES DE HASTA 60 CM DE ESPESOR “FLOTANDO” EN EL FLUJO DE LODO..... | 141 |
| FIGURA 3.45. (T072 Y T073): ASPECTO DE LOS LLENOS MIXTOS (ALLM) Y AL MISMO TIEMPO DE LADERAS TERRACEADAS (ALT). | 142 |
| FIGURA 3.46. MAPA GEOMORFOLÓGICO DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DEL TORO. | 143 |
| FIGURA 3.47. (T009): A. VISTA GENERAL DEL CERRO LA CRUZ Y DE LAS INSTALACIONES DE ACUAVALLE. B. AL LADO E DEL TANQUE (LADO DERECHO EN LA FOTO) SE APRECIA GRIETA QUE SIRVE DE CANAL PARA GUIAR AGUA LLUVIA Y EMPOZARLA AL LADO DEL POSTE, NÓTESE QUE EL POSTE YA ESTÁ LEVEMENTE INCLINADO | 144 |
| FIGURA 3.48. (T005): EJEMPLO DE TALUD VERTICAL EN PARTE DE ATRÁS DE CASAS, EL CUAL LINDA CON PATIOS O HABITACIONES PONIENDO EN RIESGO LOS HABITANTES DE DICHAS EDIFICACIONES..... | 145 |
| FIGURA 3.49. A Y B. (T055): PARTE DE ATRÁS CASA EN CALLE 11 #10-55, SE APRECIA EL STCO MUY METEORIZADO Y CON AGUA AFLORANDO. (T056): CASA EN CALLE 11 #5N-352, C. MUESTRA DERRUMBE DEL TALUD PROVOCADO POR LAS LLUVIAS DE LA NOCHE Y EL CUAL ENTRO HASTA LA VIVIENDA (A LA COCINA). D. MUESTRA LA CASA DE ENSEGUIDA CON UN MURO EN CEMENTO Y LADRILLOS MUY MAL ESTADO Y CON LAS COLUMNAS INCLINADAS. E Y F. (T058); CASA UBICADA EN LA CALLE 11 #10-549. TAMBIÉN AFECTADA POR DESLIZAMIENTO DEL COLUVIÓN UBICADO EN LA PARTE DE ATRÁS DE LA VIVIENDA. | 146 |
| FIGURA 3.50. A. (T049): CASA UBICADA EN LA CARRERA 6 #15-109, NÓTESE QUE EL COLUVIÓN (STCO) ESTÁ HACIENDO PRESIÓN SOBRE LA PARED DE DICHA CASA, LA CUAL ES UNA HABITACIÓN. B. (T050): CASA EN LA CARRERA 6 # 16-65 PRESENTA LA MISMA SITUACIÓN..... | 147 |
| FIGURA 3.51. (T072 Y T073): PARTE SW O DETRÁS DE LA ESCUELA NUEVA, SE APRECIA COMO SE LLENA EL LUGAR Y EL DRENAJE NATURAS DE AGUAS LLUVIAS DE ESCOMBROS (SUELO ANTRÓPICO MIXTO – Sa). | 147 |
| FIGURA 3.52. A. (T031): EROSIÓN EN LA PARTE BAJA DEL TALUD, PROVOCANDO RIESGO DE CAÍDA DEL ESTRATO SUPERIOR. B. (T032): EXPOSICIÓN DE RAÍCES DE ÁRBOLES PRODUCTO DE EROSIÓN DE LA QUEBRADA TORO..... | 148 |
| FIGURA 3.53. A. (T035): EXPOSICIÓN DE RAÍCES DE ÁRBOLES PRODUCTO DE EROSIÓN DE LA QUEBRADA TORO. B. (T039): EROSIÓN CONTINÚA DEL TALUD; LOS HABITANTES DE LA CASA COLOQUEN ROCAS TAMAÑO BLOQUES PARA DISMINUIR LA EROSIÓN. | 149 |
| FIGURA 3.54. (T044): OBRA CIVIL QUE OBLIGA A LA QUEBRADA TORO HACER UN GIRO BRUSCO A SU DERECHA PROVOCANDO EROSIÓN..... | 149 |
| FIGURA 3.55. (T064): REPTACIÓN LEVE EN LADERAS CONTIGUAS AL CASCO URBANO DE TORO, CERRO TAMBOR. | 150 |

| | |
|---|------------|
| FIGURA 3.56. A. (T011): CARRERA 6 CON CALLE 10. BOX CULVERT DE 2,3 M X 0,70 M DE ALTO AL CUAL LE CONSTRUYERON UNA CASA ENCIMA. B. (T017): CALLE 12 # 5-35 Y #5-45, SE APRECIAN VIVIENDAS ENCIMA DEL BOX CULVERT, SITUACIÓN COMÚN EN DIFERENTES PUNTOS DEL RECORRIDO DE LA CANALIZACIÓN. | 150 |
| FIGURA 3.57. A. (T016): CALLE 11 CON CARRERA 5ª. EL BOX CULVERT VIENE CON LAS DIMENSIONES DE 2.8 M POR 0.70 M DE ALTO Y PASA A 0.70 M POR 0.40 M DE ALTO. B. (T018): CONTINUANDO EL RECORRIDO DE LA QUEBRADA INTERMITENTE, EN LA CALLE 13 CON CARRERA 5 SE APRECIA NUEVAMENTE LA REDUCCIÓN DEL CANAL, PASANDO DE 0.70 M POR 0.40 M DE ALTO A DOS TUBOS DE CEMENTO DE 20”, LOS CUALES PASAN DEBAJO DE UNA CASA..... | 151 |
| FIGURA 3.58. A. (T021): CALLE 18, DONDE LA CANALIZACIÓN HACE UN GIRO NO NATURAL DE 90° PROVOCANDO DESBORDAMIENTO DE LA QUEBRADA. B. (T022): MÁS DEBAJO DE LA ESTACIÓN T021 LA QUEBRADA LLEGA A LA VIA Terciaria que pasa por la LADRILLERA, LA CUAL SE VE AFECTADA POR EL DESBORDAMIENTO DE LA QUEBRADA. | 151 |
| FIGURA 3.59. (T048): CARRERA 6 CON CALLE 14, AGUAS LLUVIAS QUE DESCENDIEN DEL CERRO AFECTANDO LAS CASAS CERCANAS, SE ELABORÓ EL CANAL EN TIERRA QUE SE OBSERVA EN LA FOTO DE LA IZQUIERDA PARA CONDUCIR LAS AGUAS AL BOX COLVERT O CANAL DESCRITO EN LA ESTACIÓN T011..... | 152 |
| FIGURA 3.60. A. (T049): CARRERA 6 #15-109, SE APRECIA AGUAS LLUVIAS BAJAR POR LA LADERA DEL CERRO, PASAR POR LA PUERTA DEL PATIO DE LA CASA Y AFECTAR LA CASA DEL FRENTE, YA QUE DICHA CASA ESTÁ A UN NIVEL MÁS DEBAJO DE LA VÍA. B. (T051): SE APRECIA QUEBRADA INTERMITENTE QUE HACE UN GIRO NO NATURAL DE 90° A LA DERECHA POR LA CONSTRUCCIÓN DE UNA CASA. | 152 |
| FIGURA 3.61. (T047): FOTOS UBICADAS EN LA CALLE 18 CON CARRERA 3, UNO DE LOS SITIOS AFECTADOS POR INUNDACIONES DE AGUA LLUVIA, NÓTESE COMO LOS HABITANTES DEL SECTOR ROMPIERON EL MURO EN LA PARTE DE ABAJO PARA QUE EL AGUA NO SE EMPOCE..... | 153 |
| FIGURA 3.62. ESTACIONES T002 Y T078, ZONA AFECTADA POR INUNDACIONES | 153 |
| FIGURA 3.63. ESTACIONES T032 Y T033 RESPECTIVAMENTE: MÁRGENES DE LA QB, TORO LAS CUALES PRESENTAN CONSTRUCCIONES A 4 M, ESTAS VÍAS SE HAN VISTO AFECTADAS POR INUNDACIONES DE LA QB TORO EN VARIAS OCASIONES, ES DE ANOTAR QUE LAS VÍAS ESTÁN ENTRE 1,5 Y 2 M DE ALTO DEL NIVEL DE LA QUEBRADA. | 154 |
| FIGURA 3.64. ESTACIÓN T031: A. SE APRECIA LA CASA EN LA DIRECCIÓN CARRERA 1 #600 A UNOS 6 M DE ALTO DE LA QB. TORO. B. MUESTRA PEQUEÑO AFLORAMIENTO CON LA CAPA SUPERIOR DE SUELO Y DEBAJO DE ELLA EL FLUJO DE LODO. | 154 |
| FIGURA 3.65. ÁREA AFECTADA POR INUNDACIONES, NÓTESE QUE EL TANQUE EN CEMENTO Y LAS CASAS ESTÁN AL BORDE DE LA QB. LÁZARO SIN NINGÚN ÁREA DE PROTECCIÓN DE LA QUEBRADA. | 155 |
| FIGURA 4.1. NIVELACIÓN TRIGONOMÉTRICA, SITUACIONES | 160 |
| FIGURA 4.2. TIPOS DE POLIGONAL..... | 161 |
| FIGURA 4.3. LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO..... | 163 |
| FIGURA 4.4. ESQUEMA BATIMETRÍA DE RIO POR ECOSONDA..... | 164 |
| FIGURA 4.5. MUESTREO ALEATORIO SIMPLE..... | 170 |
| FIGURA 4.6. MUESTREO ALEATORIO ESTRATIFICADO | 171 |
| FIGURA 4.7. MUESTREO SISTEMÁTICO..... | 171 |
| FIGURA 4.8. MUESTREO ANIDADO..... | 172 |

| | |
|---|------------|
| FIGURA 4.9. MATERIALIZACIÓN PUNTOS DE CONTROL | 174 |
| FIGURA 4.10. GEORREFERENCIACIÓN PUNTOS DE CONTROL | 174 |
| FIGURA 4.11. RED DE AMARRE, MUNICIPIO DE TORO..... | 176 |
| FIGURA 4.12. MUESTRA DE DATOS PARA VALIDACIÓN DTM TORO | 182 |
| FIGURA 4.13. GENERACIÓN DE DTM Y PRODUCCIÓN DE BATIMETRÍA..... | 183 |
| FIGURA 4.14. BATIMETRÍA Q. GUARANGO | 184 |
| FIGURA 4.15. DTM Q. GUARANGO | 184 |
| FIGURA 4.16. BATIMETRÍA Q. LAZARO | 185 |
| FIGURA 4.17. DTM Q. LAZARO..... | 185 |
| FIGURA 4.18. BATIMETRIA CANAL INTERIOR | 186 |
| FIGURA 4.19. DTM CANAL INTERIOR | 186 |
| FIGURA 4.20. TOPOGRAFIA SECTOR PLAZUELAS | 187 |
| FIGURA 4.21. DTM SECTOR PLAZUELAS | 187 |
| FIGURA 5.1. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO EN EL MUNICIPIO DE TORO | 190 |
| FIGURA 5.2. OBRAS HIDRÁULICAS UBICADAS SOBRE LA QUEBRADA TORO..... | 193 |
| FIGURA 5.3. ESTRUCTURAS SOBRE LA QUEBRADA DE LÁZARO EN EL MUNICIPIO DE TORO | 194 |
| FIGURA 5.4. HISTOGRAMA DE TEMPERATURA MEDIA MENSUAL. ESTACIÓN CENTRO ADMINISTRATIVO LA UNIÓN | 199 |
| FIGURA 5.5. HISTOGRAMA DE TEMPERATURA MEDIA MENSUAL. ESTACIÓN TIERRABLANCA | 200 |
| FIGURA 5.6. HISTOGRAMA DE BRILLO SOLAR MUNICIPIO DE TORO | 201 |
| FIGURA 5.7. HISTOGRAMA DE HUMEDAD RELATIVA – ESTACIONES CENTRO ADMINISTRATIVO LA UNIÓN Y TIERRABLANCA | 202 |
| FIGURA 5.8. DISTRIBUCIÓN MENSUAL DE LA EVAPORACIÓN – ESTACIONES CENTRO ADMINISTRATIVO LA UNIÓN Y TIERRABLANCA..... | 203 |
| FIGURA 5.9. HISTOGRAMA DE VELOCIDAD DE VIENTO – ESTACIÓN CENTRO ADMINISTRATIVO LA UNIÓN..... | 204 |
| FIGURA 5.10. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA DE PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL DE LAS ESTACIONES UBICADAS EN ZONAS ALEDAÑAS AL PROYECTO..... | 206 |
| FIGURA 5.11. PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA LOS DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO CONSIDERADOS. ESTACIÓN ISUGU | 209 |
| FIGURA 5.12. PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA LOS DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO CONSIDERADOS. ESTACIÓN EL ORÉGANO | 210 |
| FIGURA 5.13. PRECIPITACIONES MÁXIMAS PARA LOS DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO CONSIDERADOS. ESTACIÓN MONTECRISTO | 211 |
| FIGURA 5.14. CURVA DE INTENSIDAD FRECUENCIA Y DURACIÓN CON DATOS DE LA ESTACIÓN CENTRO ADMINISTRATIVO LA UNIÓN. | 212 |
| FIGURA 5.15. HIETOGRAMA DE PRECIPITACIÓN DE DISEÑO HIDROLÓGICO PARA UNA DURACIÓN DE 200 MIN. ESTACIÓN CENTRO ADMINISTRATIVO LA UNIÓN..... | 213 |
| FIGURA 5.16. ESQUEMA DE LAS COMPONENTES HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS QUE UTILIZA EL HEC-HMS 4.3 PARA REPRESENTAR UNA CUENCA HIDROGRÁFICA. | 216 |
| FIGURA 5.17. CLASIFICACIÓN DE MODELOS..... | 217 |
| FIGURA 6.1. CLASIFICACIÓN DE LAS ZONAS DE INUNDACIÓN DE ACUERDO CON LA AGENCIA CATALANA DEL AGUA | 239 |
| FIGURA 6.2. ZONA DE INTENSO DESAGÜE DEFINIDA POR LA AGENCIA CATALANA DEL AGUA | 239 |
| FIGURA 6.3. DEFINICIÓN DE RANGOS DE INTENSIDAD PARA INUNDACIONES ESTÁTICAS Y DINÁMICAS..... | 243 |
| FIGURA 6.4. NIVEL DE INTENSIDAD O MAGNITUD DE LA AMENAZA POR INUNDACIONES..... | 248 |

| | |
|---|-----|
| FIGURA 6.5. ZONIFICACIÓN DE AMENAZA POR INUNDACIÓN POR DESBORDAMIENTO - PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS | 257 |
| FIGURA 6.6. UBICACIÓN RECOMENDADA DE LAS OBRAS DE CONTROL..... | 268 |
| FIGURA 7.1. DISEÑO METODOLÓGICO PARA LA EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA- MUNICIPIO DE TORO..... | 273 |
| FIGURA 7.2. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE COBERTURA DE LA TIERRA | 276 |
| FIGURA 7.3. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA ECUACIÓN PARA MEDIR EL NIVEL FREÁTICO..... | 282 |
| FIGURA 7.4. GRÁFICA DE PROBABILIDAD NORMAL | 285 |
| FIGURA 7.5. MAPA GEOLÓGICO MUNICIPIO DE TORO..... | 288 |
| FIGURA 7.6. MAPA GEOMORFOLÓGICO DEL MUNICIPIO DE TORO | 289 |
| FIGURA 7.7. MAPA UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 290 |
| FIGURA 7.8. PORCENTAJES DE ÁREAS OCUPADOS POR GRANDES TIPOS DE COBERTURA DE LA TIERRA EN TORO (NIVEL 1 DE CLC) | 291 |
| FIGURA 7.9. MAPA DE COBERTURA DE LA TIERRA MUNICIPIO TORO..... | 292 |
| FIGURA 7.10. MAPA DE EVENTOS HISTÓRICOS DE MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 296 |
| FIGURA 7.11. UBICACIÓN DE LAS PERFORACIONES MECÁNICAS HECHAS PARA EL PRESENTE ESTUDIO EN EL MUNICIPIO DE TORO | 298 |
| FIGURA 7.12. UBICACIÓN EN PLANTA DE LOS APIQUES PARA EL PRESENTE ESTUDIO EN EL MUNICIPIO DE TORO. | 300 |
| FIGURA 7.13. PERFIL ESTRATIGRÁFICO ESTABLECIDO | 302 |
| FIGURA 7.14. REALIZACIÓN EN CAMPO DE UNA LÍNEA SÍSMICA EN EL MUNICIPIO DE TORO..... | 303 |
| FIGURA 7.15. LOCALIZACIÓN DE LAS LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICA EN EL MUNICIPIO DE TORO | 305 |
| 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..... | 307 |
| FIGURA 7.17. ILUSTRACIÓN TÍPICA DEL PROCESAMIENTO DE DATOS MEDIANTE EL SOFTWARE SEISIMAGER CORRESPONDIENTE A LA LÍNEA DE REFRACCIÓN PARA ONDAS P..... | 308 |
| FIGURA 7.18. TOMOGRAFÍA DEL TERRENO, VELOCIDADES DE ONDA PLANA (Vp), LS-2. | 310 |
| FIGURA 7.19. UBICACIÓN SECCIONES DE ANÁLISIS MUNICIPIO DE TORO..... | 312 |
| FIGURA 7.20. PERFIL AA' SECCIÓN DE ANÁLISIS | 313 |
| FIGURA 7.21. PERFIL BB' SECCIÓN DE ANÁLISIS | 313 |
| FIGURA 7.22. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ESTACIONES HIDROCLIMATOLÓGICAS..... | 315 |
| FIGURA 7.23. CURVAS DE INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUENCIA CON DATOS DE LA ESTACIÓN EL VESUBIO | 316 |
| FIGURA 7.24. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SECCIÓN BB', ESCENARIO FUTURO, CONDICIÓN SIN OBRAS | 319 |
| FIGURA 7.25. MAPA DE AMENAZA CATEGORIZADO CORRESPONDIENTE A LA CONDICIÓN FUTURA PARA EL MUNICIPIO DE TORO | 322 |
| FIGURA 7.26. DISTRIBUCIÓN DE NIVELES DE AMENAZA PARA LA CONDICIÓN FUTURA EN EL MUNICIPIO DE TORO | 323 |
| FIGURA 7.27. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE UN DESLIZAMIENTO | 324 |
| FIGURA 7.28. VARIABLES GEOMÉTRICAS PARA DEFINIR LA DISTANCIA DE VIAJE DE UN DESLIZAMIENTO | 325 |

| | |
|---|-----|
| FIGURA 7.29. BLOQUE DESLIZANTE, CONSIDERACIONES DINÁMICAS. A) PERFIL DE LA TRAYECTORIA. B) GEOMETRÍA LOCAL DEL CONTACTO. C) DIAGRAMA DE FUERZAS. D) PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 326 |
| FIGURA 8.1. ZONAS DE EXPOSICIÓN ANTE INUNDACIÓN | 334 |
| FIGURA 8.2. NIVEL DE INTENSIDAD O MAGNITUD DE LA AMENAZA POR INUNDACIONES | 335 |
| FIGURA 8.3. TIPOS DE DAÑOS POR INUNDACIÓN Y CONDICIONES DE FLUJO..... | 344 |
| FIGURA 8.4. ZONAS DE EXPOSICIÓN ANTE MOVIMIENTOS EN MASA | 348 |
| 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 TORO | 359 |
| FIGURA 8.6. DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO DE PREDIOS EXPUESTOS A INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 360 |
| FIGURA 8.7. DISTRIBUCIÓN DE LA TIPOLOGÍA DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 362 |
| FIGURA 8.8. DISTRIBUCIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 363 |
| FIGURA 8.9. DISTRIBUCIÓN DE LA EDAD DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A INUNDACIÓN EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 364 |
| FIGURA 8.10. DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO DE PISOS LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A INUNDACIÓN EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 365 |
| FIGURA 8.11. MAPA DE EXPOSICIÓN ESTRUCTURAL ANTE INUNDACIÓN, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 366 |
| FIGURA 8.12. DISTRIBUCIÓN DE LÍNEAS VITALES EXPUESTAS ANTE INUNDACIÓN DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 367 |
| FIGURA 8.13. MAPA DE EXPOSICIÓN DE LÍNEAS VITALES, RED DE ACUEDUCTO, POR FENÓMENO DE INUNDACIÓN, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 368 |
| FIGURA 8.14. MAPA DE EXPOSICIÓN DE LÍNEAS VITALES, RED DE ALCANTARILLADO, POR FENÓMENO DE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 369 |
| FIGURA 8.15. MAPA DE EXPOSICIÓN DE LÍNEAS VITALES, RED VIAL, POR FENÓMENO DE INUNDACIÓN ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 370 |
| FIGURA 8.16. DISTRIBUCIÓN DE EXPOSICIÓN DE LA RED ELÉCTRICA POR INUNDACIÓN EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 371 |
| FIGURA 8.17. MAPA DE EXPOSICIÓN DE LÍNEAS VITALES, RED ELÉCTRICA, POR FENÓMENO DE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 372 |
| FIGURA 8.18. MAPA DE VELOCIDADES MODELO DE AMENAZA POR INUNDACIÓN ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 374 |
| FIGURA 8.19. MAPA DE PROFUNDIDADES MODELO DE AMENAZA POR INUNDACIÓN EN EL MUNICIPIO DE TORO | 375 |
| FIGURA 8.20. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL FACTOR DE RESISTENCIA CORPORAL ANTE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 376 |
| FIGURA 8.21. FACTOR DE RESISTENCIA CORPORAL ANTE INUNDACIÓN, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 377 |
| FIGURA 8.22. DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR DE RESISTENCIA SEGÚN EL TIPO DE CONSTRUCCIÓN DE LAS EDIFICACIONES, ANTE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 378 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 8.23. DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR DE RESISTENCIA SEGÚN EL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS EDIFICACIONES ANTE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 379 |
| FIGURA 8.24. DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR DE RESISTENCIA SEGÚN LA EDAD O TIEMPO DE SERVICIO DE LAS EDIFICACIONES, ANTE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 380 |
| FIGURA 8.25. DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR DE RESISTENCIA SEGÚN EL NÚMERO DE PISOS DE LAS EDIFICACIONES, ANTE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 381 |
| FIGURA 8.26. FACTOR DE RESISTENCIA ESTRUCTURAL ANTE INUNDACIÓN, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 382 |
| FIGURA 8.27. DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR DE RESISTENCIA DE LA RED VIAL SEGÚN SU MATERIAL ANTE INUNDACIÓN, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 384 |
| FIGURA 8.28. DISTRIBUCIÓN DEL ACTOR DE RESISTENCIA DE LA RED VIAL SEGÚN ANCHO(M) POR INUNDACIÓN EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 384 |
| FIGURA 8.29. FACTOR DE RESISTENCIA DE LA RED VIAL ANTE INUNDACIÓN, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 385 |
| FIGURA 8.30. DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR DE RESISTENCIA DE LA RED ELÉCTRICA SEGÚN MATERIAL DEL POSTE, POR INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 386 |
| FIGURA 8.31. DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR DE RESISTENCIA DE LA RED ELÉCTRICA SEGÚN CARGA NOMINAL DEL POSTE, POR INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DE TORO..... | 387 |
| FIGURA 8.32. FACTOR DE RESISTENCIA DE LA RED ELÉCTRICA ANTE INUNDACIÓN, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 388 |
| FIGURA 8.33. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA VULNERABILIDAD CORPORAL POR INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 389 |
| FIGURA 8.34. ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD CORPORAL ANTE INUNDACIONES, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 390 |
| FIGURA 8.35. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL ÁREA (M ²) DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL POR INUNDACIÓN DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 391 |
| FIGURA 8.36. ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL ANTE INUNDACIÓN, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 392 |
| FIGURA 8.37. DISTRIBUCIÓN DE LA VULNERABILIDAD EN LA RED VIAL POR INUNDACIÓN, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 393 |
| FIGURA 8.38. ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD ANTE INUNDACIONES, RED VIAL, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 394 |
| FIGURA 8.39. DISTRIBUCIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LA RED ELÉCTRICA POR INUNDACIÓN, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 395 |
| FIGURA 8.40. ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LA RED ELÉCTRICA ANTE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 396 |
| FIGURA 8.41. DISTRIBUCIÓN DE LAS CURVAS DE FRAGILIDAD DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS (POBLACIÓN Y ESTRUCTURAL) ANTE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 397 |
| FIGURA 8.42. FACTORES DE RESISTENCIA: A). RESISTENCIA S=0,7 ; B).RESISTENCIA S=0,08; C). RESISTENCIA S=0,9; D). RESISTENCIA S=0,1 | 398 |
| FIGURA 8.43. 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 TORO | 400 |

| | |
|---|-----|
| FIGURA 8.44. DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO DE PREDIOS EXPUESTOS A MOVIMIENTO EN MASA EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 401 |
| FIGURA 8.45. DISTRIBUCIÓN DEL TIPO DE CONSTRUCCIÓN DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 404 |
| FIGURA 8.46. DISTRIBUCIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A MOVIMIENTO EN MASA EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 405 |
| FIGURA 8.47. DISTRIBUCIÓN DE LA EDAD DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 406 |
| FIGURA 8.48. DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO DE PISOS LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A MOVIMIENTO EN MASA EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 407 |
| FIGURA 8.49. EXPOSICIÓN ESTRUCTURAL ANTE MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 408 |
| FIGURA 8.50. DISTRIBUCIÓN DE LÍNEAS VITALES EXPUESTAS A MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 409 |
| FIGURA 8.51. MAPA DE EXPOSICIÓN DE LÍNEAS VITALES, RED DE ACUEDUCTO, ANTE EL FENÓMENO DE MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 410 |
| FIGURA 8.52. MAPA DE EXPOSICIÓN DE LÍNEAS VITALES, RED DE ALCANTARILLADO, ANTE EL FENÓMENO DE MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 411 |
| FIGURA 8.53. MAPA DE EXPOSICIÓN DE LÍNEAS VITALES, RED VIAL, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 412 |
| FIGURA 8.54. DISTRIBUCIÓN DE LA RED ELÉCTRICA EXPUESTA ANTE MOVIMIENTO EN MASA DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 413 |
| FIGURA 8.55. MAPA DE EXPOSICIÓN DE LÍNEAS VITALES, RED ELÉCTRICA, POR FENÓMENO DE MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 414 |
| FIGURA 8.56. UBICACIÓN DE LAS SECCIONES DE ANÁLISIS DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 416 |
| FIGURA 8.57. PERFIL A-A'' | 417 |
| FIGURA 8.58. PERFIL B-B'' | 417 |
| FIGURA 8.59. PERFIL C-C' | 417 |
| FIGURA 8.60. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL FACTOR DE RESISTENCIA CORPORAL ANTE MOVIMIENTO EN MASA, EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 419 |
| FIGURA 8.61. FACTOR DE RESISTENCIA CORPORAL ANTE MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 420 |
| FIGURA 8.62. DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR DE RESISTENCIA POR TIPOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN DE LAS EDIFICACIONES ANTE MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 421 |
| FIGURA 8.63. FACTOR DE RESISTENCIA SEGÚN EL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS EDIFICACIONES POR MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 422 |
| FIGURA 8.64. DISTRIBUCIÓN DE FACTOR DE RESISTENCIA SEGÚN LA EDAD DE LAS EDIFICACIONES POR MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 423 |
| FIGURA 8.65. DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR DE RESISTENCIA SEGÚN EL NÚMERO DE PISOS DE LAS EDIFICACIONES POR MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 424 |
| FIGURA 8.66. FACTOR DE RESISTENCIA ESTRUCTURAL ANTE MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 425 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 8.67. DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR DE RESISTENCIA DE LA RED VIAL SEGÚN SU MATERIAL POR MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 427 |
| FIGURA 8.68. DISTRIBUCIÓN DEL ACTOR DE RESISTENCIA DE LA RED VIAL SEGÚN ANCHO(M) POR MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 427 |
| FIGURA 8.69. FACTOR DE RESISTENCIA DE LA RED VIAL ANTE MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 428 |
| FIGURA 8.70. DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR DE RESISTENCIA EN LA RED ELÉCTRICA SEGÚN MATERIAL DEL POSTE, ANTE MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 429 |
| FIGURA 8.71. DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR DE RESISTENCIA DE LA RED ELÉCTRICA SEGÚN CARGA NOMINAL DEL POSTE, ANTE MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 430 |
| FIGURA 8.72. FACTOR DE RESISTENCIA ANTE MOVIMIENTO EN MASA DE LA RED ELÉCTRICA, EN LA ZONA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 431 |
| FIGURA 8.73. DISTRIBUCIÓN DEL PORCENTAJE DE LA VULNERABILIDAD CORPORAL DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 432 |
| FIGURA 8.74. ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD CORPORAL ANTE MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DE MUNICIPIO DE TORO..... | 433 |
| FIGURA 8.75. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL ÁREA (M ²) DE LA VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL POR MOVIMIENTO EN MASA DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 434 |
| FIGURA 8.76. ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL ANTE MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 435 |
| FIGURA 8.77. DISTRIBUCIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LA RED VIAL POR MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 436 |
| FIGURA 8.78. ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD ANTE MOVIMIENTO EN MASA DE LA RED EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 437 |
| FIGURA 8.79. ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD ANTE MOVIMIENTO EN MASA DE LA RED ELÉCTRICA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 439 |
| FIGURA 8.80. CURVAS DE FRAGILIDAD DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS (POBLACIÓN Y ESTRUCTURAL) ANTE MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 440 |
| FIGURA 8.81. FACTORES DE RESISTENCIA: A). RESISTENCIA S=0,7; B) RESISTENCIA S=0,08; C). RESISTENCIA S=0,9; D). RESISTENCIA S=0,1..... | 441 |
| FIGURA 9.1. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL ESCENARIO DE AFECTACIÓN CORPORAL POR INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 450 |
| FIGURA 9.2. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL ÁREA (M ²) DEL ESCENARIO DE AFECTACIÓN ESTRUCTURAL POR INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 451 |
| FIGURA 9.3. ZONIFICACIÓN DE ÁREAS DE AFECTACIÓN ANTE INUNDACIONES, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 452 |
| FIGURA 9.4. DISTRIBUCIÓN DEL NIVEL DE AFECTACIÓN PARA LA RED VIAL ANTE INUNDACIÓN, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 453 |
| FIGURA 9.5. ZONIFICACIÓN DE AFECTACIÓN DE LA RED VIAL ANTE INUNDACIONES, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 454 |
| FIGURA 9.6. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL ESCENARIO DE AFECTACIÓN DE LA RED ELÉCTRICA POR INUNDACIÓN, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 455 |
| FIGURA 9.7. ZONIFICACIÓN DE AFECTACIÓN DE LA RED ELÉCTRICA ANTE INUNDACIONES, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO..... | 456 |

| | |
|--|-----|
| FIGURA 9.8. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL NIVEL DE AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE (ÁREA M ²) ANTE INUNDACIÓN, EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 457 |
| FIGURA 9.9. ZONIFICACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE POR INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 458 |
| FIGURA 9.10. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DE LA AFECTACIÓN CORPORAL POR MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 459 |
| FIGURA 9.11. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL ÁREA M ² POR ESCENARIOS DE AFECTACIÓN ESTRUCTURAL EXPUESTAS POR MOVIMIENTO EN MASA DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 460 |
| FIGURA 9.12. ZONIFICACIÓN DE ÁREAS DE AFECTACIÓN ANTE MOVIMIENTO EN MASA, ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 461 |
| FIGURA 9.13. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL ESCENARIO DE AFECTACIÓN DE LA RED VIAL POR MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 462 |
| FIGURA 9.14. ZONIFICACIÓN DE AFECTACIÓN POR MOVIMIENTO EN MASA, RED VIAL, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 463 |
| FIGURA 9.15. ZONIFICACIÓN DE AFECTACIÓN POR INUNDACIÓN, RED VIAL, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 465 |
| FIGURA 9.16. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL NIVEL DE AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y ALTA NO MITIGABLE POR ÁREA M ² , ANTE MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 466 |
| FIGURA 9.17. ZONIFICACIÓN DE AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE ANTE MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO | 468 |
| FIGURA 9.18. TIPIFICACIÓN DEL CONTENIDO DE UNA VIVIENDA EN EL ÁREA DE ESTUDIO. | 473 |
| FIGURA 9.19 TIPIFICACIÓN DEL CONTENIDO DE UNA VIVIENDA EN EL ÁREA DE ESTUDIO | 484 |

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 Toro. 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 Toro
- 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 Toro en el periodo entre 1980 y julio 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 geomorfológico.
- 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 Toro.

- 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 Toro.
- 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 lata 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 Toro 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 Toro. 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 de ordenamiento territorial, 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 TORO 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 comunidades indígenas del Choco fueron los primeros habitantes del territorio que hoy conforman el Municipio de Toro y con la llegada de los conquistadores se pobló con negros y mulatos; su fecha de fundación se precisa el 3 de junio de 1573, por el Capitán Melchor Velázquez De Valdenebro. La nueva fundación Española tomó el nombre de Toro debido a que la mayoría de soldados que acompañaban a Don Melchor provenían de Toro España en aquella época se conocía como la ciudad de Nuestra Señora de la Consolación de Toro. Debido a los constantes ataques de las tribus chocoanas, fue trasladada al El Bohío, En 1575 el Rey Español Felipe II reconoció la fundación y distinguió a Don Melchor como Gobernador y Capitán General de la provincia del Chocó. Trece años más tarde de su construcción en 1587, por órdenes del mismo fundador es ubicada en el lugar que hoy ocupa y toma finalmente el nombre de Toro (Concejo Municipal Toro-EOT, 2000).

1.2. CONTEXTO GEOGRÁFICO DEL MUNICIPIO

El municipio de Toro se localiza al norte del departamento del Valle del Cauca en la margen izquierda aguas abajo del río Cauca, en la vertiente oriental de la cordillera occidental. Su latitud y longitud del municipio de Toro corresponde a la Latitud Norte 4o 36 '30'' y longitud Oeste meridiano de Greenwich 76°04'30'' (Figura 1.1).

1.2.1. Límites

El municipio de Toro limita al norte con el municipio de Toro, al occidente limita con los municipios de Argelia y Versailles; al oriente con los municipios de Obando y Cartago, y al sur limita con el municipio de La Unión.

El municipio presenta una extensión de 17.5000 Ha de ellas el 38.5% al piso térmico cálido, el 59% corresponde a los pisos térmicos medio y el 2.4% al frío (Concejo Municipal Toro-EOT, 2000).

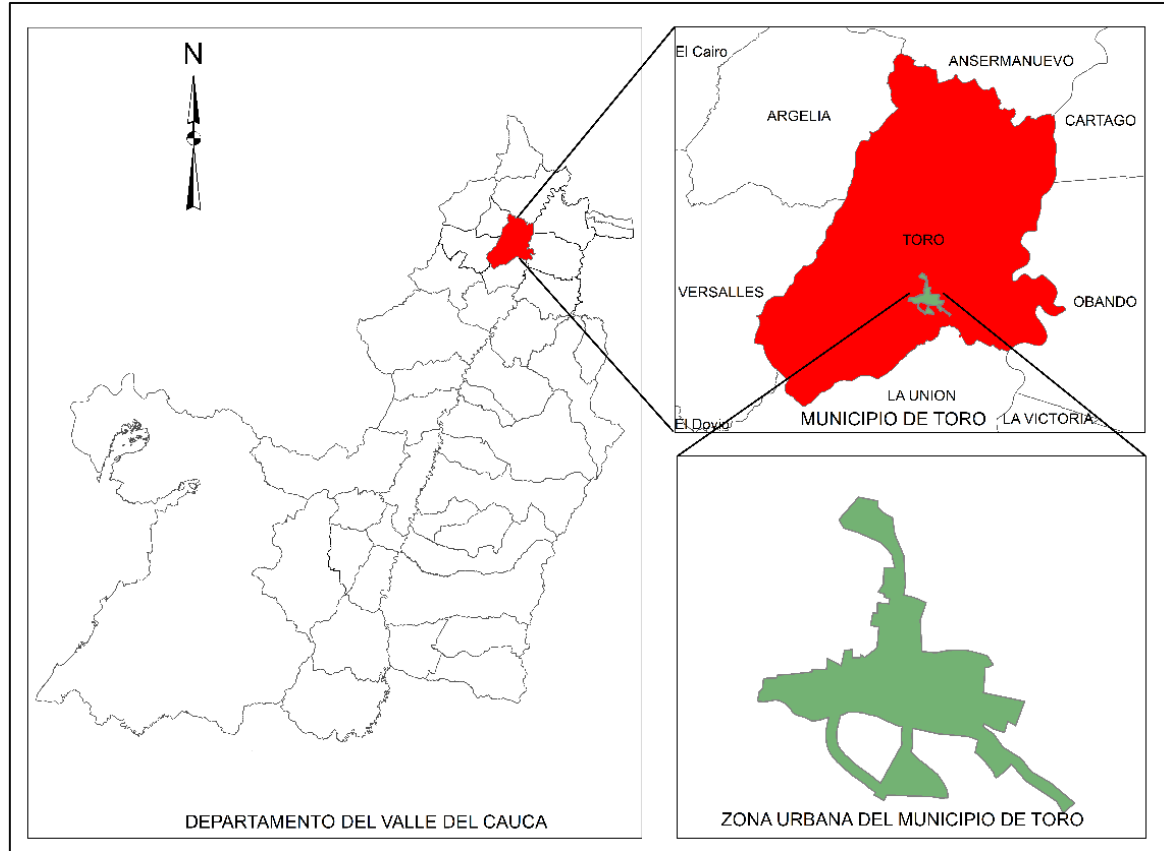


Figura 1.1. Localización de la zona urbana del Municipio de Toro, Departamento del Valle del Cauca

Fuente: elaboración propia

1.2.2. División Política Administrativa

En este apartado se encontrará la organización política y administrativa del territorio de Toro. El municipio presenta como divisiones administrativas tradicionales: al sector urbano delimitado por el perímetro urbano y al sector rural que está conformado por seis (6) corregimientos y veintitrés (23) veredas.

1.2.2.1. Zona Urbana

En el Esquema de Ordenamiento de Territorial (2000) del municipio de Toro, la cabecera urbana está compuesta de 9 barrios (Tabla 1.1).

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

| N° | BARRIOS |
|----|--------------------------|
| 1 | El Lázaro |
| 2 | Palermo |
| 3 | Santa Elena |
| 4 | Centro |
| 5 | San José |
| 6 | El Chanco |
| 7 | El Ballano |
| 8 | El Hobo |
| 9 | La Troncada Villa Pamela |

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

La Figura 1.2 presenta la distribución espacial de los barrios en la cabecera del municipio de Toro.

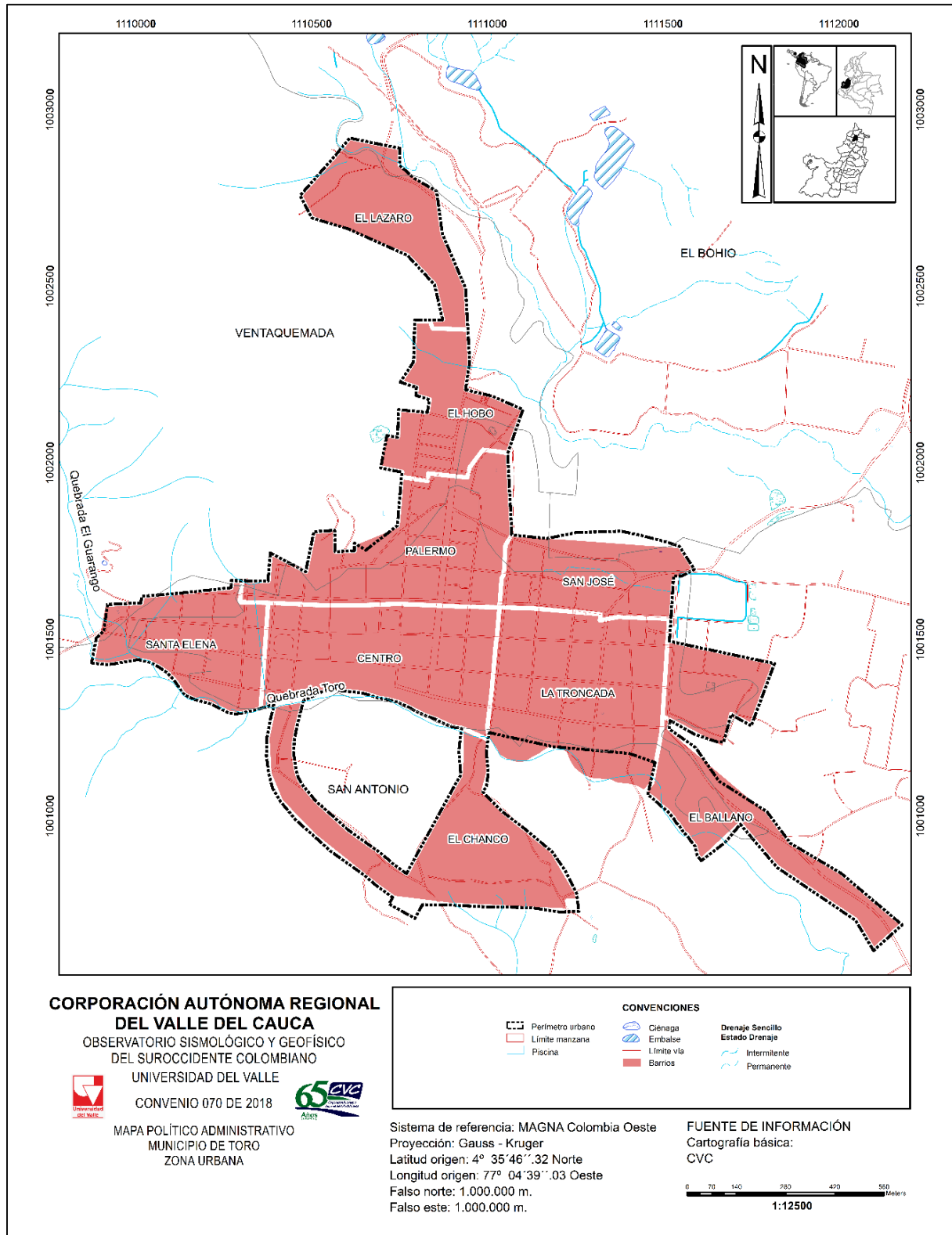


Figura 1.2. Mapa Político Administrativo, área urbana del Municipio de Toro
Fuente: elaboración propia con datos de la Secretaria de Planeación del Municipio de Toro, (2000)

1.2.2.2. Zona Rural

El municipio de Toro en su zona rural está conformado por seis (6) corregimientos que a su vez es integrado por veintitrés (23) veredas (Concejo Municipal Toro-EOT, 2000), como se muestra en la (Tabla 1.2).

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

| N° | CORREGIMIENTOS | VEREDAS |
|----|----------------|--|
| 1 | La Pradera | La Pradera Venta Quemada Buenavista El Roble |
| 2 | Ventaquemada | El Bosque La Quiebra Chontaduro Santa Elena La Consolida |
| 3 | El Cedro | El Cedro La Chica Sabanazo Patio Bonito La Robleda San José De Los Osos |
| 4 | San Antonio | San Antonio San Cayetana |
| 5 | Bohío | Bohío El Guachal San Francisco |
| 6 | San Francisco | El Guineo Pan De Azúcar Bolívar |

Fuente: elaboración propia con datos de la Secretaría de Planeación del Municipio de Toro, (2019)

En la Figura 1.3 se presenta la división política del área rural, de acuerdo a su distribución espacial de los corregimientos 12 corregimientos del municipio de Toro.

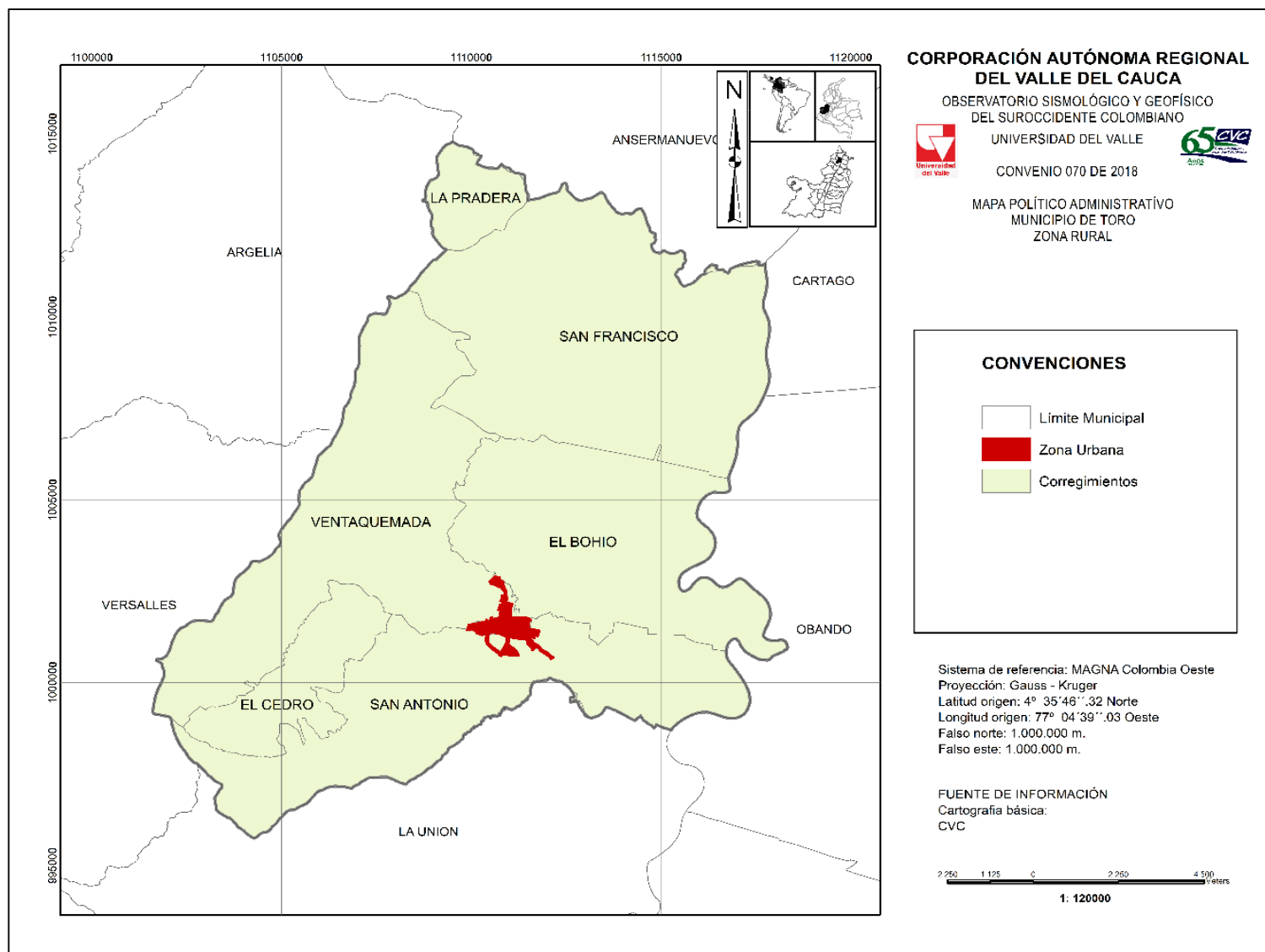


Figura 1.3. Mapa División política del área rural del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia con datos de la Secretaria de Planeación del Municipio de Toro, 2019

1.2.3. Demografía

El municipio de Toro tiene una población según las proyecciones del DANE (2005) para el año 2019 de 16.668 habitantes de los cuales 9.296 habitantes es población urbana y 7372 habitantes de la zona rural, siendo el 56 % localizados en área urbana y 44% es población rural lo que equivale al 100% (Figura 1.4).

La densidad de población de la zona urbana es de 47 habitantes/km², mientras que para la zona rural es de 37 habitantes/km² (Figura 1.5).

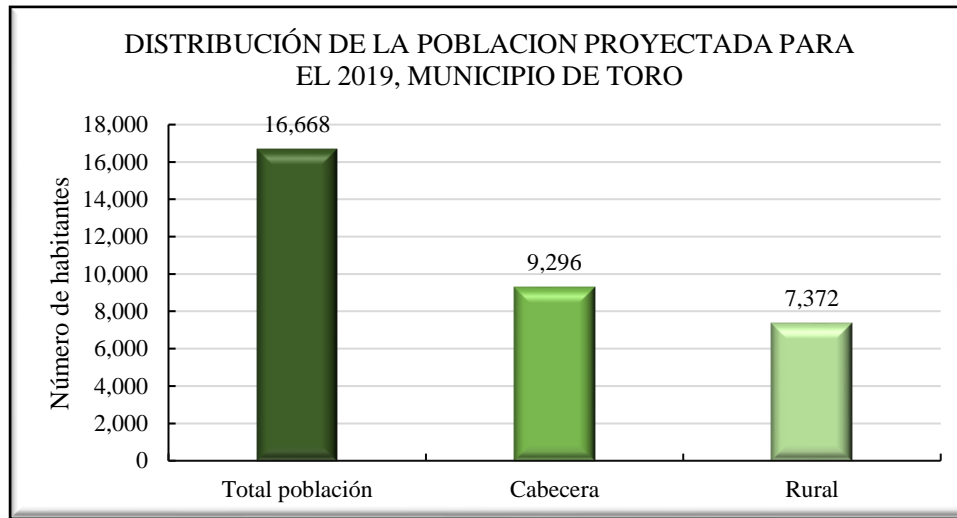


Figura 1.4. Distribución de Población del Municipio de Toro, proyección 2019
Fuente: elaboración propia con datos de DANE, 2005.

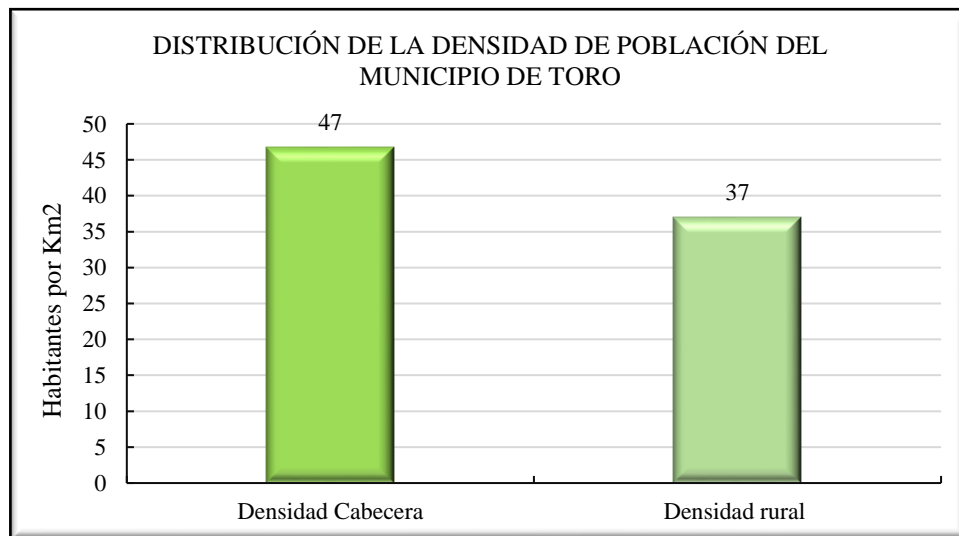


Figura 1.5. Densidad de Población del Municipio de Toro
Fuente: elaboración propia con datos de DANE 2005 y Secretaría de Planeación Municipal 2019.

1.2.4. Climatología

Para el municipio de Toro, la temperatura varía dependiendo de la unidad climática, a cada nivel altimétrico corresponde a una temperatura específica, la cual oscila entre 16°C y 25°C.

En el EOT (2000) desglosan 4 unidades climáticas conformadas de la siguiente manera:

- Cálido Moderado Húmedo: localizada por debajo de la cota 1.200 metros, comprende 386.3 Ha.
- Tierra Cálido Moderado Seco: con época seca muy marcada localizadas por debajo de la cota 1600 msnm, con temperaturas promedio de 24°C y precipitación promedio anual de 1.000 mm, en esta zona se localiza el casco urbano y los centros poblados de los Corregimientos de San Antonio, Bohío y San Francisco, que albergan el 65% de la población del municipio. Su uso actual se encuentra en cultivos semestrales, caña de azúcar, uva, entre otros frutales y pastos de ganadería extensiva. Comprende una extensión de 8184.9Ha.
- Tierra Medio Húmedo: localizada entre las cotas 1600 - 1800 msnm. aproximadamente, con temperatura promedio de 18°C y precipitación media anual mayor de 1300 mm, con poca población y dedicada exclusivamente a ganadería extensiva. Comprende una extensión de 3982.50 Ha.
- Tierras Frío Húmedo: por encima de la cota 1800 msnm., con temperatura media de 16°C y precipitaciones mayores a 1300 mm/año, dedicados al cultivo del café, plátano, lulo, granadilla. Comprende una extensión de 347.5 Ha (Concejo Municipal Toro-EOT, 2000).

1.2.5. Hidrología

La oferta hídrica del municipio de Toro se compone de aguas superficiales que tributan al río Cauca, los humedales que se forman en las partes bajas y las aguas subterráneas.

La red hidrográfica está comprendida por siete subcuentas de las quebradas El Negro, La Chica, La Grande, El Lázaro, San Francisco, El Idunque y la Pradera. En total las siete subcuencas la integran 37 Microcuencas, cubren un área de 11440 Ha., que representan el 65.37% del municipio, siendo complementada el área faltante por el Distrito de riego RUT (Concejo Municipal Toro-EOT, 2000).

La Figura 1.6, muestra de la red hídrica de la cabecera municipal, teniendo como principales el Quebrada Guarango, Quebrada Toro y Quebrada Lázaro.

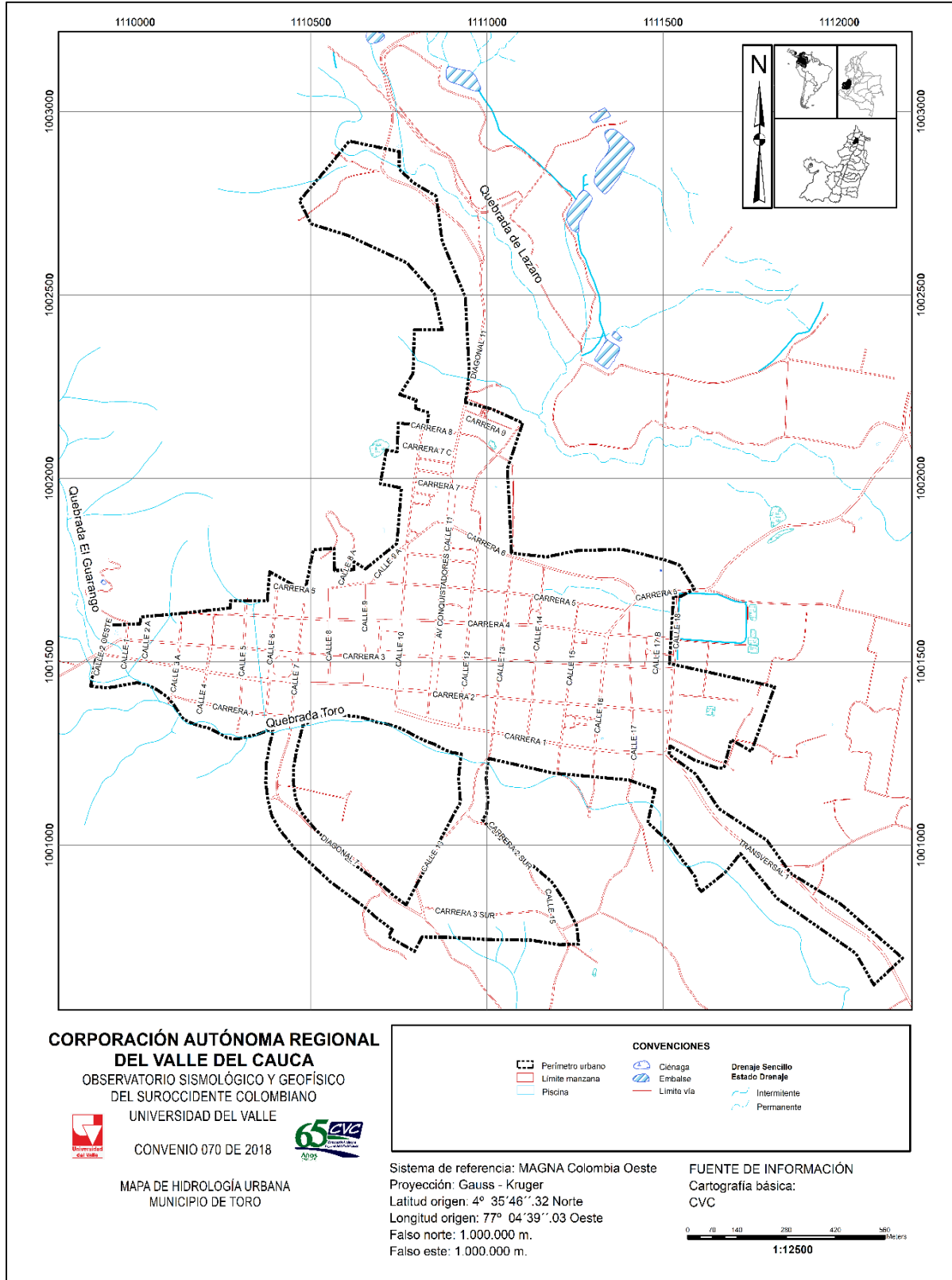


Figura 1.6. Redes de drenaje de la zona urbana del municipio de Toro
Fuente: elaboración propia con datos CVC (2019)

1.3. CONTEXTO FISIOGRAFICO DEL MUNICIPIO

El contexto fisiográfico en este apartado se describe la fisiografía y el relieve, así como la geología y la geomorfología del municipio de Toro.

1.3.1. Fisiografía y Relieve

El Plan de Gestión del Riesgo de Desastres del municipio de Toro (PMGRD) (2016), indica que, de acuerdo con la ubicación del municipio de Toro, en la vertiente oriental de la Cordillera Occidental y el valle del Río Cauca, presenta un relieve característico de zona plana del Valle Geográfico y zona de ladera con fases de fuertes pendientes. Con lo anterior se distinguen cinco (5) relieves fisiográficos, así:

- Zona Plana Valle Geográfico Río Cauca, Cubriendo un área de 4668.3 Ha. Que representa el 26.67% del territorio municipal.
- Zona de Piedemonte con relieve ligeramente plano, con pendiente de 0 - 3%, cubriendo un área de 185 Ha.
- Zona de Piedemonte con relieve ligeramente ondulado, con pendiente del 3% a 7%, cubriendo un área de 131.3 Ha.
- Zona Piedemonte de relieve fuertemente ondulado, con pendiente del 12% a 25%, cubriendo un área de 737.5 Ha.
- Zona de Ladera con relieve fuertemente quebrado a escarpado, con pendiente del 25% al 50% y mayores del 50%, cubriendo un área de 11777.4, que corresponde al 67.3 % de todo el territorio municipal (PMGRD, 2016)

1.3.2. Geología y Morfología

En el Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de Toro (2000), la geología y morfología es abordaba en dos puntos: litología y estructuras geológicas.

1.3.2.1. Litología

El municipio de Toro se encuentra entre la cordillera Occidental, en la vertiente Oriental y está conformado por rocas del Terciario, asociado al volcanismo. La parte plana pertenece al valle del Río Cauca.

En el municipio se encuentran tres formaciones litológicas:

- Formación Valle. Está compuesta por gravas del Cuaternario, en las cuales se pueden diferenciar los conos aluviales o abanicos y los depósitos coluviales. En la parte contigua al río Cauca se localizan los diques semilunares, rellenos de cauce y depósitos de pantano fluviales (Concejo Municipal Toro-EOT, 2000).
- Formación Popayán. Esta unidad está compuesta por tobas y aglomerados pertenecientes al Terciario, de origen piro clástico de erupciones volcánicas, de las cuales se pueden distinguir lapilli y cenizas volcánicas. Las cementaciones de estos materiales llegan a formar los aglomerados y tobas (...)

- Grupo Diabásico. Corresponde a rocas del Cretácico, compuestas por diabasas y propilitas (andesitas de origen volcánico), que en el proceso de meteorización se tornan de color verde parduzco al remplazarse la horblenda y biotita en clorita, calcita, esfenita y mena de hierro (Concejo Municipal Toro-EOT, 2000).

1.3.2.2. Estructuras Geológicas

El municipio de Toro, por su proximidad a la costa del pacifico y la convergencia entre placas tectónicas, presenta una alta sismicidad. Según el Municipio de Toro (2000) se presentan dos fallas geológicas bien definidas:

- Falla de Ventaquemada, que se localiza en la parte alta del Municipio sobre la cuchilla La Sierra, con buzamientos de foliación de 55° a 75° (PMGRD, 2016).
- Falla de Toro, que se localiza por la Quebrada La Chica, pasando por el casco urbano y finalizando en forma oculta en el Corregimiento de San Francisco (PMGRD, 2016).

Se presenta igualmente fallas localizadas en forma aproximada sobre las Quebradas La Grande y Buena vista y Zanjón El Negro (Concejo Municipal Toro- PMGRD, 2016).

1.3.2.3. Geomorfología

En el municipio de Toro, según el Plan Municipal de Gestión de Riesgo de Desastres (2016), las unidades geomorfológicas, se diferencian de acuerdo a dos procesos: el primero denominado de forma general origen del relieve que involucra de manera general la fisonomía (montaña, valle, colina) y el proceso externo mayor que lo origino, ya sea sedimentación, erosión, denudación deposición o mixto de cualquiera de los anteriores.

El segundo tiene que ver con la morfología específica o si es el caso con la posición dentro de dicha morfología.

De acuerdo con lo anterior en el municipio de Toro se presentan de manera general 3 unidades diferenciadas por su origen y forma general; tales son: Montañoso y Colinado Estructural, Montañoso y Colinado Denudacional, Depositional fluvial.

El relieve Montañoso y Colinado Estructural están conformado por laderas estructurales, crestas (también conocidas como pendientes y escarpes) y cuestas. El Montañoso y Colinado Denudacional están conformado por laderas erosiónales, lomeríos y colinas. El Depositional no glaciárico, corresponde al valle, en el que aparecen el valle aluvial reciente y pequeños valles coluviales (Concejo Municipal Toro- PMGRD, 2016).

La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, presenta la geología del municipio de Toro de acuerdo con la Plancha 223 de INGEOMINAS de 1984 hoy Servicio Geológico Colombiano SGC, el cual fue transformada al sistema de referencia Magna en el año 2013. En el que se muestra la simbología y respectiva descripción de las unidades crono estratigráficas, teniendo mayor representatividad la unidad Q-ca, que son abanicos aluviales y depósitos coluviales.

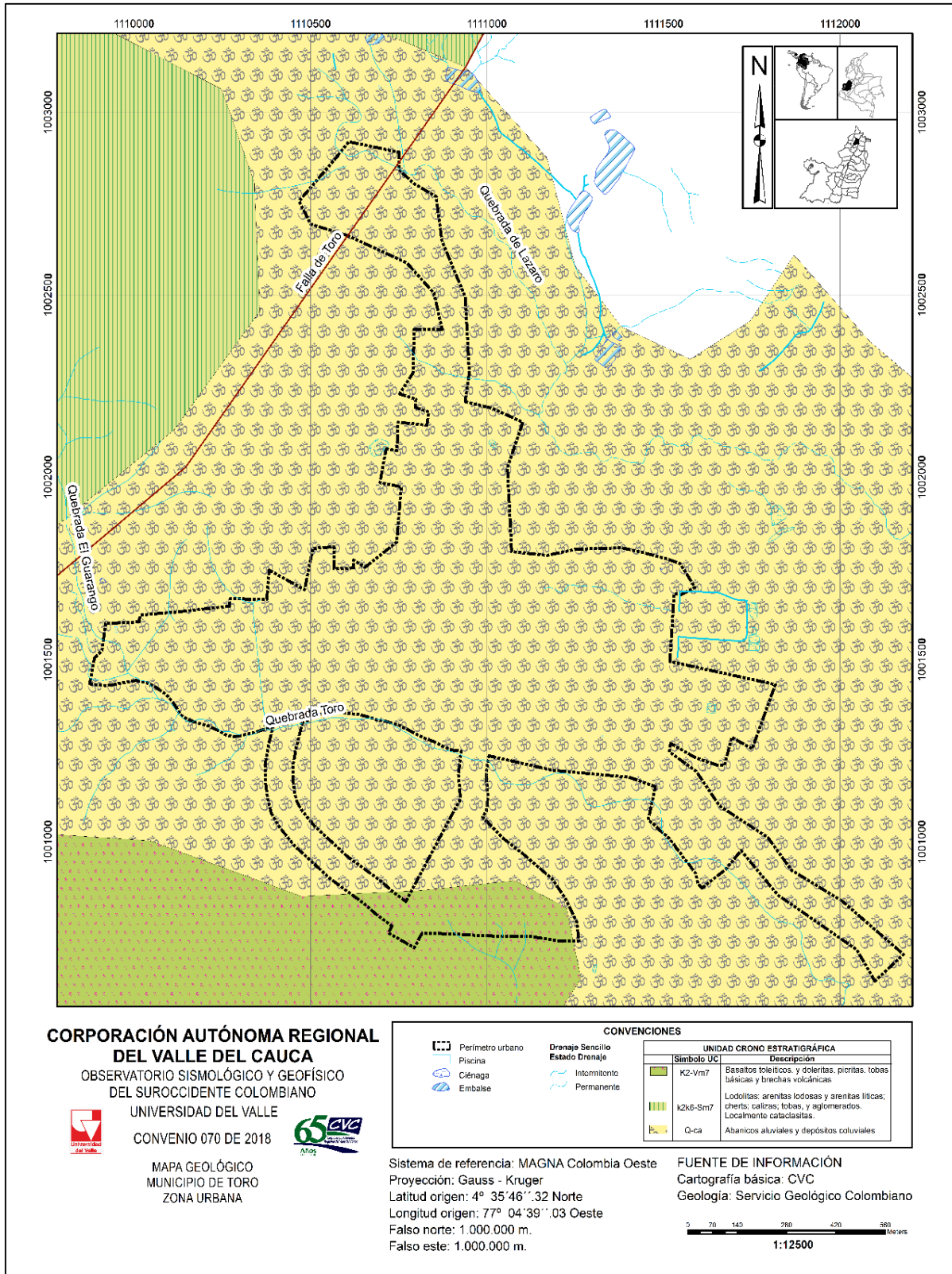


Figura 1.7. Mapa de Geología del área urbana del municipio de Toro
Fuente: elaboración con información del SGC, (1984)

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 al 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 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 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 Toro 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 Toro 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).

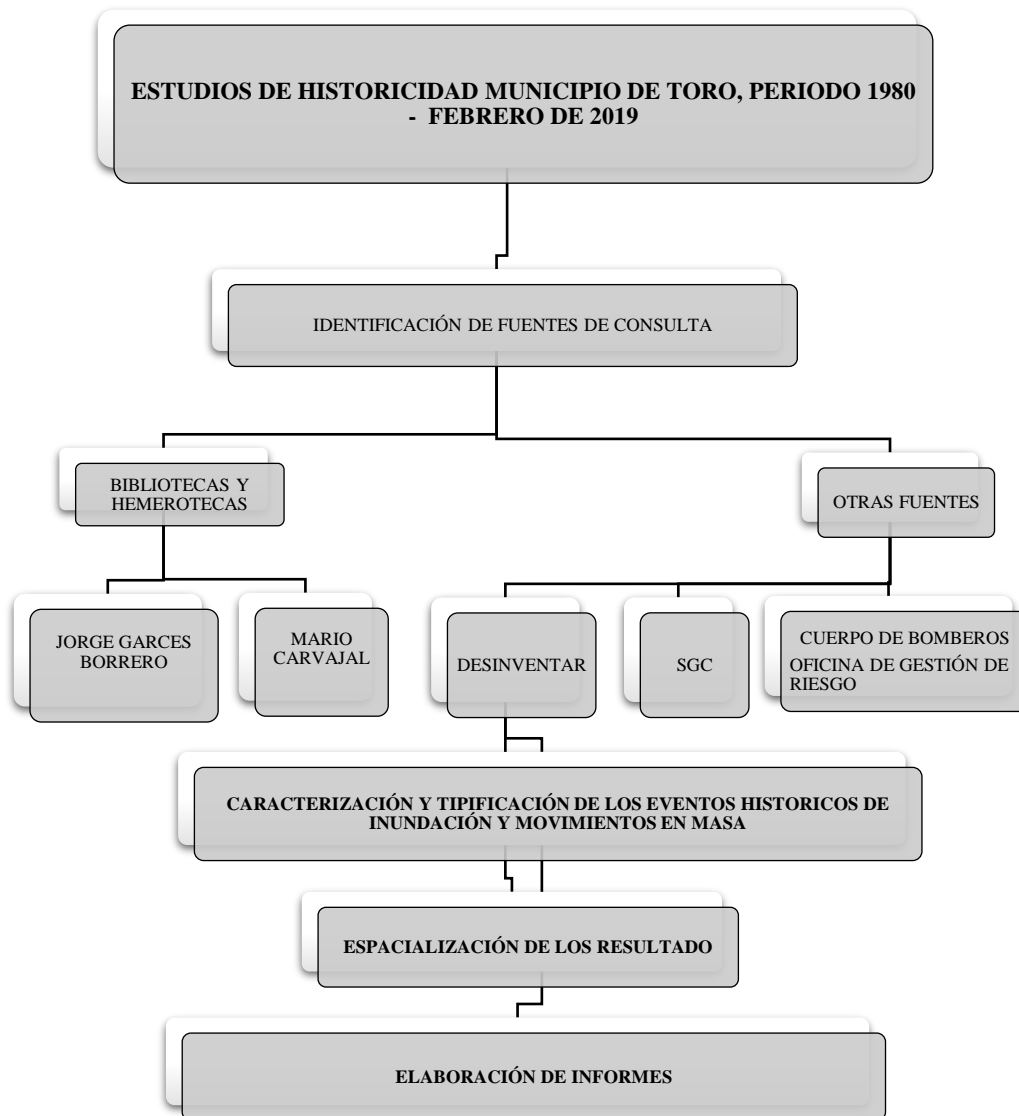


Figura 2.1. Flujograma del proceso metodológico estudios de historicidad.

Fuente: elaboración propia.

2.2.2. Espacialización de los Resultados de Historicidad

Para el municipio de Toro 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:

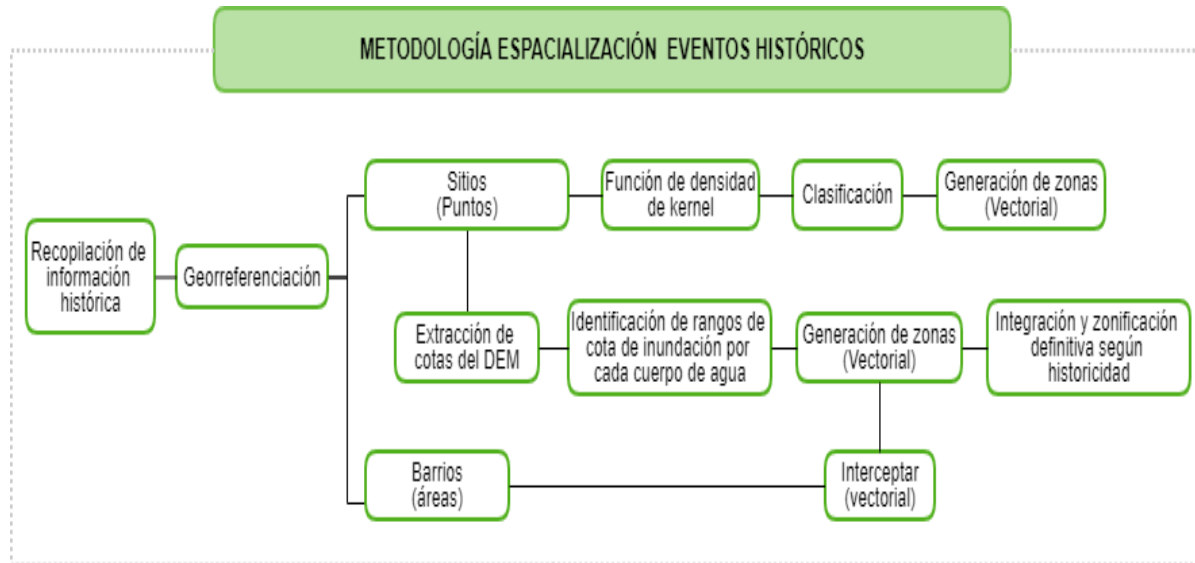


Figura 2.2. Esquema metodológico del procesamiento de los reportes

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)

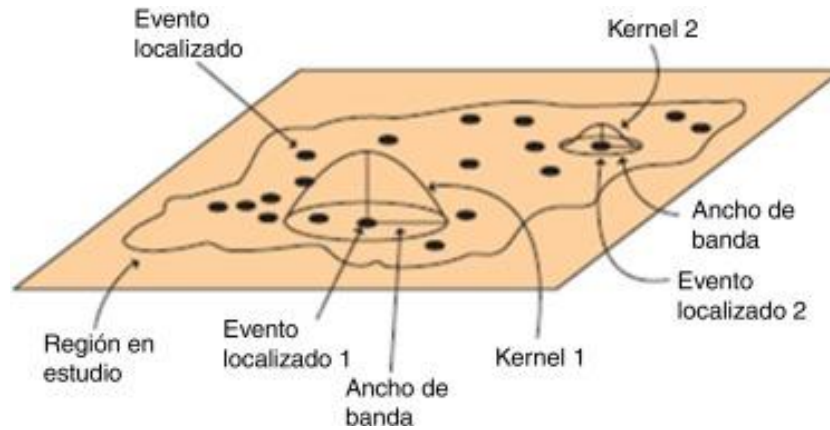


Figura 2.3. Función de densidad Kernel a diferentes anchos de banda

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).

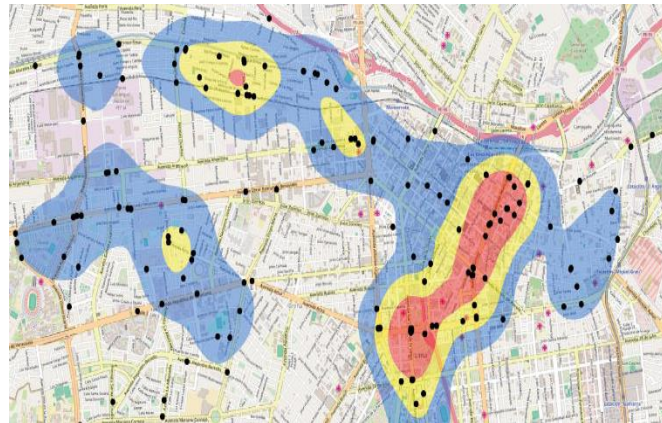


Figura 2.4. Clasificación de la densidad Kernel

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

2.2.2.2. Análisis a partir de la superficie del terreno

Para esto se debe extraer la elevación de cada punto de evento histórico. Posteriormente se debe identificar el valor mínimo y el máximo de elevación para estos puntos.

Es muy importante que para cada cuerpo de agua se evalúen por separado los eventos y sus cotas del punto de ubicación (Figura 2.5).

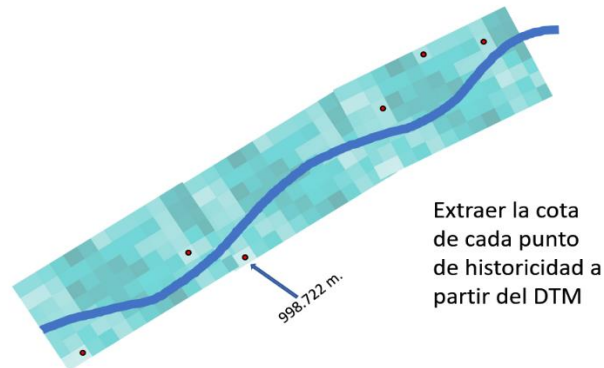


Figura 2.5. Clasificación de puntos según curvas de nivel

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 píxeles 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 a criterios topográficos.

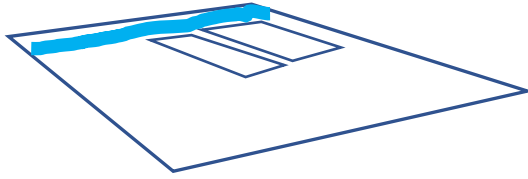
Estas áreas se deben analizar para su adición parcial o total a las áreas obtenidas por la función de densidad.

2.2.2.3. Espacialización de información histórica no puntual

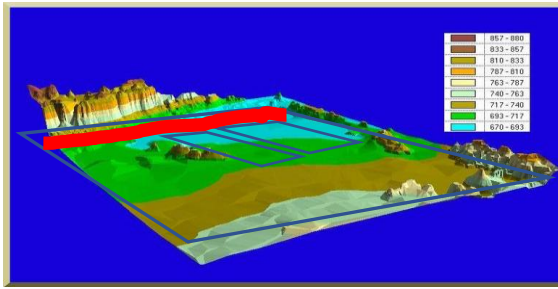
En algunos casos la información histórica no posee una localización específica, debido a que los eventos reportados no presentan una dirección puntual, sino que se hace referencia a todo barrio, un sector o una zona, con topología de área. En estos casos, con el fin de establecer un área de afectación 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, 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.

En la Figura 2.6 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

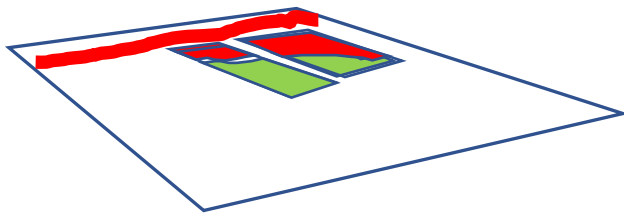


Figura 2.6. Espacialización de información histórica no puntual según curvas de nivel

Por último, se realiza un consolidado de los mapas de información puntual, no puntual y susceptibilidad histórica a inundación.

De la misma manera, la información histórica encontrada y procesada se socializó y validó con delegados de la administración municipal, el Consejo Municipal de Gestión del Riesgo de Desastre del municipio y la comunidad en el Taller se logró identificar y corroborar las zonas donde históricamente se han presentado afectaciones por inundaciones y movimientos en masa en el área urbana del municipio.

2.2.3. 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 Toro 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:

2.2.3.1. 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 siglos¹.

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 Secretarías de Gobierno de la Alcaldía de Toro, esta información fue suministrada por el archivo central de la alcaldía, el cual se encuentra desde el 2012-2016 los archivos de los reportes de la minutas de guardia del Cuerpo de Bomberos Voluntario de Toro localizados en sus instalaciones desde 1998 hasta febrero de 2019.

2.2.3.2. 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 Acuerdo del Esquema de Ordenamiento Territorial del año 2000 y el Plan Municipal de Gestión de Riesgo de Desastre 2016, siendo estos planes la mejor herramienta de planificación del municipio.

2.2.3.3. 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.

¹ <https://www.definicionabc.com/historia/archivo.php>

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

2.2.3.4. Bases de Datos

En la actualidad se disponen de inventarios de desastres no solo a escala global sino también a escala local y regional. Entre estas herramientas, accesibles encontramos el Sistema de Inventario de Efectos de Desastres (Desinventar) y EMDAT, las cuales presenta una base de datos pública, que dispone de inventarios de desastres y pérdidas causadas por los eventos en diferentes escalas, registrados por fecha, lugar y daños asociados a su ocurrencia, entre otros aspectos. Para Colombia, Desinventar dispone de inventarios históricos de pérdidas a nivel de municipios y departamentos y EMDAT dispone información a escala nacional.

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) | 1980-2018 | Base de Datos | -- | En línea http://www.desinventar.org/es/ |
| 2 | El País | -- | 1980-2018 | Periódico | -- | Hemeroteca de la Biblioteca Departamental de Santiago de Cali En Línea |
| 3 | EMDAT | -- | 1980-2018 | Base de Datos | -- | https://www.emdat.be/ |
| 4 | Reporte de Minutas | -- | | | -- | Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Toro |
| 5 | Formato para monitoreo, identificación y calificación de zonas de riesgo | CLOPAD | 2010-2013 | -- | -- | Archivo Central Alcaldía de Toro, Valle del Cauca. |
| 6 | Plan de Desarrollo Municipal | -- | 2016-2019 | -- | -- | Alcaldía de Toro, Valle del Cauca |
| 7 | Esquema de Ordenamiento Territorial. EOT del municipio de Toro | -- | 2001 y 2009 | -- | -- | Alcaldía de Toro, Valle del Cauca. |

| N° | NOMBRE DE LA FUENTE | AUTOR | AÑO | TIPOLOGÍA | N° PÁGINAS | LOCALIZACIÓN |
|----|---|-------|-----|-----------|------------|------------------------------------|
| 8 | Plan Municipal de Gestión del Riesgo 2016 | -- | | -- | -- | Alcaldía de Toro, Valle del Cauca. |

Fuente: elaboración propia

2.3. EVENTOS POR INUNDACIÓN

En esta sección se describe el resultado de la búsqueda documental realizada en las diferentes fuentes documentales descritas anteriormente, considerando los tipos de inundación 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 inundación 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 Toro se han identificado afectaciones por inundaciones, los cuales se describirán a continuación.

2.3.1. Reportes sobre eventos por inundación

Después de la búsqueda de información en diferentes fuentes, se encontró un total de **31 reportes** por inundaciones en la zona urbana del municipio de Toro que son relevantes para el periodo 1980 – julio 2019. En la Tabla 2.2 y Figura 2.7 se muestra el número de reportes de eventos de inundación y el número de veces por cada año que se han presentado y a partir de ella se realiza el histograma de eventos, destacándose el año 2017 con 4 reportes.

Tabla 2.2. Número de reportes sobre eventos de inundación en la zona urbana del Municipio de Toro, Valle del Cauca, en el periodo comprendido 1980- julio 2019

| AÑO | NÚMERO DE NOTICIAS | AÑO | NÚMERO DE NOTICIAS | AÑO | NÚMERO DE NOTICIAS |
|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|-----------------|--------------------|
| 1980 | 0 | 1993 | 0 | 2006 | 3 |
| 1981 | 0 | 1994 | 0 | 2007 | 3 |
| 1982 | 0 | 1995 | 0 | 2008 | 2 |
| 1983 | 0 | 1996 | 0 | 2009 | 2 |
| 1984 | 0 | 1997 | 0 | 2010 | 3 |
| 1985 | 0 | 1998 | 0 | 2011 | 0 |
| 1986 | 0 | 1999 | 1 | 2012 | 0 |
| 1987 | 0 | 2000 | 0 | 2013 | 0 |
| 1988 | 0 | 2001 | 1 | 2014 | 2 |
| 1989 | 0 | 2002 | 0 | 2015 | 2 |
| 1990 | 0 | 2003 | 2 | 2016 | 2 |
| 1991 | 0 | 2004 | 3 | 2017 | 4 |
| 1992 | 0 | 2005 | 1 | 2018 | 1 |
| | | | | 2019-abril | 1 |
| SUBTOTAL | 0 | SUBTOTAL | 8 | SUBTOTAL | 24 |
| Total | | | 32 | | |

Fuente: elaboración propia con datos recolectado en la búsqueda de información, 2019.

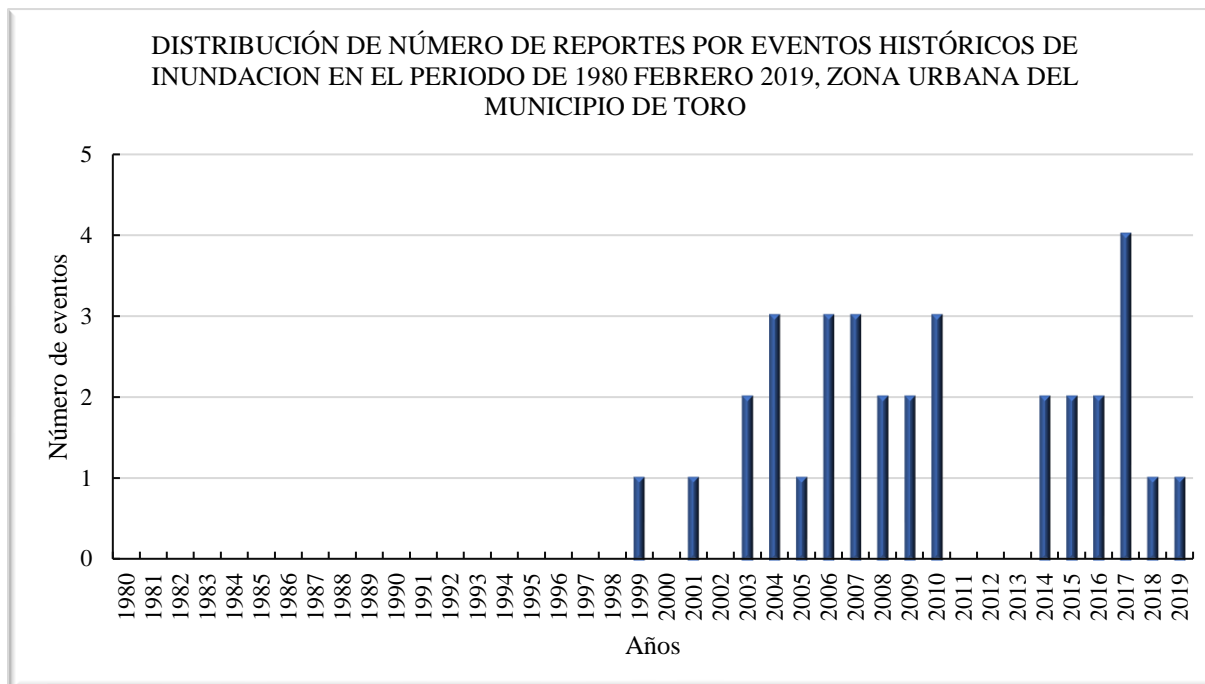


Figura 2.7. Distribución de número de reportes por eventos históricos de inundación en el periodo de 1980 -febrero 2109 la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia con datos recolectado en la búsqueda de información en campo, (2019).

La Tabla 2.3 y Figura 2.8 se puede observar el número de eventos por barrio de la zona urbana de Toro. Con 9 y 8 eventos de inundación respectivamente, Villa Pamela, Palermo, El Lázaro y San José, son los de mayor frecuencia. Con 3 y 4 eventos están los barrios El Chanco, El Hobo y Santa Elena.

Tabla 2.3. Número de eventos históricos de inundación por barrios en el área urbana del municipio de Toro

| BARRIOS | NÚMERO DE EVENTOS |
|--------------|-------------------|
| Centro | 2 |
| El Chanco | 3 |
| El Hobo | 3 |
| La Troncada | 1 |
| El Lázaro | 8 |
| Palermo | 10 |
| San José | 8 |
| Santa Elena | 4 |
| Villa Pamela | 10 |
| El Ballano | 0 |

Fuente: elaboración propia con datos recolectado en la búsqueda de información en campo, 2019.

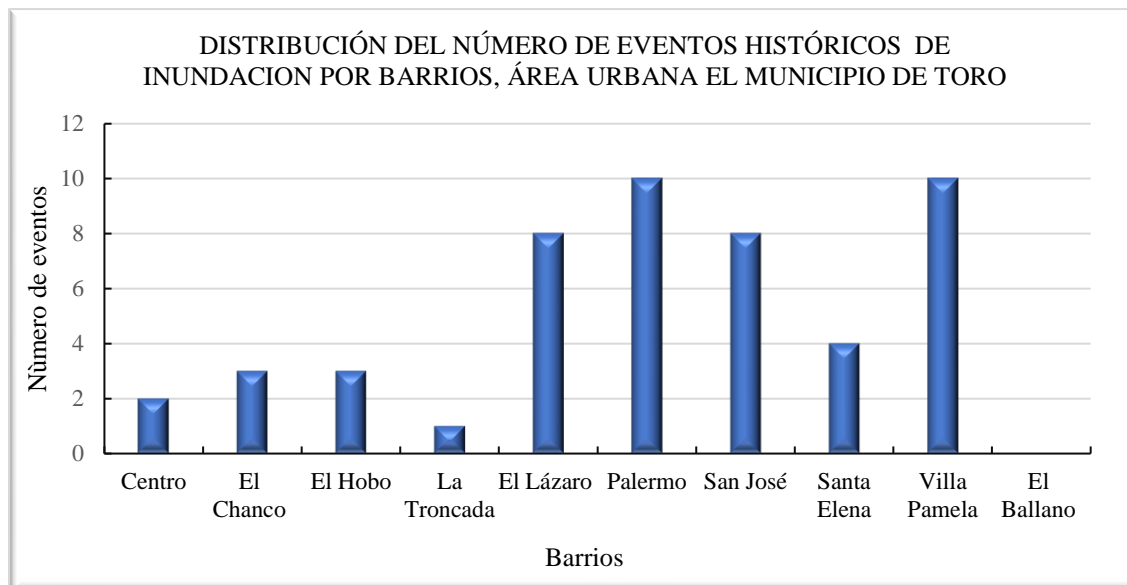


Figura 2.8. Distribución del número de eventos de inundación por barrios, área urbana el municipio de Toro

Fuente: elaboración propia con datos recolectado en la búsqueda de información en campo, 2019.

2.3.1.1. Descripción y tipificación de eventos de Inundación

A continuación, se relaciona los reportes asociadas 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.

2.3.1.1.1. Archivo del Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Toro

Inundación, 18 mayo 1999

Reporte de emergencia

Hora de llamada: 15:05

Lugar de la emergencia: Barrio San José

Dueño de la propiedad: Antonio Aguirre

Causa: inundación

Clase de construcción: ladrillo (Anexo Ficha I-1)

Inundación, 2 de junio del 2001

Reporte de emergencia

“Fecha: Junio- 2 - 2001

Hora de llamada: 16:40

Lugar de la emergencia: Cra 4ª frente al Colegio

Dueño de la propiedad: Amparo Parra

Causa: inundación

Clase de construcción: Bahareque

Desgracias personales Ninguna” (Anexo Ficha I-2)
Inundación, 14 de junio de 2003
Reporte de emergencia

“Fecha: 14-03-2003
Hora de llamada: 6:30
Lugar de la emergencia: Carrera 3 entre Calle 11 y 12.
Dueño de la propiedad: Jairo Henao
Causa: inundación
Clase de construcción: Vivienda de material
Desgracias personales: ninguna.
Observaciones generales: inundación se originó por déficit de alcantarillado.” (Anexo
Ficha I-3)

Inundación, 17 de junio 2003
Reporte de emergencia

“Fecha: 17-04-2003
Hora de llamada: 17:45
Lugar de la emergencia: Lázaro, parte baja
Dueño de la propiedad donde se originó: 6 casas con inundación leve
Causa: desbordamiento aguas lluvias
Clase de construcción: Calle inundada
Valor de la propiedad: no hubo pérdidas ni humanas ni materiales
Desgracias personales: ninguna.
Observaciones generales: varias casas inundadas altura máxima nivel rio 40 cm.”
(AnexoFicha I-4)

Inundación, 12 de mayo de 2004
Reporte de emergencia

“Fecha: 12-05-2004
Hora de llamada: 16:45
Lugar de la emergencia: Barrio El Lazaro
Dueño de la propiedad donde se originó: Varias casas inundadas (8)
Causa: inundación
Clase de construcción: Bahareque
Valor de la propiedad: no hubo pérdidas ni humanas ni materiales
Desgracias personales: ninguna.
Observaciones generales: se ahogó una vaca y un árbol caído.” (Anexo Ficha I-6)

Inundación, 20 de noviembre de 2004
Reporte de emergencia

“Fecha: 20 nov 2004
Hora de llamada: 4:45
Lugar de la emergencia: Barrio Lázaro
Dueño de la propiedad:

Causa: inundación
Clase de construcción: Bahareque
Observaciones generales: constatando que la inundación fue mínima.” (Anexo Ficha I-7)

Inundación, 22 de mayo de 2005
Reporte de emergencia

Fecha: 22 mayo 2005
Hora de llamada: 14:00
Lugar de la emergencia: Villa Lourdes
Dueño de la propiedad: María Eugenia
Causa: inundación
Clase de construcción: --
Observaciones generales: -- (Anexo Ficha I-8)

Inundación, 20 de marzo de 2006
Reporte de emergencia

Fecha: Marzo 20 de 2006
Hora de llamada: 16:50
Lugar de la emergencia: Calle 13 Barrio El Chanco
Dueño de la propiedad: Darío
Causa: inundación
Clase de construcción: Bahareque (Anexo Ficha I-9)
Desgracias personales: ninguna
Observaciones generales: --

Inundación, 2 de junio del 2006.
Reporte de emergencia

Fecha: 2 -06-2006
Hora de llamada: 18:10
Lugar de la emergencia: Barrio Palermo
Dueño de la propiedad: Yolanda Medina
Causa: inundación
Clase de construcción: material
Observaciones generales: se mojaron enseres

Lugar de la emergencia: Barrio Palermo
Dueño de la propiedad: --
Causa: inundación
Clase de construcción: material
Observaciones generales: se mojaron enseres

...

Fecha: 2-06-2006
Hora de llamada: 18:10
Lugar de la emergencia: Barrio Palermo

Dueño de la propiedad: Amanda Romero
Causa: inundación
Clase de construcción: material
Observaciones generales: enseres dañados
...

Fecha: 02-06-2006
Hora de llamada: 18:10
Lugar de la emergencia: Barrio Villa Pamela
Dueño de la propiedad: Estella Gutierrez
Causa: inundación
Clase de construcción: Material
Observaciones generales: enseres mojados
...
Reporte de emergencia

Fecha: 02-06-2006
Hora de llamada: 18:10
Lugar de la emergencia: Casa de la mujer
Dueño de la propiedad: --
Causa: inundación
Clase de construcción: material
Observaciones generales: enseres mojados (Anexo Ficha I-10)

Inundación, 7 de junio del 2006

Reporte de emergencia

“Fecha: 7 06- 2006
Hora de llamada: 14:10
Lugar de la emergencia: 30% perímetro y San Antonio
Causa: fuerte aguacero, inundaciones
Clase de construcción: --

Observaciones generales:”

Calle 11 # 81-01 Barrio “El Hobo” propietaria Margoth Valencia, habitan (7) personas se inundò toda la casa.

Cra 6 # 10-46 Barrio “El Palermo” habitan cuatro (4) adultos y una menor de edad se inundó hasta el patio debido a que se resume el agua por los sifones.

Cra 6 # 10-38 Barrio “El Palermo” habitan cinco (5) adultos y un menor se inundó toda la casa llegando a una longitud de 30m

Cra 5 con Calle 10 barrio Palermo, Amanda Romero, habitan cuatro (4) adultos y un menor se inundò toda la casa llegando a una longitud de 50m2.

Cra 4 #17-91 barrio “Villa Pamela” propietario Estella Gutierrez habitan tres (3) adultos y un menor se inundò toda la casa llegando a una longitud 60 m2.

Centro de Capacitación “Casa de la mujer y el joven” habitada por las señora Deisy Babadillo López habitan tres (3) adultos y menor se inundó toda la casa.

Corregimiento San Antonio, propietaria Luz Marina Toro Rios habitan tres (3) personas adultas se mojaron sus enseres y desvatò con el cultivo de Uva.

Cra 1 # 3-09 propietaria María Rosaura García se presentaron daños y pérdidas materiales como colchones y ropa.

Calle 12 # 1-05 propietaria Margot Blandón inundación de tipo leve no presenta daños ni perdidas.

Calle 13 (pasando la quebrada) esta casa fue evacuada un día antes.

Pág. siguiente

- Puente la 13 vía al Chanco
- Puente Calle 10 Concreto (particular)
- Desprendimiento Banca en San Antonio

“... Calle 16 con rio toro. -Inundación barrio Palermo por aguas de escorrentía por carencia de obras.” (Anexo Ficha I-11).

Inundación, 24 de julio de 2007

Reporte de emergencia

“Fecha: Julio -24- 2007

Hora de llamada: 3:30 am

Lugar de la emergencia: Villa Pamela y San José

Dueño de la propiedad: -

Causa: Fuerte aguacero – Inundación

Clase de construcción: -

Desgracias personales: -

Observaciones generales: poca capacidad de alcantarillado” (Anexo Ficha I-12).

Inundación, 7 de diciembre de 2012

Reporte de emergencia

“Fecha: diciembre 7 de 2007

Hora de llamada: 7:10

Lugar de la emergencia: B/ Villa Pamela

Dueño de la propiedad: -

Causa: inundación

Clase de construcción: -

Desgracias personales: -

Observaciones generales” (Anexo Ficha I-13).

Inundación, 13 de julio del 2008

“Reporte de emergencia

Fecha: Julio -13- 2008

Hora de llamada: 15:55 am

Lugar de la emergencia: Villa Pamela, Villa Lourdez, Villa Sandra, Avenida Los Conquistadores, San José y San Antonio.” (Anexo Ficha I-14).

Inundación, 18 de julio del 2008

Reporte de emergencia

“Fecha: Julio 18- 2008

Hora de llamada: 23:300 am

Lugar de la emergencia: Villa Pamela

Dueño de la propiedad: -

Causa: Fuerte aguacero – Inundación

Clase de construcción: Material

Desgracias personales: -

Observaciones generales: alcantarillado represado.” (Anexo Ficha I-15)

Inundación, 26 de agosto de 2007

Señora

Saray Lorena Segura Gómez

Secretario de Gobierno

La ciudad

Cordial Saludo,

Por medio de la presente me permito hacer llegar a su despacho, el presente reporte de emergencia por inundación de los diferentes sectores de nuestro municipio realizada por las unidades de Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Toro, Valle correspondiente al día domingo ventaseis (26) de agosto del 2007.

(...)

Barrio Villa Pamela

Casa No. 12

Propietario: Maria Celina Velez

(...)

Barrio Villa Pamela

Casa No 13

Propietario: María Odilia Valencia

Barrio Villa Pamela

Casa No 14.

Propietario: Carlos Quintero

Barrio Villa Pamela

Casa No 15

Propietario: German Benítez

Barrio La Cuerera

Casa no 16-74

Propietario: Bertha Cecilia Muñoz (Anexo Ficha I-16)

Inundación, 25 de febrero de 2009

Reporte de emergencia

“**Fecha:** febrero- 25- 2009

Hora de llamada: 16:20

Lugar de la emergencia: Villa Pamela

Dueño de la propiedad: -

Causa: Fuerte aguacero

Clase de construcción:

Avaluo perdidas: 4 casas inundadas

Desgracias personales: -

Observaciones generales: no hubo pérdidas de enseres.” (Anexo Ficha I-17)

Inundación, 1 de julio de 2009

Reporte de emergencia

“**Fecha:** Julio- 1- 2009

Hora de llamada: 18:10

Lugar de la emergencia: El Lázaros en la cola y calle 10

Dueño de la propiedad: -

Causa: Fuerte aguacero

Valor de propiedad: 8 casas inundadas

Desgracias personales: -

Observaciones generales: en la calle 10 las 3 casas inundadas” (Anexo Ficha I-18)

Inundación, 14 de abril del 2009

Reporte de emergencia

Fecha: Abril- 14- 2010

Hora de llamada: 8:20

Lugar de la emergencia: Carrera 17b # 3-16

Dueño de la propiedad: María Ofelia Vélez

Causa: inundación desconocida

Clase de construcción: material

Desgracias personales: -

Observaciones generales: -- (Anexo Ficha I-19)

Inundación, 25 de junio del 2014

Reporte de emergencia

Fecha: Junio-25-2014

Hora de llamada: 15:40

Lugar de la emergencia: Chanco 2 casas, Carrera 3 # 13-76, patio sifón insuficiente

Dueño de la propiedad: Aura Rendón

Causa: fuerte aguacero

Clase de construcción: material

Desgracias personales: -

Observaciones generales: las casas inundadas fueron por abundante agua.” (Anexo Ficha I-22)

Inundación, 3 de abril del 2015. Inundación

Reporte de emergencia

“Fecha: Abril- 3- 2015

Hora de llamada: 19:10

Lugar de la emergencia: Corregimiento El Bohio

Dueño de la propiedad: Marlene Mosquera Bedoya

Causa: tubo de desagüe aguas lluvias

Valor de la propiedad: peligro de inundación de esta residencia Calle 1 # 107

Desgracias personales: -

Observaciones generales: rasparon carretera con aguacero se tapó desagüe.” (Anexo Ficha I-24).

Inundación, 20 de abril del 2015. Inundación

Reporte de emergencia

Fecha: Abril- 20- 2015

Hora de llamada: 17:30

Lugar de la emergencia: Calle 1 con Cra 2

Dueño de la propiedad: -

Causa: Desbordamiento del zanjón El Guarango

Clase de construcción: material

Desgracias personales: -

Observaciones generales: se sacó basura y el agua siguió su cauce. (Anexo Ficha I-25).

Inundación, 9 de mayo del 2016. Inundación

Reporte de emergencia

“**Fecha:** Mayo-9-2016

Hora de llamada: 17:20

Lugar de la emergencia: Barrio San José

Dueño de la propiedad: 2 casas (...)

Causa: fuerte aguacero

(..) María de los ángeles, cra 6 #14-59

Ademar Zapata Cra 6 #16-21

Desgracias personales: -

Observaciones generales: se les mojó el piso, pero no hubo pérdidas.” (Anexo Ficha I-26)

Inundación, 2 de junio del 2016. Inundación

Reporte de emergencia

“Fecha: Junio-02-2016

Hora de llamada: 17:35

Lugar de la emergencia: Carrera 4 – Casa de la Mujer y El Joven

Dueño de la propiedad: municipio

Causa: inundación

Desgracias personales: -

Observaciones generales: llovió y el alcantarillado estaba obstruido.” (Anexo Ficha I-27)

Inundación, 8 de abril del 2017, Inundación.

Reporte de emergencia

Fecha: Abril -8- 2017

Hora de llamada: 17:00

Lugar de la emergencia: Calle 10 #5-90

Clase de alarma:

Otros: inundación 3 casas

(...)

Dirección de Teresa Cra 3 # 2-59 barrio Santa Elena, Teresa Pérez perdió 2 cerdos pequeños un tv y una lavadora.

Gilberto Sánchez, 3 colchones y 2 armarios, al sr Alberto Tapaso no se le perdió nada, únicamente se le mojó el piso. (Anexo Ficha I-28)

Inundación, 4 de mayo del 2017

Reporte de emergencia

| | | | | | | | |
|------------|------------|-------|-------|-------|-----------------|---------|--------------------------|
| Inundación | 04/05/2017 | 16+20 | 17+05 | Cra 6 | Fuertes Lluvias | Movil 4 | Bro Juan Guillermo Lopez |
|------------|------------|-------|-------|-------|-----------------|---------|--------------------------|

(Anexo Ficha I-29)

Inundación, 8 de mayo de 2017

Reporte de emergencia

| | | | | | | | |
|------------|------------|-------|-------|-----------------|-----------------|-------------|-------------------------|
| Inundación | 08/05/2017 | 17+00 | 18+40 | Calle 10 # 5-90 | Fuertes Lluvias | Movil 3 y 4 | Subtte Evaristo Alvarez |
|------------|------------|-------|-------|-----------------|-----------------|-------------|-------------------------|

(Anexo Ficha I-30)

Inundación, 9 de mayo de 2017

Reporte de emergencia

| | | | | | | | |
|------------|------------|-------|-------|-------------|-----------------|-------------|--------------------------|
| Inundación | 09/05/2017 | 16+40 | 18+40 | Cra 3 #2-59 | Fuertes Lluvias | Movil 3 y 4 | Bro Juan Guillermo Lopez |
|------------|------------|-------|-------|-------------|-----------------|-------------|--------------------------|

(Anexo Ficha I-31)

2.3.1.1.2. Base de datos DESINVENTAR

Inundación, 27 de julio de 2010

“Repesamiento de Aguas Lluvias. Afectaciones en los barrios San Antonio, El Lázaro, San José.” (Anexo Ficha I-20).

Inundación, 7 de noviembre de 2010

“Inundación por lluvias fuertes. Afectaciones en 8 viviendas en los barrios Lázaro y El Chanco.” (Anexo Ficha I-21)

Inundación, 14 de octubre de 2010

“Vendaval, causó inundación en 2 barrios y veredas del municipio. Afectaciones en los barrios El Lázaro, El Chanco.” (Anexo Ficha I-23).

2.3.1.1.3. Archivo de la Oficina de Gestión del Riesgo

Inundación, 2 de abril del 2019

“INFORME GENERAL DE LOS DAÑOS CAUSADOS EN LA ZONA RURAL DEL MUNICIPIO DE TORO VALLE, POR LA TEMPORADA DE LLUVIAS

(...)

EN LA CABECERA MUNICIPAL.

VIVENDAS: Afectadas una (1) vivienda por deslizamiento progresivo de lodos- familia Rojas Cardona, barrio El Lázaro; Tres (3) viviendas presentaron daños estructurales– familia Acevedo Tobón, en el barrio El Lázaro, familia Bedoya Piedrahita barrio La Troncada y familia González barrio El chanco.

También se presentó la caída dos (2) árboles sobre el cauce del río Toro, donde la Defensa Civil, hizo el trozado y extracción, quedando dos (2) árboles de especie chimangos en riesgo de derribe, por lo que se hace necesario realizar la tala.

AGUAS LLUVIAS: Se presentan con frecuencias inundaciones en algunos sectores residenciales del casco urbano, por carencia de la red de conducción de aguas lluvias, requiriéndose la construcción de la red pluvial (urbanización Villa Pamela) (Anexo Ficha I-32).

La Tabla 2.4, se presenta la tipificación de cada uno de los eventos históricos por inundación, que afectaron en la zona urbana del municipio de Toro en el periodo de 1980- febrero-2019. Donde 24 eventos históricos son de carácter pluvial, 7 no presentan dato y 1 solo evento fue de carácter pluvial.

Tabla 2.4. Tipificación de los reportes de eventos por inundación en la zona urbana del municipio de Toro

| FECHA DEL REPORTE DEL EVENTO | FLUVIAL | PLUVIAL | NO HAY DATO |
|------------------------------|---------|---------|-------------|
| 18/05/1999 | | | X |
| 02/06/2001 | | | X |
| 14/03/2003 | | X | |
| 17/04/2003 | | X | |
| 12/05/2004 | | X | |
| 2/06/2004 | | X | |
| 20/11/2004 | | X | |
| 22/05/2005 | | | X |
| 02/6/2006 | | X | |
| 20/03/2006 | | | X |
| 07/06/2006 | | X | |
| 24/07/2007 | | X | |
| 07/12/2007 | | | X |
| 13/07/2008 | | X | |
| 18/07/2008 | | X | |
| 26/08/2007 | | X | |
| 25/02/2009 | | X | |
| 01/07/2009 | | X | |
| 14/04/2010 | | | X |
| 27/07/2010 | | X | |

| FECHA DEL REPORTE DEL EVENTO | FLUVIAL | PLUVIAL | NO HAY DATO |
|------------------------------|---------|---------|-------------|
| 07/11/2010 | | X | |
| 25/06/2014 | | X | |
| 14/10/2014 | | X | |
| 03/04/2015 | | X | |
| 20/04/2015 | X | | |
| 09/05/2016 | | X | |
| 02/06/2016 | | X | |
| 08/04/2017 | | | X |
| 04/05/2017 | | X | |
| 08/05/2017 | | X | |
| 09/05/2017 | | X | |
| 02/04/2019 | | X | |

Fuente: elaboración propia

2.3.1.2. Mapas de inundaciones históricas del municipio de Toro periodo 1980- febrero 2019

Para la elaboración cartográfica de los mapas de inundaciones históricas en el área urbana del municipio de Toro, en el procesamiento de los datos encontrados en las diferentes fuentes de información, el primer mapa es por barrios, el segundo es por reportes puntuales (direcciones), y el tercer mapa es el análisis a partir de la superficie de terreno, lo que permite observar la susceptibilidad histórica de inundación por barrios sin que se asocie un lugar específico.

La Figura 2.9, se espacializa la historicidad por barrios, una vez obtenida la frecuencia por barrios se categoriza y se obtuvo, que los barrios San José, El Lázaro, Palermo y Villa Pamela son los barrios con mayor frecuencia histórica de inundaciones. En categoría media están los barrios El Chanco y Santa Elena. Y con baja frecuencia El Hobo, Centro y La Troncada.

Los reportes históricos puntuales de inundaciones, se obtuvo mayores reportes en la Calle 10 con Calle 10 con Carreras 5 y 6, y Calle 11 con Carrera 4. Algunos de estos reportes puntuales están ligados con el Box Culvert que inicia en la Calle 10 con Calle 6 y termina Calle 17 con Carrera 5, en esta última dirección, dicho Box Culvert, pasa a canal en cemento y luego a dos tubos de cemento de 20', formando un embudo, lo que no permite el curso de las aguas (Figura 2.10).

La susceptibilidad histórica inundación por barrios, se realizó debido a la existencia reportes históricos que no eran puntuales en esos barrios, y de acuerdo a su topografía, se determina que área de ese barrio es más susceptible a inundarse.

Los barrios San José, La Troncada y Villa Pamela, según su topografía, tienen una alta susceptibilidad a inundación. El Barrio Palermo, comparte áreas de alta y media susceptibilidad a inundaciones. El Hobo y el Lázaro, presenta susceptibilidad baja y media. El barrio Santa Elena, presenta áreas susceptibles nula, baja y media, esta última categoría para el barrio el Hobo. El Chanco, áreas con susceptibilidad alta por la Carrera 2 sur y límites con el barrio El Centro, y susceptibilidad baja a inundación. El Centro, presenta áreas históricas con susceptibilidad media a inundación (Figura 2.11).

En la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, muestra la información la unión de los eventos puntuales y de barrios en el área urbana del municipio de Toro

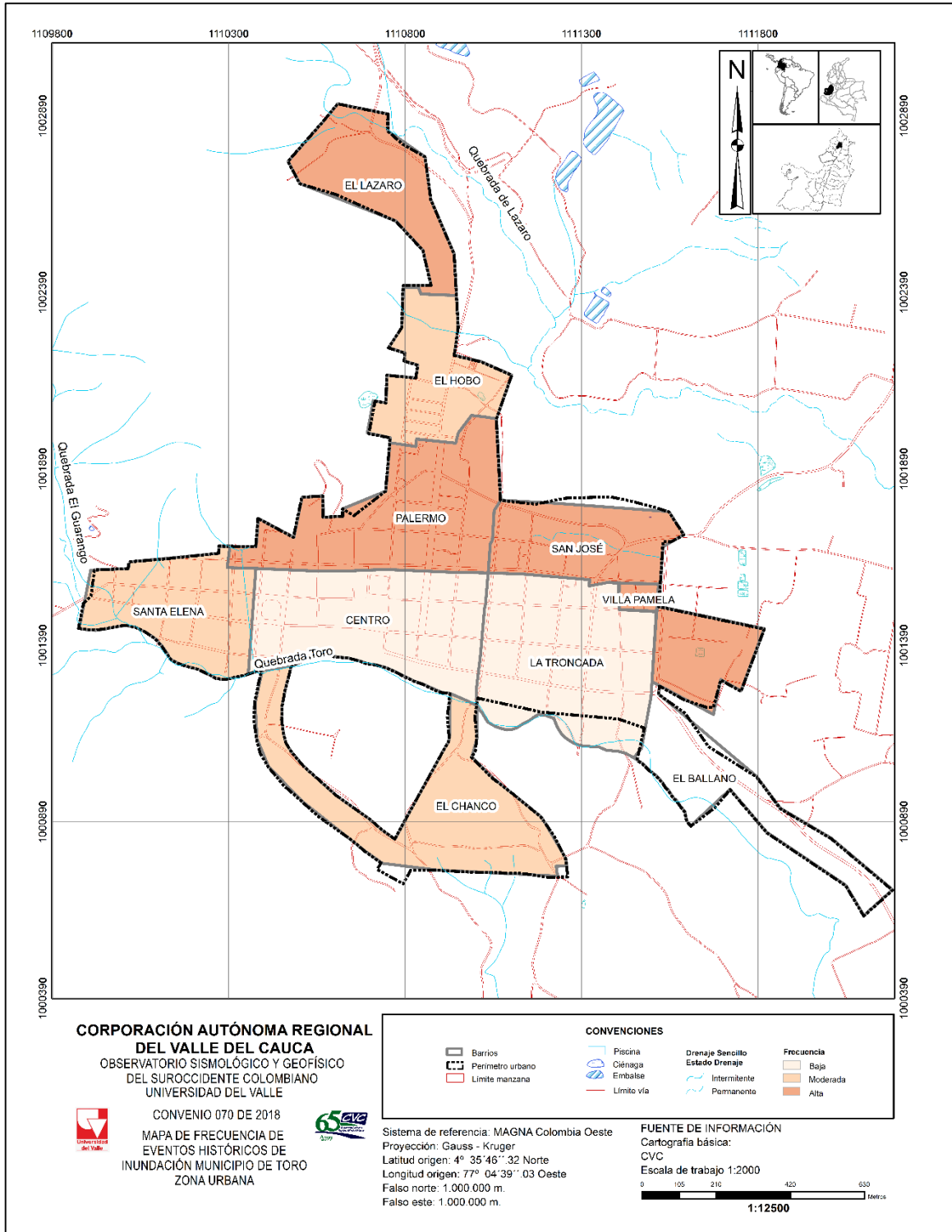


Figura 2.9. Mapa de frecuencia de eventos de inundación registrados en los barrios de la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia con información recolectada en campo, (2019).

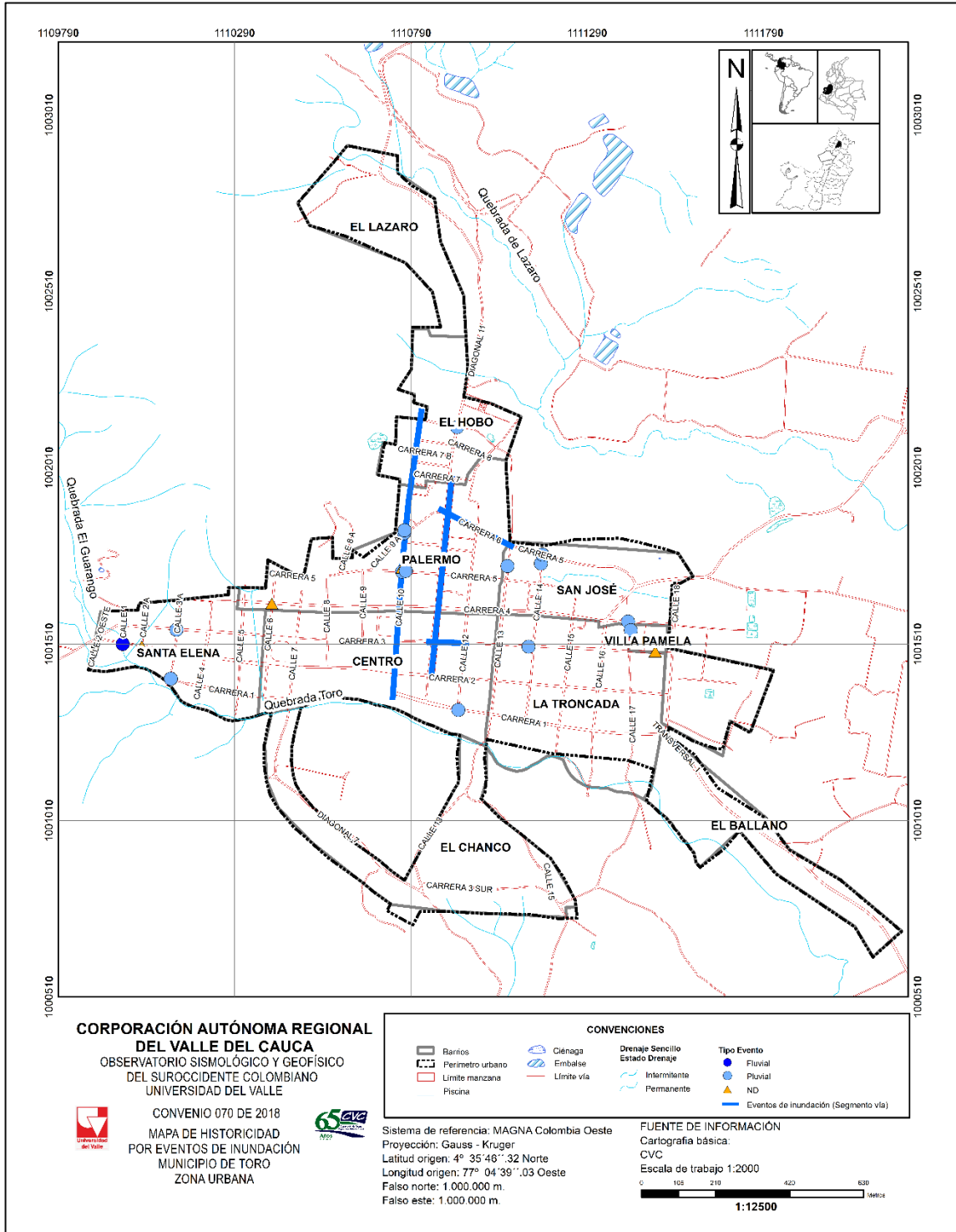


Figura 2.10. Mapa de historicidad por eventos puntuales de inundación, zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia con información recolectada en campo, (2019)

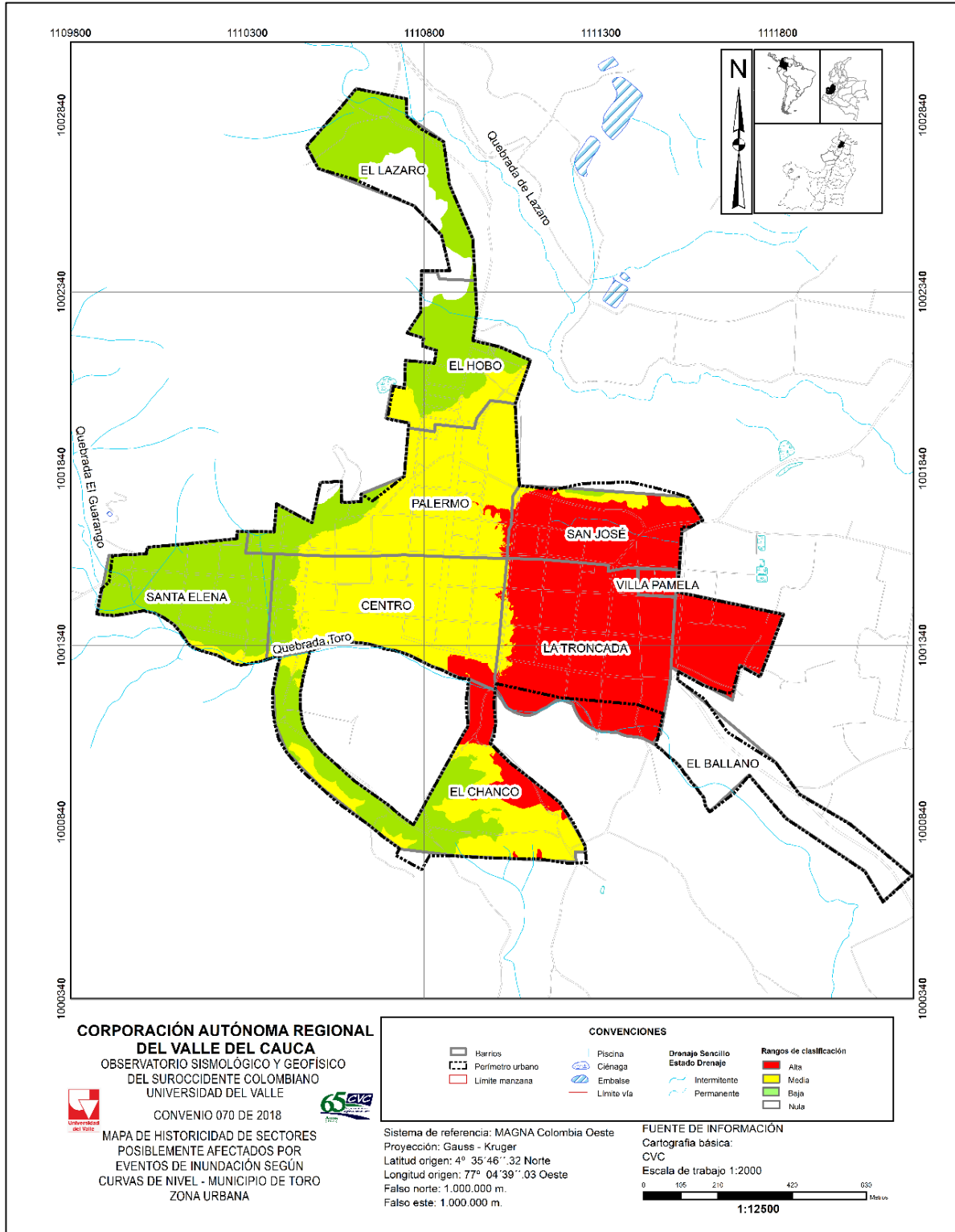


Figura 2.11. Mapa de historicidad de sectores posiblemente afectados por eventos de inundación según curvas de nivel, zona urbana del municipio de Toro
Fuente: elaboración propia con información recolectada en campo, (2019)

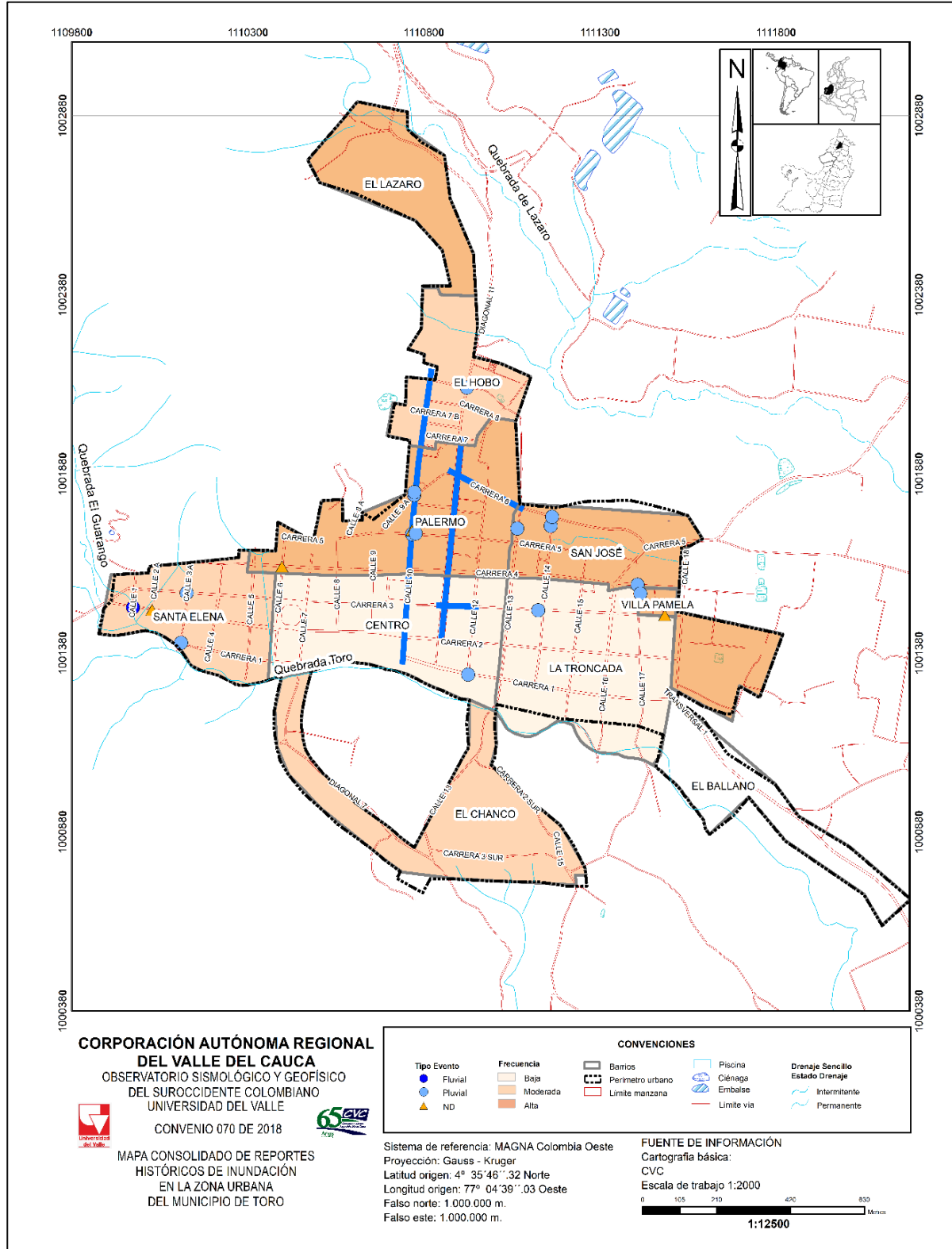


Figura 2.12. Mapa consolidado reportes históricos de inundación, área urbana municipio de Toro

Fuente: elaboración propia con información recolectada en campo, (2019)

2.3.1.3. Inventario general de reportes por eventos históricos de inundaciones de la zona urbana del municipio de Toro periodo 1980 hasta febrero de 2019

En la Tabla 2.5, se presenta el inventario general de los eventos históricos de inundaciones en la zona urbana del municipio de Toro, el periodo 1980 hasta febrero 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 2.5. Inventario de inundaciones en el municipio de Toro durante el periodo 1980 hasta julio de 2019

| ID | FECHA DEL EVENTO | AFLUENTE | TIPO DE INUNDACIÓN | LOCALIZACIÓN | | | CAUSA | AFECTACIONES | | | | OBSERVACIONES | TIPO DE INFORMACIÓN | LOCALIZACIÓN DE INFORMACIÓN |
|------|------------------|----------|--------------------|--------------|-------------------------|--------------------------------|-------------|--------------|-----------------|---------------------|------------------|---|---------------------|---------------------------------------|
| | DÍA/MES/AÑO | | | URBANA | BARRIO | DIRECCIÓN | | N° VIVIENDAS | N° DAMNIFICADAS | PERDIDAS ECONÓMICAS | OTROS | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| I-1 | 18/05/1999 | ND | | X | San José | ND | ND | 1 | ND | ND | ND | Reporte de inundación en una vivienda, tipo de material ladrillo | Archivo de Minuta | Cuerpo de Bombero Voluntarios de Toro |
| I-2 | 2/06/2001 | ND | | X | ND | Carrera 4a frente al Colegio | ND | 1 | ND | ND | ND | ND | Archivo de Minuta | Cuerpo de Bombero Voluntarios de Toro |
| I-3 | 14/03/2003 | ND | | x | ND | Carrera 3 entre Calle 11 y 12. | Lluvias | 1 | ND | ND | ND | Inundación, vivienda de material. | Archivo de Minuta | Cuerpo de Bombero Voluntarios de Toro |
| I-4 | 17/04/2003 | ND | Fluvial | x | Lázaro parte baja | ND | Lluvias | 6 | ND | ND | Calles inundadas | 6 casas inundadas y una calle, por desbordamiento de aguas lluvias, no hubo pérdidas humanas ni materiales. | Archivo de Minuta | Cuerpo de Bombero Voluntarios de Toro |
| I-5 | 12/05/2004 | ND | Fluvial | X | El Lázaro | ND | Lluvias | 8 | ND | ND | Una vaca muerta | 8 casas inundadas, un árbol caído y una vaca pereció. | Archivo de Minuta | Cuerpo de Bombero Voluntarios de Toro |
| I-6 | 2/06/2004 | ND | Fluvial | x | Palermo | ND | Lluvias | 1 | ND | ND | ND | Inundación, se mojaron enseres | Archivo de Minuta | Cuerpo de Bombero Voluntarios de Toro |
| I-7 | 20/11/2004 | ND | Fluvial | X | El Lázaro | ND | ND | 1 | ND | ND | ND | Inundación mínima de la vivienda. | Archivo de Minuta | Cuerpo de Bombero Voluntarios de Toro |
| I-8 | 22/05/2005 | ND | Fluvial | X | El Hobo (Villa Lourdes) | ND | Desconocida | 1 | ND | ND | ND | Inundación. | Archivo de Minuta | Cuerpo de Bombero Voluntarios de Toro |
| I-9 | 20/03/2006 | ND | | x | El Chanco | ND | ND | 1 | ND | ND | ND | Inundación, vivienda de bahareque | Archivo de Minuta | Cuerpo de Bombero Voluntarios de Toro |
| I-10 | 02/06/2006 | ND | Fluvial | X | Palermo, Villa Pamela | Casa de la Mujer | ND | 3 | ND | ND | ND | Inundación en viviendas no E reporta la causa | Archivo de Minuta | Cuerpo de Bombero Voluntarios de Toro |

| ID | FECHA DEL EVENTO | AFLUENTE | TIPO DE INUNDACIÓN | LOCALIZACIÓN | | | CAUSA | AFECTACIONES | | | | OBSERVACIONES | TIPO DE INFORMACIÓN | LOCALIZACIÓN DE INFORMACIÓN |
|------|------------------|----------|--------------------|--------------|--|---|---------|--------------|-----------------|---------------------|-------|--|---------------------|---------------------------------------|
| | DÍA/MES/AÑO | | | URBANA | BARRIO | DIRECCIÓN | | N° VIVIENDAS | N° DAMNIFICADAS | PERDIDAS ECONÓMICAS | OTROS | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| I-11 | 7/06/2006 | ND | Fluvial | x | El Hobo, Palermo, La Villa Pamela | Calle 11 # 81-01 ; Carrea 6 # 10-46 ; Carrera 6 # 10-38 ; Carrera 5 con Calle 10 ; Cra 4 #17-91 ; Carrera 1 # 3-09 ; Calle 12 # 1-05 ; Calle 13 (pasando la quebrada) | Lluvias | 9 | ND | ND | ND | Inundaciones en 3 barrios del casco urbano y en el corregimiento de San Antonio, desprendimiento de la banca vía al Chanco | Archivo de Minuta | Cuerpo de Bombero Voluntarios de Toro |
| I-12 | 24/07/2007 | ND | Pluvial | x | Villa Pamela, San José | ND | Lluvias | ND | ND | ND | ND | Poca capacidad del alcantarillado causó la inundación | Archivo de Minuta | Cuerpo de Bombero Voluntarios de Toro |
| I-13 | 7/12/2007 | ND | Pluvial | X | Villa Pamela | ND | ND | 1 | ND | ND | ND | L | Archivo de Minuta | Cuerpo de Bombero Voluntarios de Toro |
| I-14 | 13/07/2008 | ND | Fluvial | x | La Troncada Villa Pamela El Hobo, Avenida Los Conquistadores, San José | Calle 11 entre Carrera 2 y 7 | Lluvias | ND | ND | ND | ND | Inundación en 4 barrios del municipio y el corregimiento San Antonio. | Archivo de Minuta | Cuerpo de Bombero Voluntarios de Toro |
| I-15 | 18/07/2008 | ND | Pluvial | x | Villa Pamela | ND | Lluvias | 1 | ND | ND | ND | Inundación por represamiento de alcantarillado | Archivo de Minuta | Cuerpo de Bombero Voluntarios de Toro |
| I-16 | 26/08/2008 | ND | Pluvial | x | Villa Pamela San José (La Cuerera) | ND | Lluvias | 5 | ND | ND | ND | Inundación en 5 viviendas de Villa Pamela y 1 en la Cuerera | Archivo de Minuta | Cuerpo de Bombero Voluntarios de Toro |
| I-17 | 25/02/2009 | ND | Pluvial | x | La Troncada Villa Pamela | ND | Lluvias | 4 | ND | ND | ND | Fuerte aguacero, 4 viviendas afectadas. Sin pérdida de enseres | Archivo de Minuta | Cuerpo de Bombero Voluntarios de Toro |
| I-19 | 1/07/2009 | ND | Fluvial | X | Lázaro parte baja | Calle 10 | Lluvias | 8 | ND | ND | ND | Fuerte aguacero, 8 viviendas afectadas | Archivo de Minuta | Cuerpo de Bombero Voluntarios de Toro |
| I-19 | 14/04/2010 | ND | | x | ND | Carrera 17b # 3-16 | ND | 1 | ND | ND | ND | Inundación desconocida | Archivo de Minuta | Cuerpo de Bombero Voluntarios de Toro |

| ID | FECHA DEL EVENTO | AFLUENTE | TIPO DE INUNDACIÓN | LOCALIZACIÓN | | | CAUSA | AFECTACIONES | | | | OBSERVACIONES | TIPO DE INFORMACIÓN | LOCALIZACIÓN DE INFORMACIÓN |
|------|------------------|--------------------|--------------------|--------------|----------------------|---|----------------|--------------|-----------------|---------------------|---------------------|---|---------------------|---------------------------------------|
| | DÍA/MES/AÑO | | | URBANA | BARRIO | DIRECCIÓN | | N° VIVIENDAS | N° DAMNIFICADAS | PERDIDAS ECONÓMICAS | OTROS | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| I-20 | 27/07/2010 | ND | Fluvial | x | El Lázaro, San José | ND | Lluvias | ND | ND | ND | ND | REPRESAMIENTO DE AGUAS LLUVIAS. REPORTE DEL CREPAD. | Base de Datos | DESINVENTAR (2019) |
| I-21 | 7/11/2010 | ND | Fluvial | ND | El Chanco, El Lázaro | ND | Lluvias | ND | ND | ND | ND | Inundación por lluvias fuertes | Base de Datos | DESINVENTAR (2019) |
| I-22 | 25/06/2014 | ND | | x | El Chanco | Carrera 3 # 13-76 | Lluvias | 2 | ND | ND | ND | Las casas inundadas por sifón de patio insuficiente debido al fuerte aguacero | Archivo de Minuta | Cuerpo de Bombero Voluntarios de Toro |
| I-23 | 14/10/2014 | ND | Fluvial | ND | El Chanco, El Lázaro | ND | Lluvias | ND | ND | ND | ND | Vendaval, causó inundación en 2 barrios y veredas del municipio. | Base de Datos | DESINVENTAR (2019) |
| I-24 | 3/04/2015 | ND | | ND | ND | Calle 1 # 107 | Lluvias | 1 | ND | ND | ND | rasparon carretera con aguacero se tapó desagüe | Archivo de Minuta | Cuerpo de Bombero Voluntarios de Toro |
| I-25 | 20/04/2015 | Zanjón El Guarango | | x | ND | Calle 1 con Cra 2 | Desbordamiento | ND | ND | ND | ND | Se sacó basura del zanjón y éste siguió su cauce | Archivo de Minuta | Cuerpo de Bombero Voluntarios de Toro |
| I-26 | 9/05/2016 | ND | Pluvial | X | San José | Cra 6 #14-59 ; Cra 6 #16-21 | Lluvias | 2 | ND | ND | ND | Fuerte aguacero inundó dos casas. | Archivo de Minuta | Cuerpo de Bombero Voluntarios de Toro |
| I-27 | 2/06/2016 | ND | | X | ND | Carrera 4, Casa de la mujer y el joven. | Lluvias | ND | ND | ND | ND | llovió y el alcantarillado estaba obstruido | Archivo de Minuta | Cuerpo de Bombero Voluntarios de Toro |
| I-28 | 8/04/2017 | ND | Pluvial | X | San Elena | Calle 10 #5-90 ; Cra 3 # 2-59 | ND | 3 | ND | ND | Pérdidas de Enseres | Inundación en 3 casas, causa desconocida | Archivo de Minuta | Cuerpo de Bombero Voluntarios de Toro |
| I-29 | 4/05/2017 | ND | | ND | ND | Carrera 6 | Lluvias | ND | ND | ND | ND | Fuertes lluvias | Archivo de Minuta | Cuerpo de Bombero Voluntarios de Toro |
| I-30 | 8/05/2017 | ND | | x | ND | Calle 10 #5-90 | Lluvias | 1 | ND | ND | ND | Fuertes lluvias | Archivo de Minuta | Cuerpo de Bombero Voluntarios de Toro |
| I-31 | 9/05/2017 | ND | | x | ND | Cra 3 #2-59 | Lluvias | 1 | ND | ND | ND | Fuertes lluvias | Archivo de Minuta | Cuerpo de Bombero |

| ID | FECHA DEL EVENTO | AFLUENTE | TIPO DE INUNDACIÓN | LOCALIZACIÓN | | | CAUSA | AFECTACIONES | | | | OBSERVACIONES | TIPO DE INFORMACIÓN | LOCALIZACIÓN DE INFORMACIÓN |
|------|------------------|----------|--------------------|--------------|--------------|-----------|---------|--------------|-----------------|---------------------|-------|---|--|-----------------------------|
| | DÍA/MES/AÑO | | | URBANA | BARRIO | DIRECCIÓN | | N° VIVIENDAS | N° DAMNIFICADAS | PERDIDAS ECONÓMICAS | OTROS | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| | | | | | | | | | | | | | | Voluntarios de Toro |
| I-32 | 02/04/2019 | ND | Pluvial | X | Villa Pamela | ND | Lluvias | ND | ND | ND | ND | Se presentan con frecuencias inundaciones en algunos sectores residenciales del casco urbano, por carencia de la red de conducción de aguas lluvias, requiriéndose la construcción de la red pluvial (urbanización Villa Pamela). | Acta de Alcaldía Temporada Invernal primer semestre 2019 | Alcaldía de Toro, 2019 |

Fuente: elaboración propia

2.4. 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 Toro se han identificado afectaciones por movimiento en masa, los cuales se describirán a continuación.

2.4.1. Reporte sobre eventos por Movimiento en Masa

Los eventos históricos de movimiento en masa en el municipio de Toro, para el casco urbano registrados durante el periodo de 1980 – febrero de 2019, han sido escasos, tan solo se cuentan con 2 registros, el primero con fecha encontrado en el Archivo de Minutas del Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Toro y el segundo ocurrido el 24 de abril del presente año, teniendo como fuente el informe la Oficina de Gestión del Riesgo del municipio de Toro (Tabla 2.6).

Tabla 2.6. Número de reportes sobre eventos de movimientos en masa en la zona urbana del Municipio de Toro, Valle del Cauca, en el periodo comprendido 1980- febrero 2019

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

Fuente: elaboración propia

En la **Tabla 2.7** y Figura 2.13, se puede observar el número de eventos por barrio de la zona urbana de Toro. Teniendo afectaciones históricas solo en los barrios el Centro, La Troncada y El Lázaro.

Tabla 2.7 Número de eventos por barrio en el área urbana del municipio de Toro

| BARRIOS | NÚMERO DE EVENTOS |
|--------------|-------------------|
| Centro | 0 |
| El Chanco | 1 |
| El Hobo | 0 |
| La Troncada | 1 |
| El Lázaro | 1 |
| Palermo | 0 |
| San José | 0 |
| Santa Elena | 0 |
| Villa Pamela | 0 |
| El Ballano | 0 |

Fuente: elaboración propia con datos recolectado en la búsqueda de información en campo, 2019

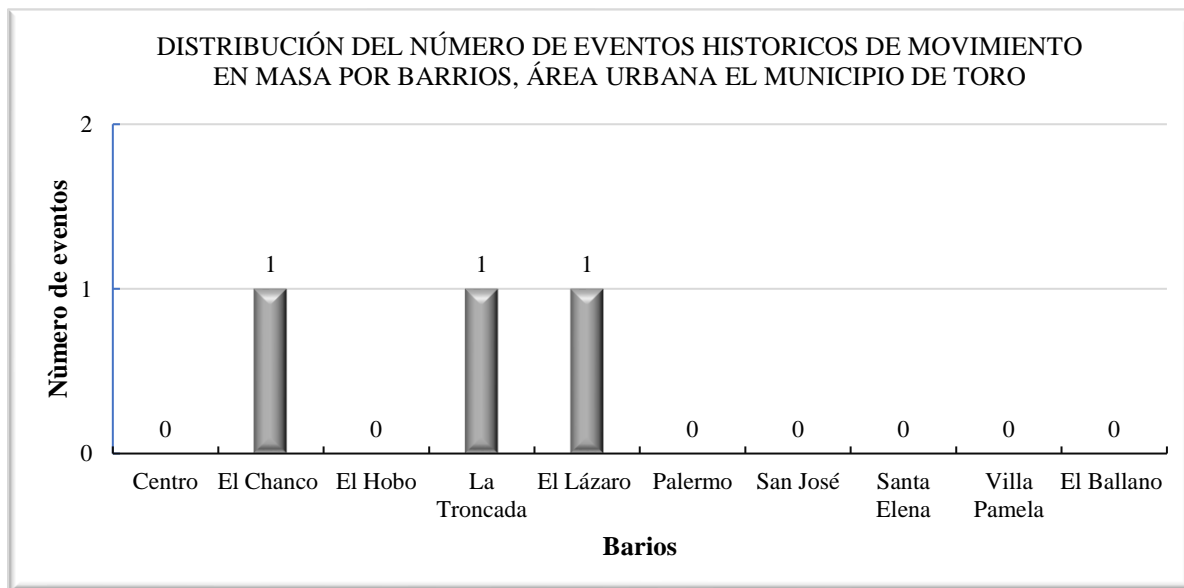


Figura 2.13. Distribución del número de eventos históricos de movimiento en masa por barrios, área urbana el municipio de Toro

2.4.1.1. Descripción y tipificación de eventos de movimientos en masa

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

2.4.1.1.1. Archivo del Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Toro

20 de marzo, movimiento en masa

Reporte de emergencia

Fecha: 03-20-2002

Hora de llamada: 13:00

Día: miércoles
Lugar de la emergencia: Barrio El Chanco
Dueño de la propiedad:
Causa: Deslizamiento de Tierra
Clase de construcción:
Desgracias personales: 2 muertos
Observaciones: las personas estaban guaqueando (Anexo Ficha MM-1)

2.4.1.1.2. Archivo Oficina de Gestión de Riesgo

2 de abril de 2019, Movimiento en Masa

INFORME GENERAL DE LOS DAÑOS CAUSADOS EN LA ZONA RURAL DEL MUNICIPIO DE TORO VALLE, POR LA TEMPORADA DE LLUVIAS

EN LA CABECERA MUNICIPAL.

VIVENDAS: Afectadas una (1) vivienda por deslizamiento progresivo de lodos- familia Rojas Cardona, barrio El Lázaro; Tres (3) viviendas presentaron daños estructurales— familia Acevedo Tobón, en el barrio El Lázaro, familia Bedoya Piedrahita barrio La Troncada y familia González barrio El chanco.

También se presentó la caída dos (2) árboles sobre el cauce del rio Toro, donde la Defensa Civil, hizo el trozado y extracción, quedando dos (2) árboles de especie chimangos en riesgo de derribe, por lo que se hace necesario realizar la tala.

AGUAS LLUVIAS: Se presentan con frecuencias inundaciones en algunos sectores residenciales del casco urbano, por carencia de la red de conducción de aguas lluvias, requiriéndose la construcción de la red pluvial (urbanización Villa Pamela) (Anexo Ficha MM-2)

2.4.1.2. Mapas históricos de movimiento en masa del municipio de Toro periodo 1980 hasta julio de 2019

La Figura 2.14, representa espacialmente los eventos de movimiento en masa que se han generado en la zona urbana del municipio de Toro.

Según los reportes, los eventos están localizados en los barrios el Chanco, El Lázaro y La Troncada. Igualmente, la salida de campo, permitió visualizar la susceptibilidad de algunas casas emplazadas en el talud de la ladera del área urbana. Igualmente, las posibles afectaciones por deslizamientos están en las casas ubicadas en la Carrera 4 entre Calles 4 y 5, las cuales están ubicadas al pie del cerro, las personas cortaron parte del cerro en vertical para ampliar sus casas.

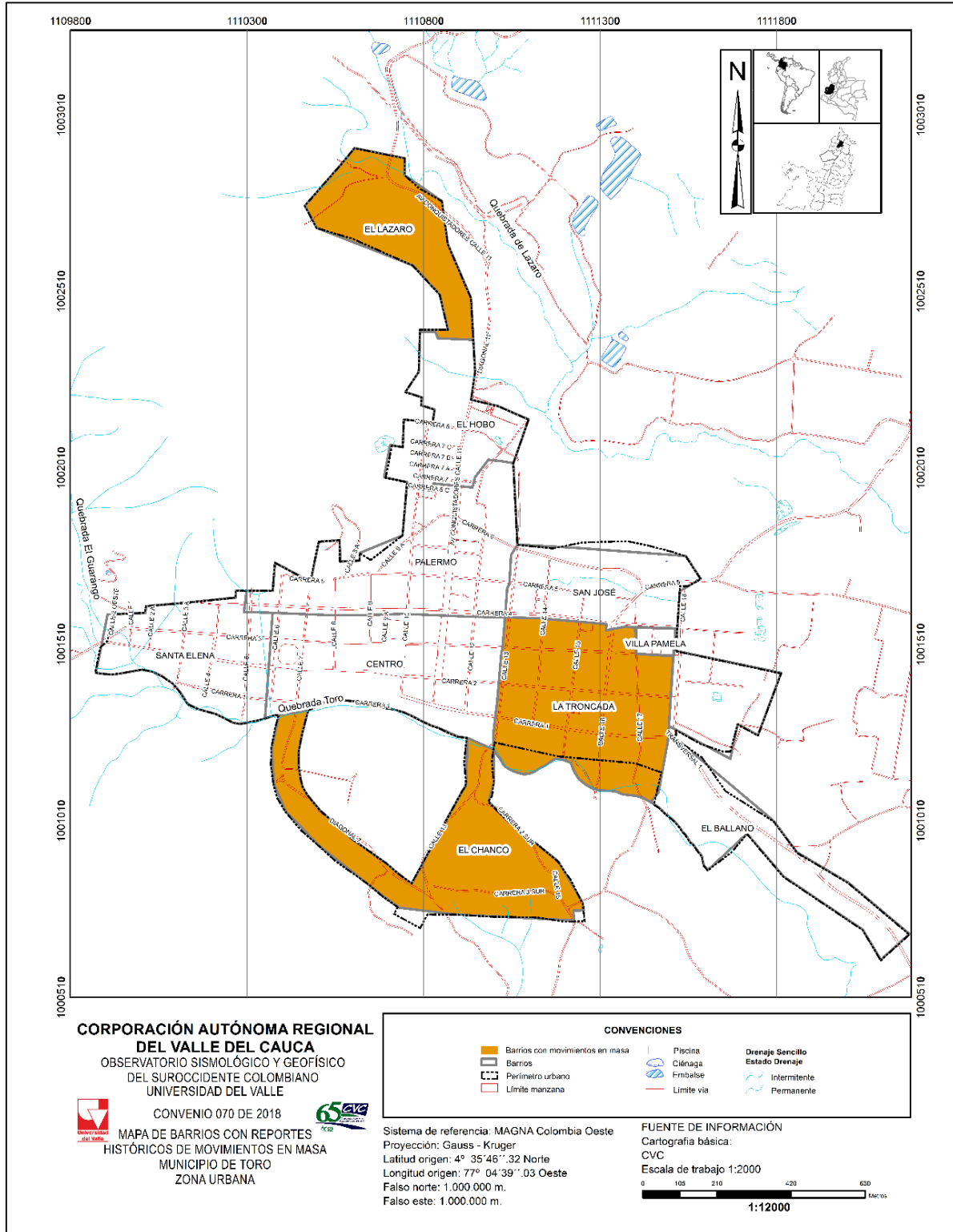


Figura 2.14. Mapa de historicidad por eventos históricos de movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia

2.4.1.2.1. Inventario general de reportes por eventos históricos de movimiento en masa de la zona urbana del municipio de Toro periodo 1980-febrero 2019

En la Tabla 2.8, se presenta el inventario general de los eventos históricos de movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro, el periodo 1980-julio 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 2.8. Inventario de eventos por movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro periodo de 1980-2019

| ID | FECHA DEL EVENTO | LOCALIZACIÓN | | | COORDENADAS | | CAUSA | AFECTACIONES | | | | OBSERVACIONES | TIPO DE FUENTE DE INFORMACIÓN | LOCALIZACIÓN |
|------|------------------|--------------|------------------------------------|--------------------------------|-------------|----------|-------------------------|------------------------|-----------------|---------------------|------------------------|---|--|--|
| | DIA/MES/AÑO | URBANA | BARRIO | DIRECCIÓN | LATITUD | LONGITUD | | N° VIVIENDAS AFECTADAS | N° DAMNIFICADOS | PERDIDAS ECONOMICAS | OTROS | | | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| MM-1 | 20/03/2002 | X | El Chanco | Calle 3 con Carrera 1 | ND | ND | Deslizamiento de Tierra | ND | 2 muertos | ND | ND | Deslizamiento de tierra, las personas fallecidas estaban guaqueando Afectadas una (1) vivienda por deslizamiento progresivo de lodos- familia Rojas Cardona, barrio El Lázaro; | Archivo Minuta | Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Toro |
| MM-2 | 02/04/2019 | X | El Lázaro, La Troncada y El Chanco | Carrera 3#42-46 Carrera # 2-51 | ND | ND | Derrumbe de Talud | ND | 3 familias | ND | Afectación estructural | Tres (3) viviendas presentaron daños estructurales- familia Acevedo Tobón, en el barrio El Lázaro, familia Bedoya Piedrahita xbarrio La Troncada y familia González barrio El chanco. | Acta de Alcaldía Temporada Invernal primer semestre 2019 | Alcaldía de Toro, 2019 |

ND: No hay Datos

Fuente: elaboración propia

2.5. TALLER DE SOCIALIZACIÓN Y VALIDACIÓN

En el taller de socialización y validación realizado el día 10 de septiembre de 2019, con el ánimo de validar la información histórica, se trabajó con las instituciones de Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Ansemanuevo, Secretaria de Planeación, el cual tiene adscrita la Oficina de Gestión del Riesgo de Desastres, la Policía Nacional, representantes de las Juntas de Acción Comunal -JAC-, funcionario de Acuavalle S.A E.S.P, Guayacanes Ltda., E.S.E Hospital Santa Ana, Parroquia Santa Anta, Institución Educativa Santa Ana de los Caballeros (I.E.S.A.C), Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC), la Dirección Técnica Ambiental DAR – Norte, y el equipo de la Universidad del Valle.

2.5.1. 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

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 de las Actas de la Oficina de Gestión del Riesgo de Desastres, seguido del Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Toro y noticias en el diario El País. Finalmente se expone la actividad a realizar y se trabaja en la cartografía resultado de la búsqueda.

Mesa 1

En el taller de socialización y validación realizado el día 14 de mayo de 2019, con el ánimo de validar la información histórica, se trabajó con las instituciones de Benemérito Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Toro, Secretaria de Planeación y su Oficina de Gestión del Riesgo de Desastres, Defensa Civil, Policía Nacional, Líderes Comunitarios de la zona rural del municipio, CVC y Universidad del Valle (Figura 2.15).





Figura 2.15. Taller de Socialización y Validación de los resultados de historicidad el día 14 de mayo del 2019

Fuente: fotografías propias.

Para el fenómeno de inundación (Figura 2.16), los integrantes plasmaron en plano cartográfico las zonas que tenían conocimiento de inundaciones anteriores, diferenciándose si eran pluvial o fluvial. En el caso de las inundaciones pluviales, se genera en los barrios La Troncada (segmento entre Calle 13 hasta la Calle 15), Villa Pamela (relacionaron sus inundaciones por falla de alcantarillado y que es un barrio con topografía susceptible a inundación), San José que se inunda por la Carrera 5; El Palermo (Carrera 5 hasta la Calle 8, un segmento de la Calle 9); El Hobo (Carrera 7ª) y El Lázaro.

También enseñaron los integrantes de las mesas del taller, que cada vez que llueve por problemas propio del box culvert (Calle 6) que recoge las aguas que bajan de San José, hacen que éste barrio presente inundaciones en la parte de “Puerto Chirrillas”.

El Barrio “urbanización Villa Pamela”, se ve afectado por colmatación de agua que inician desde la Calle 13, y los alcantarillados colapsan, adhieren los integrantes que es debido a un muro del Instituto Agrícola, detrás de éste está el Box Culvert, que no permite que las aguas corran, generando una laguna que afecta las viviendas del barrio Villa Pamela. Y, por último, la Carrera Ira, siempre presenta problemas de inundación, debido a depresión propia de la vía.

Para las inundaciones del tipo fluvial, los asistentes indicaron que éstas se daban por las Quebradas Toro y Guarango que históricamente han afectado los barrios Santa Elena y Centro.

En el fenómeno de movimiento en masa, marcaron como zona con presencia de este fenómeno el área donde está localizada la Planta de Acuavalle, indican que es altamente riesgoso para la comunidad asentada ladera abajo, por el peso que genera en la montaña y por la forma en que fue construida, recibe agua de montaña arriba y está se filtra generando arrastre de material, afectando la población. También indicaron la presencia de movimiento en masa en los barrios San José, Santa Elena y El Lázaro (Figura 2.17).

Por último, tenemos las Figura 2.18 y 2.19, que es un resultado de la unión de la información histórica de los eventos de inundación y eventos de movimiento en masa, con la obtenida en el Taller de Socialización y Validación.

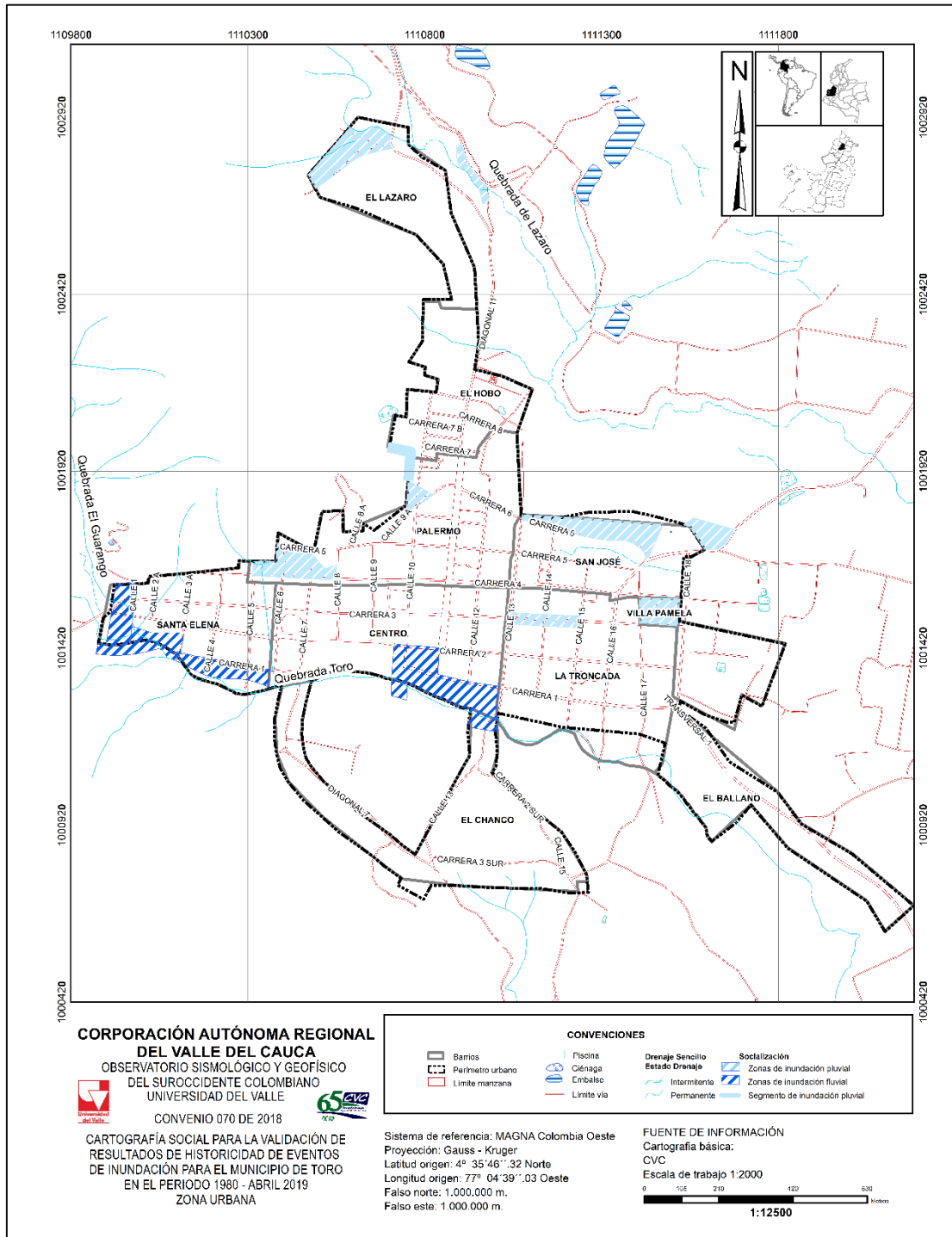


Figura 2.16. Cartografía social para la validación de los resultados de historicidad de eventos de inundación periodo 1980- abril del 2019, área urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia

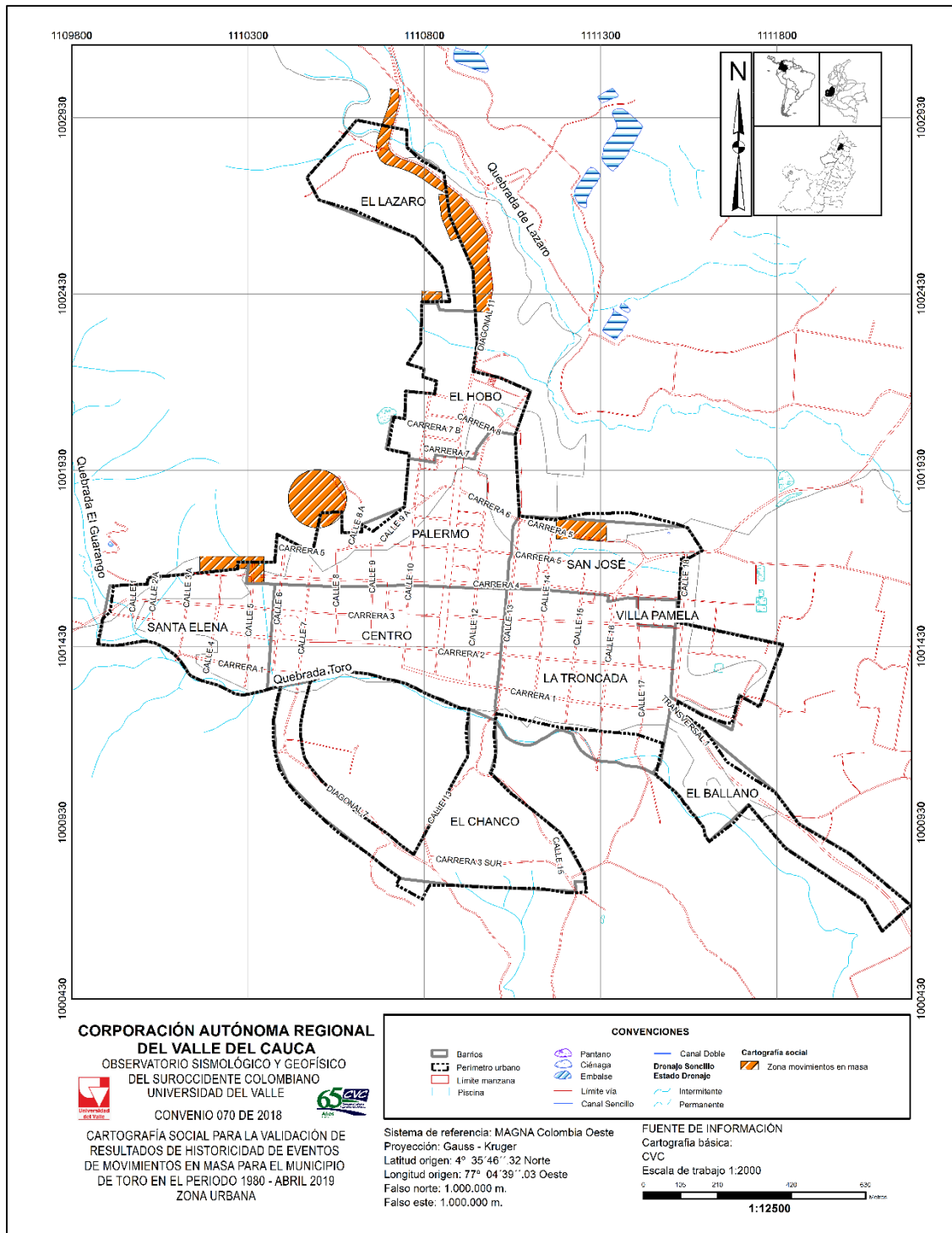


Figura 2.17. Cartografía social para la validación de los resultados de historicidad de eventos de movimiento en masa periodo 1980- abril del 2019, área urbana del municipio de Toro

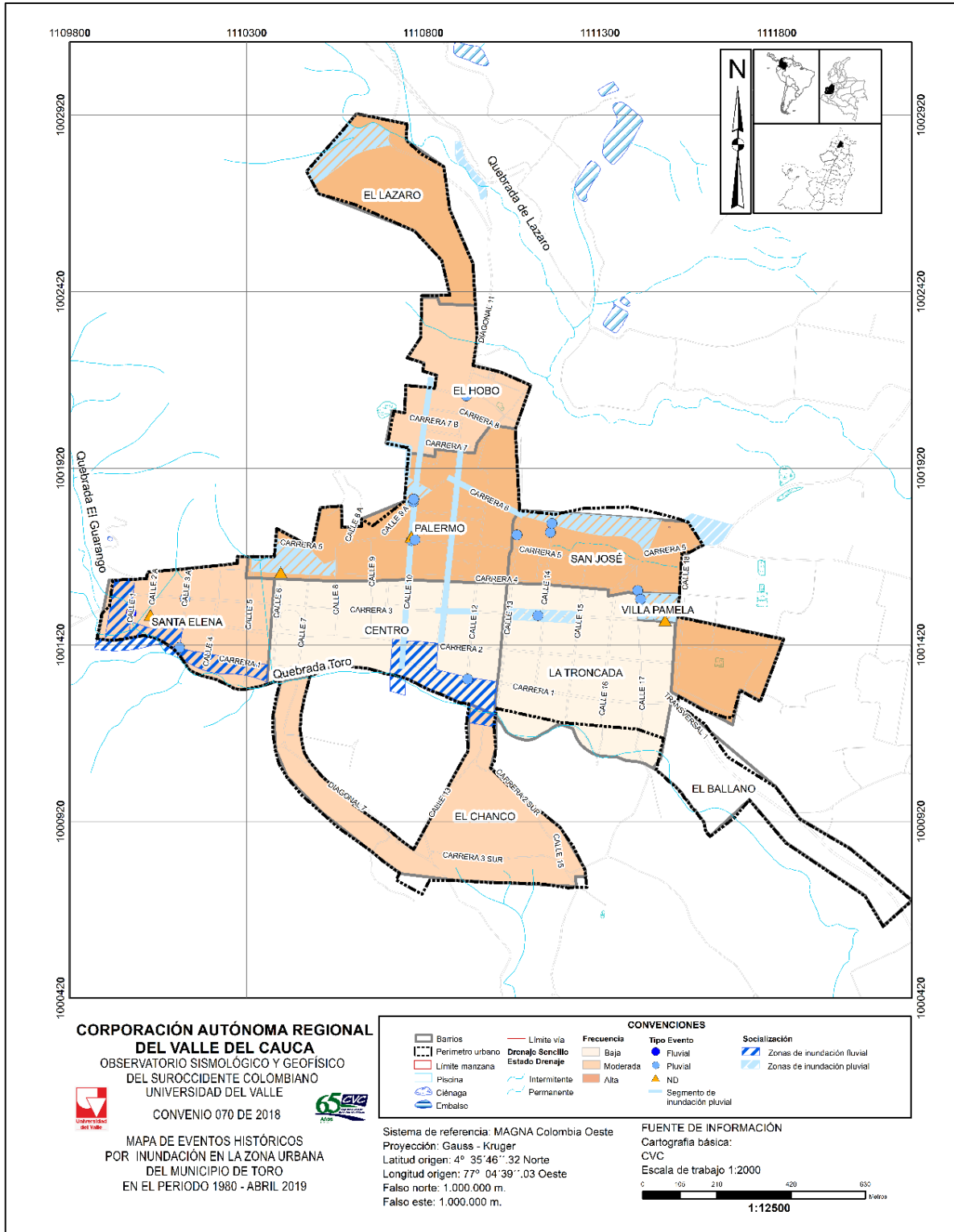


Figura 2.18. Mapa de eventos históricos por inundación en la zona urbana del municipio de Toro en el periodo 1980- abril 2019

Fuente: elaboración propia

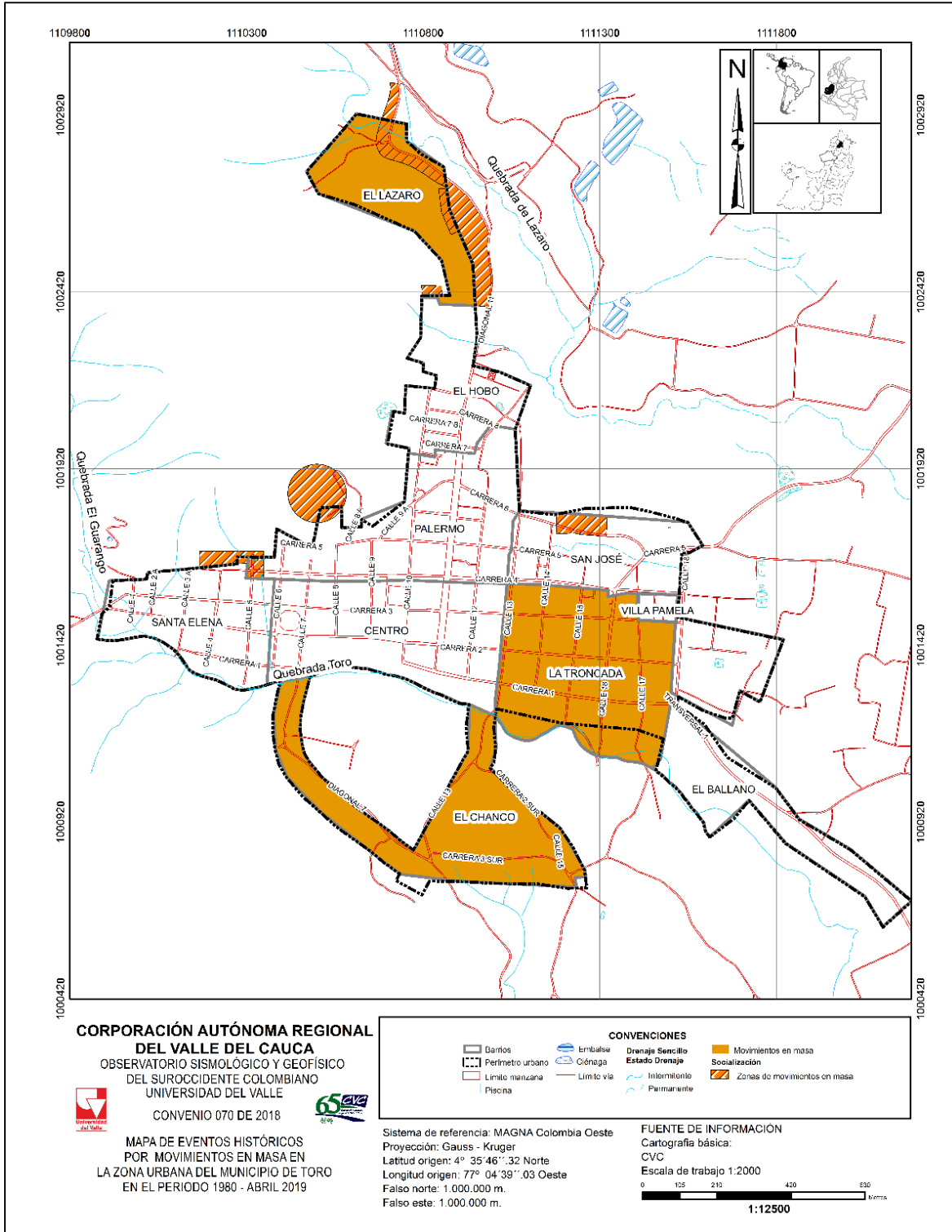


Figura 2.19. Mapa de eventos históricos por movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro en el periodo 1980- abril 2019
Fuente: elaboración propia

3. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA DEL MUNICIPIO DE TORO

El presente capítulo de Geología y Geomorfología de la zona urbana del municipio de Toro, 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_1260 fotos 028 y 029 del año 19xx, FAL_407_F35 fotos 264, 265, 266 y 267 del año 1998, FAL_448_F23 fotos 5, 6 y 7 del año 2003 y FAL_448_F44_1 fotos 249,250, 251 y 252 del año 2004.

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 Toro.

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 Toro.

3.1. GEOLOGIA REGIONAL

Para el presente estudio se utilizó como base la plancha geológica 223 El Cairo, Valle del Cauca (1984 INGEOMINAS, 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 223 El Cairo (Figura 3.1) la geología reportada para este Municipio corresponde principalmente a rocas cretácicas volcánicas (Ksb) y conos (Qaft) en el área urbana, mientras que en la zona rural se reportan rocas Cretácicas Volcánicas (Ksb), Conos (Qca), Aluviones (Qal) y rocas metamórficas (Kcaa).

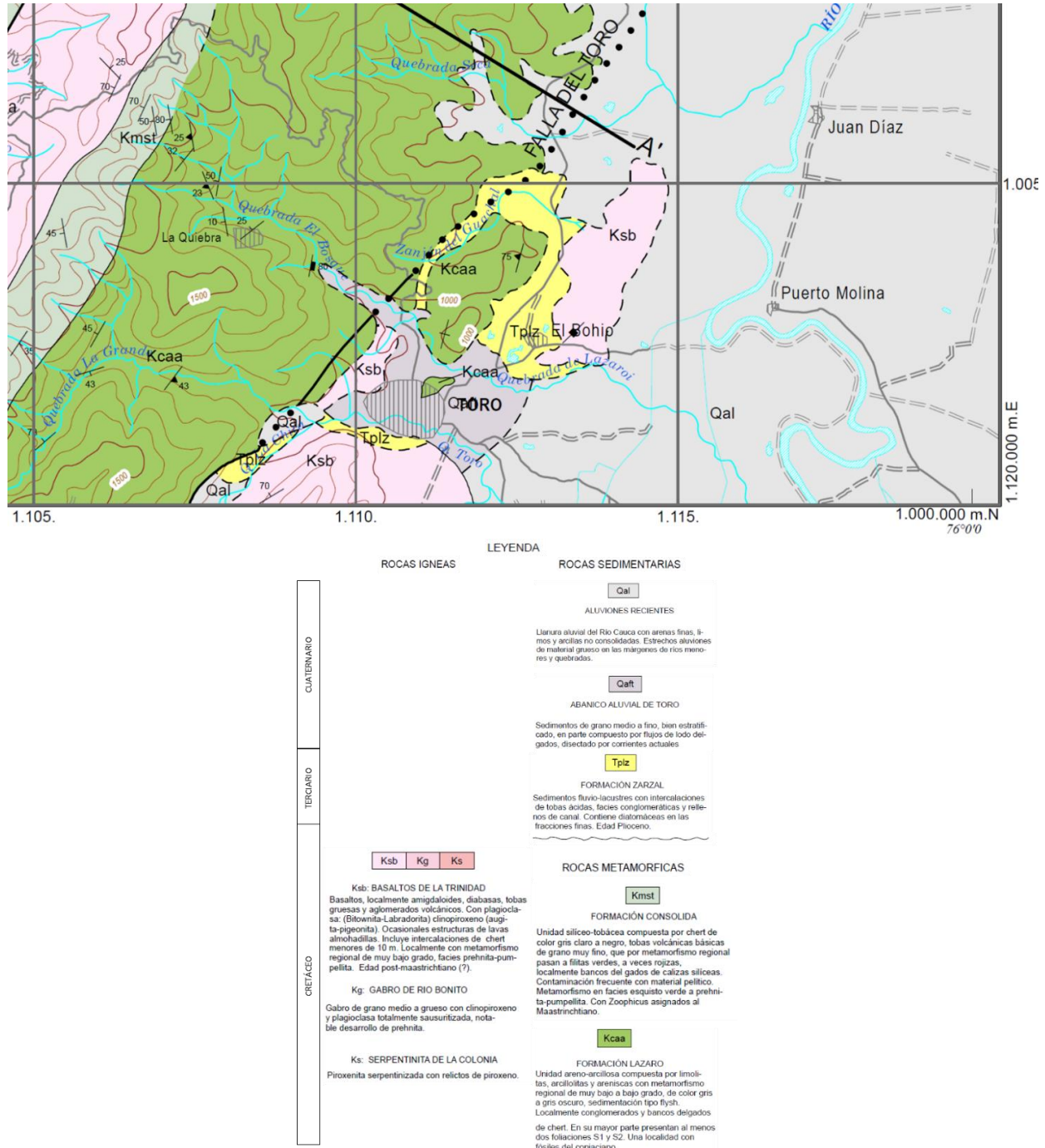


Figura 3.1. Mapa Geológico Plancha 223 - El Cairo, Valle del Cauca – Colombia
Fuente: INGEOMINAS, (1984), Versión 2009, Transformada a Datum MAGNA SIRGAS (2013).

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

3.1.1. Basaltos de La Trinidad (Ksb)

Afloran sobre toda la plancha como cuerpos alargados en sentido N-NE y forman casi siempre las zonas topográficamente más altas. Normalmente están limitados por sedimentos de la Formación Consólida; tienen alta variación composicional por lo cual se describen separadamente las sub-unidades que la componen en la *Reseña Explicativa del mapa Geológico preliminar, Plancha 223 El Cairo*, INGEOMINAS, (1984).

Diabasas. Conforman cerca del 80% de la unidad, son masivas de color verde grisáceo oscuro y grano fino a muy fino (menor de 1 mm). Microscópicamente tienen textura ofítica, con plagioclasa y piroxeno en cantidades similares que conforman el 95% de la roca, el resto lo componen minerales de alteración, cuarzo y accesorios. El piroxeno es siempre de tipo clinopiroxeno de la serie augita-pigeonita en cristales subhedrales a veces maclados. Se altera a tremolita-actinolita y posteriormente a clorita. La plagioclasa se presenta en forma tabular, con macla de carlsbad y ocasionalmente de albita, muy alterada y en parte albitizada. Cuarzo anhídrico rellena intersticios. Clorita rellena vacíos y reemplaza vidrio original.

Basaltos Masivos. Son rocas de color verde manzana a verde oliva oscuro, macizas con ocasionales y finas amígdalas rellenas de clorita, se asocian con las diabasas en las cercanías a tobas y aglomerados y en los afloramientos con estructura de lava almohadillada.

En sección delgada muestran textura pilotaxítica, variolítica y microdiabásica con plagioclasa y piroxeno en matriz vítrea cloritizada. El piroxeno tiene forma tabular a acicular, parcialmente cloritizado. La plagioclasa. Con macla de carlsbad está casi siempre empolvada por productos de alteración. Los minerales accesorios son ilmenita y esfena, cuarzo no se presenta como mineral primario. La matriz, originalmente vítrea y los productos de alteración se confunden en una masa fina de clorita, epidota y anfíbol fibroso. Intercalaciones de chert y estructuras de lavas almohadilladas indican su origen volcánico submarino.

Basaltos Amigdaloides. Son el tipo menos abundante en toda la plancha y se presentan en horizontes de 1 a 15 m dentro de los basaltos masivos, o en los sedimentos silíceos a manera de derrames. Tienen color verde-grisáceo, moteado por las amígdalas que conforman del 5 al 15% de la roca, con tamaño de 1 a 5 mm. Los minerales constituyentes son plagioclasa subhedral, muy alterada y piroxeno casi totalmente uralitizado.

Tobas y Aglomerados Volcánicos: Son productos piroclásticos del mismo que generó los basaltos y se encuentran en estratos cuyo espesor varía desde centímetros hasta algunos metros. Los fragmentos se componen de basaltos en un 90% y en menor cantidad chert y rocas detríticas, rodeados de una matriz afanítica, en partes vítrea con cristales pequeños de piroxeno y plagioclasa. Los minerales secundarios más comunes son clorita, calcita, prehnita y pumpellita.

Edad y Correlaciones: Hacia el sur de esta plancha se han definido el Grupo Diabásico (Kvo) (Nelson, 1962; Barrero, 1979) y Formación Diabásica (Hubach y Alvarado, 1934) como compuestas por diabasas y basaltos con delgadas intercalaciones de sedimentos marinos. Al norte, en el departamento de Antioquia, se ha definido la Formación Barroso (Álvarez y González, 1978). Ambas unidades definidas tienen registros fosilíferos que van desde el Cretáceo inferior (Aptiano-

Albiano) hasta el Cretáceo superior (Maestrichtiano) y además el Grupo Dagua tiene dataciones radiométricas que indican edad cretácea, especialmente post albiana. Dentro de la plancha no se encontraron fósiles y por lo tanto su edad se asume cretácea por correlación. El nombre de Basaltos de la Trinidad se deriva de la quebrada del mismo nombre (E-7) donde se encuentran expuestas algunas de las variaciones descritas.

Los Basaltos de La Trinidad fue nombrada en la Plancha 114 por Mejía y Salazar (1989) como Diabasas de San José de Urama que corresponden, según estos autores, a derrames, diques y silos diabásicos correlacionados con las facies efusivas de la Formación Barroso, definida por Álvarez y González (1978) en el Río Barroso y cuyo nombre se utiliza para las diabasas y basaltos que afloran en el borde oriental de la Cordillera Occidental al norte del Macizo de Tatamá y al occidente de la Falla Cauca-Patía. Más al sur, Parra et al., (1984) y hacia el sur en los departamentos de Cauca y Nariño se utiliza el término *Formación Volcánica* que representa la porción occidental del Grupo Diabásico (Nivia, 2001).

3.1.2. Formación Consolida (Kmst)

Se define esta formación de acuerdo con la sección estratigráfica levantada en la quebrada Consólida (H-9). Está compuesta por sedimentitas silíceas (chert) interestratificadas con material piroclástico (tobas) de carácter básico, con menores intercalaciones calcáreas. Los mejores afloramientos se encuentran en la quebrada Consólida, Grande (B-11) y río Catarina (C-11). El espesor medido en la sección tipo es de 765 m y su base se considera un nivel de arcillolitas silíceas de color verde y como techo se tomó el paso hacia basaltos. La unidad se presenta como franjas alargadas en sentido N-NE. generalmente de menos de 2 km de espesor. El metamorfismo de bajo a muy bajo grado que afecta la formación las transforma a veces en filitas (INGEOMINAS, 1984).

Esta Formación se puede correlacionar con el Miembro Nutibara, calcáreo - lidítico, o con parte de la *Formación Espinal* del Grupo Dagua, en el sentido de Hubach y Alvarado (1934) y Barrero (1979).

La edad de la Formación Consólida está en el post-Turoniano (Etayo et al., 1982; Parra, 1982).

3.1.3. Formación Lázaro (Kcaa y/o Kso)

Se define esta Formación de acuerdo con la sección estratigráfica de la quebrada Lázaro (H-11). Se compone de sedimentos de origen detrítico con metamorfismo de muy bajo grado y foliación dominante en algunos casos. Su color es gris claro hasta casi negro dependiendo del contenido original de materia orgánica, es la unidad que mayor área ocupa dentro de la plancha. Buenos afloramientos se encuentran en los ríos Hábita (B-7), Sipí (G-1) y la quebrada Golondrinas (F-9) (INGEOMINAS, 1984).

La Formación Lázaro es correlacionada con los cuerpos de chert y calizas denominados en el área de la Plancha 114 como Miembro Nutibara perteneciente a la Formación Penderisco y su nombre se derivó del corregimiento de Nutibara en el municipio de Frontino-Antioquia en el sentido de Álvarez y González (1978). Fue definido y nombrado por Álvarez (1970) y descrito en el informe geológico del Cuadrángulo I-7 “Urrao” (Álvarez y González, 1978) como Miembro Nutibara, que,

unido con el Miembro Urrao, conformaban la Formación Penderisco del Grupo Cañasgordas. Posteriormente Mejía M. y Salazar G. (1989) denominan a esta unidad como Complejo Nutibara por sus características litológicas, estructurales y paleontológicas diferentes, además de estar tectónicamente separada del Grupo Cañasgordas y reconocen tres litologías dominantes: chert negro o lidita, chert calcáreo y calizas y niveles con jaspe.

Más al sur es correlacionable con la *Formación Cisneros* desde la base hasta las pizarras rojas en el sentido de Barrero (1979). Los cuerpos de chert, *Formación Nutibara* en el sentido de Álvarez y González (1978) fueron correlacionados con parte de la *Formación Espinal* del Grupo Dagua en el sentido de Hubach y Alvarado (1934) y Barrero (1979).

Las correlaciones entre las diferentes unidades sedimentarias y metasedimentarias del Grupo Dagua presentan dificultades debidas, tanto a las variaciones faciales a lo largo de la parte de la Provincia Litosférica Oceánica Cretácica Occidental (PLOCO) como al diferente grado de metamorfismo dinámico. En términos regionales, es probable que las diferentes unidades sean el resultado de variaciones laterales dentro de una cuenca oceánica, pero en ausencia de un buen control paleontológico es difícil ser más preciso (Tomado de: *Investigación Integral del Andén Pacífico Colombiano, Tomo 1, Geología, (1998)*. Las formaciones Lázaro y Consólida de Parra et al. (1984) son la continuación del afloramiento de las Formaciones Espinal y Cisneros en una zona donde por incremento de la relación lodo/arena y de la deformación milonítica es difícil distinguir entre las dos unidades (Nivia, 2001). En términos generales estas unidades se pueden correlacionar hacia el norte con la *Formación Penderisco* (miembros Urrao y Nutibara) del Grupo Cañasgordas (Álvarez y González, 1978 en: Nivia, 2001).

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 geoelectrico (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 paleolimnológicas.

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. 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 desnudando 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).

3.1.5.2. Abanico Aluvial del Toro (Qaft)

En el punto de cambio de pendiente de las quebradas Grande y Lázaro (H-11) se desarrolla un abanico compuesto por sedimentos acarreados por éstas dos quebradas, sobre el cual está levantada la población de Toro. Se compone de conglomerados finos, areniscas y en menor cantidad limolitas, con muy mala selección y poca o ninguna consolidación (INGEOMINAS, 1984).

3.2. GEOLOGIA ESTRUCTURAL REGIONAL

El estilo tectónico dominante a lo largo de toda la plancha 223 tiene como dirección principal N30°E, tanto para fallas como contactos y lineamiento. La Falla de Toro, aunque aparentemente está fosilizada por el abanico Aluvial de Toro, tuvo durante el sismo de noviembre de 1979 una notable influencia en las construcciones hechas sobre su traza en especial en el corregimiento de San Francisco (G-12) (INGEOMINAS, 1984).

3.2.1. Falla Toro

Pardo-Trujillo et al. (1994) describieron una sección al sur de Cartago de cerca de 50 m, donde afloran sedimentos compuestos por gravas no consolidados de origen fluvial afectados por un

fallamiento con orientación general NE. La estructura principal observada en el afloramiento de Cartago-Toro es un graben relativamente amplio, con un pequeño horst que se puede identificar en ambos flancos de la carretera. Estos autores interpretaron el fallamiento normal con relación a un fallamiento mayor transcurrente dextral, probablemente relacionado a las fallas Toro y Quebradanueva.

Es una de las fallas del sistema de fallas regional Cauca-Patia que limita el lado Este de la Cordillera Occidental y la cual se describe a continuación (Tomado de Map and Database of Quaternary Faults and Folds in Colombia and its Offshore Regions_May) (Paris, et al, 2000).

GEOMETRÍA DE LA SECCIÓN:

Longitud: 61.9 km (61.8 km acumulado)

Rumbo: $6.6^\circ \pm 8^\circ$ (N 6.6° E $\pm 8^\circ$)

Inclinación promedio: Desconocido

Comentarios: De acuerdo con la configuración geológica general de la mayoría del sistema de fallas Cali-Patia, la falla de Toro debería tener una inclinación hacia el oeste, sin embargo, en algunos lugares sugiere que la falla Toro presenta una inclinación hacia el este.

Sentido de movimiento: Sinistral (lado izquierdo)

Comentarios: Sentido basado en un ligero desarrollo de deflexiones en forma de L (sinistrales) en profundidad.

Expresión geomorfológica: Esta traza de falla bien desarrollada tiene una escarpa de falla erosionada, facetas triangulares degradadas, y los frentes de falla muestran evidencia de deformación sinistral.

Intervalo de recurrencia: Desconocido

Tasa de movimiento: <0.2 mm

Comentarios: Estimación de tasa baja basada en la deformación cuaternaria de las características topográficas.

Edad del último movimiento: Cuaternario <1.6 Ma.

Audemard (2003) propone que, en Colombia, la convergencia oblicua de la subducción oceánica entre las placas Nazca y Sur-América, se divide en un acortamiento de orientación este-oeste el cual se acomoda por subducción tipo-B y crecimiento orogénico de las tres cadenas, y fallamiento rumbo-deslizante aproximadamente subparalelo (sistema de fallas de Romeral, falla de Algeciras) o altamente inclinado a los orógenos (fallas de Ibagué y Garrapatas). Ubicándose ésta última (Falla Garrapatas) al sur del casco urbano del municipio de Toro.

3.2.2. Falla Garrapatas

La Falla Garrapatas es una estructura que está en la cartografía de INGEOMINAS (1984) con rumbo general NE. Según Etayo-Serna et al. (1986) constituye el límite entre los terrenos Dagua al sur y Cañasgordas al norte. Paris et al., (2000) le asignan una componente principal inversa y secundaria normal.

3.2.3. 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, W. J., (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. Toussaint y Restrepo 1987) con componentes secundarias normales como por ejemplo en el Quindío (Paris et al., 2000). Según Paris y Sauret (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.

3.3. GEOLOGÍA LOCAL

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

3.3.1. Mapa Geológico local

Para la definición de la geología del área urbana del Municipio 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 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.

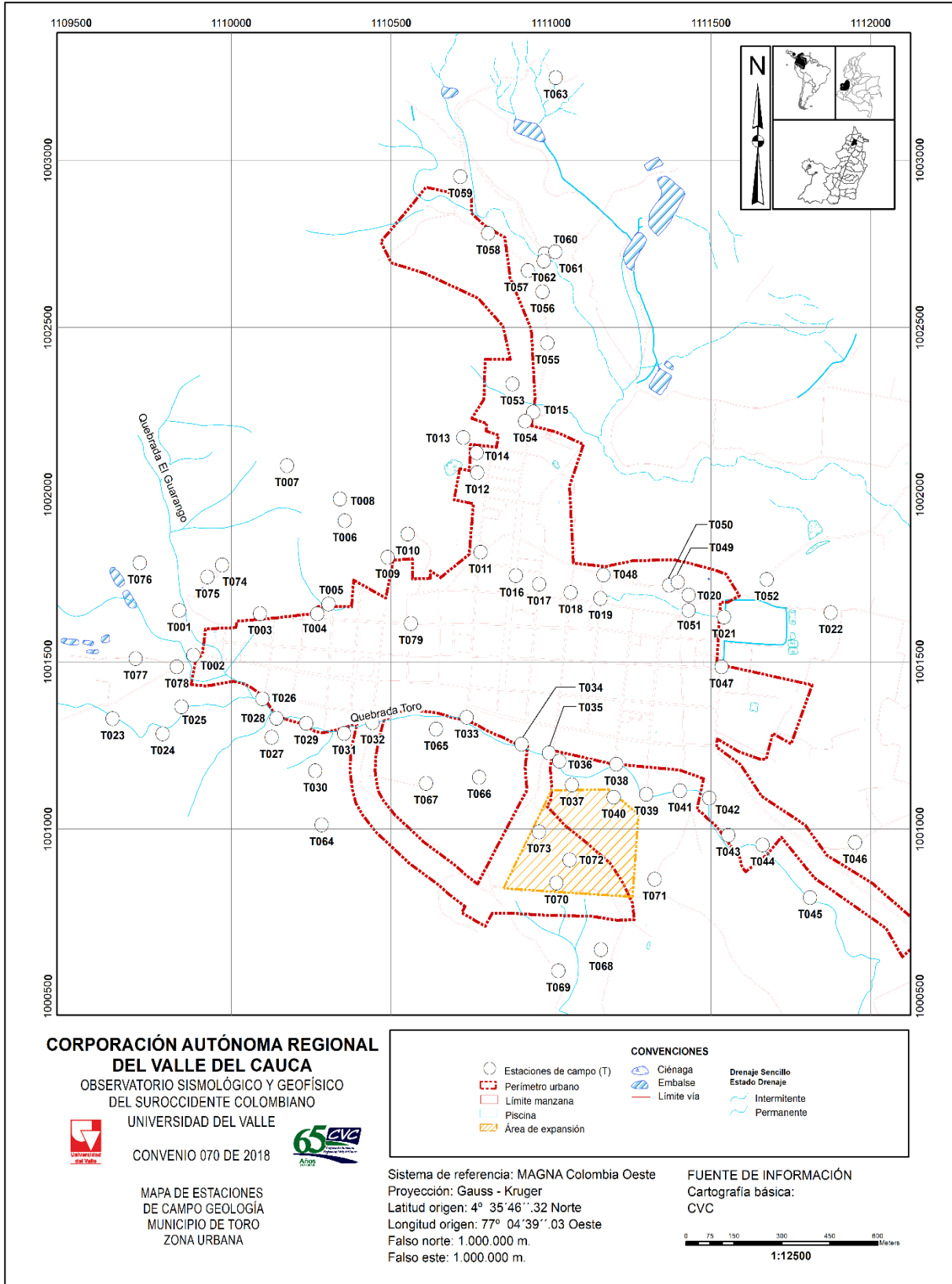


Figura 3.2. Mapa de Estaciones de Campo área urbana del municipio del Toro.
Fuente: elaboración propia.

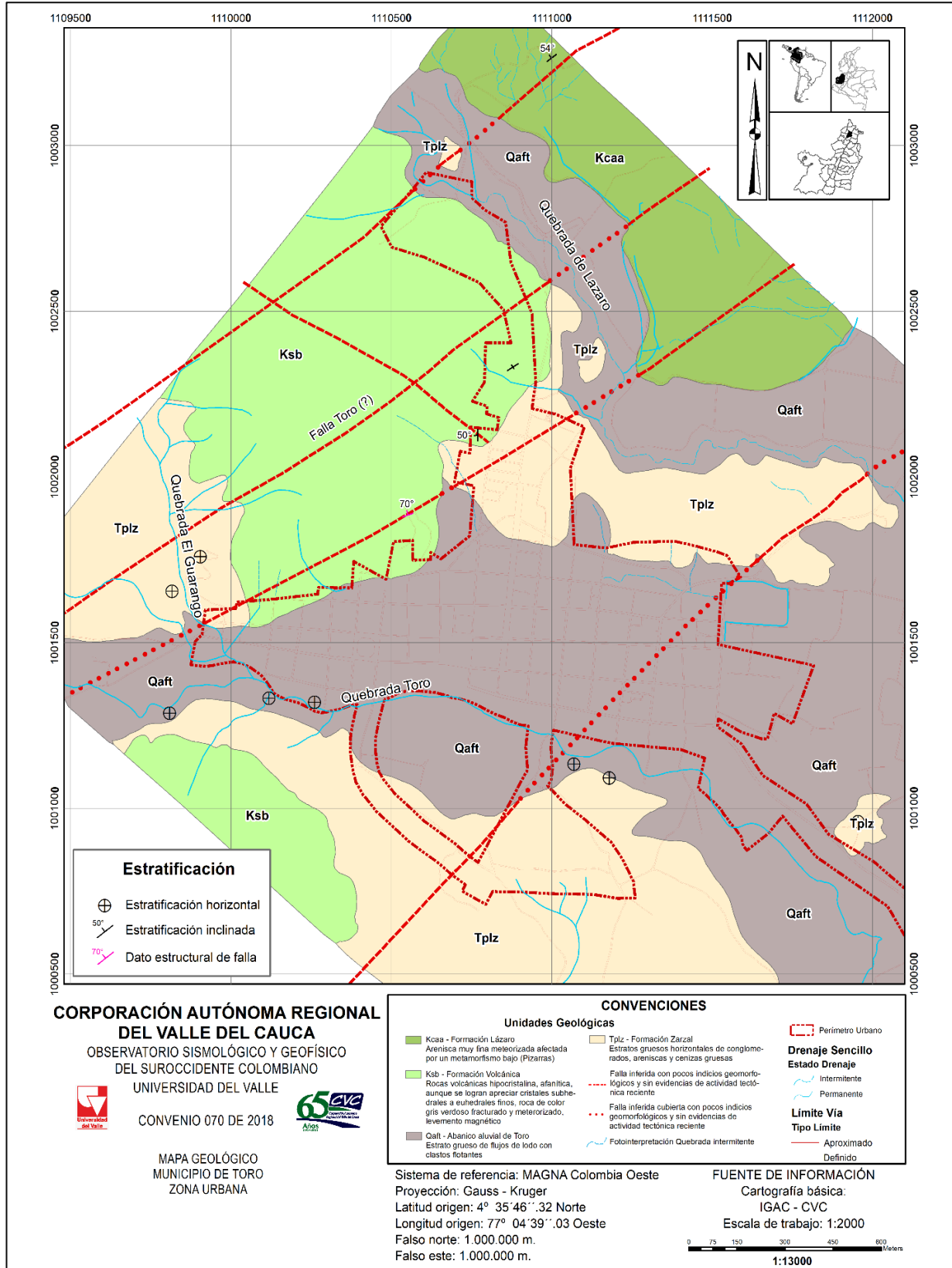


Figura 3.3. Mapa Geológico del área urbana del municipio del Toro.

Fuente: elaboración propia.

La geología local está conformada de base a techo por rocas sedimentarias de la de la Formación Lázaro (Kcaa) que se presentan con metamorfismo de bajo grado (Pizarras); contemporánea a la Fm. Lázaro también aflora los Basaltos de La Trinidad (Ksb) o Fm. Volcánica (Nivia, 2001), suprayaciendo los basaltos se encuentra la Formación Zarzal (Tplz) y, por último, un flujo de lodo más relacionado a la Qb. Toro.

3.3.1.1. Formación Lázaro (Kcaa/Kso)

Al N-NE del casco urbano de Toro, en los cerros en dicho lugar; sobre la vía Toro - Vereda Venta Quemada (Estación T063) se aprecian varios afloramientos de esta roca, la cual corresponde a una arenisca muy fina meteorizada afectada por un metamorfismo bajo (Pizarras), presenta sericita, roca granoblástica equigranular y de color beige. La tendencia de la foliación es N35°E/54°NW (Figura 3.4) No se aprecian más estratos de rocas o contactos con otras rocas.



Figura 3.4. (T063) - Cerros al N-NE de Toro conformados por pizarras de la Formación Consolida Volcánica (Kmst).

Fuente: fotografías propias.

3.3.1.2. Basaltos de La Trinidad (Ksb)

Basaltos correlacionables a la Fm. Volcánica (Nivia, 2001) el cual propone este nuevo nombre para estas rocas.

Rocas volcánicas hipocristalina, afanítica, aunque se logran apreciar cristales subhedrales a euhedrales finos, roca de color gris verdoso fracturado y meteorizado, levemente magnético.

En la cabecera municipal se aprecian varios afloramientos con esta roca; al W del casco urbano del municipio del Toro en la estación T001 se aprecia estos basaltos siendo suprayacidos por rocas sedimentarias de la Fm. Zarzal (ver Figura 3.5 y Figura 3.6).



Figura 3.5. T001 – Basaltos de la Fm. Volcánica en afluyente intermitente en la Finca Guarango
Fuente: fotografías propias



Figura 3.6. T001 – Basaltos en la base del afloramiento em inconformidad con la Fm. Zarzal.
Fuente: fotografía propia

Al N-NW del casco urbano se encuentra el Cerro de la Cruz conformado por estos basaltos, en varios puntos se aprecia muy meteorizado, con meteorización esferoidal, muy fracturado. En la estación T008 se aprecia el basalto en la corona de un pequeño deslizamiento, muy fracturado, afectado por metamorfismo dinámico (Cataclasita (?)), sin definir la orientación, pero en la estación T010 se aprecia con una tendencia de la foliación N75°E/70°NW, tendencia similar de la Falla Toro (Figura 3.7).

Es de anotar que en la estación T008 el basalto presenta unos lentes y láminas de 1 a 2 cm de ancho de chert de color negro a gris oscuro.



Figura 3.7. a. (T008): Basalto meteorizado y fracturado que se aprecia en la corona de un deslizamiento, parte N del Cerro la Cruz. **b.** (T010): Basalto meteorizado y fracturado con una tendencia de foliación de N75°E/70°NW.

Fuente: fotografías propias

Un buen afloramiento para apreciar los basaltos se encuentra en Acuavalle (T009), parte alta de la Carrera 5A con Calle 8ª o parte S-SE del cerro La Cruz, donde se encuentra un afloramiento de unos 15 m por 6 m de alto de basalto afanítica, de color gris verdoso, fracturado y meteorizado, levemente magnético y con meteorización esferoidal (Figura 3.8).



Figura 3.8. (T009): Afloramiento de basaltos ubicado al lado de los tanques de sedimentación de Acuavalle.

Fuente: fotografía propia

Las familias de diaclasas presentes en los basaltos vistos en Acuavalle son:

N32°E/80°NW
N50°W/55°SW
N45°W/45°NE
N60°E/30°SE
N-S/65°E

Al N de la plancha de cemento conocido como el Patinódromo, parte de atrás de las casas ubicadas en la Calle 10 con Carrera 8, se aprecia el basalto en contacto con un relicto de la Fm. Zarzal (T013), interpretando que todo el Cerro la Cruz y parte N del patinódromo existía la Fm. Zarzal suprayaciendo los basaltos, pero ya está totalmente erosionada (Figura 3.9).

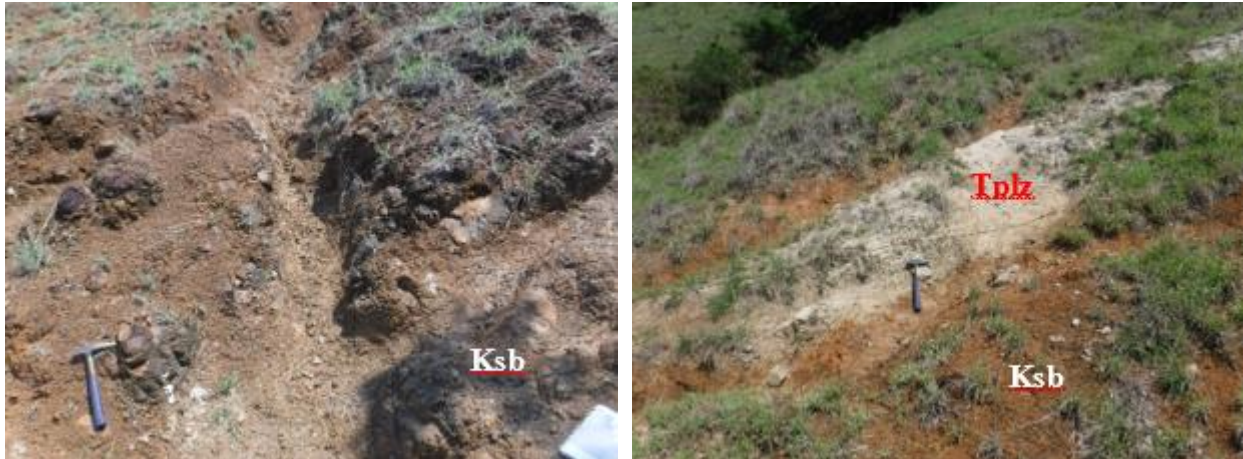


Figura 3.9. Parte norte del Patinódromo, detrás de la Calle 10 con Carrera 8, se aprecia al piso el basalto con meteorización esferoidal y en contacto con pequeñas franjas de 10 a 20 cm de grosor pertenecientes a la Fm. Zarzal.

Fuente: fotografías propias

Ya al S-SW del casco urbano del Municipio se aprecian un cerro paralelo a la Qb. Toro, de altura aproximada de 1.100 msnm, llamado Cerro Tambor en el cual no se aprecian afloramientos, pero si una buena cantidad de rodados de basaltos de bloques pequeños a grandes interpretando que el cerro pertenece a la Fm. Volcánica (Figura 3.10).



Figura 3.10. a. Vista del Cerro Tambor de composición basáltica (?) desde la Finca Guarango al N. **b.** (T064): Potrero al pie del cerro con bloques de basalto.

Fuente: fotografías propias

La Fm. Volcánica presenta intercalaciones de chert los cuales también se aprecian en el casco urbano del municipio del Toro, no se relaciona estos chert con la Fm. Lázaro (Kcaa) por el tamaño

de los estratos, ubicación y los pequeños estratos intercalados con los basaltos vistos entre las estaciones T006 y T007.

En la estación T014, parte de atrás de las casas ubicadas en la Calle 10 con Carrera 8 se presenta un afloramiento de 5 m por 5 m de color rojizo, con estratos gruesos a medios de areniscas finas consolidadas de color rojo claro, incluyendo un estrato grueso de chert negro con venillas tipo stockwork de cuarzo. La estratificación tiene una tendencia de N-S/50°W (Figura 3.11).



Figura 3.11. (T014): Afloramiento donde se aprecia estratos gruesos a medios de areniscas finas y de chert negro.

Fuente: fotografías propias

Unos 200 m al NE, se presenta una trocha para subir a una finca (Calle 11 con carrera 9), en la cual aflora chert negro, con intercalaciones de lutitas grises claras, estratos delgados a medios, fracturados y un dato de estratificación de N40°E/90° (T053 – Figura 3.12), una curva más arriba, a la base de la casa el dato de estratificación cambia a N30°E/65°NW (Figura 3.13).



Figura 3.12. (T053): Afloramiento de 7 m por 1,8 m de alto al costado de la trocha para subir a finca, se aprecian estratos delgados a medios de chert negro y lutitas grises claras, con dato estructural N40°E/90°.

Fuente: fotografías propias



a



b

Figura 3.13. a. Más arriba de la estación T053, a la base de la casa aflora de nuevo estratos delgados a medios de chert negro y lutitas grises claras, con dato estructural $N30^{\circ}E/65^{\circ}NW$. **b.** Panorámica de la ubicación de la estación T053, de la trocha y de la casa en lo alto, toda la trocha es de chert negro y lutitas grises claras.

Fuente: fotografías propias

En los recorridos elaborados no fue posible definir los contactos con otro tipo de rocas

3.3.1.3. Formación Zarzal (Tplz)

En el casco urbano del municipio del Toro aflora en diferentes sitios la Formación Zarzal, la cual se describirá de techo a base de acuerdo con lo encontrado en campo.

La estación T001, a la margen derecha de la quebrada intermitente se encuentra un afloramiento de 10 m por 4 m de alto, en la cual hay dos estratos gruesos horizontales, semi consolidados, abajo en inconformidad con los basaltos esta una Limolita a Arenita muy fina de color beige, matriz soportada, con laminación plana paralela, clastos sub-redondeados a redondeados, baja esfericidad, muy pobremente calibrada, clastos de 1 a 3 cm (Arena gruesa a guijo medio) de arenita lítica, chert y cuarzo. Es de aclarar que los clastos son esporádicos.

En contacto paralelo y con moldes de carga positivos el estrato grueso que continua arriba es una ceniza gruesa(?) de color beige a gris claro, con zonas porosas, no se aprecia laminación interna, presenta zonas meteorizadas (Horizonte B) terminando arriba con un promedio de 50 cm de suelo (Horizonte A) (ver Figura 3.6, Figura 3.9 y Figura 3.14).

Por el mismo camino hacia arriba, se presenta otro pequeño afloramiento de 1 m por 4 m de longitud (Estación T075), el cual se aprecia un estrato grueso(?), horizontal, de arena fina a guijo grueso, color café rojizo, 10% de clastos oscuros; presenta laminación plana paralela, algunas de las láminas están oxidadas; bien calibrada, fabrica orientada, contactos de los clastos flotantes, puntuales; clastos de cuarzo blanco, cuarzo gris, chert negro, basalto, areniscas (Figura 3.15).

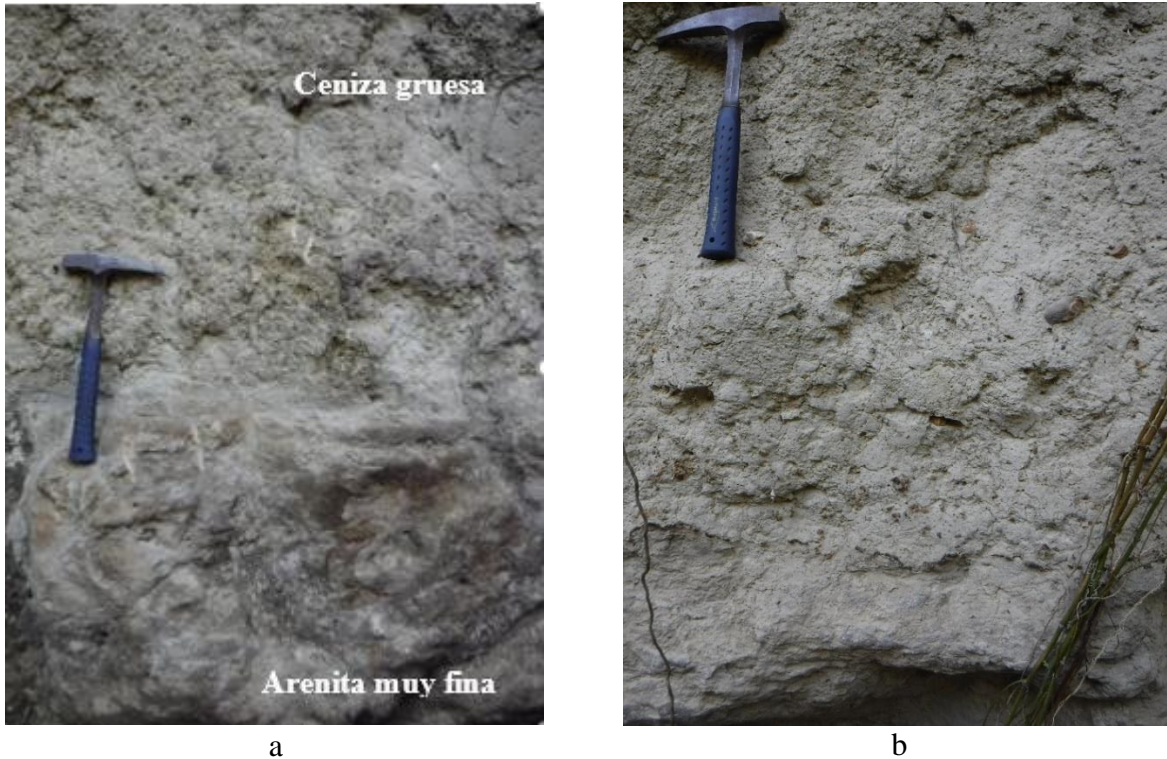


Figura 3.14. (T001): Estratos gruesos de la Fm. Zarzal en contacto horizontal, se aprecian moldes de carga positivos. **a.** Contacto entre la Limolita a Arenita muy fina con la ceniza (arriba). **b.** Detalle de la Ceniza.

Fuente: fotografías propias



Figura 3.15. (T075): Estrato grueso de la Fm. Zarzal de arena fina a guijo grueso.

Fuente: fotografías propias

La Quebrada Toro presenta varios afloramientos de esta Formación, uno de ellos es en la estación T024, margen derecha de la Qb. Toro, parte alta de la misma, se aprecia un afloramiento de unos 30 m de longitud por unos 4 m de alto donde a la base se encuentra la Limolita a Arenita muy fina de color beige descrita anteriormente en la T001, este estrato solo aflora en promedio 1 m, siendo suprayacida en conformidad por un flujo de lodo (Qaft) de unos 3 m de espesor (Figura 3.16).

La estación T028 presenta un muy buen afloramiento donde se aprecian 3 estratos gruesos descritos de base a techo:

Roca conglomerática con clastos de arena media a guijarros pequeños, de color café oscuro a rojizo; presenta en su interior juego de estratos inclinados, depósitos de canal y laminación inclinada planar; pobremente calibrado, baja esfericidad, fabrica orientada con sectores aleatorios y con imbricación; contacto de los clastos flotantes, puntuales y longitudinales; la composición de los clastos es de chert, areniscas, cuarzo y basalto (ver Figura 3.16, Figura 3.17 y Figura 3.18).

En contacto horizontal(?), suprayaciendo la roca conglomerática se encuentra la Limolita a Arenita muy fina de color beige descrita anteriormente en la T001 y terminado en el techo se presenta el flujo de lodo perteneciente al Abanico aluviales de Toro (Qaft) (ver Figura 3.16 y Figura 3.17).

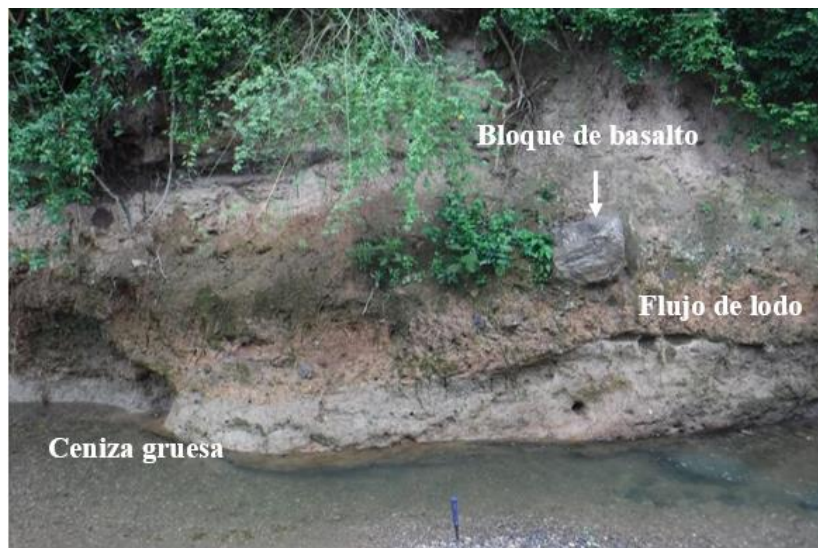


Figura 3.16. (T024): A margen derecha de la Qb. Toro se aprecia a la base la ceniza gruesa suprayacida por un flujo de lodo con bloques flotantes (Qaft).

Fuente: fotografía propia



Figura 3.17. (T028): Afloramiento a la margen derecha de la Qb. Toro donde se aprecia la Fm. Zarzal con un flujo de lodo (Qaft).

Fuente: fotografía propia



Figura 3.18. (T028): **a.** Detalle de la roca conglomerática. **b.** Detalle de la ceniza gruesa.

Fuente: fotografías propias

Continuando aguas abajo en la Qb. El Toro, margen derecha en la estación T037 aflora el mismo grupo de roca descrito anteriormente (Figura 3.19).



Figura 3.19. (T037): Afloramiento a la margen derecha de la Qb. Toro donde se aprecia un afloramiento con las mismas características de la roca descritas anteriormente en la estación T028.

Fuente: fotografía propia

Saliendo de la Qb. Toro, a su margen derecha, en la estación T040 en la Finca Carolina se presenta un afloramiento de unos 120 m de longitud por 6 m de alto aproximadamente roca arenita fina con tendencia horizontal y con lentes conglomeráticos con clastos de arena media a guijarros grandes, de color beige; presenta en su interior juego de estratos inclinados, depósitos de canal y laminación inclinada planar; los conglomerados están pobremente calibrado, baja esfericidad, fabrica orientada con sectores aleatorios; contacto de los clastos flotantes, puntuales y longitudinales; la composición de los clastos es de chert, areniscas, cuarzo y basalto. Se presenta moldes de carga positivos de la arenita y conglomerados sobre arenitas fina (Figura 3.20).

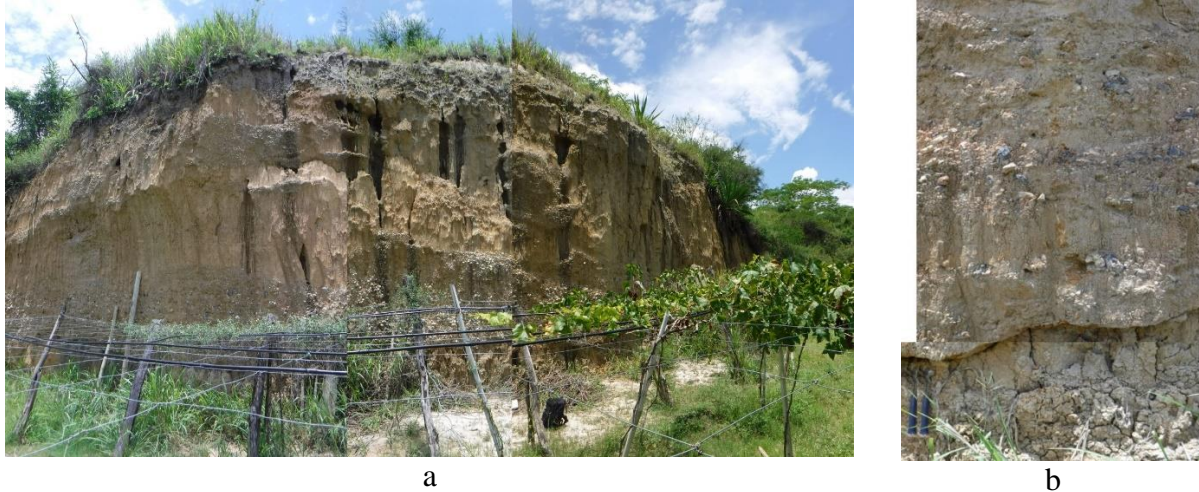


Figura 3.20. (T040): **a.** Vista general del afloramiento. **b.** Detalle de la arenita media con los lentes de conglomerado o flujos de canal.

Fuente: fotografías propias

La estación T052 ubicada en la vía Toro – Cartago se presenta un afloramiento de unos 15 m por 4 m de alto, donde hay un estrato grueso de conglomerado, tamaños de clastos de arena gruesa a guijarro, clastos bien calibrados, baja esfericidad, sub-redondeados a redondeados, fabrica aleatoria, contactos puntuales y longitudinales; de composición cuarzo, chert, basalto y areniscas; clasto soportado, muy meteorizado y oxidado (Figura 3.21).



Figura 3.21. (T052): **a.** Afloramiento al S de la vía. **b.** Detalle del conglomerado meteorizado y levemente oxidado.

Fuente: fotografías propias

Otro ejemplo de la Fm. Zarzal se aprecia en la estación T068, al sur del casco urbano, en el sector conocido como cancha el polvo (Carrera 3Sur con calle 15), donde aflora un estrato grueso de ceniza gruesa de color beige al parecer suprayaciendo un estrato de conglomerado (Se aprecian muchos clastos sueltos en el potrero aledaño a la cancha), los tamaños de los clastos van de arena gruesa a guijos gruesos, bien calibrada, baja esfericidad, clastos sub-redondeados a redondeados,

no es clara la fábrica; composición de los clastos es de chert negro, cuarzos grises y cafés, basaltos y areniscas (Figura 3.22).



a



b



c

Figura 3.22. (T068): **a.** Vista general del afloramiento. **b.** y **c.** Detalle de la ceniza gruesa muy meteorizada y del conglomerado.

Fuente: fotografías propias

En la carrera 2 Sur se encuentra un lote baldío y al fondo un gran afloramiento (Estación T073, Figura 3.23) de unos 200 m de longitud por unos 7 m de alto en promedio, en el cual se aprecian 2 estratos; a la base un conglomerado clasto soportado, estrato grueso, clastos de grava fina a grava gruesa; color café rojizo, bien calibrada, baja esfericidad (Aunque presenta sectores con buena esfericidad), clastos sub-redondeados a bien redondeados, fabrica orientada, contactos longitudinales; composición de los clastos de cuarzo blanco, cuarzo gris, chert negro, basaltos y areniscas; roca muy consolidada.

En la parte superior y en disconformidad(?) una ceniza gruesa muy meteorizada con esporádicos clastos de cuarzo y chert negro de tamaño de grava fina, clastos sub-redondeados y de baja esfericidad.



a



b



c

Figura 3.23. (T073): **a.** Vista general del afloramiento. **b.** Conglomerado a la base del afloramiento. **c.** Ceniza gruesa.

Fuente: fotografías propias

El casco urbano del Municipio presenta otros puntos donde se aprecia pequeños afloramientos o relictos de la Formación Zarzal, estos se pueden ver en las estaciones T035(?), T039, T043, T046, T050, T054, T064, T069, T070, T071, T76 y T077

3.3.1.4. Abanico Aluvial de Toro (Qaft)

En todo el recorrido elaborado por la Qb. Toro se aprecia un flujo de lodo, horizontal, generalmente se aprecia en un estrato grueso, color café claro (Beige), presenta clastos flotantes de guijos gruesos a bloques muy grandes de composición cuarzo, chert, areniscas y principalmente basaltos (ver Figura 3.16, Figura 3.17, Figura 3.19 y Figura 3.24).

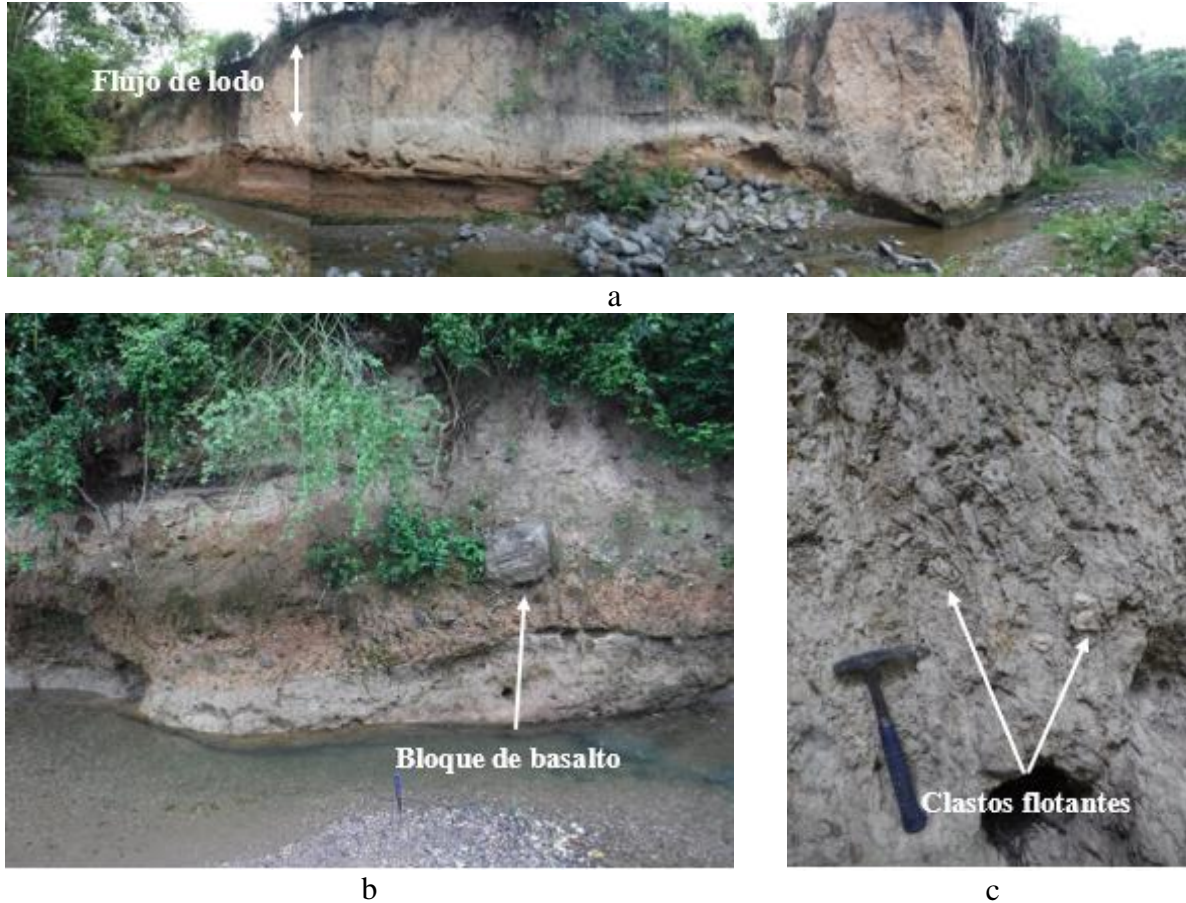


Figura 3.24. **a.** (T028): Vista general del afloramiento donde se aprecia en la parte superior el estrato del flujo de lodo. **b.** (T029): Flujo de lodo con clastos flotantes de tamaño de bloque muy grande. **c.** (T024): Continúa el flujo de lodo con clastos flotantes.

Fuente: fotografías propias

La Qb. Toro además se caracteriza por presentar sectores con barras de arena y conglomerados (Estación T023, T024, T025, T026 y T037), de tamaño de guijos finos a bloques grandes, de composición areniscas, chert, cuarcitas y principalmente basaltos (Figura 3.25).



a



b

Figura 3.25. a. (T023): Zona donde se unen la Qb. La Chica y la Qb. Grande y forman la Qb. Toro, se aprecian barras de arena y conglomerados, además 2 niveles de terrazas. **b.** (T028): Se aprecian clastos de basaltos de tamaño bloque pequeño a mediano.

Fuente: fotografías propias

En el recorrido de campo no se encontraron otros afloramientos que ayuden a mejorar la descripción de dicho abanico, ya que todo el sector está construido; en potreros, canchas de fútbol y parques se aprecia solo suelo.

Al norte del casco urbano de Toro esta la Qb. Lázaro, se caracteriza por generar depósitos aluviales, un ejemplo se puede apreciar en un afloramiento a su margen izquierda, de unos 4 m de alto por 10 de longitud (Estación T061), el cual es un conglomerado consolidado, clastos de guijo medio a bloques pequeños, color café claro a rojizo, clastos de baja esfericidad, sub-angulares a angulares, moderadamente calibrada, con fabrica orientada, contacto de clastos de puntuales a longitudinales; composición de los clastos chert negro, cuarzo, pizarras, arenitas y basaltos (Figura 3.26).

En la zona de trabajo no se apreciaron más afloramientos de este tipo sobre la Qb. Lázaro, todo el sector esta cultivado y solo se aprecia suelo.



Figura 3.26. T061 – Margen izquierda de la Qb. Lázaro donde se aprecia estrato grueso de conglomerados pertenecientes a los depósitos de la Qb.

Fuente: fotografía propia

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. Se observaron en campo algunas silletas de falla, roca cataclasita, facetas triangulares y cauces deflectados, los cuales se relacionan a continuación:

3.4.1. Trazo de la Falla Toro inferida con indicios geomorfológicos, pero sin evidencias de actividad tectónica reciente

En el mapa Geológico Plancha 223 - El Cairo, Valle del Cauca – Colombia. 1984 INGEOMINAS, Versión 2009, Transformada a Datum MAGNA SIRGAS 2013 se marca el trazo de la falla Toro y en campo se puede evidenciar por la presencia de silletas de falla, cauces deflectados y roca cataclasita, estos elementos identificados en campo y en fotografías aéreas. Sin embargo, no se encontraron evidencias geomorfológicas tales como escarpes o planos de falla para verificar su desplazamiento (Figura 3.1, Figura 3.34 y Figura 3.28).

Por foto-interpretación se marcó dos lineamientos más, el primero al norte del casco urbano, por el sector de patinódromo y con dirección NW-SE y el segundo lineamiento al sur del casco urbano (Barrio El Chanco) y con dirección SW-NE. Ambos lineamientos no presentan evidencias de actividad tectónica reciente (Figura 3.3 y Figura 3.27).



Figura 3.27. (T068): Vista al SW al cerro marcándose el segundo lineamiento descrito por foto-interpretación.

Fuente: fotografías propias



Figura 3.28. **a.** (T006): Vista al SW donde se aprecia todo el recorrido de la Qb. La Chica, la cual es el lineamiento de la Falla Toro. **b.** (T006): Vista al NE donde se aprecia un cerro perteneciente a la Fm. Lázaro, el cual presenta una silleta de falla y una faceta triangular. **c.** (T008): Afloramiento en el cerro La Cruz, donde existe una corona de deslizamiento, y se aprecia la roca (Basalto) totalmente afectada por metamorfismo dinámico (Roca Cataclasita). **d.** (T010): Roca basáltica afectada por metamorfismo dinámico, roca cataclasita con un dato estructura de $N75^{\circ}E/70^{\circ}NW$.

Fuente: fotografías propias

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 Toro 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 intermedia (**Ri**), 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 intermedia (Ri)

Macizos rocosos muy meteorizados con código **Rip** (Roca intermedia de pizarra), comprende roca semidura y mediana resistencia. En esta unidad se encuentran las rocas de la Formación Lázaro (Kcaa) presente en la zona montañosa al norte del casco urbano de Toro y caracterizado por laderas inclinadas a onduladas (Figura 3.29).

3.5.3. 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 (Figura 3.29).

3.5.4. 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, glaciario, 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 Toro se definieron las siguientes (Figura 3.29):

- Suelo transportado aluvial (Sta).

- Suelo transportado terrazas aluviales (Stta). Corresponde a los depósitos de abanicos antiguos.
- Suelo transportado flujo de lodo (Stfl). Corresponde a los depósitos de abanicos recientes.
- Suelo transportado coluvial (Stco).
- Suelo antrópico mixto (Sa). Conformados por (plástico, madera, escombros, basura, etc.)
- Suelo antrópico de relleno de escombros (Sale).

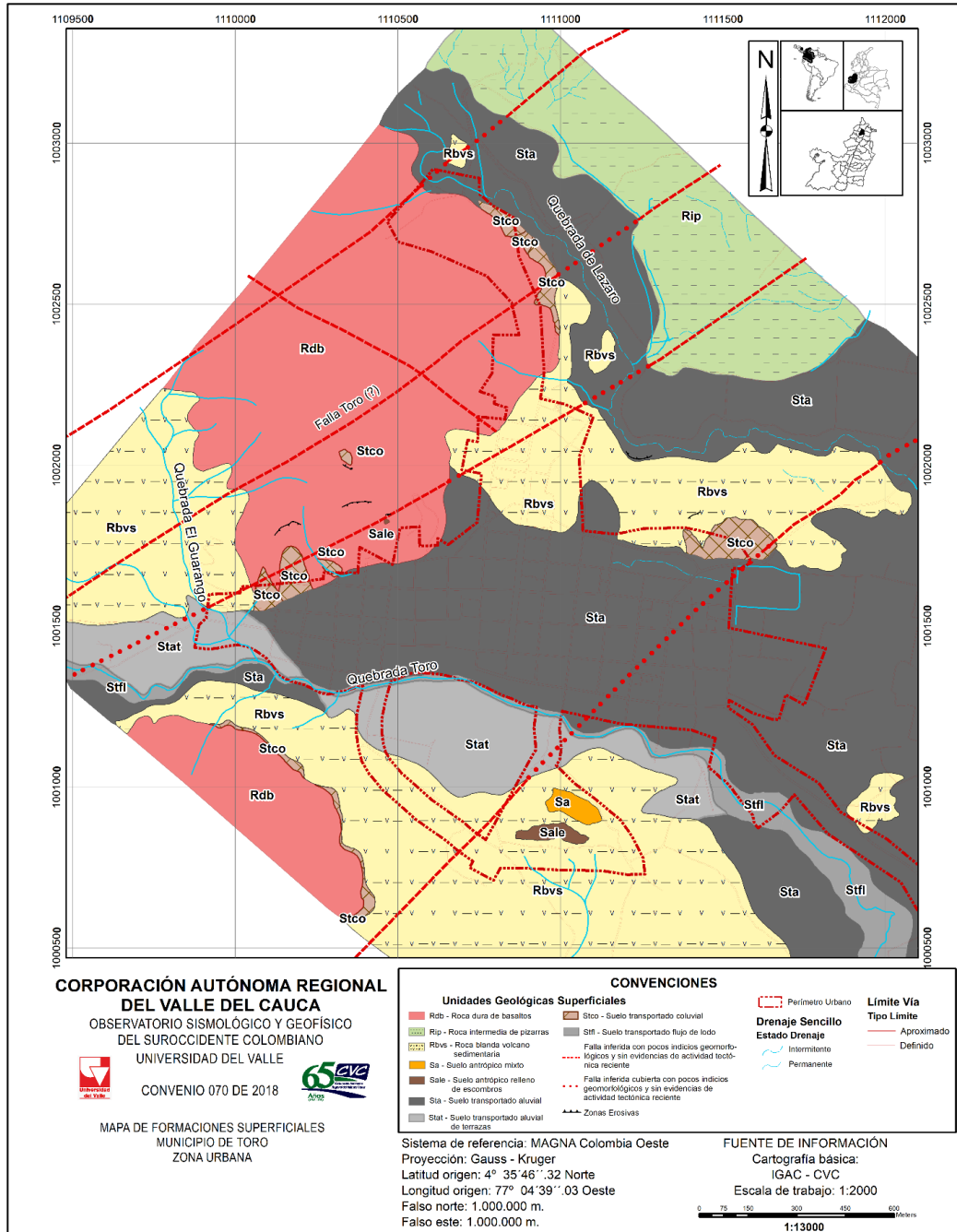


Figura 3.29. Mapa de Unidades Geológicas Superficiales del área urbana del municipio de Toro.

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 Toro fueron:

- IGAC_C_1260_FOTO_028 y 029_Año_19XX (Figura 3.30)
- A2_1998-07-20_0_Fal-407_F35_265 y 266 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)
- A2_2003_07_0_FAL-448_F23_005, 006 y 007 (Figura 3.32)
- A2_2004_02_00_00_FAL-448_F44_1_249, 250, 251 y 252 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)

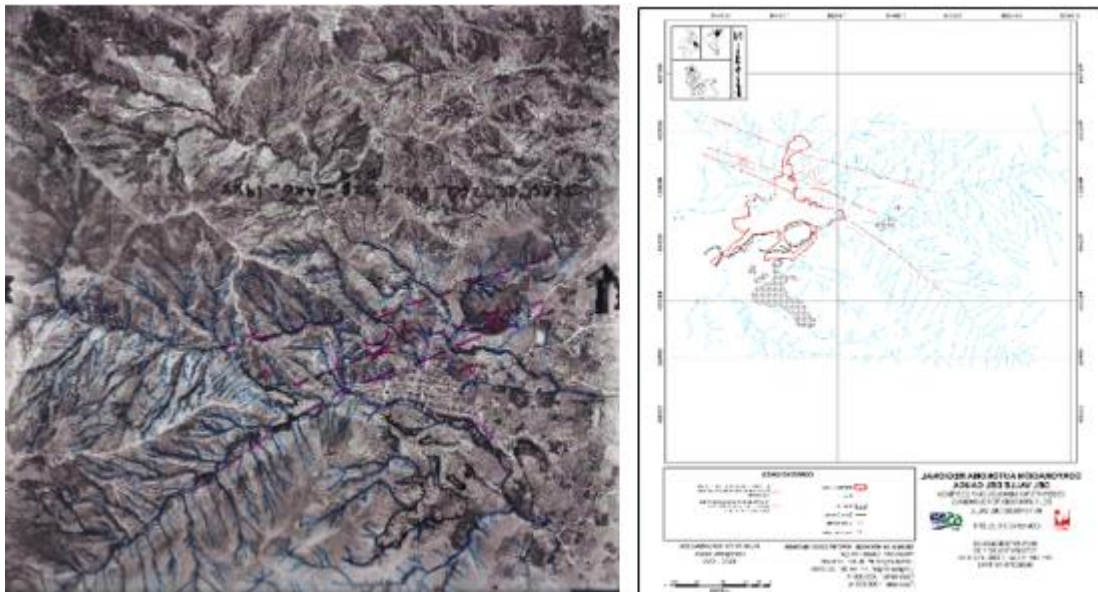


Figura 3.30. Fotointerpretación del vuelo IGAC_C_1260_FOTO_028 y 029_Año_19XX, sin claridad del año del vuelo.

Fuente: elaboración propia con datos del IGAC, (sf)

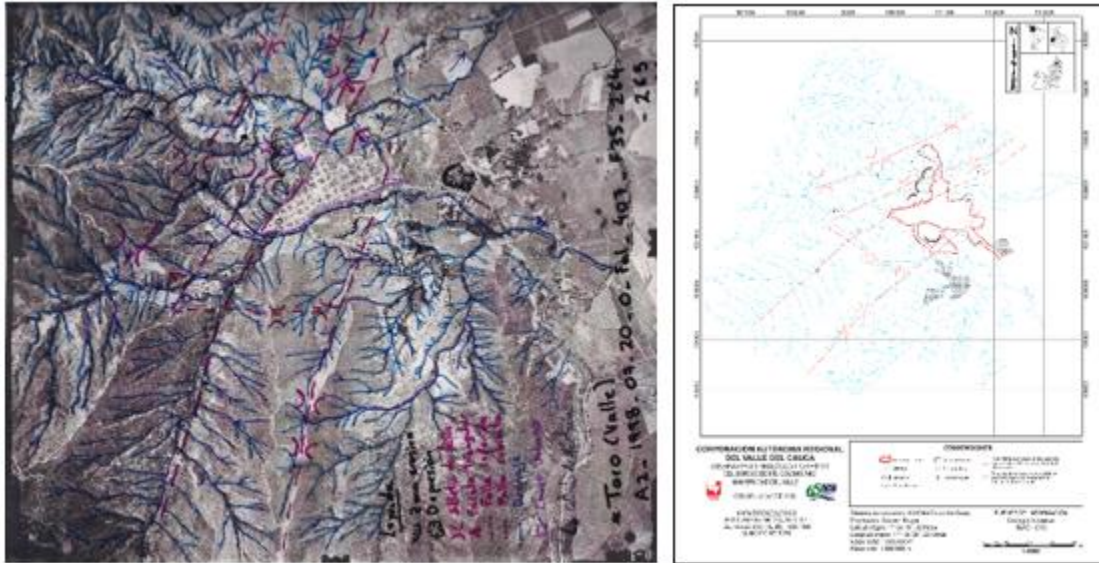


Figura 3.31. Fotointerpretación del vuelo de la CVC A2_1998-07-20_0_Fal-407_F35_265 y 266 del año 1998.

Fuente: elaboración propia con datos de la CVC, (1998)

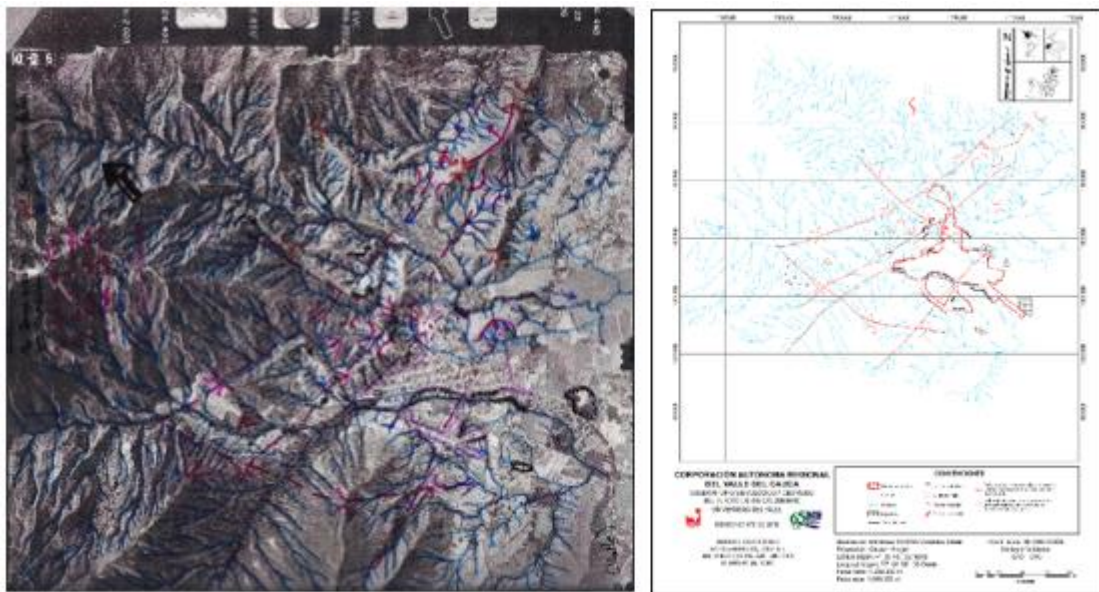


Figura 3.32. Fotointerpretación del vuelo de la CVC A2_2003_07_0_FAL-448_F23_005, 006 y 007 del año 2003.

Fuente: elaboración propia con datos de la CVC, (2003)

De estos vuelos el de menor escala es de 1:22.500 lo cual no favorece para visualizar geformas dentro del casco urbano de Toro y a la fecha no hay vuelos con una escala que favorezca visualizar más detalles o rasgos dentro y cerca del casco urbano, de todas maneras, se trabajó en la foto interpretación con los vuelos existentes para el conocimiento de la geomorfología del área, en especial los lineamientos y la tendencia en rumbo de la Falla Toro.

El vuelo del año 2004 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**) es el que presenta la escala menor pero solo deja ver el casco urbano de Toro de forma parcial (Solo el lado E).

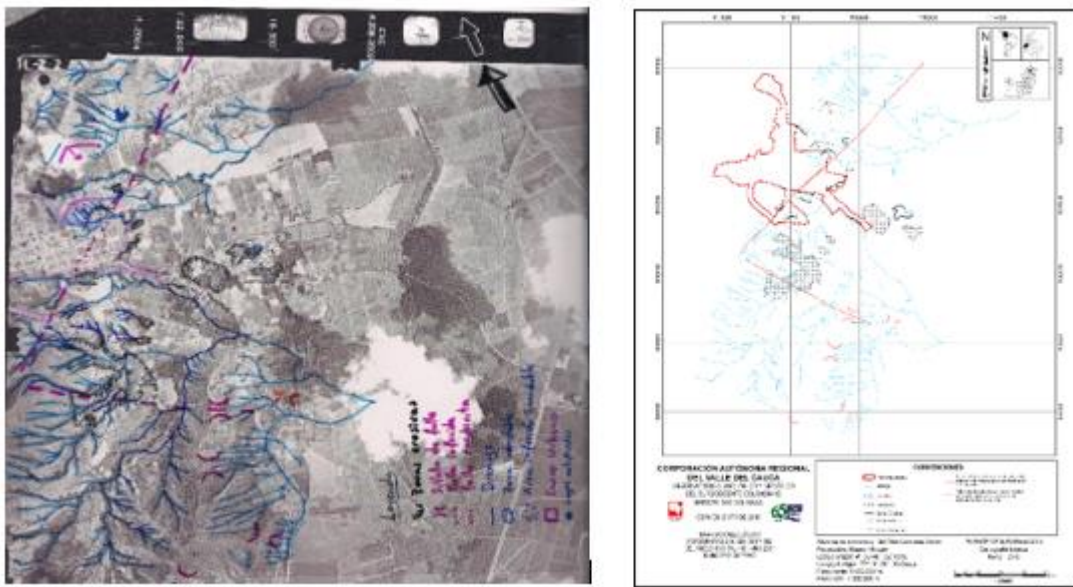


Figura 3.33. Fotointerpretación del vuelo de la CVC A2_2004_02_00_00_FAL-448_F44_1_249, 250, 251 y 252 del año 2004.

Fuente: elaboración propia con datos de la CVC, (2004)

Adicionalmente, se analizó el Modelo Digital del Terreno y el Mapa de Pendientes (Ver Figura 3.35 Figura 3.36 y el Modelo de Sombras. Con estas herramientas se obtuvo un insumo muy importante en la determinación de las unidades Geomorfológicas y se definió que el área urbana de Toro corresponde a un relieve plano a casi plano ($0-2^\circ$), suavemente inclinado a inclinado ($2-8^\circ$), en mayor proporción moderadamente abrupto ($8-16^\circ$) y Abrupto ($16^\circ-35^\circ$), Tomado de 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 3.34.

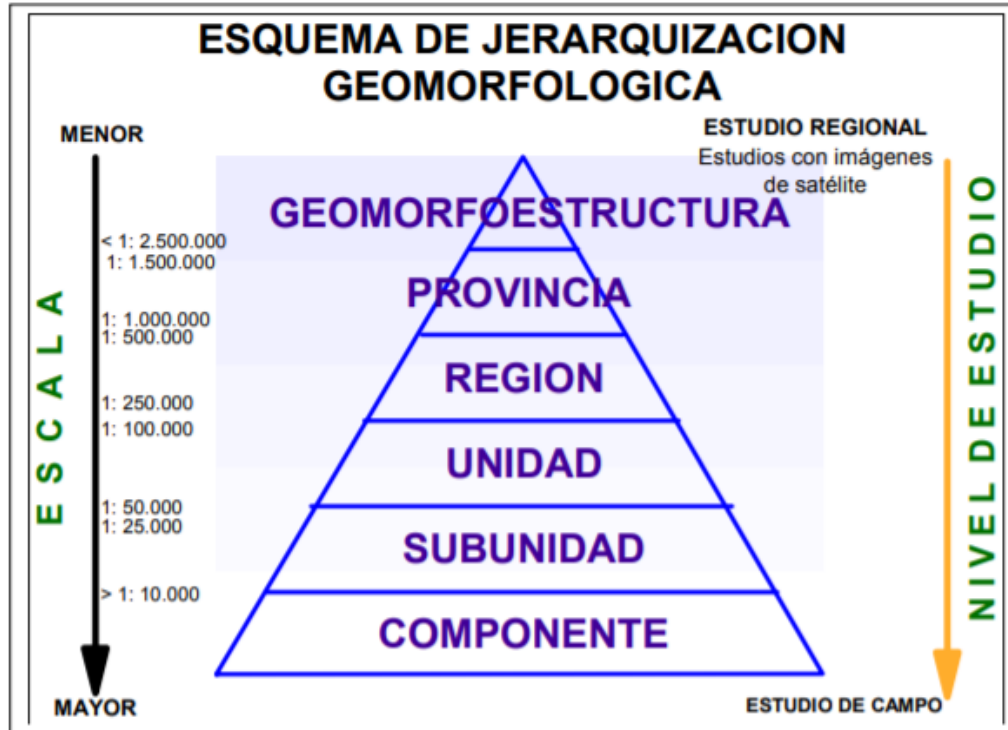


Figura 3.34. Esquema de jerarquización geomorfológica
Fuente: Tomado de Carvajal (2012).

Regionalmente el municipio del Toro se ubica sobre el piedemonte de la Cordillera Occidental, conformado al occidente por un relieve irregular, montañoso, de origen estructural; dominado principalmente por altas pendientes.

Por otro lado, 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. En la parte baja del Municipio donde dominan los abanicos aluviales depositados por los ríos y zanjones que conforman el área urbana, generando procesos de erosión y depositación fluvial, dando origen a geoformas que ocupan las zonas aledañas a los mismos y sobre los que se construyó el Municipio.

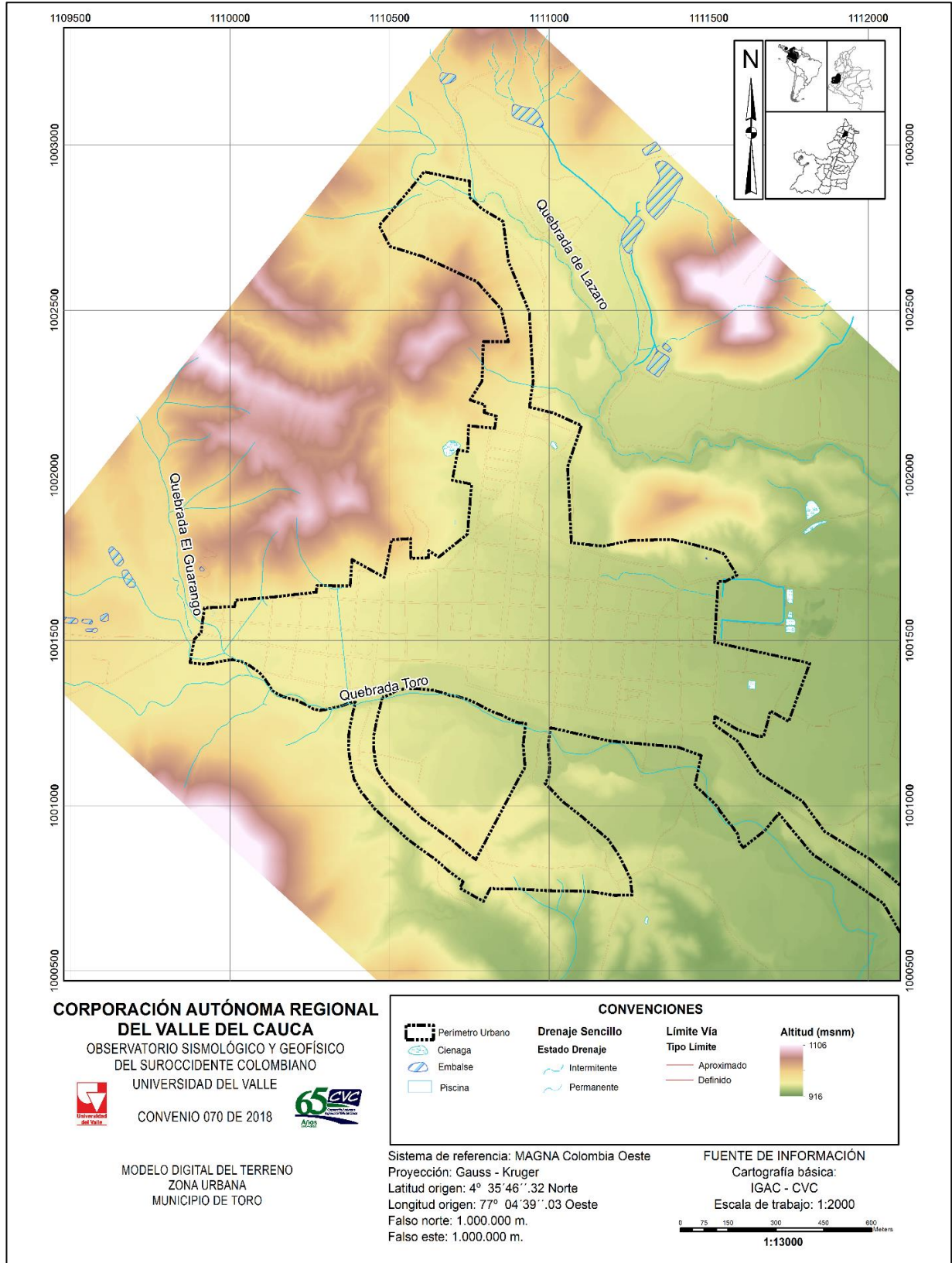


Figura 3.35. Modelo Digital de Terreno del área urbana del municipio del Toro.

Fuente: elaboración propia.

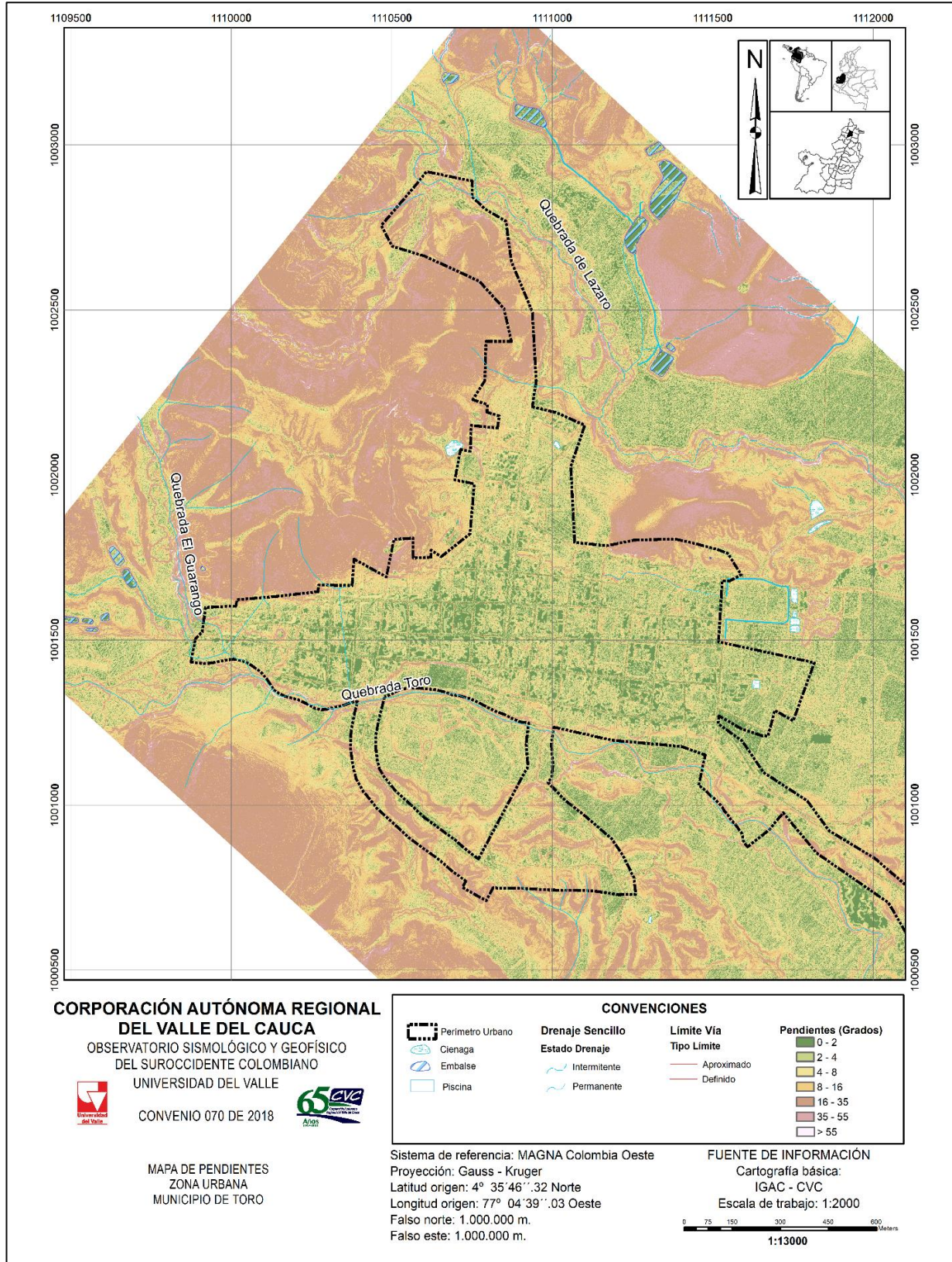


Figura 3.36. Mapa de Pendientes del área urbana del municipio del Toro.

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. Toro y zanjones que tratan de evitar inundaciones en las áreas urbanizadas aledañas, los cuales se convierten en amenazas para sus habitantes. Esto se puede observar en las inmediaciones de la Qb. Toro y el canalón que va paralelo a la carrera 5 (Figura 3.37).



Figura 3.37. a. (T011): Box culvert con construcción de casa encima de él, lo cual aumenta el riesgo de inundación y afectación de las viviendas. **b.** (T039): Dique antrópico a margen izquierda de la Qb. Toro para prevención de inundaciones, pero dicho dique fue cortado para hacer una vía de acceso a una finca al otro lado de la Qb.

Fuente: fotografías propias

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

1. Zona de ambiente fluvial con procesos tipo flujo o avenidas torrenciales y terrazas, básicamente depósitos Cuaternarios, principalmente de las quebradas La Seca y Toro, y asociados con la actividad de las quebradas intermitentes del municipio; estas geoformas cubren en 10% del casco urbano.
2. Sector montañoso y de colinas conformado por rocas del Cretácico de la Formación Lázaro (Kcaa) y de la Formación Zarzal (Tplz) respectivamente. Este sector es un 20% del casco urbano del Municipio.
3. Zona de ambiente o actividad antrópica, principalmente en relieves de laderas suaves, que han generado geoformas recientes, especialmente relacionadas con rellenos realizados y terracedos con fines de urbanización y escombreras; estas geoformas ocupan un 70% del área del casco urbano de Toro.

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 del municipio de Toro se relacionan a continuación (Figura 3.46).

- Dio (Laderas onduladas)
- Vls (Ladera suave)
- Dls (Ladera suave)
- Ftm (Nivel de terraza medio)
- Faa (Depósito abanico aluvial)
- Fa (Deposito aluvial)
- Ffl (Depósito de flujo de lodo)
- Dco (Depósito de ladera o coluviones)
- Dmm (Depósito de movimiento de masa)
- Allm (Llenos mixtos)
- Alt (Ladera terraceda)

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).

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 Cerro estructural | Slp (Sle) Sce |
| 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. | Charco de falla (Sag Pond) | Scf |
| | | Superficie de abanico | Va |
| | | Escarpe de abanico | Vea |
| | | Lomo residual | Vlr (Dlr) |
| | | Cimas anchas | Vca (Dca) |
| | | Colina residual | Vcr (Dcr) |
| SUBORIZONTALES A INCLINADOS | | 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 |
| 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. | Cono de deyección | Fcd |
| | | Canteras | Ac |
| | | Llenos Mixtos | Allm |
| | | Llenos de escombros | Alle |
| | | Terrazas y conos explanados con llenos | Abe |
| | Ladera terraceda | Alt | |

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

Por lo tanto, dentro de los elementos de este origen se incluyen las zonas de depósitos de movimientos de masa (**Dmm**) (Figura 3.38).



Figura 3.38. Elementos de origen denudacional. **a.** (T074): Vista al Sur, donde se aprecia con rocas basálticas de la Fm. Volcánica (Ksb) el cual presenta ambiente Denudacional, a la base sectores con Dco. **b.** (T064): Vista al norte donde se aprecia el cerro La Cruz, el cual presenta en su base S y E-NE elementos Dco, y a media ladera y en su cara N elementos Dmm.

Fuente: fotografías propias

También se aprecian laderas suaves (**Dls**) como resultados erosivos, es de aclarar que esta geoforma ubicada en el mapa también pudo ser afectada por elementos antrópicos(?) para construcción de viviendas (Figura 3.39 y Figura 3.46).



Figura 3.39. 107 (T053): Vista del sector N del casco urbano de Toro, Carrera 5 a 11, donde se aprecia la geoforma Dls.

Fuente: fotografías propias

Las formas de origen volcánico (**V**) corresponden con las geoformas generadas, tanto por la intrusión como por la extrusión de materiales fundidos procedentes del interior de la Tierra (Carvajal, 2012), además por su actividad asociada a materiales arrojados por los mismos, los

cuales se encuentran sometidos a procesos denudacionales de clima tropical (Volcánico denudacional).

En la zona de estudio se identifica gran parte de la Fm. Zarzal (Tplz) a esta geoforma y origen, nombrando el elemento como **Vls** (Figura 3.40 y Figura 3.46). Se aclara que estos depósitos presentan areniscas, conglomerados y limolitas, pero la ceniza es la que más aflora al piso en diferentes lugares.

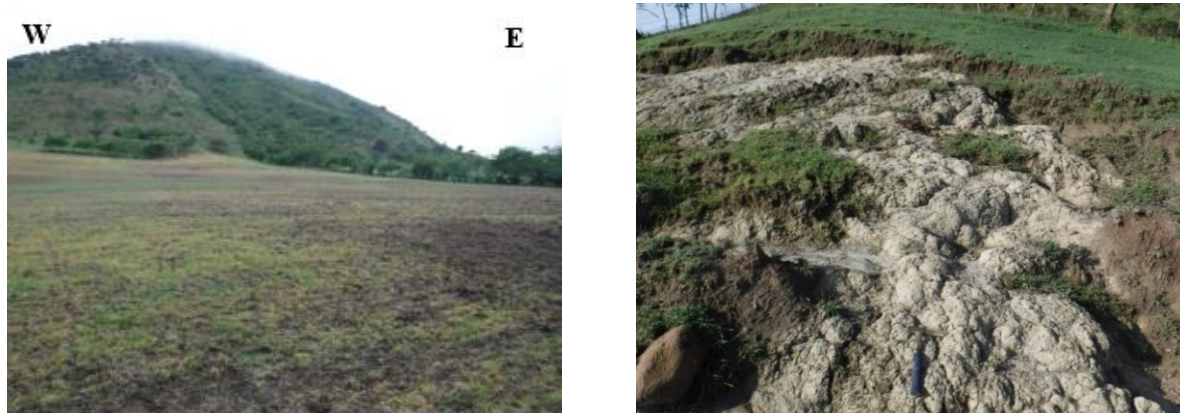


Figura 3.40. (T027 y T064). Laderas suaves (Vls) de origen volcánico.

Fuente: fotografías propias

Las formas de origen fluvial (**F**) son geoformas desarrolladas a partir del material erosionado y transportado pendiente abajo (erosión – sedimentación) desde las zonas montañosas aledañas por acción de las corrientes o por acción de la gravedad (modificado de Ibañez D. et al., 2012). Se incluyen los elementos correspondientes al cauce o lecho actual de los ríos, lagos o lagunas (Figura 50).

Los depósitos aluviales, abanicos aluviales antiguos, abanicos aluviales recientes y terrazas de las quebradas Toro y Lázaro se encuentran dentro de estos ambientes y geoformas. Los depósitos de abanico aluvial (**Faa**) y nivel de terraza medio (**Ftm**) se presentan en la Qb. Toro (Figura 3.41, **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y Figura 3.45), mientras solo en la Qb. Lázaro se encontró solo el depósito aluvial (**Fa**) (ver Figura 3.43 y Figura 3.46).



a

Figura 3.41. (T007): Vista general al SE del casco urbano de Toro donde se aprecia la poca inclinación y las construcciones sobre el abanico de Toro.

Fuente: fotografías propias



a



b

Figura 3.42. a y b. (T065 y T025): Terrazas pertenecientes al abanico aluvial de Toro.

Fuente: fotografías propias



a



b

Figura 3.43. a. (T063): Vista al S donde se aprecia parte de los depósitos aluviales de la Qb. Lazaro. **b.** (T060): Qb. Lázaro cortando sus depósitos aluviales.

Fuente: fotografías propias

Los depósitos de flujos de lodos (**Ffl**) se encontraron en la Qb. Toro limitado al cauce de la quebrada, para aclarar más este término se da una breve definición en el estudio *Las Avenidas Torrenciales – Una amenaza potencial en el valle de Aburrá* (Caballero, 2011).

Desde el punto de vista de la geomorfología, una avenida torrencial es un tipo de movimiento de masa caracterizado por el flujo rápido de la mezcla caótica de sólidos y agua que pueden desplazarse a grandes velocidades; dependiendo de los materiales involucrados y de los tipos de flujo que se dan, es posible definir una amplia variedad de fenómenos, todos con posibilidad de presentarse en cuencas de montaña. Una clasificación general incluye en este grupo de movimientos de masa, las avenidas torrenciales propiamente dichas, flujos hiperconcentrados, flujos de lodo (ver Figura 3.16, 3.17, 3.19, 3.24, 3.44 y 3.46), flujos de escombros y transiciones entre éstos.

Además, en la *Guía Metodológica para la zonificación por amenaza por movimientos de masa, escala 1:25.000, 2017*; clasifica a los Flujos como tipos y en Sub-tipos están los flujos de lodos (Figura 3.16, 3.17, 3.19, 3.24, 3.44 y 3.46) y las avenidas torrenciales; para este informe setoma como referencia la clasificación de esta guía.

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 D. et al., 2012). Los elementos identificados con estas geoformas se definieron como llenos mixtos (**Allm**) y ladera terrazada (**Alt**) (ver Figura 3.45 y Figura 3.46).



Figura 3.44. (T024): Se aprecia estrato grueso (2 m de grosor) de un flujo de lodos con bloques de hasta 60 cm de espesor “flotando” en el flujo de lodo.

Fuente: fotografía propia



Figura 3.45. (T072 y T073): Aspecto de los Llenos Mixtos (Allm) y al mismo tiempo de laderas terraceadas (Alt).

Fuente: fotografía propia

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 3.46.

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.

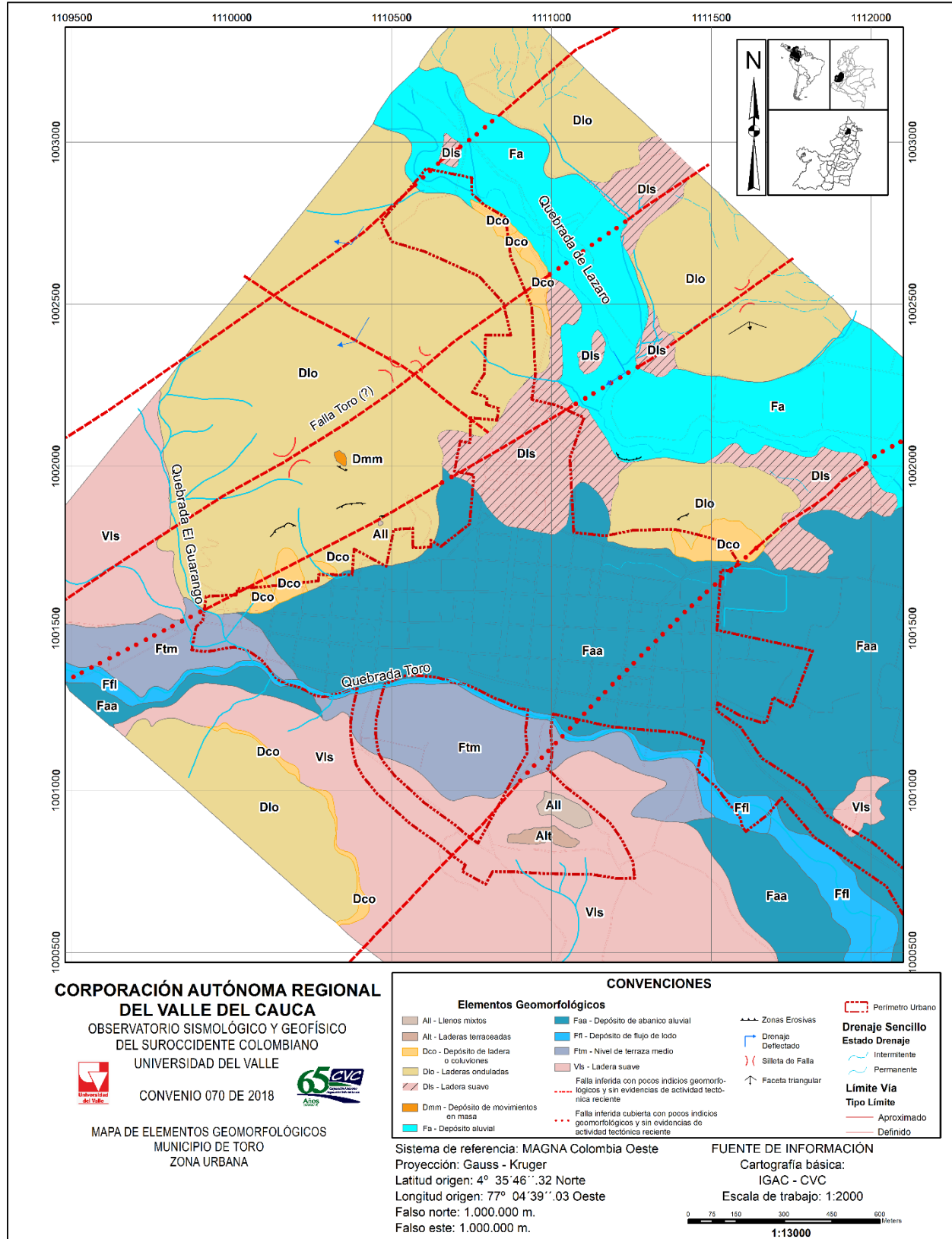


Figura 3.46. Mapa Geomorfológico del área urbana del municipio del Toro.

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 Toro, pero si se logra evidenciar depósitos de ladera o coluvión a la base del cerro La Cruz y a la base del cerro que está en la parte norte del barrio San José, en la carrera 6 entre calles 14 y 17.

En el cerro La Cruz y en la parte media de este cerro se encuentra las instalaciones de Acuavalle, en la parte alta de estas instalaciones está el tanque de almacenamiento de agua y al lado E de dicho tanque se encuentra una grieta(?) que está generando empozamiento del agua lluvia, lugar que se debe revisar con prioridad (Figura 3.47).



Figura 3.47. (T009): **a.** Vista general del cerro La Cruz y de las instalaciones de Acuavalle. **b.** Al lado E del tanque (lado derecho en la foto) se aprecia grieta que sirve de canal para guiar agua lluvia y empozarla al lado del poste, nótese que el poste ya está levemente inclinado

Fuente: fotografías propias

A la base del cerro La Cruz se presenta Suelo transportado coluvial (**Stco**); Carreras 4 y 5, entre calles 3 y 7, en dicha zona existen viviendas las cuales cortaron la base del Cerro para ganar espacio y ampliar las casas dejando un talud vertical en ellas (Figura 3.48), generando inestabilidad en dicha zona.



Figura 3.48. (T005): Ejemplo de talud vertical en parte de atrás de casas, el cual linda con patios o habitaciones poniendo en riesgo los habitantes de dichas edificaciones.

Fuente: fotografías propias

La misma situación se presenta en las viviendas ubicadas en la Calle 11 #5N-352 y #10-55, éstas y las demás viviendas presentan taludes verticales o inclinados en la parte de atrás poniendo en riesgo a sus habitantes y las viviendas (Figura 3.49).

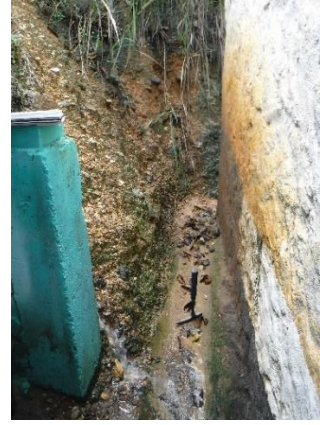
Tabla 3.2. Sitios con remoción de masas

| SITIOS CON REMOCIÓN DE MASAS ACTUAL | | | | | |
|-------------------------------------|--------------|--|--|------------------------------|---|
| ESTACIÓN | LOCALIZACIÓN | LITOLÓGÍA | DESCRIPCIÓN | COORDENADA | OBSERVACIONES |
| T009 | Acuavalle | Deslizamiento que afecta rocas basáltica meteorizada de la Fm. Volcanioza (Ksb), la cual presenta diaclasamientos y sitios con meteorización esferoidal. | Suelo antropico de escombros y relleno (Sale), este lugar pertenece a Roca dura basáltica (Rdb) descrita en las Formaciones Superficiales. | X: 1.001.840 Y: 1.110.450 | Al parecer producto de la elaboración del tanque de almacenamiento, además se evidencia un gruta en el piso al lado del tanque, dicha gruta sirve de sumidero de agua lluvia. |
| T052 | San José | Deslizamiento que afecta la Fm. Zarzal (Tplz), roca meteorizada. | Deslizamiento traslacional, los materiales afectados se pueden describir como suelo transportado coluvial (Stco) en Roca blanda volcano sedimentaria (Rbvs). El ancho del cuerpo es aproximadamente 110 m. | X: 1.001.750 Y: 1.111.500 | Deslizamiento antiguo, no se aprecia que este activo, en él no hay edificaciones. |

Fuente: elaboración propia



a



b



c



d



e



f

Figura 3.49. a y b. (T055): Parte de atrás casa en Calle 11 #10-55, se aprecia el **Stco** muy meteorizado y con agua aflorando. (T056): Casa en Calle 11 #5N-352, **c.** muestra derrumbe del talud provocado por las lluvias de la noche y el cual entro hasta la vivienda (A la cocina). **d.** muestra la casa de enseguida con un muro en cemento y ladrillos muy mal estado y con las columnas inclinadas. **e y f.** (T058); Casa ubicada en la Calle 11 #10-549. También afectada por deslizamiento del coluvión ubicado en la parte de atrás de la vivienda.

Fuente: fotografías propias

Una situación muy similar se presenta en las viviendas ubicadas en la carrera 6 entre calles 14 y 17 (Figura 3.50).



Figura 3.50. a. (T049): casa ubicada en la Carrera 6 #15-109, nótese que el coluvión (Stco) está haciendo presión sobre la pared de dicha casa, la cual es una habitación. **b.** (T050): Casa en la Carrera 6 # 16-65 presenta la misma situación.

Fuente: fotografías propias

En la carrera 2 Sur, se presenta un lote que está programado para construir un barrio y una cancha de futbol, actualmente ya está construido una escuela, pero en la parte de atrás está siendo llenado con suelo antrópico mixto (Sa) (Figura 3.51). Lo delicado de este lote es que el lleno está tapando un drenaje natural de aguas lluvias.



Figura 3.51. (T072 y T073): Parte SW o detrás de la escuela nueva, se aprecia como se llena el lugar y el drenaje natural de aguas lluvias de escombros (Suelo antrópico mixto – Sa).

Fuente: fotografías propias

3.6.5. Erosión

K

La Qb. Toro es el único afluente continuo que pasa por el casco urbano del municipio de Toro, específicamente su lado sur (Quebrada que hace su recorrido de W a E del casco urbano), y la cual presenta en su historia continuos aumentos de caudal observándose en la visita de campo varios puntos que están siendo afectados y que fueron afectados (sitios ya con obras civiles) por erosión producto de la quebrada. Es de anotar que desde la calle 3 hasta la calle 10 el margen de protección o de inundación de la quebrada no se ha dejado, en la cual se presentan construcciones, específicamente viviendas.

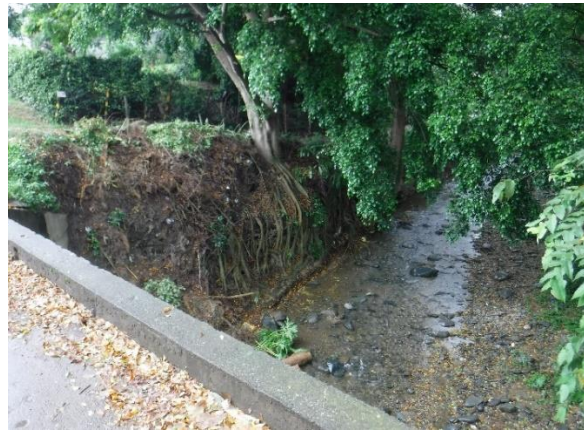
La quebrada Toro en su recorrido está erosionando sus depósitos más antiguos, dejando a su paso terrazas (Estaciones T024, T025 y T026), pero en otros puntos taludes o afloramientos de sedimentos de 3 a 6 m de alto aproximadamente (Estaciones T025, T026, T028, T0239, T031, T032, T035, T037).

De las estaciones anteriormente mencionadas las que se encuentran con un nivel de erosión que puede afectar el casco urbano son:

La estación T031 y T032 se aprecia construcciones a ambos lados de la quebrada y en la cual presenta sus laderas erosionadas, incluyendo socavamiento de los pequeños taludes, además se aprecian raíces de árboles descubiertas (Figura 3.52).



a



b

Figura 3.52. a. (T031): Erosión en la parte baja del talud, provocando riesgo de caída del estrato superior. **b.** (T032): Exposición de raíces de árboles producto de erosión de la quebrada Toro.

Fuente: fotografías propias

La misma situación se presenta en la estación T035 y T039, donde la quebrada Toro está erosionando sus orillas con posibles afectaciones a construcciones aledañas, especialmente en la T039 (Figura 3.53).



a



b

Figura 3.53. a. (T035): Exposición de raíces de árboles producto de erosión de la quebrada Toro. **b.** (T039): Erosión continúa del talud; los habitantes de la casa coloquen rocas tamaño bloques para disminuir la erosión.

Fuente: fotografías propias

En la estación T044, parte de atrás del centro acopio de leche se encuentra una obra civil, el cual es un tubo de PVC de 23” que trae las aguas lluvias de la Transversal 1, dicha obra quedo en medio de la Qb. Toro provocando que la misma haga un giro de 90° a su derecha, provocando erosión en la obra civil y en la margen derecha de la quebrada (Figura 3.54).



Figura 3.54. (T044): Obra civil que obliga a la quebrada Toro hacer un giro brusco a su derecha provocando erosión

Fuente: fotografías propias

Como el casco urbano de Toro tiene tan pocas laderas solo se aprecia una leve reptación en las laderas de los cerros que están a las afueras del casco urbano (Figura 3.55).



Figura 3.55. (T064): Reptación leve en laderas contiguas al casco urbano de Toro, cerro Tambor.

Fuente: fotografías propias

3.6.6. Inundaciones

El casco urbano del municipio del Toro se ve afectado por inundación provocada por lluvias que generan quebradas intermitentes y por desbordamiento de la Qb. Toro.

Las inundaciones por lluvias son frecuente, las cuales generan el cauce o el aumento del cauce de varias quebradas intermitentes del cerro La Cruz y que se unen en el casco urbano de Toro en la calle 10 con carrera 6 (T011, figura 56), donde se da inicio a un box culvert de 2,8 m por 0,70 m de alto, el cual hace su recorrido de W a E, desde la calle 10 hasta la calle 18, pero en algunos sitios pasa a un canal más pequeño de 0,7 m por 0,4 m de alto, generando desbordamientos de dicho box culvert o canal, además de construcciones encima del canal (Figura 3.56 y Figura 3.57).



a



b

Figura 3.56. a. (T011): Carrera 6 con calle 10. Box culvert de 2,3 m X 0,70 m de alto al cual le construyeron una casa encima. **b.** (T017): Calle 12 # 5-35 y #5-45, se aprecian viviendas encima del box culvert, situación común en diferentes puntos del recorrido de la canalización.

Fuente: fotografías propias

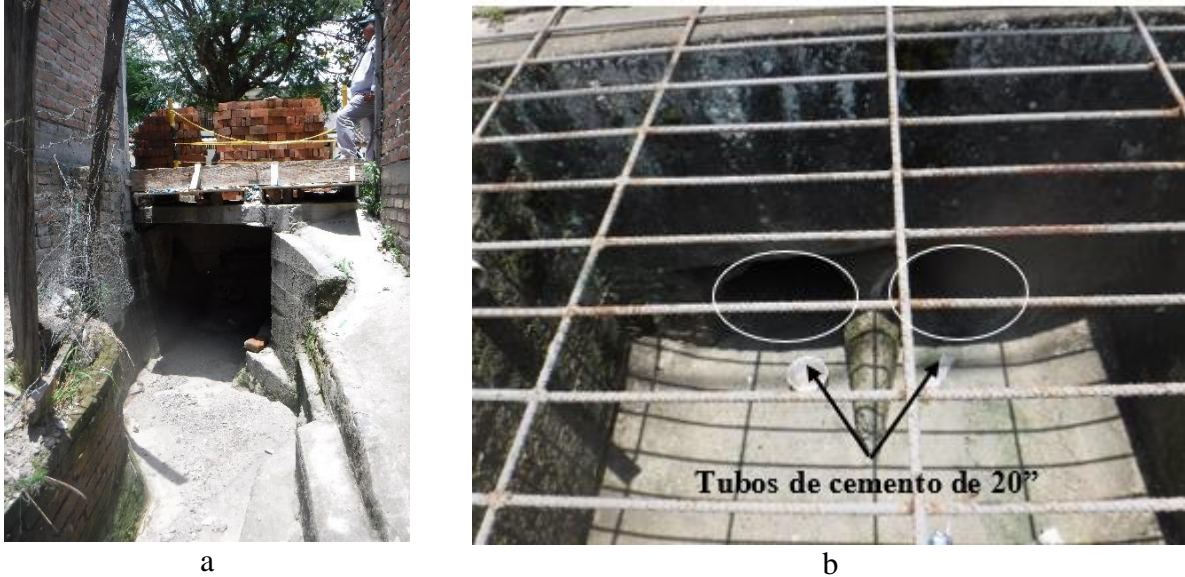


Figura 3.57. a. (T016): Calle 11 con carrera 5ª. El box culvert viene con las dimensiones de 2.8 m por 0.70 m de alto y pasa a 0.70 m por 0.40 m de alto. **b.** (T018): Continuando el recorrido de la quebrada intermitente, en la calle 13 con carrera 5 se aprecia nuevamente la reducción del canal, pasando de 0.70 m por 0.40 m de alto a dos tubos de cemento de 20”, los cuales pasan debajo de una casa.

Fuente: fotografías propias

La quebrada intermitente o canalización termina en la calle 18 con un giro no natural de 90° a su izquierda generando desbordamiento de dicho canal y afectando la zona de cultivo, después de cruzar la canalización el cultivo la canalización termina en plena vía terciaria sin ningún control, afectando la vía y las zonas alrededor (Figura 3.58).



Figura 3.58. a. (T021): Calle 18, donde la canalización hace un giro no natural de 90° provocando desbordamiento de la quebrada. **b.** (T022): Más debajo de la estación T021 la quebrada llega a la vía terciaria que pasa por la ladrillera, la cual se ve afectada por el desbordamiento de la quebrada.

Fuente: fotografías propias

Esta canalización también recibe las aguas lluvias que vienen del cerro ubicado en la parte de atrás del barrio San José (carrera 6, entre calles 14 y 18), las cuales también afectan las casas en la dirección mencionada (Figura 3.59). También existe en este barrio, en la carrera 6 # 17-05 una quebrada intermitente que baja del cerro y que presenta dos giros no naturales de 90° debido a la construcción de una casa, lo que genera el desbordamiento de la misma afectando las casas vecinas y la vía (Figura 3.60).



Figura 3.59. (T048): Carrera 6 con calle 14, aguas lluvias que descienden del cerro afectando las casas cercanas, se elaboró el canal en tierra que se observa en la foto de la izquierda para conducir las aguas al box colvert o canal descrito en la estación T011.

Fuente: fotografías propias



Figura 3.60. a. (T049): Carrera 6 #15-109, se aprecia aguas lluvias bajar por la ladera del cerro, pasar por la puerta del patio de la casa y afectar la casa del frente, ya que dicha casa está a un nivel más debajo de la vía. **b.** (T051): Se aprecia quebrada intermitente que hace un giro no natural de 90° a la derecha por la construcción de una casa.

Fuente: fotografías propias

Las viviendas y las vías comprendida entre las calles 15 a 18 y carreras 3 a 6 se ven afectadas principalmente por aguas lluvias, este es común en el municipio del Toro ya que no cuenta con un

adecuado sistema de alcantarillado de aguas lluvias, lo que genera inundaciones de hasta 30 cm en algunos sitios (Figura 3.61).



Figura 3.61. (T047): Fotos ubicadas en la calle 18 con carrera 3, uno de los sitios afectados por inundaciones de agua lluvia, nótese como los habitantes del sector rompieron el muro en la parte de abajo para que el agua no se empoce.

Fuente: fotografías propias

Otro punto que ha tenido historicidad de inundaciones es en la Carrera 2 entre la calle 2 Oeste y la calle 1, este lugar es una depresión lo cual genera inundaciones por lluvias, por agua lluvia que baja de la ladera o por la Qb. Toro cuando se desborda (Figura 3.62).



Figura 3.62. Estaciones T002 y T078, zona afectada por inundaciones

Fuente: fotografías propias

A las orillas de la Qb. Toro se presentan inundaciones ya que existen vías y edificaciones al lado de ella, las cuales no guardan ningún tipo de margen de seguridad de la Qb, además están en la zona de inundación de esta (Figura 3.63).



Figura 3.63. Estaciones T032 y T033 respectivamente: Márgenes de la Qb, Toro las cuales presentan construcciones a 4 m, estas vías se han visto afectadas por inundaciones de la Qb Toro en varias ocasiones, es de anotar que las vías están entre 1,5 y 2 m de alto del nivel de la quebrada.

Fuente: fotografías propias

Es importante resaltar que según el propietario de la casa ubicada en la dirección Carrera 1 #600 (margen derecha de la Qb. Toro, figura 65), hace unos 40 años la quebrada presentó una fuerte inundación subiendo el agua hasta el borde de la casa donde él habita, unos 6 m más arriba de la quebrada. En este lugar también se aprecia el flujo de lodo descrito anteriormente en Fm. Superficial como Stfl (Figura 3.16, Figura 3.17, Figura 3.24 y Figura 3.64).



Figura 3.64. Estación T031: **a.** se aprecia la casa en la dirección carrera 1 #600 a unos 6 m de alto de la Qb. Toro. **b.** muestra pequeño afloramiento con la capa superior de suelo y debajo de ella el flujo de lodo.

Fuente: fotografías propias

Al norte en la Qb. Lázaro, en el barrio Lázaro, diagonal 11 (Sector cocomiado), las primeras casas de este barrio más un tanque séptico construido en cemento con dimensiones de 5 m por 10 m de largo, se ven afectados por inundaciones provocadas por la Qb. Lázaro (Figura 3.65).



Figura 3.65. Área afectada por inundaciones, nótese que el tanque en cemento y las casas están al borde de la Qb. Lázaro sin ningún área de protección de la quebrada.

Fuente: fotografía propia

4. TOPOGRAFÍA DEL MUNICIPIO DE TORO

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 TORO 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 (V_x , V_y , V_z), 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 ITRF notifique 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:

$$\begin{aligned} X_{(t)} &= X_{(t_0)} + (t - t_0) * V_x \\ Y_{(t)} &= Y_{(t_0)} + (t - t_0) * V_y \\ Z_{(t)} &= Z_{(t_0)} + (t - t_0) * V_z \end{aligned} \quad (1)$$

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

$(t - t_0)$ 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**: la 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 International 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:

$$H = h - N \quad (2)$$

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 Geospatial 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 abstraer 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 geode.

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.

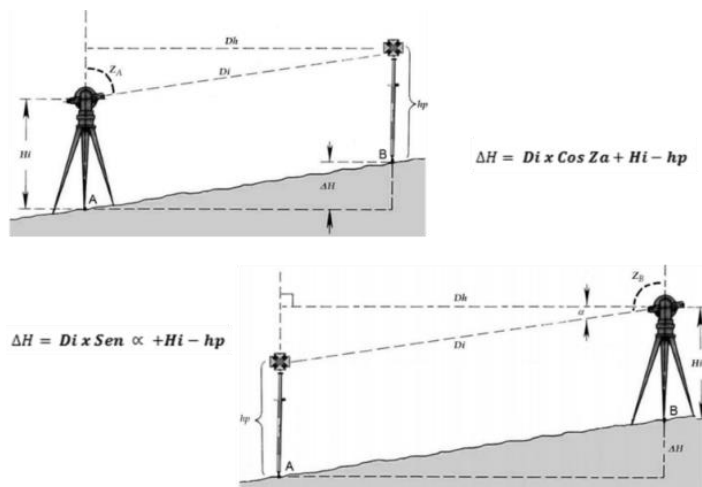


Figura 4.1. Nivelación Trigonométrica, Situaciones
Fuente: Ministerio de Agricultura Chile, 2014

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.).

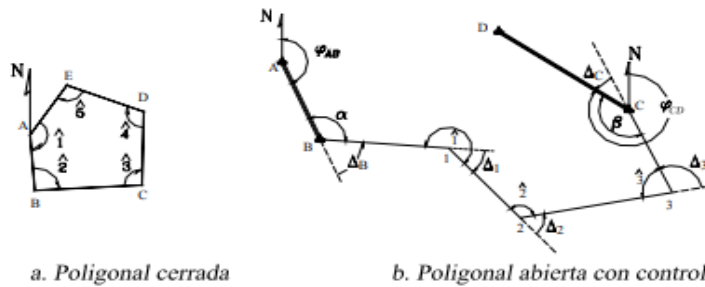


Figura 4.2. Tipos de Poligonal

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:

$$Ea = \sum < Int - (n - 2) * 180 \quad (3)$$

$$Ta = a\sqrt{n}$$

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:

$$Ea = A_{fc} - A_f \quad (4)$$

Donde,

A_{fc} , es el azimut final calculado

A_f , es el azimut final conocido

(Casanova. 2002)

Error lineal de la poligonal cerrada:

$$\begin{aligned}\varepsilon\Delta N &= \sum \Delta_{N-S} \\ \varepsilon\Delta E &= \sum \Delta_{E-O} \\ \varepsilon l &= \sqrt{\varepsilon\Delta N^2 + \varepsilon\Delta E^2}\end{aligned}\quad (5)$$

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:

$$\begin{aligned}\varepsilon\Delta N &= \sum \Delta_{N-S} - \Delta N_{BC} \\ \varepsilon\Delta E &= \sum \Delta_{E-O} - \Delta E_{BC} \\ \varepsilon l &= \sqrt{\varepsilon\Delta N^2 + \varepsilon\Delta E^2}\end{aligned}\quad (6)$$

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,

$\sum L$, es la sumatoria de los lados de la poligonal en metros

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).

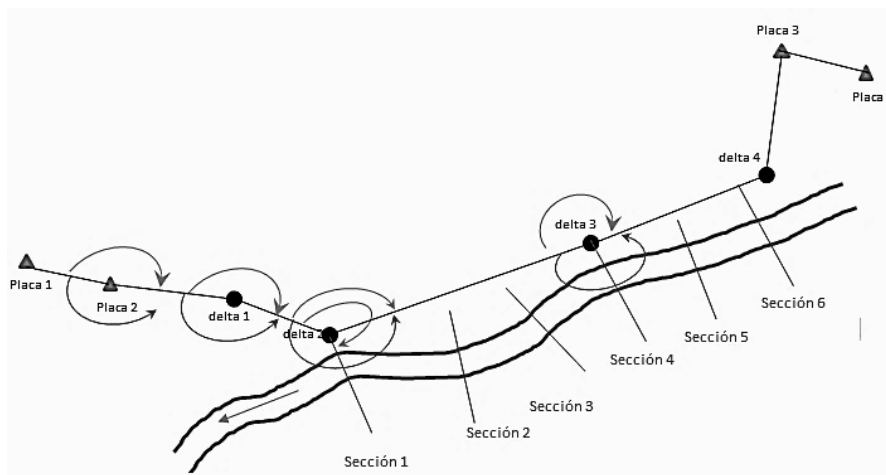


Figura 4.3. Levantamiento Batimétrico

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).

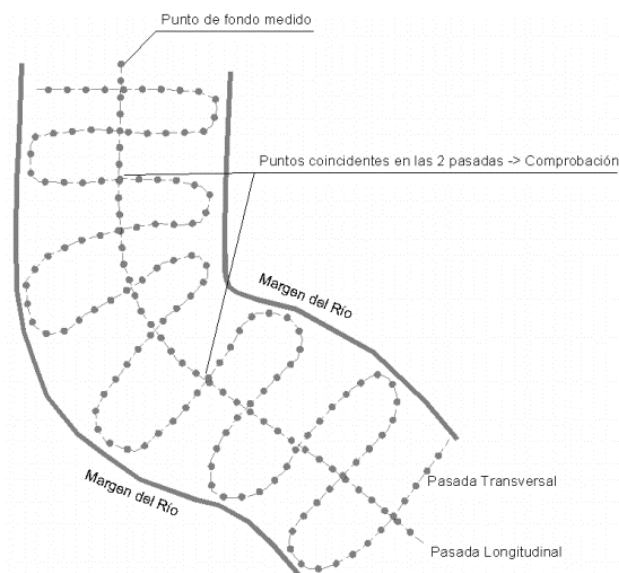


Figura 4.4. Esquema Batimetría de río por Ecosonda
Fuente: Gallardo, 2014.

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 TORO 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 TORO 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 río Dovia y la quebrada Cauquita, en el municipio de TORO. 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 al IGAC la resolución espacial expresada en GSD se puede 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.

$$RMSE_{(z)} = \sqrt{\frac{1}{n} * \sum_1^n (Z_{iDTM} - Z_{iGEO})^2} \quad (8)$$

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:

$$VMAS = 1.6449 * \text{RMSE}_{(z)} \quad (11)$$

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

$$NMA\ CI = \frac{Precision_{(z)}}{0.5958} = 3.2898 RMSE_{(z)} \quad (14)$$

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.

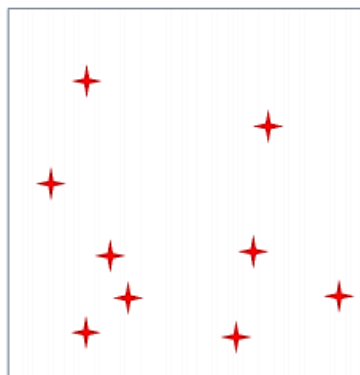


Figura 4.5. Muestreo aleatorio simple

Fuente: (Porrás, 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.

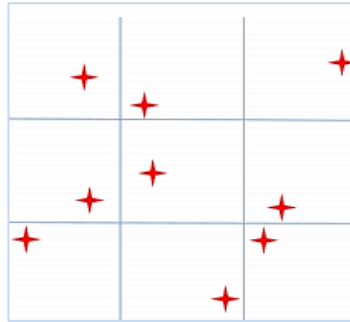


Figura 4.6. Muestreo aleatorio estratificado
Fuente: (Porras, 2014). Imagen basada en (Haining, 2003).

- **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).

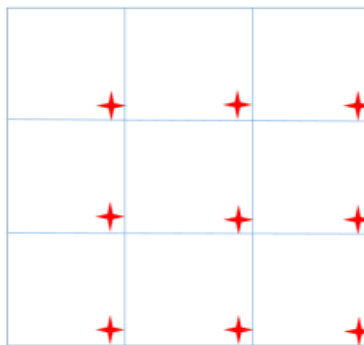


Figura 4.7. Muestreo sistemático
Fuente: (Porras, 2014). Imagen basada en (Haining, 2003)

- **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.

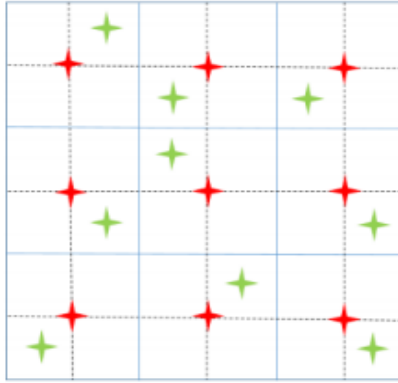


Figura 4.8. Muestreo anidado
Fuente: (Porras, 2014).

4.6. NÚMERO DE PUNTOS

La ASPRS (*American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*), recomienda 100 puntos para control vertical por cada 2500 km² 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 | | TOTAL N° PUNTOS CHEQUEO VERTICAL |
|--------------------------------------|-------------------|---|---|--|----------------------------------|
| | N° PUNTOS CHEQUEO | N° PUNTOS CHEQUEO VERTICAL EN ÁREAS N° VEGETACIÓN | N° PUNTOS CHEQUEO VERTICAL EN AREAS SI VEGETACIÓN | | |
| ≤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.

Assumiendo 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 geoméricamente 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 receptores, 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 $5 \text{ mm} \pm 1 \text{ ppm}$, Figura 4.10.

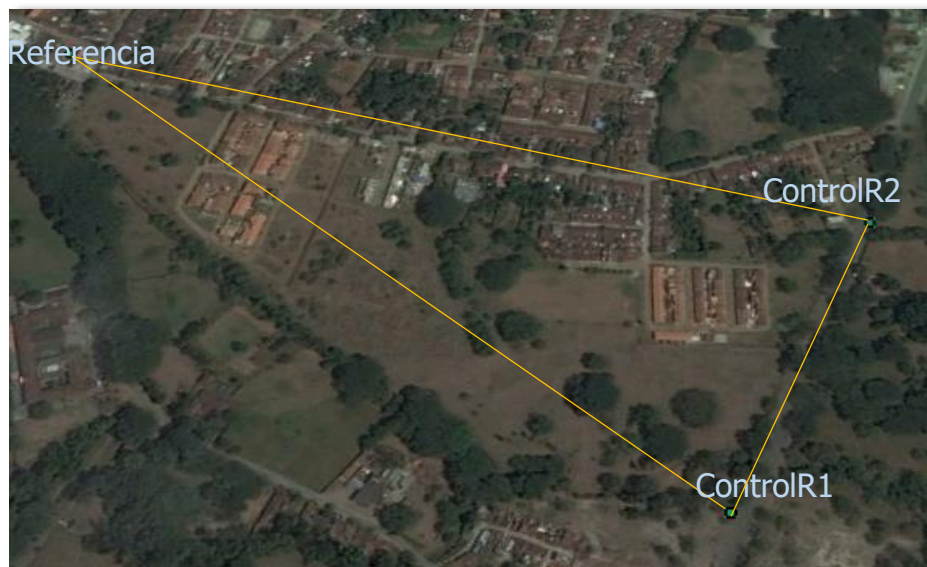


Figura 4.10. Georreferenciación Puntos de Control
Fuente: elaboración propia.

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

cabó 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 TORO. 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 Toro, 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 ZAR de la red MAGNA ECO, ubicadas en los municipios de Zarzal, posteriormente se efectuó el trabajo de campo para la materialización de los puntos de control definidos en el diseño.

En el municipio de Toro se utilizó un punto de la red MAGNA pasiva (Figura 4.11).

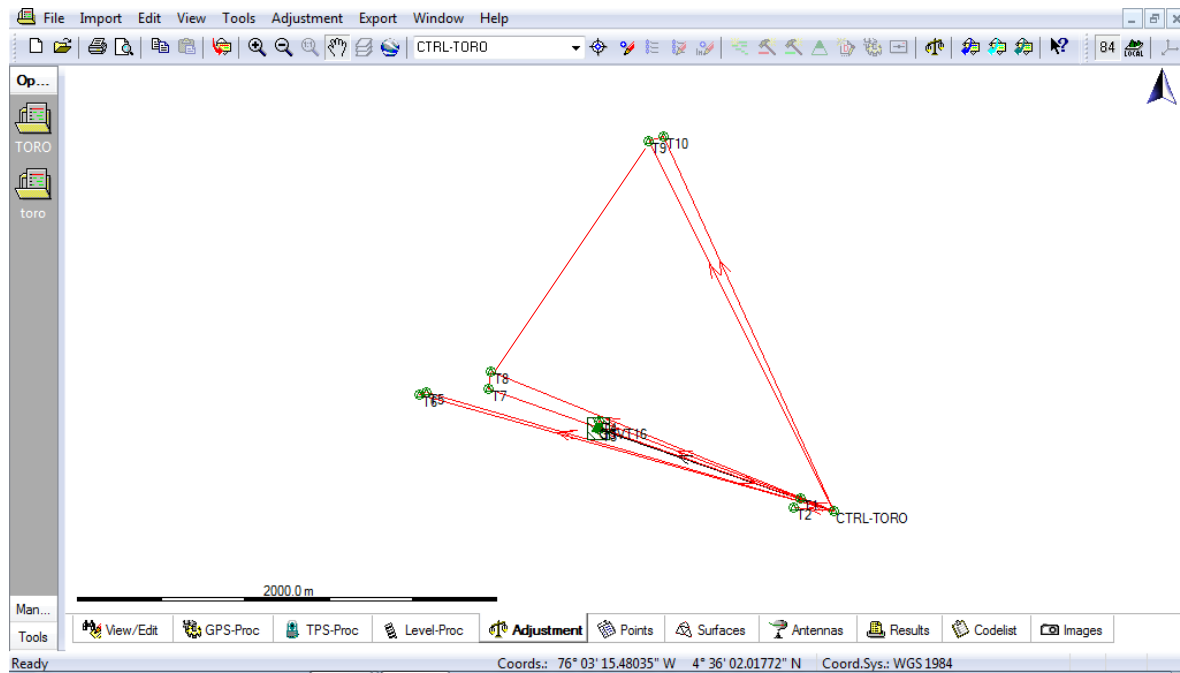


Figura 4.11. Red de amarre, municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 4.8 se muestra la información del ajuste de la red de amarre realizado en el municipio de Toro.

Tabla 4.8. Ajuste de Red

| Project | Information |
|-------------------------|----------------------|
| Project name: | toro |
| Date created: | 04/13/2019 22:29:36 |
| 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: | 11 | | | |
| Total: | 12 | | | |
| Observations | | | | |
| GPS coordinate differences: | 45 (15 baselines) (including 3 baselines as free observations) | | | |
| Known coordinates: | 3 | | | |
| Total: | 48 (including 9 free observations) | | | |
| Unknowns | | | | |
| Coordinates: | 36 | | | |
| Total: | 36 | | | |
| Degrees of freedom: | 12 | | | |
| Testing | | | | |
| Alfa (multi dimensional): | 0.3362 | | | |
| 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: | 1.12 | | | |
| F-test: | 0.37 | ✓ | | (accepted) |

| Results based on a-posteriori variance factor | | | | |
|---|-----------|---------------------|----------|----------|
| Adjustment | | | | |
| Coordinates | | | | |
| Station | | Coordinate | Corr | Sd |
| CTRL-TORO | Latitude | 4° 36' 15.00352" N | 0.0000 m | 0.0071 m |
| | Longitude | 76° 04' 09.98485" W | 0.0000 m | 0.0035 m |
| | Height | 967.5389 m | 0.0000 m | 0.0103 m |
| GSVT16 | Latitude | 4° 36' 27.99581" N | 0.0000 m | - fixed |
| | Longitude | 76° 04' 46.66666" W | 0.0000 m | - fixed |
| | Height | 976.1310 m | 0.0000 m | - fixed |
| T1 | Latitude | 4° 36' 16.97516" N | 0.0000 m | 0.0072 m |

| | | | | |
|-----|-----------|---------------------|-----------|----------|
| | Longitude | 76° 04' 15.14465" W | 0.0000 m | 0.0035 m |
| | Height | 965.7940 m | -0.0006 m | 0.0105 m |
| T10 | Latitude | 4° 37' 13.03642" N | -0.1305 m | 0.0073 m |
| | Longitude | 76° 04' 36.41013" W | -0.0751 m | 0.0037 m |
| | Height | 984.4284 m | -1.0374 m | 0.0114 m |
| T2 | Latitude | 4° 36' 15.51459" N | 0.0000 m | 0.0072 m |
| | Longitude | 76° 04' 16.20846" W | 0.0000 m | 0.0035 m |
| | Height | 963.3057 m | -0.0005 m | 0.0104 m |
| T3 | Latitude | 4° 36' 27.76462" N | -0.0002 m | 0.0072 m |
| | Longitude | 76° 04' 46.33057" W | -0.0092 m | 0.0040 m |
| | Height | 975.4911 m | 0.0030 m | 0.0108 m |
| T4 | Latitude | 4° 36' 28.88592" N | 0.0001 m | 0.0073 m |
| | Longitude | 76° 04' 46.29496" W | -0.0052 m | 0.0041 m |
| | Height | 975.6612 m | 0.0023 m | 0.0110 m |
| T5 | Latitude | 4° 36' 33.39641" N | 0.0000 m | 0.0072 m |
| | Longitude | 76° 05' 13.03181" W | 0.0000 m | 0.0038 m |
| | Height | 987.6763 m | 0.0000 m | 0.0109 m |
| T6 | Latitude | 4° 36' 33.11172" N | 0.0000 m | 0.0072 m |
| | Longitude | 76° 05' 14.10572" W | 0.0000 m | 0.0036 m |
| | Height | 989.3049 m | 0.0000 m | 0.0106 m |
| T7 | Latitude | 4° 36' 33.94984" N | -0.1313 m | 0.0072 m |
| | Longitude | 76° 05' 03.31511" W | -0.0753 m | 0.0036 m |
| | Height | 986.9990 m | -1.0393 m | 0.0107 m |
| T8 | Latitude | 4° 36' 36.69579" N | -0.1311 m | 0.0073 m |
| | Longitude | 76° 05' 03.06765" W | -0.0751 m | 0.0039 m |
| | Height | 992.3739 m | -1.0385 m | 0.0113 m |
| T9 | Latitude | 4° 37' 12.36283" N | -0.1308 m | 0.0076 m |
| | Longitude | 76° 04' 38.76116" W | -0.0751 m | 0.0041 m |
| | Height | 981.5826 m | -1.0384 m | 0.0132 m |

Observations and Residuals

| | Station | Target | Adj obs | Resid | Resid (ENH) | Sd |
|-----------|-----------|--------|--------------|-----------|-------------|----------|
| DX | T7 | T8 | 7.0627 m | 0.0039 m | 0.0032 m | 0.0026 m |
| DY | | | 3.2154 m | -0.0025 m | 0.0020 m | 0.0047 m |
| DZ | | | 84.5197 m | 0.0023 m | 0.0035 m | 0.0017 m |
| DX | T10 | T9 | -70.6274 m | -0.0005 m | 0.0010 m | 0.0028 m |
| DY | | | -16.3034 m | 0.0059 m | -0.0015 m | 0.0079 m |
| DZ | | | -20.8559 m | -0.0020 m | -0.0060 m | 0.0027 m |
| DX | T6 | T5 | 31.5756 m | -0.0009 m | -0.0005 m | 0.0016 m |
| DY | | | 10.2182 m | 0.0014 m | -0.0005 m | 0.0031 m |
| DZ | | | 8.5871 m | -0.0006 m | -0.0017 m | 0.0011 m |
| DX | T4 | T3 | -0.4405 m | 0.0038 m | 0.0041 m | 0.0021 m |
| DY | | | -2.7857 m | 0.0017 m | 0.0002 m | 0.0035 m |
| DZ | | | -34.3508 m | 0.0002 m | -0.0007 m | 0.0012 m |
| DX | CTRL-TORO | T9 | -891.7551 m | 0.0011 m | -0.0007 m | 0.0029 m |
| DY | | | -89.5597 m | -0.0075 m | 0.0021 m | 0.0080 m |
| DZ | | | 1757.6041 m | 0.0028 m | 0.0078 m | 0.0028 m |
| DX | CTRL-TORO | T8 | -1595.2584 m | -0.0011 m | -0.0007 m | 0.0024 m |
| DY | | | -365.8256 m | 0.0014 m | -0.0006 m | 0.0043 m |

| | | | | | | |
|----|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|----------|
| DZ | | | 666.2672 m | -0.0007 m | -0.0017 m | 0.0015 m |
| DX | CTRL-TORO | T6 | -1924.1575 m | -0.0006 m | -0.0004 m | 0.0013 m |
| DY | | | -453.2721 m | 0.0008 m | -0.0003 m | 0.0023 m |
| DZ | | | 556.2675 m | -0.0003 m | -0.0009 m | 0.0008 m |
| DX | CTRL-TORO | T5 | -1892.5819 m | 0.0023 m | 0.0014 m | 0.0018 m |
| DY | | | -443.0539 m | -0.0032 m | 0.0010 m | 0.0034 m |
| DZ | | | 564.8546 m | 0.0013 m | 0.0038 m | 0.0011 m |
| DX | CTRL-TORO | T4 | -1092.7484 m | 0.0045 m | 0.0052 m | 0.0021 m |
| DY | | | -243.9991 m | 0.0035 m | -0.0001 m | 0.0039 m |
| DZ | | | 425.7667 m | -0.0003 m | -0.0023 m | 0.0014 m |
| DX | CTRL-TORO | T3 | -1093.1888 m | -0.0028 m | -0.0029 m | 0.0019 m |
| DY | | | -246.7848 m | -0.0006 m | -0.0001 m | 0.0033 m |
| DZ | | | 391.4159 m | -0.0001 m | -0.0001 m | 0.0012 m |
| DX | CTRL-TORO | T2 | -187.5361 m | 0.0000 m | 0.0000 m | 0.0005 m |
| DY | | | -40.8678 m | 0.0000 m | 0.0000 m | 0.0013 m |
| DZ | | | 15.3102 m | 0.0000 m | 0.0000 m | 0.0007 m |
| DX | CTRL-TORO | T1 | -155.9759 m | 0.0000 m | 0.0000 m | 0.0007 m |
| DY | | | -31.8846 m | 0.0000 m | 0.0000 m | 0.0019 m |
| DZ | | | 60.2365 m | 0.0000 m | 0.0000 m | 0.0006 m |
| DX | GSVT16 | CTRL-TORO | 1103.2292 m | 0.0000 m | 0.0000 m | 0.0031 m |
| DY | | | 249.3426 m | 0.0000 m | 0.0000 m | 0.0099 m |
| DZ | | | -398.5469 m | 0.0000 m | 0.0000 m | 0.0078 m |
| DX | CTRL-TORO | T7 | -1602.3211 m | 0.0004 m | 0.0003 m | 0.0014 m |
| DY | | | -369.0410 m | -0.0005 m | 0.0003 m | 0.0026 m |
| DZ | | | 581.7475 m | 0.0003 m | 0.0006 m | 0.0010 m |
| DX | CTRL-TORO | T10 | -821.1277 m | -0.0002 m | 0.0001 m | 0.0017 m |
| DY | | | -73.2563 m | 0.0014 m | -0.0004 m | 0.0046 m |
| DZ | | | 1778.4599 m | -0.0005 m | -0.0014 m | 0.0016 m |

| GPS Baseline Vector Residuals | | | | | |
|-------------------------------|-----------|-----------|----------------|-----------|-------------|
| | Station | Target | Adj vector [m] | Resid [m] | Resid [ppm] |
| DV | T7 | T8 | 84.8752 | 0.0051 | 60.4 |
| DV | T10 | T9 | 75.4255 | 0.0062 | 82.7 |
| DV | T6 | T5 | 34.2807 | 0.0018 | 51.9 |
| DV | T4 | T3 | 34.4664 | 0.0041 | 120.1 |
| DV | CTRL-TORO | T9 | 1972.9217 | 0.0081 | 4.1 |
| DV | CTRL-TORO | T8 | 1767.0851 | 0.0019 | 1.1 |
| DV | CTRL-TORO | T6 | 2053.5996 | 0.0010 | 0.5 |
| DV | CTRL-TORO | T5 | 2024.1600 | 0.0042 | 2.1 |
| DV | CTRL-TORO | T4 | 1197.8781 | 0.0057 | 4.7 |
| DV | CTRL-TORO | T3 | 1187.0851 | 0.0029 | 2.4 |
| DV | CTRL-TORO | T2 | 192.5471 | 0.0000 | 0.0 |
| DV | CTRL-TORO | T1 | 170.2162 | 0.0000 | 0.0 |
| DV | GSVT16 | CTRL-TORO | 1199.2189 | 0.0000 | 0.0 |
| DV | CTRL-TORO | T7 | 1744.1486 | 0.0007 | 0.4 |
| DV | CTRL-TORO | T10 | 1960.2390 | 0.0015 | 0.8 |

Absolute Error Ellipses (2D - 39.4% 1D - 68.3%)

| Station | A [m] | B [m] | A/B | Phi | Sd Hgt [m] |
|-----------|--------|--------|-----|------|------------|
| CTRL-TORO | 0.0074 | 0.0027 | 2.7 | -18° | 0.0103 |
| GSVT16 | 0.0000 | 0.0000 | 1.0 | 90° | 0.0000 |
| T1 | 0.0075 | 0.0028 | 2.7 | -18° | 0.0105 |
| T10 | 0.0076 | 0.0031 | 2.5 | -17° | 0.0114 |
| T2 | 0.0075 | 0.0028 | 2.7 | -18° | 0.0104 |
| T3 | 0.0076 | 0.0033 | 2.3 | -19° | 0.0108 |
| T4 | 0.0076 | 0.0035 | 2.2 | -19° | 0.0110 |
| T5 | 0.0075 | 0.0032 | 2.4 | -18° | 0.0109 |
| T6 | 0.0075 | 0.0030 | 2.5 | -18° | 0.0106 |
| T7 | 0.0075 | 0.0030 | 2.5 | -18° | 0.0107 |
| T8 | 0.0076 | 0.0033 | 2.3 | -19° | 0.0113 |
| T9 | 0.0079 | 0.0036 | 2.2 | -16° | 0.0132 |

| Testing and Estimated Errors | | | | | | | |
|------------------------------|-----------|--------|----------|-----|-----|--------|----------|
| Observation Tests | | | | | | | |
| | Station | Target | MDB | Red | BNR | W-Test | T-Test |
| DX | T7 | T8 | 0.0142 m | 74 | 1.6 | 0.90 | 0.55 |
| DY | | | 0.0244 m | 73 | 1.6 | 0.28 | |
| DZ | | | 0.0098 m | 70 | 1.8 | 0.89 | |
| DX | T10 | T9 | 0.0123 m | 45 | 3.0 | 0.48 | 0.56 |
| DY | | | 0.0348 m | 43 | 3.1 | 0.89 | |
| DZ | | | 0.0151 m | 40 | 3.3 | -0.83 | |
| DX | T6 | T5 | 0.0088 m | 26 | 4.3 | -0.49 | 0.49 |
| DY | | | 0.0163 m | 33 | 3.9 | 0.28 | |
| DZ | | | 0.0059 m | 32 | 4.0 | -0.59 | |
| DX | T4 | T3 | 0.0122 m | 34 | 3.9 | 2.59 | ⚠ 2.41 ⚠ |
| DY | | | 0.0218 m | 27 | 4.6 | 0.87 | |
| DZ | | | 0.0076 m | 27 | 4.5 | 0.31 | |
| DX | CTRL-TORO | T9 | 0.0123 m | 45 | 3.1 | -0.48 | 0.56 |
| DY | | | 0.0348 m | 47 | 3.0 | -0.89 | |
| DZ | | | 0.0151 m | 50 | 2.8 | 0.83 | |
| DX | CTRL-TORO | T8 | 0.0142 m | 19 | 6.1 | -0.90 | 0.55 |
| DY | | | 0.0244 m | 20 | 6.1 | -0.28 | |
| DZ | | | 0.0098 m | 21 | 5.7 | -0.89 | |
| DX | CTRL-TORO | T6 | 0.0088 m | 14 | 6.9 | -0.49 | 0.49 |
| DY | | | 0.0163 m | 13 | 7.2 | 0.28 | |
| DZ | | | 0.0059 m | 13 | 7.1 | -0.59 | |
| DX | CTRL-TORO | T5 | 0.0088 m | 58 | 2.6 | 0.49 | 0.49 |
| DY | | | 0.0163 m | 53 | 2.7 | -0.28 | |
| DZ | | | 0.0059 m | 53 | 2.6 | 0.59 | |
| DX | CTRL-TORO | T4 | 0.0122 m | 39 | 3.5 | 2.59 | ⚠ 2.41 ⚠ |
| DY | | | 0.0218 m | 50 | 2.8 | 0.87 | |
| DZ | | | 0.0076 m | 45 | 3.1 | 0.31 | |
| DX | CTRL-TORO | T3 | 0.0122 m | 26 | 4.8 | -2.59 | ⚠ 2.41 ⚠ |
| DY | | | 0.0218 m | 22 | 5.4 | -0.87 | |
| DZ | | | 0.0076 m | 26 | 4.7 | -0.31 | |
| DX | CTRL-TORO | T2 | | | | | |

| | | | | | | | |
|----|-----------|-----------|----------|---|------|-------|------|
| DY | | | | | | | |
| DZ | | | | | | | |
| DX | CTRL-TORO | T1 | | | | | |
| DY | | | | | | | |
| DZ | | | | | | | |
| DX | GSVT16 | CTRL-TORO | | | | | |
| DY | | | | | | | |
| DZ | | | | | | | |
| DX | CTRL-TORO | T7 | 0.0142 m | 5 | 11.2 | 0.90 | 0.55 |
| DY | | | 0.0244 m | 6 | 11.3 | 0.28 | |
| DZ | | | 0.0098 m | 8 | 10.2 | 0.89 | |
| DX | CTRL-TORO | T10 | 0.0123 m | 9 | 9.1 | 0.48 | 0.56 |
| DY | | | 0.0348 m | 8 | 9.0 | 0.89 | |
| DZ | | | 0.0151 m | 8 | 9.2 | -0.83 | |

Redundancy:

W-Test:

T-Test (3-dimensional):

Estimated Errors (Observations)

Estimated Errors For Observations With Rejected W-Tests (max 10)

| | Station | Target | W-Test | Fact | Est err |
|----|-----------|--------|--------|------|-----------|
| DX | CTRL-TORO | T3 | -2.59 | 1.3 | -0.0113 m |
| DX | CTRL-TORO | T4 | 2.59 | 1.3 | 0.0113 m |
| DX | T4 | T3 | 2.59 | 1.3 | 0.0113 m |

Estimated Errors For Observations With Rejected T-Tests (max 10)

| | Station | Target | T-Test | Fact | Est err |
|----|-----------|--------|--------|------|-----------|
| DX | CTRL-TORO | T3 | 2.41 | 1.1 | -0.0111 m |
| DY | | | | | -0.0057 m |
| DZ | | | | | 0.0000 m |
| DX | CTRL-TORO | T4 | 2.41 | 1.1 | 0.0111 m |
| DY | | | | | 0.0057 m |
| DZ | | | | | 0.0000 m |
| DX | T4 | T3 | 2.41 | 1.1 | 0.0111 m |
| DY | | | | | 0.0057 m |
| DZ | | | | | 0.0000 m |

Fuente: www.MOVE3.com ((c) 1993-2012)

Los errores generados en el cálculo de cada uno de los puntos fueron de orden milimétrico, quedando las redes para el municipio con precisión de 1 a 2 cm.

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 Leica Geosystem, 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 Toro.

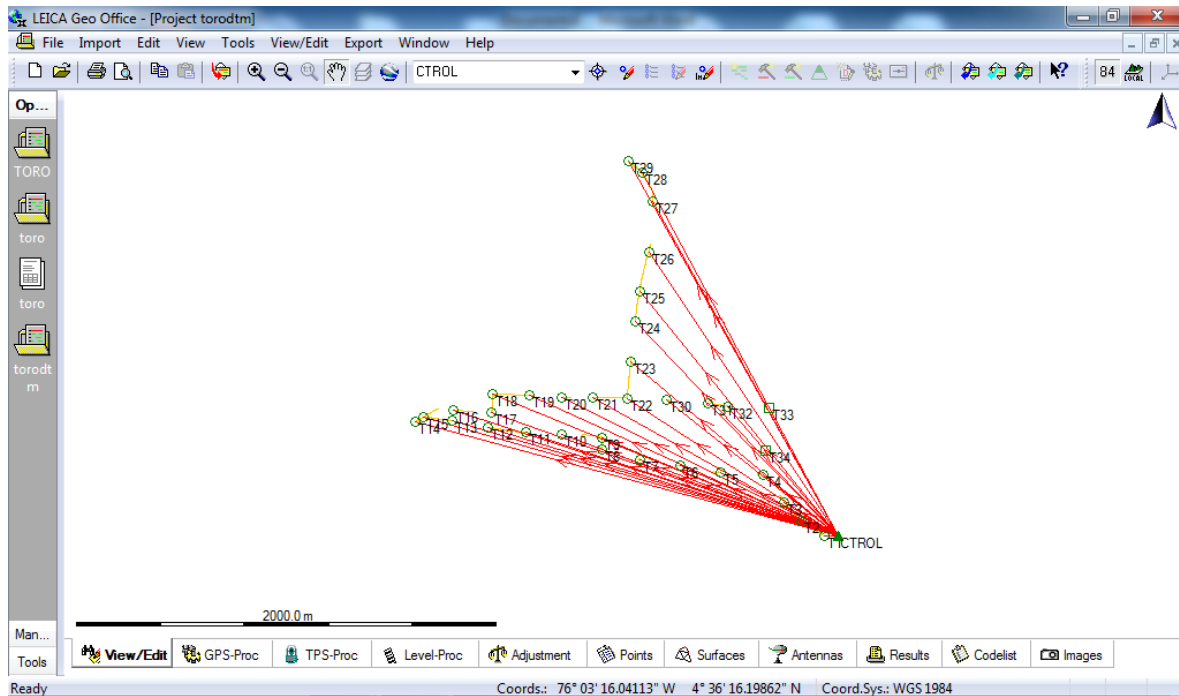


Figura 4.12. Muestra de datos para Validación DTM Toro
Fuente: elaboración propia

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 Toro se centró en el río Toro, la quebrada De Lazaro y quebrada Guarango donde se estudiaron estos cuerpos de agua con secciones cada 20 metros. Como resultado del trabajo batimétrico se obtuvo un total de 492 perfiles.

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.

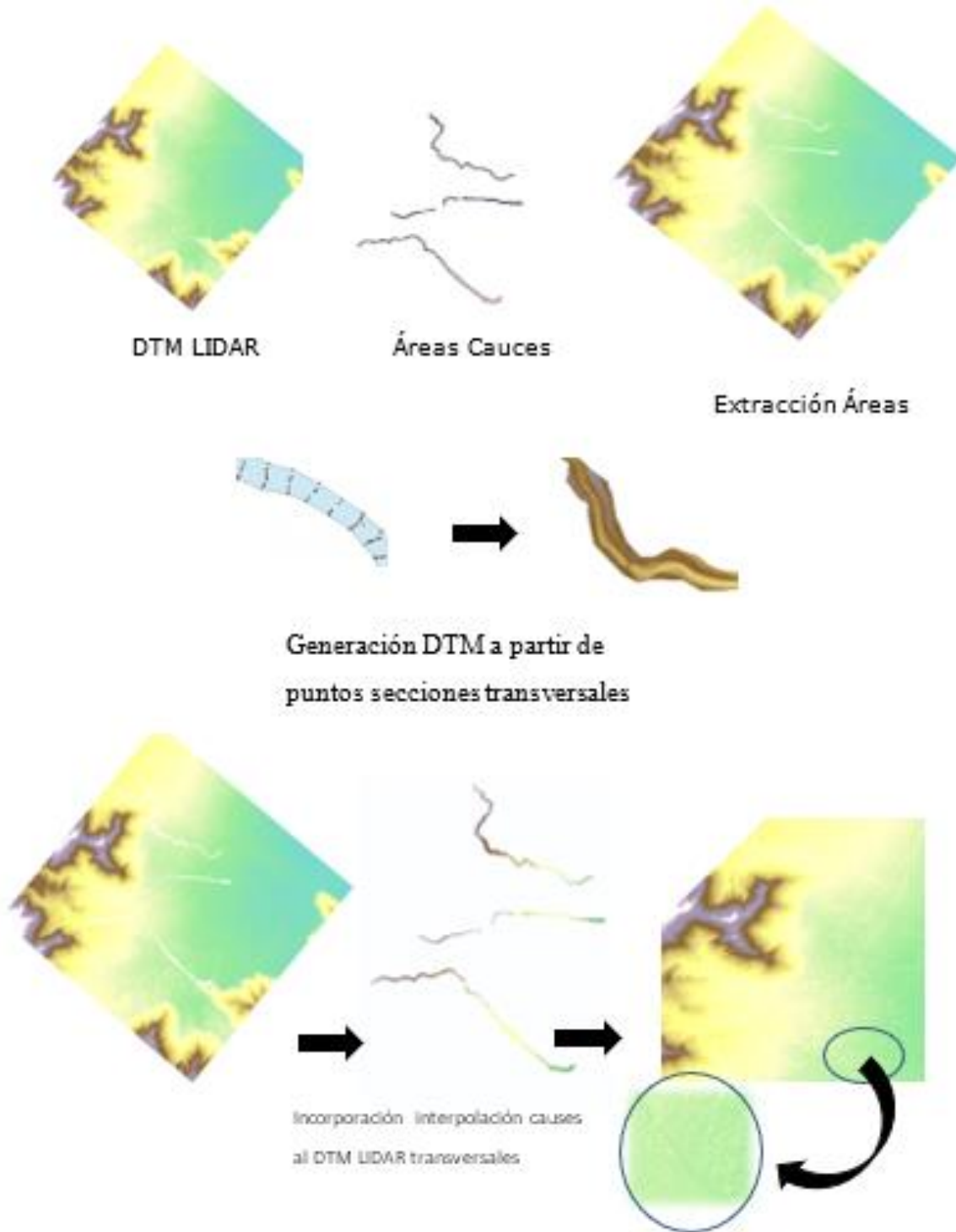


Figura 4.13. Generación de DTM y Producción de Batimetría
Fuente: elaboración propia.

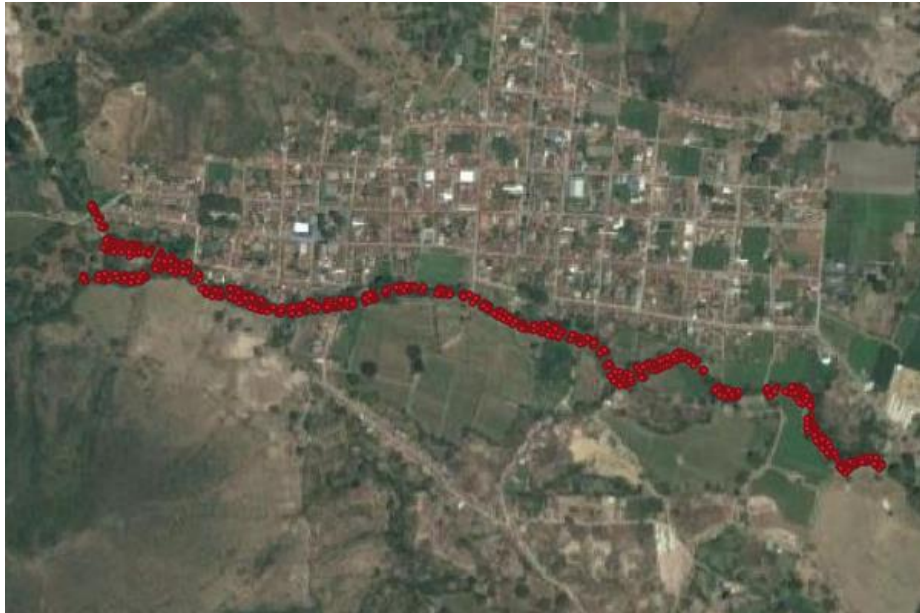


Figura 4.14. Batimetría Q. Guarango
Fuente: elaboración propia

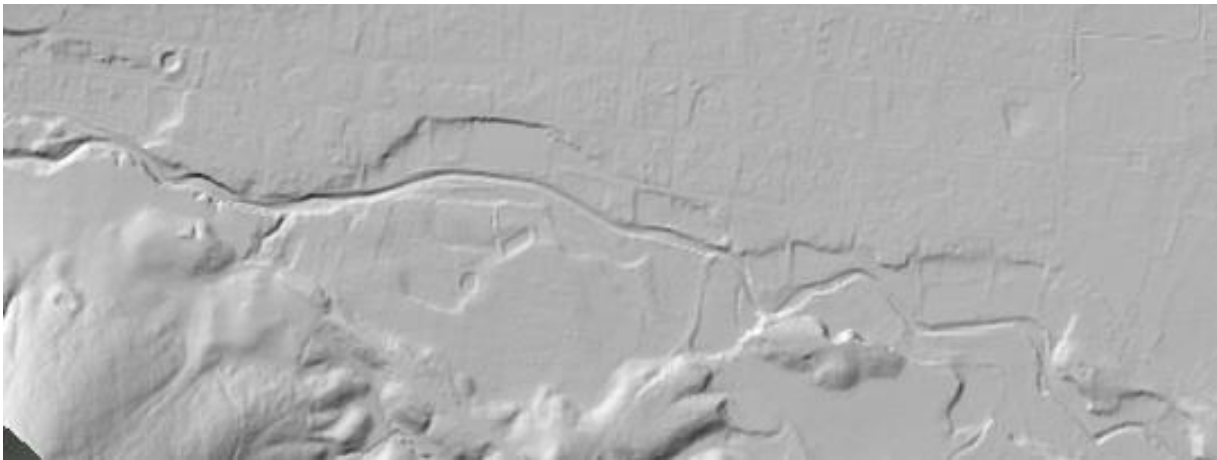


Figura 4.15. DTM Q. Guarango
Fuente: elaboración propia

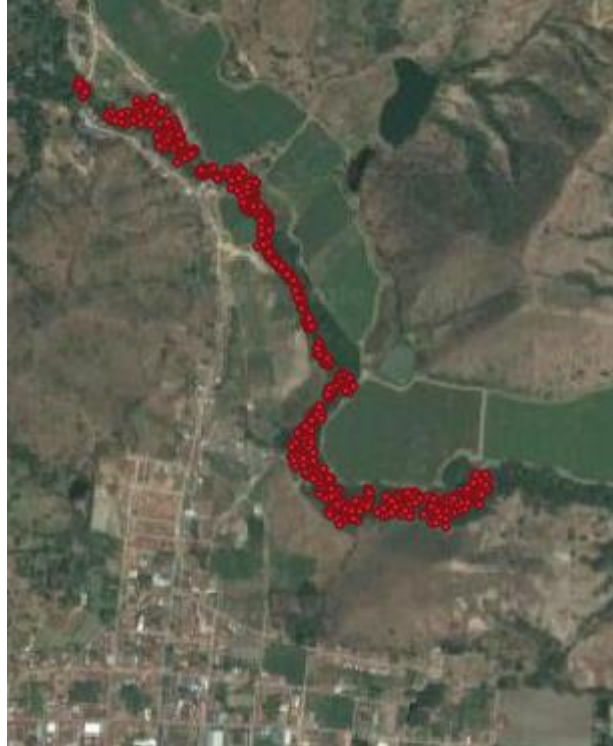


Figura 4.16. Batimetría Q. Lazaro
Fuente: elaboración propia

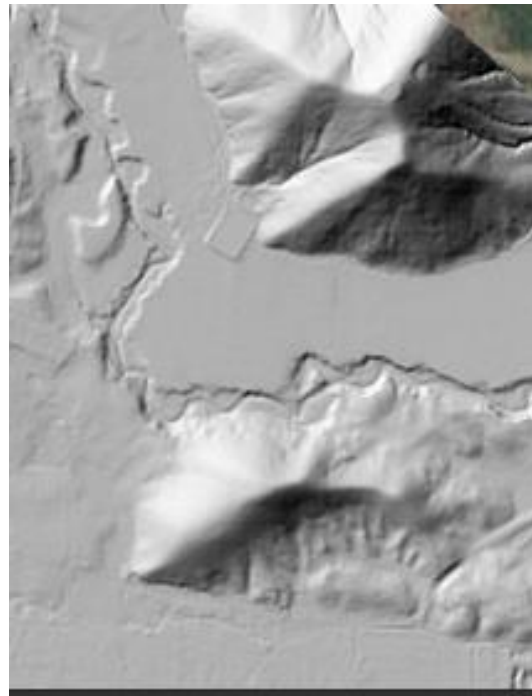


Figura 4.17. DTM Q. Lazaro
Fuente: elaboración propia



Figura 4.18. Batimetría Canal Interior
Fuente: elaboración propia

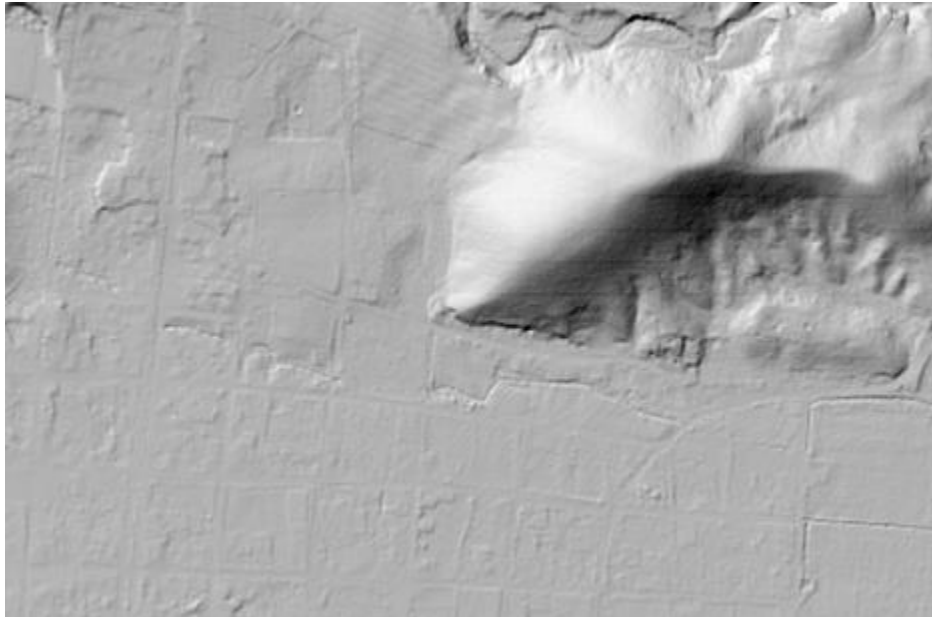


Figura 4.19. DTM Canal Interior
Fuente: elaboración propia

Estudios de Movimiento en masa
Sector Plazuela

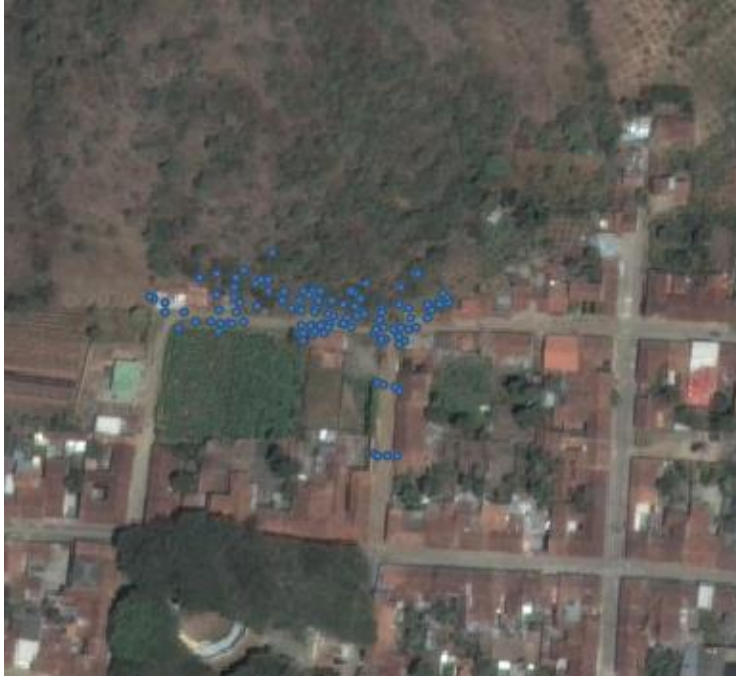


Figura 4.20. Topografía Sector Plazuelas

Fuente: elaboración propia

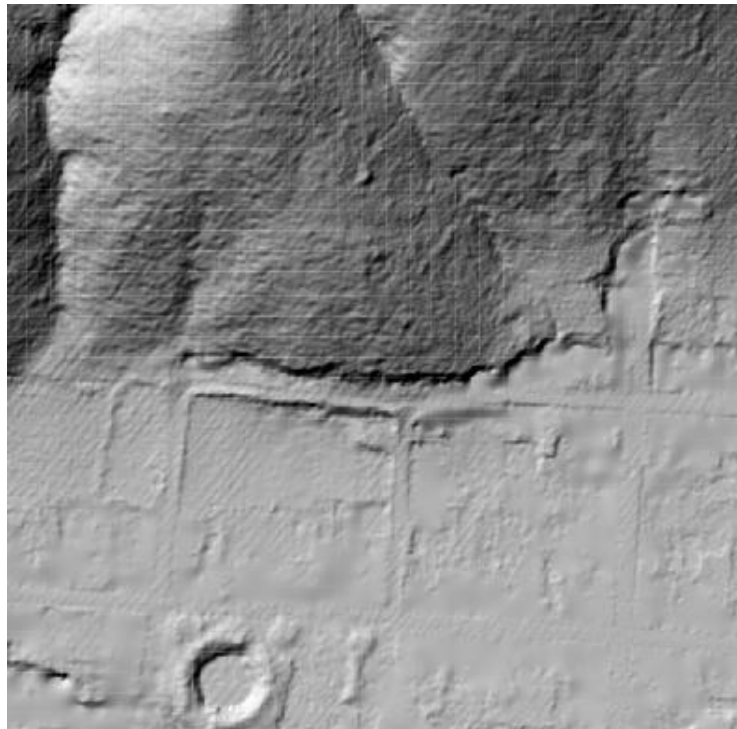


Figura 4.21. DTM Sector Plazuelas

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.

El municipio de Toro es uno de los 42 municipios que tiene el Departamento del Valle del Cauca localizada al norte en la región al lado de la Cordillera Occidental. El municipio, fuera de su perímetro urbano, se encuentra conformado por 23 veredas y 6 corregimientos. Estos últimos son La Pradera, Ventaquemada, El Cedro, San Antonio, Bohío y San Francisco. Por otro lado, las veredas pertenecientes al municipio son: Buenavista, El Roble, El Bosque, La Quebra,

Chontaduro, Santa Elena, La Consólida, La Chica, Sabanazo, Patio Bonito, La Robleda, San José de los Osos, La Cayetana, El Guachal, El Guineo, Pan de Azúcar y Bolívar.

El municipio de Toro ha tenido problemas por inundaciones, debido al desbordamiento de la quebrada De Lázaro y del río Toro durante periodos de invierno intenso.

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 Toro en el departamento del Valle del Cauca. Para ello se efectuó la caracterización hidráulica del río Toro y la quebrada Lazaro 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 de Toro se localiza al norte del departamento del Valle del Cauca, limita al norte con el municipio de Toro, al occidente limita con los municipios de Argelia y Versailles; al oriente con los municipios de Obando y Cartago, y al sur limita con el municipio de La Unión. La mayor parte de su territorio es montañoso y su relieve corresponde a la cordillera occidental. Por la zona urbana del municipio Toro discurren las aguas del río Toro y la quebrada De Lazaro.

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 Toro esto con el fin de obtener datos más acertados, específicos y representativos mediante los análisis hidrológicos e hidráulicos.

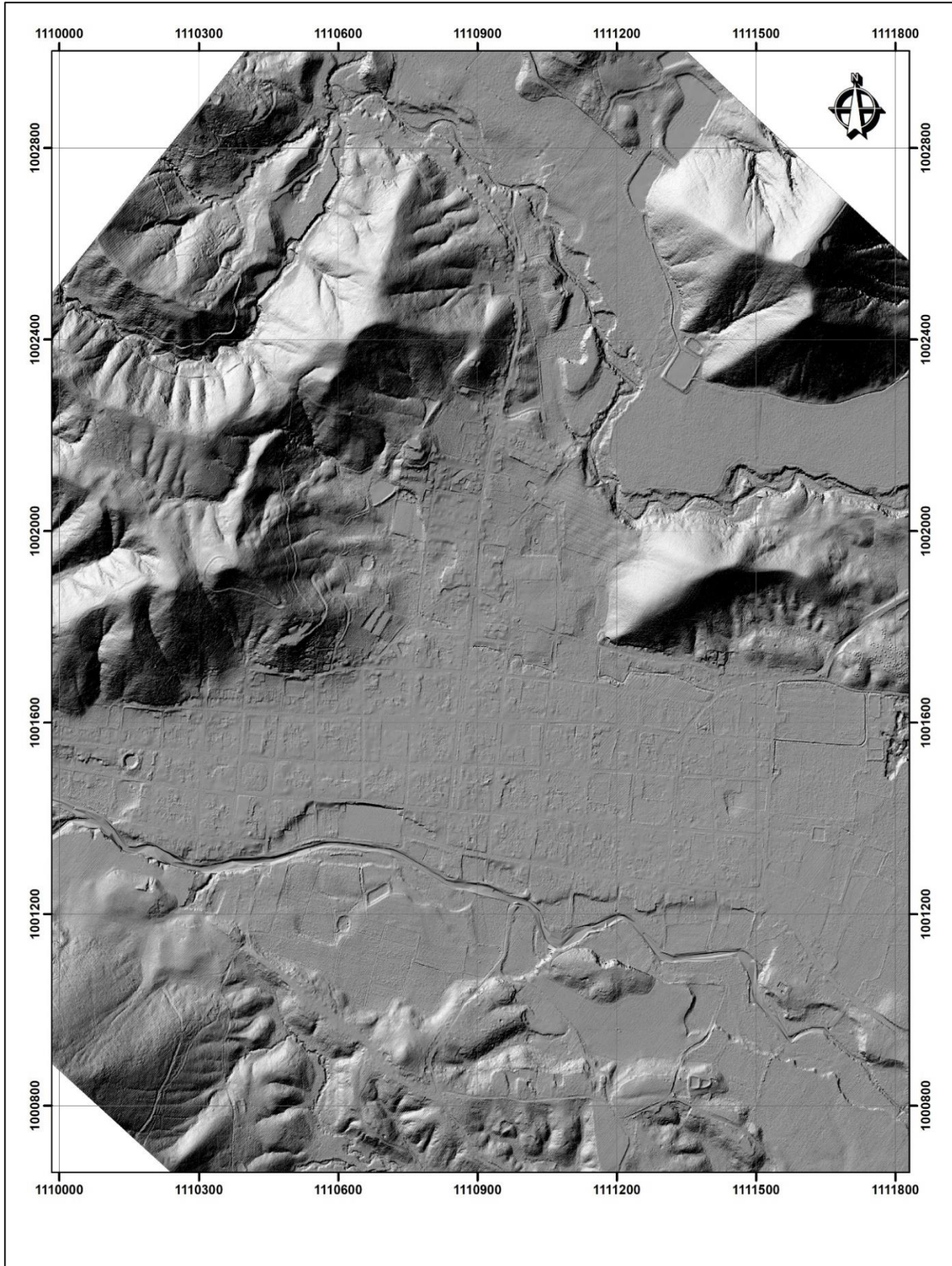


Figura 5.1. Localización de la zona de estudio en el municipio de Toro
Fuente: elaboración propia con datos del IGAC y CVC

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 Toro, 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 Toro, 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 Toro.

5.2.1.1. Levantamientos topobatimétricos

Los cauces monitoreados en el municipio de Toro El rio Toro y la quebrada De Lazaro.

La información topobatimétrica de los diferentes cauces que recorren la zona de estudio del municipio de Toro 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 espaciado aproximado entre las secciones transversales a monitorear en los diferentes cauces, quebradas y acequias, así:

- En la quebrada Toro se levantaron secciones transversales cada 20 m en un tramo de 2.1 Km
- En la quebrada De Lázaro. Se levantaron secciones transversales cada 20 m en un tramo de 1.5 Km

Las secciones topobatómica y el espaciado 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 Toro.

5.2.1.1.1. Quebrada Toro

La Quebrada Toro es el principal cauce natural que atraviesa el municipio de Toro, la longitud total del tramo a modelar de la quebrada Toro es de 2150 m, aproximadamente. Se levantaron ciento ocho (108) 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 Toro. Para propósitos de la modelación matemática y considerando la disponibilidad de información, la frontera superior en la Quebrada Toro 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 Toro en el tramo de estudio

En el tramo de la quebrada Toro que pasa por el casco urbano y zona de expansión se encuentra cuatro (4) estructuras tipo puente, ponton o box culvert. En la Tabla 5.1 se presenta las coordenadas de la localización de la estructura (Ver **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Tabla 5.1. Localización del puente sobre la quebrada Toro

| TIPO DE ESTRUCTURA | ESTE | NORTE | ELEVACIÓN |
|--------------------|-------------|-------------|-----------|
| Puente | 1111406.138 | 1110998.871 | 945.09 |
| Puente | 1000846.622 | 1001107.59 | 937.79 |
| Puente | 1001147.055 | 1000932.462 | 951.74 |
| Box Culvert | 1109894.916 | 1110450.892 | 960.49 |

Fuente: elaboración propia



Figura 5.2. Obras hidráulicas ubicadas sobre la quebrada Toro
Fuente: fotografía propia

5.2.1.1.2. Quebrada De Lazaro

La longitud total del tramo a modelar es de alrededor de 1.540 m, con un total de 77 secciones transversales levantadas y espaciadas cada 20 m, aproximadamente

- Estructuras hidráulicas localizadas en la Quebrada De Lazaro

En el tramo avaluado de la quebrada De Lazaro pasando por el casco urbano y zona de expansión se encuentran dos (2) estructuras tipo Puente, en la Tabla 5.2 se presenta las coordenadas de la localización de las estructuras (Ver Figura 5.3).

Tabla 5.2. Localización de estructuras sobre la quebrada El Cangrejo

| TIPO DE ESTRUCTURA | ESTE | NORTE | ELEVACIÓN |
|--------------------|-------------|------------|-----------|
| Puente | 1110974.169 | 1002718 | 953.38 |
| Puente | 1110704.258 | 1002880.47 | 961.70 |

Fuente: elaboración propia



Figura 5.3. Estructuras sobre la quebrada De Lázaro en el municipio de Toro

Fuente: fotografías propias

En síntesis, en la campaña topográfica en la zona de estudio del municipio de Toro se realizó el levantamiento topobatimétrico de 185 secciones transversales, distribuidas así: 77 secciones en la Quebrada de Lázaro y 108 secciones en la quebrada Toro. 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 Toro, siguiendo los requerimientos topobatimétricos. El número total de Estructuras de los principales cauces localizados en el municipio de Toro fue de Seis (6).

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 Toro, 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. CARACTERIZACION CLIMATICA MUNICIPIO DE TORO

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 Toro 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 5.3. 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 |
| 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 Roldanillo, En la Tabla 3.2 se presenta el resumen de los promedios mensuales multianuales de los parámetros climatológicos evaluados.

Tabla 5.4. 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 | °C | 33,9 | 34,4 | 34,5 | 33,7 | 32,8 | 33 | 33,9 | 34,5 | 34,1 | 32,9 | 32,3 | 32,6 |
| | TMED | °C | 24,5 | 24,7 | 24,8 | 24,5 | 24,1 | 24,1 | 24,5 | 24,7 | 24,4 | 23,7 | 23,7 | 24 |
| | TMIN | °C | 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 | °C | 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 | °C | 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 | °C | 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.

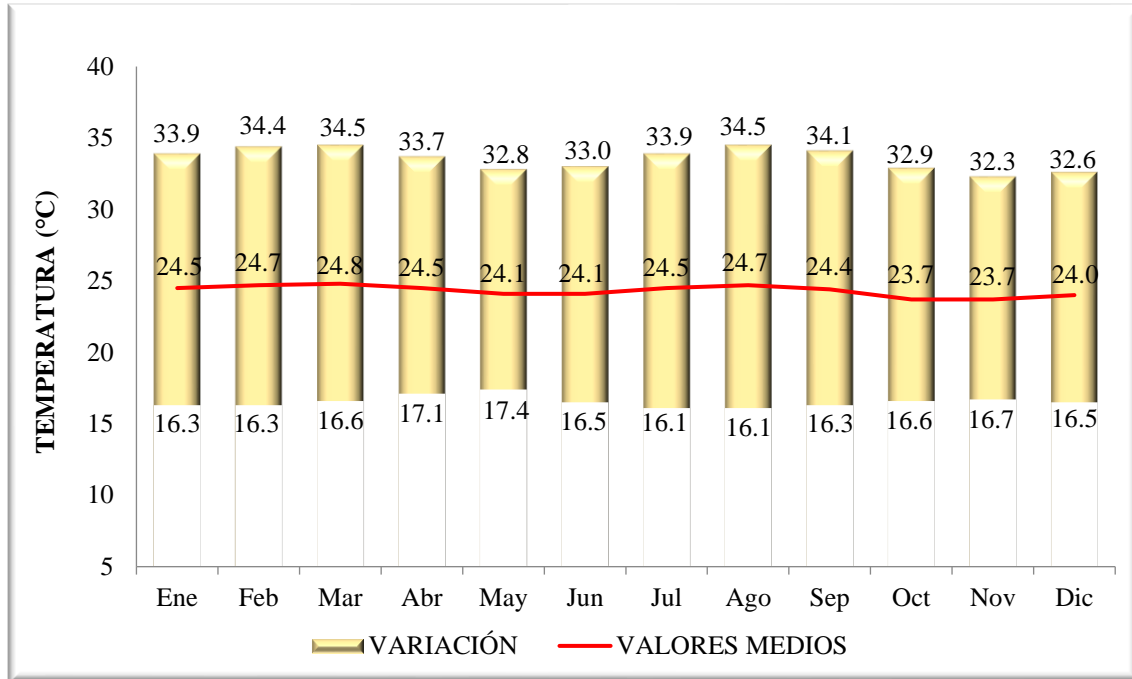


Figura 5.4. Histograma de Temperatura Media Mensual. Estación Centro Administrativo La Unión

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 °C (en los meses de octubre y noviembre) y 24,8 °C (en el mes de marzo), presentando un valor promedio mensual multianual de 24,3 °C. Las temperaturas máximas registran valores que oscilan entre los 32,3°C y los 34,5°C, 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 17,4°C, teniendo un valor medio mensual de temperatura mínima de 16,5°C.

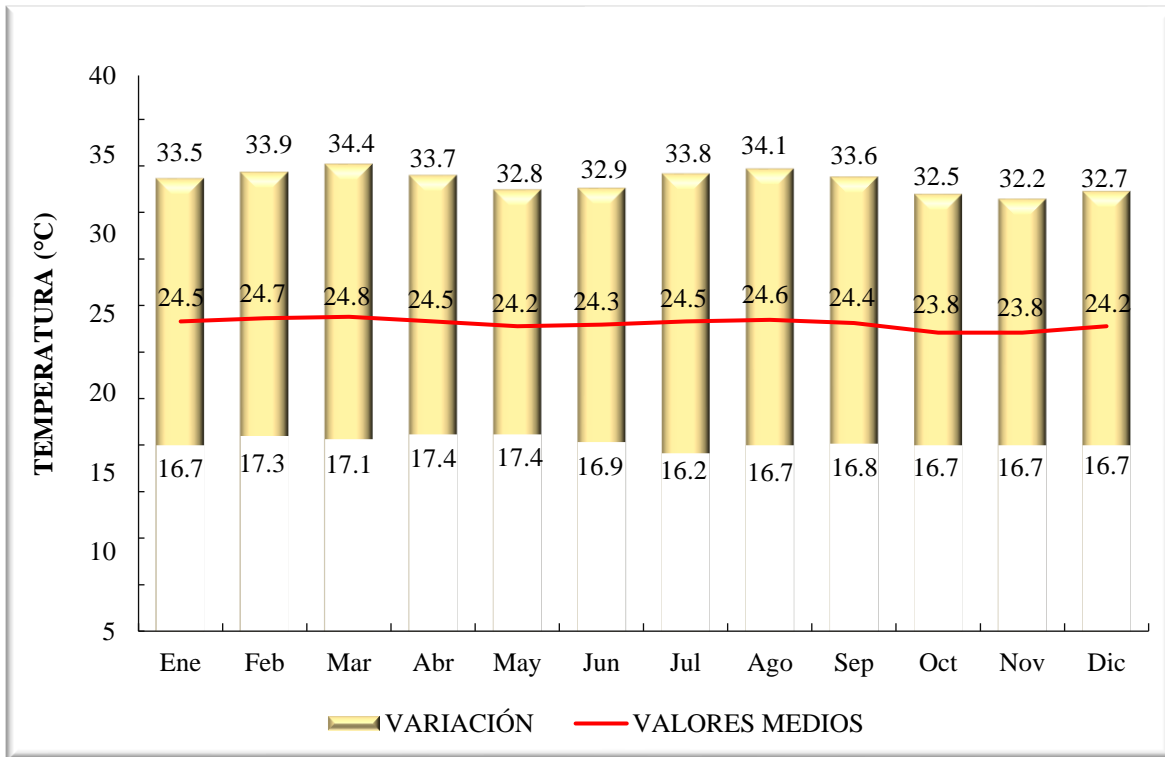


Figura 5.5. Histograma de Temperatura Media Mensual. Estación Tierrablanca
Fuente: elaboración propia con datos de IDEAM

En la estación Tierrablanca (Figura 5.5) la temperatura media mensual varía entre 23,8 °C (en los meses de octubre y noviembre) y 24,8 °C (mes de marzo), presentando un valor promedio mensual multianual de 24,4 °C. Las temperaturas máximas registran valores que oscilan entre 32,2°C y 34,4°C, 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 17,4°C, 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.

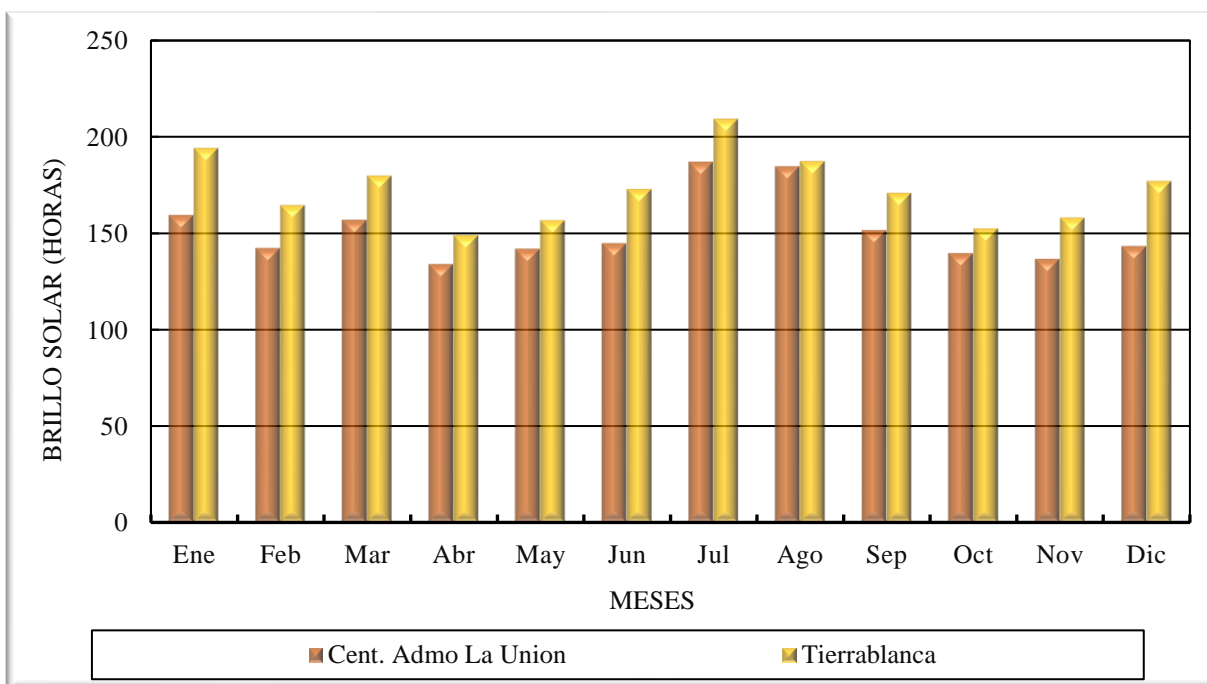


Figura 5.6. Histograma de Brillo Solar municipio de Toro

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.

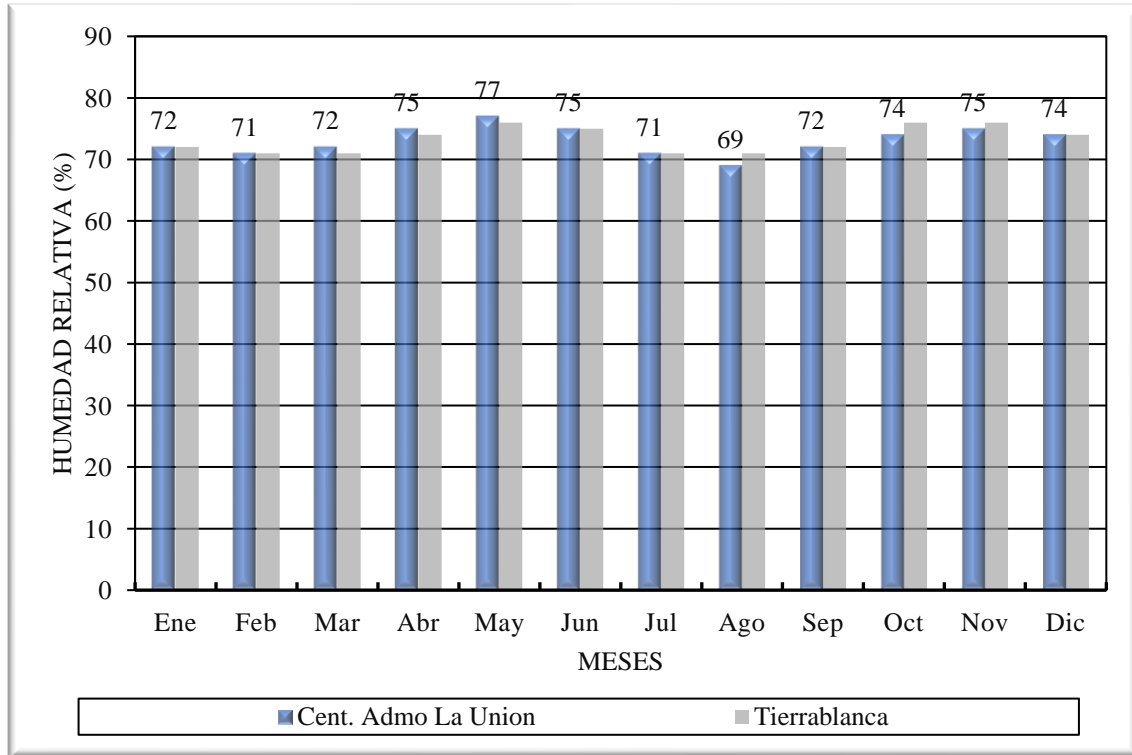


Figura 5.7. Histograma de Humedad Relativa – Estaciones Centro Administrativo La Unión y Tierrablanca

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.

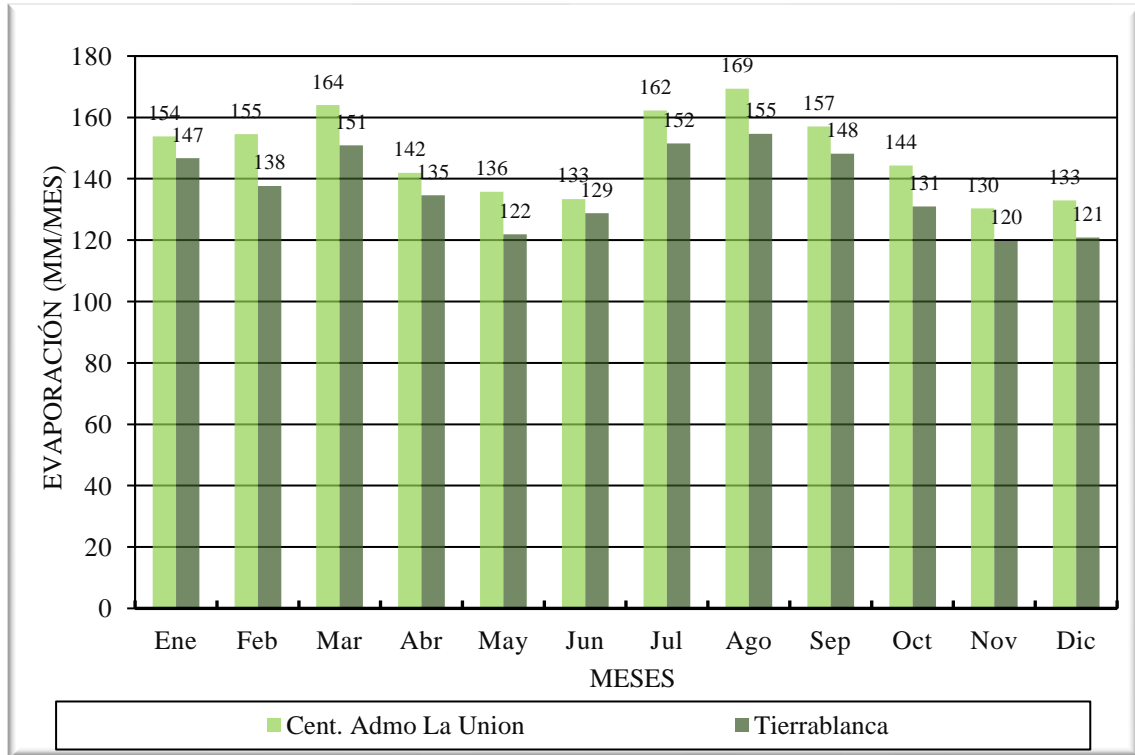


Figura 5.8. Distribución mensual de la evaporación – Estaciones Centro Administrativo La Unión y Tierrablanca

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.

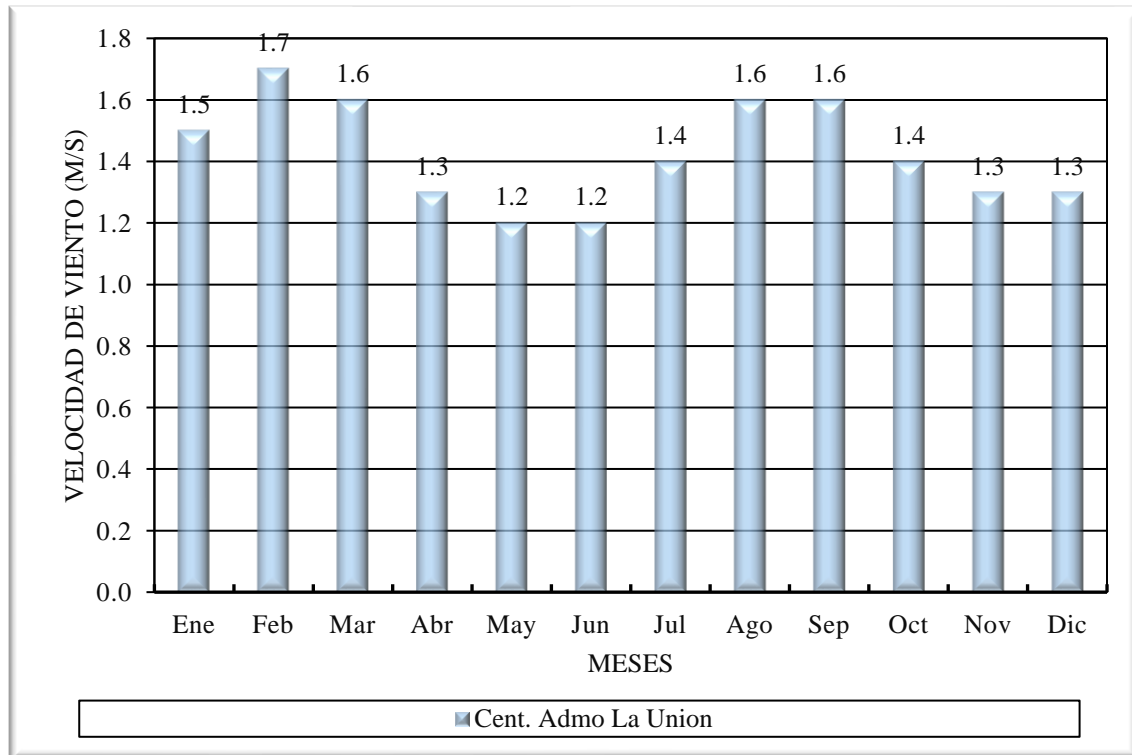


Figura 5.9. Histograma de Velocidad de Viento – Estación Centro Administrativo La Unión
Fuente: elaboración propia con datos de IDEAM

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 5.5 y en la Figura 5.10 se presentan los valores de la precipitación media mensual multianual en las estaciones ubicadas en zonas aledañas al proyecto

Tabla 5.5. 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

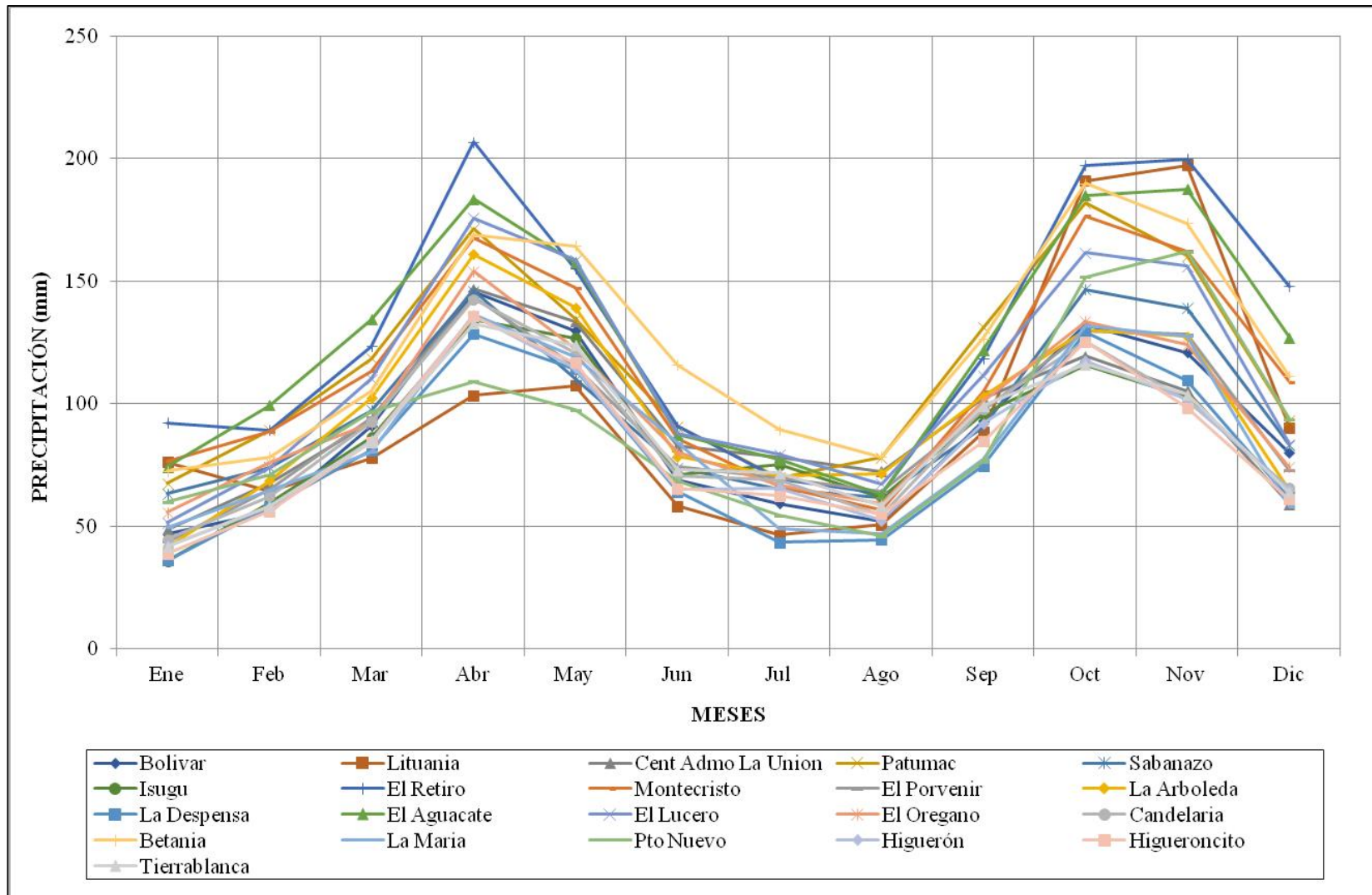


Figura 5.10. Distribución temporal de la de precipitación total mensual de las estaciones ubicadas en zonas aledañas al proyecto
Fuente: elaboración propia

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 El Orégano las mayores precipitaciones se presentan en el periodo marzo-mayo, siendo el mes de abril el más lluvioso con un valor de precipitación de 154 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 56 mm; la precipitación media mensual multianual en esta estación es 95 mm.

En la Tabla 5.6 se presenta la Precipitación media mensual multianual en este mismo municipio.

Tabla 5.6. Precipitación media mensual multianual en el municipio de Toro

| ENE | FEB | MAR | ABR | MAY | JUN | JUL | AGO | SEP | OCT | NOV | DIC |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 62 | 72 | 103 | 150 | 136 | 84 | 70 | 66 | 107 | 164 | 157 | 94 |

Fuente: elaboración propia

Se observa que el municipio de Toro 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 Toro 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 5.7

Tabla 5.7. Precipitaciones máximas para 24 horas, 48 horas y 72 horas con información de las estaciones localizadas en inmediaciones del Municipio de Toro.

| 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 Quebra | 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 5.8 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 5.8. Probabilidad de ocurrencia de precipitaciones máximas (mm) para diferentes periodos de retorno en la estación Isugu

| 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

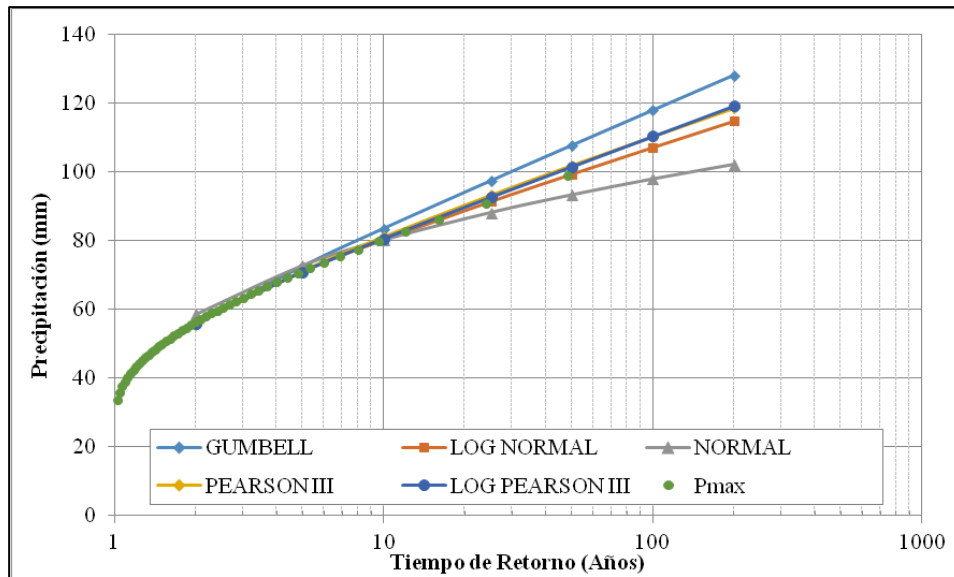


Figura 5.11. Precipitaciones máximas para los diferentes periodos de retorno considerados.
Estación Isugu

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 5.9 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 5.9. 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

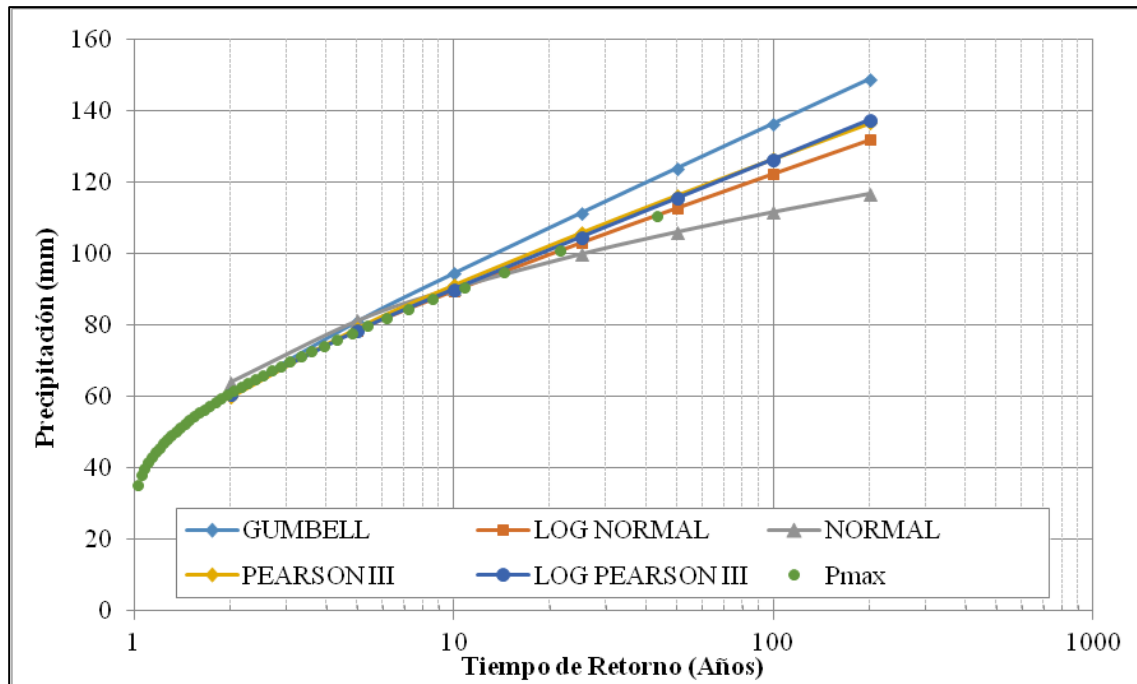


Figura 5.12. Precipitaciones máximas para los diferentes periodos de retorno considerados.
Estación El Orégano

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 5.10 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 5.10. 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 |
| R² | | 0,6026 | 0,6866 | 0,6899 | 0,7067 | 0,7159 |

Fuente: elaboración propia

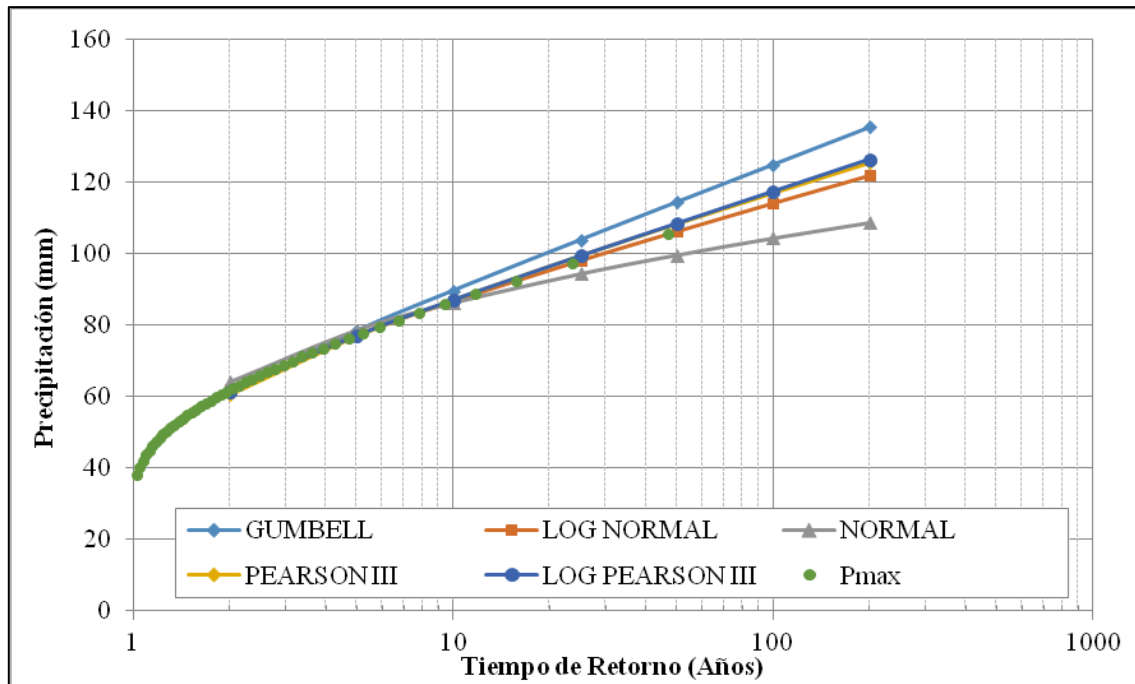


Figura 5.13. Precipitaciones máximas para los diferentes periodos de retorno considerados.
Estación Montecristo
Fuente: elaboración propia

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 5.11 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.

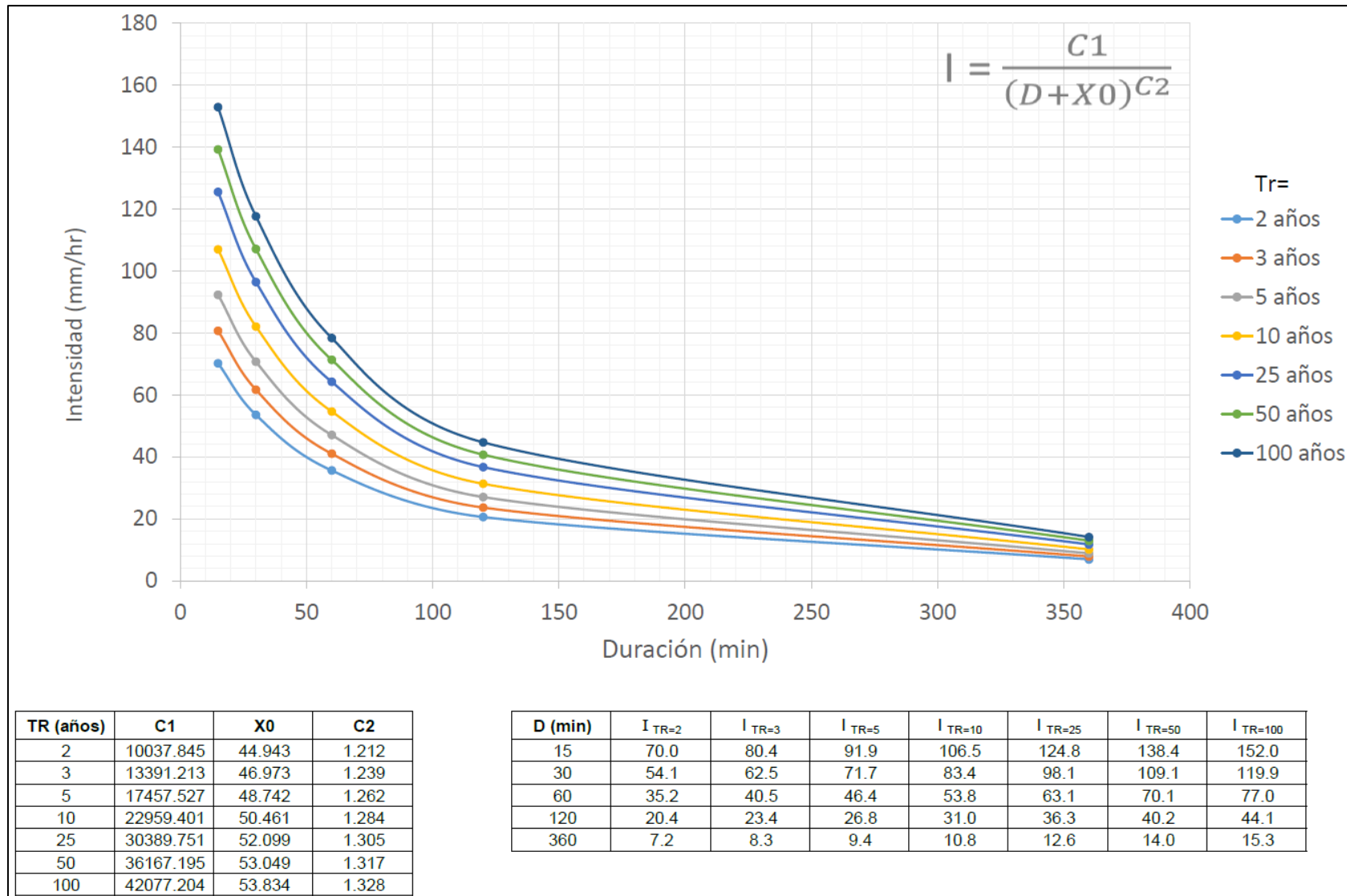


Figura 5.14. Curva de intensidad frecuencia y duración con datos de la Estación Centro Administrativo La Unión.

Fuente: IDEAM, 2016.

Tabla 5.11. 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

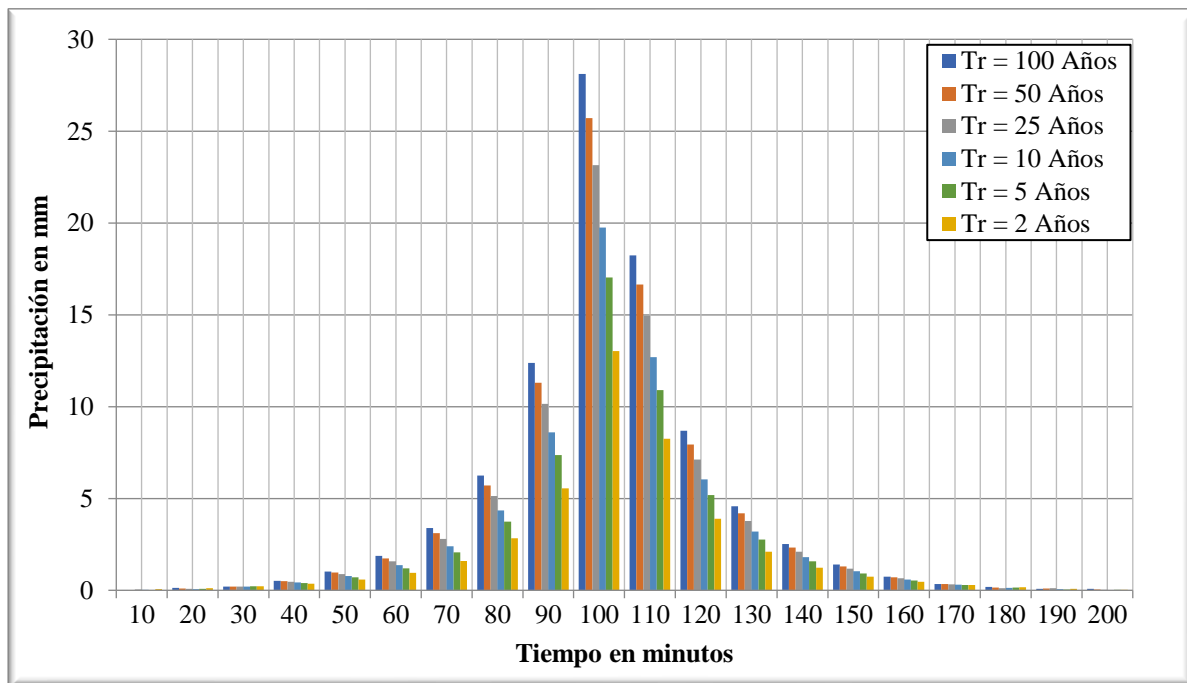


Figura 5.15. Hietograma de precipitación de diseño hidrológico para una duración de 200 min. Estación Centro Administrativo La Unión

Fuente: elaboración propia

5.3.2. Rugosidad del lecho de los cauces del municipio de Toro

Los ríos de montaña presentan diferencias importantes con respecto a los ríos aluviales o de llanura debido a las distintas condiciones topográficas, geológicas, hidrológicas, hidráulicas, sedimentológicas y geomorfológicas. Los ríos de montaña se caracterizan por la alta pendiente de su cauce, sedimentos de mayor tamaño (gravas, guijarros, cantos y bolos) que causan una mayor resistencia al flujo, flujos altamente turbulentos con velocidades relativamente altas y profundidades pequeñas; además, presentan una morfología variable espacialmente y reducida temporalmente excepto cuando son intervenidos (extracción intensiva de materiales del lecho, por ejemplo) y al producirse eventos extremos.

Hasta hace unas cuantas décadas, los ríos de llanura (constituidos principalmente de arenas de diferentes tamaños) habían sido objeto principal de estudio de la hidráulica fluvial debido a que los asentamientos humanos han estado ubicados en su mayoría en los valles aluviales. Aproximadamente desde la década de 1980 se incrementaron los estudios e investigaciones sobre el comportamiento hidráulico, sedimentológico y geomorfológico de los ríos de montaña. Estos estudios han mostrado que las relaciones hidráulicas (rugosidad, velocidad, etc.) y de transporte de sedimentos utilizadas regularmente para definir el comportamiento de ríos de llanura conducen a errores al emplearse para describir el comportamiento de los ríos de montaña

Estimar la resistencia al flujo es fundamental para analizar el comportamiento hidráulico de los ríos de montaña. La rugosidad del lecho representa la resistencia al flujo ejercida por las partículas que conforman el lecho y las bancas del canal y por las formas de fondo y demás irregularidades que actúan como obstáculos al flujo de agua. Para incluir este mecanismo de disipación de energía en las ecuaciones que describen el flujo de agua en canales se han desarrollado diferentes expresiones que involucran la geometría del canal, el material del lecho, etc., cada una con ventajas y limitaciones dependiendo de las condiciones para las cuales se desee aplicar. Se ha recopilado cerca de 70 expresiones que permiten calcular el coeficiente de rugosidad en cauces de montaña con lechos conformados por materiales gruesos como gravas y cantos.

5.3.3. Rugosidad de las llanuras de inundación del municipio de Toro

En la planicie de inundación de un río la presencia de vegetación y diferentes tipos de elementos y obstáculos (piedras, cercos, casas, infraestructura) producen resistencia al flujo cuando éste se desborda. La rugosidad estimada debe ser representativa de la vegetación y los diferentes elementos existentes en las llanuras de inundación ya que este factor es muy importante para obtener resultados confiables en la modelación matemática.

Para determinar los valores de la rugosidad de Manning en las planicies de inundación de la zona de estudio del municipio de Toro, se consideró la metodología propuesta.

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.

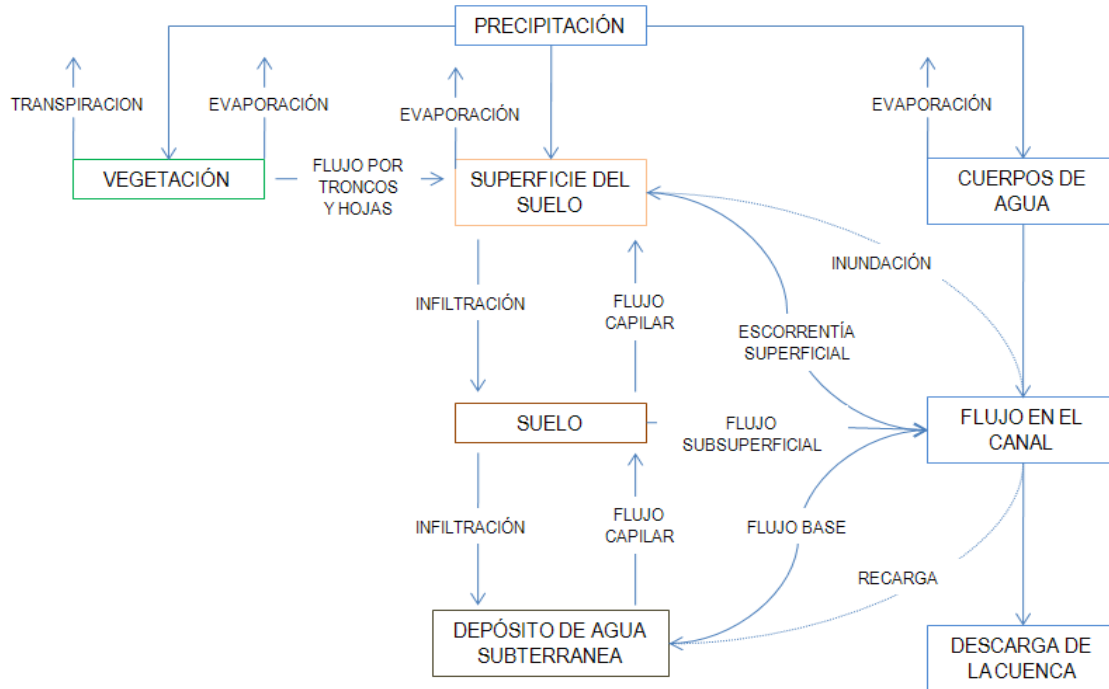


Figura 5.16. Esquema de las componentes hidrológicas e hidráulicas que utiliza el HEC-HMS 4.3 para representar una cuenca hidrográfica.

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 crecida 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.

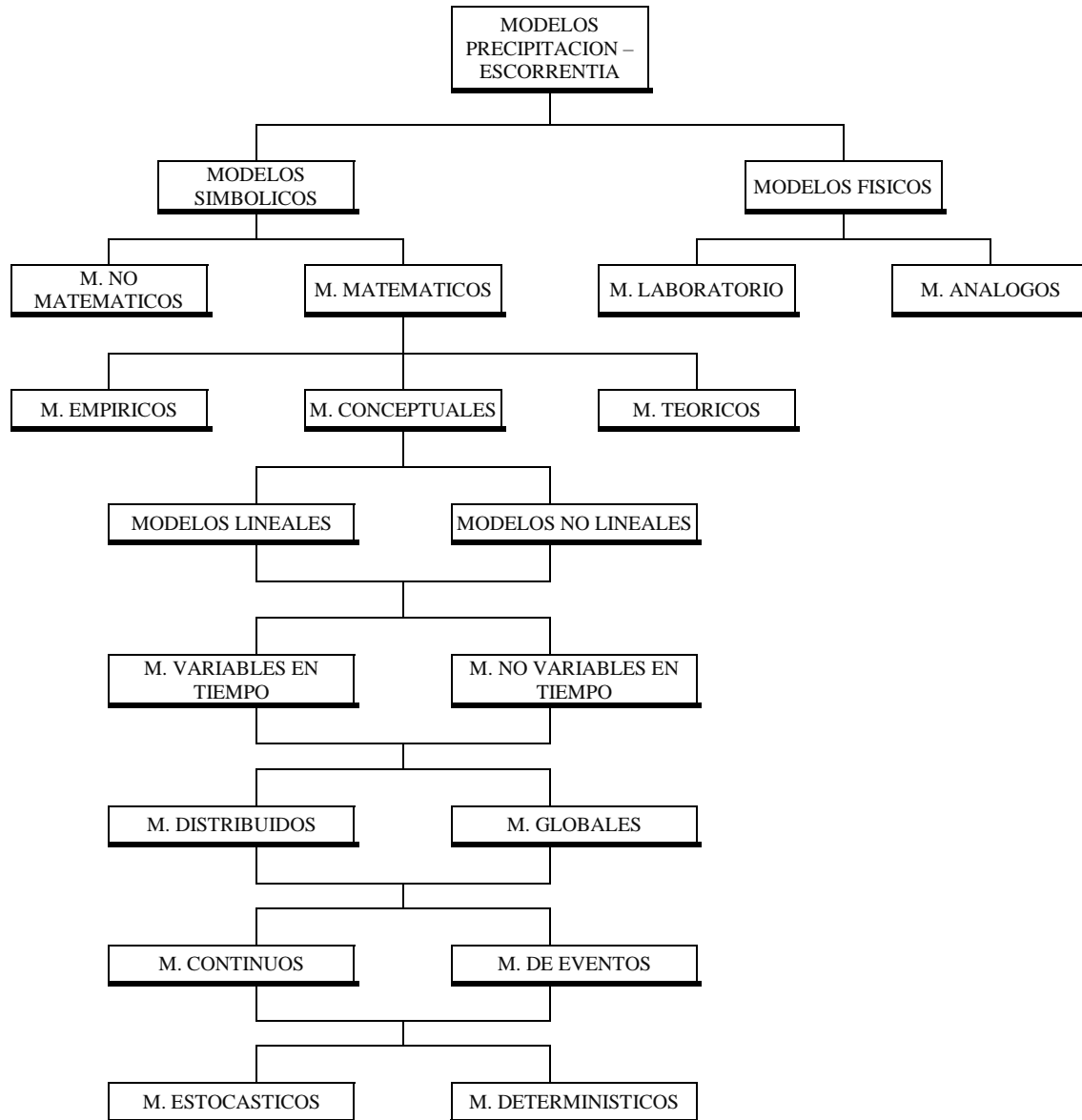


Figura 5.17. Clasificación de Modelos

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 dificultades 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 pérdidas 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 a la duración, pues las lluvias se distribuyen en forma diferente según 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 iniciales 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:

$$CN = \frac{1000}{10+S} \quad (15)$$

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:

$$CN(I) = \frac{4.2CN(II)}{10 - 0.058CN(II)} \quad CN(III) = \frac{23CN(II)}{10 + 0.13CN(II)} \quad (16)$$

En la Tabla 5.12 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 5.13 y en la Tabla 5.14. Para una cuenca hecha de varios tipos de suelos y con diferentes usos de la tierra, se puede calcular un CN compuesto.

Tabla 5.12. 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 |

Tabla 5.13. 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% | 89 | 92 | 94 | 95 |
| Áreas comerciales de negocios (85% impermeables) | 81 | 88 | 91 | 93 |
| Distritos industriales (72% impermeables) | 81 | 88 | 91 | 93 |
| Residencial ³ : | | | | |
| Tamaño promedio del lote | Porcentaje promedio impermeable ⁴ | | | |
| 1/8 acre o menos | 65 | 77 | 85 | 90 |
| 1/4 acre | 38 | 61 | 75 | 83 |
| 1/3 acre | 30 | 57 | 72 | 81 |
| 1/2 acre | 25 | 54 | 70 | 80 |
| 1 acre | 20 | 51 | 68 | 79 |

| DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA | GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO | | | |
|---|-----------------------------|----|----|----|
| | A | B | C | D |
| Parqueaderos pavimentados, techos, accesos, etc. ⁵ | 98 | 98 | 98 | 98 |
| Calles y carreteras: | | | | |
| Pavimentados con cunetas y alcantarillados ⁵ | 98 | 98 | 98 | 98 |
| Grava | 76 | 85 | 89 | 91 |
| Tierra | 72 | 82 | 87 | 89 |

¹Para una descripción más detallada de los números de curva para usos agrícolas de la tierra, remitirse a Soil Conservation Service, t 972, Cap. 9

²Una buena cubierta está protegida por pastizales, y los desechos del retiro de la cubierta del suelo.

³Los 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.

⁴Las 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.

Tabla 5.14. Valores de CN para varios tipos de uso del suelo en cuencas

| USO DE LA TIERRA O COBERTURA | CONDICION DE LA SUPERFICIE | CN POR GRUPO HIDROLÓGICO DE SUELO | | | |
|---------------------------------|---|---|----|----|----|
| | | 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 |

| USO DE LA TIERRA O COBERTURA | CONDICION DE LA SUPERFICIE | CN POR GRUPO HIDROLÓGICO DE SUELO | | | |
|---|-------------------------------|---|-----|-----|-----|
| | | A | B | C | D |
| CEREALES | SURCO EN CURVAS A NIVEL | 67 | 77 | 83 | 87 |
| | TERRAZAS | 64 | 73 | 79 | 82 |
| | 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 |
| POTRERO PERMANENTE | CURVAS A NIVEL, BUENO | 6 | 35 | 70 | 79 |
| | NORMAL | 30 | 58 | 71 | 78 |
| SUPERFICIE IMPERMEABLE | | 100 | 100 | 100 | 100 |
| Pastos, praderas, terrenos de hiebras-- forraje continuo para pastar ^b | Pobre | 68 | 79 | 86 | 89 |
| | 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 con matorrales como el principal elemento | Pobre | 48 | 67 | 77 | 83 |
| | Regular | 35 | 56 | 70 | 77 |
| | Bueno | 30 | 48 | 65 | 73 |
| Combinación de bosque y pastos. (Granja de árboles o huerto) | Pobre | 57 | 73 | 82 | 86 |
| | Regular | 43 | 65 | 76 | 82 |
| | Bueno | 32 | 58 | 72 | 79 |
| Granjas--Edificaciones, vías, caminos, y lotes alrededor | | 59 | 74 | 82 | 86 |

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 está dada por:

$$S = 100/CN \quad (17)$$

Las abstracciones iniciales 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 :

$$Q = \frac{(P - Ia)^2}{P + 0.8S} \quad (18)$$

La evaluación de la infiltración se estima por el método de Holtan que se conceptualiza con base a la siguiente ecuación:

$$Fp = GI \cdot A \cdot SA^\alpha + fc \quad (19)$$

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:

$$F(t) = \frac{PSIF \cdot DTHETA}{f(t)/XKAST - 1} \quad (20)$$

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 (t_c), 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 (t_p) y el coeficiente de almacenamiento (C_p).

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 (t_c).

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 t_c 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

$$t_c = 0.0078L^{0.77} S^{-0.385} \quad (21)$$

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 del río Toro y la quebrada De Lazaro 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:

$$Q = KS_f^{1/2} \quad K = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} \quad (22)$$

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 n_c 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:

$$n_c = \frac{\sum (P_i \cdot n_i^{1.5})^{2/3}}{\sum P_i} \quad (23)$$

Dónde:

n_c : Coeficiente de Rugosidad compuesta o equivalente

n_i : Coeficiente de rugosidad para la subdivisión i

P_i : 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:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5 \quad (24)$$

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 5.15).

Tabla 5.15. Rugosidad Hidráulica de Manning en Cauces Según Chow (1959) y Cowan (1956)

| Condiciones del Cauce | | Valores de Rugosidad | |
|---------------------------------------|---------------------------|----------------------|-------------|
| Material del Lecho | Tierra | | 0.020 |
| | Corte en roca | | 0.025 |
| | Grava fina | no | 0.024 |
| | Grava triturada | | 0.028 |
| Grado de Irregularidad | Suave | | 0.000 |
| | Menor | | 0.005 |
| | Moderado | n1 | 0.010 |
| | Severo | | 0.020 |
| Variaciones de la Sección Transversal | Gradual | | 0.00 |
| | Ocasionalmente alternante | n2 | 0.005 |
| | Frecuentemente alternante | | 0.010-0.015 |
| Efectos Relativos de Obstrucciones | Despreciable | | 0.000 |
| | Menor | n3 | 0.010-0.015 |
| | Apreciable | | 0.020-0.030 |

| Condiciones del Cauce | | Valores de Rugosidad |
|-----------------------|------------|----------------------|
| Vegetación | Severo | 0.040-0.060 |
| | Baja | 0.005-0.010 |
| | Media | 0.010-0.025 |
| | Alta | 0.025-0.050 |
| | Muy alta | 0.050-0.100 |
| Meandros | Menor | 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 obtenidos 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 5.16.

Tabla 5.16. Codificación de los resultados de la modelación hidráulica.

| CODIFICACIÓN | SIGNIFICADO |
|-----------------------|---|
| Qttotal | 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 las quebradas Toro y De Lazaro.

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 Toro 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 puedan 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 urbana y de expansión urbana del municipio de Toro 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 Toro la frontera superior se localizó en el inicio del límite de la cabecera municipal al Sur -Occidente de Toro. 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 Toro existen cultivos, pastos naturales, árboles, guadua, rastrojo y zona urbana (superficies en concreto). En el Tabla 5.17 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 Toro.

Tabla 5.17. Valores estimados del coeficiente de rugosidad de Manning en la planicie aluvial de la zona de estudio del municipio de Toro

| 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 Toro se incluyeron todos los cauces y canales existentes y que pueden originar problemas de inundación en el casco urbano, como son: la quebrada Toro y la quebrada De Lazaro.

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 Toro estimados e ingresados al modelo inicialmente se muestran en la Tabla 5.17 de acuerdo al tipo de cobertura.

- **Puentes**

En la zona de estudio y sobre la quebrada Toro y la quebrada de Lazaro 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 Toro, 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 Toro 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 Toro.

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 Toro 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 Toro 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 Toro***

El análisis de sensibilidad del modelo matemático de la zona de estudio del municipio de Toro 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 Toro y la quebrada De Lazaro 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 $0.07 \text{ s/m}^{1/3}$. Finalmente, el valor adoptado de la rugosidad para la quebrada Toro fue de $0.047 \text{ s/m}^{1/3}$ y para la quebrada De Lazaro fue de $0.043 \text{ s/m}^{1/3}$
- **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 Toro y la quebrada De Lázaro, que discurren por el área urbana del municipio de Toro es, 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 m²/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 ambos 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 m²/s y menor a 0.5 m²/s (Figura 6.2).

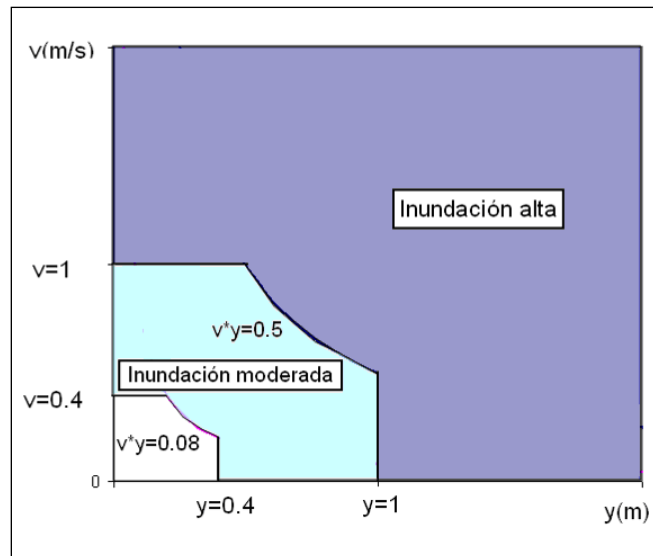


Figura 6.1. Clasificación de las zonas de inundación de acuerdo con la Agencia Catalana del Agua

Fuente: Agencia Catalana, (2003)

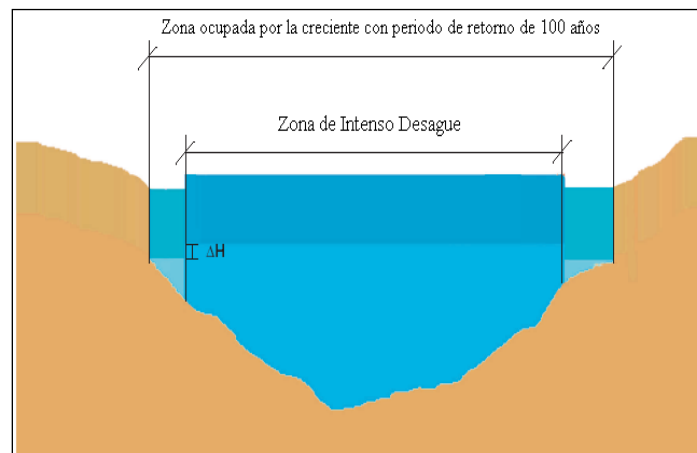


Figura 6.2. Zona de intenso desagüe definida por la Agencia Catalana del Agua

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.

$$\text{Amenaza por inundación} = f(\text{Intensidad} \times \text{probabilidad de ocurrencia})$$

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).

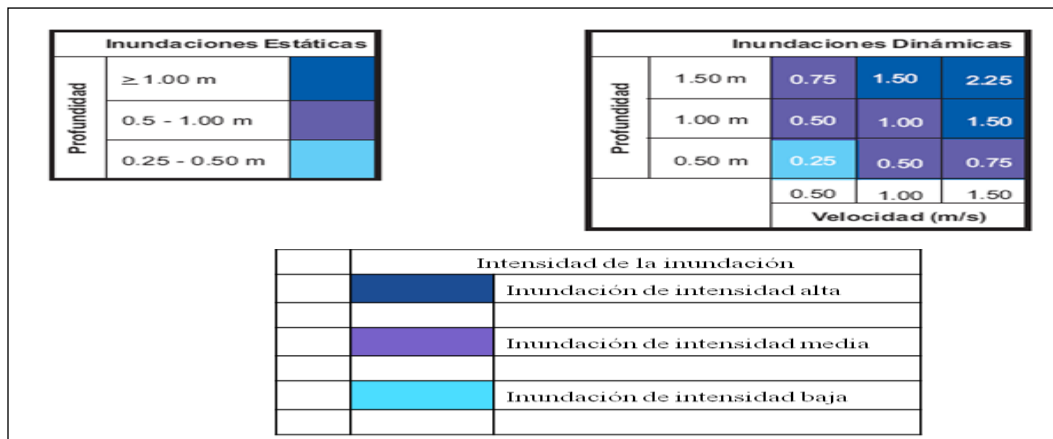


Figura 6.3. Definición de rangos de intensidad para inundaciones estáticas y dinámicas

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 m²/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 m²/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 m²/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

| INTENSIDAD | NIVEL DE AMENAZA | | |
|---|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|
| | Alta $H \geq 1$ ó $H*V > 1.5$ | 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 $H*V > 1,5$ m²/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 $0,5 < H*V < 1,5$ m²/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 $0,5 < H*V < 1,5$ m²/s y para una frecuencia alta ($Tr \leq 10$), $0,25 \leq H < 0,5$ m ó $H*V < 0,5$ m²/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 $H*V < 0,5$ m²/s (intensidad media) y para una frecuencia baja ($50 < Tr \leq 200$), $0,5 \leq H < 1$ m ó $0,5 < H*V < 1,5$ m²/s (intensidad media) y $0,25 \leq H < 0,5$ m ó $H*V < 0,5$ m²/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% |



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 $H + V^2/2g$, 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 $V \cdot H > 1.5$ |
| Media | $0,5 < H < 1,5$ | ó $0,5 < V \cdot H < 1,5$ |
| Baja | $0,1 < H < 0,5$ | y $0,1 < V \cdot H < 0,5$ |

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 $V \cdot H > 1$ |
| Media | $0,2 < H < 1$ | y $0,2 < V \cdot H < 1$ |
| Baja | $0,2 < H < 1$ | y $V \cdot H < 0,2$ |

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 riberaños, 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 |
|--------------------------------------|-----------------------------|
| $Tr \leq 10$ años | Alta |
| $10 \text{ años} < Tr \leq 30$ años | Media |
| $30 \text{ años} < Tr \leq 100$ 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 m²/s y 0.45 m²/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 |
|--|---|
| $H \geq 0,9 \text{ m}$ ó $V \geq 0,8 \text{ m/s}$ ó $H*V \geq 0,45 \text{ m}^2/\text{s}$ | Alta |
| $0,45 \text{ m} \leq H < 0,9 \text{ m}$ ó $0,5 \text{ m/s} \leq V < 0,8 \text{ m/s}$ ó $0,225 \text{ m}^2/\text{s} \leq H*V < 0,45 \text{ m}^2/\text{s}$ | Media |
| $0,05 \text{ m} < H < 0,45 \text{ m}$ y $V < 0,5 \text{ m/s}$ y $H*V < 0,225 \text{ m}^2/\text{s}$ | Baja |

Fuente: CVC -Universidad del Valle

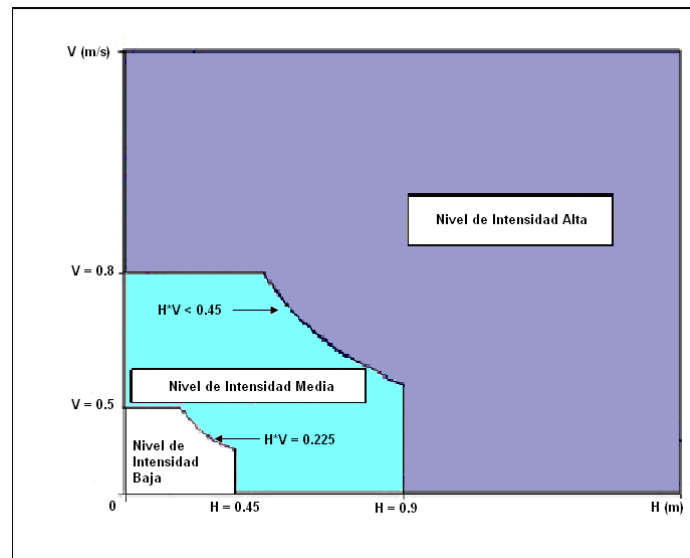


Figura 6.4. Nivel de intensidad o magnitud de la amenaza por inundaciones.

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, significativa, 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 INTENSIDAD | NIVEL DE AMENAZA | | |
|---|--|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | Nivel de intensidad alto $H \geq 0,9 \text{ m}$ ó $V \geq 0,8 \text{ m/s}$ ó $H*V \geq 0,45 \text{ m}^2/\text{s}$ | Alto | Alto |
| Nivel de intensidad medio $0,45 \text{ m} \leq H < 0,9 \text{ m}$ ó $0,5 \text{ m/s} \leq V < 0,8 \text{ m/s}$ ó $0,225 \text{ m}^2/\text{s} \leq H*V < 0,45 \text{ m}^2/\text{s}$ | Alto | Medio | Medio |
| Nivel de intensidad bajo $0,05 \text{ m} < H < 0,45 \text{ m}$ y $V < 0,5 \text{ m/s}$ y $H*V < 0,225 \text{ m}^2/\text{s}$ | Medio | Bajo | Bajo |
| FRECUENCIA DE LA INUNDACIÓN | Frecuencia alta $Tr \leq 10$ | Frecuencia media $10 < Tr \leq 30$ | Frecuencia baja $30 < Tr \leq 100$ |

Fuente: CVC -Universidad del Valle

Tabla 6.13. Clasificación de la amenaza por inundaciones

| PROFUNDIDAD (M) Ó VELOCIDAD (M/S) PROFUNDIDAD VELOCIDAD (M ² /S) | Ó POR | NIVEL DE INTENSIDAD DE LA AMENAZA | PERIODO DE RETORNO (AÑOS) | NIVEL DE FRECUENCIA DE LA AMENAZA | CLASIFICACIÓN DE LA AMENAZA |
|---|-------|-----------------------------------|---------------------------|-----------------------------------|-----------------------------|
| $H \geq 0,9$ ó $V \geq 0,8$ ó $H*V \geq 0,45$ | | Alto | $Tr \leq 10$ | Alto | Alto |
| $H \geq 0,9$ ó $V \geq 0,8$ ó $H*V \geq 0,45$ | | Alto | $10 < Tr \leq 30$ | Medio | Alto |
| $H \geq 0,9$ ó $V \geq 0,8$ ó $H*V \geq 0,45$ | | Alto | $30 < Tr \leq 100$ | Bajo | Alto |
| $0,45 \leq H < 0,9$ ó $0,5 \leq V < 0,8$ ó $0,225 \leq H*V < 0,45$ | | Medio | $Tr \leq 10$ | Alto | Alto |
| $0,45 \leq H < 0,9$ ó $0,5 \leq V < 0,8$ ó $0,225 \leq H*V < 0,45$ | | Medio | $10 < Tr \leq 30$ | Medio | Medio |
| $0,45 \leq H < 0,9$ ó $0,5 \leq V < 0,8$ ó $0,225 \leq H*V < 0,45$ | | Medio | $30 < Tr \leq 100$ | Bajo | Medio |
| $0,05 < H < 0,45$ y $V < 0,5$ y $H*V < 0,225$ | | Bajo | $Tr \leq 10$ | Alto | Medio |
| $0,05 < H < 0,45$ y $V < 0,5$ y $H*V < 0,225$ | | Bajo | $10 < Tr \leq 30$ | Medio | Bajo |
| $0,05 < H < 0,45$ y $V < 0,5$ y $H*V < 0,225$ | | Bajo | $30 < Tr \leq 100$ | Bajo | Bajo |

Fuente: CVC -Universidad del Valle

6.4. 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.

6.4.1. Determinación de la cartografía de amenaza por inundación

Las condiciones morfológicas y climáticas del municipio de Toro 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 Toro y la quebrada de Lázaro, producto de las lluvias, que desciende de las laderas y afecta la zona urbana y de expansión urbana del municipio de Toro.

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.

6.4.2. 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.

6.4.3. 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 procesos 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.

6.4.3.1. 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 6.14 se presentan las principales características de las medidas estructurales.

Tabla 6.14. 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 |
| | 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 |
| Intensivas | 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

6.4.3.2. 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. En la Tabla 6.15 se presentan las principales características de las medidas estructurales.

6.5. 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

6.5.1. 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

6.5.2. 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.

6.5.3. 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 Toro y la quebrada De Lazaro.

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

6.5.3.1. 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 Toro y la quebrada De Lazaro 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).

6.6. 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 Toro para el periodo de retorno de 100 años obtenidos se presenta en la Figura 6.5 en ella se muestra la zonificación de los diferentes niveles de amenaza por inundación por desbordamiento.

6.6.1. 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 Toro 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 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

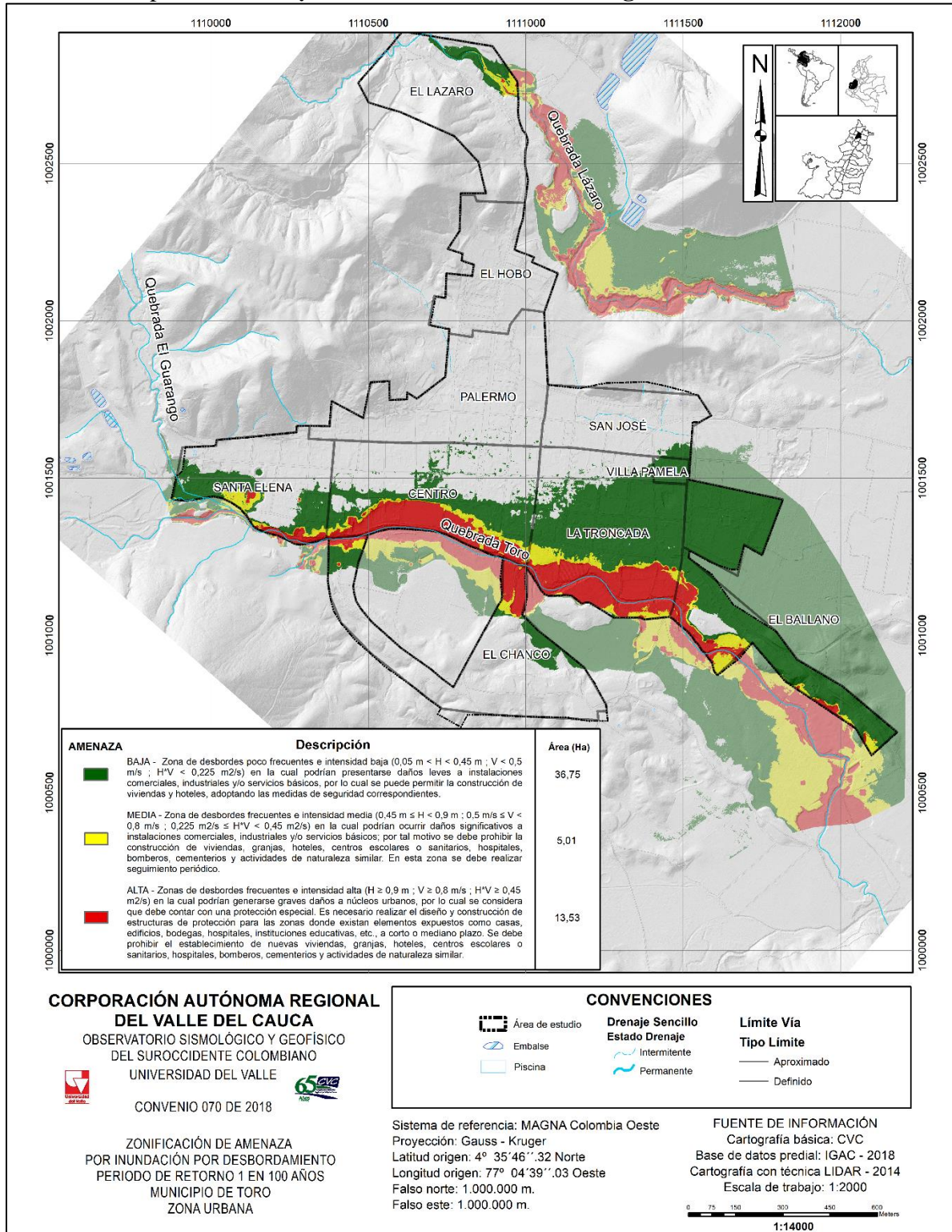


Figura 6.5. Zonificación de amenaza por inundación por desbordamiento - Periodo de retorno de 100 años

Fuente: elaboración propia

En el municipio de Toro existen especialmente dos puntos críticos en los cuales se recomienda la construcción de obras de control y mitigación para la inundación o ampliar la capacidad hidráulica de las obras existentes en el sector.

Sobre la quebrada de Lázaro el punto mas critico es en cercanías del cruce de la vía que conduce desde Toro a Argelia, en donde de acuerdo a la modelación hidráulica de la quebrada se identifica una zona donde se presenta un desbordamiento que pone en riesgo algunos predios del sector.

En el caso de la quebrada Toro, se presenta una zona critica por las inundaciones generadas y es en cercanías de la confluencia de la quebrada el Guarango y la quebrada Toro, cerca de la cra 2. También existe un box culvert el cual tiene una sección de 3.0 m x 1.3 m cuya capacidad hidráulica es inferior a los caudales de creciente que tienen probabilidad de ocurrir en esta quebrada. Por lo cual se recomienda aumentar la capacidad hidráulica de esta sección y así mitigar las zonas inundables críticas en el municipio, que, a pesar de no se muchas, algunas de estas se pueden mitigar.

Es muy importante tener en cuenta que existen muchas edificaciones, las cuales en su cercanía con las quebradas no respetan la franja forestal protectora y son estas zonas las encargadas de regular las crecientes presentadas en los cuerpos de agua, entendiendo que El Decreto 1449 que establece o regula en Cobertura Boscosa dentro del predio, las Áreas Forestales Protectoras, en una faja no inferior a 30 metros de ancho, paralela a las líneas de mareas máximas, a cada lado de los cauces de los ríos, quebradas y arroyos, sean permanentes o no y alrededor de lagos o depósitos de agua. El artículo 11 del Decreto 1541 de 1978 aclara que se entiende por Cauce Natural la faja de terreno natural que ocupan las aguas de una corriente al alcanzar sus niveles máximos por efectos de las crecientes ordinarias; y por lecho de los depósitos naturales de aguas, el suelo que ocupan hasta donde llegan los niveles ordinarios por efectos de lluvias o deshielo.

En el artículo 13 del mismo decreto se indica que “para los efectos de aplicación del artículo anterior se entiende por la línea o niveles ordinarios las cotas promedios naturales de los últimos quince (15) años, tanto para las más altas como para las más bajas. Para determinar estos promedios se tendrá en cuenta los datos que suministren las entidades que dispongan de ellos y en los casos en que la información sea mínima o inexistente, se acudirá a la que puedan dar los particulares.”

Es fundamental para evitar eventos que lleguen a ocasionar daños en la infraestructura física del municipio y en la vida de sus habitantes, que se respete la franja forestal protectora.

A continuación, se presenta un presupuesto tipo de una obra de mayor que el box culvert al cual se recomienda aumentar su capacidad hidráulica, este presupuesto es un ejemplo para entender el costo aproximado de la obra, mas no es el valor ni la obra que se debe realizar en este caso. Ya que para ello se deben realizar estudios específicos para identificar cual es la obra que se debe implementar, como lo son los estudios de suelos, análisis estructurales, análisis de cimentación, entre otros estudios necesarios para realizar un adecuado diseño de una estructura de control (Tabla 6.15).

Tabla 6.15. Descripción de las principales obras estructurales para control de las crecientes e inundaciones

| CALCULO DEL APU | | | | | | |
|--|--|--------------------|--------------------------|-------------------------|------------------------|---------------------|
| A | EQUIPO | UNIDA D | CANTIDAD | DESPERDICI O | VR UNITARIO | VR TOTAL |
| | Molinete | día | 1,33 | 1,05 | \$20.500,00 | \$28.628,25 |
| | Herramienta menor (5% M.O.) | GL | 0,05 | 1,05 | | \$18.939,05 |
| | Total | | | | | \$47.567,30 |
| B. | MATERIALES | UNIDA D | CANTIDAD | DESPERDICI O | VR UNITARIO | VR TOTAL |
| | Acero 420 Mpa | kg | 18,19 | 1,05 | \$2.538,00 | \$48.474,53 |
| | concreto 21 Mpa premezclado | m3 | 1,5 | 1,05 | \$67.000,00 | \$105.525,00 |
| | Total | | | | | \$153.999,53 |
| C | TRANSPORTE | UNIDA D | CANTIDAD | DESPERDICI O | VR UNITARIO | VR TOTAL |
| | transporte interno de acero | kg | 18,19 | | \$200,00 | \$3.638,00 |
| | Evacuacion excavado material | m3 | 1,5 | | \$3.560,00 | \$5.340,00 |
| | Bombeo | m3 | 1 | | \$46.000,00 | \$46.000,00 |
| Total | | | | | \$54.978,00 | |
| D | MANO DE OBRA | UNIDA D | CANTIDAD | DESPERDICI O | VR UNITARIO | VR TOTAL |
| | TRABAJADOR | JORNA L | PRESTACIONE S | Valor unitario | rendimiento | valor total |
| | Cuadrilla excavacion, colocacion de hierro y vaciado de concreto | 335411,2 | 383461 | 192291,61 | \$4,05 | \$378.781,03 |
| | Total | | | | | \$378.781,03 |
| TOTAL COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D) | | | | | | \$635.325,86 |

| 2. Concreto 21 MPa premezclado para zapatas, estribos y new jersey | | UNIDAD | m3 | Total concreto 253,75 m3 | | |
|--|-----------------------------|----------|-------------|--------------------------|--------------|--------------------|
| EQUIPO | UNIDAD | CANTIDAD | DESPERDICIO | VR UNITARIO | VR TOTAL | |
| A | Planta eléctrica | día | 0,126 | 1,05 | \$120.000,00 | \$15.876,00 |
| | ACPM | Galon | 0,036 | 1,05 | \$7.923,00 | \$299,49 |
| | vibrador | día | 0,126 | 1,05 | \$25.000,00 | \$3.307,50 |
| | Herramienta menor (5% M.O.) | GL | 0,05 | 1,05 | | \$9.881,27 |
| | Total | | | | | \$29.364,26 |

| MATERIALES | UNIDAD | CANTIDAD | DESPERDICIO | VR UNITARIO | VR TOTAL | |
|------------|-----------------------------|----------|-------------|-------------|-------------|---------------------|
| B. | concreto 21 Mpa premezclado | m3 | 1 | 1,05 | \$85.300,00 | \$89.565,00 |
| | Formaletas | m2 | 0,921 | 1,05 | \$8.540,00 | \$8.258,61 |
| | Equipo encofrado | día | 3 | 1,05 | \$3.800,00 | \$11.970,00 |
| | Total | | | | | \$109.793,61 |

| TRANSPORTE | UNIDAD | CANTIDAD | DESPERDICIO | VR UNITARIO | VR TOTAL | |
|------------|--------------|----------|-------------|-------------|-------------|--------------------|
| C | Bombeo | m3 | 1 | | \$46.000,00 | \$46.000,00 |
| | Total | | | | | \$46.000,00 |

| MANO DE OBRA | UNIDAD | CANTIDAD | DESPERDICIO | VR UNITARIO | VR TOTAL | |
|--------------|--|--------------|----------------|-------------|-------------|---------------------|
| TRABAJADOR | JORNAL | PRESTACIONES | Valor unitario | rendimiento | valor total | |
| D | Cuadrilla encof, vac ccreto y desencofrado | 335411,2 | 383461 | 192291,61 | \$4,05 | \$197.625,33 |
| | Total | | | | | \$197.625,33 |

| | |
|--|---------------------|
| TOTAL COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D) | \$382.783,19 |
|--|---------------------|

| 3. Concreto 28 MPa premezclado para viga cabezal y columnas | UNIDAD | m3 | total concreto 82,257 m3 |
|---|--------|----|--------------------------|
|---|--------|----|--------------------------|

| | EQUIPO | UNIDA D | CANTIDAD | DESPERDICI O | VR UNITARIO | VR TOTAL |
|--------------|-----------------------------|------------|----------|-----------------|----------------|---------------------|
| A | planta eléctrica | día | 0,693 | 1,05 | \$120.000,00 | \$87.318,00 |
| | ACPM | Galon | 0,198 | 1,05 | \$7.923,00 | \$1.647,19 |
| | vibrador | día | 0,693 | 1,05 | \$25.000,00 | \$18.191,25 |
| | Herramienta menor (5% M.O.) | GL | 0,05 | 1,05 | | \$17.978,00 |
| Total | | | | | | \$125.134,44 |

| | MATERIALES | UNIDA D | CANTIDAD | DESPERDICI O | VR UNITARIO | VR TOTAL |
|--------------|-----------------------------|------------|----------|-----------------|----------------|---------------------|
| B. | concreto 28 Mpa premezclado | m3 | 1 | 1,05 | \$96.250,00 | \$101.062,50 |
| | Formaletas | m2 | 0,921 | 1,05 | \$8.540,00 | \$8.258,61 |
| | Equipo encofrado | día | 3 | 1,05 | \$3.800,00 | \$11.970,00 |
| Total | | | | | | \$121.291,11 |

| | TRANSPORTE | UNIDA D | CANTIDAD | DESPERDICI O | VR UNITARIO | VR TOTAL |
|--------------|------------|------------|----------|-----------------|----------------|--------------------|
| C | Bombeo | m3 | 1 | | \$46.000,00 | \$46.000,00 |
| Total | | | | | | \$46.000,00 |

| | MANO DE OBRA | UNIDA D | CANTIDAD | DESPERDICI O | VR UNITARIO | VR TOTAL |
|--------------|--|------------|------------------|-----------------|----------------|---------------------|
| | TRABAJADOR | JORNA L | PRESTACIONE S | Valor unitario | rendimiento | valor total |
| D | Cuadrilla encof, vac ccreto y desencofrado | 335411,2 | 383461 | 192291,61 | \$4,05 | \$359.560,00 |
| Total | | | | | | \$359.560,00 |

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|---------------------|
| TOTAL COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D) | | | | | | \$651.985,55 |
|--|--|--|--|--|--|---------------------|

| 4. Concreto 35 MPa premezclado para vigas postensadas, vigas de amarre y placa | | | | | | |
|--|------------------|------------|----------|-----------------|----------------|-------------|
| | EQUIPO | UNIDA D | CANTIDAD | DESPERDICI O | VR UNITARIO | VR TOTAL |
| A | planta eléctrica | día | 0,1439 | 1,05 | \$120.000,00 | \$18.131,40 |

total concreto 319,615 m3

| | | | | | | |
|--|-----------------------------|-------|--------|------|-------------|--------------------|
| | ACPM | Galon | 0,0411 | 1,05 | \$7.923,00 | \$341,92 |
| | Vibrador | día | 0,1439 | 1,05 | \$25.000,00 | \$3.777,38 |
| | Herramienta menor (5% M.O.) | GL | 0,05 | 1,05 | | \$20.781,27 |
| | Total | | | | | \$43.031,96 |

| | MATERIALES | UNIDAD | CANTIDAD | DESPERDICIO | VR UNITARIO | VR TOTAL |
|----|-----------------------------|--------|----------|-------------|--------------|---------------------|
| B. | concreto 35 Mpa premezclado | m3 | 1 | 1,05 | \$116.451,00 | \$122.273,55 |
| | Formaletas | m2 | 0,921 | 1,05 | \$8.540,00 | \$8.258,61 |
| | Equipo encofrado | Día | 3 | 1,05 | \$3.800,00 | \$11.970,00 |
| | Total | | | | | \$142.502,16 |

| | TRANSPORTE | UNIDAD | CANTIDAD | DESPERDICIO | VR UNITARIO | VR TOTAL |
|----|--------------|--------|----------|-------------|-------------|--------------------|
| C. | Bombeo | m3 | 1 | | \$46.000,00 | \$46.000,00 |
| | Total | | | | | \$46.000,00 |

| | MANO DE OBRA | UNIDAD | CANTIDAD | DESPERDICIO | VR UNITARIO | VR TOTAL |
|----|--|----------|--------------|----------------|-------------|---------------------|
| | TRABAJADOR | JORNAL | PRESTACIONES | Valor unitario | rendimiento | valor total |
| D. | Cuadrilla encof, vac ccreto y desencofrado | 335411,2 | 383461 | 192291,61 | \$4,05 | \$415.625,33 |
| | Total | | | | | \$415.625,33 |

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|---------------------|--|
| TOTAL COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D) | | | | | \$647.159,45 | |
|--|--|--|--|--|---------------------|--|

| | | | | | | |
|---|--|------------------|-----------------------------|--|--|--|
| 5. Concreto 17 MPa premezclado para solados y topes sismicos | | UNIDAD m3 | total concreto 21 m3 | | | |
|---|--|------------------|-----------------------------|--|--|--|

| | EQUIPO | UNIDAD | CANTIDAD | DESPERDICIO | VR UNITARIO | VR TOTAL |
|----|------------------|--------|----------|-------------|--------------|------------|
| A. | planta eléctrica | día | 0,023 | 1,05 | \$120.000,00 | \$2.898,00 |
| | ACPM | Galon | 0,015 | 1,05 | \$7.923,00 | \$124,79 |

| | | | | | |
|--|-----------------------------|----|------|------|-------------------|
| | Herramienta menor (5% M.O.) | GL | 0,05 | 1,05 | \$381,27 |
| | Total | | | | \$3.404,05 |

| | MATERIALES | UNIDAD | CANTIDAD | DESPERDICIO | VR UNITARIO | VR TOTAL |
|----|-----------------------------|--------|----------|-------------|-------------|--------------------|
| B. | concreto 17 Mpa premezclado | m3 | 1 | 1,05 | \$61.000,00 | \$64.050,00 |
| | Total | | | | | \$64.050,00 |

| | TRANSPORTE | UNIDAD | CANTIDAD | DESPERDICIO | VR UNITARIO | VR TOTAL |
|----|--------------|--------|----------|-------------|-------------|--------------------|
| C. | Bombeo | m3 | 1 | | \$46.000,00 | \$46.000,00 |
| | Total | | | | | \$46.000,00 |

| | MANO DE OBRA | UNIDAD | CANTIDAD | DESPERDICIO | VR UNITARIO | VR TOTAL |
|----|--|----------|--------------|----------------|-------------|-------------------|
| | TRABAJADOR | JORNAL | PRESTACIONES | Valor unitario | rendimiento | valor total |
| D. | Cuadrilla encof, vac ccreto y desencofrado | 335411,2 | 383461 | 192291,61 | \$4,05 | \$7.625,33 |
| | Total | | | | | \$7.625,33 |

| | | | | | |
|--|--|--|--|--|---------------------|
| TOTAL COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D) | | | | | \$121.079,38 |
|--|--|--|--|--|---------------------|

| | | | | | |
|----------------------------|---------------|-----------|--|--|--|
| 6. Acero de 420 Mpa | UNIDAD | m3 | total acero de refuerzo 57962,48 kg | | |
|----------------------------|---------------|-----------|--|--|--|

| | EQUIPO | UNIDAD | CANTIDAD | DESPERDICIO | VR UNITARIO | VR TOTAL |
|----|-----------------------------|--------|----------|-------------|-----------------|----------|
| A. | Herramienta menor (5% M.O.) | GL | 0,05 | 1,05 | \$114,27 | |
| | Total | | | | \$114,27 | |

| | MATERIALES | UNIDAD | CANTIDAD | DESPERDICIO | VR UNITARIO | VR TOTAL |
|----|-------------------|--------|----------|-------------|-------------|-------------------|
| B. | Acero de Refuerzo | Kg | 1 | 1,05 | \$2.338,00 | \$2.454,90 |
| | Total | | | | | \$2.454,90 |

| D | MANO DE OBRA | UNIDA D | CANTIDAD | DESPERDICI O | VR UNITARIO | VR TOTAL |
|---|----------------------------|------------|------------------|-----------------|----------------|-------------------|
| | TRABAJADOR | JORNA L | PRESTACIONE S | Valor unitario | rendimiento | valor total |
| | Cuadrilla amarre de hierro | 335411,2 | 383461 | 192291,61 | \$4,05 | \$2.285,33 |
| | Total | | | | | \$2.285,33 |

| | |
|--|-------------------|
| TOTAL COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D) | \$4.854,50 |
|--|-------------------|

7. Tensionamiento de vigas longitudinales UNIDAD MNm total tensionado 5520 MN m

| A | EQUIPO | UNIDA D | CANTIDAD | DESPERDICI O | VR UNITARIO | VR TOTAL |
|---|-----------------------------|------------------|----------|-----------------|----------------|--------------------|
| | | planta eléctrica | día | 0,1439 | 1,05 | \$120.000,00 |
| | ACPM | Galon | 0,0411 | 1,05 | \$7.923,00 | \$341,92 |
| | Herramienta menor (5% M.O.) | GL | 0,05 | 1,05 | | \$281,27 |
| | Total | | | | | \$18.754,58 |

| B. | MATERIALES | UNIDA D | CANTIDAD | DESPERDICI O | VR UNITARIO | VR TOTAL |
|----|--|------------|----------|-----------------|----------------|-------------------|
| | | Lechada | m3 | 0,00166 | 1,05 | \$25.310,00 |
| | Torones de tensionamiento 1900 Mpa de $\Phi 1/2$ " y de 7 hilos (incluyen Bocin, ducto de aluminio y Platina de anclaje 3"x3"x 1/4" y tuerca soldada roscada de varilla receptora) | MN - m | 1 | | \$8.160,00 | \$8.160,00 |
| | Total | | | | | \$8.204,12 |

| D | MANO DE OBRA | UNIDA D | CANTIDAD | DESPERDICI O | VR UNITARIO | VR TOTAL |
|---|---|------------|------------------|-----------------|----------------|-------------------|
| | TRABAJADOR | JORNA L | PRESTACIONE S | Valor unitario | rendimiento | valor total |
| | Cuadrilla encof, vac ccreto y desencofrado | 335411,2 | 383461 | 192291,61 | \$4,05 | \$5.625,33 |
| | Servicio de tensionamiento contratado con VSL | | | | | \$15.862,11 |
| | Total | | | | | \$5.625,33 |

| | |
|--|--------------------|
| TOTAL COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D) | \$32.584,03 |
|--|--------------------|

| | | |
|------------------------------|------------------|-------------------|
| 8. Pasamanos metálico | UNIDAD KN | total 36KN |
|------------------------------|------------------|-------------------|

| A | EQUIPO | UNIDA D | CANTIDAD | DESPERDICI O | VR UNITARIO | VR TOTAL |
|---|-----------------------------|------------------|----------|-----------------|----------------|--------------------|
| | | planta eléctrica | día | 0,04 | 1,05 | \$120.000,00 |
| | ACPM | Galon | 0,0411 | 1,05 | \$7.923,00 | \$341,92 |
| | Herramienta menor (5% M.O.) | GL | 0,05 | 1,05 | | \$10.781,27 |
| | Total | | | | | \$16.163,18 |

| B. | MATERIALES | UNIDA D | CANTIDAD | DESPERDICI O | VR UNITARIO | VR TOTAL |
|----|--------------|-----------------|----------|-----------------|----------------|---------------------|
| | | Branda metálica | KN | 1 | 1,05 | \$732.000,00 |
| | Total | | | | | \$768.600,00 |

| C | TRANSPORTE | UNIDA D | CANTIDAD | DESPERDICI O | VR UNITARIO | VR TOTAL |
|---|--------------|-------------------------------|----------|-----------------|----------------|-------------------|
| | | Transporte interno torre grua | KN | 1 | | \$4.560,00 |
| | Total | | | | | \$4.560,00 |

| D | MANO DE OBRA | UNIDA D | CANTIDAD | DESPERDICI O | VR UNITARIO | VR TOTAL |
|---|--------------|------------|------------------|-----------------|----------------|-------------|
| | TRABAJADOR | JORNA L | PRESTACIONE S | Valor unitario | rendimiento | valor total |

| | | | | | |
|-----------------------------------|----------|--------|-----------|--------|---------------------|
| Cuadrilla colocación de pasamanos | 335411,2 | 383461 | 192291,61 | \$4,05 | \$215.625,33 |
| Total | | | | | \$215.625,33 |

| | |
|--|----------------|
| TOTAL COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D) | \$1.004.948,51 |
|--|----------------|

| | | |
|-------------------|------------------|----------------------------|
| 9. Drenaje | UNIDAD m3 | total cascajo 14 m3 |
|-------------------|------------------|----------------------------|

| | EQUIPO | UNIDAD | CANTIDAD | DESPERDICIO | VR UNITARIO | VR TOTAL |
|----------|-----------------------------|---------------|-----------------|--------------------|--------------------|-----------------|
| A | Herramienta menor (5% M.O.) | GL | 0,05 | 1,05 | | \$781,27 |
| | Total | | | | | \$781,27 |

| | MATERIALES | UNIDAD | CANTIDAD | DESPERDICIO | VR UNITARIO | VR TOTAL |
|-----------|----------------------------------|---------------|-----------------|--------------------|--------------------|---------------------|
| B. | Filtros de cascajo procesado | m3 | 1 | 1,05 | \$57.000 | \$59.850 |
| | Tubería perforada PVC 4" | Ml | 3,86 | 1,05 | 21.000,00 | \$85.113 |
| | Geotextil no tejido NT 1600 | m2 | 7,36 | 1,05 | \$4.000 | \$30.912,00 |
| | Sellos de PVC de 0.15 m de ancho | M | 1,786 | 1,05 | 19.000 | 35630,7 |
| | Total | | | | | \$211.505,70 |

| | TRANSPORTE | UNIDAD | CANTIDAD | DESPERDICIO | VR UNITARIO | VR TOTAL |
|----------|--------------------|---------------|-----------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| C | Transporte interno | m3 | 1 | | \$8.000,00 | \$8.000,00 |
| | Total | | | | | \$8.000,00 |

| | MANO DE OBRA | UNIDAD | CANTIDAD | DESPERDICIO | VR UNITARIO | VR TOTAL |
|----------|---------------------|---------------|---------------------|-----------------------|--------------------|--------------------|
| D | TRABAJADOR | JORNAL | PRESTACIONES | Valor unitario | rendimiento | valor total |

| | | | | | | |
|--|---------------------------------|----------|--------|-----------|--------|--------------------|
| | Cuadrilla colocación de filtros | 335411,2 | 383461 | 192291,61 | \$4,05 | \$15.625,33 |
| | Total | | | | | \$15.625,33 |

| | | | | | | |
|--|--|--|--|--|--|---------------------|
| TOTAL COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D) | | | | | | \$235.912,30 |
|--|--|--|--|--|--|---------------------|

| 10. Neoprenos | | UNIDAD | N | Total neoprenos 7169N | | |
|---------------|-----------------------------|--------|----------|-----------------------|-------------|----------------|
| | EQUIPO | UNIDAD | CANTIDAD | DESPERDICIO | VR UNITARIO | VR TOTAL |
| A | Herramienta menor (5% M.O.) | GL | 0,05 | 1,05 | | \$31,27 |
| | Total | | | | | \$31,27 |

| | MATERIALES | UNIDAD | CANTIDAD | DESPERDICIO | VR UNITARIO | VR TOTAL |
|----|-----------------------------|--------|----------|-------------|-------------|-------------------|
| B. | Apoyos elastoméricos tipo 5 | N | 1 | 1,05 | \$3.000 | \$3.150 |
| | Almohadillas elastoméricas | N | 0,045 | 1,05 | 1.600 | 75,6 |
| | Total | | | | | \$3.225,60 |

| | MANO DE OBRA | UNIDAD | CANTIDAD | DESPERDICIO | VR UNITARIO | VR TOTAL |
|--|---------------------------------|----------|--------------|----------------|-------------|-------------------|
| | TRABAJADOR | JORNAL | PRESTACIONES | Valor unitario | rendimiento | valor total |
| C | Cuadrilla colocación de filtros | 335411,2 | 383461 | 192291,61 | \$4,05 | \$625,33 |
| | Total | | | | | \$625,33 |
| TOTAL COSTOS DIRECTOS (A+B+C+D) | | | | | | \$3.882,20 |

| | | | | | | |
|------------------------|--|--|--|---------------------------|--|--|
| COSTOS DIRECTOS | | | | \$1.008.142.521,00 | | |
|------------------------|--|--|--|---------------------------|--|--|

Fuente: elaboración propia

En la Figura 6.6 se presentan la ubicación de la propuesta de las obras.

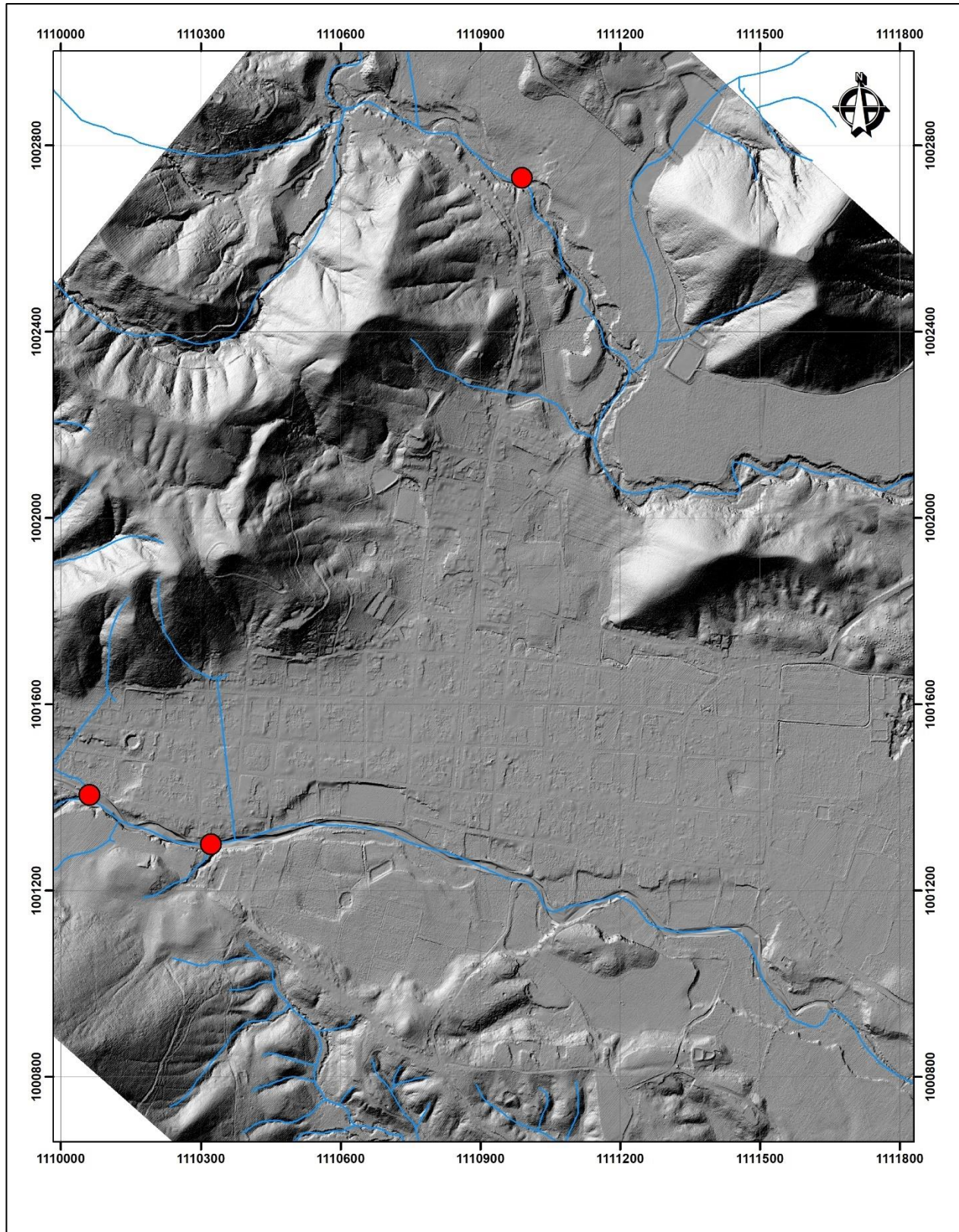


Figura 6.6. Ubicación recomendada de las obras de control.

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 al 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 Toro - 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” (ibíd.).

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

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.

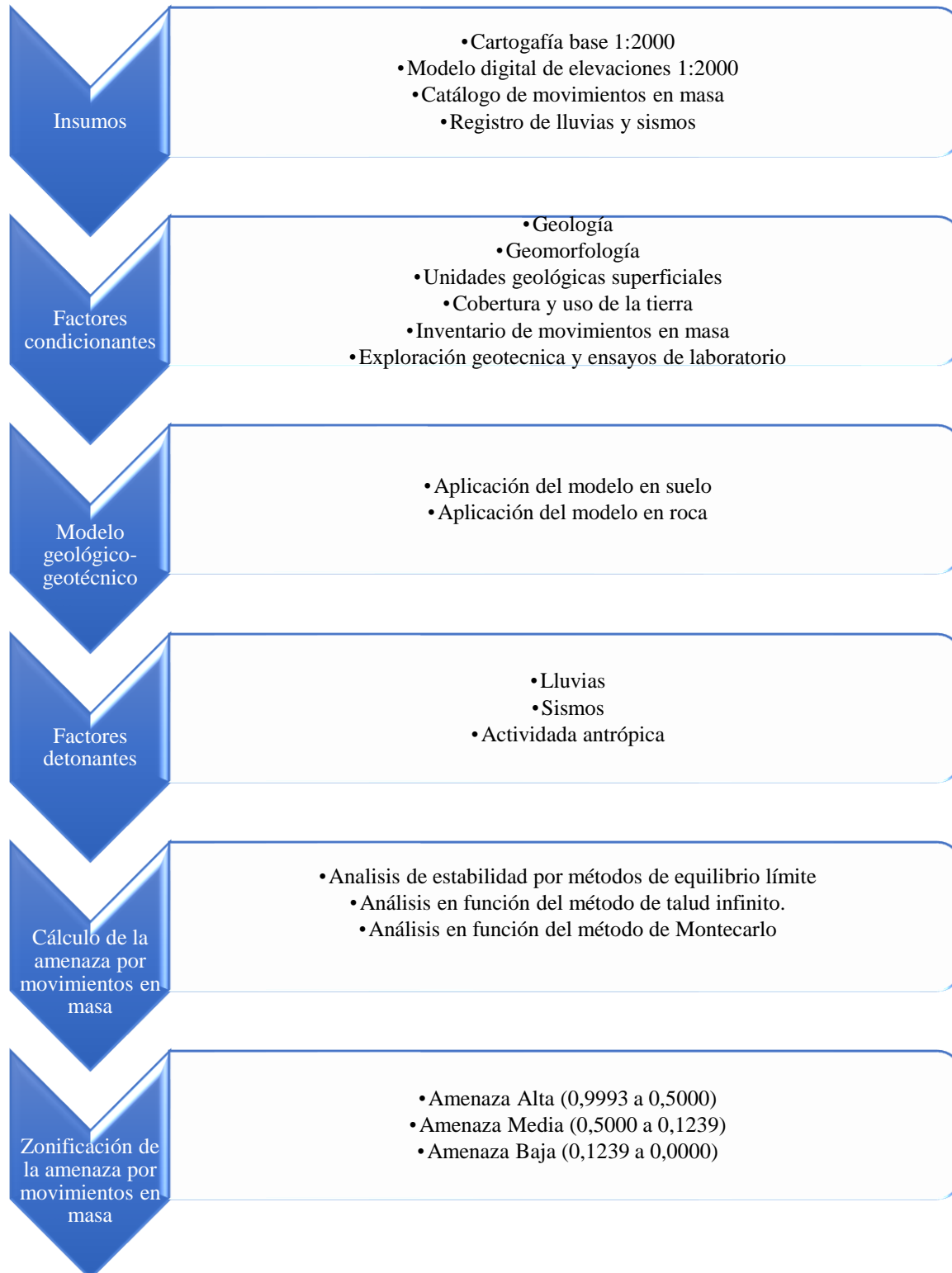


Figura 7.1. Diseño metodológico para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa- municipio de Toro

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, esta técnica de teledetección óptica utiliza la luz de láser para obtener una muestra densa de la superficie de la tierra produciendo mediciones exactas de X, 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: FAL407 F35 fotos 264, 265 y 266 del año 1998, FAL448 F23 fotos 005, 006 y 007 del año 2003, FAL448 F44 fotos 249, 250, 251 y 252 del año 2004 y vuelo IGAC, C1260 fotos 028 y 029 de 19XX, 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 Toro.

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, lomos mixtos, terrazas acumulativas, entre otros). En el subcapítulo 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 delimitan 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.

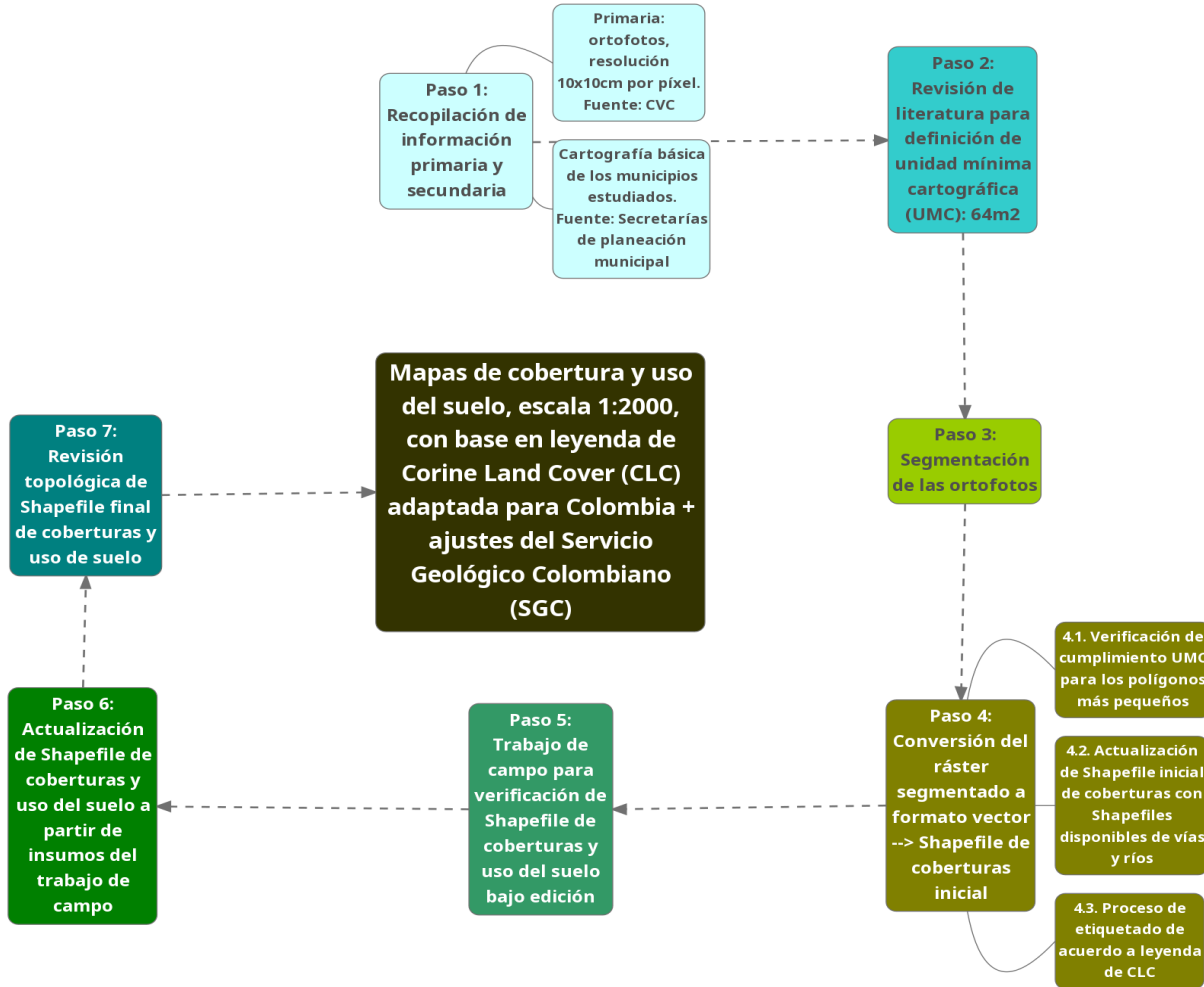


Figura 7.2. Procedimiento metodológico para la elaboración de mapas de cobertura de la tierra

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 partir 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 Toro. En ese mismo los polígonos de tejido urbano continuo y discontinuo se seleccionaron consultando los valores superiores a 100 para El municipio de Toro.

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:

$$EVT_{Cobertura} = \sum K_C \cdot EVT_{Potencial} / P_{Zona} \quad (24)$$

Donde,

$EVT_{Cobertura}$ corresponde a la evapotranspiración de la cobertura; $EVT_{potencial}$ corresponde a la evapotranspiración potencial media; P a la precipitación media y K_c 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 K_c 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 cabecera 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 K_c 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 hidrometeorológicas activas del IDEAM más cercanas a cada una de las cabeceras municipales.

Evapotranspiración Potencial (EVT_{zona}): 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).

Coefficiente del Cultivo (K_c): El valor aproximado de K_c 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 K_c 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 inconfínada, 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 inconfínada, 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 inconfínada” (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 arrojarán valores significativos de su resistencia a la compresión inconfínada. 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 atraviesan 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: μ_{FS} y σ_{FS} , es decir, la media y la desviación estándar. La solución a la relación predictiva entre estas dos variables (P_f 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:

$$p(D) = P(D/LS)p(LS) + P(D/L\bar{S})p(L\bar{S}) + P(D/\bar{L}S)p(\bar{L}S) + P\left(\frac{D}{\bar{L}\bar{S}}\right)p(\bar{L}\bar{S}) \quad (25)$$

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

$p(\bar{L}S)$: Es la probabilidad de que haya lluvia y no se produzca el sismo.

$p(D/\bar{L}\bar{S})$: Es la probabilidad condicional de que ocurra el deslizamiento dado que no haya lluvia ni sismo

$p(\bar{L}\bar{S})$: 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 utilizaron 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.

$$I = a * \frac{T^b}{t^c} * M^d * N^e * PT^f * ELEV^g \quad \text{Ecuación (26)}$$

Donde:

| | | |
|--|----------|---|
| <i>I</i> : Intensidad (mm/h) | <i>a</i> | Parámetros calculados por Vargas y Díaz- |
| <i>T</i> : Periodo de retorno (años) | <i>b</i> | |
| <i>t</i> : Duración de la lluvia (horas) | <i>c</i> | |

M : Promedio de la precipitación máxima anual (mm) d Granados en 1998 para
 N : Promedio del número de días con lluvia al año e la región,
 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 30

$$I = k * \frac{T^b}{t^c} \quad (27)$$

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 (28)

$$Pf_{25} = (Pf - 1,65 CV Pf) - (I_{25} * 24) \quad (28)$$

Donde:

Pf_{25} : 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).

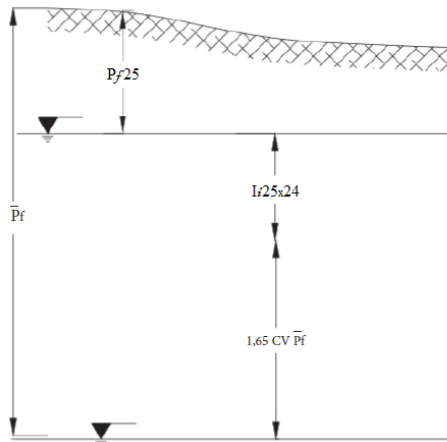


Figura 7.3. Representación gráfica de la ecuación para medir el nivel freático

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 Toro se localiza en zona de amenaza sísmica alta, con una aceleración pico efectiva de 0,30g

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 25 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

$$P^+ = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^\beta \quad (29)$$

$$P^- = 1 - P^+ \quad (30)$$

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 al 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:

$$FS = \frac{(c' b \sec \alpha + (\gamma b h \cos \alpha - k \gamma b h \sin \alpha - \gamma_w h_w \cos^2 \alpha) \tan \Phi')}{\gamma b h \sin \alpha + k \gamma b h \cos \alpha} \quad (31)$$

Donde:

C' = Cohesión efectiva

Φ' = Angulo efectivo de fricción

h_w = altura de la lámina de agua para el periodo de retorno dado

γ = Peso unitario del suelo

γ_w = Peso unitario del agua

k = Coeficiente de aceleración horizontal

b = Espesor de estrato deslizante

h = Proporción del estrato deslizante que se encuentra saturado

α = Angulo de inclinación de la superficie de falla

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 (35). generación de una matriz (m x n) con m x n valores a partir de una distribución normal:

$$r = (\text{randn}(m, n) * sd) + mu \quad (32)$$

Donde:

Sd = Desviación estándar del parámetro geotécnico (ϕ , c o γ).

Mu = Media del parámetro geotécnico (ϕ , c o γ).

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:

$$r = a + \text{randn}(m, n) * (b - a) \quad (33)$$

Donde:

a = valor mínimo del parámetro geotécnico (ϕ (Φ), c o γ (γ))

b = valor máximo del parámetro geotécnico (ϕ (Φ), c o γ (γ))

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).

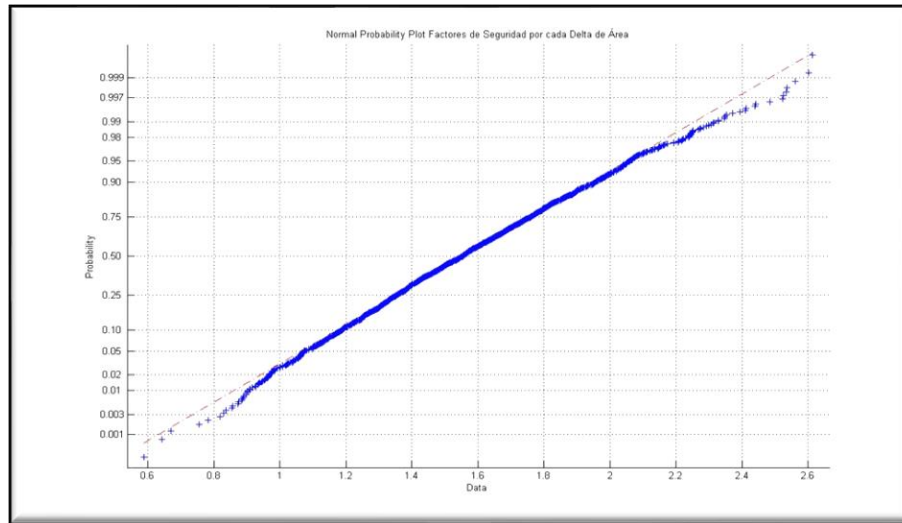


Figura 7.4. Gráfica de probabilidad normal
Fuente: elaboración propia

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 | | | | | | | |
| 50 | 0,1954 | 1,0000 | 4,2040 | 0,9993 | 0,5000 | ALTA | A |
| | 1,0000 | 1,3000 | | 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 la tierra 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 pasado geológico. El estudio de la Geología física precede lógicamente al estudio de la historia de la Tierra, porque, antes de intentar revelar su pasado, debemos comprender primero cómo funciona (Tarbuck, E. J., Lutgens, F. K. y Tasa, D, 2005).

Existen cuatro unidades geológicas presentes en el perímetro urbano del municipio de Toro y su área de influencia como se aprecia en la Figura 7.5. Las unidades Abanico Aluvial de Toro (Qaft) y Formación Zarzal (Tplz) correspondiente a planicie y zona de piedemonte respectivamente, abarcan en su mayoría el área urbana; una porción menor del área urbana en el costado norte, está asentada sobre la Formación Volcánica (Ksb) en zona de lomeríos y la última unidad corresponde a la formación Lázaro (Kcaa).

Se evidenciaron diversos fallamientos (inferidos), en algunos tramos cubiertos, que atraviesan el perímetro urbano, estos en su mayoría siguen una trayectoria en sentido Suroccidente–Nororiental y hacia la zona norte se ubica una falla (inferida) con trayectoria Noroccidente-Suroccidente

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 Toro y su área de influencia, existen once unidades geomorfológicas presentes, como se evidencia en la Figura 7.6. En las zonas montañosas y de lomeríos se presentan unidades de ambientes geomorfológicos Denudacionales (D) y Volcánicos (V) como lo son: Dlo, Dls, Dmm, Dco y Vls. En la zona perteneciente al piedemonte y los valles fluviales de la Quebrada Toro y la Quebrada Lázaro, se encuentran cuatro unidades geomorfológicas: Fa, Faa, Ffl y Ftm; también existen dos unidades antropogénicas como lo son: Alt y All.

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 nueve UGS presentes en el área de estudio. Las unidades Roca dura de basaltos (Rdb), Suelo transportado coluvial (Stco), Roca intermedia de pizarras (Rip) y Roca blanda volcánico sedimentaria (Rbvs), abarcan las zonas altas o montañosas. Las unidades Suelo antrópico mixto (Sa) y Suelo antrópico relleno de escombros se presentan en menor proporción con respecto a las demás, ubicadas principalmente al sur de la cabecera municipal; sobre los valles fluviales de la Quebrada Toro y la Quebrada Lázaro se presentan las unidades: Suelo transportado flujo de lodo (Stfl), Suelo transportado aluvial de terrazas (Stat) y Suelo transportado aluvial (Sta), siendo este último el que contiene la mayor parte del área urbana.

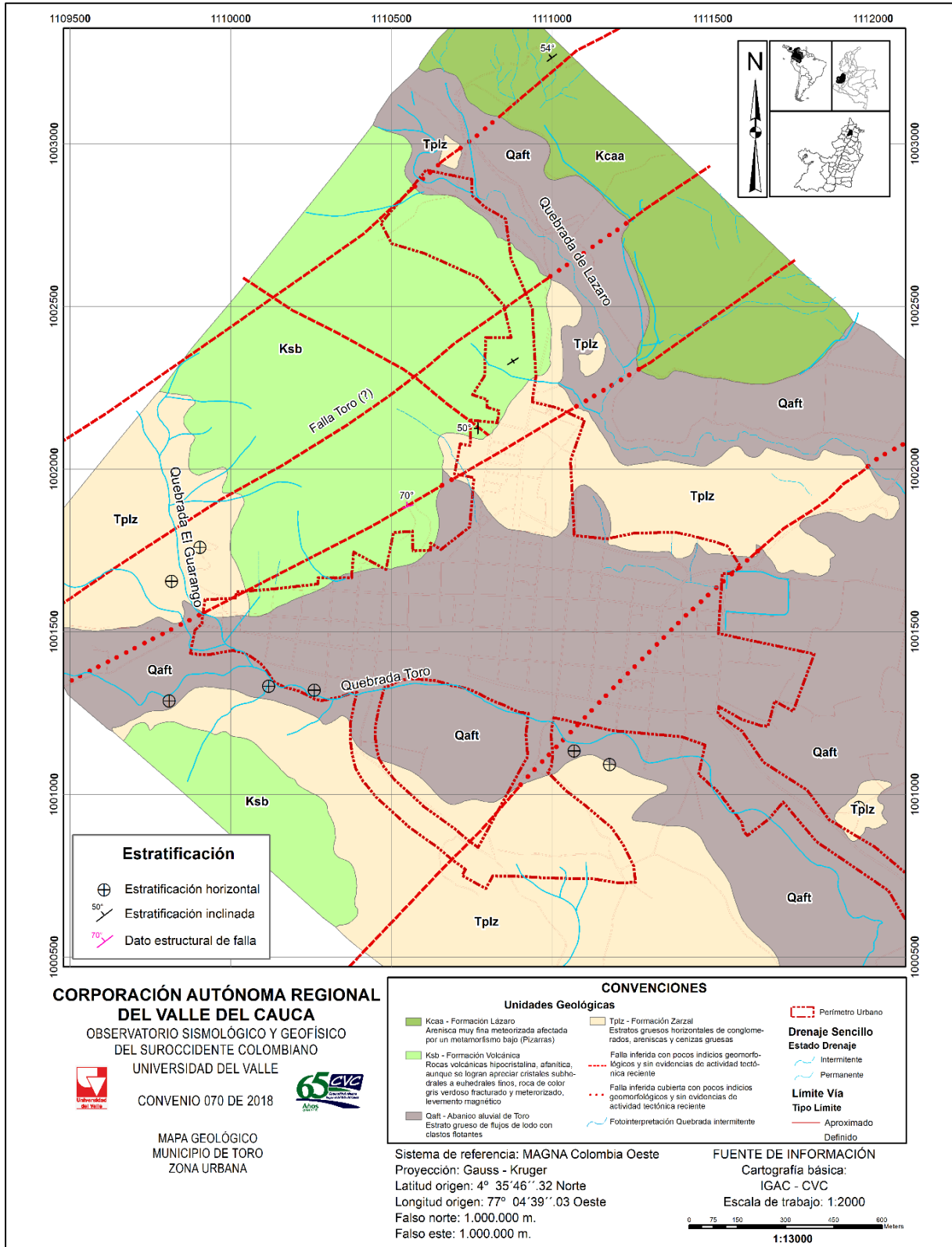


Figura 7.5. Mapa geológico municipio de Toro
Fuente: elaboración propia

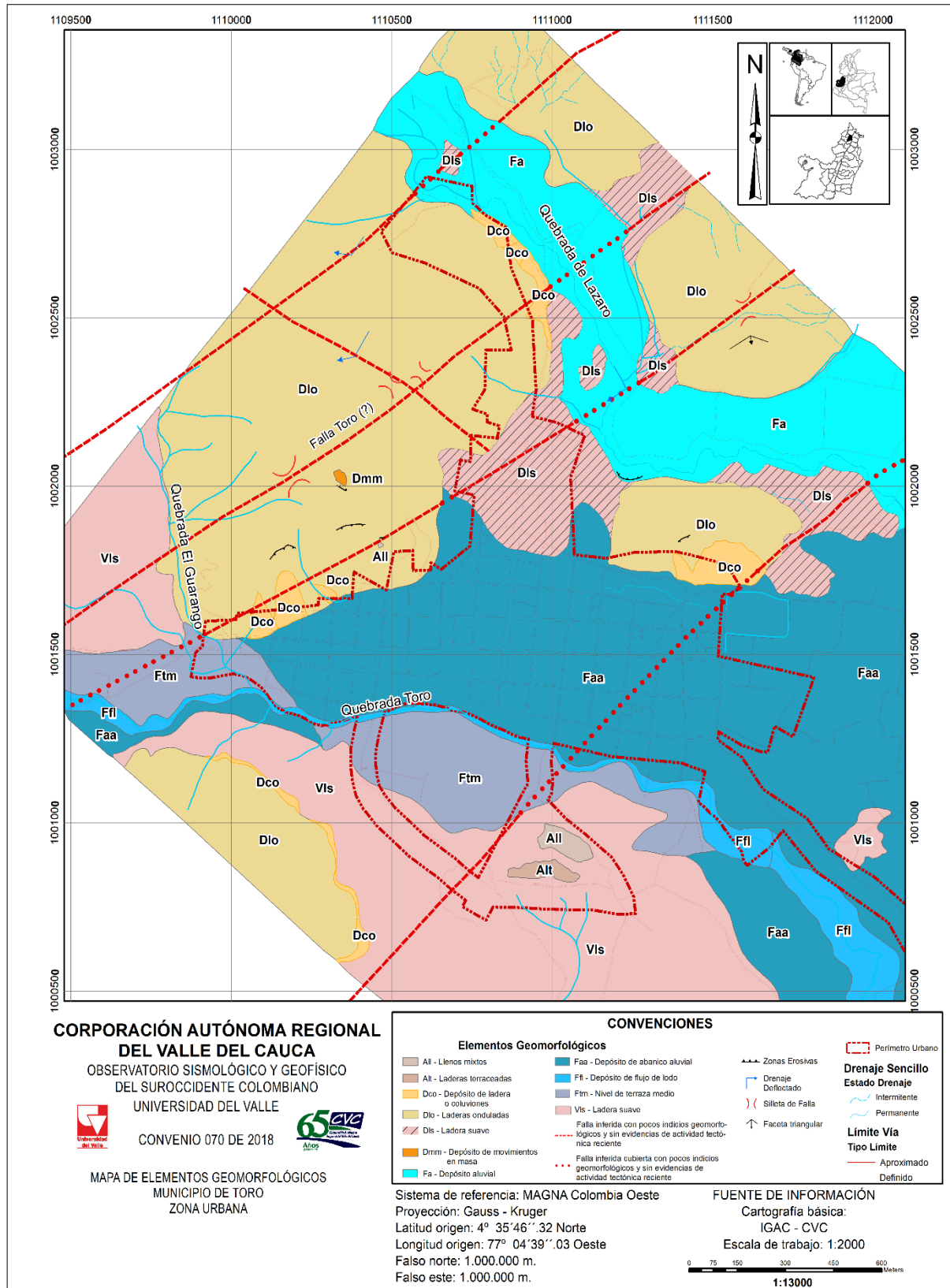


Figura 7.6. Mapa geomorfológico del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia

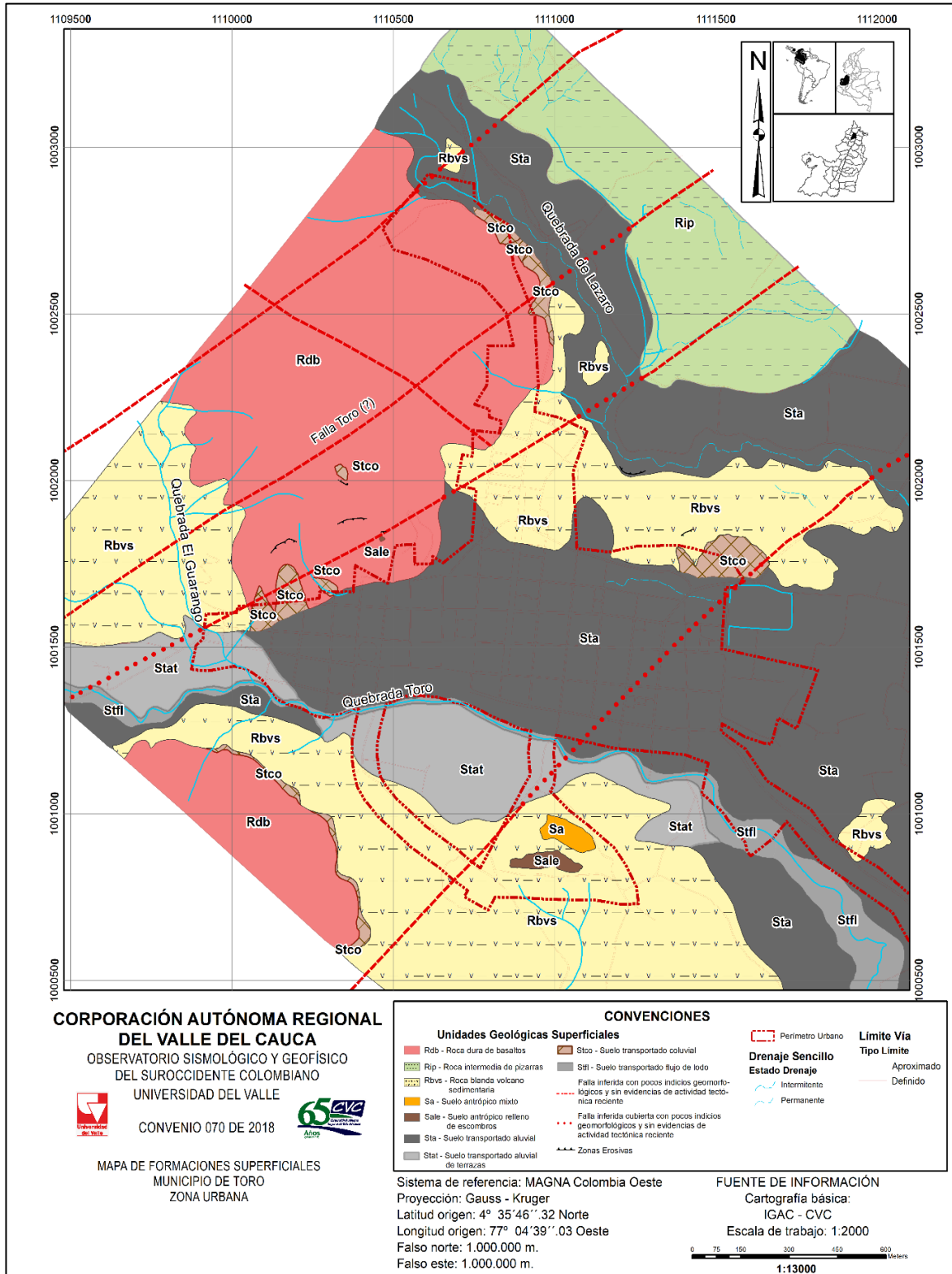


Figura 7.7. Mapa Unidades Geológicas Superficiales del municipio de Toro
Fuente: elaboración propia

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.

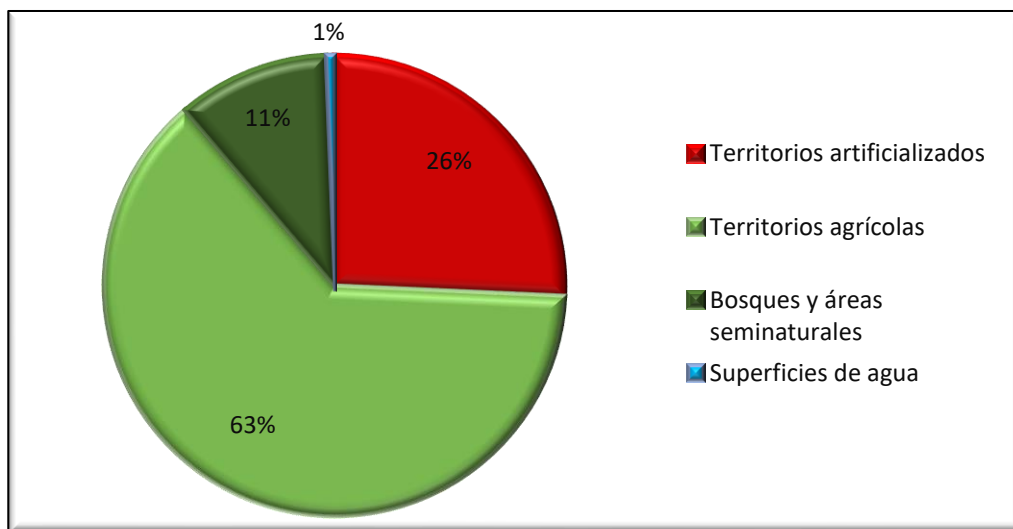


Figura 7.8. Porcentajes de áreas ocupados por grandes tipos de cobertura de la tierra en Toro (nivel 1 de CLC)

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 Toro, 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).

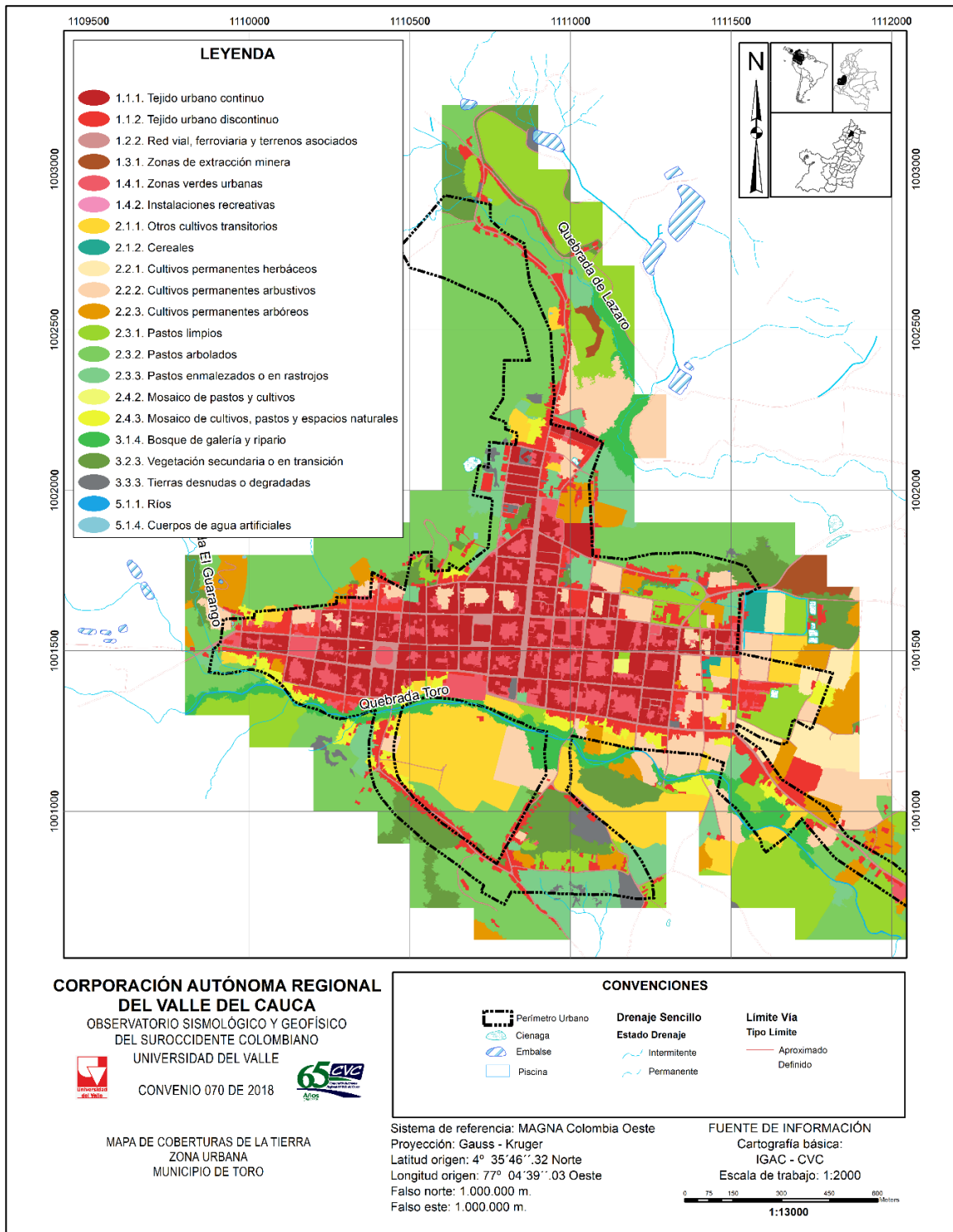


Figura 7.9. Mapa de cobertura de la tierra municipio Toro

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 DE CLC (CORINE LAND COVER) | ÁREA (HA) | % DE ÁREA |
|---|------------|------------|
| 2.3.2. Pastos arbolados | 73.7 | 24.7 |
| 2.3.1. Pastos limpios | 33.2 | 11.1 |
| 1.1.1. Tejido urbano continuo | 27.6 | 9.2 |
| 2.2.2. Cultivos permanentes arbustivos | 23.5 | 7.9 |
| 1.1.2. Tejido urbano discontinuo | 20.2 | 6.8 |
| 1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados | 14.6 | 4.9 |
| 2.3.3. Pastos enmalezados o en rastrojos | 14.5 | 4.8 |
| 3.2.3. Vegetación secundaria o en transición | 13.0 | 4.3 |
| 1.4.1. Zonas verdes urbanas | 11.5 | 3.8 |
| 3.1.4. Bosque de galería y ripario | 11.1 | 3.7 |
| 2.1.1. Otros cultivos transitorios | 10.8 | 3.6 |
| 2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos | 9.1 | 3.0 |
| 2.4.3. Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales | 5.2 | 1.7 |
| 2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos | 4.8 | 1.6 |
| 3.2.3. Vegetación secundaria o en transición | 4.4 | 1.5 |
| 2.1.1. Otros cultivos transitorios | 3.7 | 1.2 |
| 3.3.3. Tierras desnudas o degradadas | 3.3 | 1.1 |
| 2.1.1. Otros cultivos transitorios | 2.7 | 0.9 |
| 1.3.1. Zonas de extracción minera | 2.2 | 0.7 |
| 2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos | 1.6 | 0.5 |
| 2.1.1. Otros cultivos transitorios | 1.4 | 0.5 |
| 5.1.1. Ríos | 1.1 | 0.4 |
| 2.1.2. Cereales | 1.1 | 0.4 |
| 1.4.1. Zonas verdes urbanas | 0.8 | 0.3 |
| 2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos | 0.8 | 0.3 |
| 2.1.1. Otros cultivos transitorios | 0.7 | 0.2 |
| 2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos | 0.7 | 0.2 |
| 5.1.4. Cuerpos de agua artificiales | 0.7 | 0.2 |
| 2.2.3. Cultivos permanentes arbóreos | 0.7 | 0.2 |
| 2.1.1. Otros cultivos transitorios | 0.3 | 0.1 |
| 2.4.2. Mosaico de pastos y cultivos | 0.2 | 0.1 |
| 2.1.1. Otros cultivos transitorios | 0.1 | 0.0 |
| TOTAL | 299 | 100 |

Fuente: elaboración propia

Una particularidad del municipio del Toro es la gran cantidad de lotes sembrados en cultivo de uva en los patios de las casas. Esto se observa principalmente al oriente del casco urbano del municipio.

En cuanto a la actividad agrícola observada en la periferia, es común la actividad de rotación de cultivos como melón, sandía, maíz, tomate, plátano y fríjol. Por otra parte, los árboles predominantes en la periferia de casco urbano y los parques son acacia amarilla y roja, almendro, ébano, matarratón y samán.

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 K_c 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 Toro, 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 menos valor en cuanto a la evapotranspiración seguido de cultivos transitorios, esto aunado a la poca profundidad efectiva (ver **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 (CORINE LAND COVER) | EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIAL COBERTURA |
|---|--|
| 1,1,1, Tejido urbano continuo | 0,20 |
| 1,1,2, Tejido urbano discontinuo | 0,20 |
| 1,2,2, Red vial, ferroviaria y terrenos asociados | 0,20 |
| 1,3,1, Zonas de extracción minera | 0,20 |
| 1,4,1, Zonas verdes urbanas | 1,20 |
| 2,1,1, Otros cultivos transitorios | 1,20 |
| 2,1,2, Cereales | 1,59 |
| 2,2,1, Cultivos permanentes herbáceos | 1,99 |
| 2,2,2, Cultivos permanentes arbustivos | 1,99 |
| 2,2,3, Cultivos permanentes arbóreos | 1,99 |
| 2,3,1, Pastos limpios | 0,80 |
| 2,3,2, Pastos arbolados | 1,20 |
| 2,3,3, Pastos enmalezados o en rastrojos | 1,00 |
| 2,4,2, Mosaico de pastos y cultivos | 1,39 |
| 2,4,3, Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales | 1,59 |
| 3,1,4, Bosque de galería y ripario | 2,79 |
| 3,2,3, Vegetación secundaria o en transición | 1,99 |
| 3,3,3, Tierras desnudas o degradadas | 0,20 |

Fuente: elaboración propia

La profundidad efectiva de las coberturas de la tierra en el municipio de Toro 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 (CORINE LAND COVER) | 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 |
| 2,1,1, Otros cultivos transitorios | 0,8 |
| 2,1,2, Cereales | 0,8 |
| 2,2,1, Cultivos permanentes herbáceos | 1,0 |
| 2,2,2, Cultivos permanentes arbustivos | 1,0 |
| 2,2,3, Cultivos permanentes arbóreos | 2,0 |
| 2,3,1, Pastos limpios | 0,5 |
| 2,3,2, Pastos arbolados | 1,0 |
| 2,3,3, Pastos enmalezados o en rastrojos | 0,8 |
| 2,4,2, Mosaico de pastos y cultivos | 0,8 |
| 2,4,3, Mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales | 0,9 |
| 3,1,4, Bosque de galería y ripario | 2,0 |
| 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 Toro. En el área de estudio se localizó un (1) evento de movimiento en masa identificado por medio de rasgos geomorfológicos, mediante registros de historicidad (comprendido entre 1980 y febrero de 2019), se mencionan tres (3) barrios que han sufrido por este fenómeno natural, dos de ellos ubicados al sur (La Troncada y El Charco) en áreas con pendientes que pueden alcanzar hasta los treinta y cinco grados (35°) y uno al norte de la cabecera urbana (El Lazaro), sobre un conjunto de lomeríos que presentan pendientes mayores a dieciséis grados (16°) que 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).

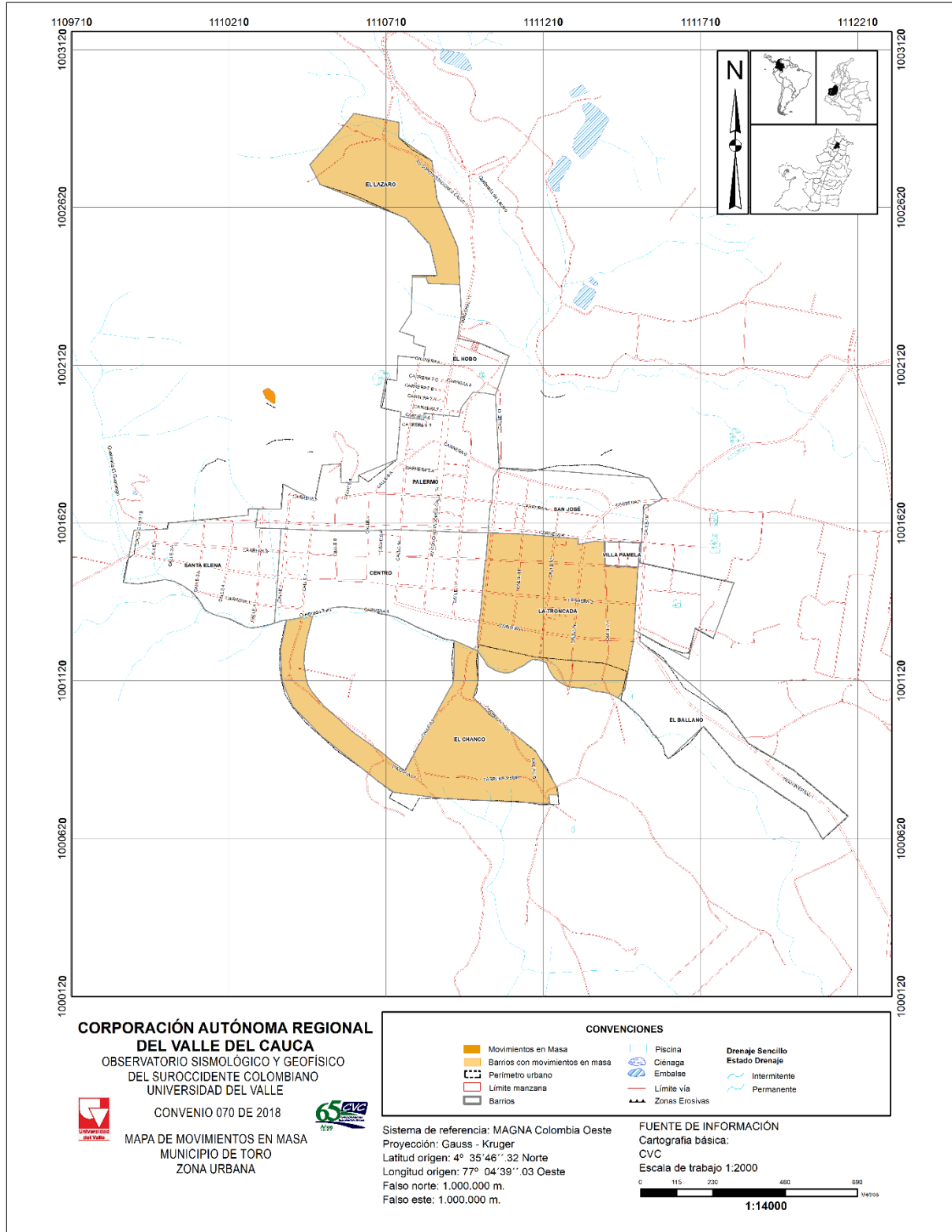


Figura 7.10. Mapa de eventos históricos de movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro
Fuente: elaboración propia

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 (10) 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.

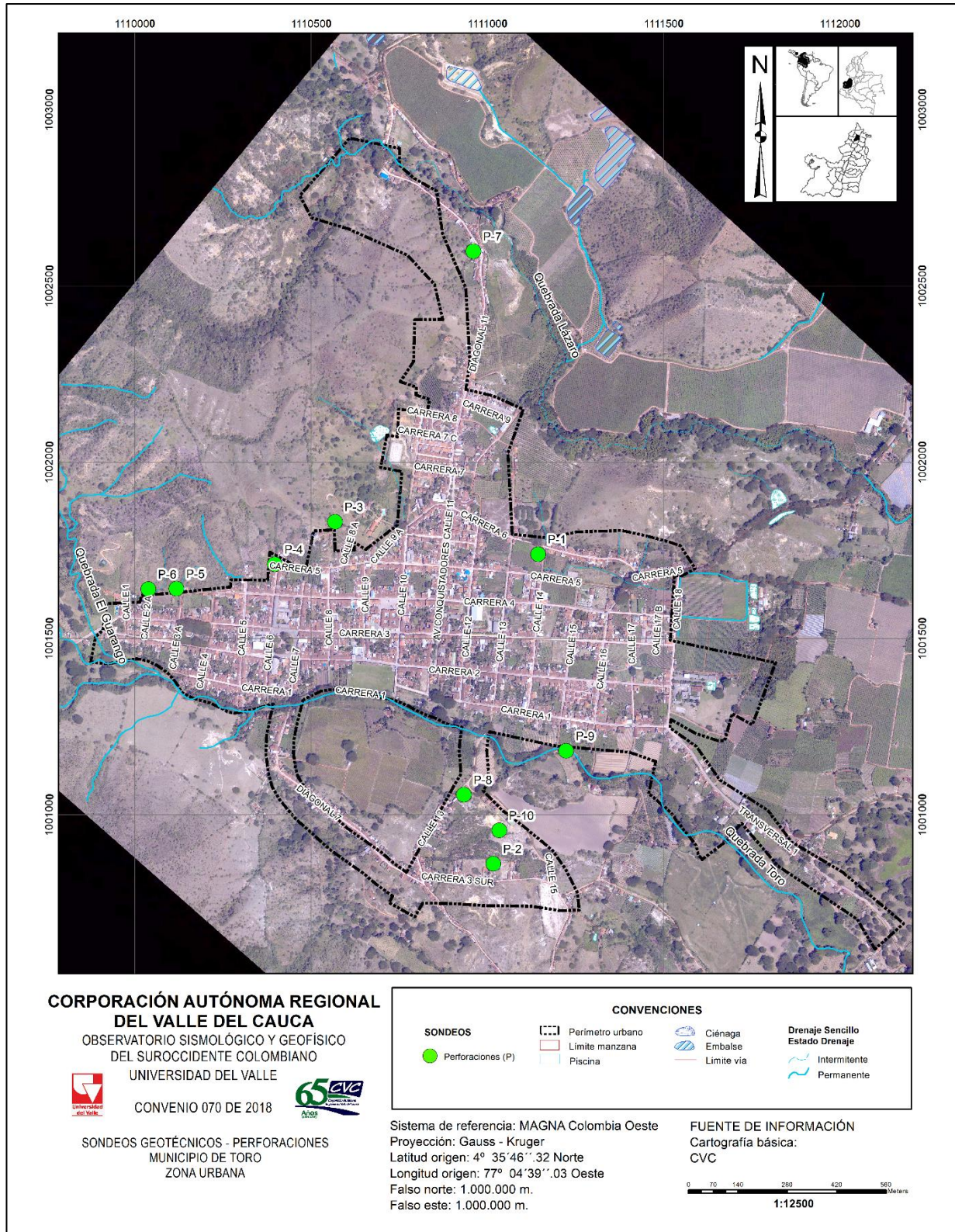


Figura 7.11. Ubicación de las perforaciones mecánicas hechas para el presente estudio en el municipio de Toro
Fuente: elaboración propia

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 Toro

| PERFORACIÓN CODIGO | LONGITUD | LATITUD | PROFUNDIDAD ALCANZADA (m) | NIVEL FREÁTICO (m) | UGS | |
|-----------------------|--------------|--------------|---------------------------------|-----------------------|------|--|
| P1 | 1111142.9476 | 1001739.6136 | 5 | No se encontró | Sta | Suelo transportado aluvial |
| P2 | 1111016.2285 | 1000861.4509 | 5 | No se encontró | Sale | Suelo antrópico relleno de escombros |
| P3 | 1110567.1056 | 1001831.8678 | 5 | No se encontró | Rdb | Roca dura de basaltos |
| P4 | 1110396.4966 | 1001710.9336 | 5 | No se encontró | Rdb | Roca dura de basaltos |
| P5 | 1110117.3716 | 1001641.7925 | 5 | No se encontró | Rdb | Roca dura de basaltos |
| P6 | 1110037.8598 | 1001640.9511 | 5 | No se encontró | Rbvs | Roca blanda volcano sedimentaria |
| P7 | 1110959.6699 | 1002599.3951 | 5 | No se encontró | Stco | Suelo transportado coluvial |
| P8 | 1110932.6536 | 1001057.7339 | 5 | No se encontró | Stat | Suelo transportado aluvial de terrazas |
| P9 | 1111222.6604 | 1001182.1080 | 5 | No se encontró | Stfl | Suelo transportado flujo de lodo |
| P10 | 1111032.9376 | 1000956.2125 | 5 | No se encontró | Sa | Suelo antrópico |

Fuente: elaboración propia

7.3.6.2. Apiques

Además de las perforaciones realizadas, se llevó a cabo la apertura de diecinueve (19) apiques exploratorios en diferentes zonas del área de estudio (ver **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.

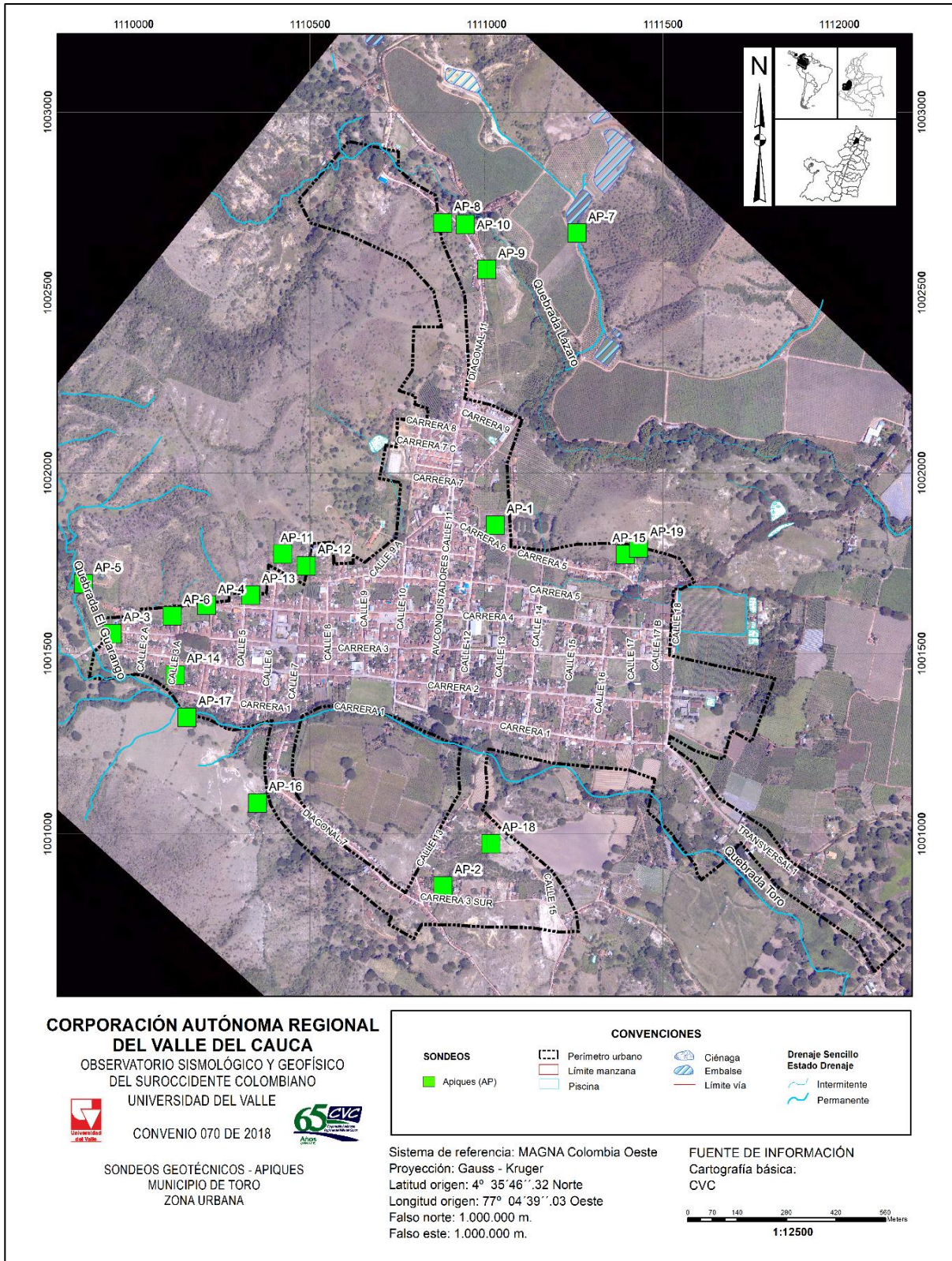


Figura 7.12. Ubicación en planta de los apiques para el presente estudio en el municipio de Toro.

Fuente: elaboración propia.

Tabla 7.6. Relación de los apiques realizados, coordenadas (planas Magna Sirgas), alcance en profundidad en el municipio de Toro

| APIQUE CÓDIGO | LONGITUD | LATITUD | PROFUNDIDAD |
|---------------|--------------|--------------|-------------|
| AP1 | 1111024.4141 | 1001853.1200 | 2 |
| AP2 | 1110876.8618 | 1000855.7712 | 2 |
| AP3 | 1109939.6357 | 1001555.5688 | 2 |
| AP4 | 1110207.1934 | 1001633.1459 | 2 |
| AP5 | 1109857.4136 | 1001692.9418 | 2 |
| AP6 | 1110109.0328 | 1001604.0306 | 2 |
| AP7 | 1111256.0059 | 1002665.4391 | 2 |
| AP8 | 1110875.1354 | 1002693.4547 | 2 |
| AP9 | 1111000.7466 | 1002564.2606 | 2 |
| AP10 | 1110939.8923 | 1002688.6150 | 2 |
| AP11 | 1110421.6004 | 1001775.5324 | 2 |
| AP12 | 1110488.9885 | 1001742.8159 | 2 |
| AP13 | 1110331.4578 | 1001662.6399 | 2 |
| AP14 | 1110118.5799 | 1001440.7052 | 2 |
| AP15 | 1111393.6412 | 1001775.0678 | 2 |
| AP16 | 1110351.0697 | 1001086.1695 | 2 |
| AP17 | 1110151.3412 | 1001323.0185 | 2 |
| AP18 | 1111011.8767 | 1000973.5361 | 2 |
| AP19 | 1111430.9114 | 1001791.8609 | 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.


| Metros Prof. | | Metros-N° Tipo-Tubo | Limite de Consistenc | Hume. Equil | USC AASHO | Capa | Descripción | Golpes/pie SPT (N) | ϕ' | Observac |
|--|--------------------------|-----------------------------------|----------------------|-------------|------------------------|------|--|---|--------------|----------|
|  <p style="text-align: center;">LABORATORIO DE SUELOS A & B CARRERA 57 No 3-117 TEL No 513-4391 CALI</p> <p style="text-align: center;">Registro De Exploración de Sub-Suelo - Regimen NSR - 10</p> | | | | | | | | | | |
| Proyecto: EVALUACIÓN DE AMENAZA DE DESLIZAMIENTO | | | | | | | | | | UGS |
| Localización: TORO - VALLE | | | | | | | | | | Stco |
| Perforación N° - 7 | | Ubicación-perf: Salida Garrapatas | | | Cliente: OSSO UNIVALLE | | | Agua: NO REGISTRA | | |
| Fecha | | AGOSTO 9 DEL 2019 | | | Peso Martillo. 140 Lbs | | ST = SHELBY | | Estable: — | |
| | | | | | | | | | SS = CUCHARA | |
| 0.2 | 1 | | | | | | Descapote - Capa vegetal | | | |
| 0.5 | 2 | APIQUE | | | | | <u>Arcilla Limosa</u> De textura arenosa, Arena fina, plasticidad media, color café vetas grises, consistencia dura, % de arena media y fina HN = LP | c' = 21.60 Kpa ϕ' = 25° γ = 16.8 (kN/m ³) | | |
| 1.00 | 3 - ST 3" | | | | | | | | | |
| 1.5 | PUNZON 2 1/2" Diam | | | | | | | | | |
| 2.00 | | | | | | | <u>Arcilla Limosa</u> De textura arenosa, Arena fina, plasticidad media, color café grisáceo claro, consistencia dura, % de arena HN < LP | 12 14 18 | 32 | |
| 2.5 | 4 - SS | | | | | | | | | |
| 3.00 | PUNZON 2 1/2" Diam | | | | | | <u>Arcilla Limosa</u> De textura arenosa, Arena fina, plasticidad media, color habano grisáceo claro, consistencia dura, % de arena HN = LP | 26 28 30 | 58 | |
| 3.5 | 5 - SS | | | | | | | | | |
| 4.00 | PUNZON 2 1/2" Diam | | | | | | | | | |
| 4.5 | | | | | | | <u>Arcilla Limosa</u> De textura arenosa, Arena fina, plasticidad media, color habano grisáceo claro, consistencia muy dura HN < LP | 34 34 36 | 70 | |
| 5.00 | 6 - SS | | | | | | | | | |

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 Toro

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

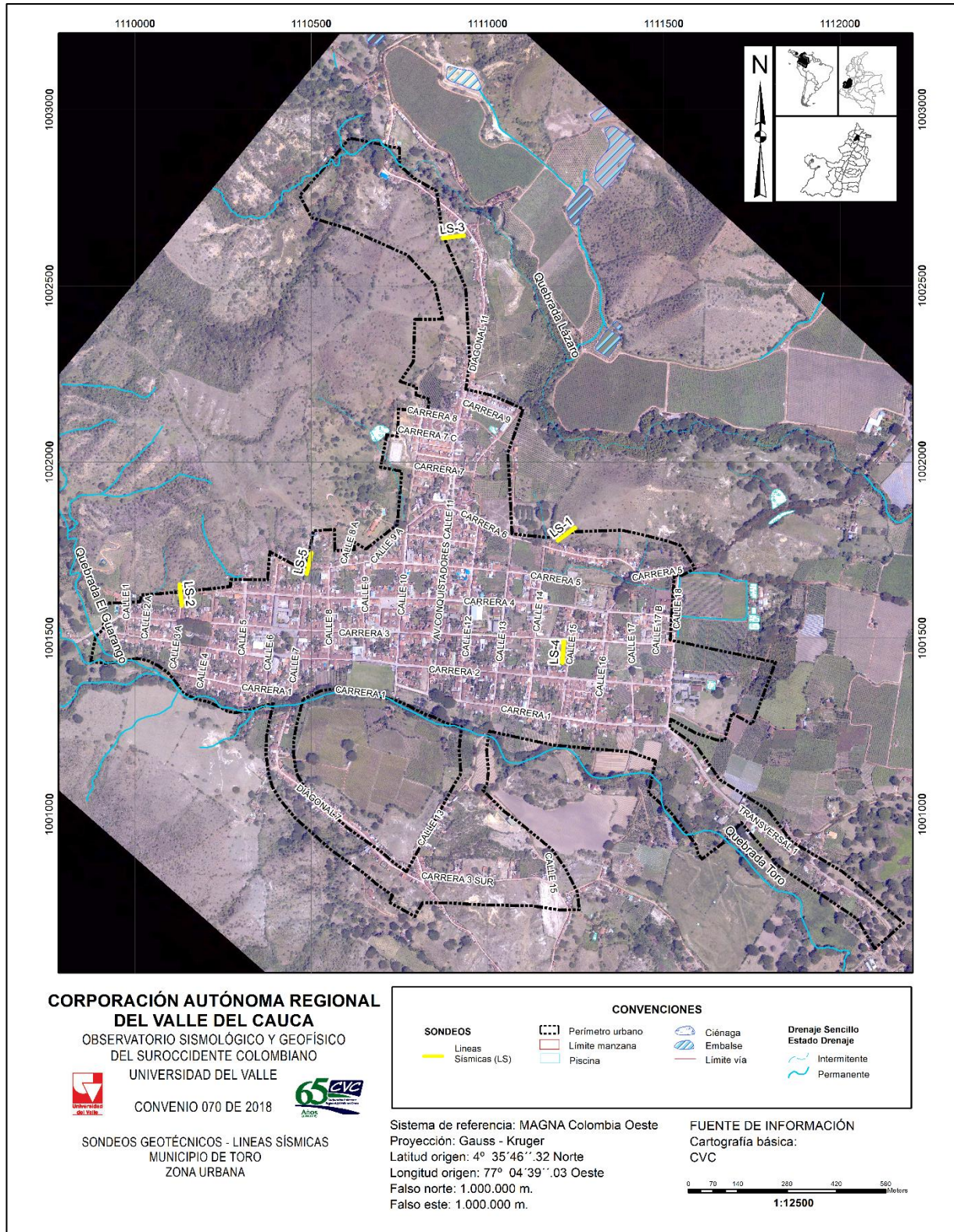


Figura 7.15. Localización de las líneas de refracción sísmica en el municipio de Toro se presenta la ubicación de las líneas realizadas dentro del área de estudio.

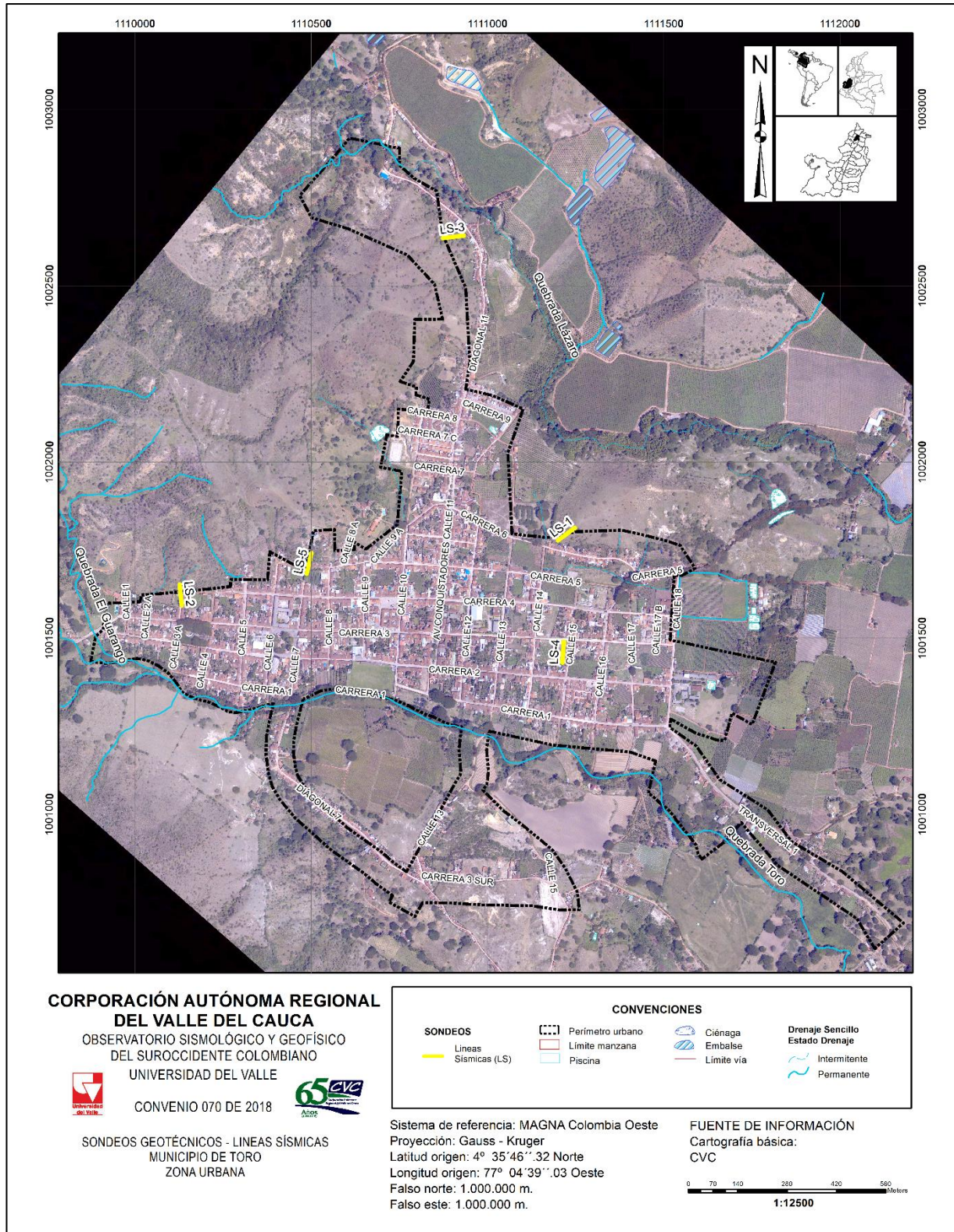


Figura 7.15. Localización de las líneas de refracción sísmica en el municipio de Toro

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 alcanzo mayor profundidad, asociado a tres secciones en relación con las velocidades de la onda, en la primera de baja velocidad a efectos de meteorización y materiales recientes, una segunda sección 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 presenta velocidades lo suficientemente alta para considerar el material como roca.

Tabla 7.7. Ubicación de las líneas de refracción sísmica realizadas para el presente estudio en el municipio de Toro

| COORDENADAS LÍNEAS SÍSMICAS MUNICIPIO DE ULLOA | | | | | |
|--|-------------|--------------|--------------|--------------|-----------------|
| CÓDIGO | VÉRTICE | LONGITUD | LATITUD | LONGITUD (m) | PROFUNDIDAD (m) |
| LS1 | LS1_Inicial | 1110487.5377 | 1001683.0839 | | |
| LS1 | LS1_Final | 1110500.7144 | 1001741.6191 | 60 | >(0,50) (20,00) |
| LS2 | LS2_Inicial | 1110132.8451 | 1001593.3892 | | |
| LS2 | LS2_Final | 1110127.1097 | 1001653.1144 | 60 | >(4,70) (5,60) |
| LS3 | LS3_Inicial | 1111216.9590 | 1001490.3279 | | |
| LS3 | LS3_Final | 1111212.5528 | 1001430.4899 | 60 | >(0,50) (8,00) |
| LS4 | LS4_Inicial | 1111199.9137 | 1001777.8148 | | |
| LS4 | LS4_Final | 1111248.1779 | 1001813.4599 | 60 | >(0,50) (23,50) |
| LS5 | LS5_Inicial | 1110933.2116 | 1002643.0515 | | |
| LS5 | LS35_Final | 1110873.6587 | 1002635.7404 | 60 | >(0,00) (17,00) |

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 travelttime (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.

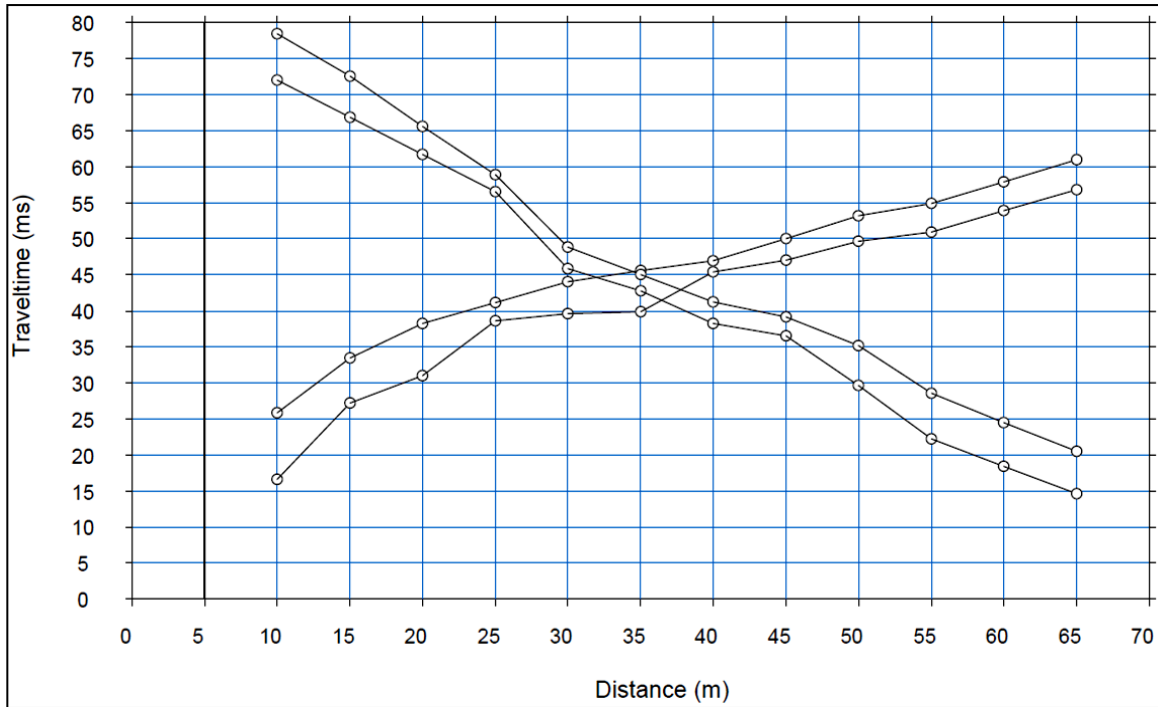


Figura 7.16. Ilustración típica de la captura de datos en campo mediante el software SeisImager correspondiente a la ejecución de la línea de refracción para ondas P

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 V_p 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.

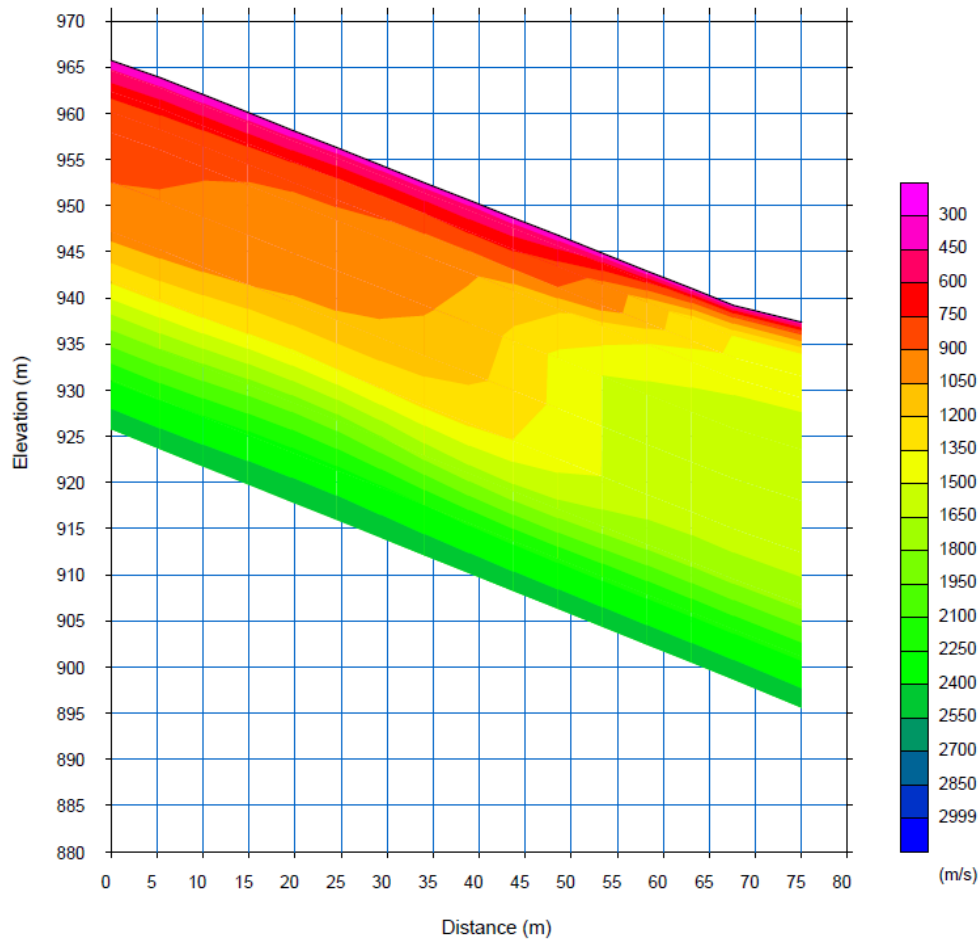


Figura 7.17. Ilustración típica del procesamiento de datos mediante el software SeisImager correspondiente a la línea de refracción para ondas P.

Fuente: elaboración propia

Una vez obtenidas las domocrónicas y el perfil de velocidad V_p / profundidad para cada una de las líneas, se calculará V_s la cual será calculada como el 50% de V_p , con los valores de obtenidos V_s 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 V_s (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] | PROFUNDIDAD [m] |
|--------|----------|-------------------|-----------------|
| | | Vs | |
| LS1 | 1 | 100 - 150 | 0,50 – 5,00 |
| | 2 | 150 - 375 | 5,00 – 15,00 |
| | 3 | 375 - 750 | 15,00 – 20,00 |
| | 4 | - | >6,50 - >20,00 |
| LS2 | 1 | 150 | 0,00 - 1,00 |
| | 2 | 150 - 375 | 1,00 - 6,00 |
| | 3 | 375 - 750 | 6,00 - 27,5 |
| | 4 | - | >27,5 |
| LS3 | 1 | 150 | 0,5 - 1,00 |
| | 2 | 150 - 375 | 1,00 - 3,00 |
| | 3 | 375 - 750 | 3,00 - 8,00 |
| | 4 | - | > 8,00 |
| LS4 | 1 | 150 | 0,50 - 1,50 |
| | 2 | 150 - 375 | 1,50 - 6,50 |
| | 3 | 375 - 750 | 6,50 - 23,5 |
| | 4 | - | >23,5, |
| LS5 | 1 | 150 | 0,00 - 1,00 |
| | 2 | 150 - 375 | 1,00 - 4,00 |
| | 3 | 375 - 750 | 4,00 - 17,00 |
| | 4 | - | > 17,00 |

Fuente: elaboración propia

En la Figura 7.18, se presenta la tomografía del terreno, de la línea sísmica LS-2 (ubicada en Occidente del área de estudio), donde se observan 3 horizontes de velocidad, Presenta un primer estrato con $V_p = 400$ m/s, lo cual correspondería a un suelo suave o blando con un $N < 15$. El espesor de esta capa es de 1,0 m en la parte central del tendido para luego desaparecer hacia el tercio final de la línea (en la parte baja) y acuñarse a menos de un metro hacia la parte alta. Al tomar para esta capa un espesor promedio de m y un $N = 7$, su consistencia – densidad relativa es media.

La segunda capa presenta una $V_p = 300 - 750$ m/s, lo cual correspondería a un suelo medio o rígido con N entre 15 – 50. El espesor de esta capa es muy variable y va desde 2 m aproximadamente al inicio de la línea (profundidad acumulada 3 m) a casi 4 m de espesor en el tercio inicial para después adelgazarse a 1,0 m en el tercio final de la línea sísmica. La consistencia densidad relativa es de media a densa.

La tercera capa tiene una $V_p = 750$ m/s a 1500 m/s correspondiendo a un perfil de suelo firme – muy denso o roca blanda con $N > 50$. El espesor de esta capa es muy variable y va desde 14 m aproximadamente en la primera mitad de la línea (profundidad acumulada 17 m) a adelgazarse a 3 m de espesor en el tercio final de la línea sísmica. Aquí esta capa parece tener un salto de casi 10

m y su geometría semeja la de una falla normal. La consistencia – densidad relativa es densa a muy densa. Por debajo de este estrato se encuentra la roca de rigidez media a competente.

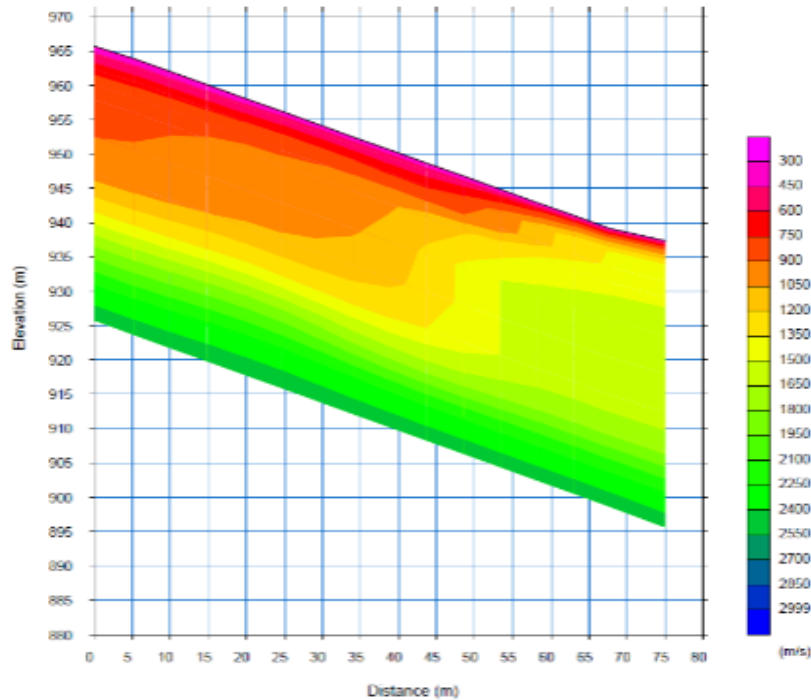


Figura 7.18. Tomografía del terreno, velocidades de onda plana (V_p), LS-2.

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 inconfiada, 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 Toro

Tabla 7.10. Ensayos de laboratorio realizados para el presente estudio

| ENSAYO DE LABORATORIO | CANTIDAD |
|--|----------|
| Granulometría por tamizado | 26 |
| Gravedad específica empleando el picnómetro | 07 |
| Determinación de los límites de consistencia | 35 |
| Contenido de humedad | 47 |
| Compresión inconfiada | 08 |
| Corte directo 3 puntos (consolidado drenado) | 07 |
| Peso unitario | 34 |

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.

7.3.6.6. Ensayos de compresión inconfiada

consiste en someter a un esfuerzo de compresión 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 inconfiada, de un cilindro de suelo cohesivo o semi-cohesivo, por medio de la expresión

$$q_c = \frac{q_u}{2}(\text{kg/ccm}^2) \quad (34)$$

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.

7.4. 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 7.19). 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.

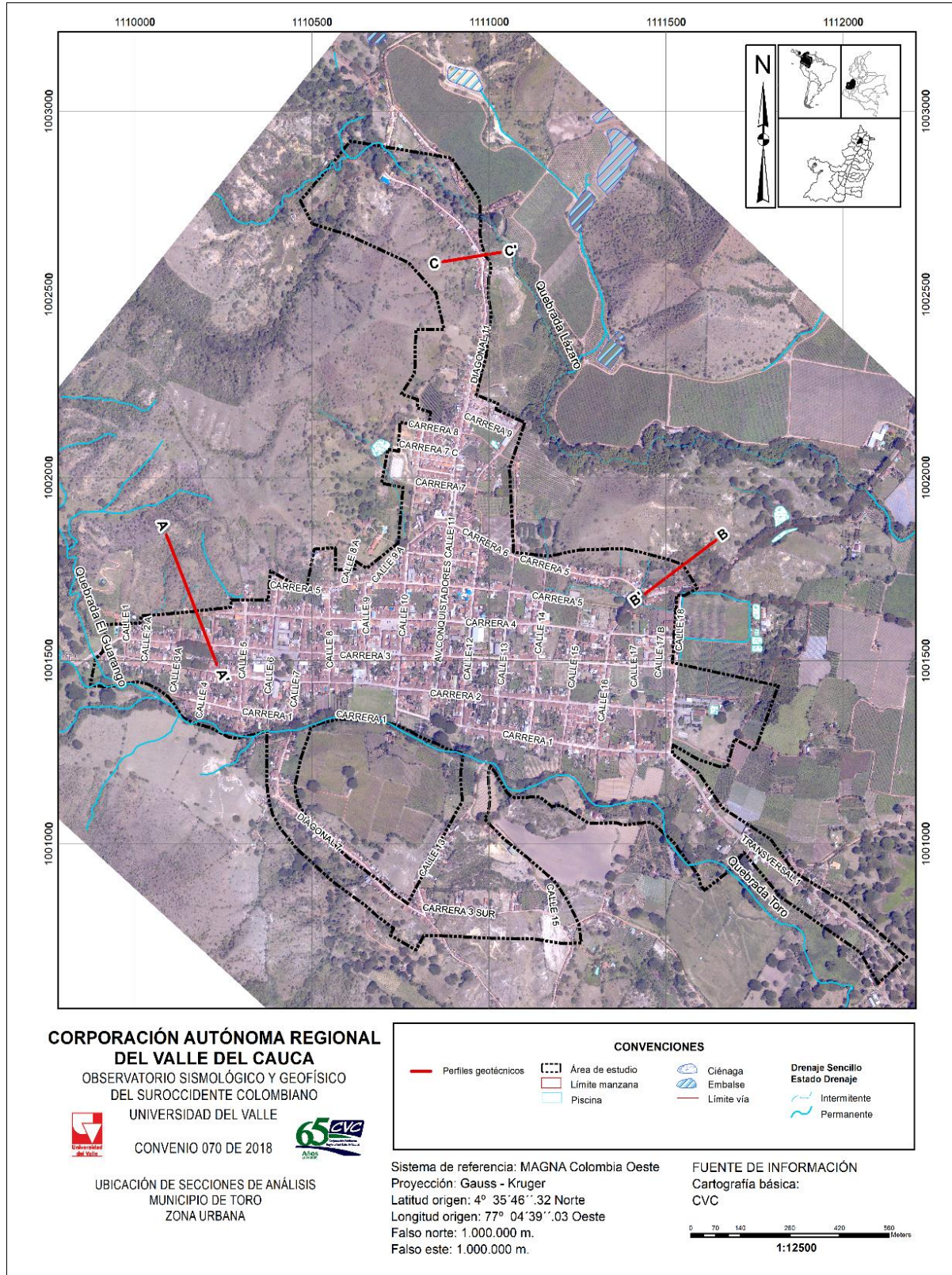


Figura 7.19. Ubicación secciones de análisis Municipio de Toro
Fuente: elaboración propia

A manera de ilustración, se presentan los 2 perfiles geológico-geotécnicos por separado (Figura 7.20 y 7.21) realizados para el área de estudio en las secciones no se aprecian cambio en los espesores del suelo, como se denota en las figuras el municipio posee suelos de textura arcillo limosa.

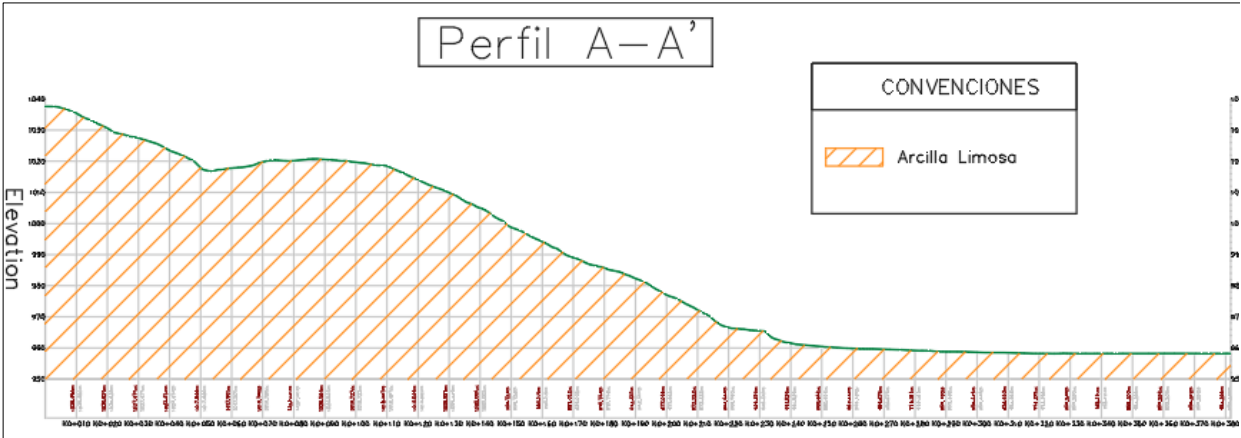


Figura 7.20. Perfil AA' sección de análisis

Fuente: elaboración propia

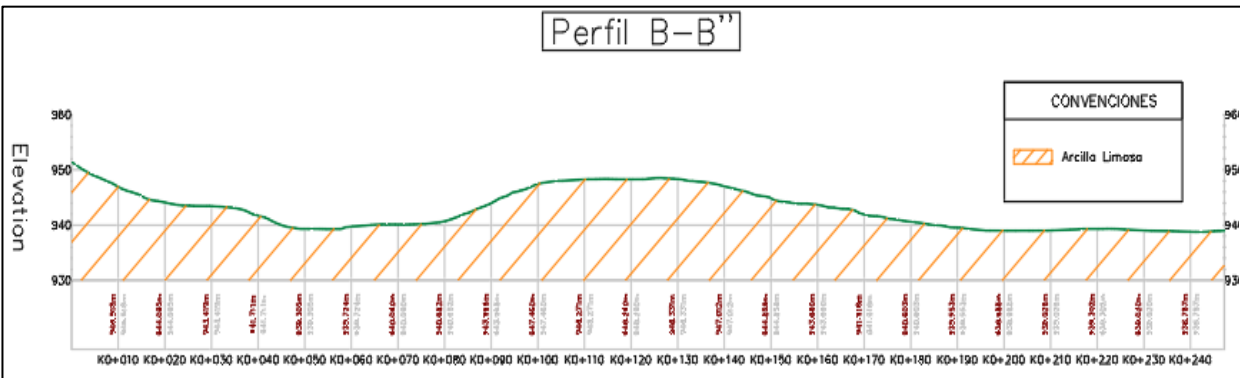


Figura 7.21. Perfil BB' sección de análisis

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 inconfiadas 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 7.11.

Tabla 7.11. Parámetros de resistencia para los diferentes materiales presentes en la zona

| UNIDAD | C (Kpa) | Φ (°) | γ (KN/m ³) |
|--------|---------|------------|-------------------------------|
| Rdb | 19613 | 48 | 26,5 |
| Rip | 12325 | 43 | 27 |
| Rbvs | 800 | 38 | 24 |
| Sa | 30 | 20,5 | 16,7 |
| Sale | 29 | 22,1 | 17,2 |
| Sta | 21 | 19,7 | 13,3 |
| Stat | 53 | 28,0 | 17,7 |
| Stco | 21 | 25,0 | 16,87 |
| Stfl | 29 | 35,0 | 16,67 |

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 Toro, 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 7.22) donde se analizó el comportamiento de las precipitaciones considerando la temporalidad de los eventos de lluvia máximas y su distribución espacial.

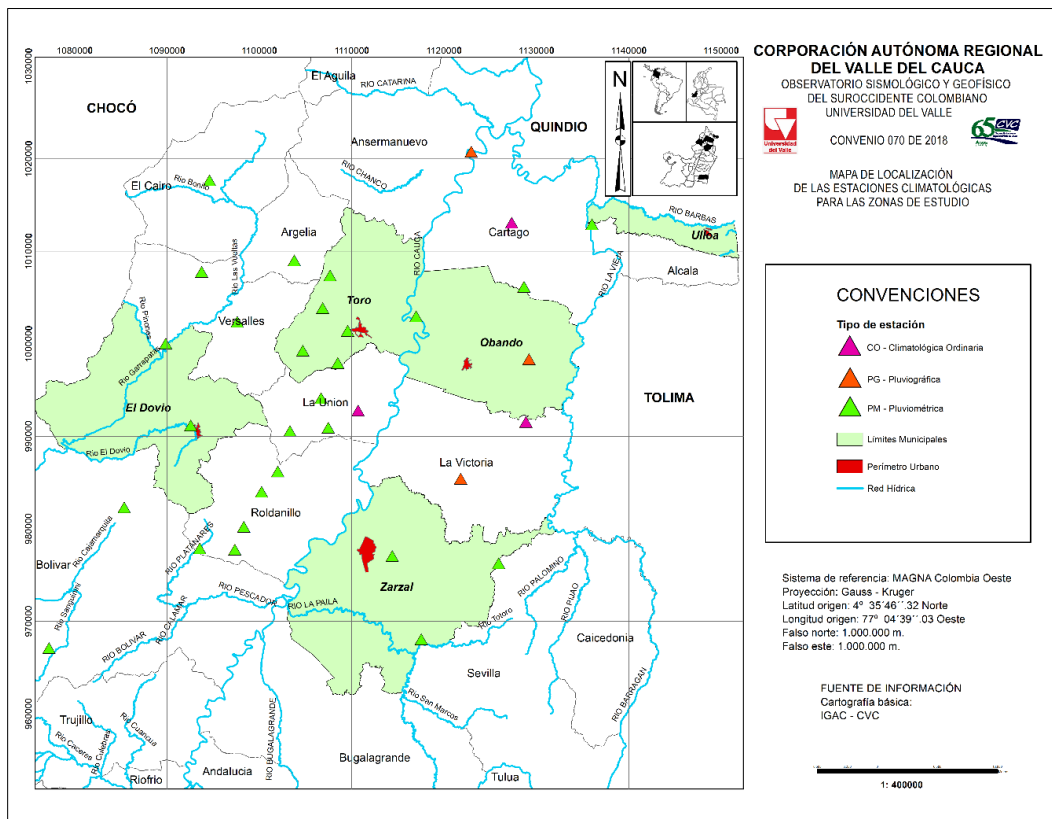


Figura 7.22. Distribución espacial de estaciones hidroclimatológicas

Fuente: elaboración propia

La Figura 7.23 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.

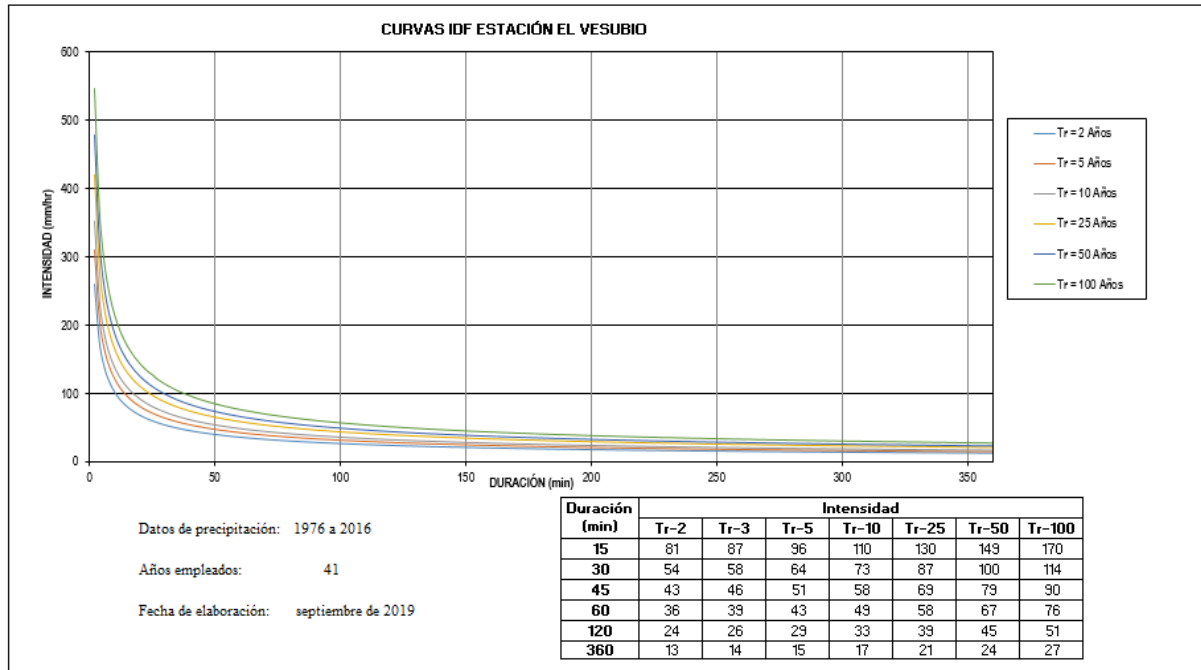


Figura 7.23. Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia con datos de la estación El Vesubio
Fuente: CVC, (2019)

Una vez se aplicó la ecuación en el área de estudio se elabora la Tabla 7.12, 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 7.12. Resultados del cálculo del nivel freático para diferentes periodos de retorno según la unidad geológica superficial

| UNIDAD GEOLOGICA | PROFUNDIDA D N.F. (m) | PROFUNDIDA D 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) |
|---------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------------|------------------------|------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| Sa | 5,00 | 5000 | | | | | | 2073,64 | 45,08 | 2,62 | 2,29 | 1,81 | 1,35 | 0,85 |
| Sale | 5,00 | 5000 | | | | | | 1581,14 | 31,62 | 2,64 | 2,31 | 1,83 | 1,37 | 0,87 |
| Sta | 5,00 | 5000 | | | | | | 1581,14 | 31,62 | 2,64 | 2,31 | 1,83 | 1,37 | 0,87 |
| Stat | 5,00 | 5000 | 96 | 110 | 130 | 149 | 170 | 1581,14 | 31,62 | 2,64 | 2,31 | 1,83 | 1,37 | 0,87 |
| Stco | 5,00 | 5000 | | | | | | 1581,14 | 31,62 | 2,64 | 2,31 | 1,83 | 1,37 | 0,87 |
| Stfl | 5,00 | 5000 | | | | | | 1581,14 | 31,62 | 2,64 | 2,31 | 1,83 | 1,37 | 0,87 |
| Rdb | 5,00 | 5000 | | | | | | 1581,14 | 31,62 | 2,64 | 2,31 | 1,83 | 1,37 | 0,87 |
| Rip | 5,00 | 5000 | | | | | | 1581,14 | 31,62 | 2,64 | 2,31 | 1,83 | 1,37 | 0,87 |
| Rbvs | 5,00 | 5000 | | | | | | 1581,14 | 31,62 | 2,64 | 2,31 | 1,83 | 1,37 | 0,87 |

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 Toro 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 disminución 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 ($T_r=25$ años, para la lluvia), considerando el escenario de futuro (50 años), se muestran en la Tabla 7.13,

Tabla 7.13. Probabilidades de los agentes detonantes

| PERIODO DE ANÁLISIS AGENTES EXÓGENOS | LARGO PLAZO (50 Años) | |
|---|-----------------------|---------------|
| | 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 CC’, que involucra depósito de suelos transportados de ladera, aluvial antrópico y roca intermedia vulcano sedimentaria.

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 7.24 presenta los resultados obtenidos en la Sección BB’ 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 7.14.

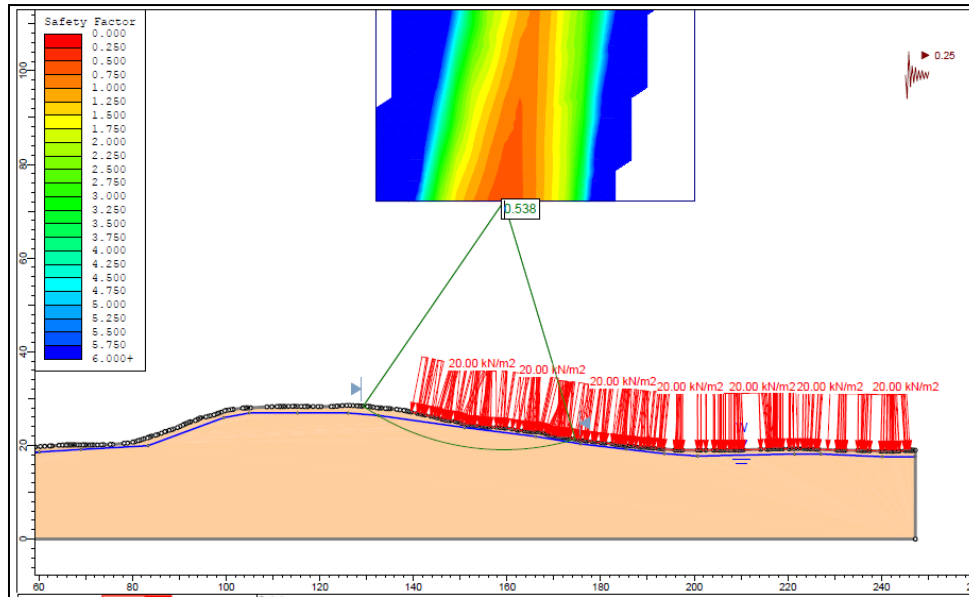


Figura 7.24. Análisis de estabilidad Sección BB', escenario futuro, condición sin obras
Fuente: elaboración propia

Tabla 7.14. Resumen de los factores de seguridad y de la probabilidad de falla sección BB', condición sin obras.

| CONDICIÓN | TIPO DE OBRA | ESCENARIO | NIVEL DE AGUA | SISMO – a (g) | F.S | PF |
|-----------|--------------|-----------|-----------------------|---------------|-------|------|
| Sin obra | No Aplica | Futuro | Parcialmente saturado | 0.25 | 0.538 | 100% |

Fuente: elaboración propia

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 Toro (Tabla 7.15 a 7.21).

Tabla 7.15. Parámetros geomecánicos empleados en la modelación de la UGS en el municipio de Toro

| UGS | PARÁMETROS GEOMECAÑICOS 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 |
| Rdb | 48 | 6.34 | 19613 | 6864.55 | 26.48 | 2.648 | 2.25 | - | 2 x 2 |
| Rip | 48 | 5.33 | 12325 | 4313.75 | 27 | 2.7 | 1.81 | - | 2 x 2 |
| Rbys | 38 | 4.47 | 800 | 280 | 24 | 2.4 | 1.45 | - | 2 x 2 |
| Sa | 20.5 | 2.14 | 30.0 | 10.50 | 16.7 | 1.67 | 3.0 | - | 2 x 2 |
| Sale | 22.1 | 2.33 | 29 | 10.15 | 17.2 | 1.72 | 3 | - | 2 x 2 |
| Sta | 19.7 | 2.051 | 21 | 7.350 | 13.3 | 1.330 | 1.81 | - | 2 x 2 |
| Stat | 28.0 | 0.053 | 53.0 | 18.87 | 17.7 | 1.776 | 1.81 | - | 2 x 2 |
| Stco | 25 | 2.67 | 21.6 | 7.55 | 16.8 | 1.69 | 5 | - | 2 x 2 |
| Stfl | 35 | 4.01 | 29.4 | 10.30 | 16.67 | 1.67 | 3 | - | 2 x 2 |

μ = media

σ = desviación estándar

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 7.16).

Tabla 7.16. Valoración incertidumbre coeficientes de variación en el municipio de Toro

| PARÁMETROS GEOMECAÑICOS 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 $A_a = 0.25$.

7.6.3. Zonificación de escenario

Este capítulo 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, obteniendo la zonificación de amenaza para la condición futura la amenaza por movimientos en masa fue categorizada según la propuesta de González y Millán (2005), adoptada en la Resolución 227 de 2006 por Secretaría Distrital de Bogotá (para mayor detalle, ir a la Tabla 7.17), la espacialización de los niveles de amenaza por movimientos en masa se observa en la Figura 7.25.

Tabla 7.17. 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 | | | | | | | |
| 50 | 0,1954 | 1,0000 | | 0,9993 | 0,5000 | ALTA | A |
| | 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).

Para el casco urbano del municipio de Toro, se puede denotar que los niveles de amenaza alta se concentran en el Occidente en el barrio Santa Elena y en el Oriente en el barrio San José, con porcentajes de 0,11 y de 0,28 respectivamente, el barrio Lazaro también presenta en un menor porcentaje niveles de amenaza alta, siendo éstos barrios los únicos con dicha condición en el área de estudio.

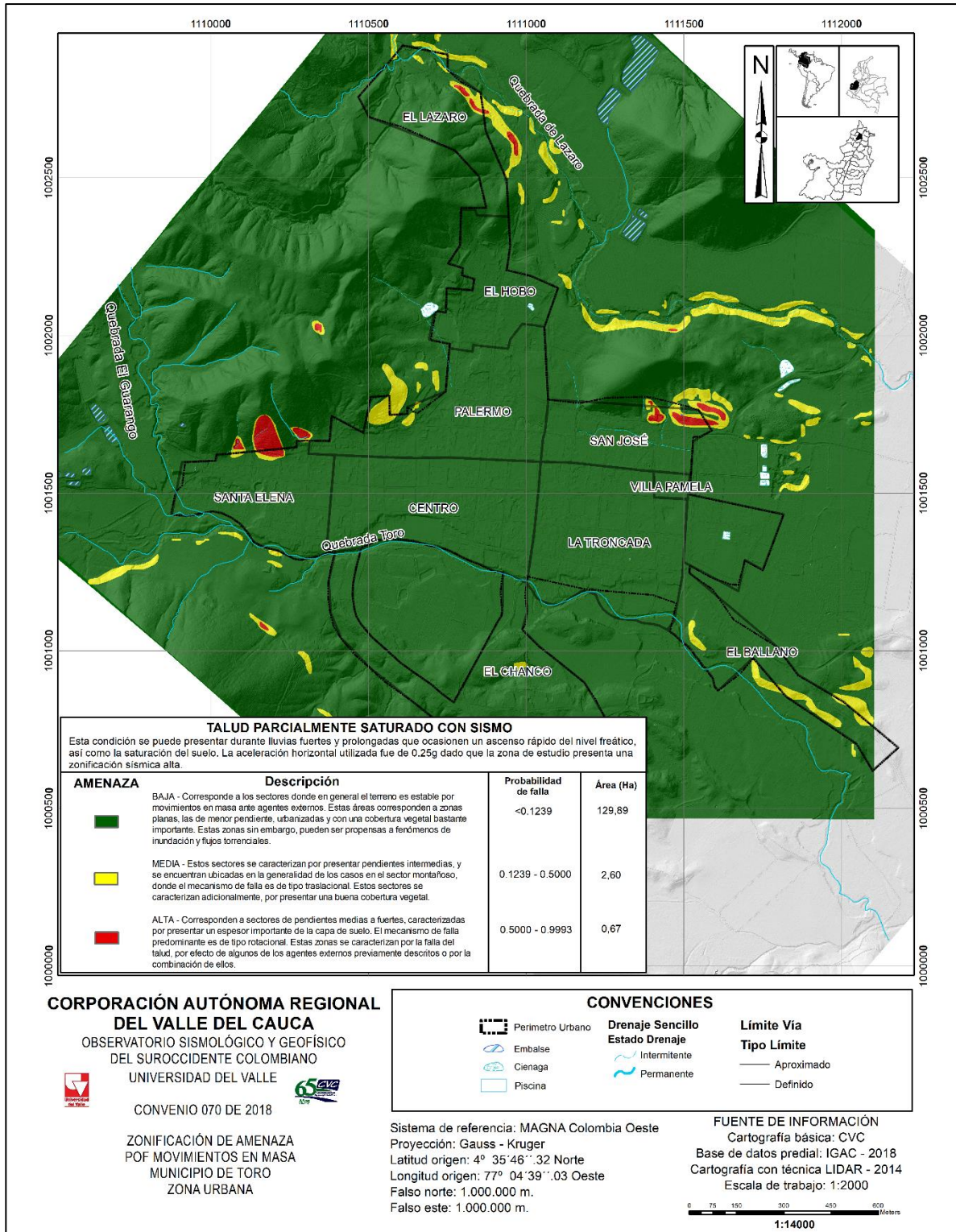


Figura 7.25. Mapa de amenaza categorizado correspondiente a la condición futura para el municipio de Toro

Fuente: elaboración propia

La condición futura de la amenaza es baja con algunas zonas de amenaza alta, las cuales se deben a las altas pendientes y depósitos de suelos transportados coluviales. Los resultados del análisis de amenaza por movimientos en masa para la condición futura, mediante el método determinístico, se ilustra en la Figura 7.26 y Tabla 7.18, destacándose los siguientes aspectos:

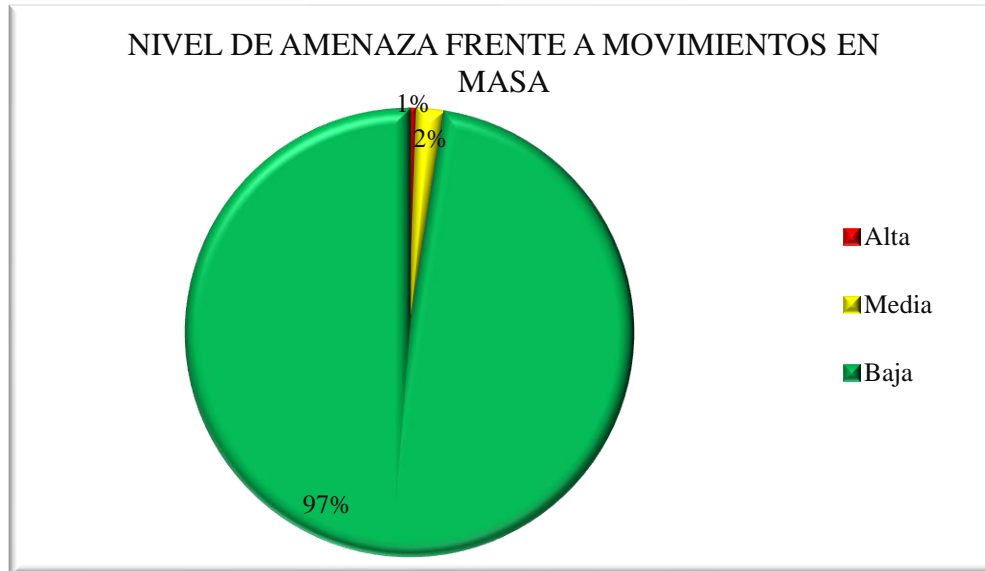


Figura 7.26. Distribución de niveles de amenaza para la condición futura en el municipio de Toro

Fuente: elaboración propia

Tabla 7.18. Áreas según los niveles de amenaza para la condición futura en el municipio de Toro

| NIVEL DE AMENAZA | ÁREA NIVEL DE AMENAZA (Ha) | PREDIOS |
|------------------|----------------------------|---------|
| Alta | 0,67 | 30 |
| Media | 2,60 | 65 |
| Baja | 129,89 | 2799 |

Fuente: elaboración propia

Las zonas que presentan amenaza alta y media corresponden principalmente a áreas de rellenos antrópicos y a zonas con cortes de taludes, en las cuales la geomorfología indica que han ocurrido deslizamientos, los barrios que presentan mayor afectación tanto por amenaza alta y media son: La Ceiba, El Piloto, Los Manguitos y Lorenzo Ángel. Y los barrios con afectación considerable de amenaza media son: Vila Colombia, Plaza Vieja, Vivienda Obrera, El Centro y El Prado (Tabla 7.19). Por fuera del casco urbano, también se presentan zonas con niveles de amenaza alta y media, los cuales se localizan en sectores específicos que pueden afectar el área urbana debido a su cercanía con el radio de afectación.

Tabla 7.19. 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 (%) |
| San José | 0,372 | 2,40 | 0,876 | 5,20 | 15,343 | 92,40 |

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 y las definiciones de la Figura 7.27.

$$V = \left(\frac{1}{6} \pi D_r W_r L_r \right) f_{exp} \quad (35)$$

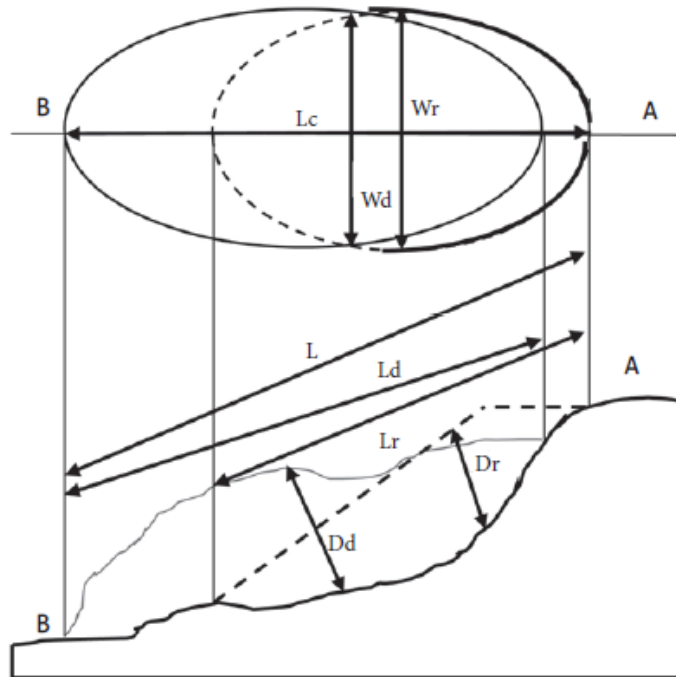


Figura 7.27. Determinación del volumen de un deslizamiento

Fuente: SGC (2015b).

Donde:

V es el volumen del deslizamiento, D_r es la profundidad máxima de la superficie de falla, W_r es el ancho máximo de la superficie de falla, L_r es la longitud de la superficie de falla y f_{exp} 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 7.28. 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 7.20 y 7.21).

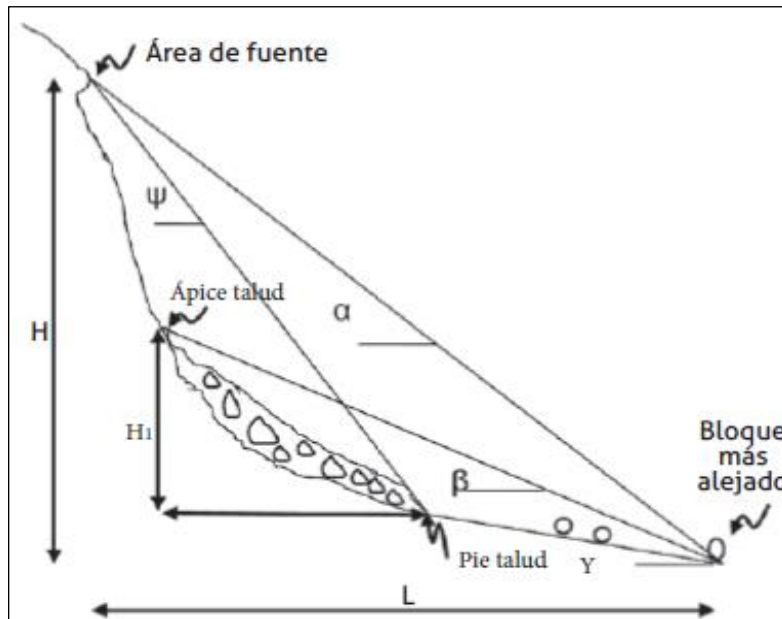


Figura 7.28. Variables geométricas para definir la distancia de viaje de un deslizamiento
Fuente: Hungr et al., 2005

Tabla 7.20. Ecuaciones para determinar la distancia de viaje, obtenidas en Hong Kong

| VARIABLE DEPENDIENTE | | ECUACIÓN |
|----------------------|----------|---|
| Corte talud | LCI | $\text{Log } L = 0,062 + 0,965 \text{ Log } H - 0,558 \text{ Log } (\tan \delta)$ |
| | Promedio | $\text{Log } L = 0,109 + 1,010 \text{ Log } H - 0,506 \text{ Log } (\tan \delta)$ |
| | UCI | $\text{Log } L = 0,156 + 0,155 \text{ Log } H - 0,166 \text{ Log } (\tan \delta)$ |
| Relleno talud | LCI | $\text{Log } L = 0,269 + 0,325 \text{ Log } H - 0,166 \text{ Log } (V/W)$ |
| | Promedio | $\text{Log } L = 0,453 + 0,547 \text{ Log } H - 0,305 \text{ Log } (V/W)$ |
| | UCI | $\text{Log } L = 0,693 + 0,768 \text{ Log } H - 0,443 \text{ Log } (V/W)$ |
| Muro de contención | LCI | $\text{Log } L = 0,037 + 0,350 \text{ Log } H + 0,108 \text{ Log } (V/W)$ |
| | Promedio | $\text{Log } L = 0,178 + 0,587 \text{ Log } H + 0,309 \text{ Log } (V/W)$ |
| | UCI | $\text{Log } L = 0,319 + 0,825 \text{ Log } H + 0,150 \text{ Log } (V/W)$ |
| Caída de roca | LCI | $\text{Log } L = 0,041 + 0,515 \text{ Log } H - 0,629 \text{ Log } (\tan \delta)$ |
| | Promedio | $\text{Log } L = 0,253 + 0,703 \text{ Log } H - 0,417 \text{ Log } (\tan \delta)$ |
| | UCI | $\text{Log } L = 0,466 + 0,891 \text{ Log } H - 0,206 \text{ Log } (\tan \delta)$ |

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 7.21. 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 (Hungry 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 evaluarán 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 7.29).

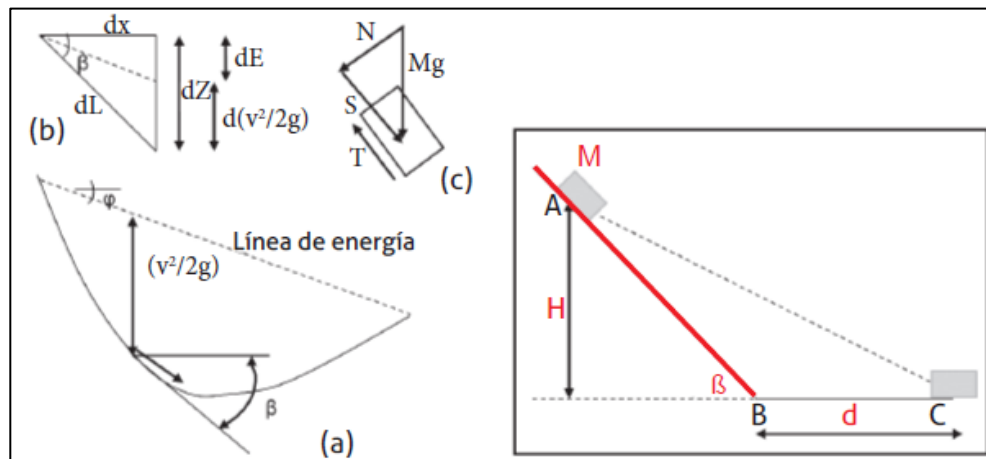


Figura 7.29. Bloque deslizante, consideraciones dinámicas. a) Perfil de la trayectoria. b) Geometría local del contacto. c) Diagrama de fuerzas. d) Planteamiento del problema

Fuente: Yue, 2014

Al aplicar las leyes de Newton y para una condición de n se obtienen las siguientes ecuaciones.

$$Mg \sin \beta - Mg \cos \beta \tan \phi = Ma(t) \text{ de A hasta B} \quad -Mg \tan \phi = Ma(t) \text{ de B hasta C} \quad (39)$$

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)

ϕ_p 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

$$V_{AB} = \sqrt{2Hg \left(1 - \frac{\tan \phi}{\tan \beta}\right)} \quad (36)$$

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

$$d = \left(1 - \frac{\tan \phi}{\tan \beta}\right) \frac{H}{\tan \phi_p} \quad (37)$$

Y la velocidad en el tramo B-C puede determinarse de acuerdo con la ecuación

$$V_{BC}^2 V_{AB}^2 - 2g \tan \phi_p d \quad (38)$$

Las velocidades calculadas permiten estimar la intensidad del deslizamiento para los diferentes escenarios.

$$V_{inclinado} = \sqrt{2gh * \left(1 - \frac{\tan \phi}{\tan \beta}\right)} \quad (39)$$

$$E_c = \frac{1}{2} m V_{plano}^2 \quad (40)$$

$$E_p = mgh \quad (41)$$

$$E_c = \frac{1}{2} E_p \quad (42)$$

$$\frac{1}{3} E_p = \frac{1}{2} m V_{plano}^2 \quad (43)$$

Igualemos las ecuaciones 44 y 46

$$\frac{1}{3} mgh = \frac{1}{2} m V_{plano}^2 \quad (44)$$

Remplazamos E_p en la ecuación 45

$$V_{plano}^2 = \frac{\frac{1}{3} mgh}{\frac{1}{2} m} \quad (45)$$

$$V_{plano}^2 = \frac{2}{3} gh \quad (46)$$

$$V_{plan} = \sqrt{\frac{2}{3} gh} \quad (47)$$

$$V_{plan} = \begin{cases} V_{inclinado} - V_{plano} \\ V_{plano} - V_{inclinado} \end{cases} \quad (48)$$

depende de que tan grandes sean los valores de ϕ y β

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 (Hungar 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 7.22) 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 Toro

Tabla 7.22. Caracterización de la Amenaza para el municipio de Toro

| CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA | | | |
|-------------------------------|-----------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| SECCIÓN | MAGNITUD Vol (m ³) | INTENSIDAD Velocidad (m/s) | DISTANCIA DE VIAJE (m) |
| A-A' | 153863 | 1,5 | 63 |
| B-B' | 17813 | 0,6 | 18 |
| C-C' Derecha | 12586 | 0,3 | 17 |
| C-C' Izquierda | 24777 | 1,1 | 29 |
| D-D' | 11178 | 0,1 | 15 |
| E-E' | 79844 | 1,6 | 28 |

Fuente: elaboración propia

8. VULNERABILIDAD POR INUNDACIÓN Y MOVIMIENTO EN MASA EN EL MUNICIPIO DE TORO

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 naturales 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 Toro.

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 Toro.

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, aire, 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 determina 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 sería 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 Toro, 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:

$$V = E * F \quad (49)$$

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:

$$F = \frac{P_{imp}}{S} \quad (50)$$

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:

$$V = \frac{1}{2} Exp \left(\frac{I}{1-S} \right)^2 \quad I \leq 1 - S \quad (51)$$

$$V = 1 - \frac{1}{2} Exp \left(\frac{1-I}{S} \right)^2 \quad I > 1 - S \quad (52)$$

Donde:

V : vulnerabilidad

Exp : exposición

I : Intensidad

S : factor de seguridad (resistencia)

(v , Exp , I , S) son adimensionales $\in [0,1]$

Por lo tanto, la fragilidad está representa por todo lo que multiplica a la exposición. Tal como se muestra en la siguiente expresión (ecuación 17):

$$\left(\frac{1-I}{S} \right)^2 \quad \text{o} \quad \left(\frac{I}{1-S} \right)^2 \quad (53)$$

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 estructural, cuyas condiciones de infraestructura son adecuadas y su resistencia es aceptable. | Las personas expuestas en la zona se caracterizan por presentar unos niveles de exposición y fragilidad 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

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 a 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.

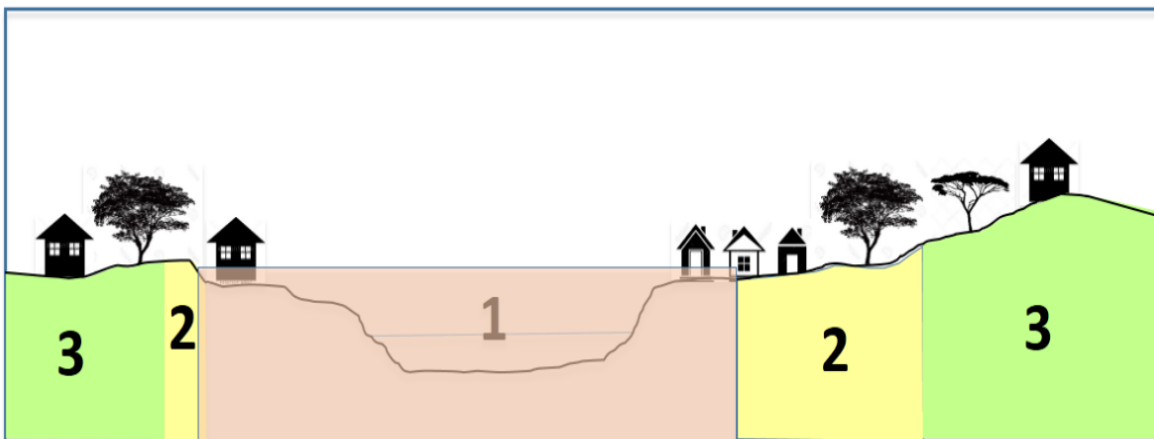


Figura 8.1. Zonas de exposición ante inundación

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 $H \cdot V$ 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 |
|---|-------|
| $H \cdot V \geq 0.45 \text{ m}^2/\text{s}$ | Alta |
| $0.225 \text{ m}^2/\text{s} \leq H \cdot V < 0.45 \text{ m}^2/\text{s}$ | Media |
| $H \cdot V < 0.225 \text{ m}^2/\text{s}$ | Baja |

Fuente: informe de amenaza del presente proyecto.

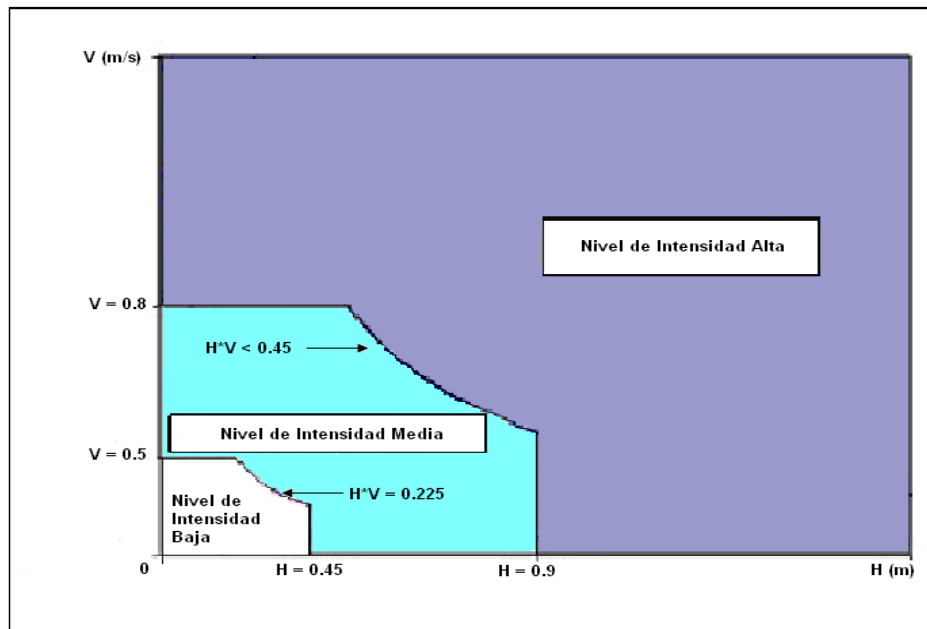


Figura 8.2. Nivel de intensidad o magnitud de la amenaza por inundaciones

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:

$$I = 1 - (1 - I_{f-pre}) (1 - I_{f-prof}) \quad (54)$$

Donde:

I : es la intensidad del evento.

I_{f-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-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-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 55)

$$I_{f-pre} = \frac{P_{iinun}}{P_{le}} \quad (55)$$

Donde:

P_{iinun} : 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 lo 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 56):

$$P_{iinun} = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (56)$$

Donde:

P_{iinun} : presión de impacto de la inundación (kPa)

ρ : densidad del agua (kg/m^3)

v : velocidad (m/s)

En relación al 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 el 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-prof}):** el parámetro I_{f-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 (57):

$$I_{f-prof} = \frac{P_{inun}}{h_e} \quad (57)$$

Donde:

P_{f-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 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 asfáltico 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 pocas 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) |
| $H*V \geq 0.45 \text{ m}^2/\text{s}$ | Alta | 1 | 0.8 | 0.3 |
| $0.225 \text{ m}^2/\text{s} \leq H*V < 0.45 \text{ m}^2/\text{s}$ | Media | 0.8 | 0.5 | 0.1 |
| $1H*V < 0.225 \text{ m}^2/\text{s}$ | 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 al 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) |
|---|---------------------|--|---|
| $H*V \geq 0.45 \text{ m}^2/\text{s}$ | Alta | 0.7 | 1 |
| $0.225 \text{ m}^2/\text{s} \leq H*V < 0.45 \text{ m}^2/\text{s}$ | Media | 0.5 | 0.7 |
| $1H*V < 0.225 \text{ m}^2/\text{s}$ | 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, 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 |
|---|---------------------|------------------|------------------|--------------------|
| $H*V \geq 0.45 \text{ m}^2/\text{s}$ | Alta | 1 | 0.75 | 0.6 |
| $0.225 \text{ m}^2/\text{s} \leq H*V < 0.45 \text{ m}^2/\text{s}$ | Media | 0.7 | 0.5 | 0.4 |
| $1H*V < 0.225 \text{ m}^2/\text{s}$ | 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:

$$S_e = 1 - [(1 - S_{tip}) * (1 - S_{alt}) * (1 - S_{con}) * (1 - S_{ser})] \quad (58)$$

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 _{típ} |
|---------------------------|-------------|------------------|
| 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 González (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 |
| Daños moderados | Fisuras en juntas horizontales en los extremos superior e inferior de elementos verticales. | 0,5- 5,0 | 0,35 |
| | Desplazamiento relativo o movimiento en el plano fuera del (pandeo). | | |
| Daños graves | Inclinaciones del elemento fuera de su plano vertical. | > 5 | 0,70 |
| | Unidades de mampostería con fallas por aplastamiento. | | |
| 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 12):

$$S_{corp} = (S_e)^{3.2} \quad (59)$$

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 (13) que se presenta a continuación:

$$S_{ancho} = \frac{3,0}{W_{vía}} \quad (60)$$

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 (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 |
| | 5001 N | 0,90 |
| | 7355 N | 0,82 |
| Concreto | 10300 N | 0,70 |
| | 13220 N | 0,62 |
| | 17640 N | 0,53 |
| | 19600 N | 0,51 |
| | 3432 N | 0,95 |
| Metálicos | 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.

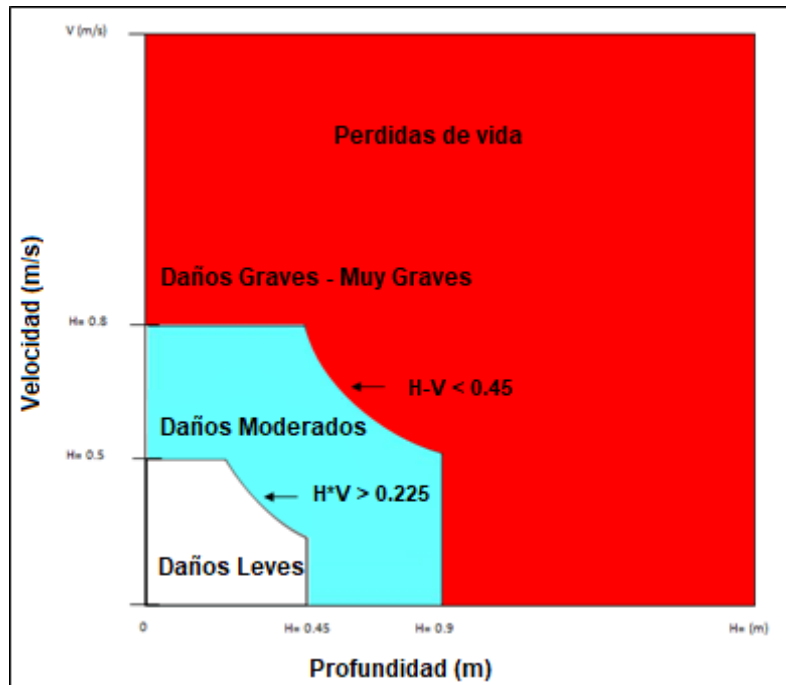


Figura 8.3. Tipos de daños por inundación y condiciones de flujo
Fuente: Ricardo A. Smith, et al., (2004).

En la Tabla 8.29, 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* | | | | | | CORPORALES | | |
| | | | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | | | |
| ALTO (daños graves, muy graves) | $H \geq 0,90$ | $V \geq 0,80$ | $H*V \geq 0,45$ | | | | | | | <ul style="list-style-type: none"> • 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. | <ul style="list-style-type: none"> • 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. | <ul style="list-style-type: none"> • Posible morbilidad y mortalidad en seres humanos. • Migración de población. • Enfermedades infecciosas y epidemias. • Aumento de enfermedades endémicas. • Problemas sanitarios. |
| MEDIO (daños moderados) | $0,45 - 0,90$ | $0,50 - 0,80$ | $0,225 - 0,45$ | | | | | | | <ul style="list-style-type: none"> • Daños en el equipamiento del espacio público. • Suspensión temporal de los servicios públicos. • Suspensión temporal de actividades educativas y laborales. | <ul style="list-style-type: none"> • 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. | <ul style="list-style-type: none"> • Pérdida de habilidad. • Personas atrapadas. |
| BAJO (daños leves) | $0,05 - 0,45$ | $0,0 - 0,50$ | $0,0 - 0,225$ | | | | | | | <ul style="list-style-type: none"> • Afectaciones y traumatismos en los servicios de transporte | <ul style="list-style-type: none"> • Anegamiento parcial de suelo agrícola y no agrícola. | <ul style="list-style-type: none"> • Problemas emocionales leves y transitorios. |

Continuación *Tabla 8.17*

| NIVEL | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
|---|--|---|---|--|---|---|--|
| | | | | | | SISTEMA DE ACUEDUCTO Y ALCANTARILLADO | DAÑOS EN VÍAS NO ESTRUCTURALES |
| ALTO (daños graves, muy graves) | <ul style="list-style-type: none"> Desplomes de viviendas por debilitamiento de su estructura (depende del tiempo de exposición al agua). | | | <ul style="list-style-type: none"> Desplome parcial de paredes o colapso total de la infraestructura. | | <ul style="list-style-type: none"> Daños en la tubería por sedimentación del barro. Contaminación de reservorios por aguas residuales. Colapso del sistema de drenaje de las aguas residuales. | <ul style="list-style-type: none"> Ruptura de puentes peatonales y vehiculares, afectados por socavaciones en el suelo y arrastre. |
| MEDIO (daños moderado) | <ul style="list-style-type: none"> Desprendimiento del revoque. | | | <ul style="list-style-type: none"> Fisuras o grietas en muros y columnas por asentamientos diferenciales del terreno, socavaciones o erosión. | <ul style="list-style-type: none"> Debilitamiento de la cimentación por asentamientos diferenciados, socavación y erosión. | | <ul style="list-style-type: none"> Taponamiento de accesos. Afectación en el transporte público. |
| BAJO (daños leves) | <ul style="list-style-type: none"> Deterioro del acabado superficial de los muros. | | | <ul style="list-style-type: none"> Deterioro de los ladrillos de las primeras filas de las paredes por el contacto con el agua. | <ul style="list-style-type: none"> Fisuras en muros y columnas. | | <ul style="list-style-type: none"> 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. |

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

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 Velocidad del movimiento | 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. | 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).

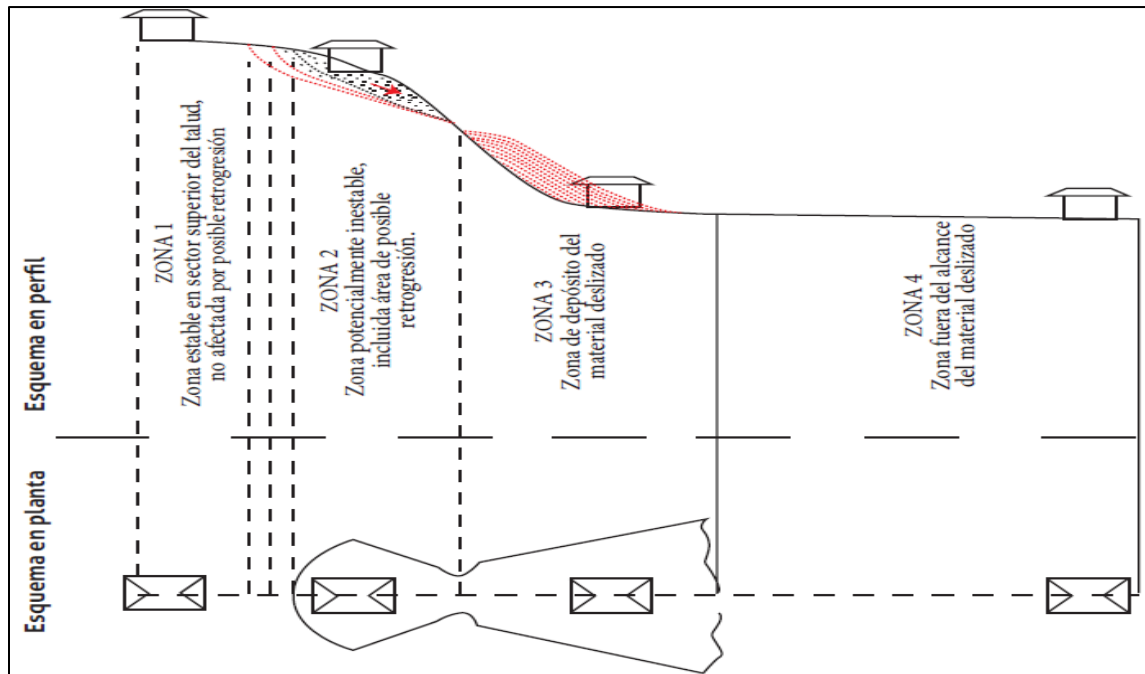


Figura 8.4. Zonas de exposición ante movimientos en masa
Fuente: SGC (2016).

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 (m³) 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) | |
| $5 \times 10^{-7} < v < 5 \times 10^{-4}$ | $V < 100$ | BAJA |
| $5 \times 10^{-4} < v < 5 \times 10^{-1}$ | $100 < V < 10^6$ | MEDIA |
| $5 \times 10^{-1} < v < 5 \times 10^3$ | $10^6 < V$ | 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 61):

$$I = 1 - (1 - I_{f-pre})(1 - I_{f-prof}) \quad (61)$$

Donde:

I : es la intensidad del evento.

I_{f-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-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-pre}):** según la propuesta de Du et al. (2014) el parámetro de la intensidad debido a la presión se estima de la siguiente manera:

$$I_{f-pre} = \frac{P_{imm}}{P_{le}} \quad (62)$$

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 a lo planteado por Du et al. (2014) puede aproximarse mediante la siguiente ecuación:

$$P_{imm} = \frac{1}{2}\rho v^2 \quad (63)$$

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:

$$P_{imm} = \frac{\rho g v}{A} \approx \rho g v \quad (64)$$

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 al 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 límite 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-prof}):** el parámetro I_{f-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:

$$I_{f-prof} = \frac{h_{mm}}{h_e} \quad (65)$$

Donde:

P_{f-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:

$$I_{vías} = \frac{L_p}{W_e + W_{cal}} \quad (66)$$

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:

$$\delta = 0.0075 \frac{1}{D} \quad (67)$$

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 _{elec} |
|--|-------------------|
| ≤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:

$$S_e = 1 - [(1 - S_{tip}) * (1 - S_{alt}) * (1 - S_{con}) * (1 - S_{ser})] \quad (68)$$

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} |
|-------------------------------------|----------|
| $\leq 0,1$ | 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 González (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. | 0,5- 5,0 | 0,35 |
| | Desplazamiento relativo o movimiento en el plano fuera del (pandeo). | | |
| Daños graves | Inclinaciones del elemento fuera de su plano vertical. | > 5 | 0,70 |
| | Unidades de mampostería con fallas por aplastamiento. | | |
| 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 69):

$$S_{corp} = (S_e)^{3.2} \quad (69)$$

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 (70) que se presenta a continuación:

$$S_{ancho} = \frac{3,0}{W_{via}} \quad (70)$$

Donde:

W_{via} : 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 (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 |
| | 5001 N | 0,90 |
| | 7355 N | 0,82 |
| | 10300 N | 0,70 |
| Concreto | 13220 N | 0,62 |
| | 17640 N | 0,53 |
| | 19600 N | 0,51 |
| | 3432 N | 0,95 |
| | 5001 N | 0,90 |
| Metálicos | 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 a 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 | $5 \times 10^{-7} < v < 5 \times 10^{-4}$ | $V < 100$ | – | – | Perdida local de suelo agrícola y no agrícola Perdida de cultivos o de importancia económica. | – |
| MEDIO | $5 \times 10^{-4} < v < 5 \times 10^{-1}$ | $100 < V < 10^6$ | 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. | Pérdidas moderadas en extensiones agrícolas y de cultivos Grandes extensiones de terreno agrícolas y no agrícolas | Heridos |
| ALTO | $5 \times 10^{-1} < v < 5 \times 10^3$ | $10^6 < V$ | Destrucción de viviendas o infraestructuras civiles. Destrucción de grandes zonas urbanas (barrios, pueblos y veredas) | Grandes pérdidas económicas | | Pérdida de vidas humanas. |

Fuente: elaboración propia con datos Cruden y Varnes (1996), Vargas, C, G (2000), ASG, (2007).

8.3. 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.

8.3.1. 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 Toro.

8.3.1.1. Exposición de elementos

Cabe resaltar que en exposición predial por el fenómeno de inundación se tiene 169 predios. Pero como resultado final del trabajo de campo, se obtuvo información en 159 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.

Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación, se describe la exposición de elementos corporales y estructurales con la información obtenida:

8.3.1.1.1. Exposición corporal

De acuerdo con la información del Censo 2018 realizado por el Departamento Nacional de Estadística – DANE- y publicado en su portal, se identificó que el municipio de Toro cuenta con un total de 12.091 habitantes, de los cuales 8.355 (69,1%) se encuentra ubicado en la cabecera del municipio.

Frente al ámbito habitacional se identificó que el municipio de Toro presenta un total de 4.031 unidades de viviendas con personas presentes, lo que permite estimar un promedio poblacional de 2.9 personas por vivienda.

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 Toro, teniendo en cuenta las variables: habitantes totales, día y noche.

Con la entrevista realizada a las personas que permitieron el ingreso a las edificaciones, se encontró que habitan un total de 450 personas, de las cuales 139 permanecen en el día y las 450 en la noche, lo que indica que el 30,8% de la población encuestada permanecen en el día. También, se evidenció que en promedio hay 7 habitantes por edificación, teniendo en cuenta que se incluyeron construcciones de tipo residencial, comercial, mixto, culto, recreación (Tabla 8.33).

Tabla 8.33. Número y promedio de habitantes en las construcciones en que se logró el acceso

| HABITANTES | NÚMERO DE HABITANTES | PROMEDIO DE HABITANTES POR EDIFICACIÓN |
|------------|----------------------|--|
| Total | 450 | 7,03 |
| Día | 139 | 2,17 |
| Noche | 450 | 7,03 |

Fuente: elaboración propia

En la Tabla 8.34, se especifica la cantidad de personas en la construcción según las tres variables priorizadas: personas totales, personas presentes en el día y personas presentes en la noche. En las construcciones con inspección interior se encontró que el 20,66 % de los habitantes se encuentran en nivel de exposición alta y en el nivel de exposición media el 79,33% de habitantes (Figura 8.5).

Tabla 8.34. Número total de habitantes, día y de noche de la población encuestada, expuestos a inundación de la zona urbana del municipio de Toro

| HORARIO | NÚMERO DE HABITANTES | | TOTAL |
|---------|----------------------|-----------------|-------|
| | EXPOSICIÓN MEDIA | EXPOSICIÓN ALTA | |
| Total | 357 | 93 | 450 |
| Día | 82 | 57 | 139 |
| Noche | 357 | 93 | 450 |

Fuente: elaboración propia.

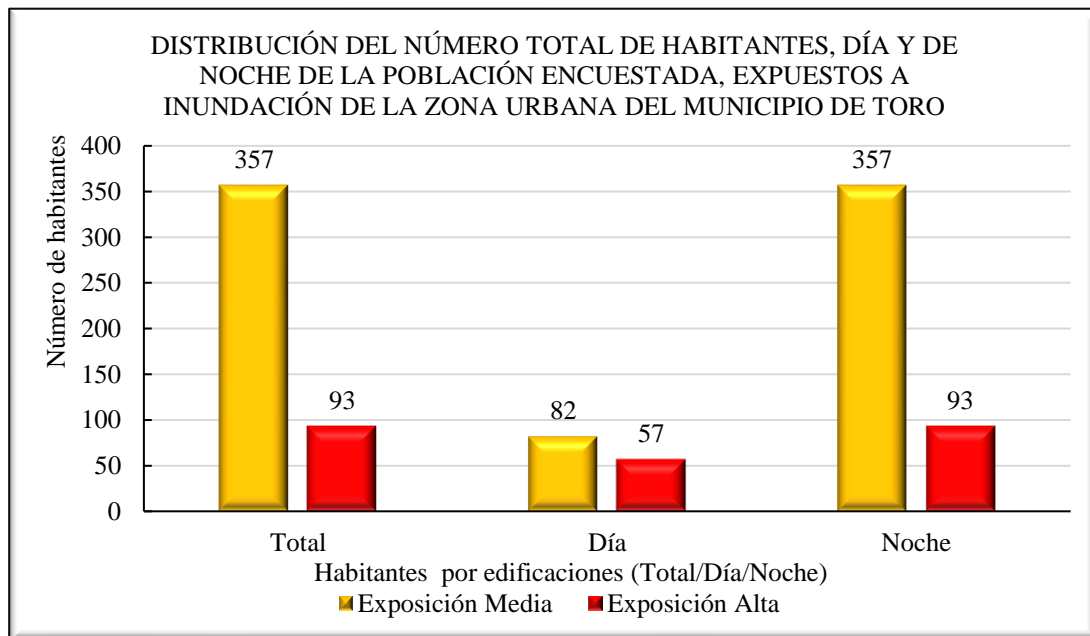


Figura 8.5. Distribución del número total de habitantes, día y de noche de la población encuestada, expuestos a inundación de la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

8.3.1.1.2. 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.

La Tabla 8.35 y Figura 8.6 , muestra el nivel de exposición en relación con el número de predios y el área que representan. En exposición media se encuentran 84 predios con 43748,95m² de área predial, en exposición alta hay 84 predios con 75108,03 m². De los 168 predios en amenaza alta y media están con el 50 % respectivamente.

Tabla 8.35. Número de predios expuestos a inundación en la zona urbana del municipio de Toro

| NIVEL DE EXPOSICIÓN | ÁREA M ² | NÚMERO DE PREDIOS |
|---------------------|---------------------|-------------------|
| Media | 43748,95 | 84 |
| Alta | 75108,03 | 84 |
| Total | 118856,98 | 168 |

Fuente: elaboración propia

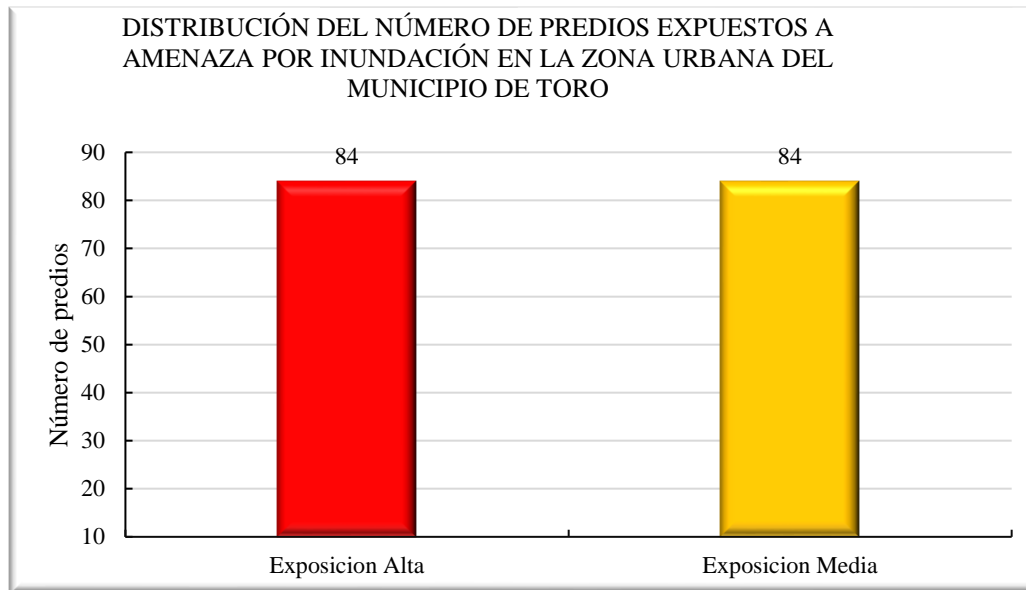


Figura 8.6. Distribución del número de predios expuestos a inundación en la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

En las zonas de exposición en media y alta para el fenómeno de inundación hay un total de 169 predios, de los cuales: 10 predios se encuentran sin construcción y 159 predios presentan por lo menos una construcción. En la Tabla 8.36 se presenta el número de edificaciones totales presentes en los predios.

Tabla 8.36. Número de predios sin edificaciones, con edificaciones y número de edificaciones expuestos a inundación en el área urbana del municipio de Toro

| NIVEL DE EXPOSICIÓN | PREDIOS SIN EDIFICACIONES | PREDIOS CON EDIFICACIONES | EDIFICACIONES |
|---------------------|---------------------------|---------------------------|---------------|
| Media | 2 | 76 | 89 |
| Alta | 8 | 66 | 70 |
| Total | 10 | 142 | 159 |

Fuente: elaboración propia.

De acuerdo con los resultados anteriores, en la Tabla 8.37, se muestra el número de edificaciones (159) por nivel de exposición y el barrio al que pertenece. El barrio El Centro con 79 edificaciones es el más representativo, 43 edificaciones están en exposición media y 36 en exposición alta. Seguido del barrio, Santa Helena, con 43 edificaciones, 29 de éstas en exposición media y 14 en exposición alta. El barrio La Troncada, con 22 edificaciones expuestas, 5 en exposición media y 17 en exposición alta, El Lázaro con 9 edificaciones en exposición media, El Chanco con 5 edificaciones 2 en media y 3 en alta y El Ballano con una edificación en exposición media.

Tabla 8.37. Número de edificaciones por barrio expuestos por inundación en el área urbana del municipio de Toro

| BARRIOS | NÚMERO DE EDIFICACIONES | | TOTAL |
|--------------|-------------------------|-----------------|------------|
| | EXPOSICION MEDIA | EXPOSICION ALTA | |
| El Lázaro | 9 | 0 | 9 |
| Santa Elena | 29 | 14 | 43 |
| El Ballano | 1 | 0 | 1 |
| La Troncada | 5 | 17 | 22 |
| Centro | 43 | 36 | 79 |
| El Chanco | 2 | 3 | 5 |
| Total | 89 | 70 | 159 |

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, y con lo observado en el reconocimiento de la zona de estudio, se acotaron las siguientes tipologías (Tabla 8.38).

Tabla 8.38. 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 híbridas 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 8.39 y Figura 8.7, muestra el número de edificaciones con su respectiva tipología de edificación y el nivel de exposición al fenómeno de inundación. La mampostería no reforzada es la principal tipología de construcción, con 92 edificaciones, 51 en exposición media y 41 en exposición alta. Es seguido de tipología madera, tapia y bahareque, con 25 edificaciones en exposición media y 21 en exposición alta, para un total de 46 edificaciones. Igualmente, se obtuvo 19 edificaciones con tipología mampostería confinada y 6 de otro tipo constructivo.

Tabla 8.39. Tipología de las edificaciones expuestas a inundación en el área urbana del municipio de Toro

| TIPO DE CONSTRUCCIÓN | NÚMERO DE EDIFICACIONES | | TOTAL |
|--------------------------|-------------------------|-----------------|------------|
| | EXPOSICIÓN MEDIA | EXPOSICIÓN ALTA | |
| Mampostería no reforzada | 51 | 41 | 92 |
| Mampostería confinada | 12 | 7 | 19 |
| Madera, tapia, bahareque | 25 | 21 | 46 |
| Otro | 1 | 1 | 2 |
| Total | 89 | 70 | 159 |

Fuente: elaboración propia

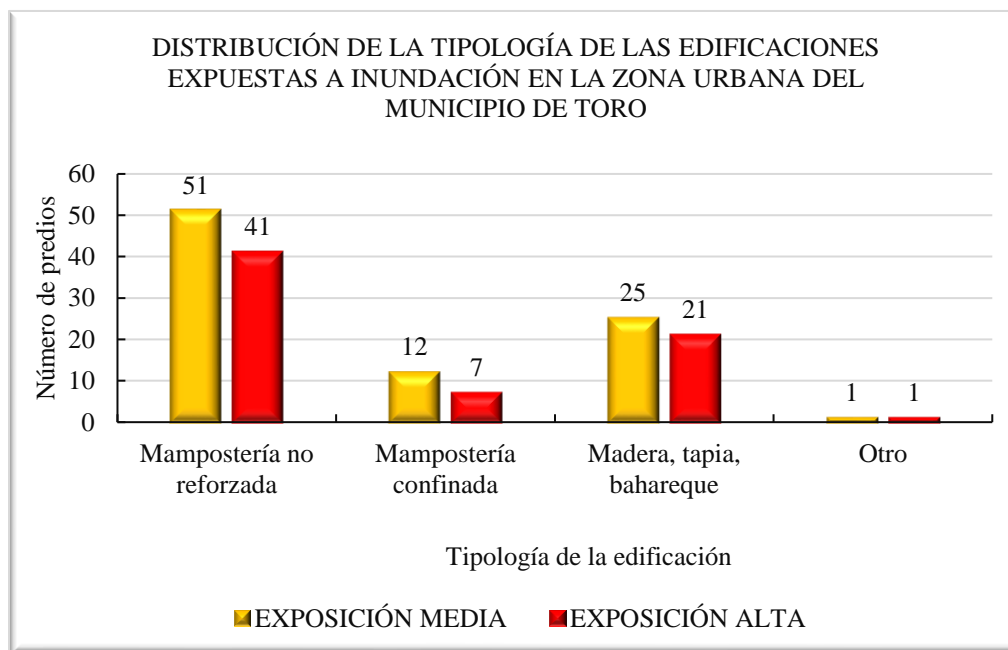


Figura 8.7. Distribución de la tipología de las edificaciones expuestas a inundación en la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

- **Estado de conservación de la edificación**

El estado de conservación de las edificaciones se clasifica en bueno, daños moderados y daños graves. En estado bueno se encontraron 37 edificaciones en exposición media y 30 en exposición alta. Con daños moderados 72 edificaciones, 41 en exposición media y 31 en alta. En el estado de conservación con daños graves, se encuentran 22 edificaciones, 13 en media y 9 en alta (Tabla 8.40 y Figura 8.8).

Tabla 8.40. Estado de conservación de las edificaciones expuestas a inundación en el área urbana del municipio de Toro

| ESTADO DE CONSERVACIÓN | NÚMERO DE EDIFICACIONES | | TOTAL |
|------------------------|-------------------------|-----------------|------------|
| | EXPOSICIÓN MEDIA | EXPOSICIÓN ALTA | |
| Bueno | 36 | 30 | 66 |
| Daños Moderados | 40 | 31 | 71 |
| Daños Graves | 13 | 9 | 22 |
| Total | 89 | 70 | 159 |

Fuente: elaboración propia.

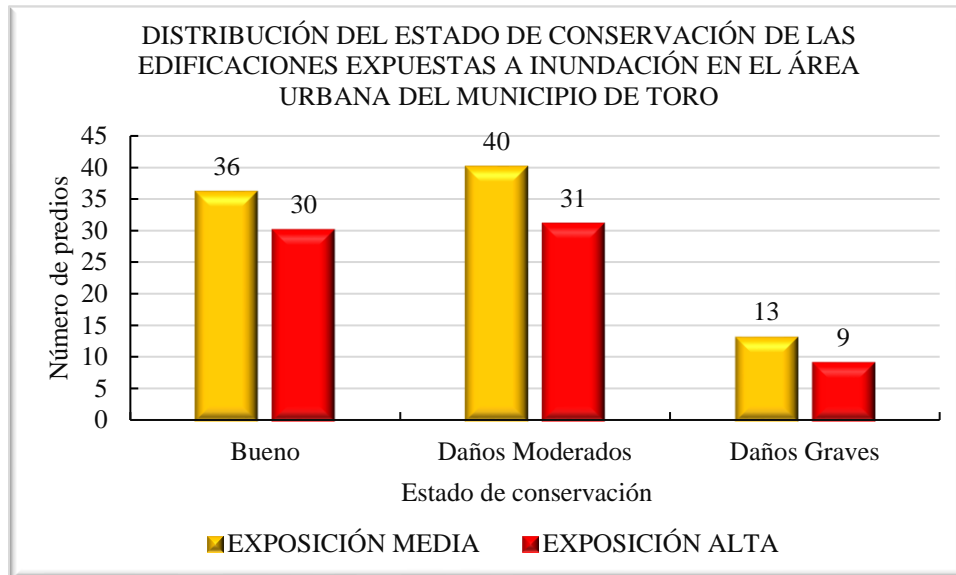


Figura 8.8. Distribución del estado de conservación de las edificaciones expuestas a inundación en la zona urbana del municipio de Toro

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, de los cuales el que obtuvo mayor frecuencia fue el de 30 – 49 años, con 53 edificaciones, de las cuales 33 están en exposición media y 20 en exposición alta. En los rangos menores a 20 años, de 20- 29 y de 50 – 79, se obtuvieron 31 edificaciones para cada rango. En el rango con edad mayor o igual a 80 años, hay 15 edificaciones del total (Tabla 8.41 y Figura 8.9).

Tabla 8.41. Edad o tiempo de servicio de las edificaciones expuestas a inundación en el área urbana del municipio de Toro

| RANGO DE EDAD O TIEMPO DE SERVICIO | NÚMERO DE EDIFICACIONES | | TOTAL |
|------------------------------------|-------------------------|-----------------|------------|
| | EXPOSICIÓN MEDIA | EXPOSICIÓN ALTA | |
| <20 | 20 | 11 | 31 |
| [20 ; 29] | 14 | 17 | 31 |
| [30 ; 49] | 32 | 21 | 53 |
| [50 ; 79] | 17 | 14 | 31 |
| >=80 | 6 | 7 | 13 |
| Total | 89 | 70 | 159 |

Fuente: elaboración propia.

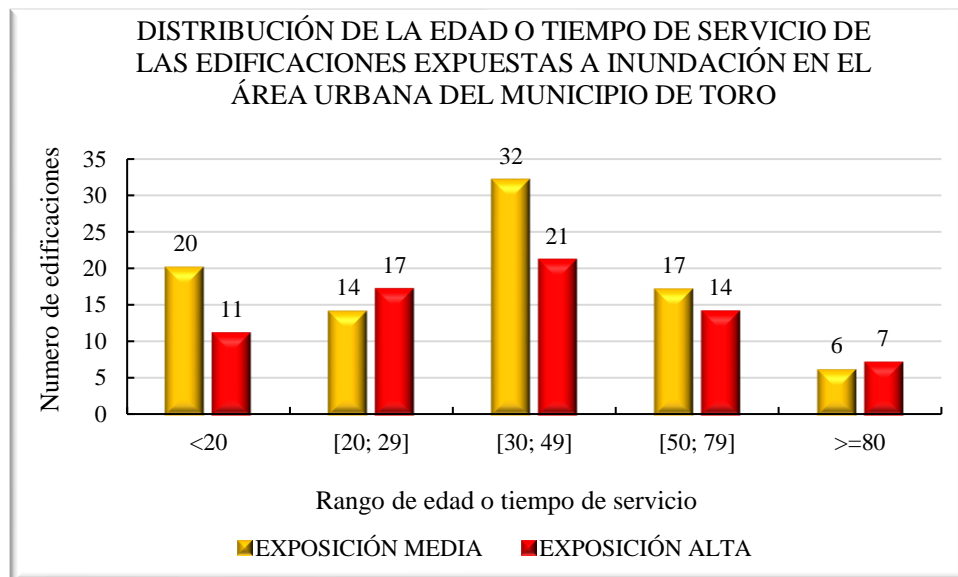


Figura 8.9. Distribución de la edad de las edificaciones expuestas a inundación en el área urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

- **Altura de la edificación**

En relación con el número de pisos de las edificaciones, la altura de la edificación más representativa fue de 1 piso con 136 edificaciones, 75 de ellas en exposición media y los 61 restantes en exposición alta, 22 edificaciones con 2 pisos y solo una edificación en exposición alta con 3 pisos (Tabla 8.42 y Figura 8.10).

Tabla 8.42. Número de pisos de las edificaciones expuestas a inundación en el área urbana del municipio de Toro

| NÚMERO DE PISOS | NÚMERO DE EDIFICACIONES | | TOTAL |
|-----------------|-------------------------|-----------------|------------|
| | EXPOSICIÓN MEDIA | EXPOSICIÓN ALTA | |
| 1 | 75 | 61 | 136 |
| 2 | 14 | 8 | 22 |
| 3 | 0 | 1 | 1 |
| Total | 89 | 70 | 159 |

Fuente: elaboración propia.

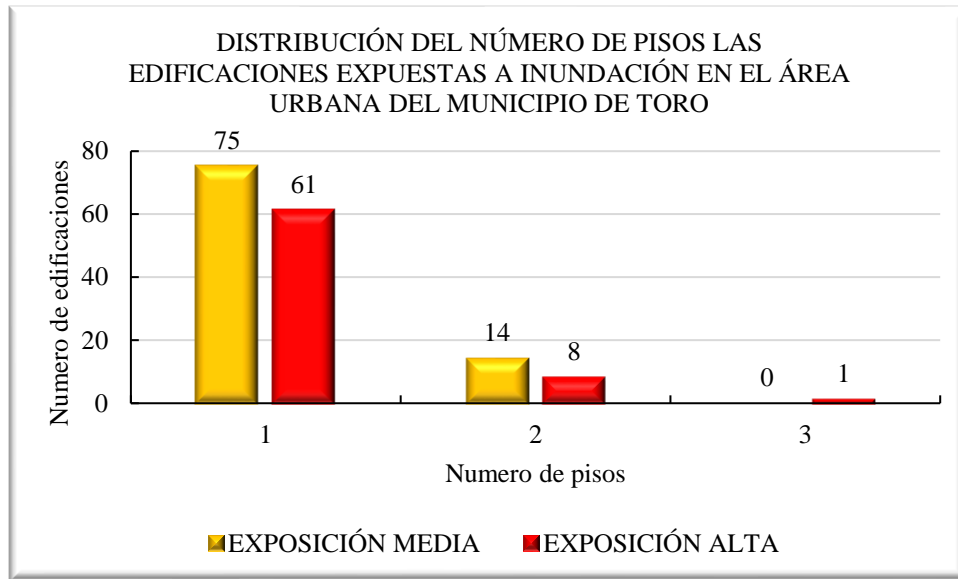


Figura 8.10. Distribución del número de pisos las edificaciones expuestas a inundación en el área urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

La Figura 8.11 muestra el comportamiento espacial de la exposición estructural por el fenómeno de inundación en la zona urbana del municipio de Toro.

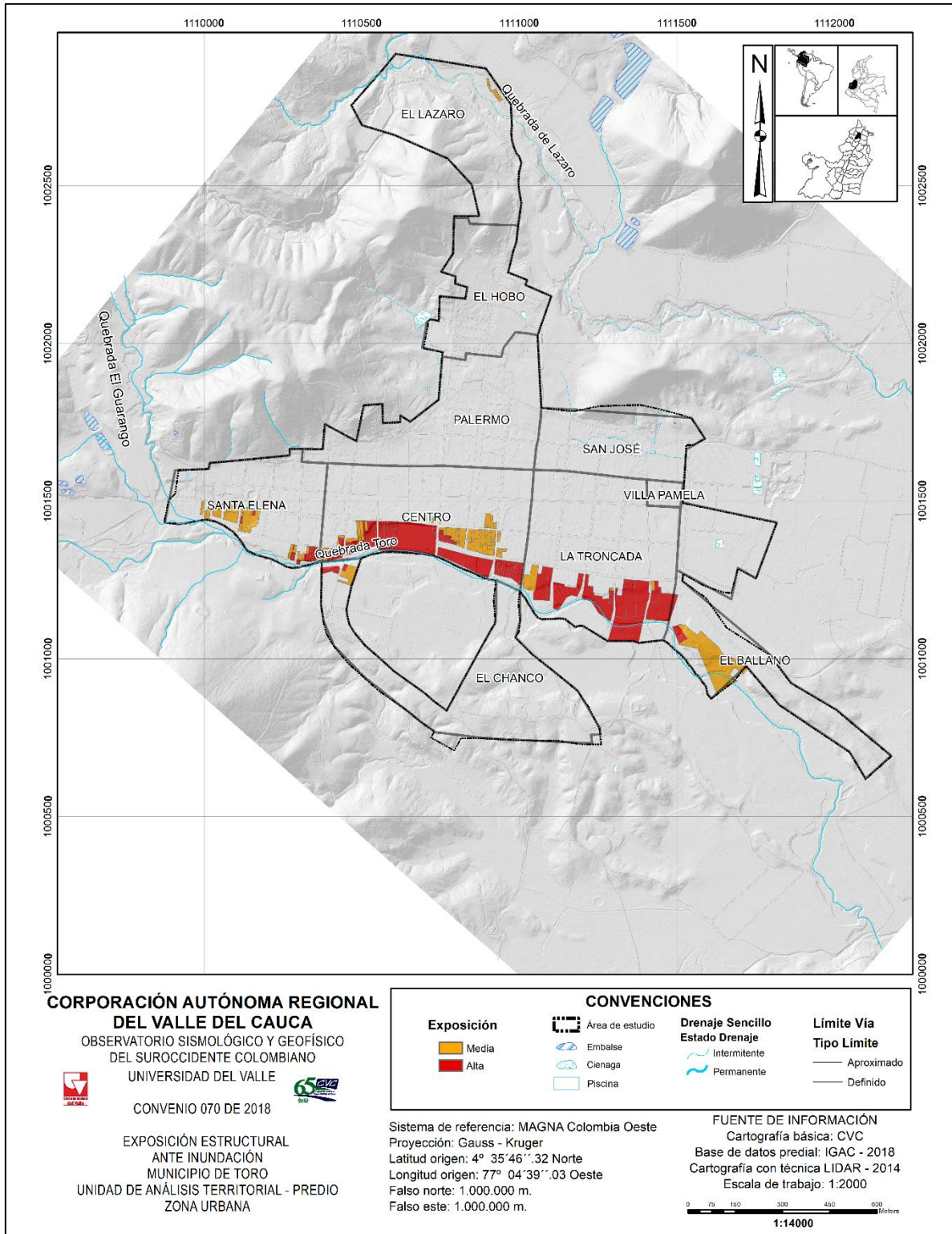


Figura 8.11. Mapa de exposición estructural ante inundación, zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

8.3.1.1.3. 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 y alcantarillado y red eléctrica (cantidad de postes) se encuentran expuestas ante la posible ocurrencia de una inundación.

La Tabla 8.43 y la Figura 8.12 contiene la información de las líneas vitales en las zonas de exposición media y alta por inundación. Para red vial se tiene 959,292 m que se distribuye en 550,081m en exposición media y 409,211 m en exposición alta. La red de acueducto con 3266,705 m distribuidos en media con 2149,541m y alta con 1117,165 m. Y, por último, la red de alcantarillado con 1935,901m en exposición media y 1329,851 en exposición alta.

Tabla 8.43. Líneas vitales expuestas ante inundación de la zona urbana del municipio de Toro

| TIPO DE LÍNEA VITAL | LONGITUD (M) | | TOTAL |
|-----------------------|------------------|-----------------|----------|
| | EXPOSICIÓN MEDIA | EXPOSICIÓN ALTA | |
| Red vial | 550,081 | 409,211 | 959,292 |
| Red de acueducto | 2149,541 | 1117,165 | 3266,705 |
| Red de alcantarillado | 1935,901 | 1320,851 | 3256,751 |

Fuente: elaboración propia.

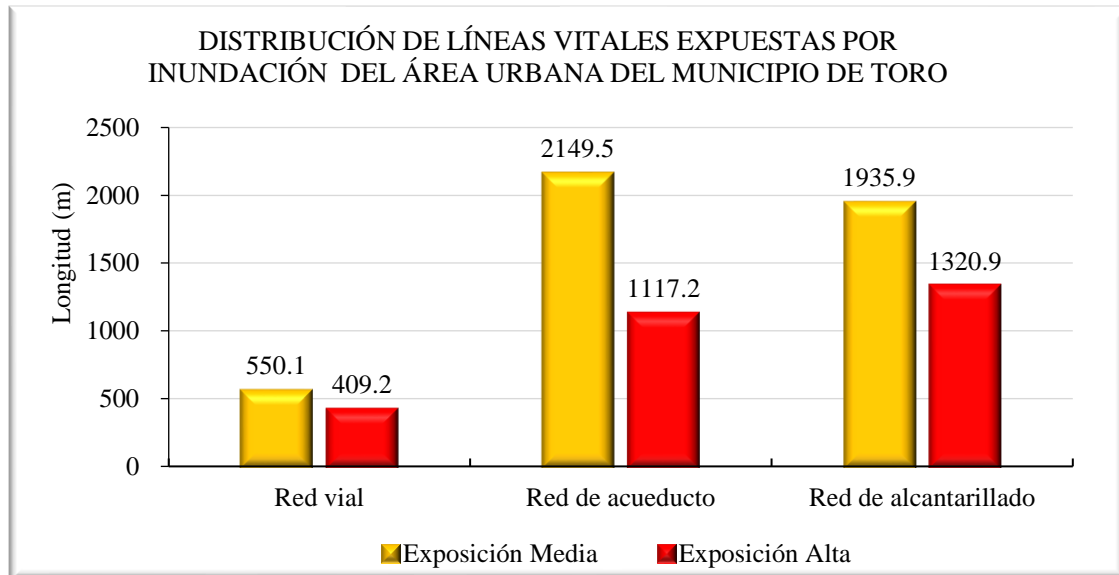


Figura 8.12. Distribución de líneas vitales expuestas ante inundación del área urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

Las Figura 8.13 a 8.15, 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. El barrio Centro es el que mayor número de redes tiene en exposición alta y media. Seguido del barrio La Troncada y en menor medida los barrios Santa Elena, El Chanco y El Lázaro.

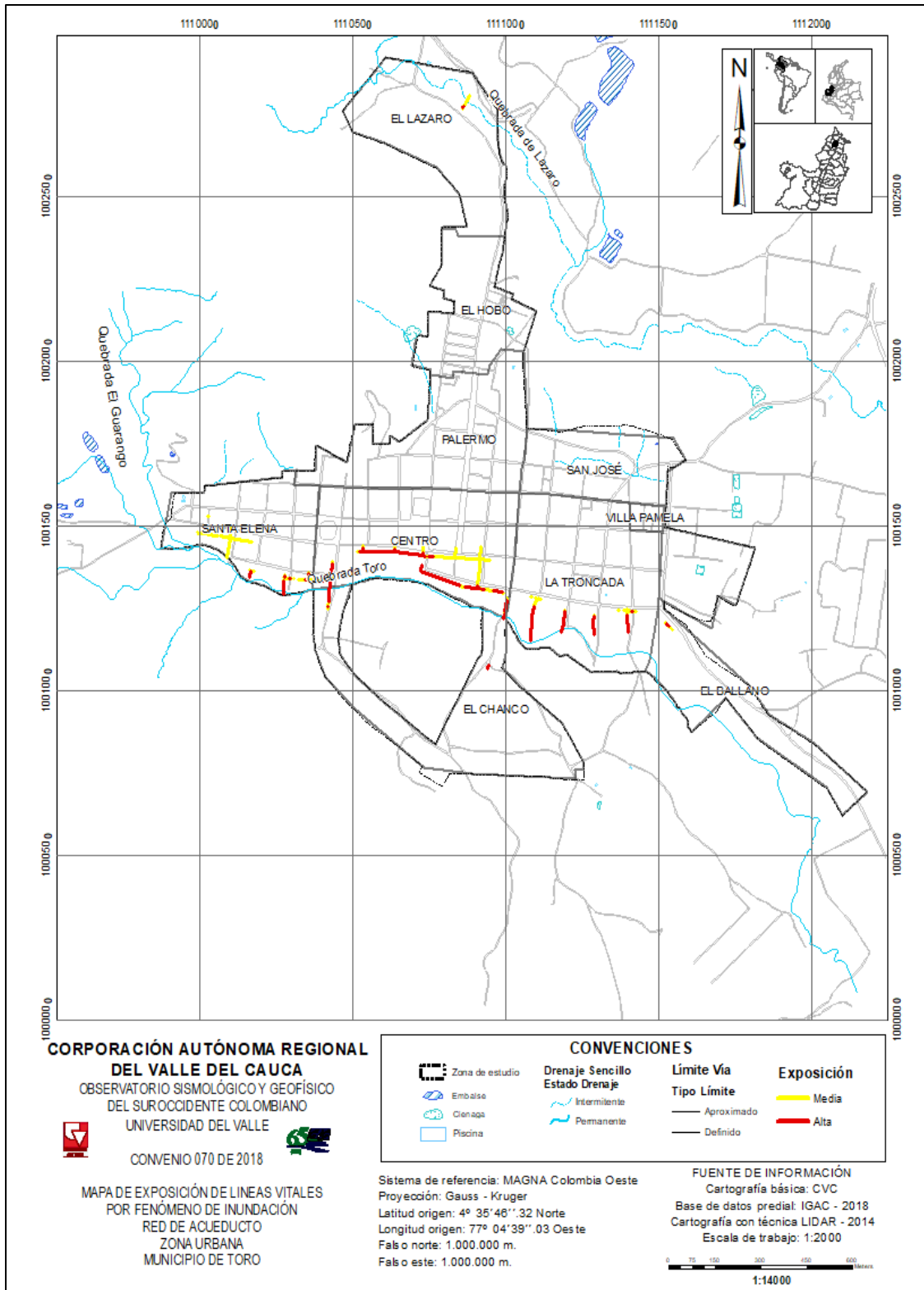


Figura 8.13. Mapa de exposición de líneas vitales, red de acueducto, por fenómeno de inundación, zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

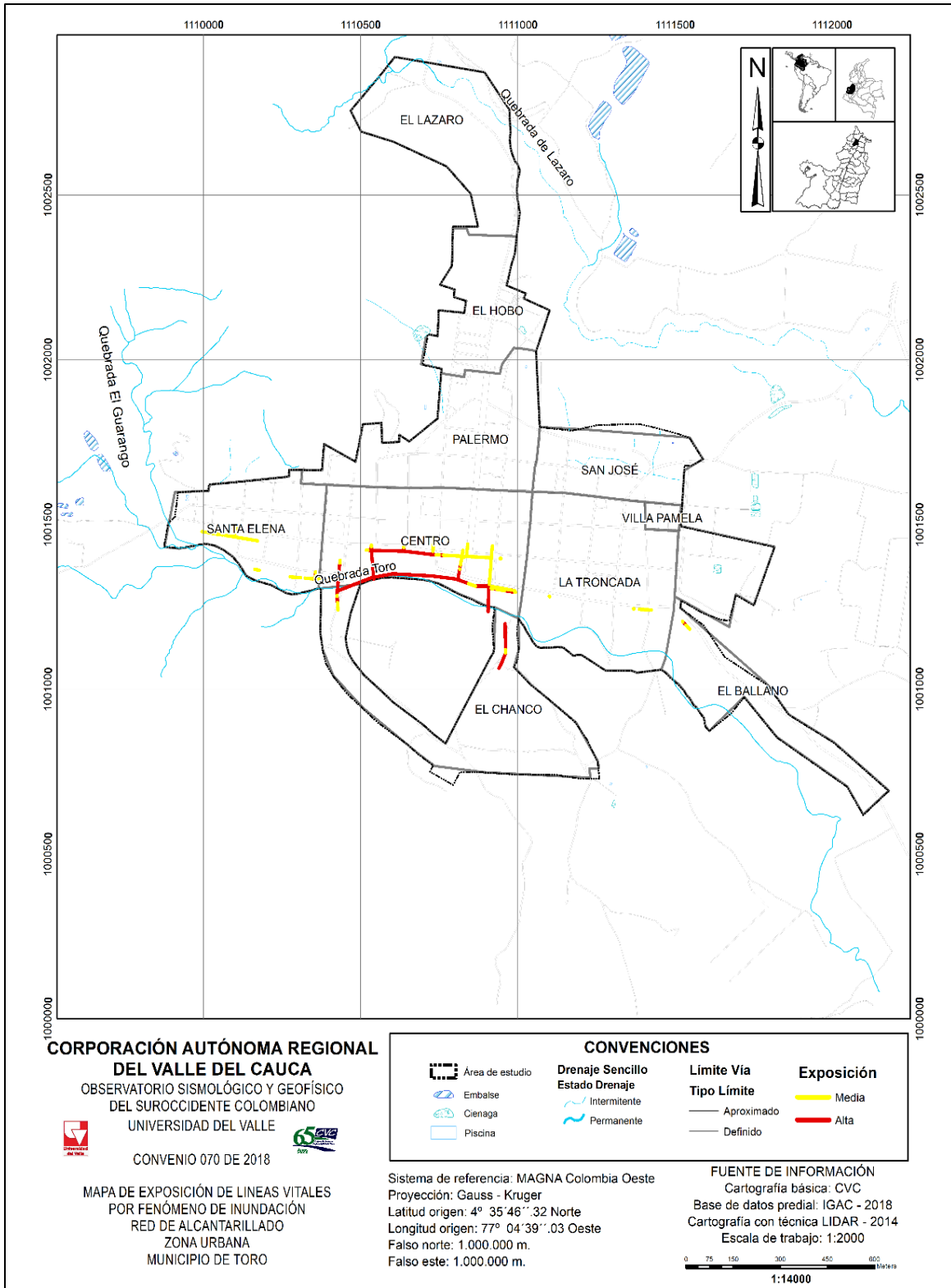


Figura 8.14. Mapa de exposición de líneas vitales, red de alcantarillado, por fenómeno de inundación en la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

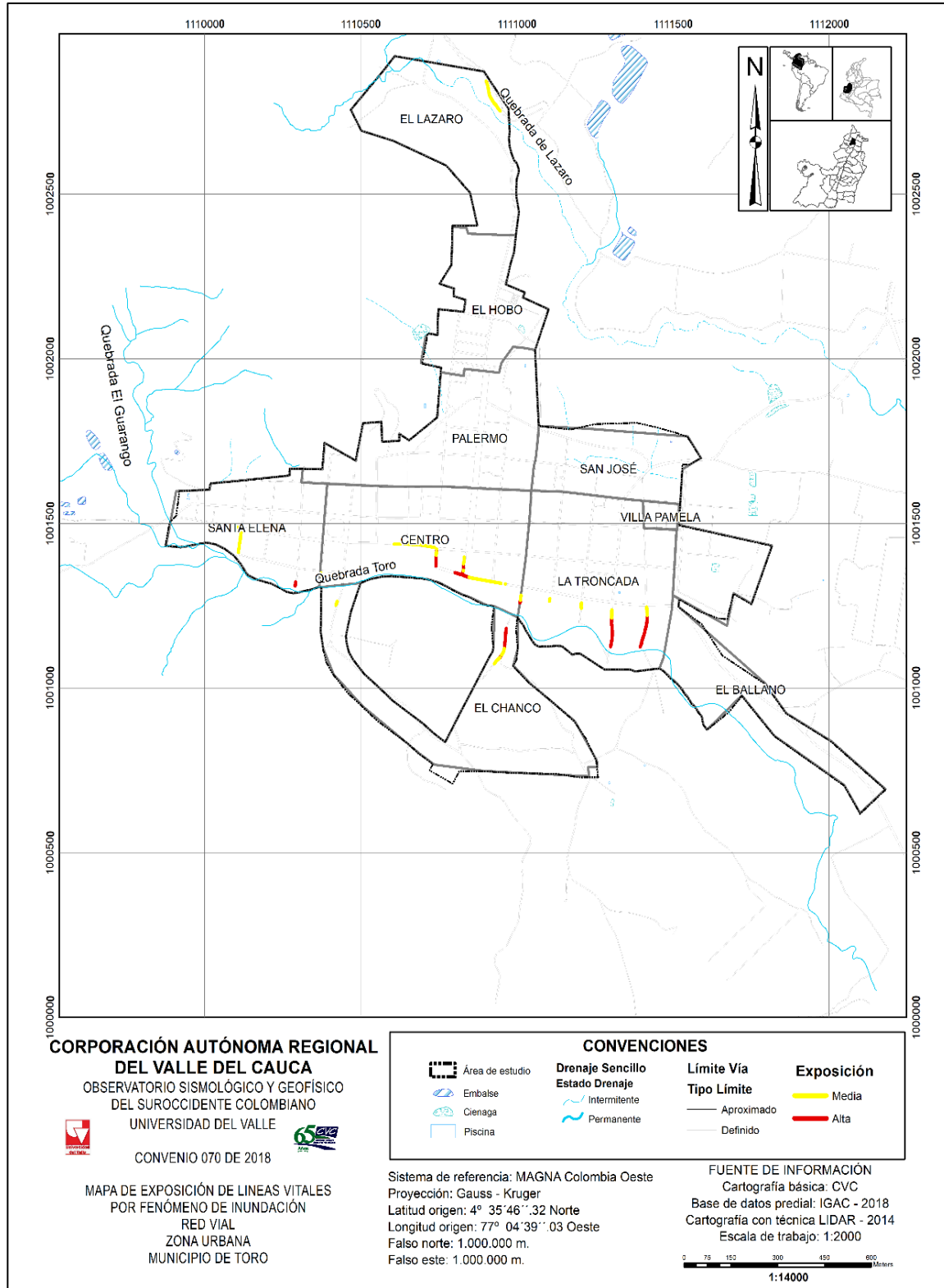


Figura 8.15. Mapa de exposición de líneas vitales, red vial, por fenómeno de inundación zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 8.44 y Figura 8.16, se presenta la distribución de la red eléctrica en relación con las zonas de exposición. En exposición media 34 postes y 17 postes en exposición alta, para un total de 51 postes en exposición por inundación.

Tabla 8.44. Número de postes expuestos de la red eléctrica ante inundación del área urbana del municipio de Toro

| TIPO DE LÍNEA VITAL | NÚMERO DE POSTES | | TOTAL |
|---------------------|------------------|-----------------|-------|
| | EXPOSICIÓN MEDIA | EXPOSICIÓN ALTA | |
| Red eléctrica | 34 | 17 | 51 |

Fuente: elaboración propia.

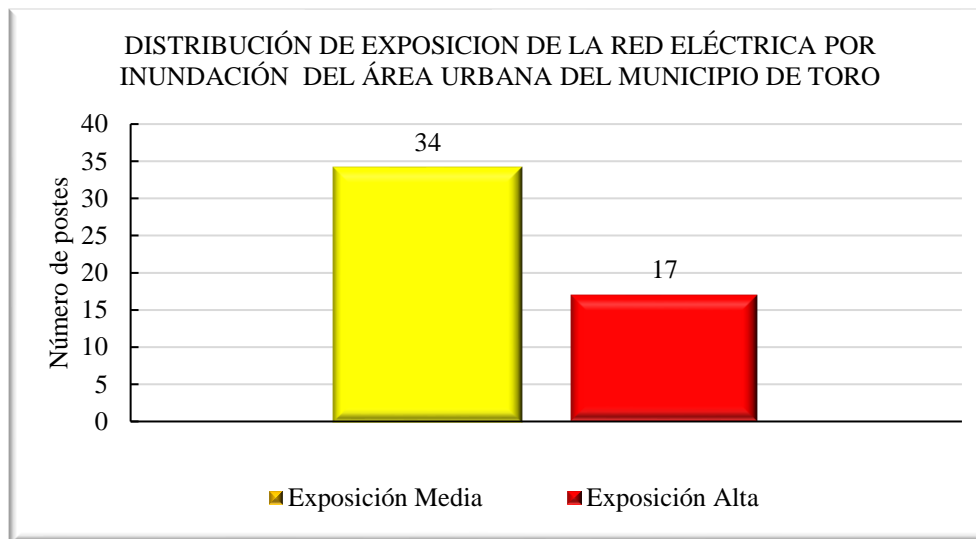


Figura 8.16. Distribución de exposición de la red eléctrica por inundación en el área urbana del municipio de Toro

En la Figura 8.17, se muestra la distribución espacial de la red eléctrica y el nivel de exposición ante el fenómeno de inundación para la zona urbana del municipio de Toro. El mayor número de postes expuestos en gran medida en exposición media, lo tiene el barrio Centro. Seguido del barrio La Troncada y El Chanco. Los barrios Santa Elena y El Lázaro, presentan menor número de postes expuestos.

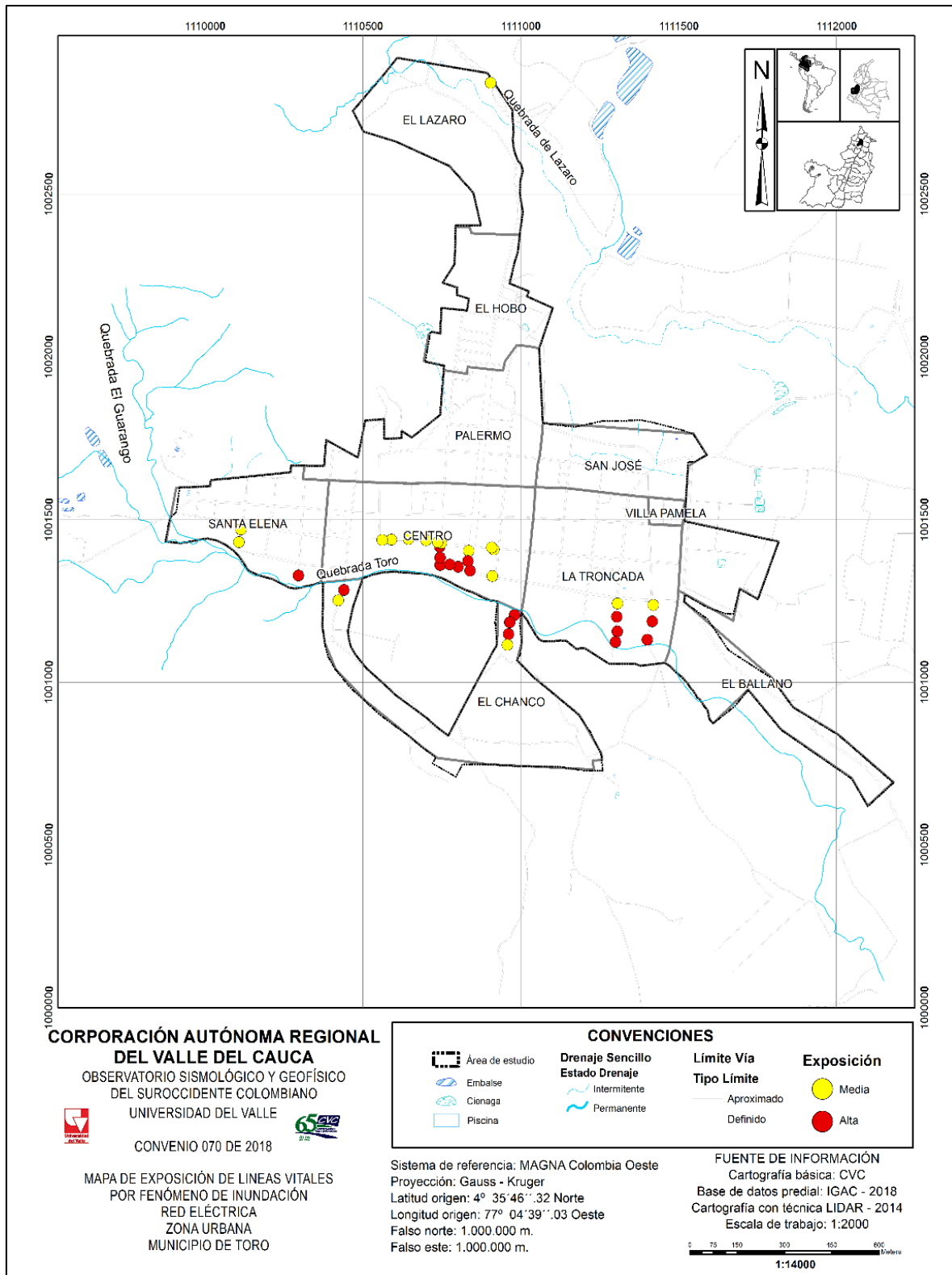


Figura 8.17. Mapa de exposición de líneas vitales, red eléctrica, por fenómeno de inundación en la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia

8.3.1.2. 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.

8.3.1.2.1. 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 -7 m³/s y la profundidad entre 0 a 2 metros que alcanzaría el agua causado por los desbordamientos de las quebradas Toro y El Lázaro, resultado de la modelación hidráulica de este estudio.

Las Figura 8.18 y 8.19, se muestra espacialmente las áreas que pueden ser afectadas por el desbordamiento de las quebradas Toro y El Lázaro.

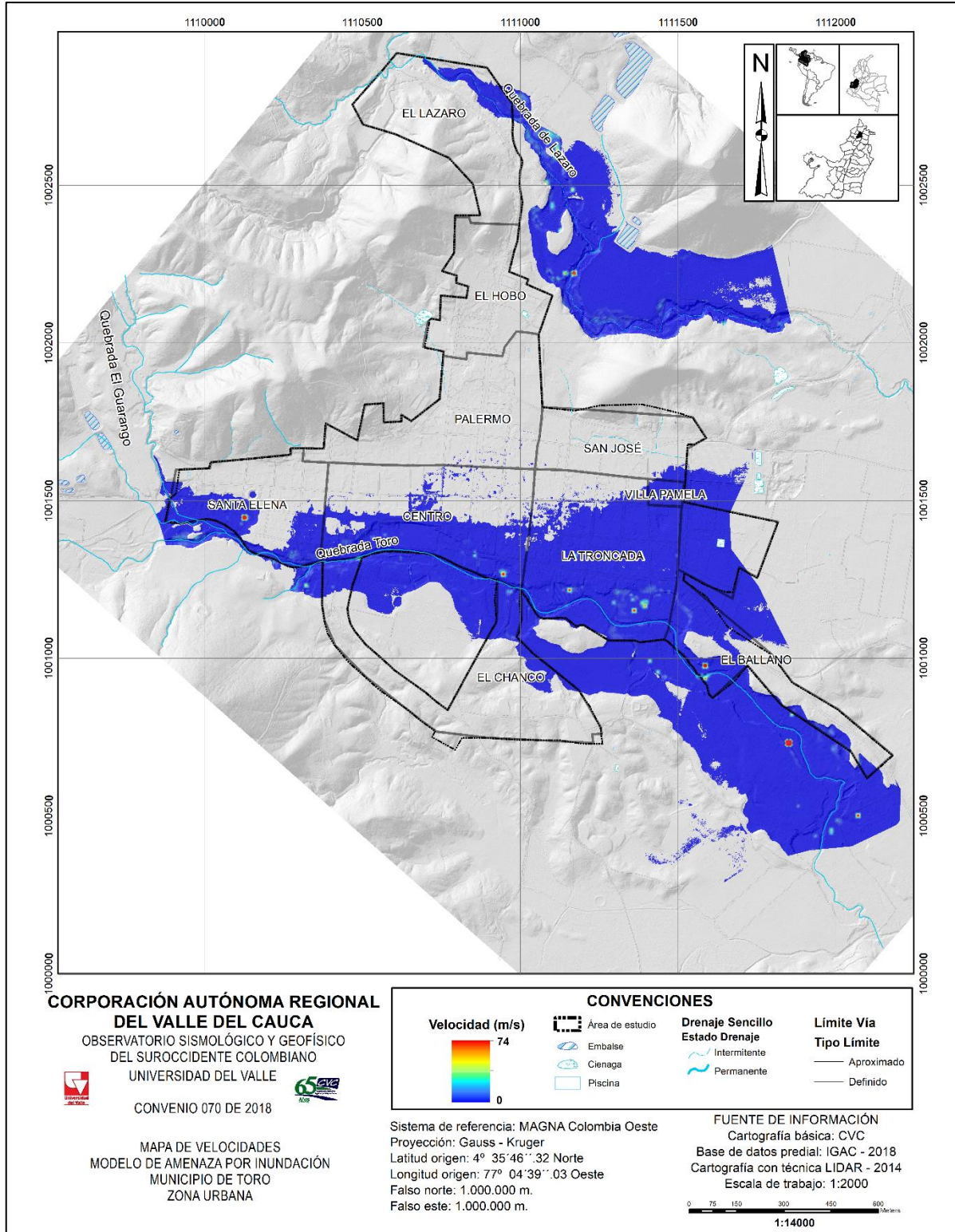


Figura 8.18. Mapa de velocidades modelo de amenaza por inundación área urbana del municipio de Toro
Fuente: elaboración propia.

8.3.1.2.2. 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 8.45 y Figura 8.20, se muestra que el 3.11% de la población presenta un factor de resistencia corporal medio y el 96.86 % un factor de resistencia bajo.

Tabla 8.45. Distribución porcentual del factor de resistencia corporal ante inundación en la zona urbana del municipio de Toro

| FACTOR DE RESISTENCIA CORPORAL | PORCENTAJE DE POBLACIÓN |
|--------------------------------|-------------------------|
| Media | 3,11% |
| Baja | 96,89% |

Fuente: elaboración propia.

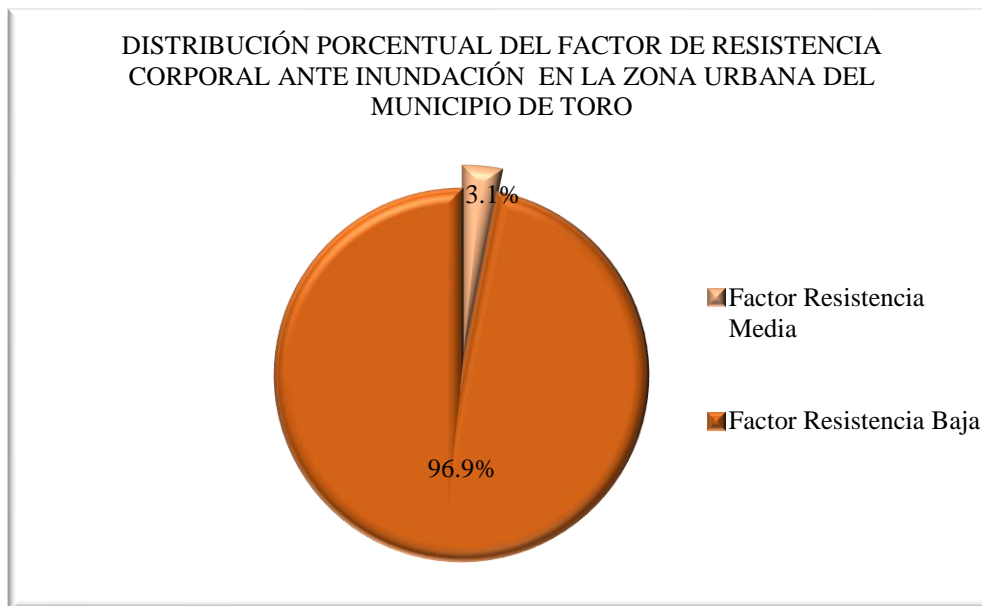


Figura 8.20. Distribución porcentual del factor de resistencia corporal ante inundación en la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

La Figura 8.21, muestra la distribución espacial del factor de resistencia corporal ante inundación en la zona urbana del municipio de Toro. Donde se puede apreciar que en el barrio Centro la resistencia corporal varía de alta a baja, con mayor incidencia la resistencia baja. En los barrios la Troncada, Santa Elena, El Chanco y Lázaro la resistencia corporal es principalmente baja.

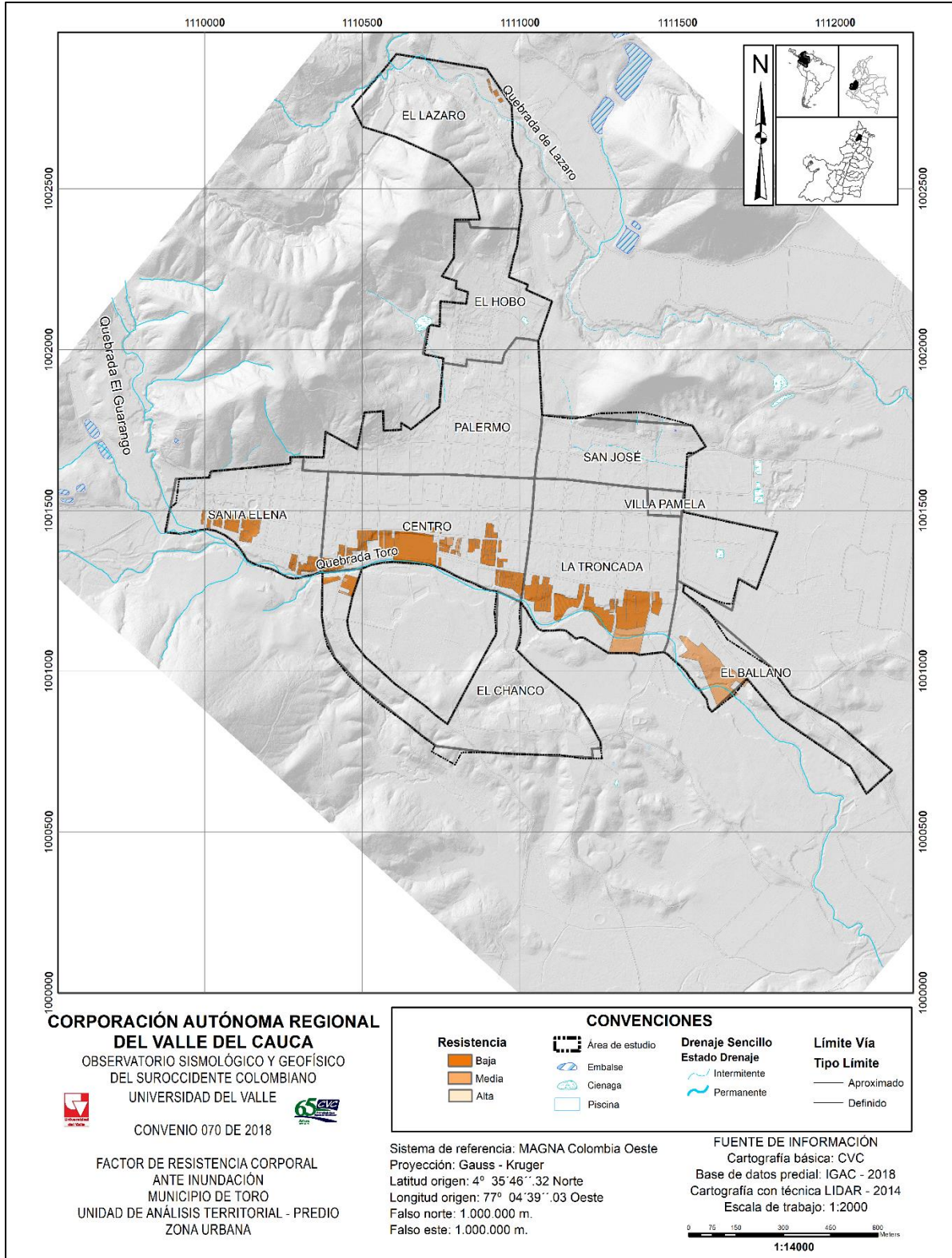


Figura 8.21. Factor de resistencia corporal ante inundación, zona urbana del municipio de Toro
Fuente: elaboración propia.

- **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 de la construcción.

Las 159 edificaciones analizadas arrojaron, de manera general, un factor de resistencia nivel bajo. A continuación, el análisis de cada uno de los factores que conlleva a este resultado.

- **Tipología de la edificación**

La tipología más representativa fue mampostería no reforzada con 93 edificaciones, seguido de la tipología madera, tapia y bahareque con 45 edificaciones. Por último, mampostería confinada con 19 edificaciones (Tabla 8.46 y Figura 8.22).

Tabla 8.46. Número de edificaciones según tipología de construcción

| TIPO DE CONSTRUCCIÓN | NÚMERO DE EDIFICACIONES |
|--------------------------|-------------------------|
| Mampostería no reforzada | 93 |
| Mampostería confinada | 19 |
| Madera, tapia, bahareque | 45 |
| Otro | 2 |
| Total | 159 |

Fuente: elaboración propia.

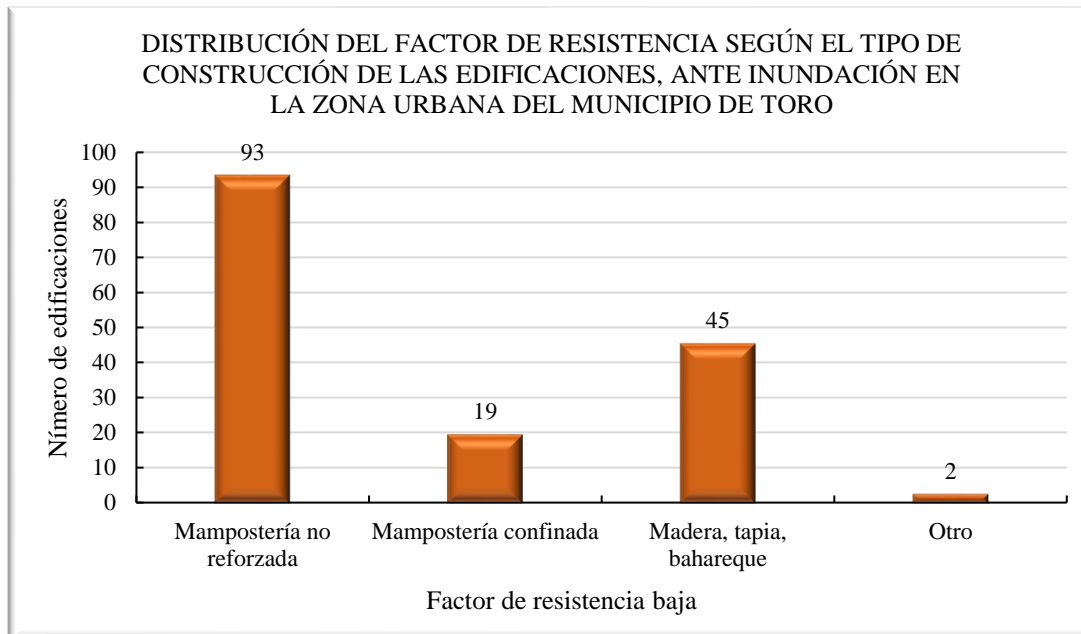


Figura 8.22. Distribución del factor de resistencia según el tipo de construcción de las edificaciones, ante inundación en la zona urbana del municipio de Toro

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 8.47 se presenta que en estado bueno se obtuvo 67 edificaciones. Con estado de conservación daños moderados 71 edificaciones y 21 edificaciones con daños graves (Figura 8.23).

Tabla 8.47. Número de edificaciones según estado de conservación

| ESTADO DE CONSERVACIÓN | NÚMERO DE EDIFICACIONES |
|------------------------|-------------------------|
| Bueno | 67 |
| Daños Moderados | 71 |
| Daños Graves | 21 |
| Total | 159 |

Fuente: elaboración propia.

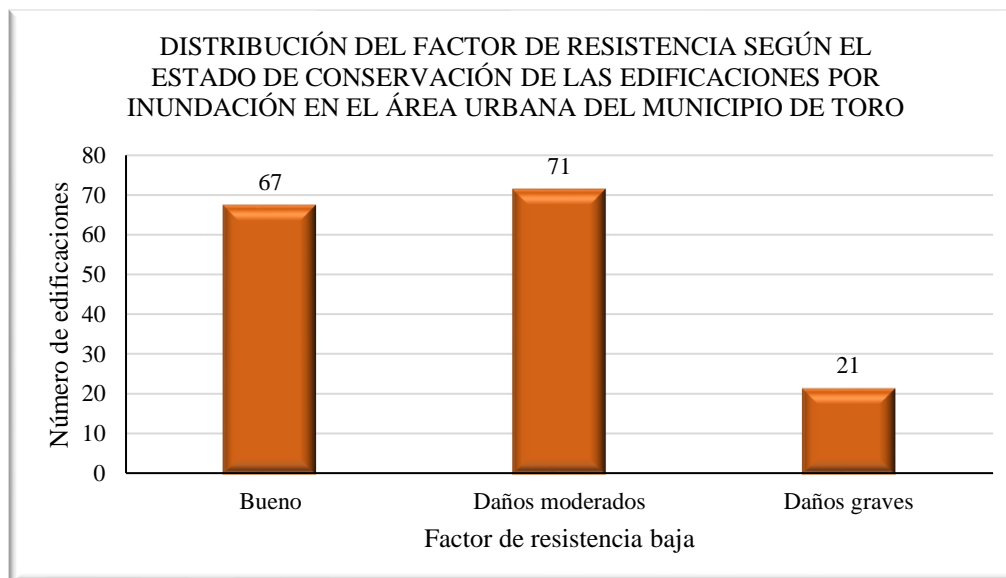


Figura 8.23. Distribución del factor de resistencia según el estado de conservación de las edificaciones ante inundación en la zona urbana del municipio de Toro

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 8.48, donde se estableció por rangos. Se encontró que el rango de edad [30; 49] tiene 53 edificaciones. En los rangos de <20, 20- 29 y 50-79 años se obtuvieron 31 edificaciones respectivamente. Y el rango con edad mayor o igual a 80 corresponde a 13 edificaciones del total (Figura 8.24).

Tabla 8.48. Número de edificaciones según la edad

| RANGO DE EDAD | NÚMERO DE EDIFICACIONES |
|---------------|-------------------------|
| <20 | 31 |
| [20 - 29] | 31 |
| [30 - 49] | 53 |
| [50 - 79] | 31 |
| >=80 | 13 |
| Total | 159 |

Fuente: elaboración propia

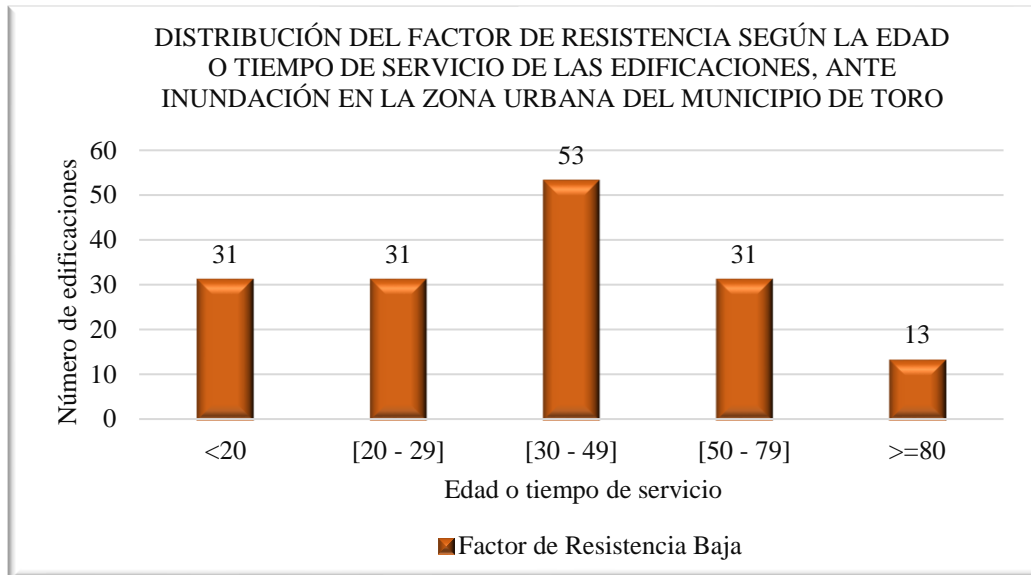


Figura 8.24. Distribución del factor de resistencia según la edad o tiempo de servicio de las edificaciones, ante inundación en la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

- **Altura de la edificación**

El factor de resistencia según la altura de la edificación señala que 136 edificaciones son de 1 pisos. 22 edificaciones de 2 pisos y tan solo una edificación de 3 pisos (Tabla 8.49 y Figura 8.25).

Tabla 8.49. Número de edificaciones según su altura

| NÚMERO DE PISOS | NÚMERO DE EDIFICACIONES |
|-----------------|-------------------------|
| 1 | 136 |
| 2 | 22 |
| 3 | 1 |
| Total | 159 |

Fuente: elaboración propia.

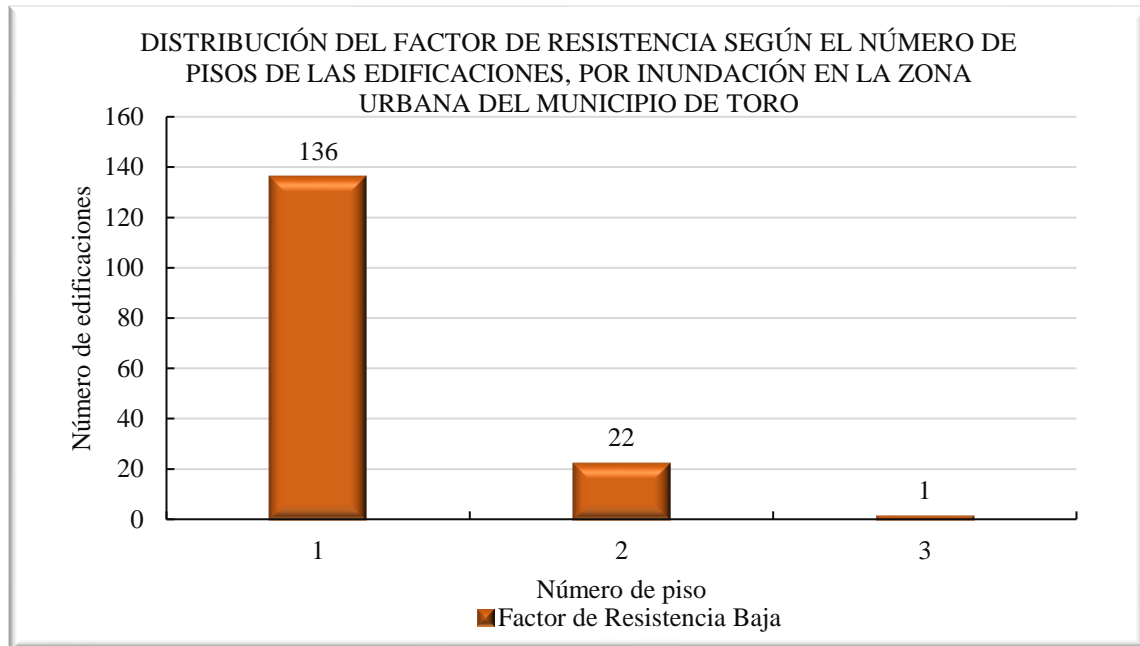


Figura 8.25. Distribución del factor de resistencia según el número de pisos de las edificaciones, ante inundación en la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

La Figura 8.26, muestra la distribución espacial del factor de resistencia estructural en las edificaciones por inundación en la zona urbana del municipio de Toro Los barrios Centro, La Troncada, El Lázaro, El Chanco y Santa Elena, presentan factor de resistencia baja.

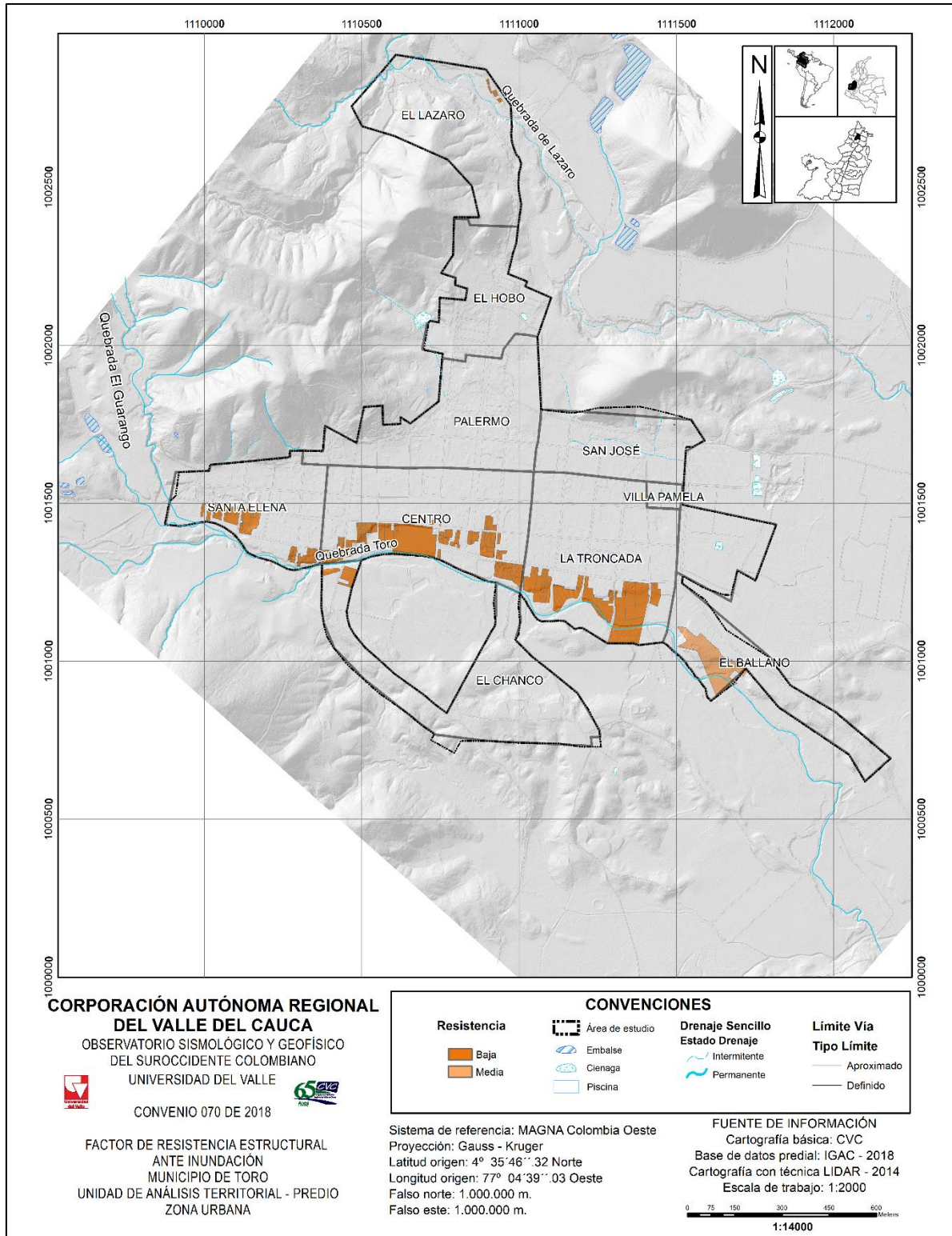


Figura 8.26. Factor de resistencia estructural ante inundación, zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

8.3.1.2.3. Factor de resistencia de líneas vitales

En el municipio de Toro, 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, tal como se mencionó en la metodología, su abordaje es planteado para redes locales, conectadas directamente con la vivienda. Para redes más grandes y de mayor jerarquía se requieren estudios específicos a detalle.

- **Factor de resistencia red vial**

De acuerdo a lo planteado en la metodología, el análisis de la red vial está en función de su ancho y del tipo de material.

La Tabla 8.50, muestra los resultados de factor de resistencia de la red vial según su material. . En factor de resistencia media se obtuvo 570,32m de longitud de la totalidad de la red vial, donde 434,90m tiene por tipo de material concreto y 135,41m son de red de material destapada. Mientras que, para factor de resistencia baja, se tiene 388,98m, donde 11,37m son vías de material de concreto y 377,61m es material destapado (Figura 8.27).

Por otro lado, se obtuvo el factor de resistencia según su distribución de la longitud de la vía y su respectivo ancho. Encontrándose anchos viales de 3m a 8m (Tabla 8.51). De los 570, 32m de red vial con factor de resistencia media, el ancho más representativo es de 5m, con 397,5m de longitud del total de la red vial. Y para la red vial con factor de resistencia baja, representado en 388,98m, el ancho de 3m es el representativo, con 269,5 metros de longitud (Figura 8.28).

Tabla 8.50. Factor de resistencia de la red vial según su material ante inundación, zona urbana del municipio de Toro

| MATERIAL DE LA RED VIAL | LONGITUD (M) | | |
|----------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------|
| | FACTOR RESISTENCIA MEDIA | FACTOR RESISTENCIA BAJA | Total |
| Concreto | 434,90 | 11,37 | 446,27 |
| Destapada | 135,41 | 377,61 | 513,02 |
| Total | 570,32 | 388,98 | 959,29 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8.51. Factor de resistencia de la red vial según su ancho(m) ante inundación, zona urbana del municipio de Toro

| ANCHO DE LA RED VIAL | LONGITUD (M) | | |
|-------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------|
| | FACTOR RESISTENCIA MEDIA | FACTOR RESISTENCIA BAJA | TOTAL |
| 3,0 | 0 | 269,5 | 269,54 |
| 4,0 | 0 | 17,5 | 17,54 |
| 4,5 | 0 | 101,9 | 101,89 |
| 5,0 | 397,5 | 0 | 397,53 |
| 6,0 | 160,4 | 0 | 160,41 |
| 8,0 | 12,4 | 0 | 12,37 |
| Total | 570,32 | 388,98 | 959,29 |

Fuente: elaboración propia.

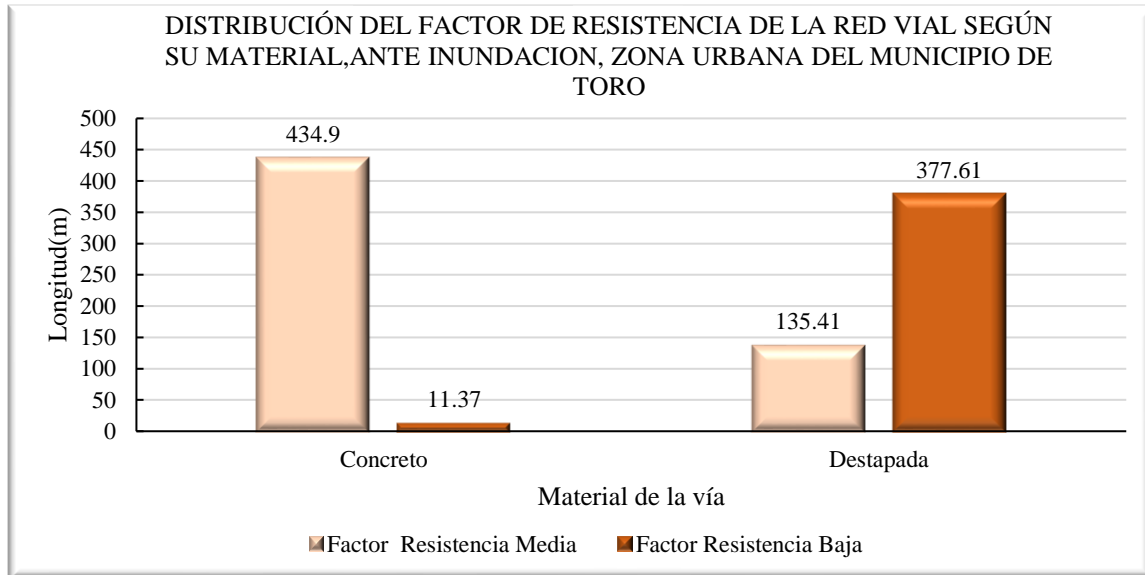


Figura 8.27. Distribución del factor de resistencia de la red vial según su material ante inundación, zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

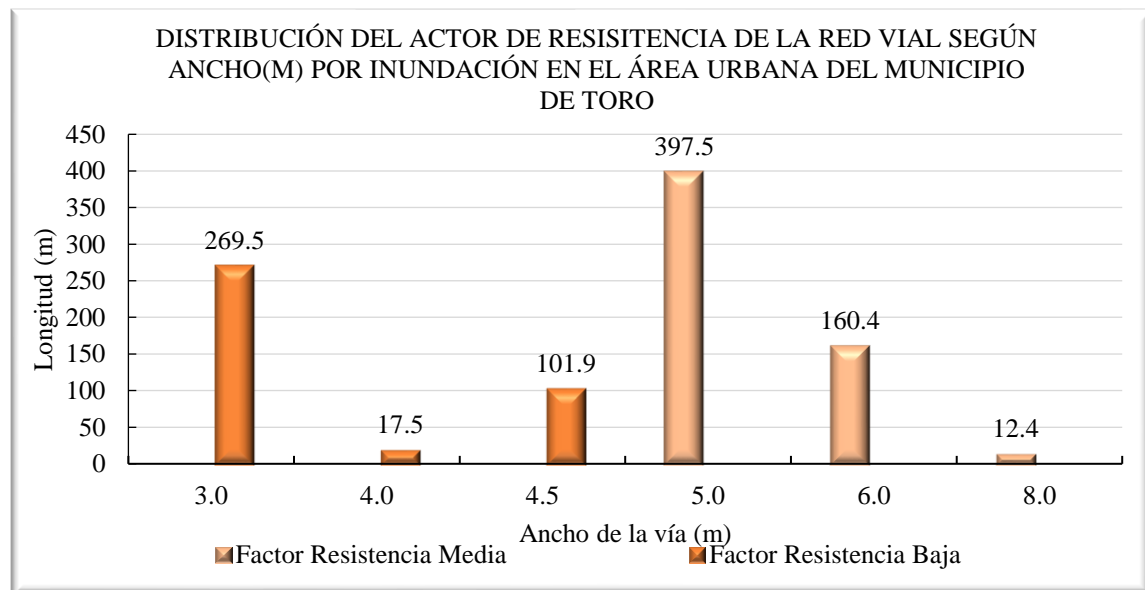


Figura 8.28. Distribución del actor de resistencia de la red vial según ancho(m) por inundación en el área urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

La Figura 8.29, muestra la distribución espacial del factor de resistencia de la red vial por inundación en la zona urbana del municipio de Toro. Los barrios El Lázaro, Centro, La Troncada, El Chanco y Santa Elena, sus tramos viales analizados presentan factor de resistencia media a baja.

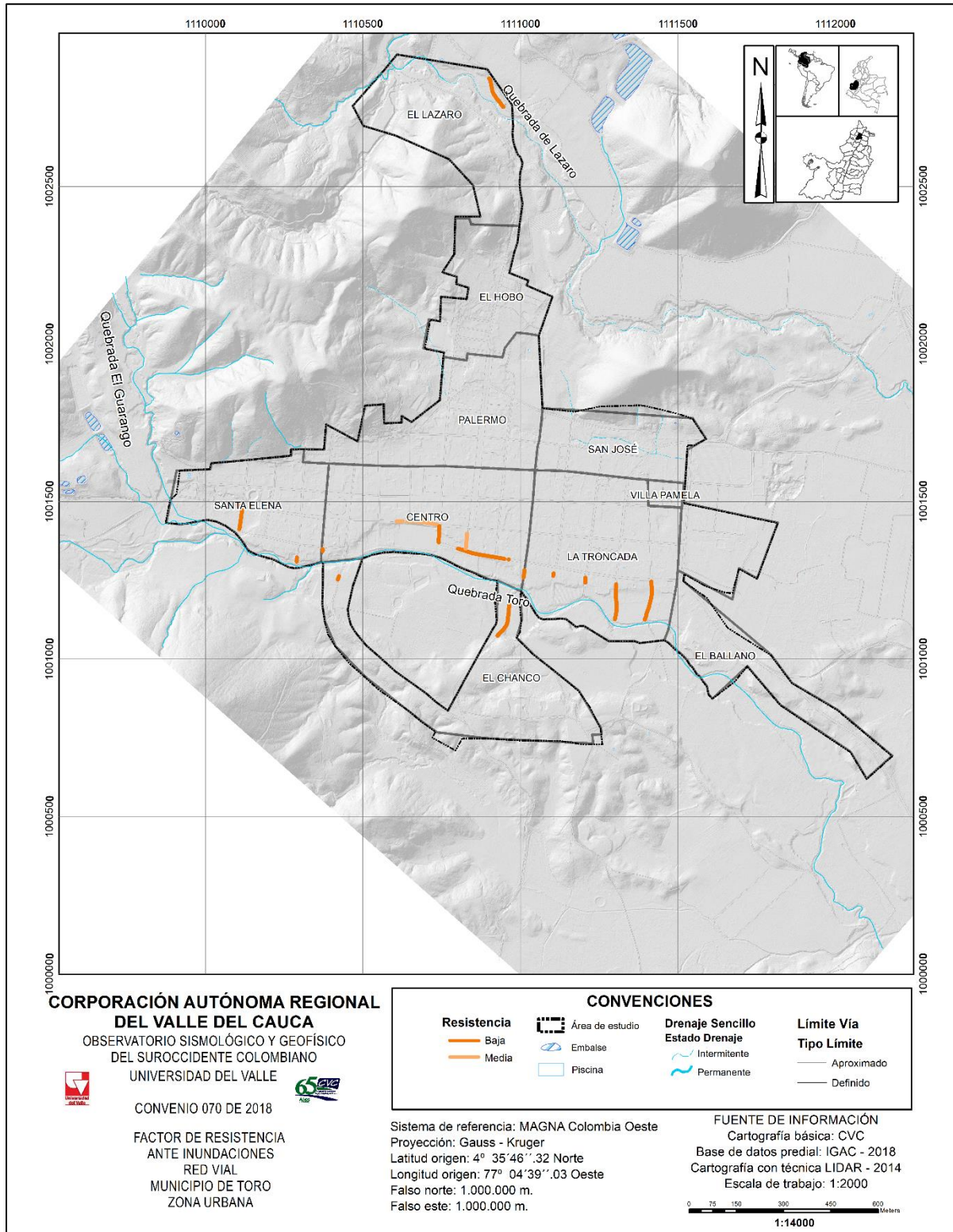


Figura 8.29. Factor de resistencia de la red vial ante inundación, zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

- **Factor de resistencia de la red eléctrica**

De acuerdo a 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.

Los 34 postes arrojaron de manera general un factor de resistencia baja en la Tabla 8.52 y las Figura 8.30 y 8.31 se muestra el número de postes, el tipo de material y la carga nominal. Los 34 postes analizados, 31 son de material concreto con una carga nominal de 5001N y 1 poste en material metálico con una carga nominal de 3432N.

Tabla 8.52. Número de postes y su material

| MATERIAL DEL POSTE | CARGA NOMINAL DEL POSTE | NÚMERO DE POSTES |
|--------------------|-------------------------|------------------|
| Concreto | 5001N | 33 |
| Metálico | 3432N | 1 |
| Total | | 34 |

Fuente: elaboración propia.

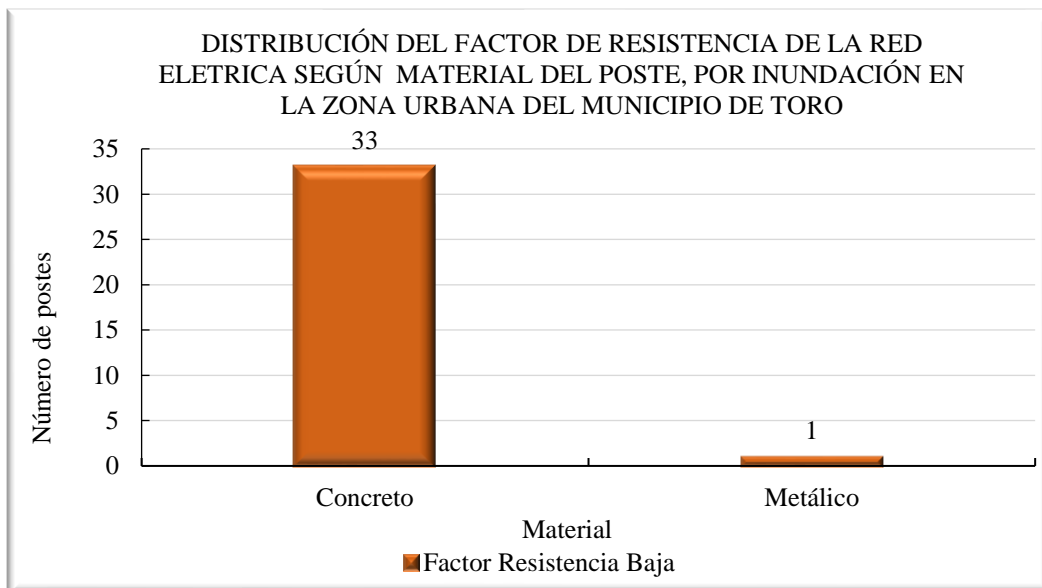


Figura 8.30. Distribución del factor de resistencia de la red eléctrica según material del poste, por inundación en la zona urbana del municipio de Toro

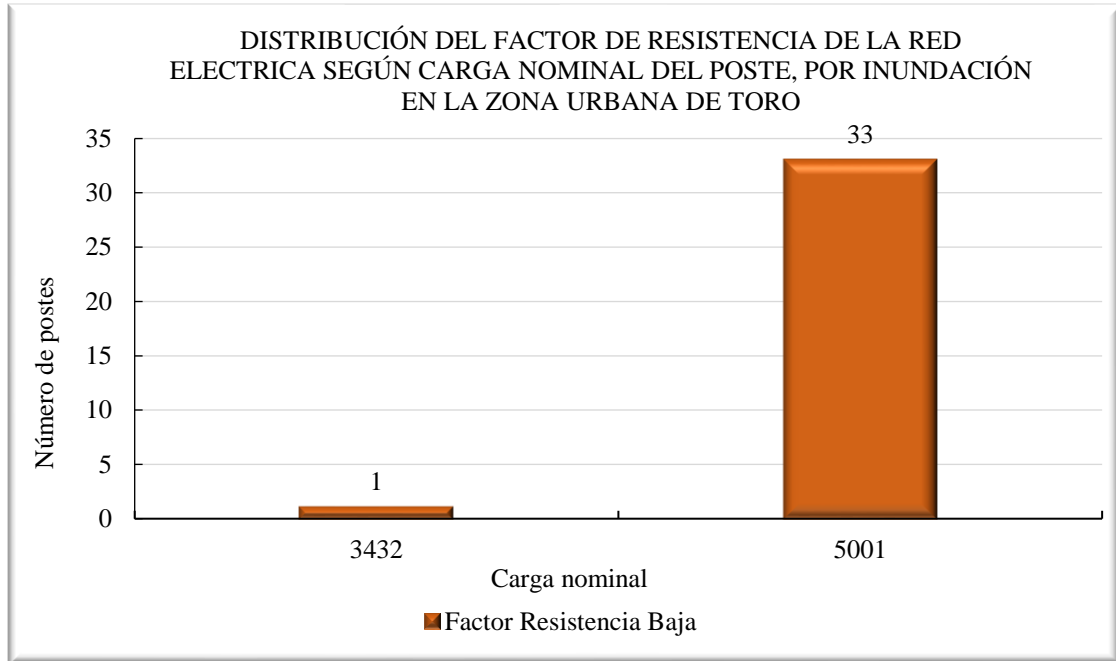


Figura 8.31. Distribución del factor de resistencia de la red eléctrica según carga nominal del poste, por inundación en la zona urbana de Toro

La Figura 8.32 muestra la distribución espacial del factor de resistencia en la red eléctrica ante inundación en la zona urbana del municipio de Toro. Los 2 postes con factor de resistencia baja está en el barrio Bolívar.

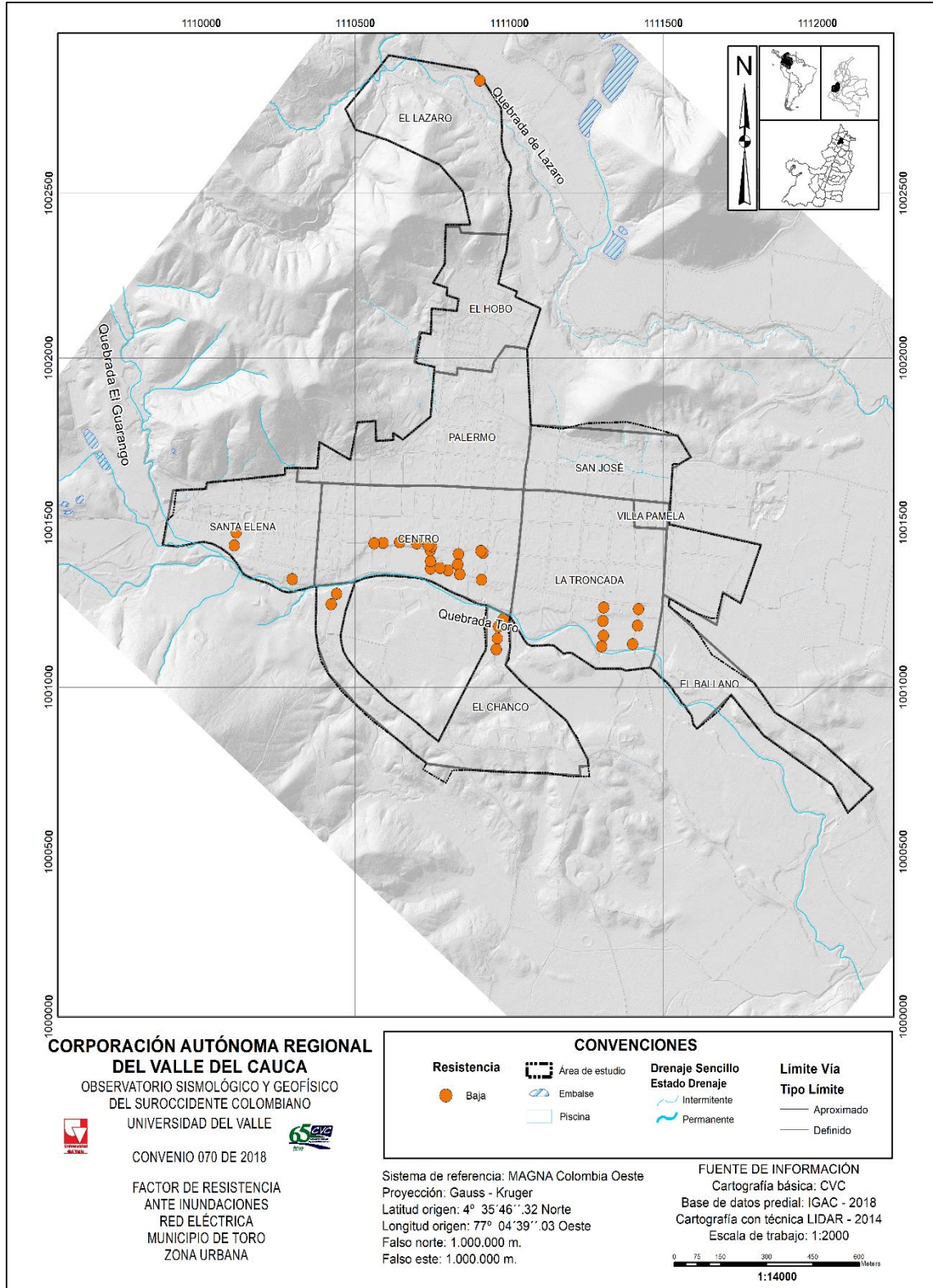


Figura 8.32. Factor de resistencia de la red eléctrica ante inundación, zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

8.3.2. 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 Toro. A continuación, se presentan los resultados de vulnerabilidad corporal, vulnerabilidad estructural y vulnerabilidad de líneas vitales ante el fenómeno de inundación.

8.3.2.1. Vulnerabilidad corporal

El análisis de vulnerabilidad corporal se consideró la exposición y el factor de resistencia ante inundaciones de la población habitante dentro de las estructuras.

En la Tabla 8.53 se expone la vulnerabilidad corporal a partir del porcentaje de la población encuestada. El 89.56% de la población tienen vulnerabilidad corporal alta, el 6.00% poseen vulnerabilidad corporal media y el 4.44% poseen vulnerabilidad corporal baja (Figura 8.33).

Tabla 8.53. Distribución de la vulnerabilidad corporal en la zona urbana del municipio de Toro

| VULNERABILIDAD CORPORAL | PORCENTAJE DE POBLACIÓN |
|-------------------------|-------------------------|
| ALTA | 89,56% |
| MEDIA | 6,00% |
| BAJA | 4,44% |

Fuente: elaboración propia.



Figura 8.33. Distribución porcentual de la vulnerabilidad corporal por inundación en la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

La Figura 8.34, muestra la vulnerabilidad corporal ante inundaciones en la zona urbana del municipio de Toro. Los barrios Santa Elena, Centro, El Lázaro, El Ballano y La Troncada presenta alta vulnerabilidad corporal. Los barrios Centro y La Troncada también concentran vulnerabilidad media y algunas estructuras en vulnerabilidad baja.

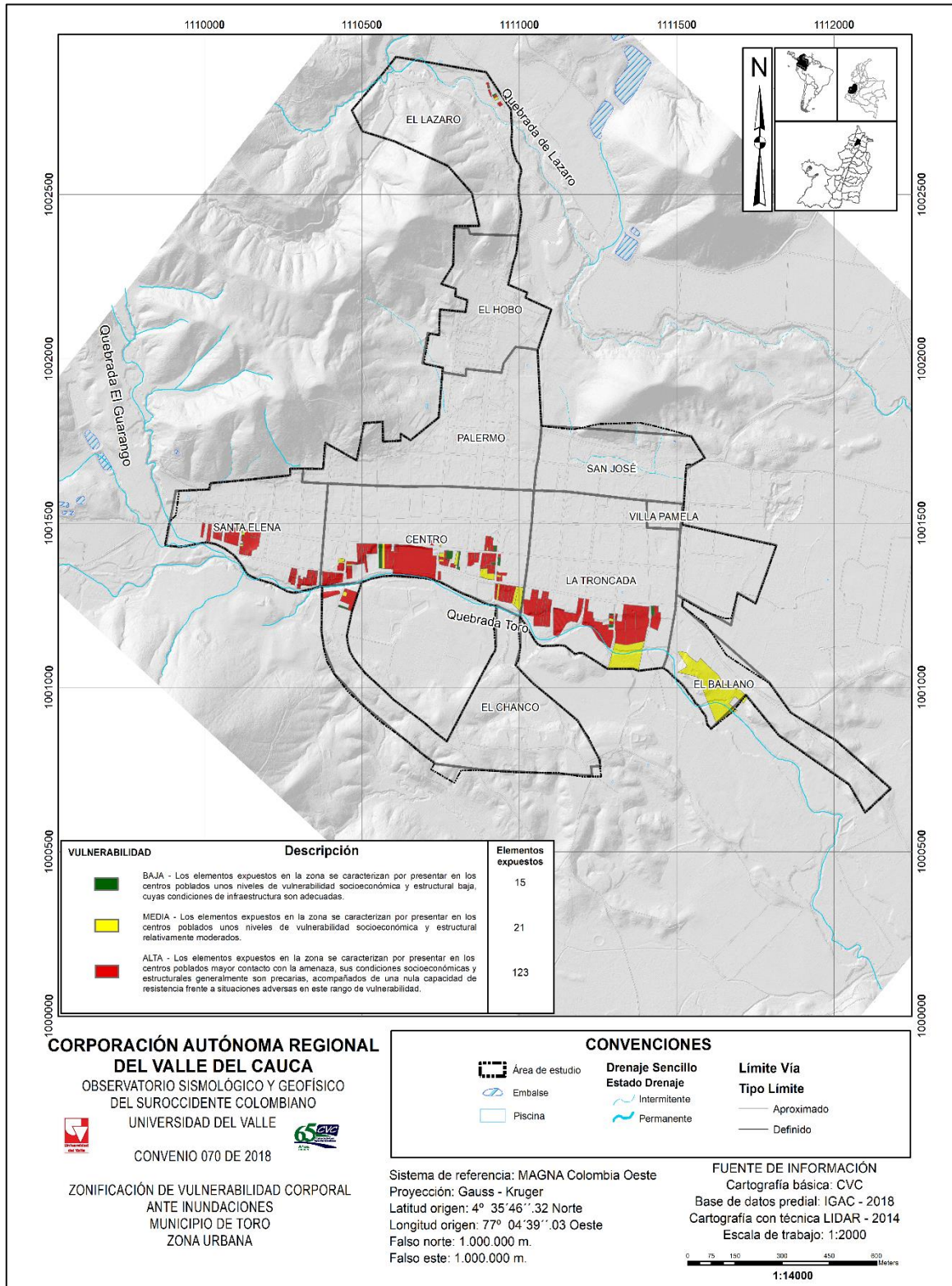


Figura 8.34. Zonificación de la vulnerabilidad corporal ante inundaciones, zona urbana del municipio de Toro
Fuente: elaboración propia.

8.3.2.2. Vulnerabilidad estructural

El análisis de la vulnerabilidad estructural clasificada en alta, media y baja se obtuvo 159 edificaciones vulnerables y un total de 107306,79m, en la Tabla 8.54 se muestra el número de edificaciones, área y porcentaje de área. En vulnerabilidad alta se encuentran 148 edificaciones que ocupan un área de 80428,78m² correspondiente al 88,32% del área total de la zona de estudio. En nivel de vulnerabilidad media se encuentra 6 edificaciones que comprende 26025,64m² equivalente al 10,77% del área estudiada. En nivel de vulnerabilidad baja se encuentran 5 edificaciones que cubren un área de 852,37 m² correspondiente al 0,91% del porcentaje del área total estudiada (Figura 8.35).

Tabla 8.54. Vulnerabilidad estructural ante inundación en la zona urbana del municipio de Toro

| VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL | EDIFICACIONES | ÁREA M ² | PORCENTAJE ÁREA |
|----------------------------|---------------|---------------------|-----------------|
| Alta | 148 | 80428,78 | 88,32% |
| Media | 6 | 26025,64 | 10,77% |
| Baja | 5 | 852,37 | 0,91% |
| Total | 159 | 107306,79 | 100% |

Fuente: elaboración propia.

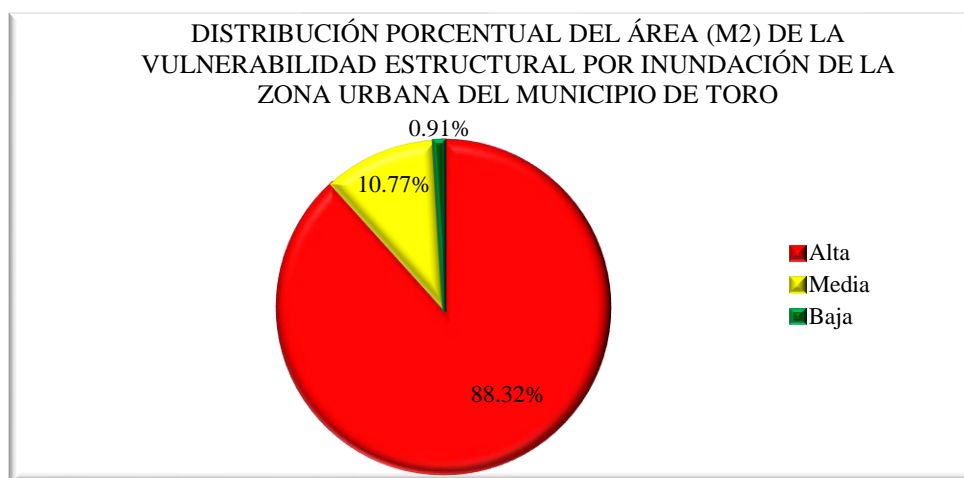


Figura 8.35. Distribución porcentual del área (m²) de la vulnerabilidad estructural por inundación de la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

La Figura 8.36 muestra el comportamiento espacial de la vulnerabilidad estructural ante inundación en la zona urbana del municipio de Toro. Las edificaciones que se localizan en el barrio Santa Elena presentan niveles de vulnerabilidad estructural alta y una en media, el barrio Centro las edificaciones la mayoría presentan niveles de vulnerabilidad alta, 3 edificaciones en vulnerabilidad media y 2 edificaciones en vulnerabilidad baja, el barrio La Troncada las mayoría de las edificaciones presentan una vulnerabilidad estructural alta, 2 edificaciones en media y una edificación en baja, el barrio El Chanco se encuentran 2 edificaciones en media y una edificación en baja. El barrio El Ballano una edificación que se encuentra vulnerable presenta una vulnerabilidad media ante una inundación por la quebrada Toro. El barrio Lazaro las edificaciones presentan niveles de vulnerabilidad alta y baja ante una inundación por la quebrada De Lazaro.

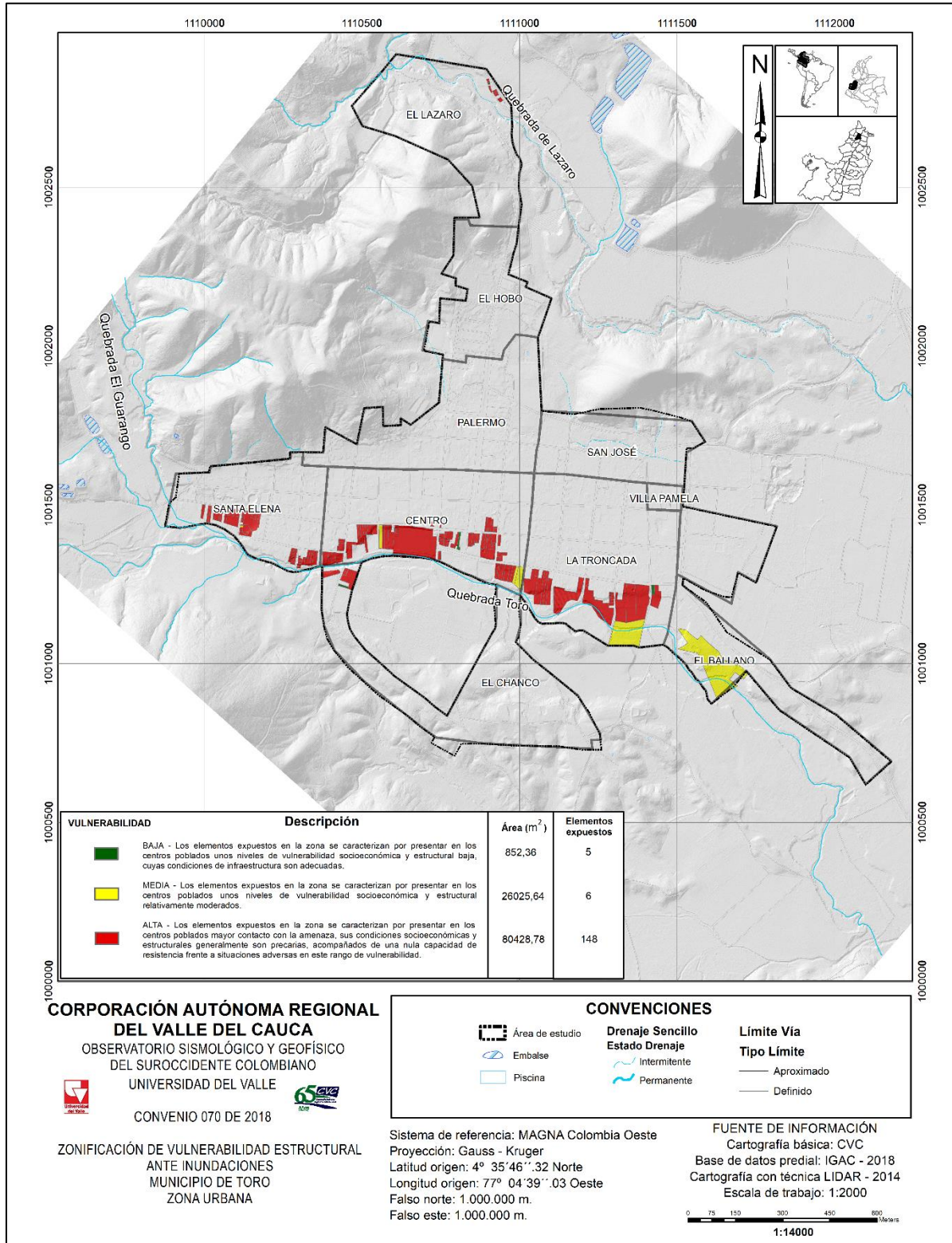


Figura 8.36. Zonificación de la vulnerabilidad estructural ante inundación, zona urbana del municipio de Toro
Fuente: elaboración propia.

8.3.2.3. Vulnerabilidad de líneas vitales

En el municipio de Toro, el análisis de vulnerabilidad de las líneas vitales se realizó para las redes viales y eléctricas de acuerdo a 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 Toro.

- **Vulnerabilidad de la red vial**

La vulnerabilidad de las red vial expuestas ante inundación se muestra en la Tabla 8.55 y Figura 8.37. En vulnerabilidad alta se tiene 513,01 m de longitud del total de la red vial y en vulnerabilidad baja, 446,27m.

Tabla 8.55. Vulnerabilidad de la red vial por inundación zona urbana del municipio de Toro

| RED VIAL | LONGITUD (M) | | TOTAL |
|----------|---------------------|---------------------|-------|
| | VULNERABILIDAD ALTA | VULNERABILIDAD BAJA | |
| | 513,01 | 446,27 | |

Fuente: elaboración propia.

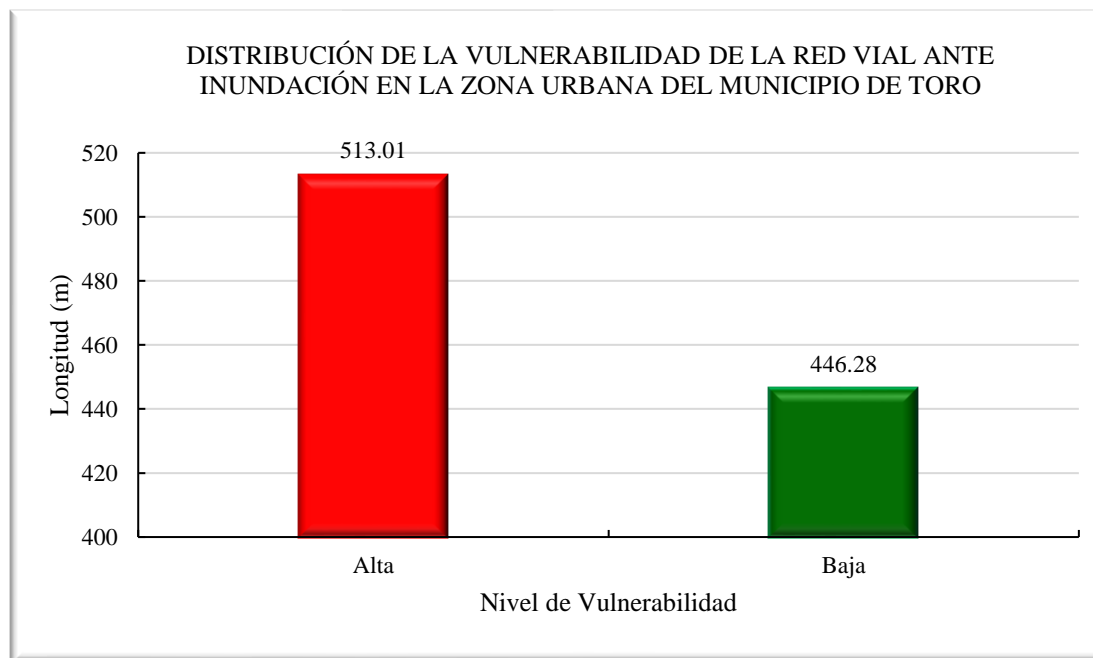


Figura 8.37. Distribución de la vulnerabilidad en la red vial por inundación, zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

La Figura 8.38, muestra la distribución espacial de la red vial ante el fenómeno de inundación en la zona urbana del municipio de Toro. Como vulnerables se encuentran algunos tramos viales de los barrios Santa Helena, El Lázaro, Centro, El Chanco y La Troncada.

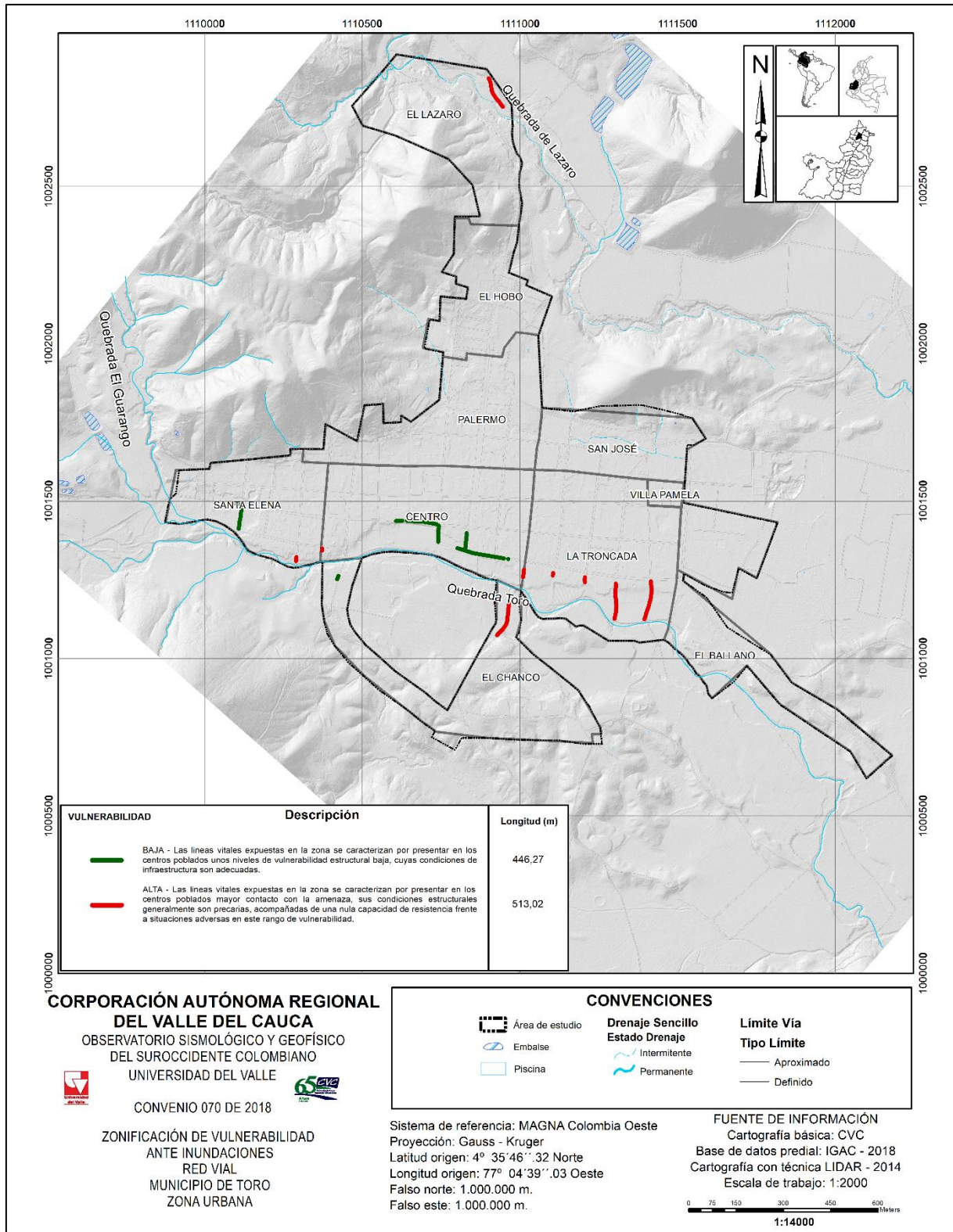


Figura 8.38. Zonificación de vulnerabilidad ante inundaciones, red vial, zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

- **Red eléctrica**

La vulnerabilidad de la red eléctrica en la zona urbana del municipio de Toro por el fenómeno de inundación se muestra en la Tabla 8.56 los resultados de la vulnerabilidad en la red eléctrica por inundación. De los 34 postes, 33 presentan vulnerabilidad alta y 1 poste vulnerabilidad baja.

Tabla 8.56. Vulnerabilidad de la red eléctrica ante el fenómeno de inundación en la zona urbana del municipio de Toro

| NIVEL DE VULNERABILIDAD | RED ELÉCTRICA NÚMERO DE POSTES |
|-------------------------|-----------------------------------|
| Alta | 33 |
| Baja | 1 |
| Total | 34 |

Fuente: elaboración propia.

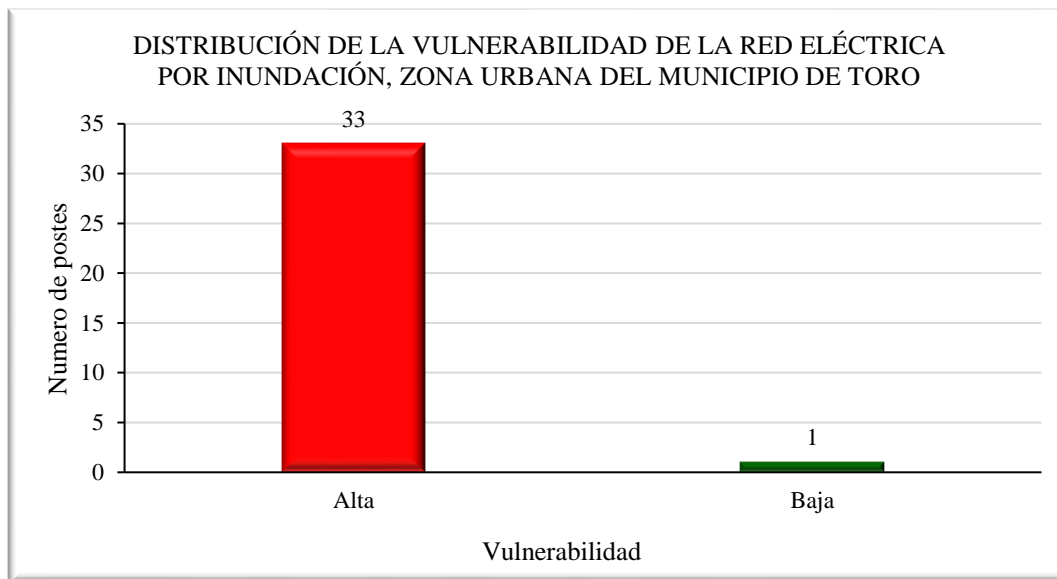


Figura 8.39. Distribución de la vulnerabilidad de la red eléctrica por inundación, zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 8.40 muestra el comportamiento espacial de la vulnerabilidad en la red eléctrica por el fenómeno de inundación en la zona urbana del municipio de Toro. Los barrios Centro, La Troncada, El Chanco, Santa Elena y El Lázaro los postes analizados presentan alta vulnerabilidad. En el barrio La Troncada, está localizado el único poste con vulnerabilidad baja.

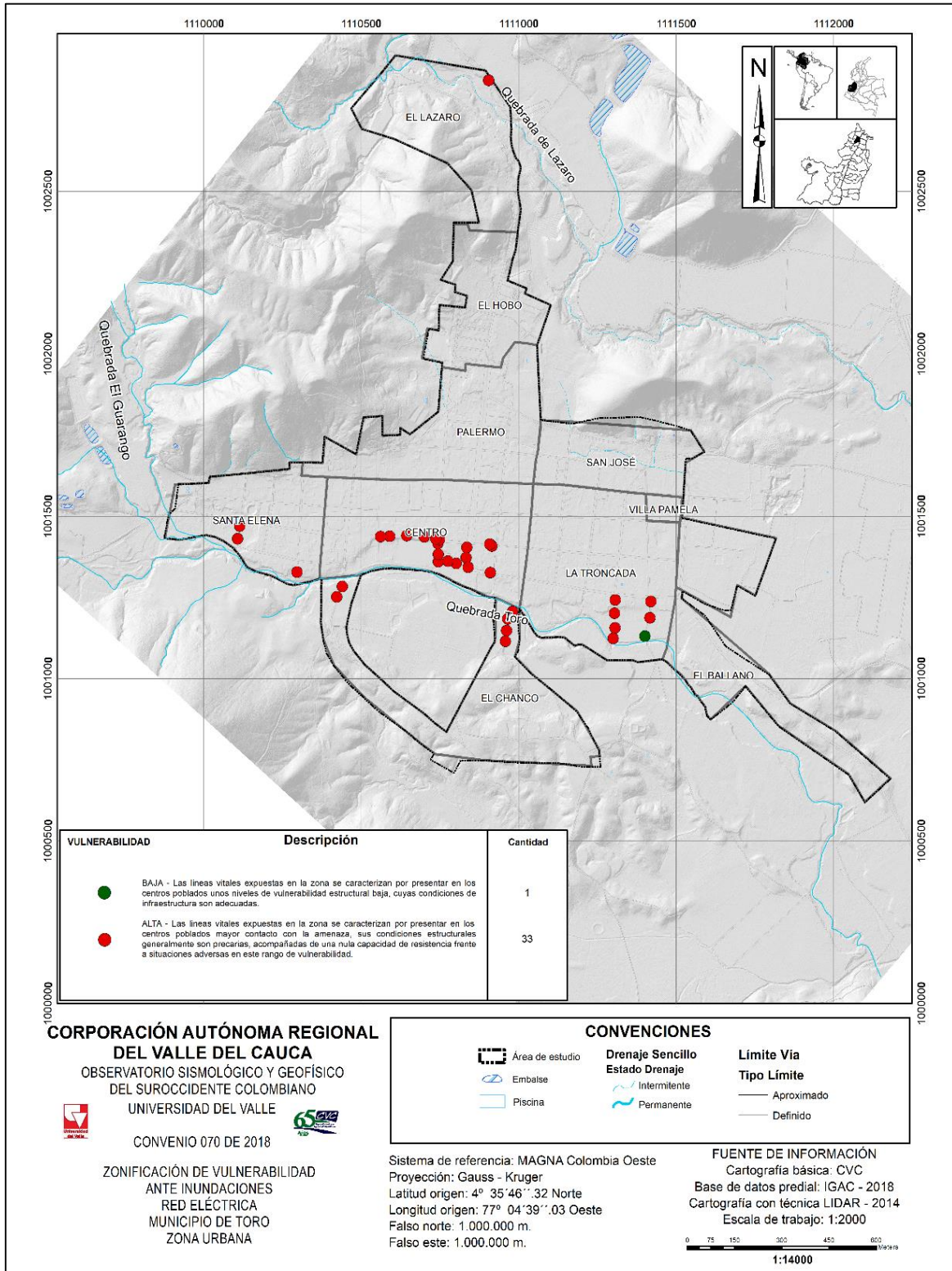


Figura 8.40. Zonificación de la vulnerabilidad de la red eléctrica ante inundación en la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

8.3.3. 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 resistencia de los elementos expuestos.

La Figura 8.41 muestra las curvas de fragilidad de los elementos expuestos (edificaciones y población) ante el fenómeno de inundación para la zona urbana del municipio de Toro. 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 altos. Lo que evidencia una clara relación de proporcionalidad entre estos factores

Demostrando que la vulnerabilidad para el área urbana del municipio de Toro, 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 baja (Figura 8.42).

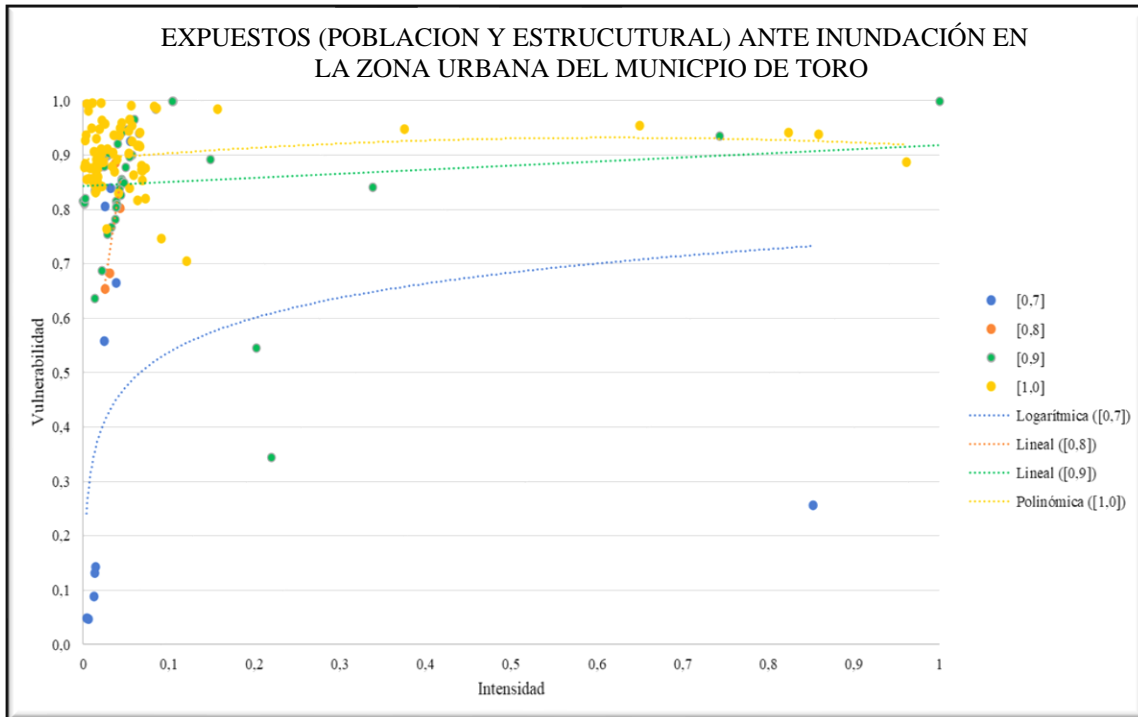


Figura 8.41. Distribución de las curvas de fragilidad de los elementos expuestos (población y estructural) ante inundación en la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

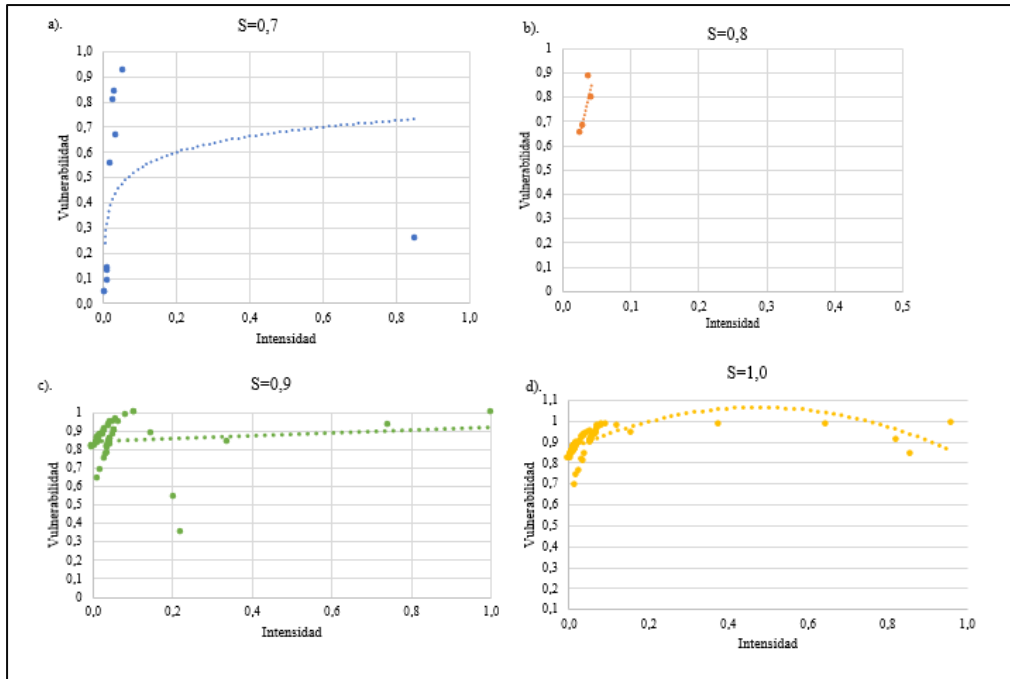


Figura 8.42. Factores de resistencia: a). Resistencia $S=0,7$; b). Resistencia $S=0,08$; c). Resistencia $S=0,9$; d). Resistencia $S=0,1$

Fuente: elaboración propia.

8.4. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD ANTE MOVIMIENTO 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 presión de impacto del evento, determinada a través de la caracterización de la amenaza, que a su vez se establece mediante, la magnitud, la intensidad y la distancia de viaje de la masa deslizable; la exposición y la fragilidad. Esta última, considera el factor de resistencia de los elementos expuestos estructurales y corporales.

8.4.1. Identificación, localización y caracterización de elementos expuestos ante movimiento en masa

En el municipio de Toro 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. Santa Elena, El Lázaro, Palermo y San José se encuentran en amenaza media y alta. 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.

8.4.1.1. 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 101 predios. Pero como resultado final de trabajo de campo, se obtuvo información en 77 predios, 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:

8.4.1.1.1. 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 Toro 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 134 personas, de las cuales 67 permanecen en el día y 131 en la noche, esto indica que el 50% de la población encuestada permanecen en el día, también se evidenció que en promedio hay 3 personas por construcción o edificación, teniendo en cuenta que se incluyeron construcciones de tipo residencial, comercial y mixto (Tabla 8.57).

Tabla 8.57. Número y promedio de habitantes en las construcciones en que se logró el acceso al interior

| HABITANTES | NÚMERO DE HABITANTES | PROMEDIO DE HABITANTES POR EDIFICACIÓN |
|------------|----------------------|--|
| Total | 134 | 3,27 |
| Día | 67 | 1,63 |
| Noche | 131 | 3,20 |

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 8.58 se especifica la cantidad de personas en la construcción según las tres variables priorizadas: personas totales, personas presentes en el día y en la noche el 68, 66% de la población está localizada en nivel de exposición media y el 31,34% en el nivel de exposición alta (Figura 8.43).

Tabla 8.58. Número total de habitantes, día y de noche de la población encuestada, expuestos a movimiento en masa de la zona urbana del municipio de Toro

| HABITANTES | NÚMERO DE HABITANTES | | TOTAL |
|------------|----------------------|-----------------|-------|
| | EXPOSICIÓN MEDIA | EXPOSICIÓN ALTA | |
| Total | 92 | 42 | 134 |
| Día | 46 | 21 | 67 |
| Noche | 89 | 42 | 131 |

Fuente: elaboración propia.

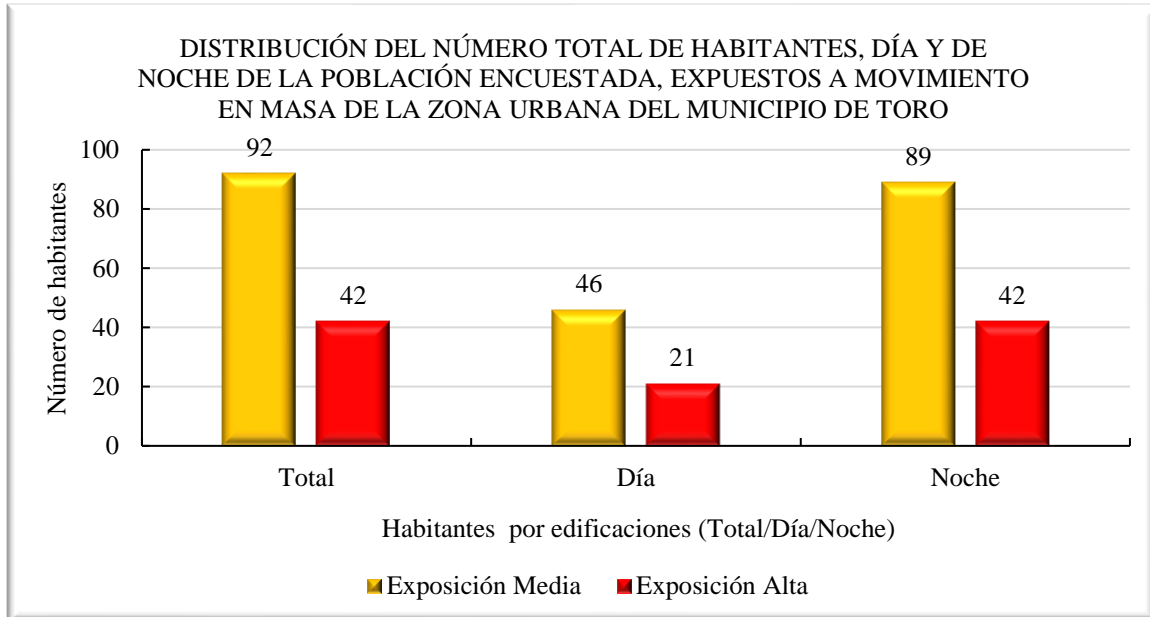


Figura 8.43. Distribución del número total de habitantes, día y de noche de la población encuestada, expuestos a movimiento en masa de la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

8.4.1.1.2. Exposición estructural

La Tabla 8.59, se especifica que 52 predios presentan exposición media con un área predial de 11009,8 m². Con 25 predios en exposición alta, con 5481,7 m² de área predial. Esto indica que, de los 77 predios existentes el 67,53% están en exposición media y un 32,4% de los predios está en exposición alta (Figura 8.44).

Tabla 8.59. Número y área (m²) de los predios expuestos a movimiento en masa en el área urbana del municipio de Toro

| NIVEL DE EXPOSICIÓN | ÁREA M ² | NÚMERO DE PREDIOS |
|---------------------|---------------------|-------------------|
| Media | 11.009,808 | 52 |
| Alta | 5.481,714 | 25 |
| Total | 16.491,52 | 77 |

Fuente: elaboración propia.

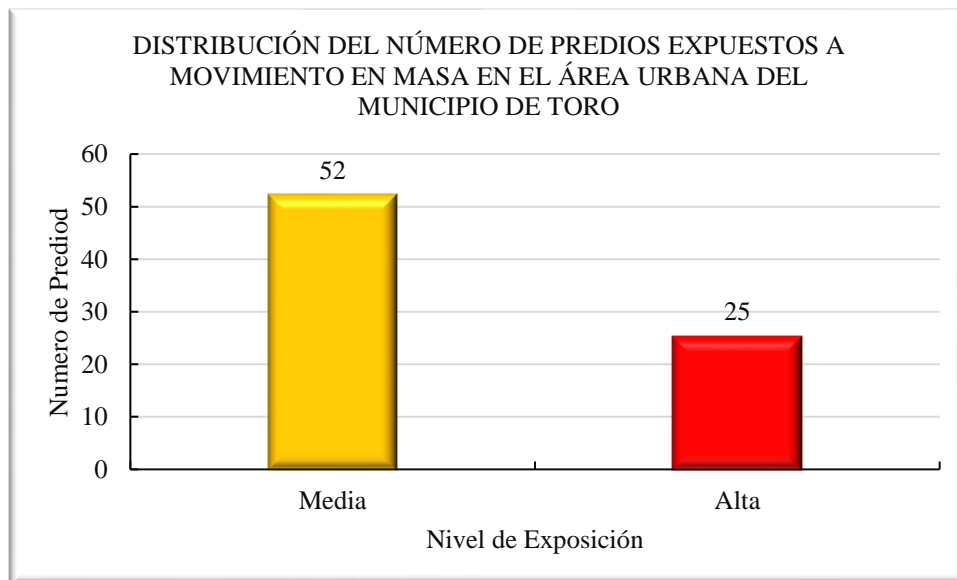


Figura 8.44. Distribución del número de predios expuestos a movimiento en masa en el área urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

De los 77 predios en exposición por movimiento en masa, se tiene que: 8 predios se encuentran sin edificación alguna y 69 predios presentan alguna edificación. Tabla 8.60 que presenta el número de edificaciones totales de los predios con edificación según el respectivo nivel de exposición al que están expuestos. Donde 62 edificaciones en exposición media y 26 edificaciones en exposición alta.

Tabla 8.60. Número de predios sin edificaciones, con edificaciones expuestos a movimiento en masa en el área urbana del municipio de Toro

| NIVEL DE EXPOSICIÓN | PREDIOS SIN EDIFICACIONES | PREDIOS CON EDIFICACIONES | NÚMERO DE EDIFICACIONES |
|---------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------|
| Media | 3 | 49 | 62 |
| Alta | 5 | 20 | 26 |
| Total | 8 | 69 | 88 |

Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta lo anterior la Tabla 8.61 muestra la distribución de las edificaciones en exposición de acuerdo al barrio. El Lázaro tiene 48 edificaciones expuestas, 37 edificaciones localizadas en exposición media y 11 edificaciones en exposición alta; el barrio San José tiene 7 edificaciones en exposición media y 8 en exposición alta, el barrio Palermo posee 14 predios en exposición media, el barrio Santa Elena posee 4 predios en exposición media y 7 en exposición alta.

Tabla 8.61. Número de edificaciones por barrio expuestos a movimiento en la zona urbana del municipio de Toro

| BARRIO | NÚMERO DE EDIFICACIONES | | TOTAL |
|--------------|-------------------------|-----------------|-----------|
| | EXPOSICION MEDIA | EXPOSICION ALTA | |
| El Lázaro | 37 | 11 | 48 |
| San José | 7 | 8 | 15 |
| Palermo | 14 | 0 | 14 |
| Santa Elena | 4 | 7 | 11 |
| Total | 62 | 26 | 88 |

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, 3) estado de conservación, 4) edad de la vivienda y 5) 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 8.62). Lo que permite establecer el tipo de material empleado en la construcción, así mismo que tan resistentes pueden ser.

Tabla 8.62. 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 híbridas 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 8.63 correspondiente a la tipología de la edificación, se muestra que un 98,10% de todas las edificaciones se localizan en exposición media, 389 edificaciones son mampostería no reforzada, 132 edificaciones con mampostería confinada, 43 edificaciones del tipo constructivo madera, tapia y bahareque y solo 5 son de otro tipo constructivo. Por otra parte, el 1,90% de las edificaciones que están en exposición alta, 4 tienen tipo de construcción en mampostería no reforzada, 4 con mampostería confinada, 2 de madera, tapia y bahareque y 1 es de otro tipo constructivo (Figura 8.45).

Tabla 8.63. Tipo de construcción de las edificaciones expuestas a movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro

| TIPO DE CONSTRUCCIÓN | NÚMERO DE EDIFICACIONES | | TOTAL |
|---------------------------|-------------------------|-----------------|-----------|
| | EXPOSICIÓN MEDIA | EXPOSICIÓN ALTA | |
| Mampostería no Reforzada | 41 | 15 | 56 |
| Mampostería Confinada | 14 | 4 | 18 |
| Madera, Tapia, Bahareque | 7 | 6 | 13 |
| Otro (Material reciclado) | 0 | 1 | 1 |
| Total | 62 | 26 | 88 |

Fuente: elaboración propia.

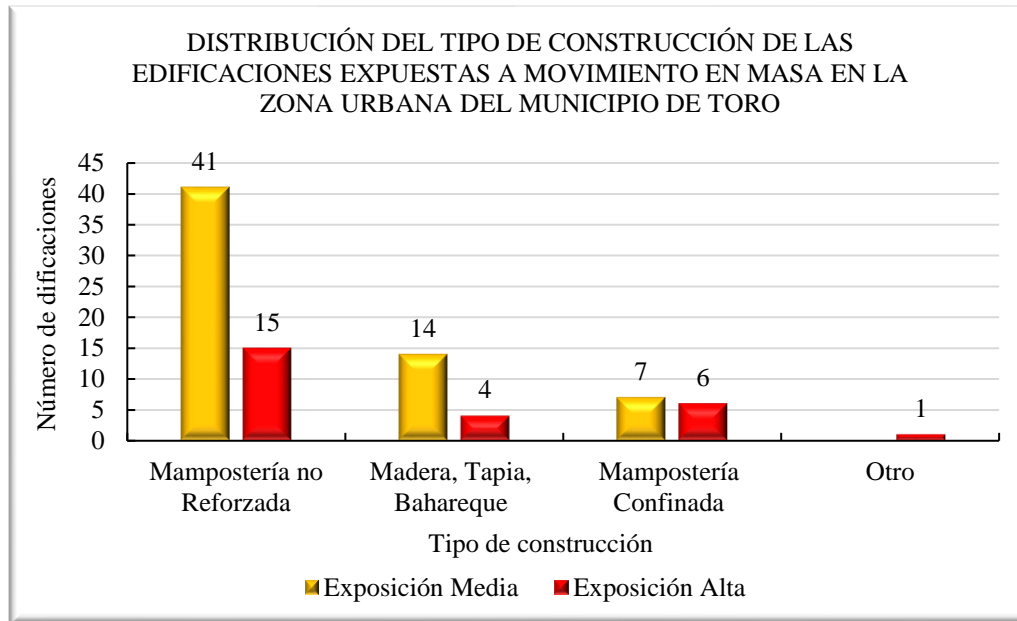


Figura 8.45. Distribución del tipo de construcción de las edificaciones expuestas a movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

- **Estado de conservación de la edificación**

La distribución del número de edificaciones de acuerdo al estado de conservación se muestra en la Tabla 8.64 y Figura 8.46, En estado de conservación bueno 31 están en exposición media y 15 en exposición alta. Con daños moderados, 20 edificaciones en exposición alta y 8 edificaciones en exposición alta. Por último, 14 edificaciones con daños graves, 11 edificaciones están exposición media y 3 edificaciones en exposición alta.

Tabla 8.64. Estado de conservación de las edificaciones expuestas a movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro

| ESTADO DE CONSERVACIÓN | NÚMERO DE EDIFICACIONES | | TOTAL |
|------------------------|-------------------------|-----------------|-----------|
| | EXPOSICIÓN MEDIA | EXPOSICIÓN ALTA | |
| Bueno | 31 | 15 | 46 |
| Daños Moderados | 20 | 8 | 28 |
| Daños Graves | 11 | 3 | 14 |
| Total | 62 | 26 | 88 |

Fuente: elaboración propia

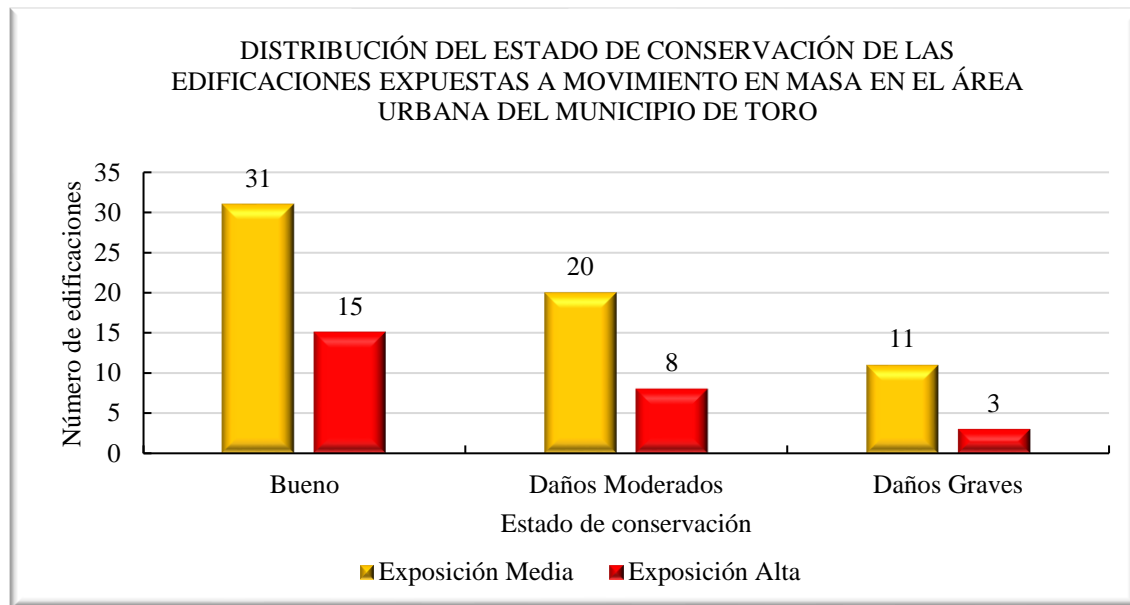


Figura 8.46. Distribución del estado de conservación de las edificaciones expuestas a movimiento en masa en el área urbana del municipio de Toro

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 38 edificaciones de las cuales, 26 están en exposición media y 12 en exposición alta. Además, se encontró entre los 20 y 29 años, hay 16 edificaciones, 12 están en exposición media y 4 en exposición alta. Para el rango 30 y 49 años, 20 edificaciones evidenciaron exposición media y 8 en exposición alta. En cuanto al rango entre 50 y 79 años, se encontró que 4 están en exposición media y 2 están en exposición alta. Por último, en el rango mayor o igual a 80 años, no se encontró ninguna edificación (Tabla 8.65 y Figura 8.47).

Tabla 8.65. Edad o tiempo de servicio de las edificaciones expuestas a movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro

| RANGO DE EDAD O TIEMPO DE SERVICIO | NÚMERO DE EDIFICACIONES | | TOTAL |
|--|-------------------------|-----------------|-----------|
| | EXPOSICIÓN MEDIA | EXPOSICIÓN ALTA | |
| <20 | 26 | 12 | 38 |
| [20 - 29] | 12 | 4 | 16 |
| [30 - 49] | 20 | 8 | 28 |
| [50 - 79] | 4 | 2 | 6 |
| Total | 62 | 26 | 88 |

Fuente: elaboración propia.

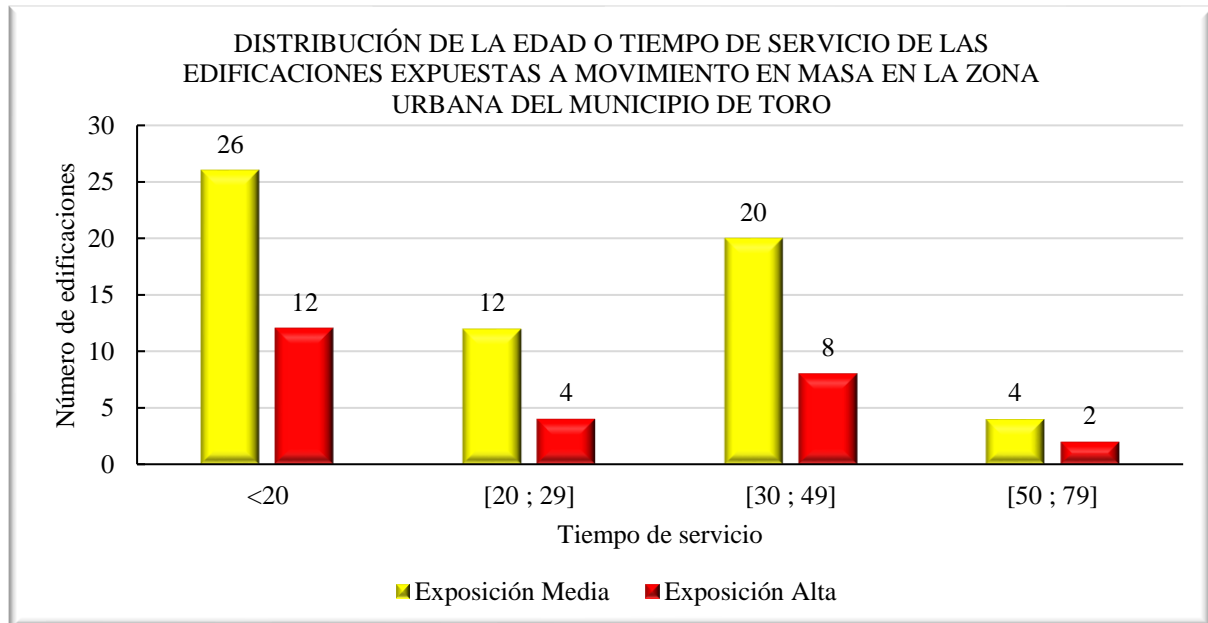


Figura 8.47. Distribución de la edad de las edificaciones expuestas a movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

- **Número de pisos**

La altura representativa de las edificaciones fue 1 piso con un total de 79, de las cuales 55 se encuentran en exposición media y 24 en exposición alta. También se observó que 9 edificaciones han sido construidas con altura de 2 pisos, 7 localizadas en exposición media y 2 en exposición alta (Tabla 8.66 y Figura 8.48).

Tabla 8.66. Número de pisos de las edificaciones expuestas a movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro

| NÚMERO DE PISOS | NÚMERO DE EDIFICACIONES | | TOTAL |
|-----------------|-------------------------|-----------------|------------|
| | EXPOSICIÓN MEDIA | EXPOSICIÓN ALTA | |
| 1 | 385 | 7 | 392 |
| 2 | 161 | 3 | 164 |
| 3 | 23 | 1 | 24 |
| Total | 569 | 11 | 580 |

Fuente: elaboración propia.

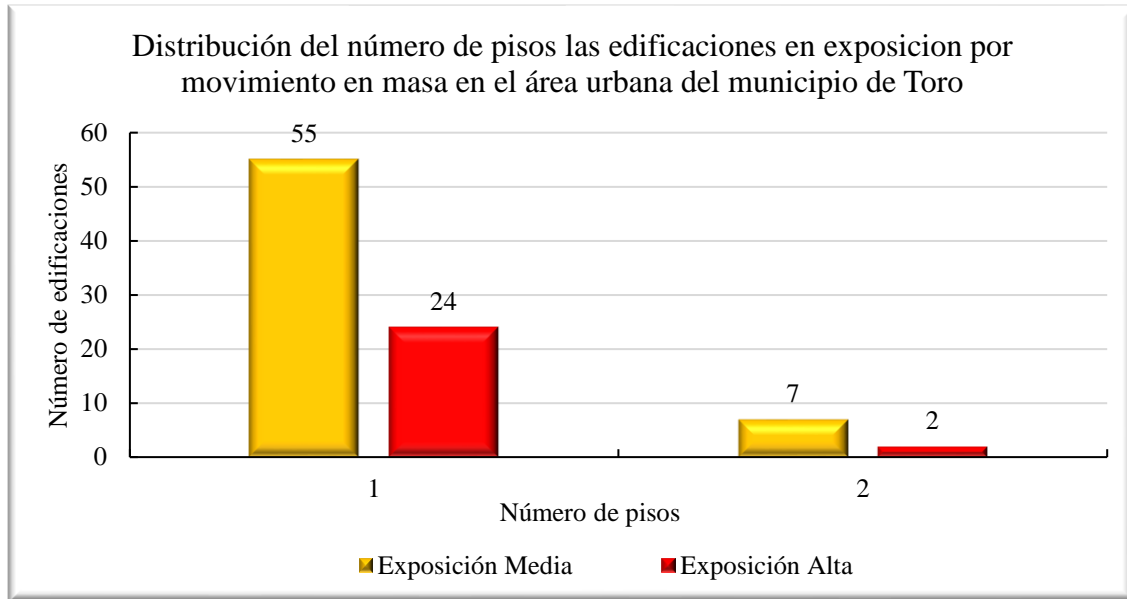


Figura 8.48. Distribución del número de pisos las edificaciones expuestas a movimiento en masa en el área urbana del Municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

La Figura 8.49, muestra la distribución de la exposición estructural por movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro. El barrio El Lázaro, sus estructuras presentan exposición media y alta. Los barrios San José y Santa Elena las edificaciones tienen exposición alta y el barrio Palermo presenta exposición media.

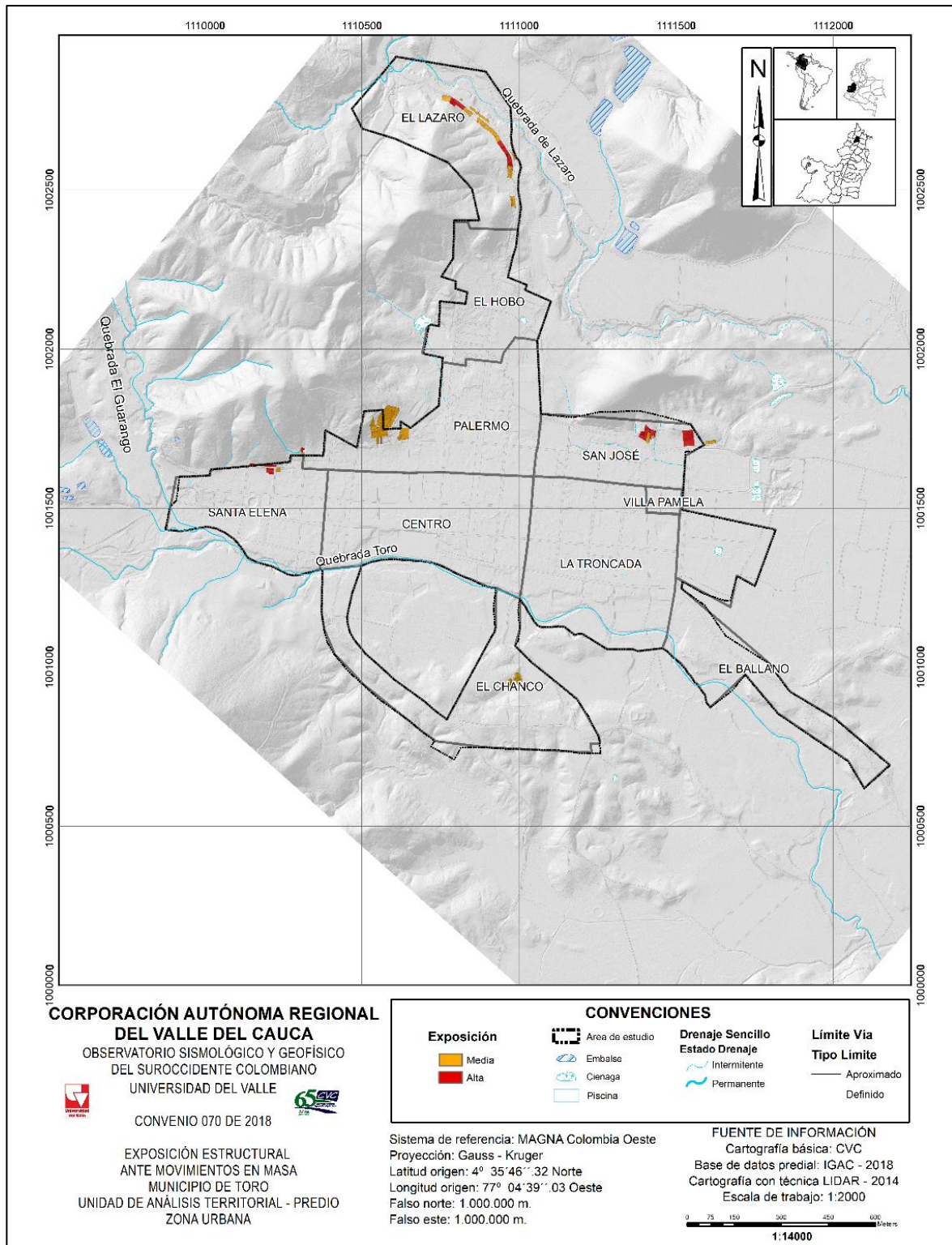


Figura 8.49. Exposición estructural ante movimiento en masa, zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

8.4.1.1.3. 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, redes de acueducto y alcantarillado y cantidad de postes de energía que se encuentran expuestas ante la posible ocurrencia de un movimiento en masa.

En la Tabla 8.67 y la Figura 8.50 contiene la información en metros (m) de las líneas vitales en exposición media y alta por movimiento en masa. Estas redes vienen compuestas por 485,994 m de red vial que se distribuye en 405,212 m en exposición media, 80,783 m en exposición alta.

La red de acueducto con 184,458 m distribuidos en exposición media con 151,762 m y en exposición alta con 32,696 m. Y la red de alcantarillado con 251,300 m, con 237,453 m en exposición media y 13,847 m en exposición alta.

Tabla 8.67. Líneas vitales expuestas a movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro

| TIPO DE LÍNEA VITAL | LONGITUD (M) | | TOTAL |
|-----------------------|------------------|-----------------|---------|
| | EXPOSICIÓN MEDIA | EXPOSICIÓN ALTA | |
| Red vial | 405,212 | 80,783 | 485,994 |
| Red de acueducto | 151,762 | 32,696 | 184,458 |
| Red de alcantarillado | 237,453 | 13,847 | 251,300 |

Fuente: elaboración propia.

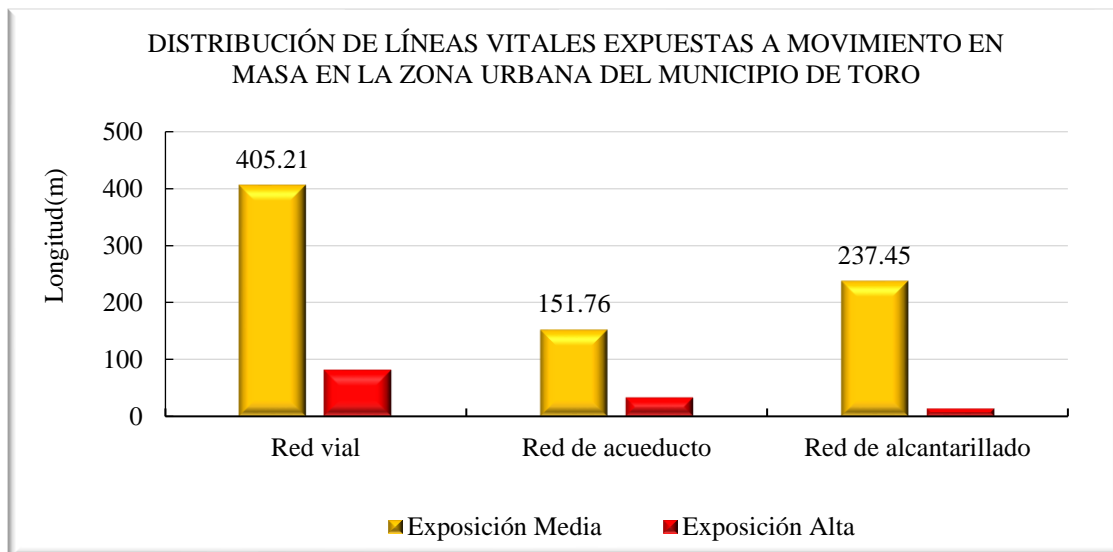


Figura 8.50. Distribución de líneas vitales expuestas a movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

Las Figura 8.51 a 8.53 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. Los barrios San José, Santa Elena, El Palermo y El Lázaro presentan exposición media y alta en sus redes.

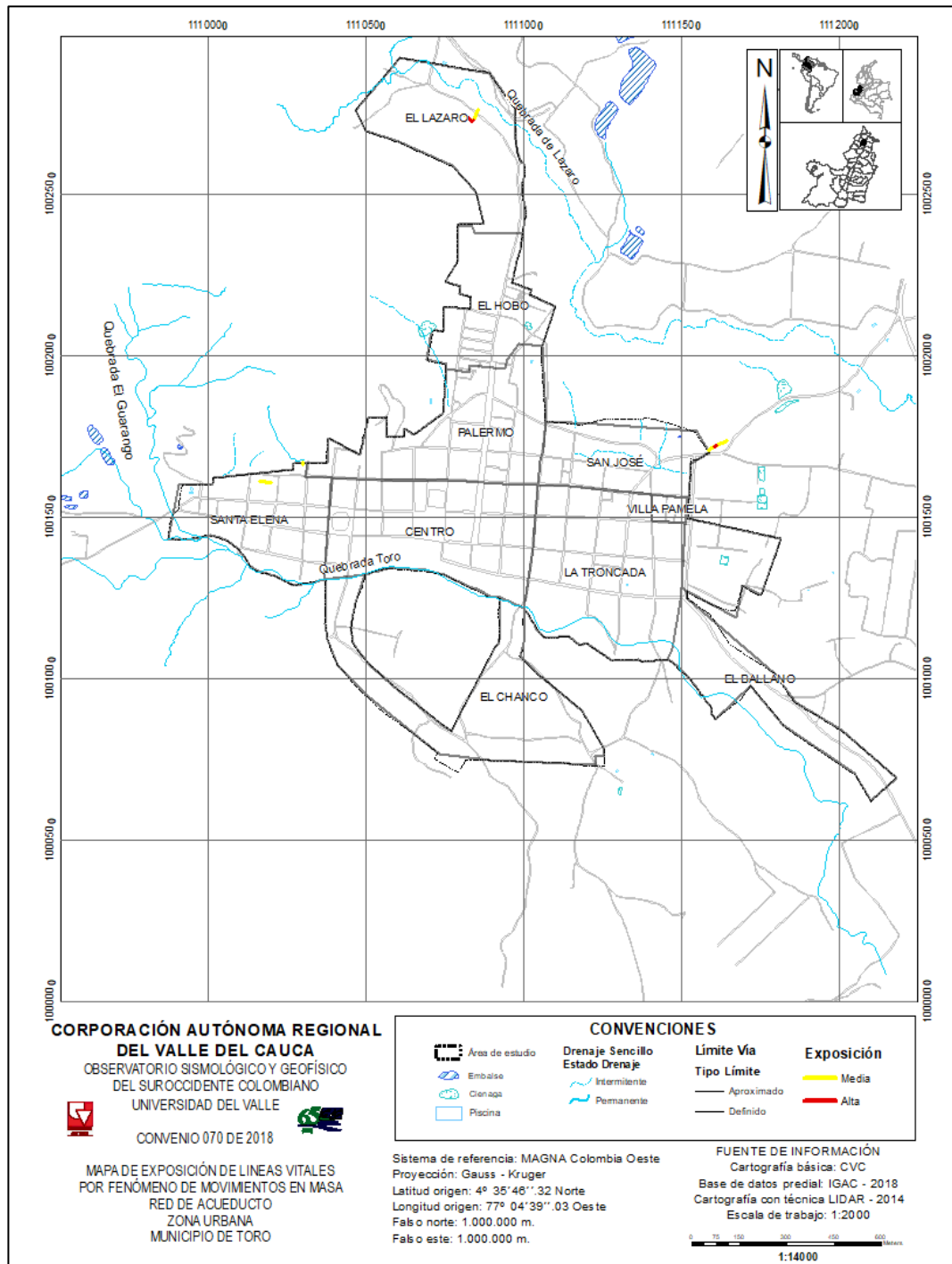


Figura 8.51. Mapa de exposición de líneas vitales, red de acueducto, ante el fenómeno de movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro.

Fuente: elaboración propia

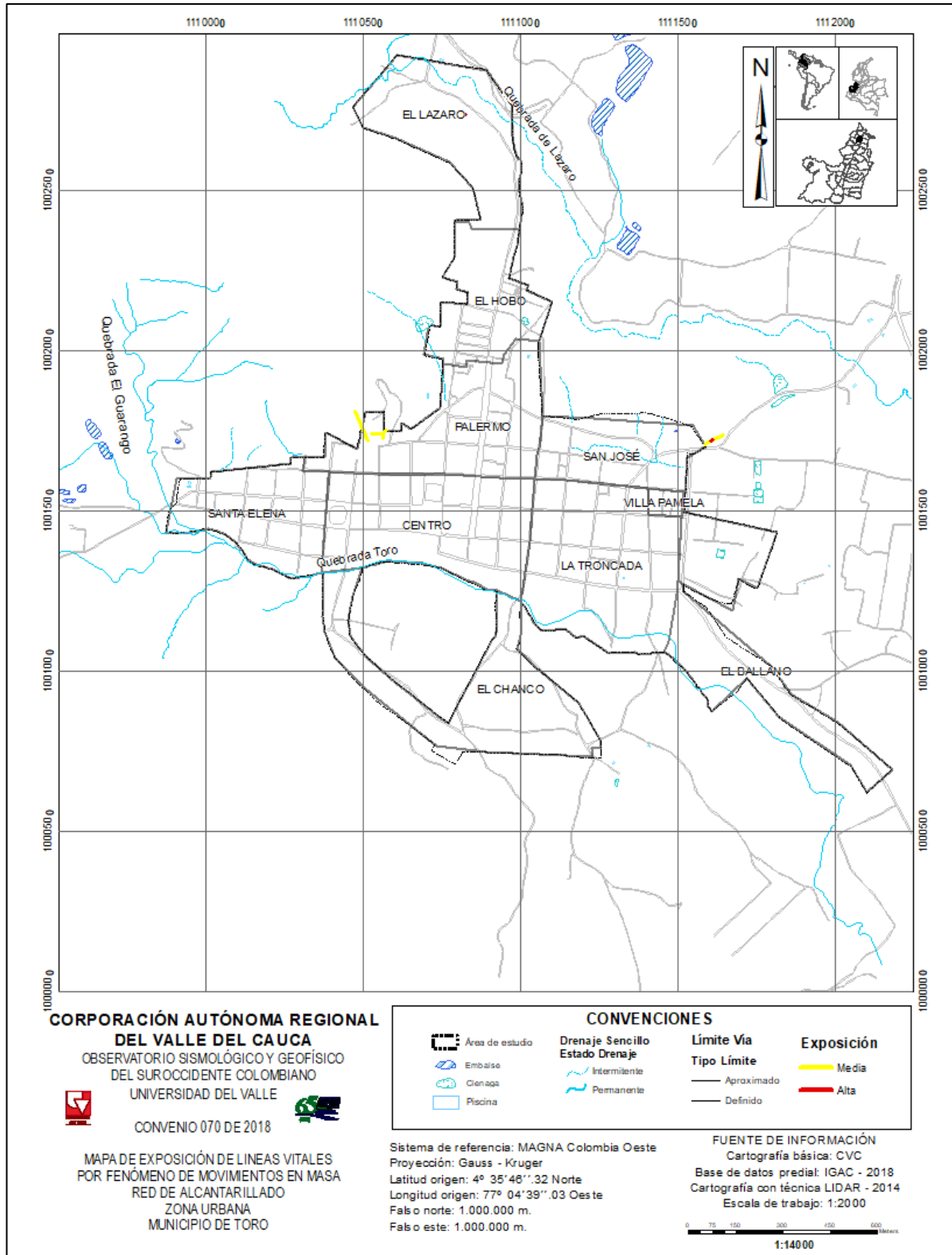


Figura 8.52. Mapa de exposición de líneas vitales, red de alcantarillado, ante el fenómeno de movimiento en masa, zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

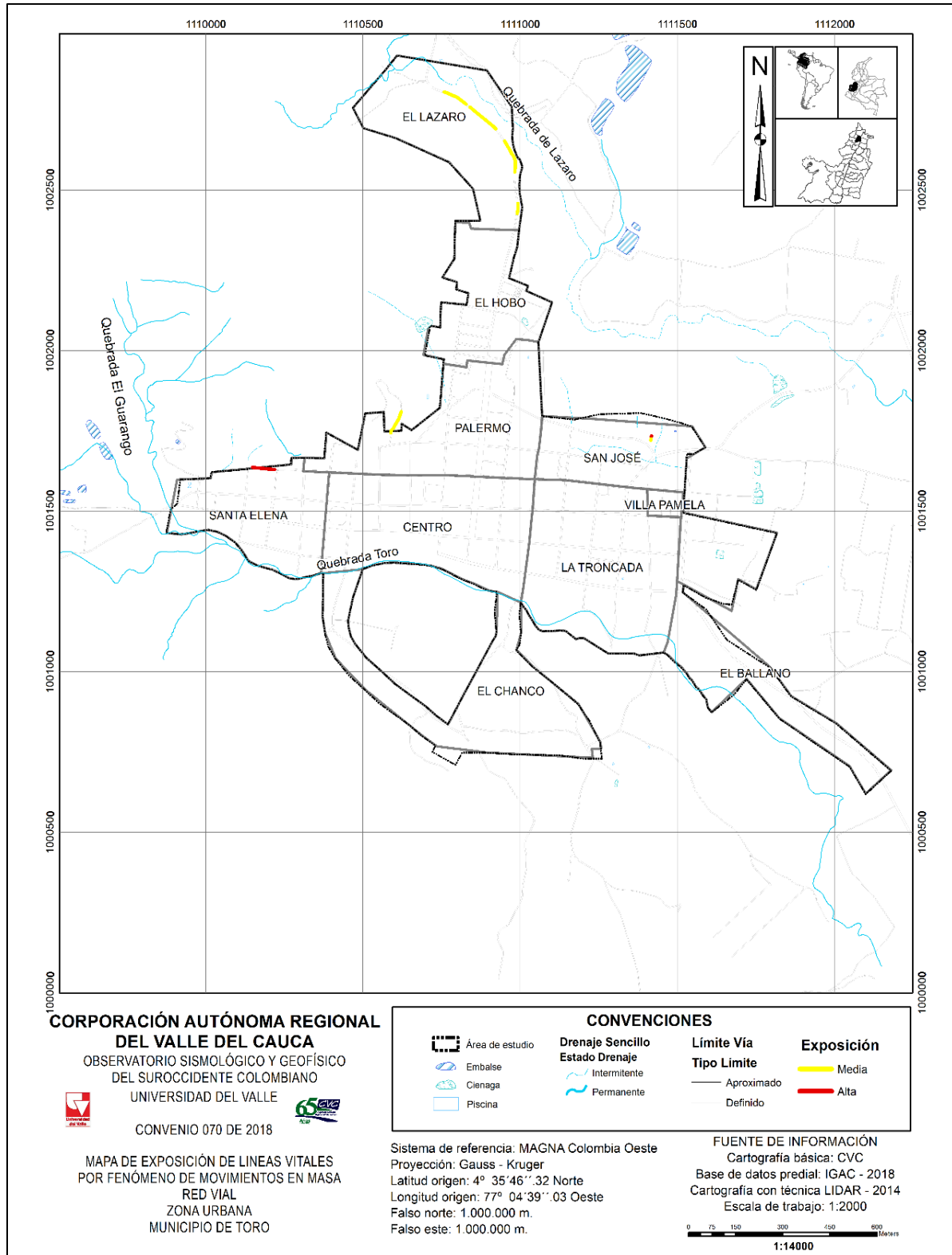


Figura 8.53. Mapa de exposición de líneas vitales, red vial, zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 8.68 se encuentra la distribución de la red eléctrica con 11 postes en exposición media y 3 postes en exposición alta, para un total de 14 postes en exposición (Figura 8.54).

Tabla 8.68. Red eléctrica expuesta a movimiento en masa del área urbana del municipio de Toro

| TIPO DE LÍNEA VITAL | NÚMERO DE POSTES | | TOTAL |
|---------------------|------------------|-----------------|-------|
| | EXPOSICIÓN MEDIA | EXPOSICIÓN ALTA | |
| Red Eléctrica | 94 | 1 | 95 |

Fuente: elaboración propia.

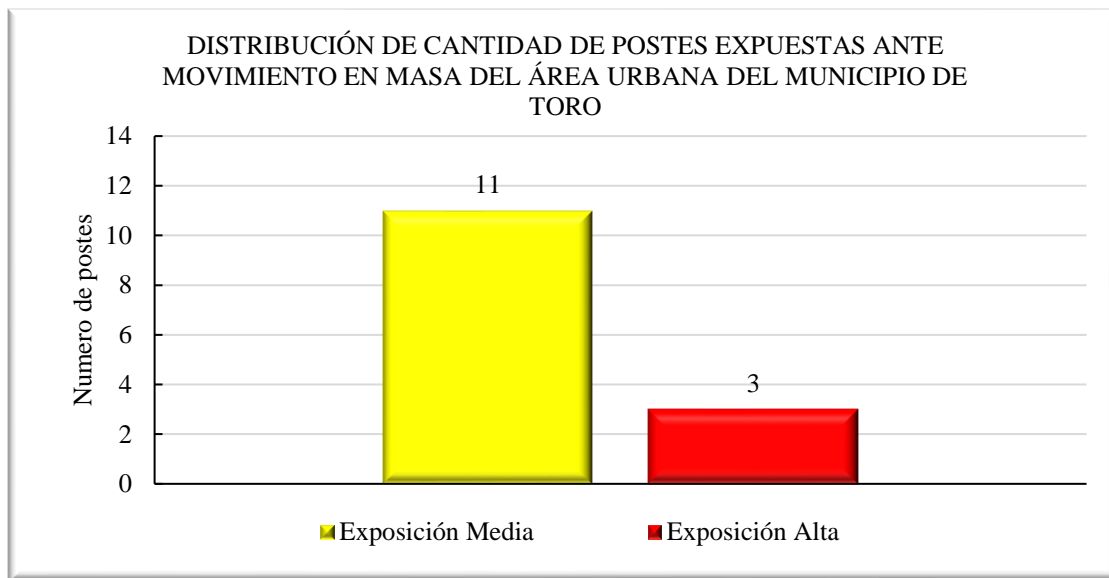


Figura 8.54. Distribución de la red eléctrica expuesta ante movimiento en masa de la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 8.55, se representa la distribución espacial de la red eléctrica expuesta ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro. De los 14 postes, el mayor número de postes se localizan en el barrio El Lázaro con 9 postes y el barrio de Palermo 2 postes están en exposición media. Los postes que se localizan en los barrios San José (1) y Santa Elena (2) se encuentran en exposición alta.

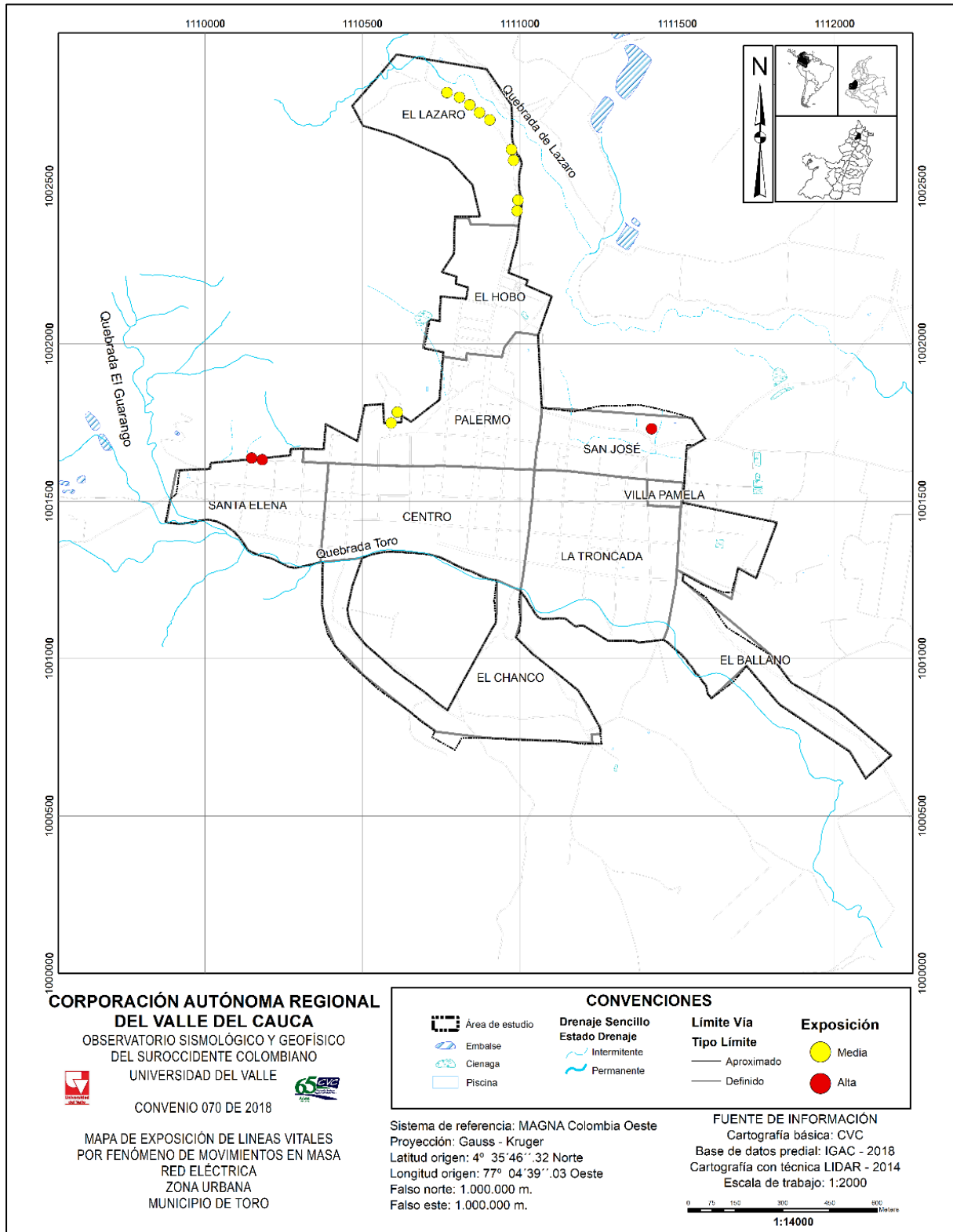


Figura 8.55. Mapa de exposición de líneas vitales, red eléctrica, por fenómeno de movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia

8.4.1.2. 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).

8.4.2. Intensidad

La intensidad se obtiene con la información de presión de impacto y la presión límite de la estructura.

8.4.2.1. 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 Toro se establecieron tres (3) secciones transversales en las zonas urbanas donde se podría presentar el fenómeno de movimientos en masa. En la Figura 8.56 muestra la localización de cada una. La sección A-A' localizada en el barrio Santa Elena, sección B-B' en el barrio San José, y C-C' barrio El Lázaro.

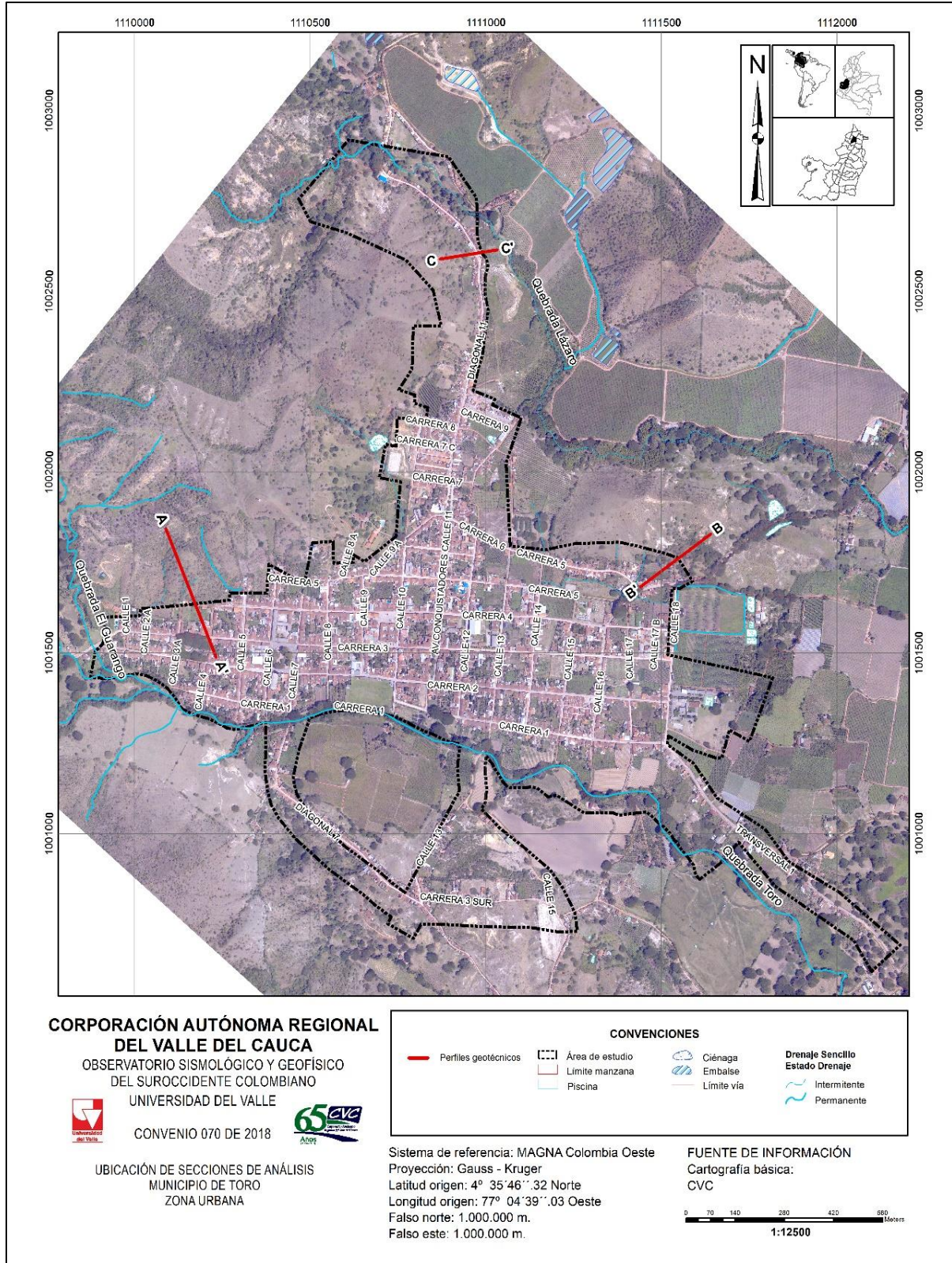


Figura 8.56. Ubicación de las secciones de análisis de la zona urbana del municipio de Toro
Fuente: elaboración propia

En las Figura 8.57 a 8.59 se presentan los perfiles, realizados en la zona urbana del municipio de Toro, 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.

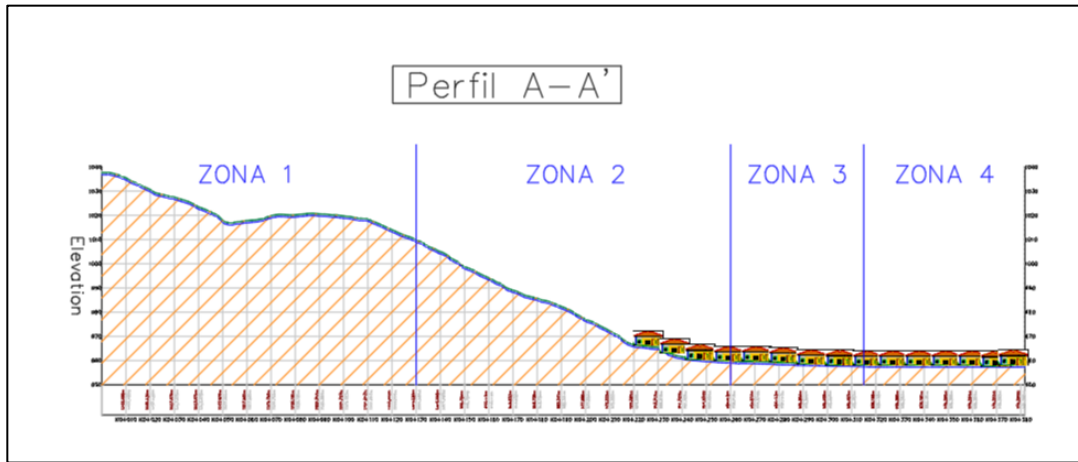


Figura 8.57. Perfil A-A''

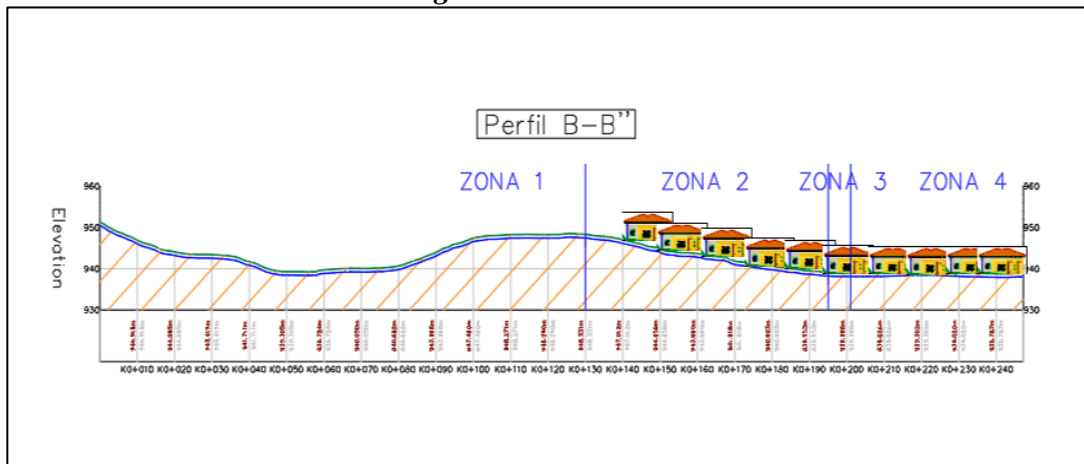


Figura 8.58. Perfil B-B''

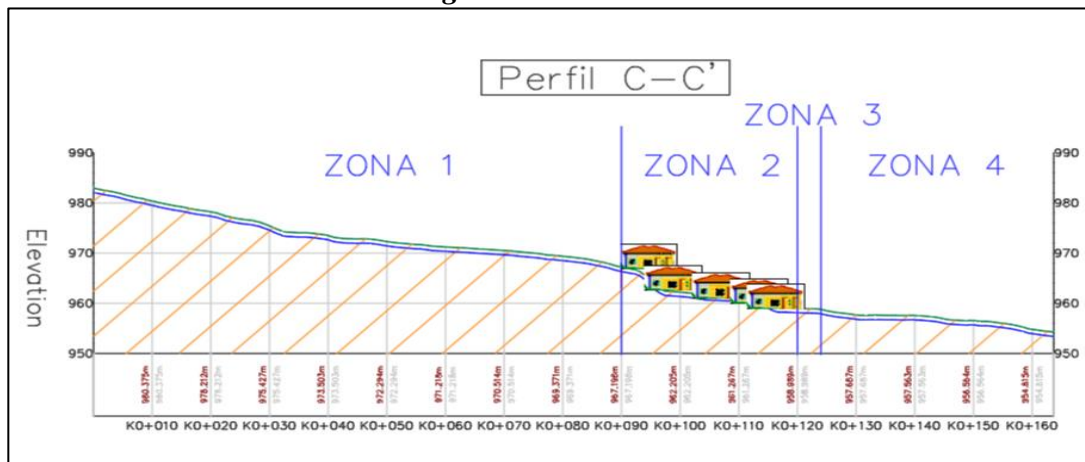


Figura 8.59. Perfil C-C'
Fuente: elaboración predio.

En la Tabla 8.69, 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 a 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 Santa Elena presenta una magnitud (volumen) de $96275 m^3$ con una Intensidad (velocidad) de 2,0 m/s y una distancia de viaje de 55 metros. La sección B-B' tomada en el barrio San José, con una magnitud (volumen) de $3594 m^3$, una intensidad (velocidad) de 0,5m/s y una distancia de viaje de 6 metros.

Y por último la sección C-C' tomada en el barrio San lázaro, con una Magnitud (volumen) de $2870 m^3$ con una intensidad (velocidad) 0,1 m/s y una distancia de viaje 4 metros.

Tabla 8.69. Caracterización de la amenaza por movimiento en masa, zona urbana del municipio de Toro

| CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA | | | |
|-------------------------------|-------------------------|----------------------|------------------------|
| SECCION | MAGNITUD Vol. (m^3) | INTENSIDAD Vel (m/s) | DISTANCIA DE VIAJE (m) |
| A-A' | 96275 | 2,0 | 55 |
| B-B' | 3594 | 0,5 | 6 |
| C-C' | 2870 | 0,1 | 4 |

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 8.70 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 8.70. Insumos para la vulnerabilidad de Toro

| PERFIL | Densidad (kg/m^3) | Gravedad (m/s^2) | Longitud (m) | Pid (N) | Pid (KN) | Pd Profundidad del deslizamiento (m) |
|--------|-----------------------|----------------------|--------------|---------|----------|--------------------------------------|
| A-A' | 1839 | 9,8 | 104 | 1873965 | 1874 | 16 |
| B-B' | 1650 | 9,8 | 44 | 711480 | 711 | 3 |
| C-C' | 1839 | 9,8 | 34 | 612643 | 613 | 4 |

Fuente: elaboración propia.

8.4.2.1.1. 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 8.71 y Figura 8.60 se presenta el factor de resistencia corporal frente al fenómeno de movimiento en masa. El 0.75% de la población obtuvo factor de resistencia alto, 7.46% factor de resistencia medio y el 91.79% presenta un factor de resistencia bajo.

Tabla 8.71. Distribución porcentual del factor de resistencia corporal por movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro

| FACTOR DE RESISTENCIA CORPORAL | PORCENTAJE DE POBLACIÓN |
|--------------------------------|-------------------------|
| Alta | 0,75% |
| Media | 7,46% |
| Baja | 91,79% |

Fuente: elaboración propia.

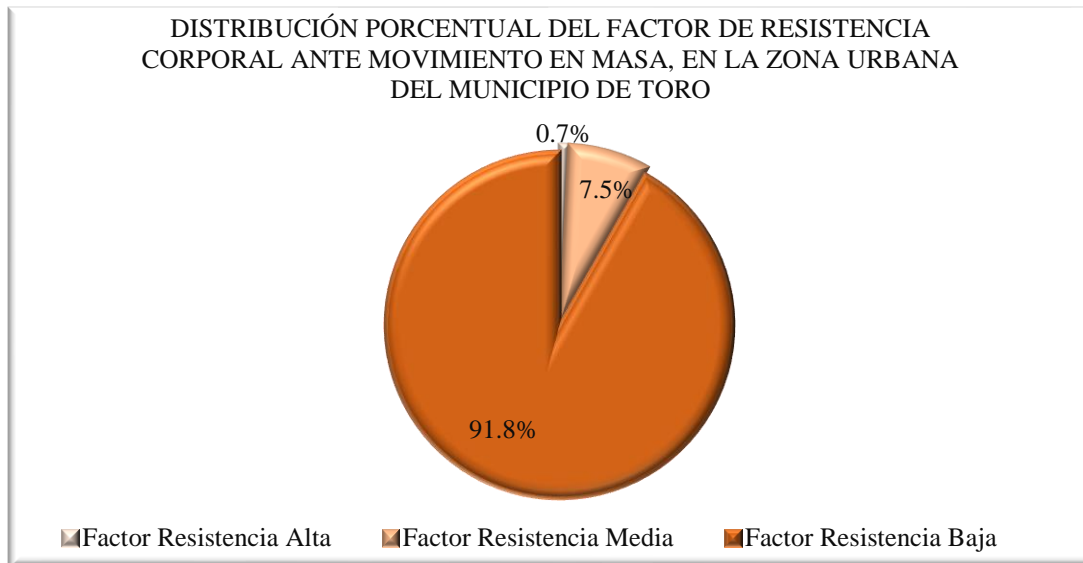


Figura 8.60. Distribución porcentual del factor de resistencia corporal ante movimiento en masa, en la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

El factor de resistencia corporal ante el fenómeno de movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro se muestra que el barrio El Lázaro presenta factores de resistencia corporal bajos y medios. Palermo arrojó valores de resistencia corporal baja. Los barrios San José y Santa Elena presentan factor de resistencia media y baja (Figura 8.61).

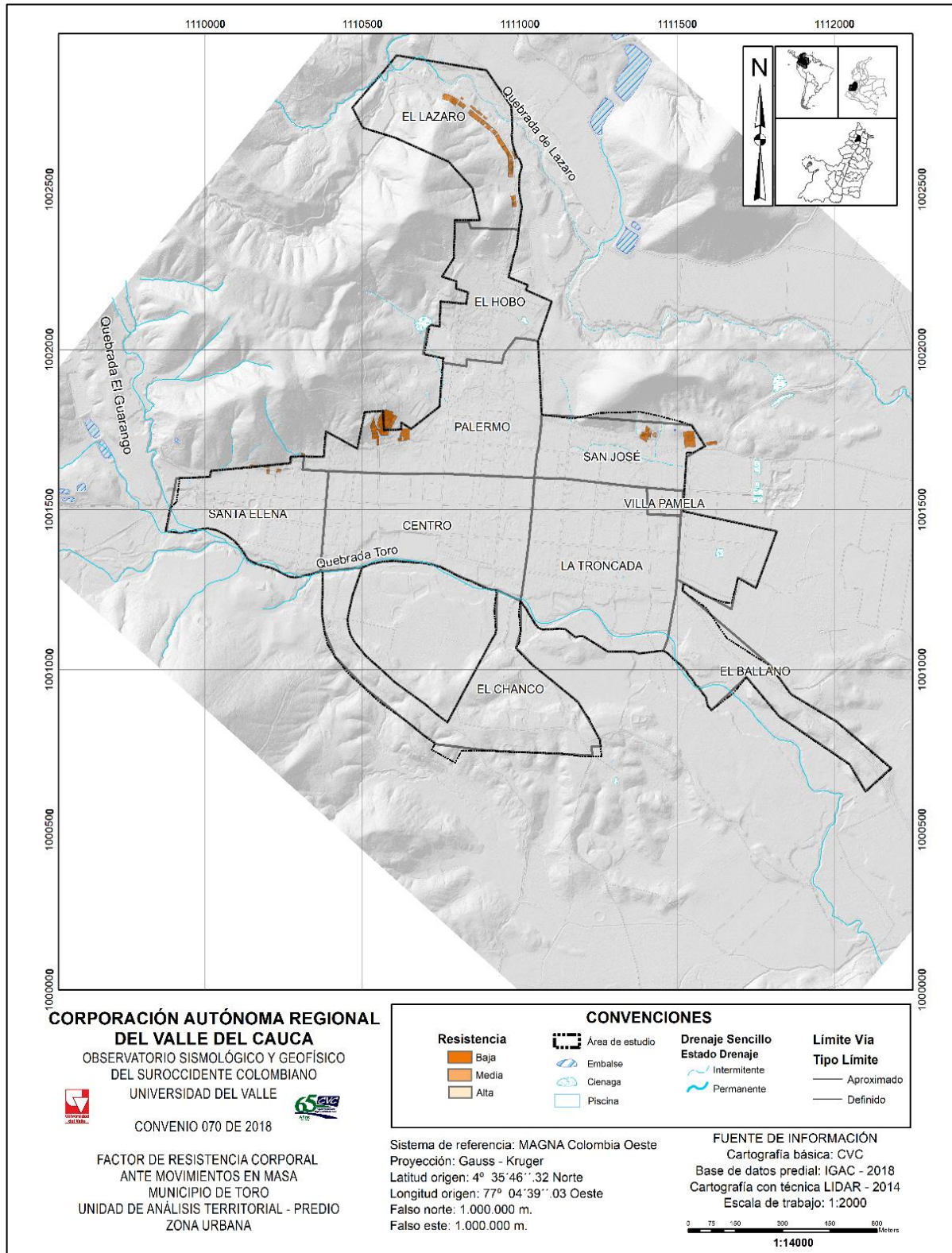


Figura 8.61. Factor de resistencia corporal ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro

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 88 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 56 edificaciones, seguido de 18 edificaciones en madera, tapia y bahareque, 13 edificaciones de tipo mampostería confinada. Finalmente, 1 edificación con otro tipo de construcción (Tabla 8.72 y Figura 8.62).

Tabla 8.72. Número de edificaciones según su tipología de edificación

| TIPO DE CONSTRUCCIÓN | NÚMERO DE EDIFICACIONES |
|---------------------------|-------------------------|
| Mampostería no Reforzada | 56 |
| Mampostería Confinada | 13 |
| Madera, Tapia, Bahareque | 18 |
| Otro (Matrrial reciclado) | 1 |
| Total | 88 |

Fuente: elaboración propia.

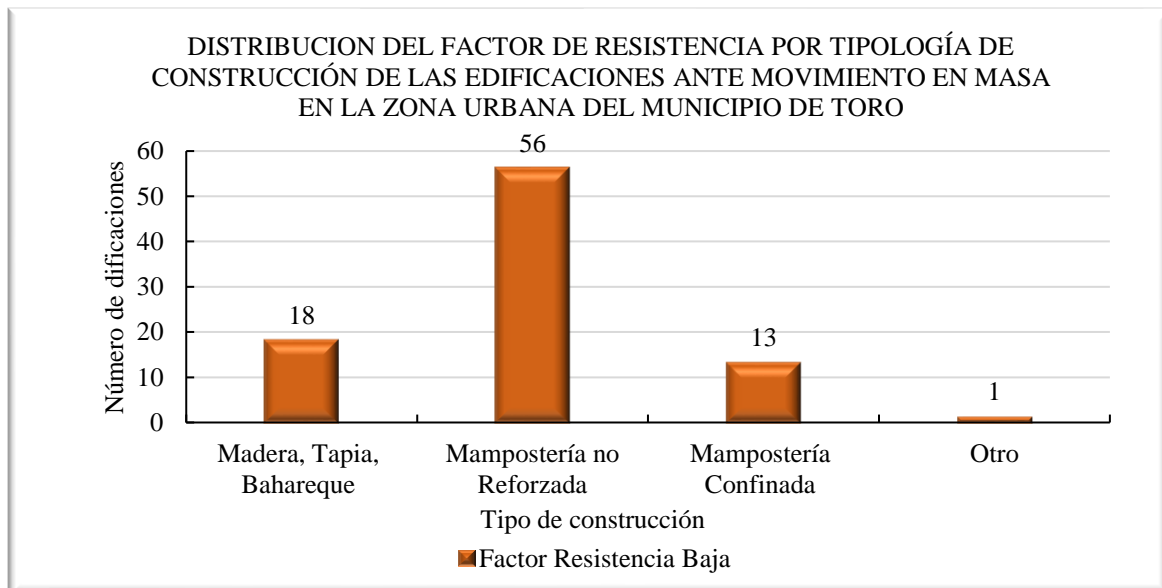


Figura 8.62. Distribución del factor de resistencia por tipología de construcción de las edificaciones ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro

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 8.73 se presenta que las edificaciones en estado bueno hay 46 edificaciones. Con daños moderados 28 edificaciones y con daños graves 14 edificaciones (Figura 8.63).

Tabla 8.73. Número de edificaciones y su estado de conservación

| ESTADO DE CONSERVACIÓN | NÚMERO DE EDIFICACIONES |
|------------------------|-------------------------|
| Bueno | 46 |
| Daños Moderados | 28 |
| Daños Graves | 14 |
| Total | 88 |

Fuente: elaboración propia.

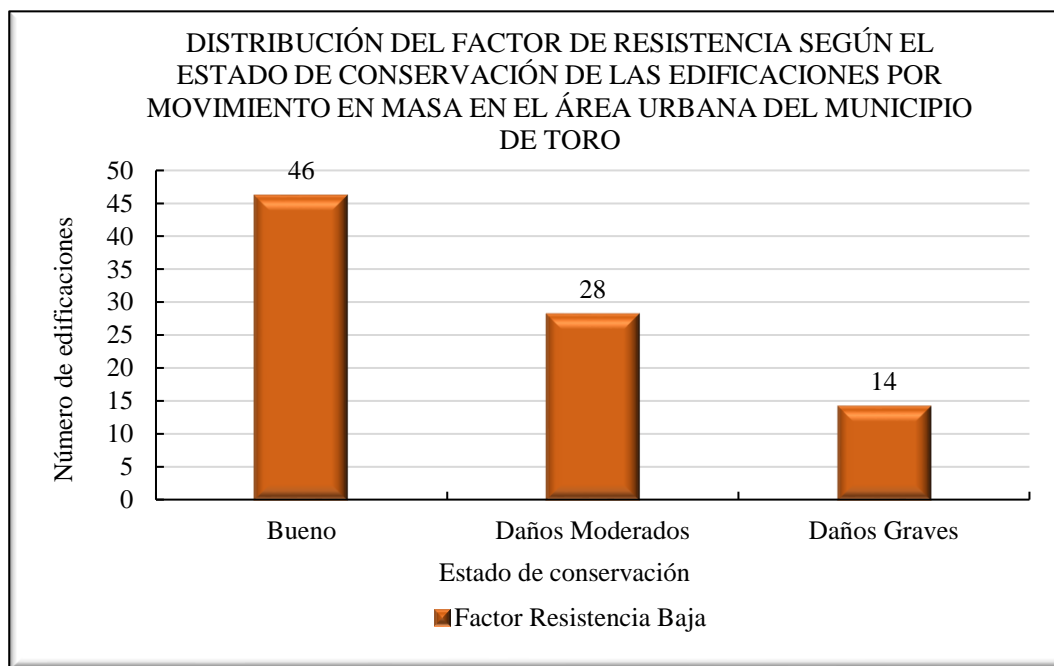


Figura 8.63. Factor de resistencia según el estado de conservación de las edificaciones por movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro

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 8.74 en la cual, el tiempo de servicio se estableció por rangos. Se encontró que el rango de edad con mayor frecuencia fue 20 años con 38 edificaciones. Edificaciones entre los 20 y 29 años, se tienen 16. Dentro del rango de edad entre los 30 y 39 años, se obtuvieron 28 edificaciones. En cuanto al rango de edad entre los 50 y 79 años, se encontró 6 edificaciones (Figura 8.64).

Tabla 8.74. Número de edificaciones según su rango de edad o tiempo de servicio

| RANGO DE EDAD | NÚMERO DE EDIFICACIONES |
|---------------|-------------------------|
| <20 | 38 |
| [20 - 29] | 16 |
| [30 - 49] | 28 |
| [50 - 79] | 6 |
| Total | 88 |

Fuente: elaboración propia.

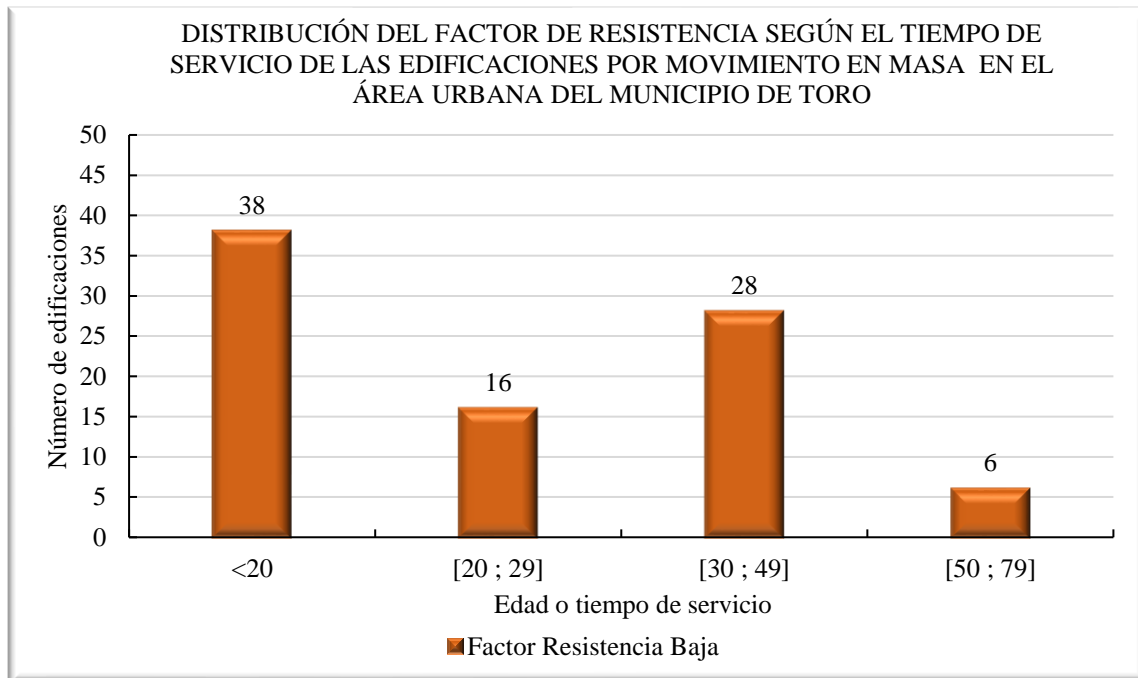


Figura 8.64. Distribución de factor de resistencia según la edad de las edificaciones por movimiento en masa, zona urbana del municipio de Toro

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 8.75 y Figura 8.65).

Tabla 8.75. Número de edificaciones y según edificaciones

| NÚMERO DE PISOS | NÚMERO DE EDIFICACIONES |
|-----------------|-------------------------|
| 1 | 79 |
| 2 | 9 |
| Total | 88 |

Fuente: elaboración propia.

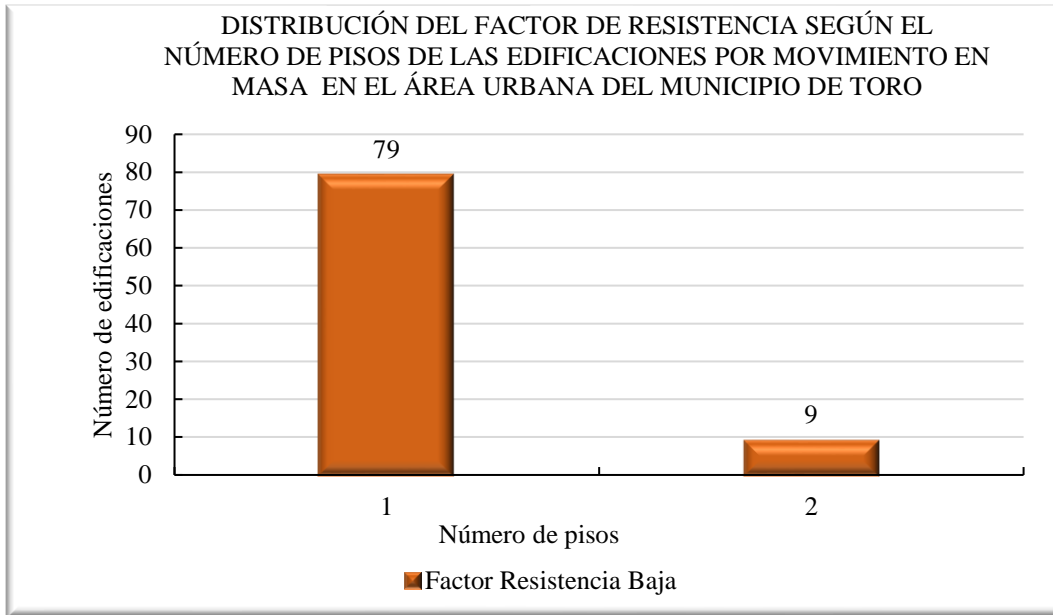


Figura 8.65. Distribución del factor de resistencia según el número de pisos de las edificaciones por movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

La Figura 8.66, muestra el comportamiento espacial de la resistencia estructural ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro. Las edificaciones en los barrios El Lázaro, Palermo, San José y Santa Elena, presentan factor de resistencia baja.

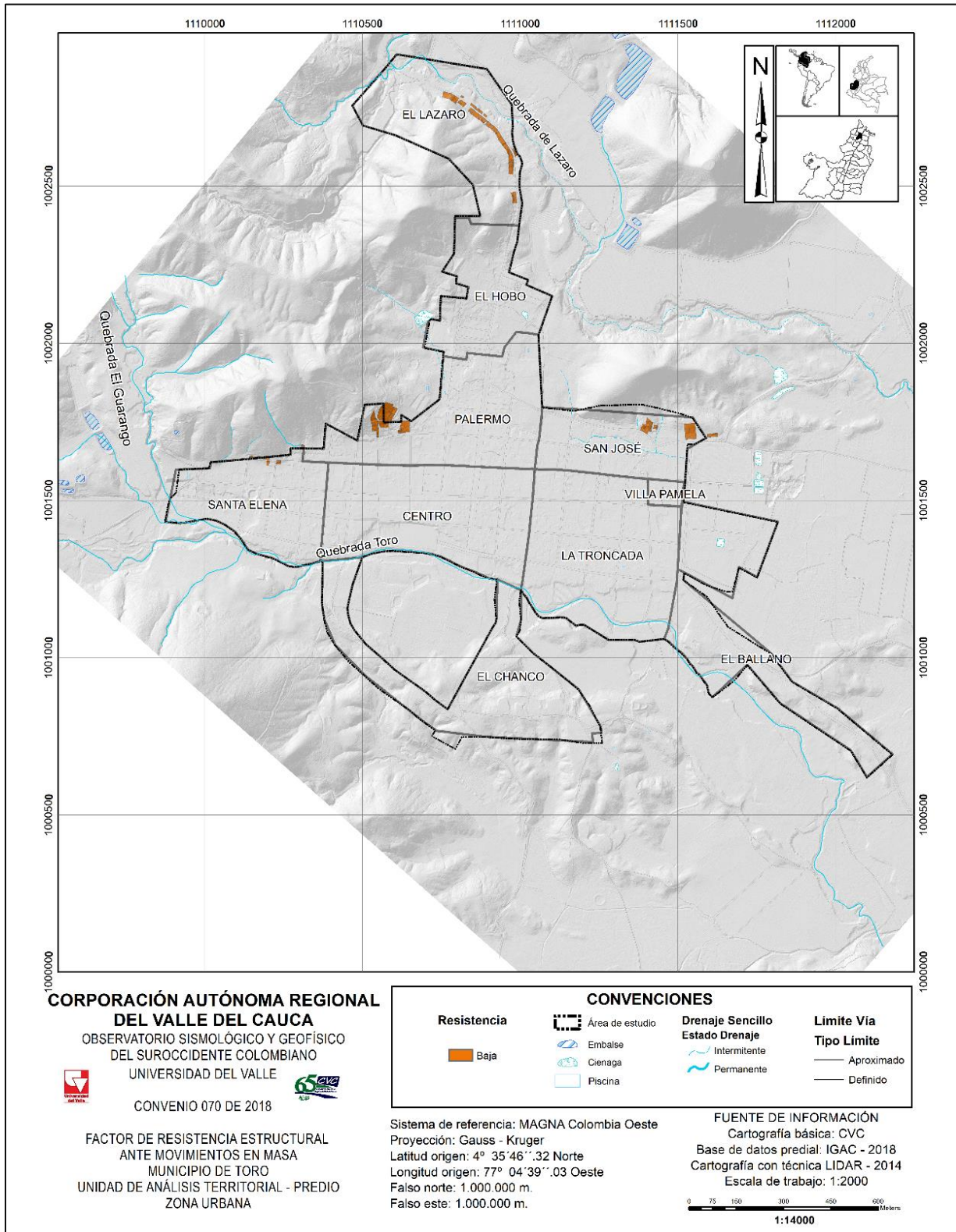


Figura 8.66. Factor de resistencia estructural ante movimiento en masa, zona urbana del municipio de Toro

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 y alcantarillado, 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 a 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 485,99 m de red vial en el municipio de Toro presenta resistencia baja, el cual 414,74m se encuentran en material de concreto, con factor de resistencia media 325,51 y 89,22m con factor de resistencia alta. Mientras que la red vial sin recubrimiento de capa asfáltica o concreto tiene 71,26 m (Tabla 8.76 y Figura 8.67).

También se obtuvo el factor de resistencia según su distribución de la longitud de la vía y su respectivo ancho. Encontrándose anchos viales de 3m a 7m (Tabla 8.77). De los 485,99 m de longitud de la red vial en resistencia media se encuentran 325,52m con un ancho de 7m y en resistencia alta se encuentran 160,48m con 3m de ancho (Figura 8.68).

Tabla 8.76. Factor de resistencia de la red vial según su material ante movimiento en masa, zona urbana del municipio de Toro

| MATERIAL DE LA RED VIAL | LONGITUD (M) | | |
|----------------------------|--------------------------|-------------------------|---------------|
| | FACTOR RESISTENCIA MEDIA | FACTOR RESISTENCIA BAJA | TOTAL |
| Concreto | 325,51 | 89,22 | 414,74 |
| Destapada | 0 | 71,26 | 71,26 |
| Total | 325,51 | 160,48 | 485,99 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8.77. Factor de resistencia de la red vial según su ancho(m) ante movimiento en masa, zona urbana del municipio de Toro

| ANCHO DE LA RED VIAL | LONGITUD (M) | | |
|-------------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------|
| | FACTOR RESISTENCIA MEDIA | FACTOR RESISTENCIA BAJA | TOTAL |
| 3 | 0,00 | 160,48 | 160,48 |
| 7 | 325,51 | 0,00 | 325,51 |
| Total | 325,51 | 160,48 | 485,99 |

Fuente: elaboración propia.

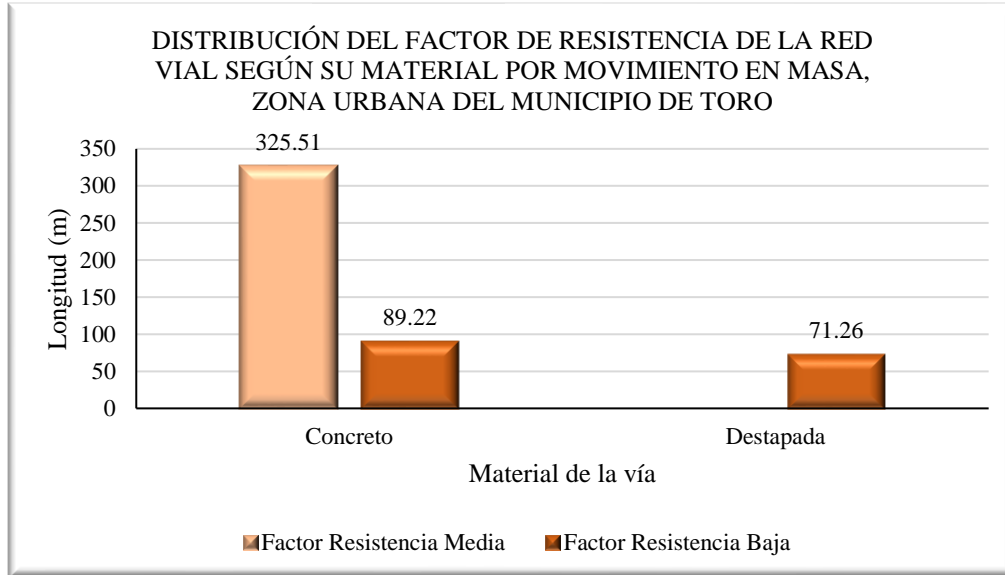


Figura 8.67. Distribución del factor de resistencia de la red vial según su material por movimiento en masa, zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

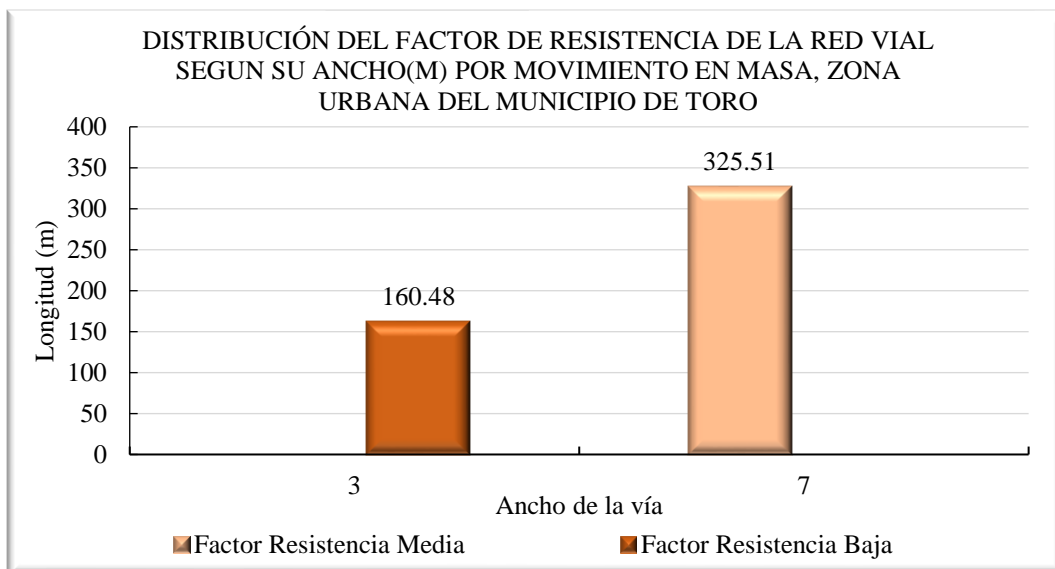


Figura 8.68. Distribución del actor de resistencia de la red vial según ancho(m) por movimiento en masa, zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

La Figura 8.69 muestra el comportamiento espacial de la resistencia en la red vial ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro. El barrio El Lázaro, sus tramos de vía analizado, presentan factor de resistencia media ante un movimiento en masa. Caso contrario para los tramos de la red expuesta en los barrios Palermo, San José y Santa Elena, que presentaron resistencia baja.

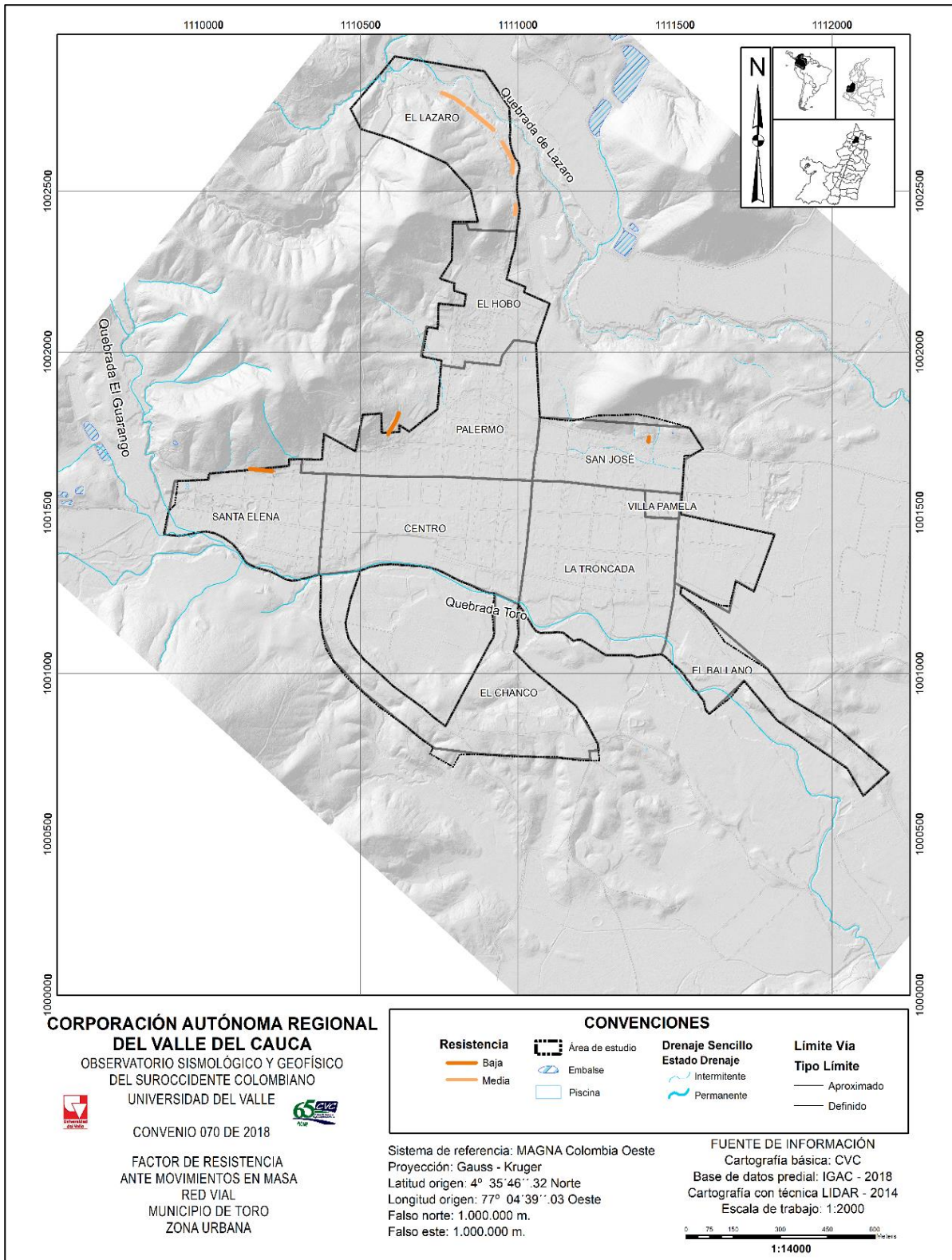


Figura 8.69. Factor de resistencia de la red vial ante movimiento en masa, zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

- **Factor de resistencia red eléctrica**

De acuerdo a 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 14 postes expuestos ante movimiento en masa.

La Tabla 8.78 muestra el número de postes y su tipo de material. Los 14 postes analizados, 13 postes son de material de concreto con un a craga nominal de 5001N y 1 poste en material de madera con una craga nominla de 3432N.

Tabla 8.78. Número de postes según su material

| MATERIAL | CARGA NOMINAL | NÚMERO DE POSTES |
|--------------|---------------|------------------|
| Concreto | 5001N | 13 |
| Madera | 3432N | 1 |
| TOTAL | | 14 |

Fuente: elaboración propia.

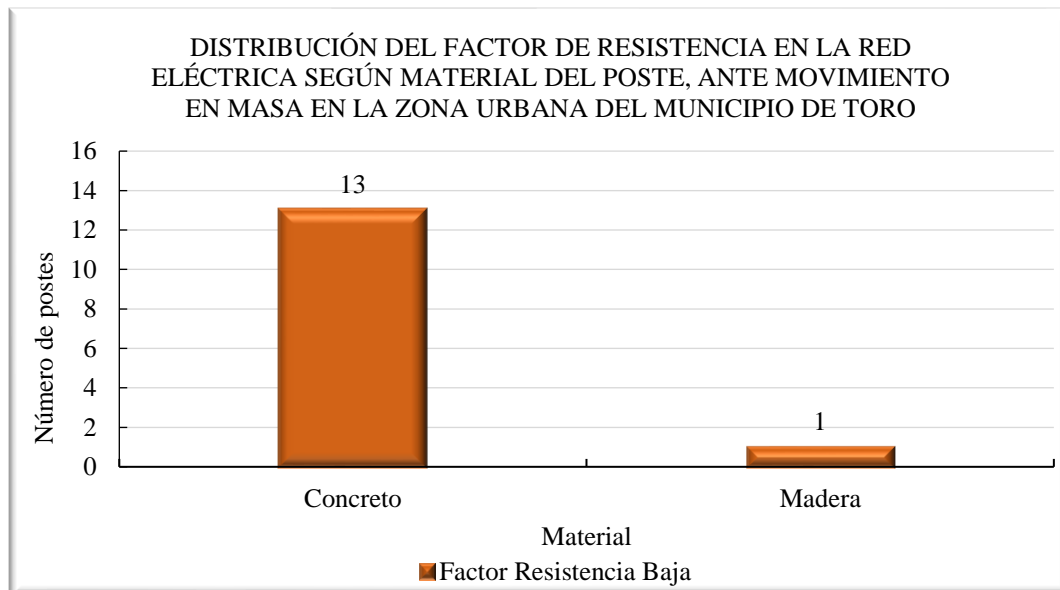


Figura 8.70. Distribución del factor de resistencia en la red eléctrica según material del poste, ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

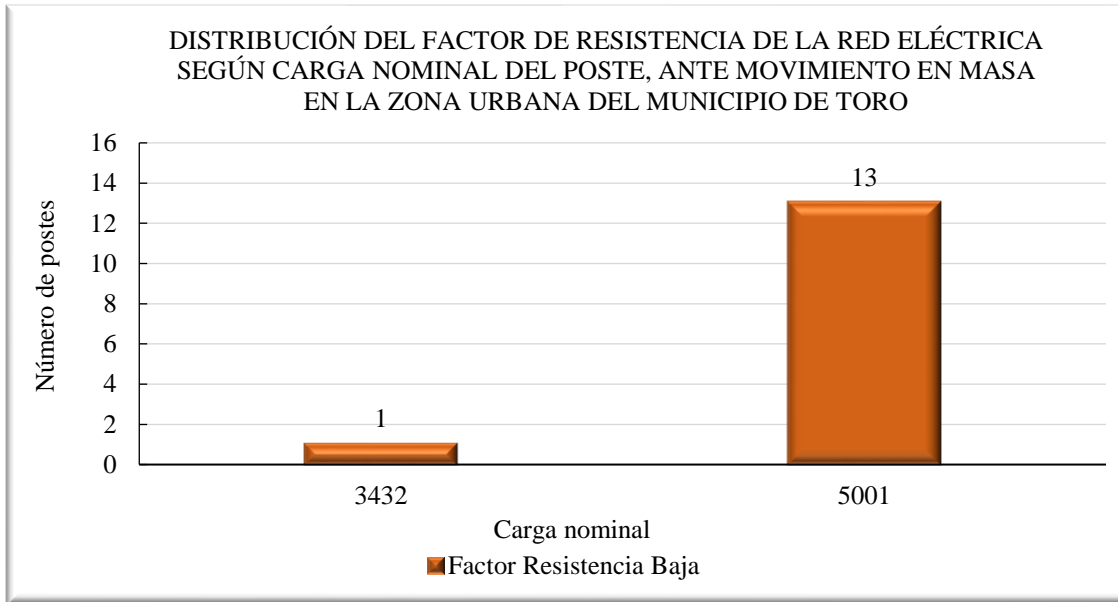


Figura 8.71. Distribución del factor de resistencia de la red eléctrica según carga nominal del poste, ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

La Figura 8.72 muestra el comportamiento espacial de la resistencia en la red eléctrica ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro. Los postes 14 analizados en los barrios El Lázaro, Palermo, San José y Santa Elena, presentan factor de resistencia baja.

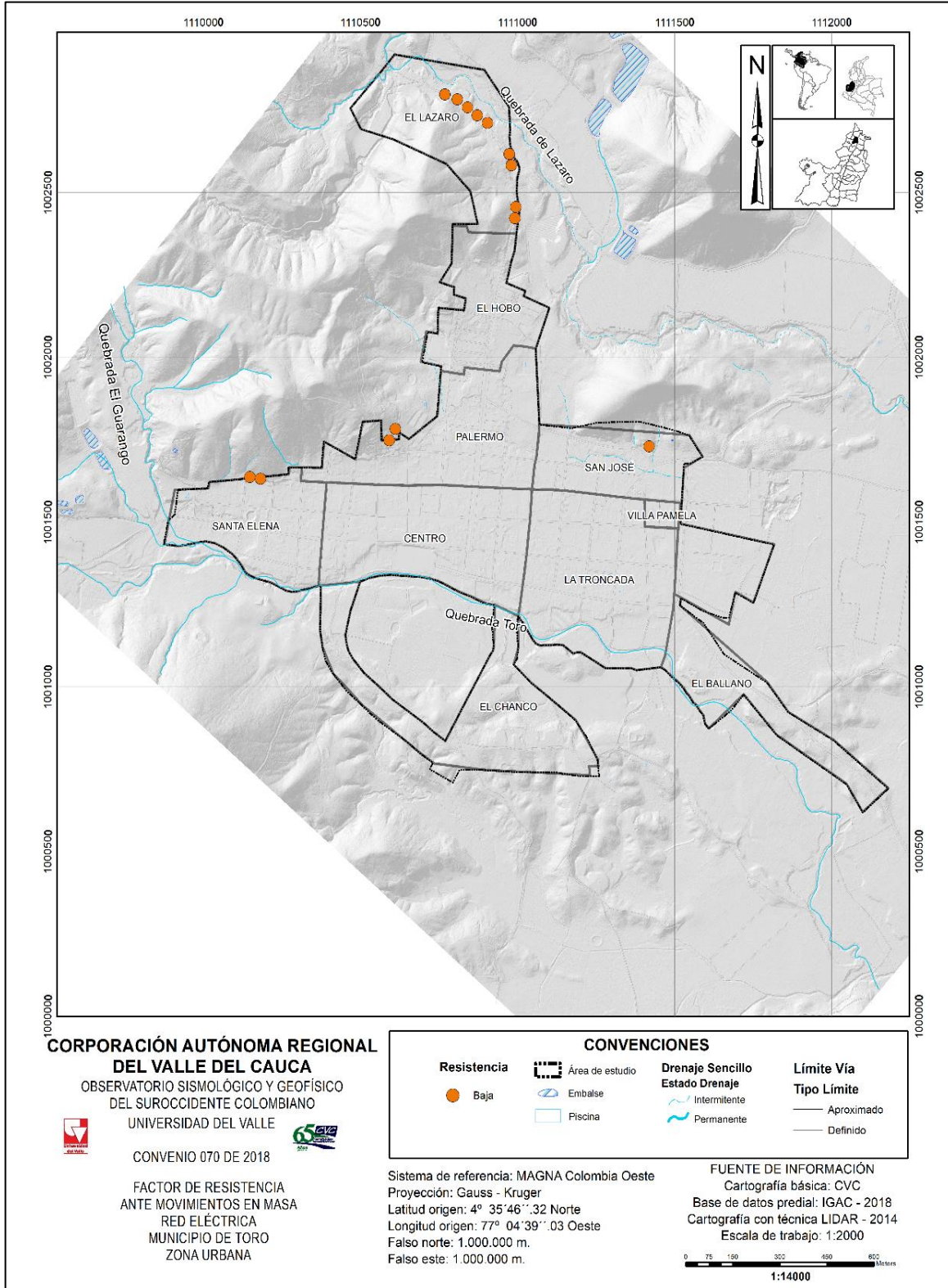


Figura 8.72. Factor de resistencia ante movimiento en masa de la red eléctrica, en la zona del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

8.4.3. 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 Toro.

A continuación, se presentan los resultados de vulnerabilidad corporal, vulnerabilidad estructural y vulnerabilidad de líneas vitales.

8.4.3.1. 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 Toro.

En la Tabla 8.79 y Figura 8.73 se expone la vulnerabilidad a partir del porcentaje de la población encuestada, el 15.67% tienen vulnerabilidad corporal alta, el 2.24% poseen vulnerabilidad corporal media y el 82.09% poseen vulnerabilidad corporal baja.

Tabla 8.79. Distribución de la vulnerabilidad corporal de la zona urbana del municipio de Toro

| VULNERABILIDAD CORPORAL | PORCENTAJE DE POBLACIÓN |
|-------------------------|-------------------------|
| Alta | 15,67% |
| Media | 2,24% |
| Baja | 82,09% |

Fuente: elaboración propia.

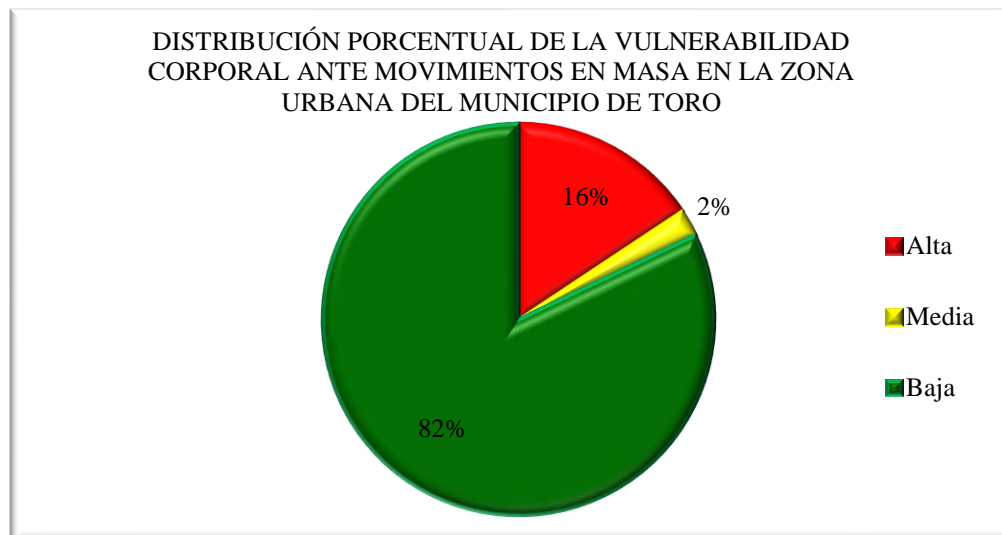


Figura 8.73. Distribución del porcentaje de la vulnerabilidad corporal de la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

La Figura 8.74 muestra la distribución de la vulnerabilidad corporal ante el fenómeno de movimiento en masa de la zona urbana del municipio de Toro. Presentando vulnerabilidad corporal

alta el barrio Palermo. Caso contrario en los barrios San José, Santa Elena y El Lázaro, que presentan vulnerabilidad corporal baja.

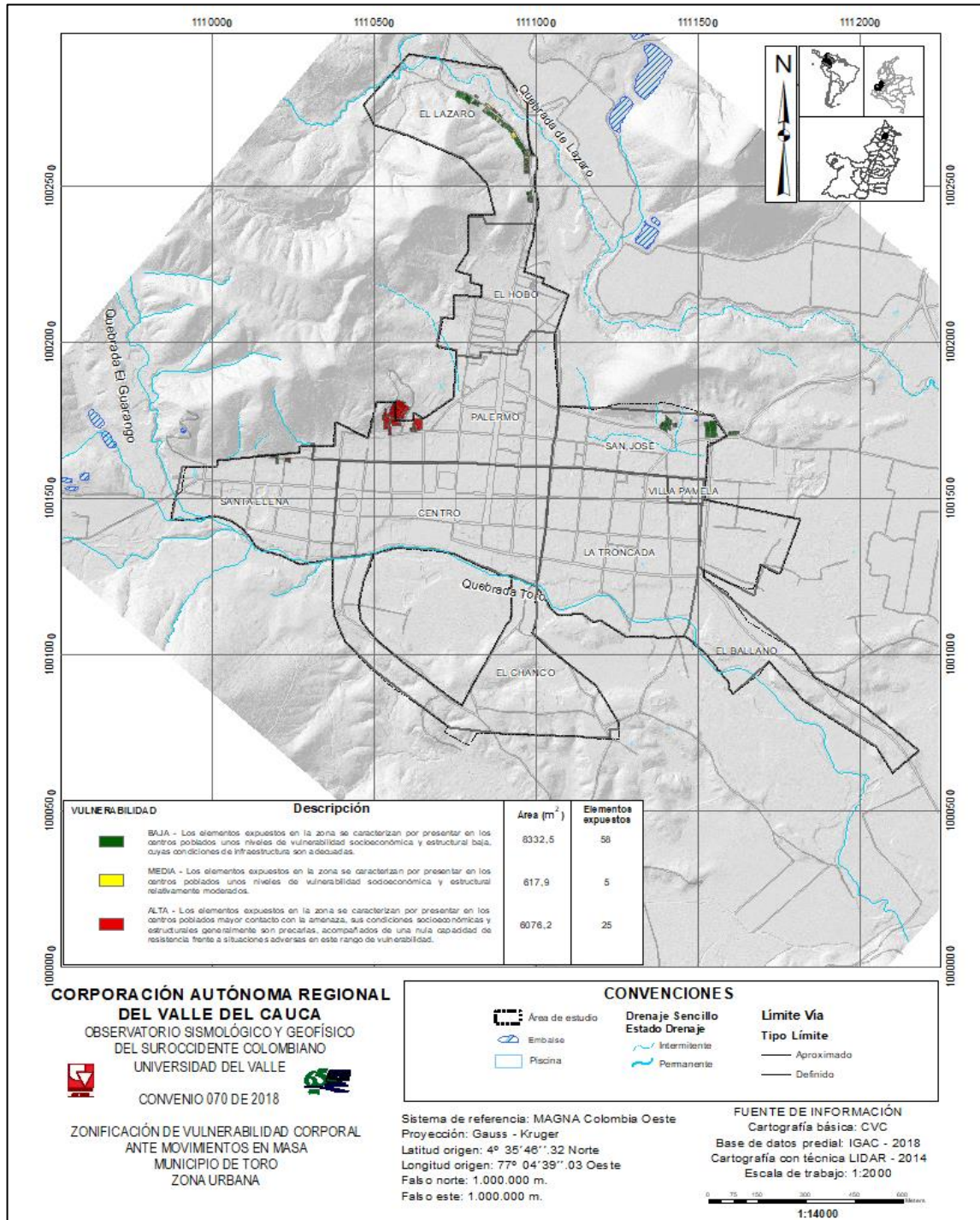


Figura 8.74. Zonificación de vulnerabilidad corporal ante movimiento en masa, zona urbana de municipio de Toro
Fuente: elaboración propia.

8.4.3.2. Vulnerabilidad estructural

En el análisis de vulnerabilidad estructural se clasificó en alta, media como lo muestra la Tabla 8.80 la relación entre el número de edificaciones, área m² y porcentaje de área. En la zona urbana del municipio se encontró un total de 580 edificaciones y un total de área 251.552,04 m². Las edificaciones con vulnerabilidad alta se halló 371 edificaciones siendo el 68.8% del área. En vulnerabilidad media se encuentran 22 edificaciones y un total de área 5949,81 m², es decir el 2.37%. Mientras que, en el nivel de vulnerabilidad baja se encontró 187 edificaciones y un total de área 72394,97 m² con un porcentaje del área total del 28.8% (Figura 8.75).

Tabla 8.80. Vulnerabilidad estructural por movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro

| VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL | NÚMERO DE EDIFICACIONES | ÁREA M ² | PORCENTAJE ÁREA |
|----------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------|
| Alta | 36 | 7459,85 | 49,64% |
| Media | 9 | 2400,46 | 15,97% |
| Baja | 43 | 5166,32 | 34,38% |
| Total | 88 | 15026,65 | 100% |

Fuente: elaboración propia.

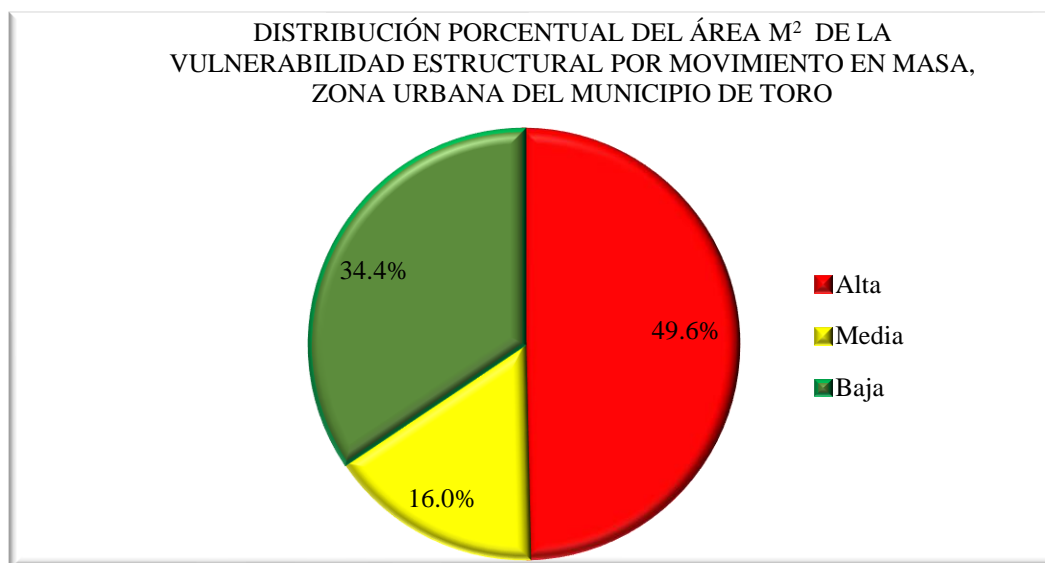


Figura 8.75. Distribución porcentual del área (m²) de la vulnerabilidad estructural por movimiento en masa de la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

La Figura 8.76 muestra el comportamiento espacial de la vulnerabilidad estructural por movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro. Obteniendo principalmente edificaciones con vulnerabilidad baja en el barrio Lázaro, San José y Santa Elena. Caso contrario de las edificaciones analizadas en el barrio Palermo, donde por condiciones propias de amenaza y edificativas, tienen vulnerabilidad alta.

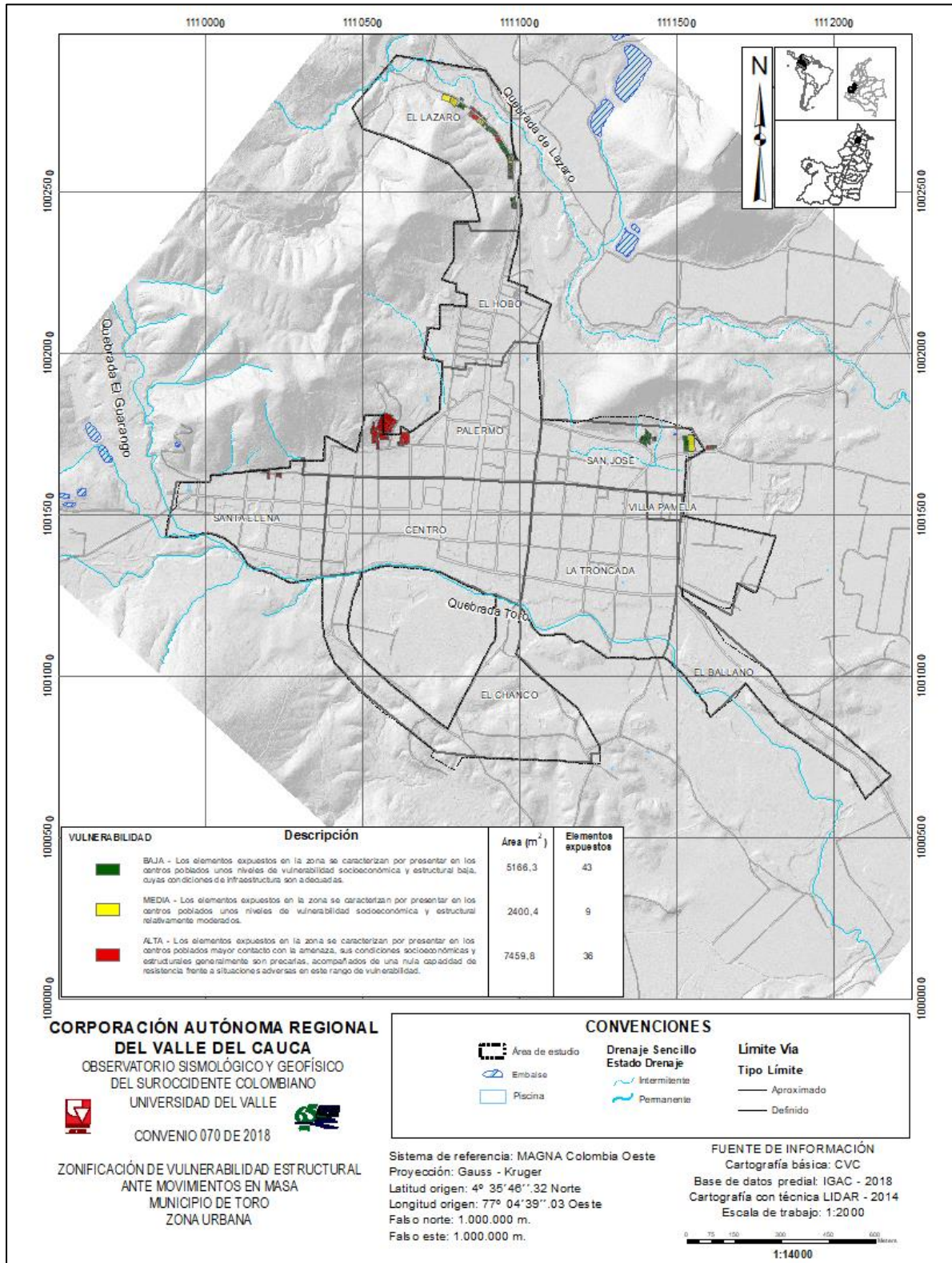


Figura 8.76. Zonificación de vulnerabilidad estructural ante movimiento en masa, zona urbana del municipio de Toro
Fuente: elaboración propia.

8.4.3.3. Vulnerabilidad de las líneas vitales

En el municipio de Toro, el análisis de vulnerabilidad de las líneas vitales se realizó para la red vial y los psotes que soportan la red eléctricas.

- **Red vial**

Los 485,9 metros de longitud de la red vial se clasificó en vulnerabilidad alta, media y baja ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro, el cual 150,96m se encuentra en vulnerabilidad alta, en vulnerabilidad media 9,52m y 325,51m vulnerabilidad baja (Tabla 8.81 y Figura 8.77).

Tabla 8.81. Vulnerabilidad de la red vial por movimiento en masa, zona urbana del municipio de Toro

| LONGITUD (M) RED VIAL | | | TOTAL |
|-----------------------|----------------------|---------------------|---------------|
| VULNERABILIDAD ALTA | VULNERABILIDAD MEDIA | VULNERABILIDAD BAJA | |
| 150,96 | 9,52 | 325,51 | 485,99 |

Fuente: elaboración propia.

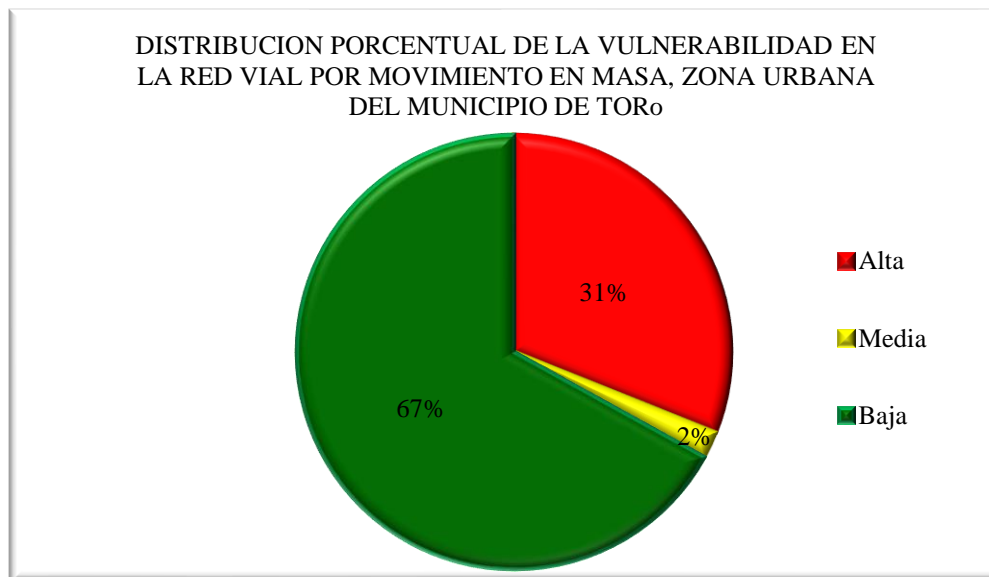


Figura 8.77. Distribución de la vulnerabilidad de la red vial por movimiento en masa, zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

La Figura 8.78 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 Santa Elena, San José y Palermo, que presentan vulnerabilidad alta y media. En vulnerabilidad alta se encuentran los tramos viales de los barrios de Vivienda Obrera y Plaza Vieja.

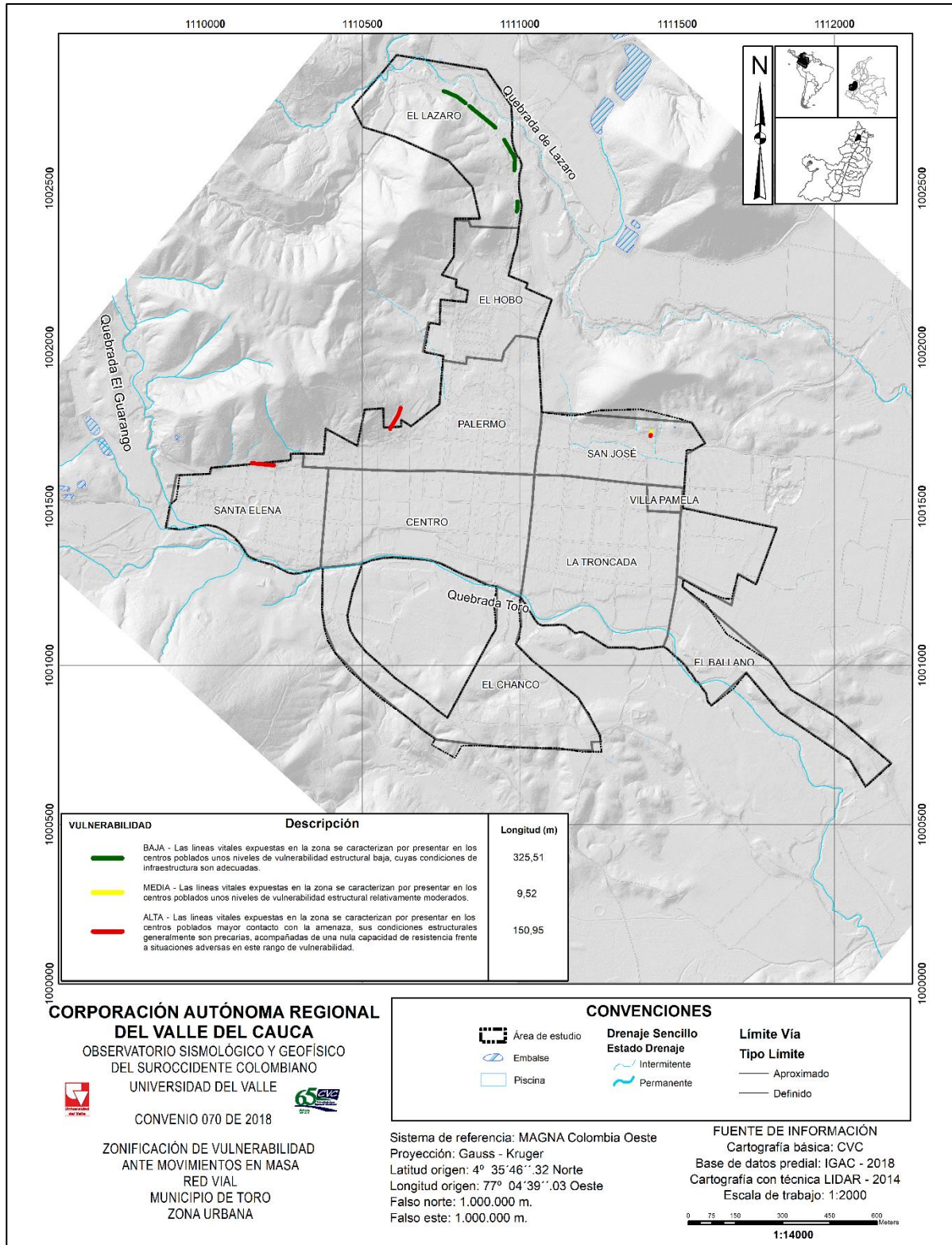


Figura 8.78. Zonificación de vulnerabilidad ante movimiento en masa de la red en la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

- **Red eléctrica**

Los 14 postes analizados arrojaron vulnerabilidad alta ante movimiento en masa, como lo muestra la Tabla 8.82

Tabla 8.82. Vulnerabilidad de la red eléctrica por movimiento en masa, zona urbana del municipio de Toro

| LINEA VITAL | VULNERABILIDAD (NÚMERO DE POSTES) |
|---------------|-----------------------------------|
| | ALTA |
| Red eléctrica | 14 |
| Total | 14 |

Fuente: elaboración propia.

En la Figura 8.79 muestra el comportamiento espacial de la vulnerabilidad en la red eléctrica por movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro. La totalidad de los 14 postes distribuidos en los barrios Palermo, Santa Elena, San José y El Lázaro, son altamente vulnerables.

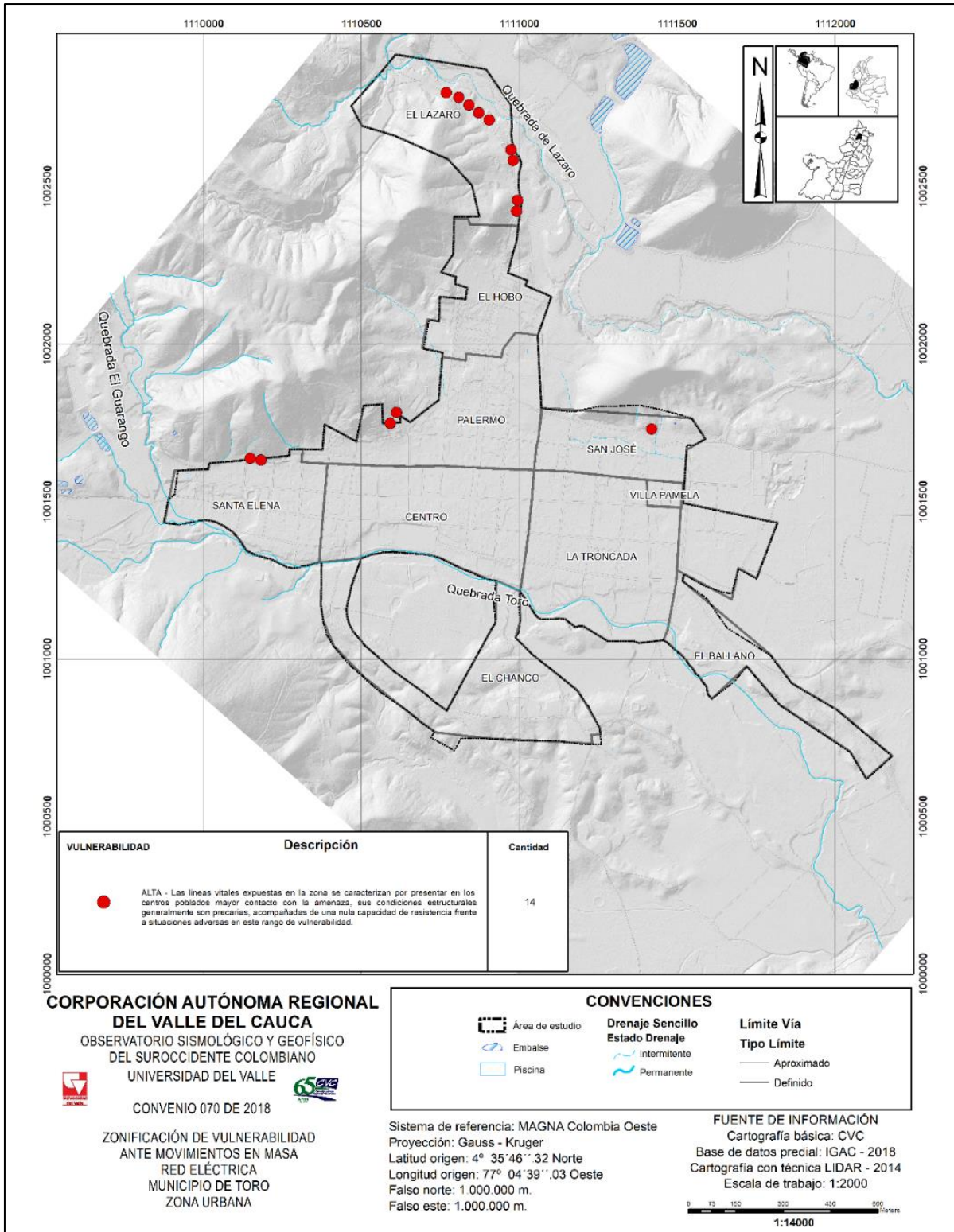


Figura 8.79. Zonificación de vulnerabilidad ante movimiento en masa de la red eléctrica en la zona urbana del municipio de Toro
Fuente: elaboración propia.

8.4.4. 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 Pásquale y Cakmak, 1989). Dicha curva está en función de la intensidad y la resistencia de los elementos expuestos.

La Figura 8.80 muestra 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 Toro. 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 Toro, 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).

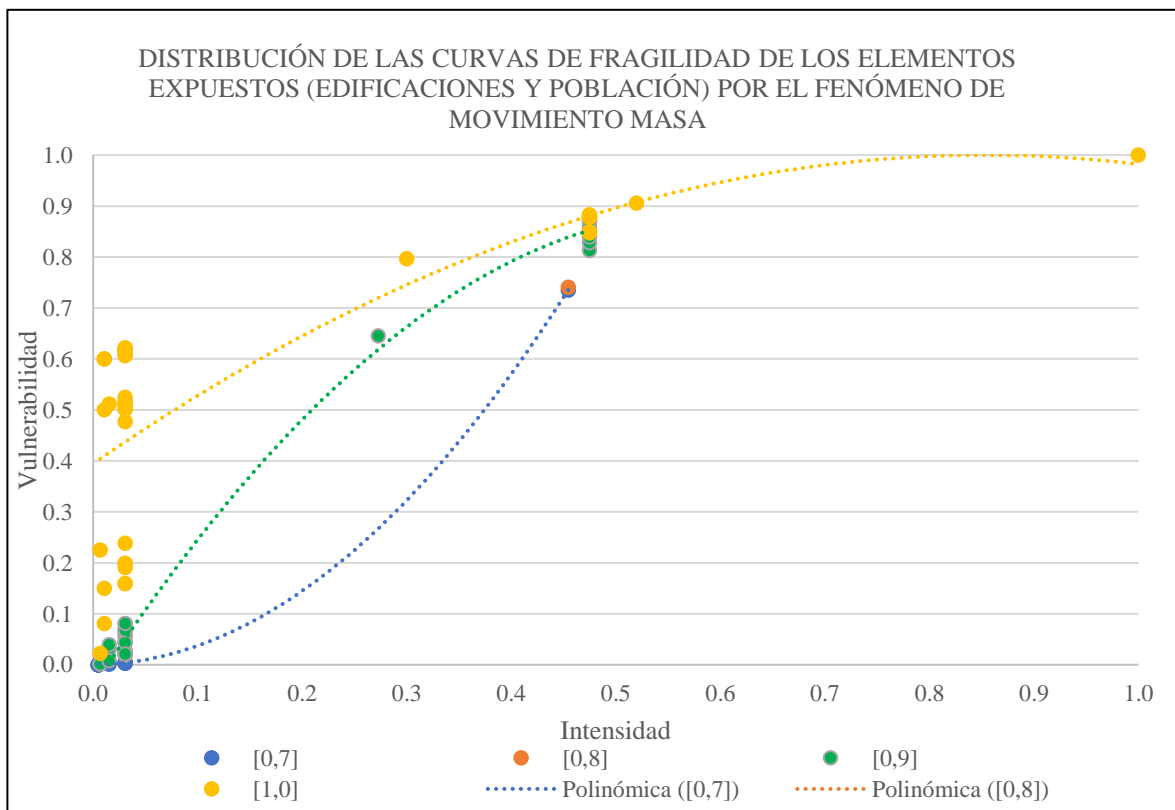


Figura 8.80. Curvas de fragilidad de los elementos expuestos (población y estructural) ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

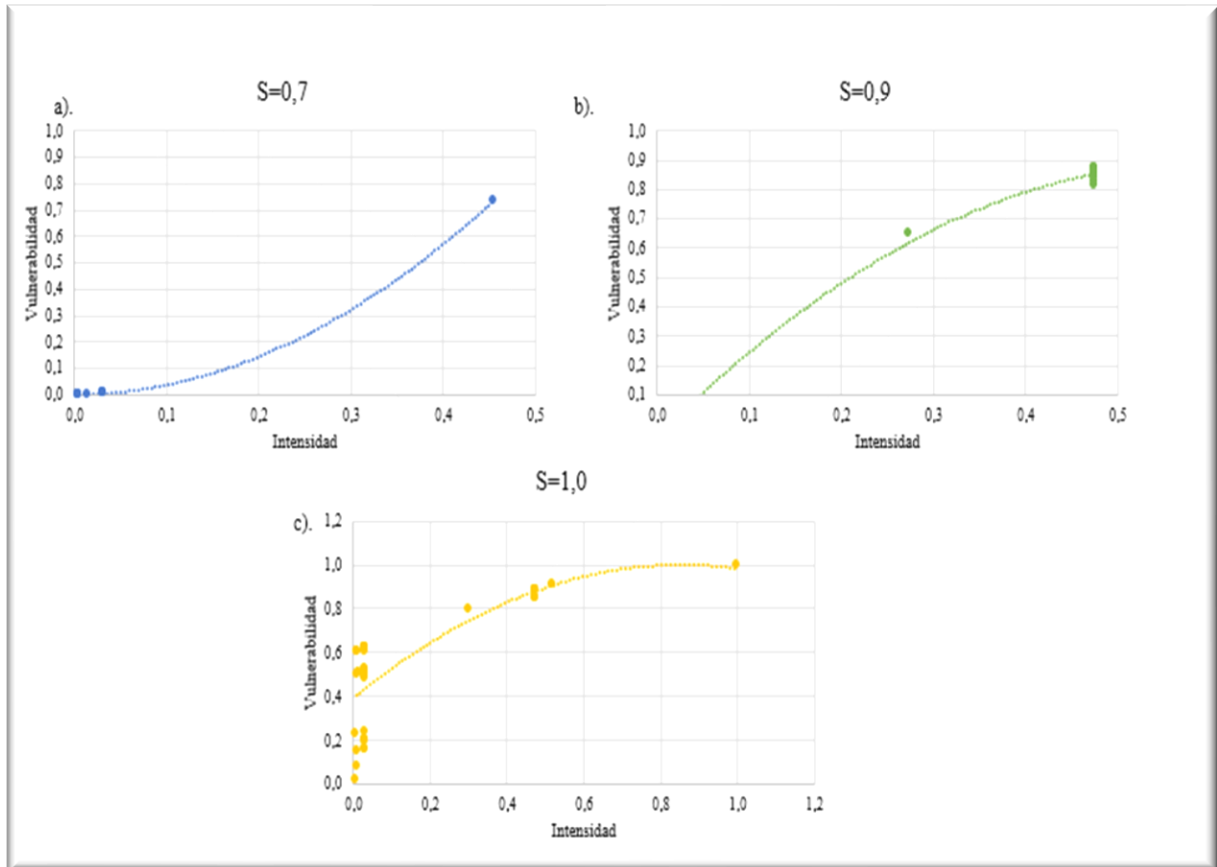


Figura 8.81. Factores de resistencia: a). Resistencia $S=0,7$; b) Resistencia $S=0,08$; c). Resistencia $S=0,9$; d). Resistencia $S=0,1$

Fuente: elaboración propia.

9. ESCENARIOS DE AFECTACIÓN POR INUNDACIÓN Y MOVIMIENTO EN MASA DEL MUNICIPIO DE TORO

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 subsistencia, 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 de 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 (71):

$$R = A * V \quad (71)$$

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 (72).

$$R = A * V$$

$$R = A * V * E_{(Coste)} \quad (72)$$

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:

$$P = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^t \quad (73)$$

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 Toro

| 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 infraestructura línea vital y nivel de vulnerabilidad estructural para líneas vitales del municipio de Toro

| 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 m²/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 m²/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 m²/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 | $5 \times 10^{-7} < v < 5 \times 10^{-4}$ | $V < 100$ | BAJA 0,00 - 0,30 | – | – |
| MEDIO | $5 \times 10^{-4} < v < 5 \times 10^{-1}$ | $100 < V < 10^6$ | 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 | $5 \times 10^{-1} < v < 5 \times 10^3$ | $10^6 < V$ | 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, artículo 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 cauces 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 riesgo alto 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 m³) de las que se derivan las zonas de amenaza alta, (Intensidad mayores a $5 \times 10^{-1} < v < 5 \times 10^3$ 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 Toro.

9.3.1. Escenario de afectación corporal

De acuerdo a 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 Toro

| NIVEL DE AFECTACIÓN | NÚMERO DE HABITANTES | PORCENTAJE DE POBLACION |
|---------------------|----------------------|-------------------------|
| Alto | 445 | 99% |
| Bajo | 5 | 1% |

Fuente: elaboración propia.



Figura 9.1. Distribución porcentual del escenario de afectación corporal por inundación en la zona urbana del municipio de Toro

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 (m²). Se obtuvo afectación estructural alta y baja para un total de 159 edificaciones y un total de 93164,29 área m². La afectación estructural alta tiene 153 edificaciones con un área de 92311,93m² representando el 84% del área total. En afectación media, solo 5 edificaciones con 852,37 m² y un porcentaje del 1% del área total. Y, en afectación estructural baja 1 edificación que corresponde al 15% del área total, con un área de 2739,77 m² (Figura 9.2).

Tabla 9.6. Escenarios de afectación estructural por inundación de la zona urbana del municipio de Toro

| AFECTACIÓN ESTRUCTURAL | EDIFICACIONES | ÁREA M ² | PORCENTAJE ÁREA |
|------------------------|---------------|---------------------|-----------------|
| Alta | 153 | 92311,93 | 84,00% |
| Media | 1 | 15994,02 | 15,00% |
| Baja | 5 | 852,37 | 1,00% |
| Total | 159 | 93164,29 | 100% |

Fuente: elaboración propia.

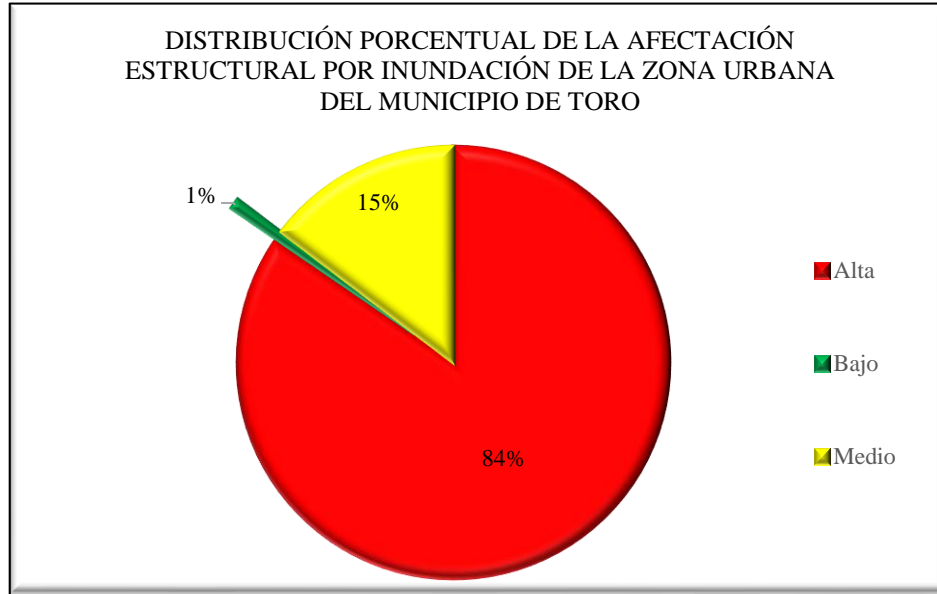


Figura 9.2. Distribución porcentual del área (m² del escenario de afectación estructural por inundación en la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

La Figura 9.3 muestra la distribución espacial del escenario de afectación por inundación en la zona urbana del municipio de Toro. Obteniendo principalmente afectación alta en los barrios Santa Elena, Centro, La Troncada, El Lázaro y El Ballano.

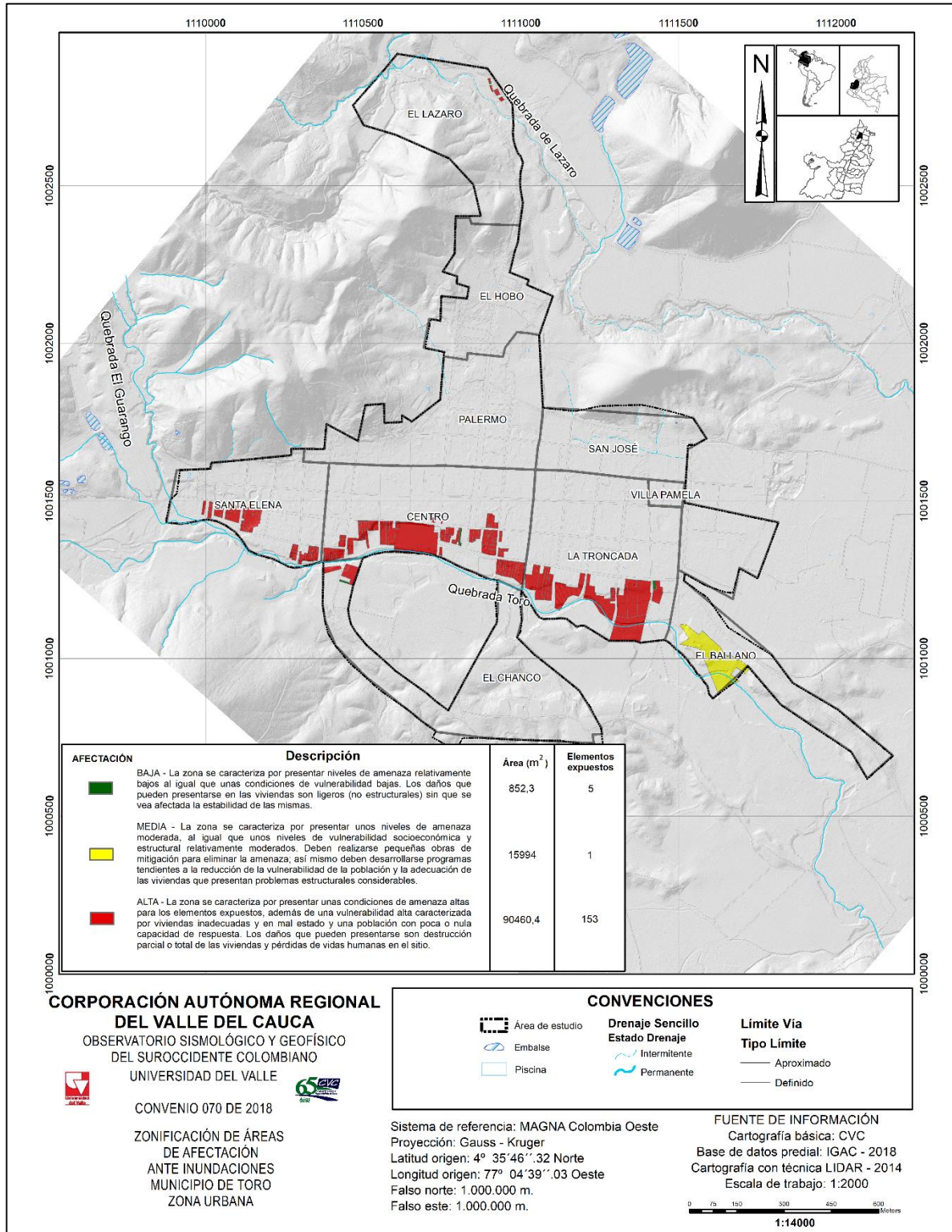


Figura 9.3. Zonificación de áreas de afectación ante inundaciones, zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

9.3.3. Escenarios de afectación líneas vitales

En el municipio de Toro, 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 se muestra los resultados del escenario de afectación de la red vial por inundación. En afectación alta se tiene 812,13 m de longitud del total de la red y en vulnerabilidad baja, 147,16m.

Tabla 9.7. Escenario de afectación de la red vial por inundación en la zona urbana del municipio de Toro

| LINEA VITAL | LONGITUD (M) | | | TOTAL |
|-------------|-----------------|------------------|-----------------|--------|
| | AFECTACIÓN ALTA | AFECTACIÓN MEDIA | AFECTACIÓN BAJA | |
| RED VIAL | 513,01 | 122,03 | 324,24 | 959,29 |

Fuente: elaboración propia.

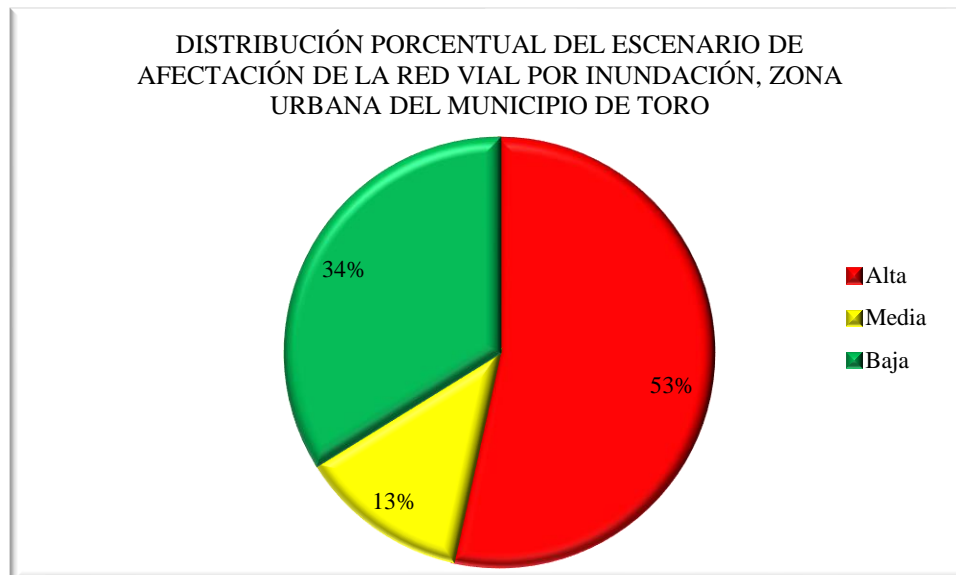


Figura 9.4. Distribución del nivel de afectación para la red vial ante inundación, zona urbana del municipio de Toro

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 algunos tramos viales de los barrios Santa Helena, El Lázaro, Centro, El Chanco y La Troncada.

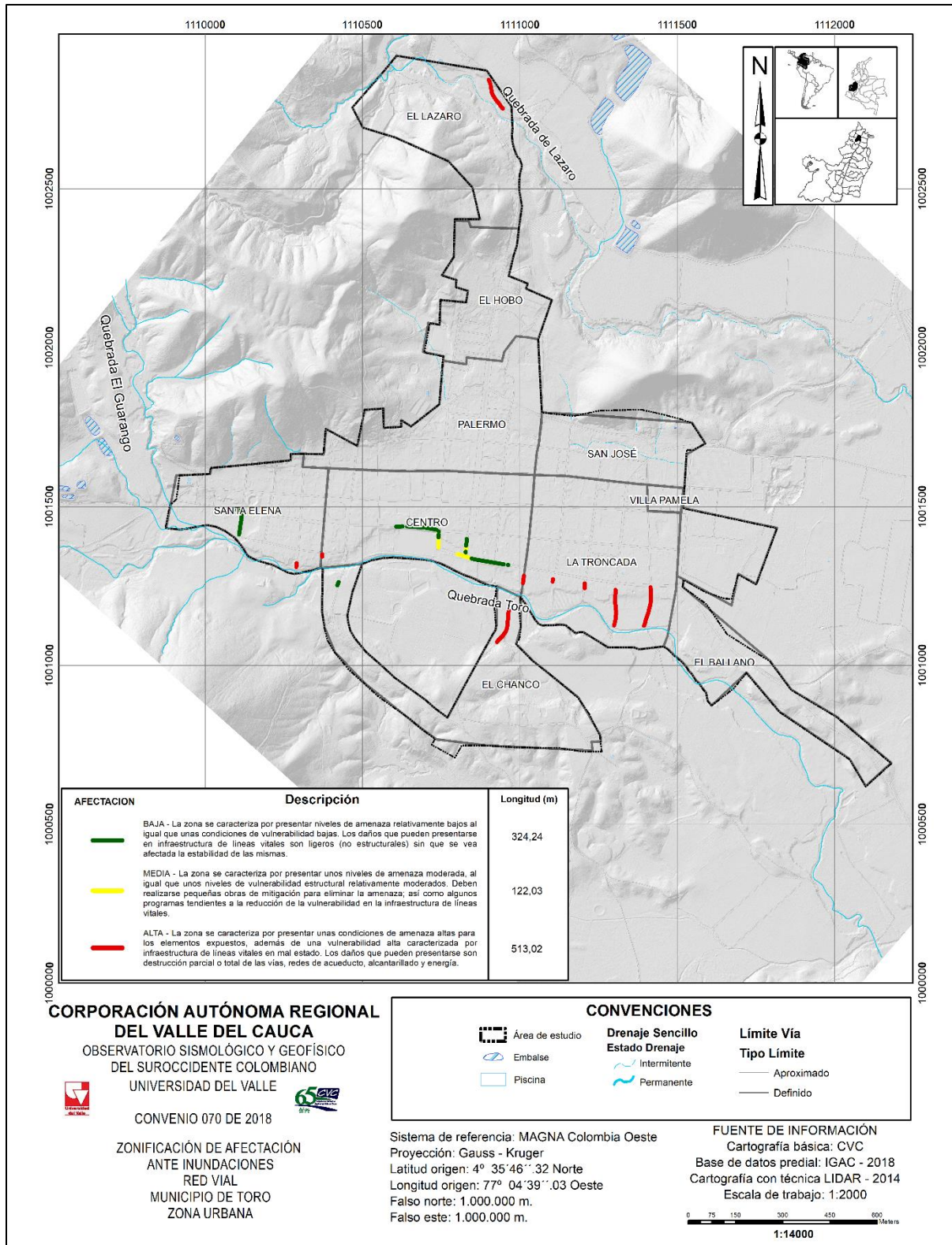


Figura 9.5. Zonificación de afectación de la red vial ante inundaciones, zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

9.3.3.2. Red eléctrica

El escenario de afectación para la red eléctrica arrojó 2 postes con afectación alta (riesgo). En la Tabla 9.8 y Figura 9.6, se muestra los resultados de la vulnerabilidad en la red eléctrica por inundación. De los 34 postes, 33 presentan vulnerabilidad alta (97%) y 1 poste vulnerabilidad baja (1%)

Tabla 9.8. Escenario de afectación de la red eléctrica por inundación en la zona urbana del municipio de Toro

| LÍNEA VITAL | AFECTACIÓN (NÚMERO DE POSTES) | | TOTAL |
|---------------|-------------------------------|-------|-------|
| | ALTO | MEDIA | |
| Red eléctrica | 33 | 1 | 34 |

Fuente: elaboración propia.



Figura 9.6. Distribución porcentual del escenario de afectación de la red eléctrica por inundación, zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

La Figura 9.7 muestra la distribución espacial del escenario de afectación vial ante el fenómeno de inundación. En riesgo se encuentran los postes localizados en los barrios Santa Helena, El Lázaro, Centro, El Chanco y La Troncada.

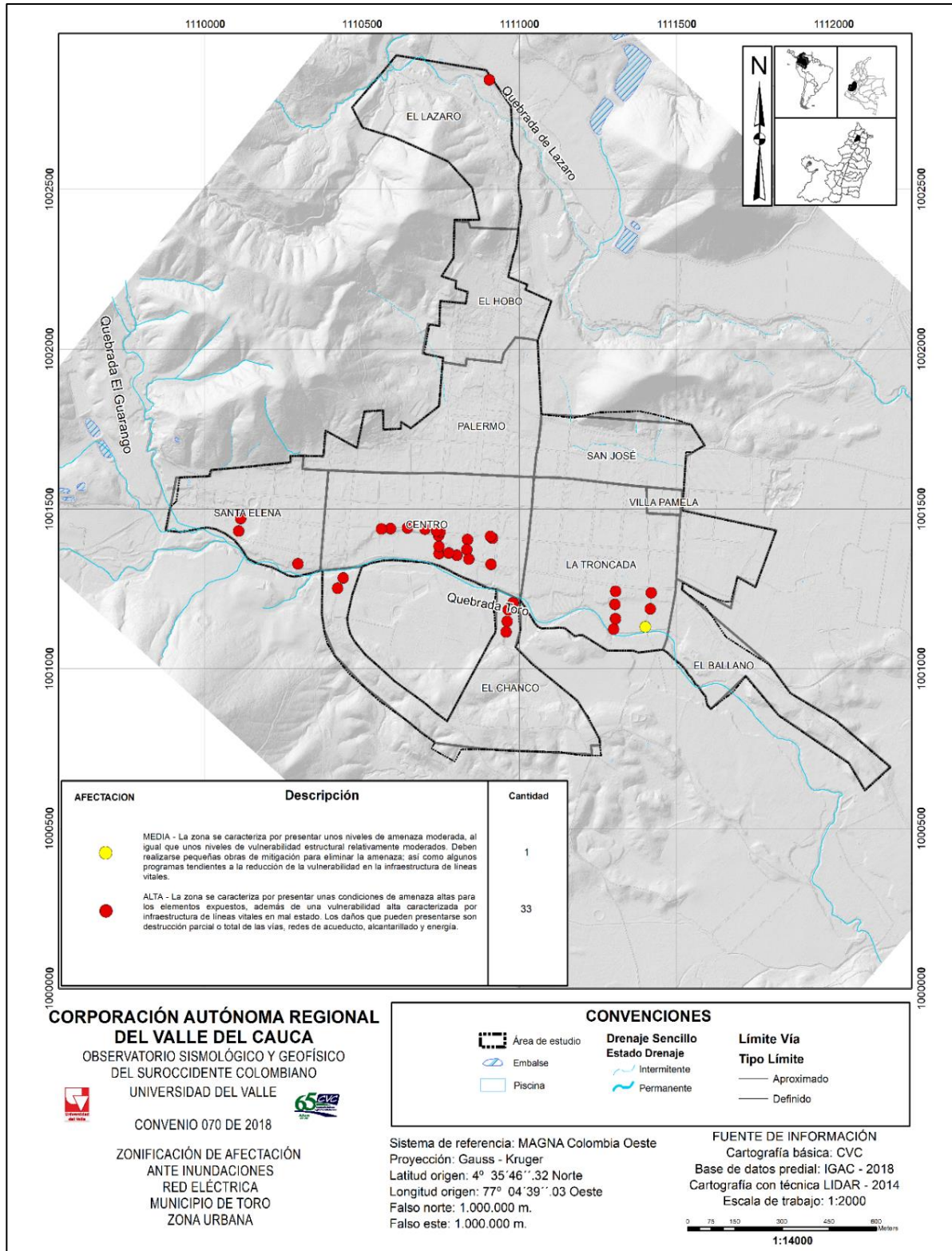


Figura 9.7. Zonificación de afectación de la red eléctrica ante inundaciones, zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

9.4. ESCENARIO DE AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE POR INUNDACIÓN MUNICIPIO DE TORO

9.4.1. 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 inundación y la historicidad, 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 9.9 y Figura 9.10, muestra las zonas de afectación alto mitigable y no mitigable, número de edificaciones y área (m²) para el fenómeno de inundación en la zona urbana del municipio de Toro Se obtuvo 101 edificaciones en afectación alta mitigable con un porcentaje de área del 30,51%. Mientras que 55 edificaciones con un porcentaje de área del 69,49% presentan un nivel de afectación no mitigable.

Tabla 9.9. Zonas de alta afectación mitigable y no mitigable estructural por inundación, zona urbana del municipio de Toro

| NIVEL DE AFECTACIÓN | EDIFICACIONES | ÁREA M2 | PORCENTAJE ÁREA |
|---------------------|---------------|-----------------|-----------------|
| Alta mitigable | 98 | 28160,27 | 30,51% |
| Alta no mitigable | 55 | 64151,66 | 69,49% |
| Total | 156 | 92311,93 | 100% |

Fuente: elaboración propia.

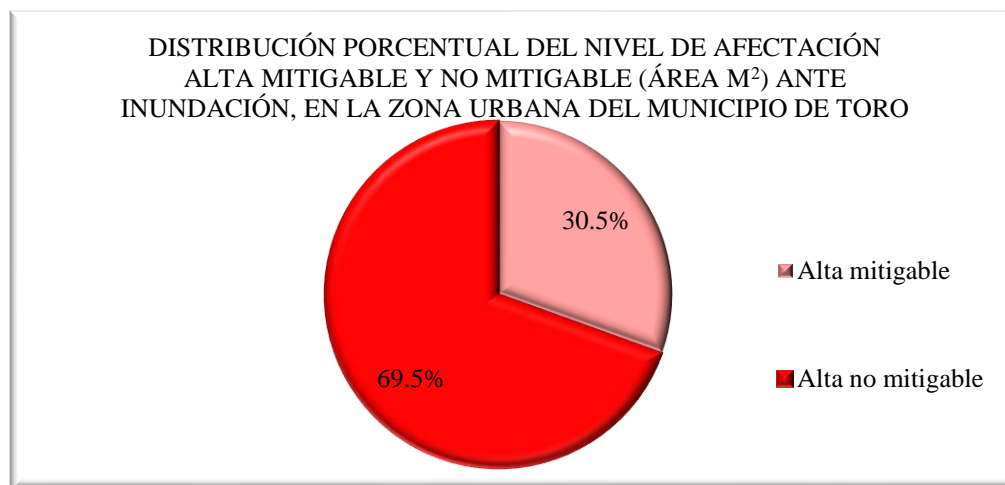


Figura 9.8. Distribución porcentual del nivel de afectación alta mitigable y no mitigable (área m²) ante inundación, en la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

La Figura 9.9, muestra la distribución de las zonas altas mitigables y no mitigables por inundación en la zona urbana del municipio de Toro. Para las zonas alta mitigable y no mitigable, las 161 edificaciones están distribuida en los barrios El Lázaro, Santa Helena, Centro, La Troncada y El Chanco.

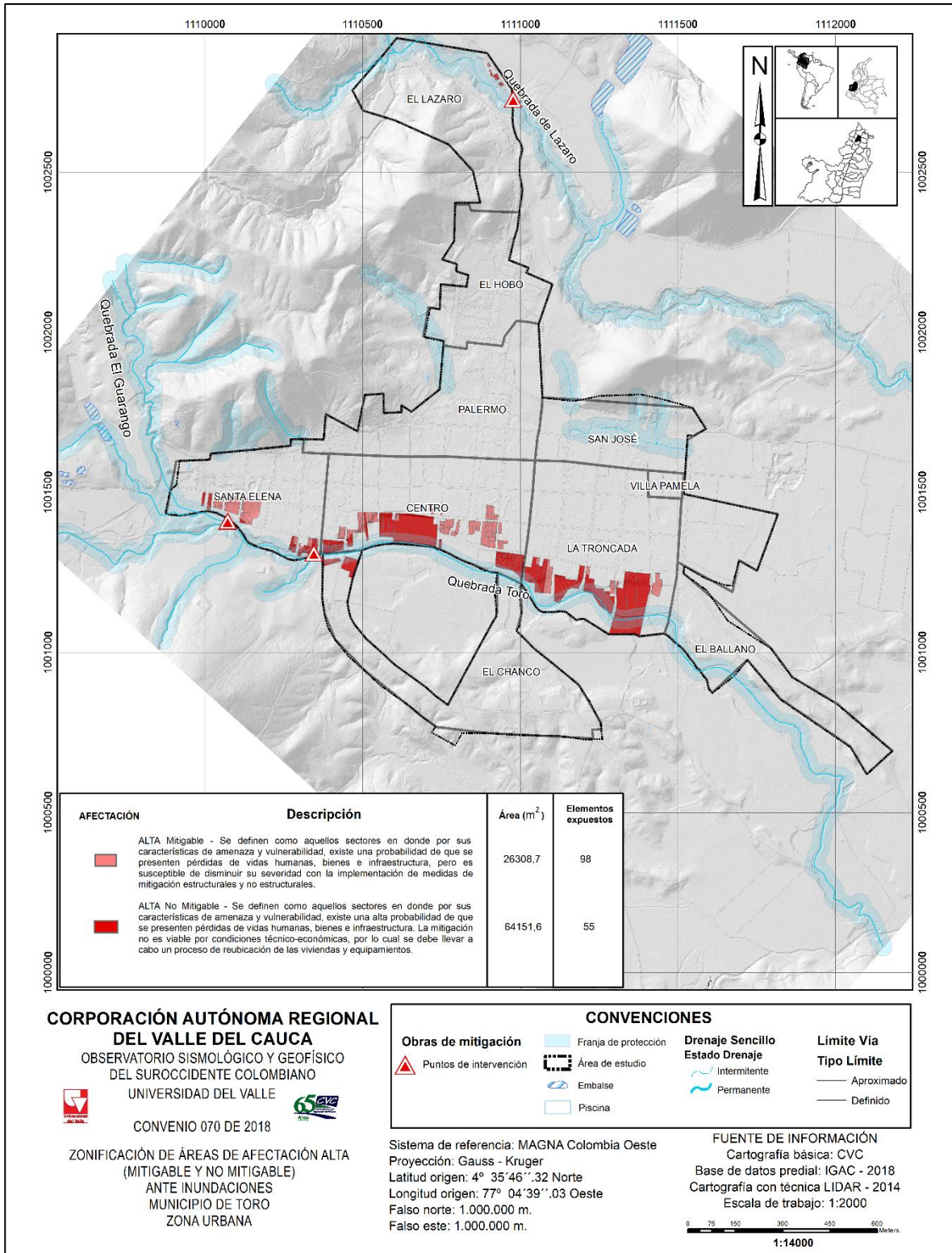


Figura 9.9. Zonificación alta mitigable y no mitigable por inundación en la zona urbana del municipio de Toro
Fuente: elaboración propia

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 inundación en la zona urbana del municipio de Toro.

9.5.1. Escenario de afectación corporal

De acuerdo a 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 60 habitantes representando el 45% del total de la población, en afectación media 32 habitantes (24%) y en afectación baja 5 habitantes (31%) de la población total (Figura 9.10).

Tabla 9.10. Afectación corporal ante movimiento en masa

| NIVEL DE AFECTACION | NÚMERO DE HABITANTES | PORCENTAJE DE POBLACIÓN |
|---------------------|----------------------|-------------------------|
| Alto | 60 | 45% |
| Medio | 32 | 24% |
| Bajo | 42 | 31% |

Fuente: elaboración propia.

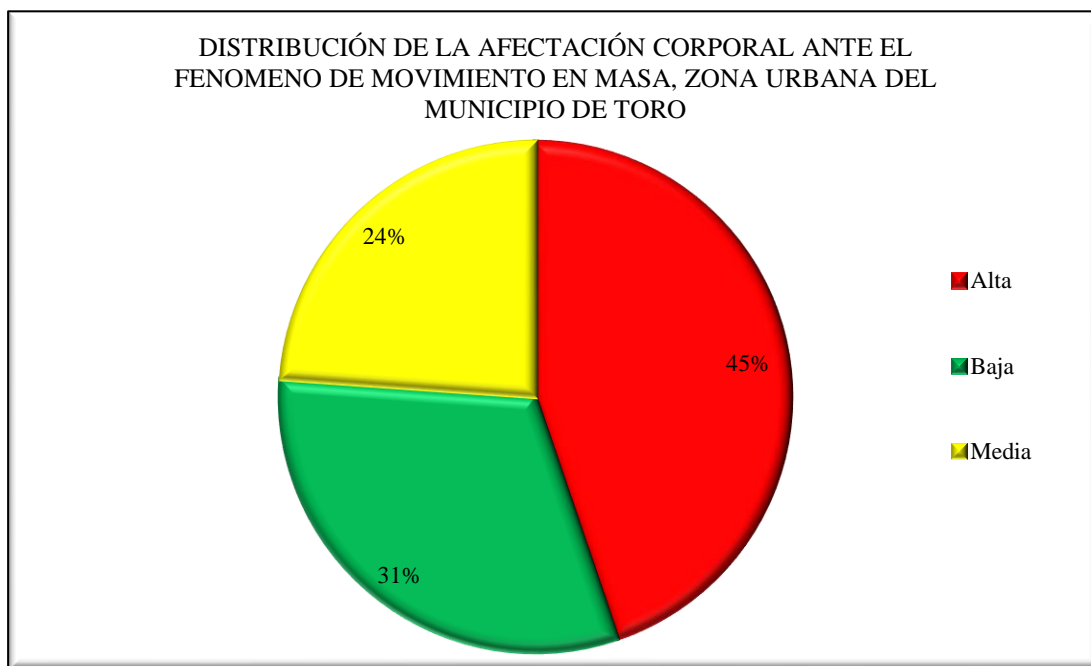


Figura 9.10. Distribución porcentual de la afectación corporal por movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro

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 m². Con un total de 88 edificaciones, el nivel de afectación principal es principalmente alto, con

40 edificaciones con un área de 9057.4 m² equivalente al 60.28% del área total. Seguido de 28 edificaciones con nivel de afectación baja, y un área correspondiente de 2136 m², representando el 14,22% del área. Y para la afectación baja, presente en 20 edificaciones con un 25.51% del área total (Tabla 9.11 y Figura 9.11).

Tabla 9.11. Escenarios de afectación estructural por área (m²) por movimiento en masa de la zona urbana del municipio de Toro

| AFECTACIÓN ESTRUCTURAL | NÚMERO DE EDIFICACIONES | ÁREA M ² | PORCENTAJE ÁREA |
|------------------------|-------------------------|---------------------|-----------------|
| Alto | 40 | 9057,445741 | 60,28% |
| Medio | 20 | 3833,142409 | 25,51% |
| Bajo | 28 | 2136,063747 | 14,22% |
| Total | 88 | 15026,6519 | 100% |

Fuente: elaboración propia.

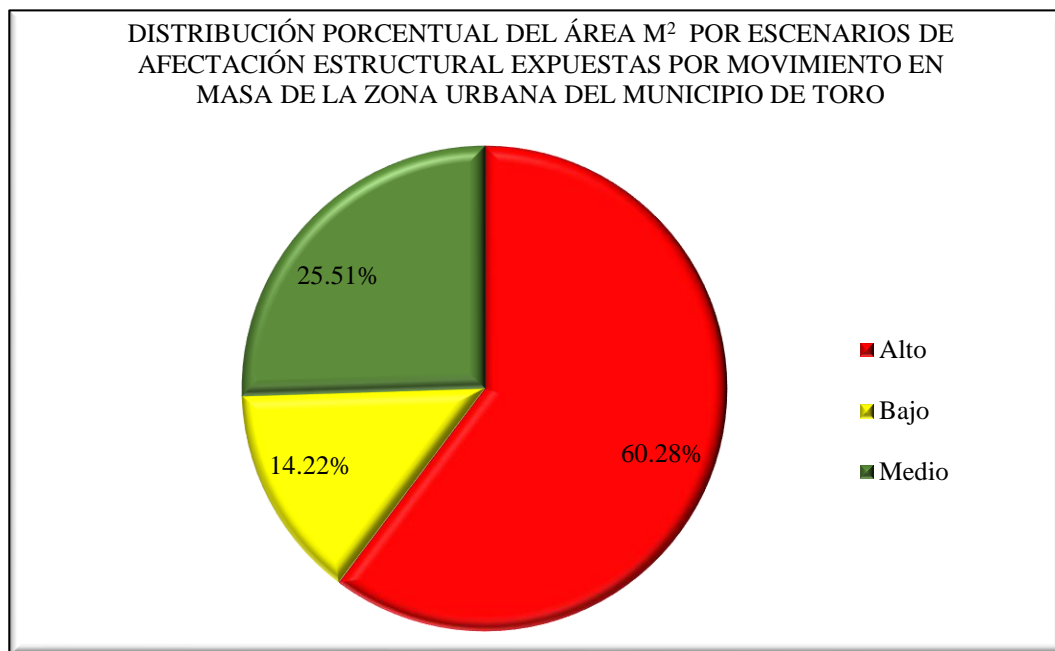


Figura 9.11. Distribución porcentual del área m² por escenarios de afectación estructural expuestas por movimiento en masa de la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia

El comportamiento espacial de los escenarios de afectación, se muestran en la Figura 9.12 donde el barrio El Lázaro, es quien mayor variación de los tres niveles de afectación en comparación con el barrio Palermo, donde su máximo escenario es principalmente afectación alta.

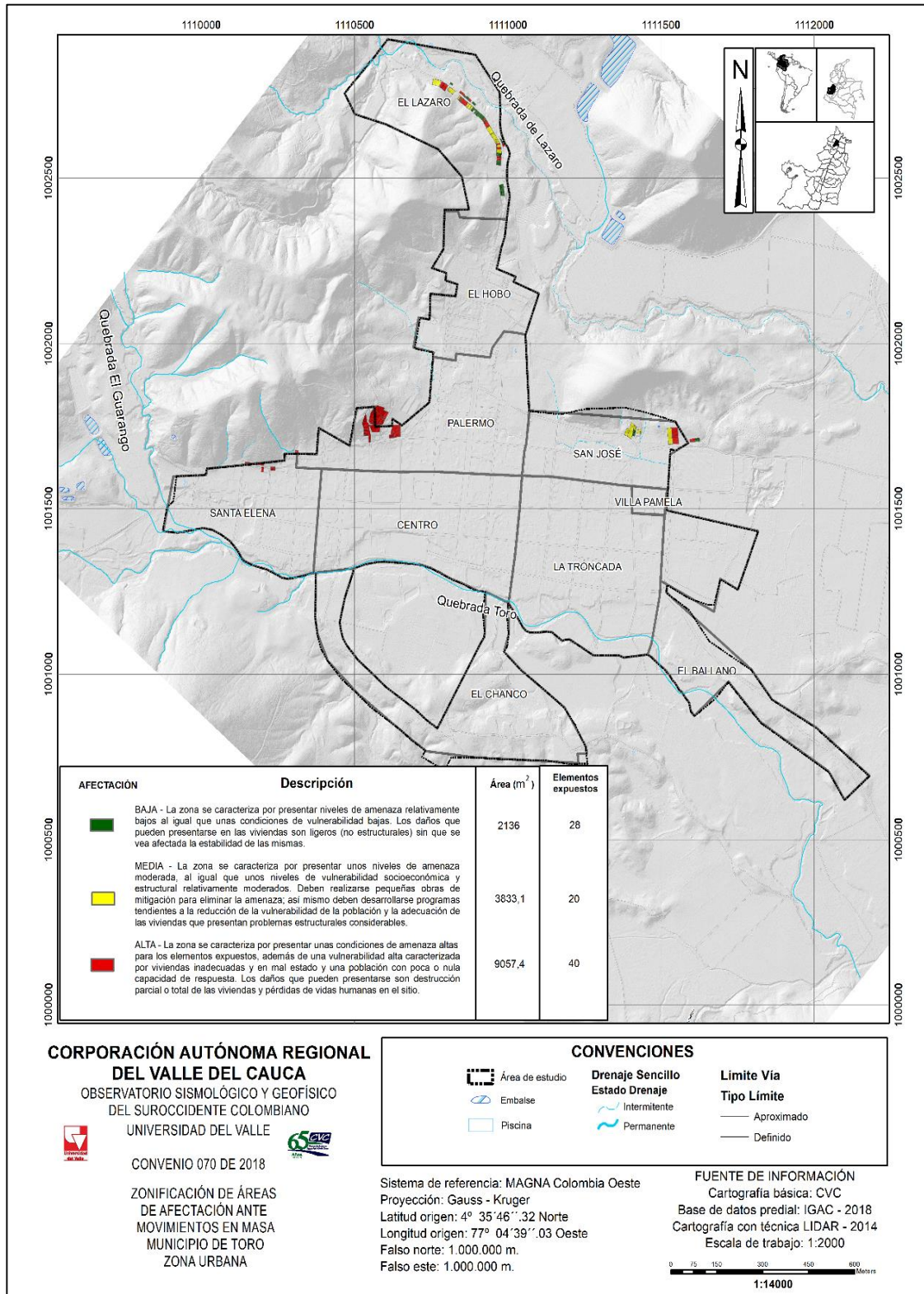


Figura 9.12. Zonificación de áreas de afectación ante movimiento en masa, área urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

9.5.3. Escenario de afectación líneas vitales

En el municipio de Toro, 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 inundación. En afectación alta se tiene 160,48 m de longitud del total de la red y en vulnerabilidad baja, 325,51m (Figura 9.13).

Tabla 9.12. Escenario de afectación para la red vial por movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro

| NIVEL DE AFECTACIÓN | LONGITUD(M) |
|---------------------|-------------|
| Alta | 160,48 |
| Baja | 325,51 |

Fuente: elaboración propia.

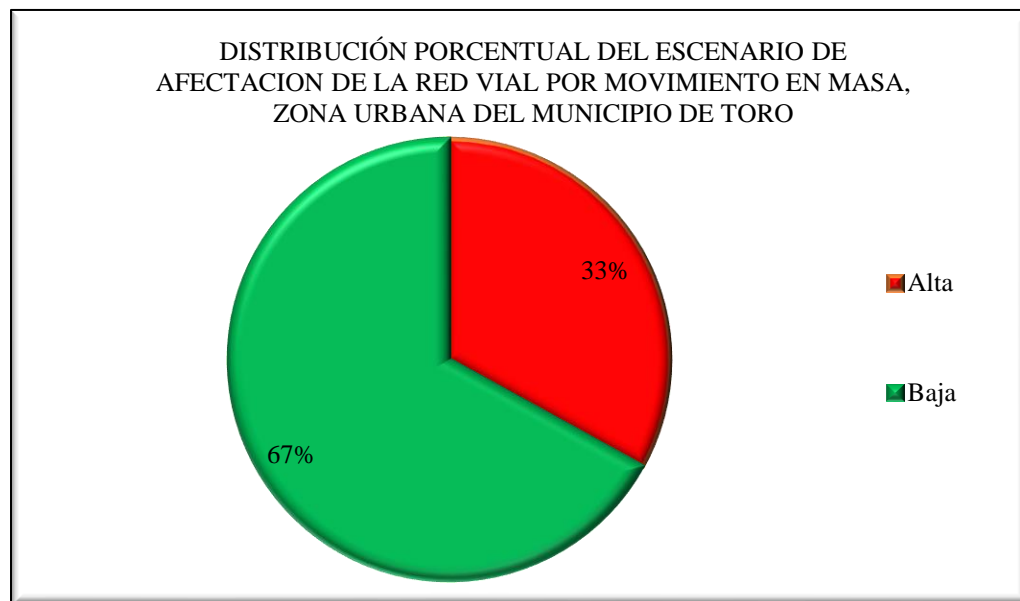


Figura 9.13. Distribución porcentual del escenario de afectación de la red vial por movimiento en masa, zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

La Figura 9.14 muestra la distribución espacial del escenario de afectación de la red vial ante movimiento en masa. Barrio El Lázaro sus tramos viales presentan afectación baja comparada con los tramos analizados de los barrios Palermo, San José y Santa Elena, que presentan afectación alta.

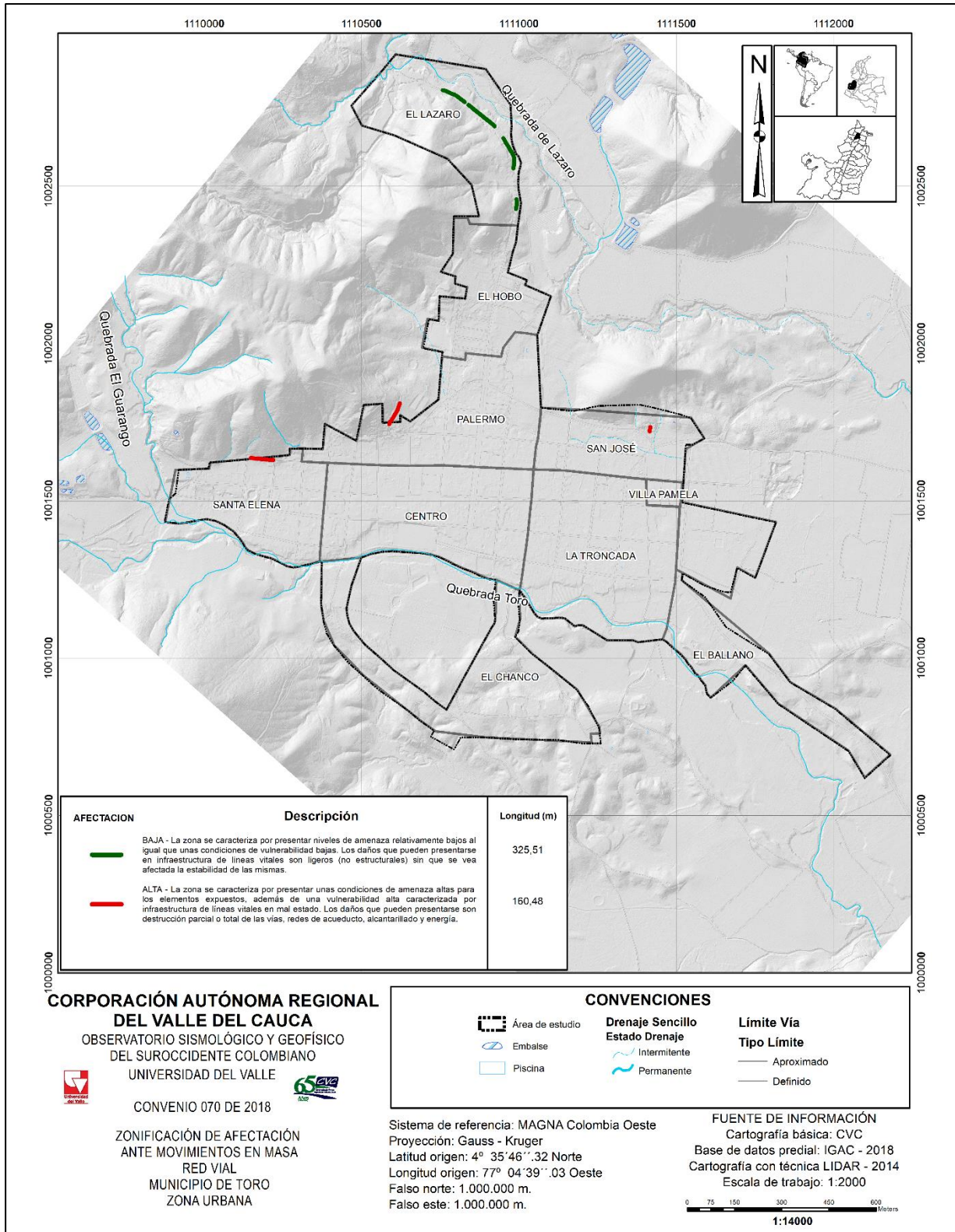


Figura 9.14. Zonificación de afectación por movimiento en masa, red vial, zona urbana del municipio de Toro

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 14 postes presentan una vulnerabilidad alta (

Tabla 9.13. Escenario de afectación en la red eléctrica por movimiento en masa, zona urbana del municipio de Toro

| NIVEL DE AFECTACION | NÚMERO DE POSTES |
|---------------------|------------------|
| Alta | 14 |

Fuente: elaboración propia.

La Figura 9.15, muestra el escenario de afectación para la red eléctrica ante el fenómeno de movimiento en masa. Todos los postes analizados y localizados en los barrios El Lázaro, Palermo, San José y Santa Elena tienen afectación alta.

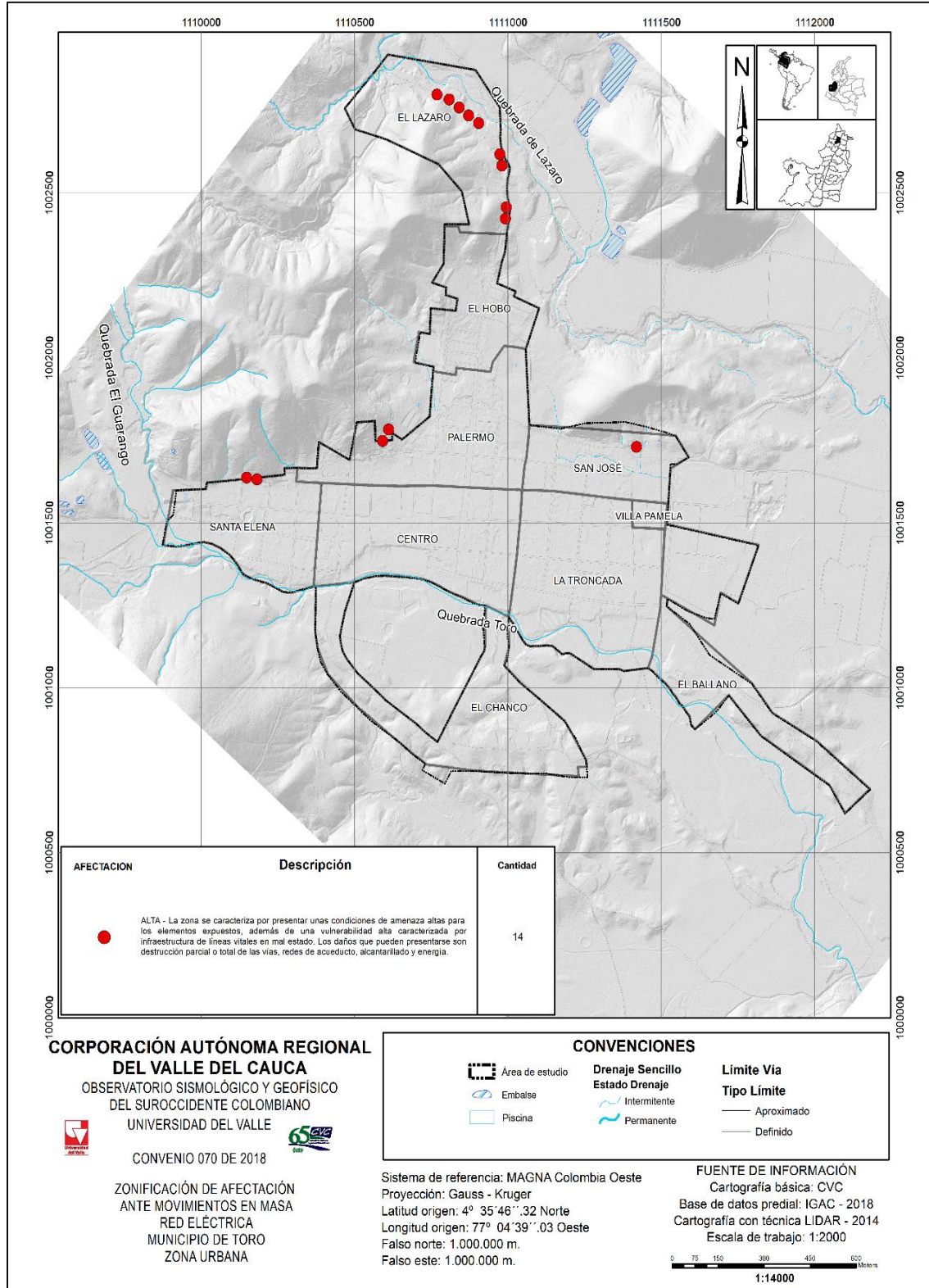


Figura 9.15. Zonificación de afectación por inundación, red vial, zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

9.6. ESCENARIO DE AFECTACIÓN MITIGABLE Y NO MITIGABLE POR MOVIMIENTO EN MASA MUNICIPIO DE TORO

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 m² representando el 44,8% del área total. Y para el alta no mitigable 21 edificaciones con un área de 4997 m² y un porcentaje de área de 55,1% (Figura 9.16).

Tabla 9.14. Nivel de afectación alta mitigable y alta no mitigable ante el fenómeno de movimiento en masa

| NIVEL DE AFECTACIÓN | EDIFICACIONES | ÁREA M ² | PORCENTAJE ÁREA |
|---------------------|---------------|---------------------|-----------------|
| Alta mitigable | 19 | 4060,19 | 44,83% |
| Alta no mitigable | 21 | 4997,26 | 55,17% |
| Total | 40 | 9057,45 | 100% |

Fuente: elaboración propia.

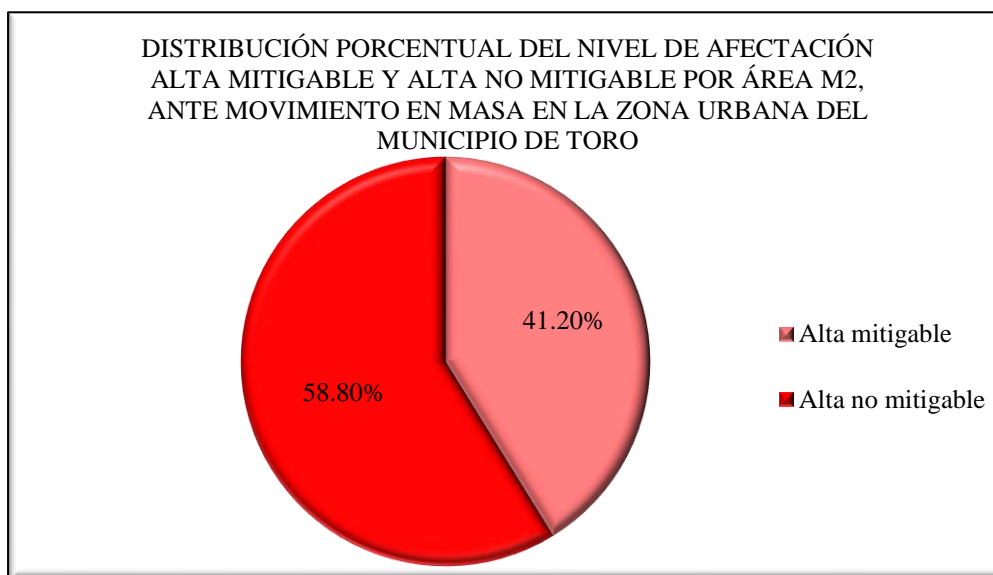


Figura 9.16. Distribución porcentual del nivel de afectación alta mitigable y alta no mitigable por área m², ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

La Figura 9.17 muestra la zonificación de la afectación alta mitigable y no mitigable por movimiento en la zona urbana del municipio de Toro. Afectaciones altas mitigable en el barrio El

Lázaro y San José. Afectaciones no mitigables en estructuras pertenecientes al barrio Palermo y Santa Helena

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
- Canales rectangulares para el manejo de aguas lluvias con dimensiones aproximadas de
10m de largo hasta 50m
0.3m de ancho hasta 0.5m de ancho
0.3m de ancho hasta 0.5m de alto

Para el barrio El Lázaro, se recomienda la realización de un muro en gaviones y de canales. Para San José una obra de canales rectangulares para el manejo de aguas, y en el barrio Palermo, muro en gaviones y canales de manejo de aguas.

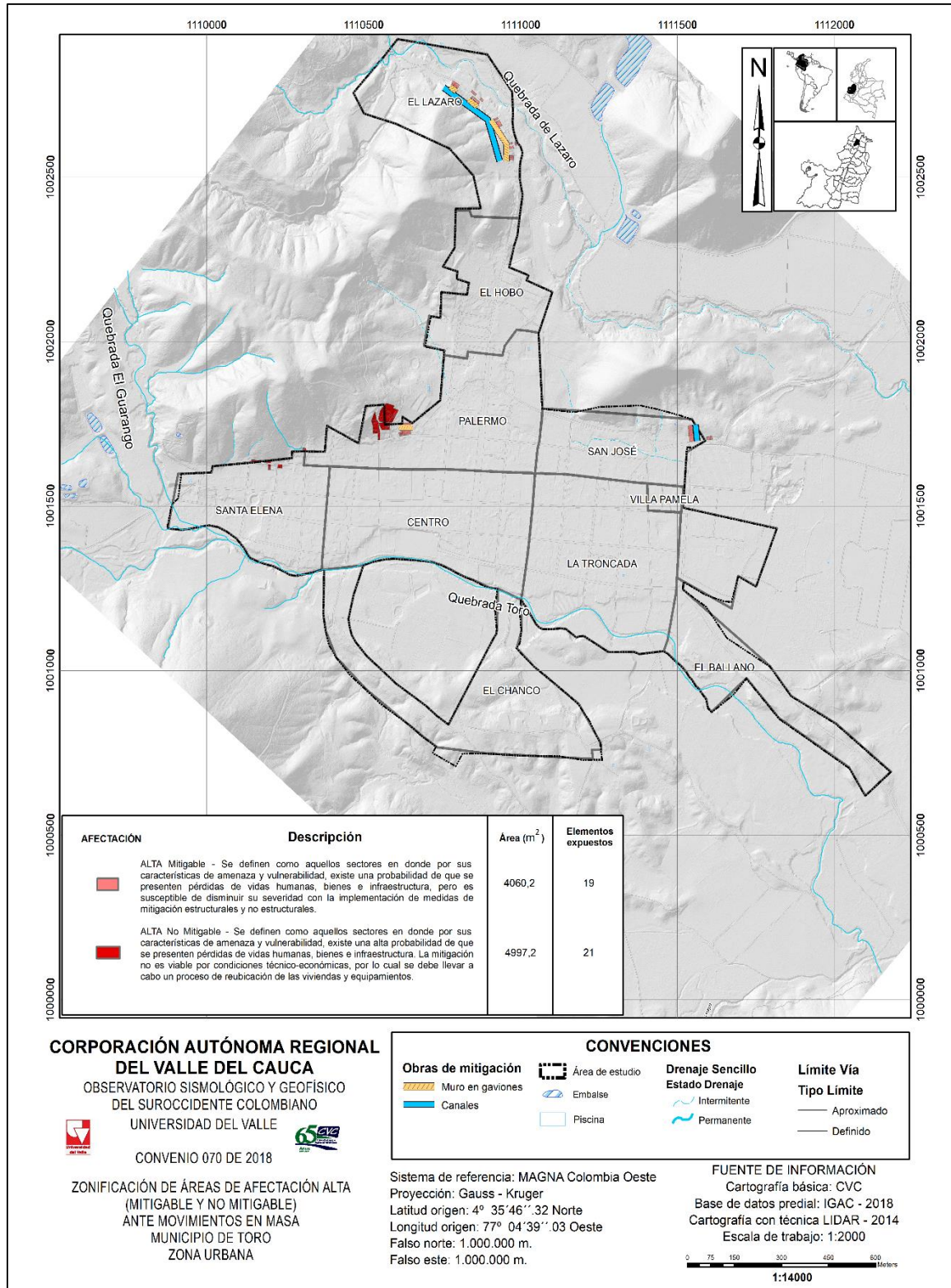


Figura 9.17. Zonificación de afectación alta mitigable y no mitigable ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro

Fuente: elaboración propia.

9.7. CÁLCULO DE POSIBLES PERDIDAS ECONOMICAS POR INUNDACION Y MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE TORO

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 Toro (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 Toro, 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 Toro 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, 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 Toro 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 Toro

| TIPO DE CONSTRUCCIÓN | TIPOS DE ESTRUCTURAS | | | USO DEL SUELO | FUNCIONALIDAD DE LOS ELEMENTOS | | |
|---------------------------|--------------------------------|----------|----------|---------------|--------------------------------|----------|----------|
| | N° EDIFICACIONES EN AFECTACIÓN | | | | N° EDIFICACIONES EN AFECTACIÓN | | |
| | ALTA | BAJA | BAJA | | ALTA | MEDIA | BAJA |
| Mampostería Confinada | 13 | 1 | 5 | Residencial | 136 | 0 | 4 |
| Mampostería No Reforzada | 92 | 0 | 0 | Comercial | 5 | 1 | 1 |
| Madera, Tapia y Bahareque | 46 | 0 | 0 | Mixto | 10 | 0 | 0 |
| Otro (Material Reciclado) | 2 | 0 | 0 | Equipamientos | 2 | 0 | 0 |
| TOTAL | 153 | 1 | 5 | TOTAL | 153 | 1 | 5 |

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 Toro.

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 al 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 las edificaciones no residenciales. El precio de las edificaciones se estableció con el avalúo comercial del inmueble mediante el precio promedio en el mercado por cada m², en este caso se tuvo en cuenta 7 inmuebles básicos en venta para un valor de \$ 331.711 por cada m². En el contexto del municipio de Toro 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 Toro se encuentran ubicados 2 edificaciones con uso de suelo no residencial en afectación alta ante un escenario de inundación. Se estimó un área total construida en nivel de afectación alto de 17.279 m² con un costo total aproximado de **diez mil quinientos treinta millones ciento treinta y ocho mil quinientos cuatro peso** Se estimó un área total construida en nivel de afectación alto de 18.768 m², en nivel de afectación media un áreas de 15.994 m² y en nivel de afectación bajo de 298 m² con un costo total aproximado de **diez mil seiscientos treinta y cuatro millones trescientos treinta y nueve mil quinientos cincuenta y cuatro pesos (\$ 10.634.339.554)** (Tabla 9.16).

Tabla 9.16. Costo total de edificaciones no residenciales en afectación alta por inundación

| EDIFICACIONES NO RESIDENCIALES EN AFECTACIÓN ALTA | | | |
|---|---------------------------|---|--------------------------|
| NIVEL DE AFECTACIÓN | CANTIDAD DE EDIFICACIONES | ÁREA (m ²) TOTAL CONSTRUIDA | COSTO TOTAL |
| ALTA | 17 | 15.767 m ² | \$ 5.230.097.288 |
| MEDIA | 1 | 15.994 m ² | \$5.305.392.368 |
| BAJA | 1 | 298 m ² | \$98.849.898 |
| COSTO TOTAL | | | \$ 10.634.339.554 |

Fuente: elaboración propia a partir del avalúo comercial por m² del municipio de Toro.

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 las edificaciones se estableció con el avalúo comercial del inmueble mediante el precio promedio en el mercado por cada m², en este caso se tuvo en cuenta 7 inmuebles básicos en venta para un valor de \$ 331.711 por cada m². En el contexto del municipio de Toro se encuentran ubicados 136 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 m² y en nivel de afectación bajo de 555 m², con un costo total aproximado de **veintidos mil ciento setenta y seis millones ochocientos setenta mil seiscientos dieciseis 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 | 136 | 66.856 m ² | \$ 24.395.358.607 |
| BAJA | 4 | 555 m ² | \$ 184.099.641 |
| COSTO TOTAL | | | \$ 24.579.458.248 |

Fuente: elaboración propia a partir de la base de datos Catastral del municipio Toro y el valor comercial de viviendas publicadas en la página web de Mitula (2019).

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 a 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 9.18.

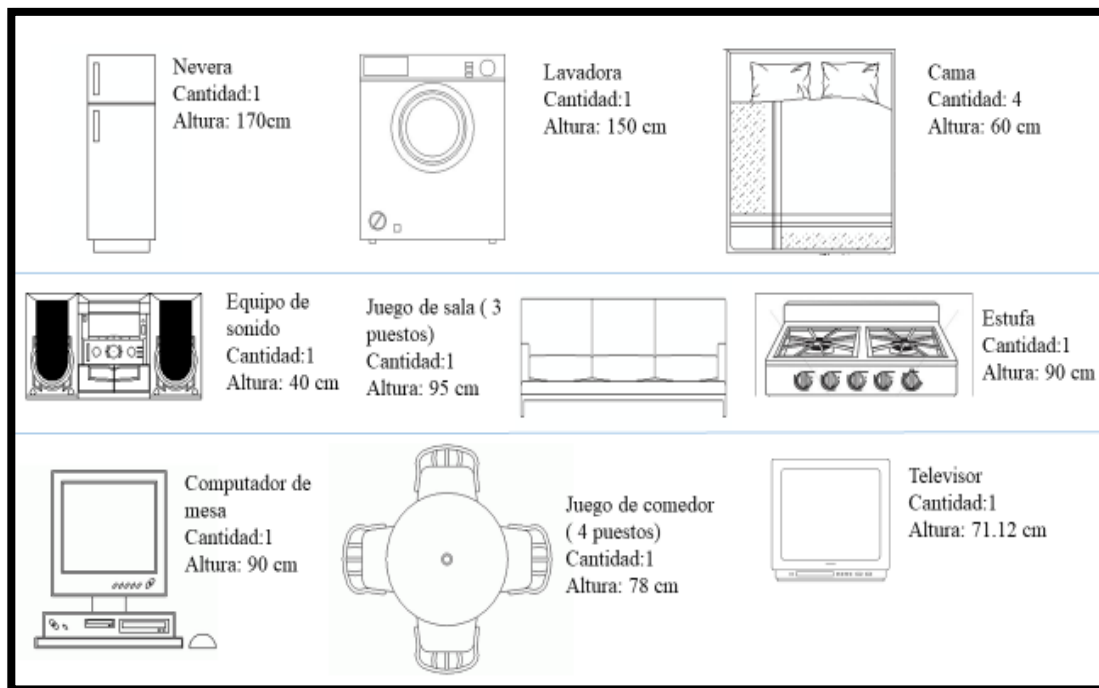


Figura 9.18. Tipificación del contenido de una vivienda en el área de estudio.

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 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 Toro. 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 | 165670,83333 | 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 y baja. El costo total aproximado asociado a la pérdida de contenido en edificaciones residenciales afectados por inundación corresponde a **cuatrocientos cincuenta y tres millones doscientos sesenta y ocho mil cuatrocientos ochenta pesos (\$453.268.480)**.

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 | 136 | \$ 440.317.952 |
| Bajo | 4 | \$ 12.950.528 |
| TOTAL | 140 | \$ 453.268.480 |

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 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 Toro 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. 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.

9.7.1.3.1. 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 9.21 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 9.21. 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 **sesenta y seis millones cuatrocientos treinta y un mil trescientos sesenta pesos (\$ 66.326.400)**. Y los costos aproximados por asistencia en viviendas es de **cuatrocientos cincuenta y cuatro millones ochocientos nueve mil seiscientos pesos (\$ 454.809.600)** (Tabla 9.22).

Tabla 9.22. Costos aproximados por asistencia a familias posiblemente afectadas ante escenario de inundación (Precios 2019).

| NIVEL DE AFECTACION | NÚMERO DE FAMILIAS | ASISTENCIA ALIMENTO Y ASEOPOR FAMILIA | ASISTENCIA A VIVIENDAS POR FAMILIA | VALOR APROXIMADO DE ASISTENCIA ALIMENTO Y ASEOPOR FAMILIA | VALOR APROXIMADO ASISTENCIA VIVIENDA |
|-------------------------------|--------------------|---------------------------------------|------------------------------------|---|--------------------------------------|
| ALTA | 136 | \$ 473.760 | \$ 3.248.640 | \$ 64.431.360 | \$ 441.815.040 |
| BAJA | 4 | \$ 473.760 | \$ 3.248.640 | \$ 1.895.040 | \$ 12.994.560 |
| COSTO TOTAL APROXIMADO | | \$ 473.760 | \$ 3.248.640 | \$ 66.326.400 | \$ 454.809.600 |

Fuente: elaboración propia con datos de Colombia Humanitaria (2011), sobre la base de la “Ola Invernal” de 2010-2011. viviendas.

9.7.1.4. 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.

9.7.1.5. 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 por inundación en el municipio de Toro, es aproximada de 90 metros de red vial.

Los posibles daños que se ocasionarían 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 éstas 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 9.23.

Tabla 9.23. 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 9.24 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 **quinientos sesenta y cinco millones ochocientos treinta y dos mil seiscientos diesiocho pesos (\$ 565.832.618)**.

Tabla 9.24. 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 (\$) |
|---|----------------|--------------|------------------------------------|
| MEDIO | 122 | \$ 1.268.683 | \$ 154.779.326 |
| BAJO | 324 | \$ 1.268.683 | \$ 411.053.292 |
| COSTO TOTAL APROXIMADO (\$) | | | \$ 565.832.618 |
| COSTO TOTAL APROXIMADO (USD) (1USD = 3.586COP) | | | 157.789 US\$ |

Fuente: elaboración propia a partir de información de APUS Valle 2019-2 del Instituto Nacional de Vías (2019).

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. 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 34 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 9.25 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 9.26 se tiene el 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 9.25. 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 9.26 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 | 33 | \$ 893.933 | \$ 29.499.789 |
| MEDIO | 1 | \$ 893.933 | \$893.933 |
| COSTO TOTAL APROXIMADO (\$) | | | \$ 30.393.722 |
| COSTO TOTAL APROXIMADO (\$USD) (1USD = 3.586 COP) | | | 8.476 US\$ |

Fuente: elaboración propia, a partir de la lista de precios unitarios de la Gobernación del Valle (2019).

9.7.2.1.1. Resumen de costos aproximados de afectación en infraestructura vial y líneas vitales

En la Tabla 9.27 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 9.27. 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. | \$ 565.832.618 |
| Costo aproximado de afectación en líneas vitales (postes de energía eléctrica). | \$ 30.393.722 |
| COSTO TOTAL APROXIMADO DE AFECTACIÓN (\$) | \$ 596.226.340 |
| COSTO TOTAL APROXIMADO (USD) (1 USD = \$ 3.586 COP) | 166.265 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 predios 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 al nivel de amenaza y la probabilidad de que ocurra el suceso, el cual se resume en la Tabla 9.28 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 9.28 se presnetan las posibles perdidas económicas en las edificaciones clasificadas con niveles de afectación alta media y baja por inundación, las cuales serian por un valor de **once mil trecientos diecisiete millones doscientos treinta mil seiscientos dieciséis pesos (\$ 11.317.230.616)**.

Tabla 9.28. 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 |
| Alto | 153 | \$ 9.709.333.048 |
| Medio | 1 | 1.591.617.710 |
| Bajo | 5 | \$16.279.858 |
| COSTO TOTAL | | \$ 11.317.230.616 |

Fuente: elaboración propia.

9.8.2. Costos totales de Posibles pérdidas económicas en líneas 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 9.29. 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 9.29. 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 INFRAESTRUCTURA VIAL (\$) |
| MEDIO | 122 M | \$ 7.329.594 |
| BAJO | 324 M | \$ 826.334 |
| POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS TOTALES (\$) | | \$ 8.155.928 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9.30. 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 POR NIVEL DE AFECTACIÓN (\$) |
| ALTO | 33 | \$ 5.940.241 |
| MEDIO | 1 | \$0 |
| POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS TOTALES (\$) | | \$ 5.940.241 |

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, las posibles pérdidas económicas en infraestructura de redes vitales, tiene un valor de **catorce millones noventa y seis mil ciento sesenta y nueve pesos** (\$ 14.096.169) (Tabla 9.31).

Tabla 9.31. 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 (\$) |
|---|---|---|
| \$ 8.155.928 | \$ 5.940.241 | \$ 14.096.169 |

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 sportan la red de energía eléctrica) corresponden a un valor de **once mil ochocientos cuarenta y seis millones cuatrocientos tece mil cie nto treinta y tres pesos** (\$ 11.846.413.133) los cuales se resumen en la Tabla 9.32.

Tabla 9.32. 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. | \$11.317.230.616 |
| Posibles pérdidas económicas en infraestructura de redes vitales | \$ 74.372.917 |
| Posibles pérdidas económicas en asistencia del gobierno | \$ 454.809.600 |
| POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS TOTALES EN INFRAESTRUCTURA (\$) | \$ 11.846.413.133 |
| POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS (USD) (1 USD = \$ 3.586 COP) | 3.303.517,3 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 las 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 al censo que se realizó para la parte estructural del municipio y presentado en la Tabla 9.33, 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 Toro ha sido destinado para la construcción de vivienda.

Tabla 9.33. Clasificación de elementos estructurales y funcionales expuestos ante movimiento en masa de afectación alto y medio en el municipio de Toro

| TIPO DE CONSTRUCCIÓN | TIPOS DE ESTRUCTURAS | | | USO DEL SUELO | FUNCIONALIDAD DE LOS ELEMENTOS | | |
|---------------------------|--------------------------------|-----------|-----------|---------------|--------------------------------|-----------|-----------|
| | N° EDIFICACIONES EN AFECTACIÓN | | | | N° EDIFICACIONES EN AFECTACIÓN | | |
| | ALTO | MEDIO | BAJO | | ALTO | MEDIO | BAJO |
| Mampostería Confinada | 3 | 5 | 5 | Residencial | 36 | 20 | 28 |
| Mampostería No Reforzada | 23 | 11 | 22 | Comercial | 2 | 0 | 0 |
| Madera, Tapia y Bahareque | 13 | 4 | 1 | Mixto | 1 | 0 | 0 |
| Otro (Material Reciclado) | 1 | 0 | 0 | Equipamientos | 1 | 0 | 0 |
| TOTAL | 40 | 20 | 28 | TOTAL | 40 | 20 | 28 |

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, éstas 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 Toro, para los edificaciones no residenciales se tendrá en cuenta solamente el avalúo 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 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 promedio en el mercado por cada m², en este caso se tuvo en cuenta 5 inmuebles básicos en venta para un valor de \$ 331.711 por cada m².

En el contexto del municipio de Toro se encuentran ubicados 4 edificaciones con uso de suelo no residencial en afectación alto. Se estimó un área total construida en nivel de afectación alto de 1.409 m² con un costo total aproximado de **cuatro mil seiscientos setenta y tres millones ochocientos ocho mil novecientos diecisiete pesos** (\$ 4.673.808.917) (Tabla 9.34).

Tabla 9.34. Costo total de edificaciones no residenciales en el escenario de afectación alta por inundación

| EDIFICACIONES NO RESIDENCIALES EN AFECTACIÓN ALTA | | | |
|---|---------------------------|---|-----------------------|
| NIVEL DE AFECTACIÓN | CANTIDAD DE EDIFICACIONES | ÁREA (m ²) TOTAL CONSTRUIDA | COSTO TOTAL |
| ALTA | 4 | 1.409 m ² | \$ 467.380.891 |
| COSTO TOTAL | | | \$ 467.380.891 |

Fuente: elaboración propia a partir del avalúo comercial por m² del municipio de Toro.

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 el avalúo comercial del inmueble mediante el precio promedio en el mercado por cada m², en este caso se tuvo en cuenta 7 inmuebles básicos en venta para un valor de \$ 609.418 por cada m².

En el contexto del municipio de Toro se encuentran ubicados 36 edificaciones con uso de suelo residencial en afectación alto, 20 en afectación medio y 28 en afectación bajo. Ante un escenario de movimiento en masa. Se estimó un área total construida en nivel de afectación alto de 7.648m², en nivel de afectación medio de 53.833 m² y en nivel de afectación bajo de 2.136 m²; con un costo total aproximado de **Cuatro mil quinientos dieciséis millones novecientos nueve mil quinientos ochenta pesos** (\$4.516.909.580) (Tabla 9.35).

Tabla 9.35. 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 |
| ALTO | 36 | 7.648m ² | \$ 2.536.926.230 |
| MEDIO | 20 | 3.833 m ² | \$1.271.448.514 |
| BAJO | 28 | 2.136m ² | \$708.534.836 |
| COSTO TOTAL | | | \$ 4.516.909.580 |

Fuente: elaboración propia a partir del avalúo comercial m² del municipio de Toro.

9.8.4.2.3. Contenido (electrodoméstico y mobiliario) 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 a 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 9.19.

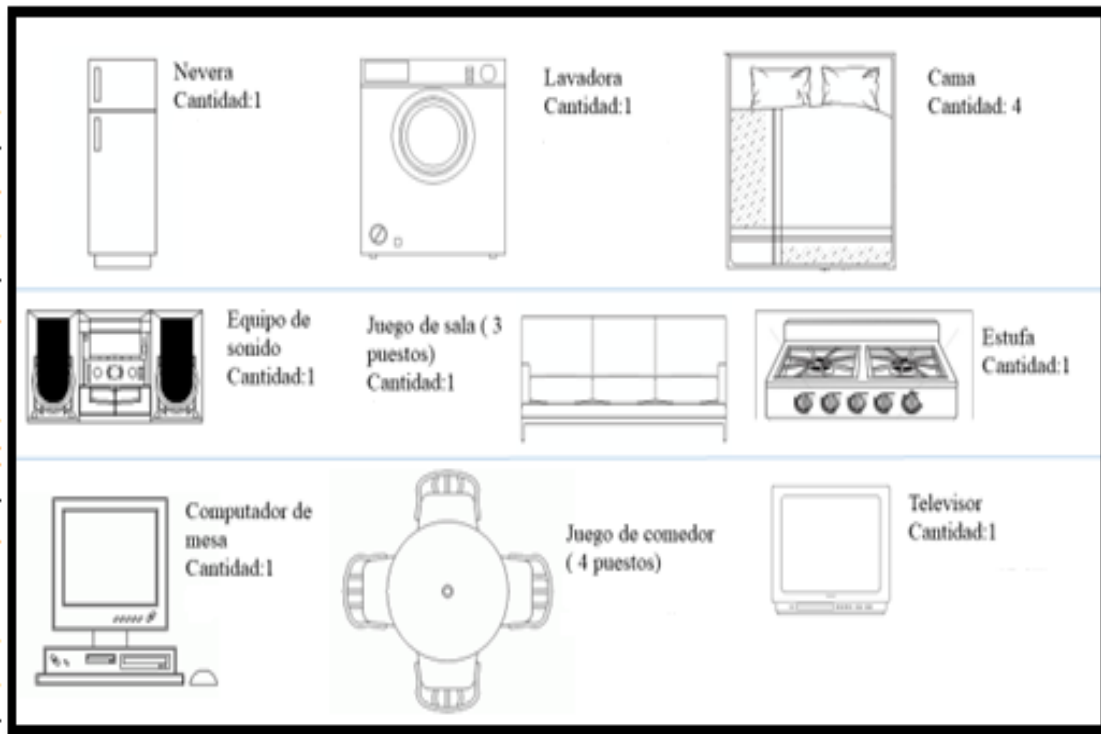


Figura 9.19 Tipificación del contenido de una vivienda en el área de estudio

Fuente: elaboración propia con información DANE (2016).

A continuación, se procede a estimar el valor económico aproximado del contenido en las edificaciones residenciales:

9.8.4.2.4. Costo aproximado del contenido en edificaciones residenciales

En la Tabla 9.36 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 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 Toro. Así se obtiene al final un valor promedio total teniendo en cuenta la depreciación de \$ 3.237.632 pesos por vivienda.

Tabla 9.36. 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 | 165670,83333 | 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 9.37 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 pérdida de contenido en edificaciones residenciales afectados por movimiento en masa corresponde a **doscientos setenta y un millones novecientos sesenta y un mil ochenta y ocho pesos (\$271.961.088)**.

Tabla 9.37. 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 | 36 | \$ 116.554.752 |
| Medio | 20 | \$ 64.752.640 |
| Bajo | 28 | \$ 90.653.696 |
| TOTAL | 84 | \$ 271.961.088 |

Fuente: elaboración propia.

9.8.4.3. 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 9.38, con

un valor aproximado de **cuatro mil setecientos ochenta y ocho millones ochocientos setenta mil seiscientos sesenta y siete pesos** (\$ 4.788.870.667).

Tabla 9.38. 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 TOTAL APROXIMADO DE DAÑO EN LA INFRAESTRUCTURA SOCIAL | \$ 4.788.870.667 |
| COSTO TOTAL APROXIMADO (USD) (1 USD = \$ 3.586 COP) | 1.335.435 US\$ |

Fuente: elaboración propia.

9.8.4.4. 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.

9.8.4.4.1. 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 9.39 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 Toro, el cual se resume en la Tabla 9.40, 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 **doscientos setenta y dos millones ochocientos ochenta y cinco mil setecientos sesenta pesos** (\$ 272.885.760).

Tabla 9.39. 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 9.40. 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 | 36 | \$ 473.760 | \$ 3.248.640 | \$ 17.055.360 | \$ 116.951.040 |
| Medio | 20 | \$ 473.760 | \$ 3.248.640 | \$ 9.475.200 | \$ 64.972.800 |
| Bajo | 28 | \$ 473.760 | \$ 3.248.640 | \$ 13.265.280 | \$ 90.961.920 |
| COSTO TOTAL APROXIMADO | | \$ 473.760 | \$ 3.248.640 | \$ 39.795.840 | \$ 272.885.760 |

Fuente: elaboración propia con datos de Colombia Humanitaria (2011), sobre la base de la “Ola Invernal” de 2010-2011.

9.8.4.4.2. Resumen de costos aproximados derivados de la asistencia gubernamental

Finalmente, en la Tabla 9.41 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 **trescientos doce millones seiscientos ochenta y un mil seiscientos pesos (\$ 312.681.600)**.

Tabla 9.41. 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. | \$ 39.795.840 |
| Costo aproximado en asistencia a vivienda. | \$ 272.885.760 |
| COSTO TOTAL APROXIMADO DE ASISTENCIA DEL GOBIERNO | \$ 312.681.600 |
| COSTO TOTAL (USD) (1 USD = \$ 3.586 COP) | 87.195 US\$ |

Fuente: elaboración propia.

9.8.4.5. 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.

9.8.4.5.1. 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.

9.8.4.5.2. 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 486 metros de vía en afectación por el escenario de movimiento en masa, de los cuales 71 metros de vía corresponde a material destapado y 415 metros de vía corresponde a material de concreto. Debido a la dificultad en el estudio para calcular pérdidas 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 9.42.

Tabla 9.42. 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 9.43 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.

Tabla 9.43. 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 | 89 | \$ 1.268.683 | \$ 112.912.787 |
| Bajo | 326 | \$ 1.268.683 | \$ 413.590.658 |
| COSTO TOTAL APROXIMADO (\$) | | | \$ 526.503.445 |
| COSTO TOTAL APROXIMADO (USD) (1USD = 3.586COP) | | | 146.822 US\$ |

Fuente: elaboración propia a partir de información de APUS Valle 2019-2 del Instituto Nacional de Vías (2019).

9.8.4.5.3. 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, hay 14 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 9.44 el costo promedio aproximado de reposición de postes de energía, teniendo en cuenta el material, la resistencia y la altura.

Tabla 9.44. 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 9.45 se estimó el costo total aproximado por afectaciones en postes de energía eléctrica teniendo en cuenta la cantidad de postes en riesgo ante movimiento en masa y el costo promedio aproximado de reposición.

Tabla 9.45. 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 | 14 | \$893.933 | \$12.515.062 |
| COSTO TOTAL APROXIMADO (\$) | | | \$12.515.062 |
| COSTO TOTAL APROXIMADO (\$USD) (1USD = 3.586 COP) | | | 3.490 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 **mil quinientos once millones ciento sesenta y ocho mil cuatrocientos cuarenta pesos (\$ 1.511.168.440)** (Tabla 9.46).

Tabla 9.46. Resumen de los costos aproximados derivados de la infraestructura vial 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. | \$ 972.150.378 |
| Costo aproximado de afectación en infraestructura vial. | \$ 526.503.445 |
| Costo aproximado de afectación en líneas vitales (postes de energía eléctrica). | \$ 12.515.062 |
| COSTO TOTAL APROXIMADO DE AFECTACIÓN (\$) | \$ 1.511.168.440 |
| COSTO TOTAL APROXIMADO (USD) (1 USD = \$ 3.586 COP) | 421.407 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.

Es de aclarar que en los no residenciales solo se tiene en cuenta la estructura. En la Tabla 9.47 indican las posibles pérdidas económicas totales correspondiente a los costos de cada edificación y redes en el escenario de afectación ante movimiento en masa.

Tabla 9.47. 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 AFECTACION | CANTIDAD DE EDIFICACIONES | RIESGO PROBABLE DE PÉRDIDAS ECONÓMICAS TOTALES |
| Alto | 374 | \$ 15.558.444.649 |
| Medio | 22 | \$392.905.370 |
| Bajo | 184 | \$491.929.370 |
| COSTO TOTAL | | \$ 16.443.279.389 |

Fuente: elaboración propia.

9.9.1.1. Resumen de posibles pérdidas totales económicas por movimiento en masa

Los costos totales asociados a posibles pérdidas por movimiento en masa con períodos de retorno de 100 años en la zona de estudio corresponden a la suma de los rubros desarrollados a lo largo del documento y los cuales se resumen en la Tabla 9.48, por un total de **dieciséis mil cuatrocientos cuarenta y tres millones doscientos setenta y nueve mil trescientos ochenta y nueve pesos** (\$16.443.279.389).

Tabla 9.48. Resumen total de posibles pérdidas económicas por movimiento en masa

| TIPOS DE DAÑOS O AFECTACIÓN | POSIBLES PÉRDIDAS EN ESCENARIO DE AFECTACION POR MOVIMIENTO EN MASA | | | | |
|---|--|---------------|---------------|-------------------------|--------------------------------|
| | COSTOS ASOCIADOS (\$) | | | TOTAL | (USD) (1 USD = \$ 3.586 COP |
| | Alto | Medio | Bajo | | |
| Daño en edificaciones y asistencia del gobierno | \$15.558.444.649 | \$392.905.370 | \$491.929.370 | \$16.443.279.389 | 4.585.410 US\$ |
| COSTOS TOTALES | | | | \$16.443.279.389 | 4.585.410 US\$ |

Fuente: elaboración propia.

9.9.1.2. Resumen de costos aproximados de afectación en infraestructura vial y líneas vitales

Finalmente, en la Tabla 9.49 se encuentra el resumen de los costos aproximados derivados de la afectación en la infraestructura vial y líneas vitales en riesgo ante el escenario de movimiento en masa, por un valor de **tres mil novecientos ochenta y un millones cuarenta y nueve mil ciento veintiocho pesos (\$ 3.981.049.128)**.

Tabla 9.49. Resumen de los costos aproximados derivados de la infraestructura vial y líneas vitales por movimiento en masa

| 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. | \$ 3.896.125.493 |
| Costo aproximado de afectación en líneas vitales (postes de energía eléctrica). | \$ 84.923.635 |
| COSTO TOTAL APROXIMADO DE AFECTACIÓN (\$) | \$ 3.981.049.128 |
| COSTO TOTAL APROXIMADO (USD) (1 USD = \$ 3.586 COP) | 1.110.164 US\$ |

Fuente: elaboración propia.

9.9.1.3. Estimación de posibles pérdidas económicas en infraestructura vial y líneas vitales localizadas en la zona de afectación (riesgo)

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 9.50 y 9.51

Tabla 9.50. 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 | 289 M | \$ 40.854.466 |
| Bajo | 2774 M | \$2.091.630 |
| POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS TOTALES (\$) | | \$ 42.946.097 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9.51. 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 POR NIVEL DE RIESGO (\$) |
| Alto | 95 | \$ 18.868.218 |
| POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS TOTALES (\$) | | \$ 18.868.218 |

Fuente: elaboración propia.

Finalmente, 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 **sesenta y un millones ochocientos catorce mil trescientos quince pesos \$ 61.814.315** tal como se observa en la Tabla 9.52.

Tabla 9.52. 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 (\$) |
|---|---|---|
| \$ 42.946.097 | \$ 18.868.218 | \$ 61.814.315 |

Fuente: elaboración propia.

9.9.1.4. Posibles pérdidas económicas totales en infraestructura social y líneas vitales en zonas de afectación ante movimiento en masa

En la Tabla 9.53 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 **ciento cincuenta y cinco mil trescientos ocho millones ochenta y siete mil seiscientos cuarenta y nueve pesos (\$ 155.308.087.649)**.

Tabla 9.53. 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 INFRAESTRUCTURAS | POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURA (\$) |
|---|--|
| Posibles pérdidas económicas en infraestructura social. | \$ 155.246.273.334 |
| Posibles pérdidas económicas en infraestructura de redes vitales. | \$ 61.814.315 |
| POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS TOTALES EN INFRAESTRUCTURA (\$) | \$ 155.308.087.649 |
| POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS (USD) (1 USD = \$ 3.586 COP) | 43.301.056 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 43 edificaciones ubicados en zonas de afectación alta ante un evento de inundación en el municipio de Toro, 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 9.54 y Tabla 9.55, se realiza la clasificación de elementos estructurales y funcionales expuestos en riesgo alto mitigable y no mitigable ante inundación en el municipio de Toro, se encontró que todas las edificaciones expuestas en afectación alto son no mitigable y 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 el municipio de Toro ha sido destinado para la construcción de vivienda.

Tabla 9.54 Clasificación de elementos estructurales expuestos en afectación alta mitigable y no mitigable ante inundación en el municipio de Toro

| TIPO DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN | TIPOS DE ESTRUCTURAS | |
|----------------------------------|---------------------------|------------------------------|
| | NÚMERO DE EDIFICACIONES | |
| | AFECTACIÓN ALTO MITIGABLE | AFECTACIÓN ALTO NO MITIGABLE |
| Mampostería Confinada | 0 | 3 |
| Mampostería No Reforzada | 0 | 34 |
| Madera, Tapia y Bahareque | 0 | 6 |
| Otro (Material reciclado) | 0 | 0 |
| TOTAL | 0 | 43 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9.55. Clasificación de elementos funcionales expuestos en afectación alta mitigable y no mitigable ante inundación en el municipio de Toro

| USO DEL SUELO | FUNCIONALIDAD DE LOS ELEMENTOS | |
|---------------|--------------------------------|------------------------------|
| | NÚMERO DE EDIFICACIONES | |
| | AFECTACIÓN ALTO MITIGABLE | AFECTACIÓN ALTO NO MITIGABLE |
| Residencial | 0 | 41 |
| Comercial | 0 | 2 |
| Mixto | 0 | 0 |
| Culto | 0 | 0 |
| Recreación | 0 | 0 |
| TOTAL | 0 | 43 |

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 promedio en el mercado por cada m², en este caso se tuvo en cuenta 7 inmuebles básicos en venta, para un valor de \$ 331.711 por cada m². En el contexto del municipio de Toro se encuentran ubicadas las 43 edificaciones en riesgo alto no mitigable ante un escenario de inundación. Se estimó un área total construida en nivel de riesgo alto no mitigable de 74.946 m² con un costo total aproximado de veinticuatro mil ochocientos sesenta millones cuatrocientos doce mil seiscientos seis (\$ 24.860.412.606) representado en la Tabla 9.56.

Tabla 9.56. 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 |
| Mitigable | 0 | 0 | \$ 0 |
| No Mitigable | 43 | 74.946 m ² | \$ 24.860.412.606 |
| COSTO TOTAL (\$) | | | \$ 24.860.412.606 |

Fuente: elaboración propia a partir del censo estructural y avalúo comercial por m² del municipio de Toro.

9.10.3. Cálculo de pérdidas económicas en edificaciones localizadas en zona de riesgo alto 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 9.57.

Tabla 9.57 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 | 0 | \$ 0 |
| No Mitigable | 43 | \$ 8.921.769.031 |
| POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS TOTALES (\$) | | \$ 8.921.769.031 |

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 Toro, 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 9.58 y Tabla 9.59 se realiza la clasificación de elementos estructurales y funcionales expuestos en riesgo alto mitigable y no mitigable ante movimiento en masa en el municipio de Toro, se encontró que las edificaciones expuestas en riesgo alto mitigable están en su mayoría construidas en madera, tapia y bahareque, 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 riesgo alto mitigable y no mitigable en el municipio de Toro ha sido destinado para la construcción de vivienda.

Tabla 9.58. Clasificación de elementos estructurales expuestos en alta mitigable y no mitigable ante movimiento en masa en el municipio de Toro

| TIPOS DE ESTRUCTURAS | | |
|-------------------------------------|-------------------------|-------------------|
| TIPO DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN | NÚMERO DE EDIFICACIONES | |
| | ALTA MITIGABLE | ALTA NO MITIGABLE |
| Mampostería Confinada | 33 | 3 |
| Mampostería No Reforzada | 249 | 38 |
| Madera, Tapia y Bahareque | 42 | 3 |
| Otro (Material reciclado) | 4 | 2 |
| TOTAL | 328 | 46 |

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9.59. Clasificación de elementos funcionales expuestos en alto mitigable y no mitigable ante movimiento en masa en el municipio de Toro

| FUNCIONALIDAD DE LOS ELEMENTOS | | |
|--------------------------------|-------------------------|-------------------|
| USO DEL SUELO | NÚMERO DE EDIFICACIONES | |
| | ALTA MITIGABLE | ALTA NO MITIGABLE |
| Residencial | 300 | 41 |
| Comercial | 12 | 1 |
| Mixto | 16 | 2 |
| Recreación | 0 | 1 |
| Educación | 0 | 1 |
| TOTAL | 328 | 46 |

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 los predios se estableció con base en el avalúo comercial del inmueble

mediante el precio promedio en el mercado por cada m², en este caso se tuvo en cuenta 7 inmuebles básicos en venta para un valor de \$ 331.711 por cada m². En el contexto del municipio de Toro se encuentran ubicadas 328 edificaciones en afectación alta mitigable y 46 edificaciones en afectación alta no mitigable ante un escenario de movimiento en masa. Se estimó un área total construida en nivel de riesgo alto mitigable de 71.588 m² y en nivel de riesgo alto no mitigable de 102.182 m² con un costo total aproximado de **cincuenta y siete mil seiscientos cuarenta y un millones cuatrocientos veinte mil cuatrocientos setenta pesos** (\$ 57.641.420.470) representados en la Tabla 9.60.

Tabla 9.60. 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 | 328 | 71.588 m ² | \$ 23.746.527.068 |
| No Mitigable | 46 | 102.182 m ² | \$33.894.893.402 |
| COSTO TOTAL (\$) | | | \$ 57.641.420.470 |

Fuente: elaboración propia a partir del censo estructural y avalúo comercial por m² del municipio de Toro.

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 **catorce mil novecientos millones novecientos siete mil cuatrocientos quince pesos** (\$ 14.900.907.415) (Tabla 9.61).

Tabla 9.61. 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 ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE (\$) |
| Mitigable | 328 | \$ 6.552.492.114 |
| No Mitigable | 46 | \$8.348.415.301 |
| POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS TOTALES (\$) | | \$ 14.900.907.415 |

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

El estudio de historicidad realizado para el municipio de Toro desde el periodo de 1980 a febrero de 2019, en relación con los fenómenos de movimiento en masa e inundación, 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 es el de inundaciones, con una mayor representación de eventos de tipo pluvial 30 y 2 de tipo fluvial asociados a las quebradas Guarango y Toro.

La historicidad por barrios para el fenómeno de inundación muestra una mayor recurrencia de eventos en los barrios San José, El Lázaro y Palermo, les siguen los barrios El Chanco y Santa Elena y con menor frecuencia aparecen los barrios El Hobo, Centro y La Troncada.

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. En términos de afectaciones por deslizamientos, según la visita de campo, las zonas afectadas están al N-NW y son las casas ubicadas entre la carrera 4 entre calles 4 y 6, y las casas ubicadas en la calle 11 de la carrera 9 en adelante; dichas casas están a la base del cerro el cual está compuesto de los basaltos de La Trinidad, los cuales están muy meteorizados y fracturados, en sectores ya son de tipo cataclasita, afectados por fallamiento.

En cuanto al trabajo de Geología realizado en el municipio se encontró que la quebrada Toro en su recorrido en su recorrido evidencia su capacidad de carga ya que se observan bloques pequeños (0.25 m a 0.60 m); lo que evidencia que podría ocasionar gran daño en temporada invernal. Por otro lado, la no existencia de afloramientos fuera de la quebrada Toro del abanico aluvial de Toro, no ayuda a definir las dimensiones de ancho y grosor de este, además de la composición del abanico y sus características geológicas.

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 las quebradas Toro y Lázaro, 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 Toro, se observa que la distribución temporal de la lluvia presenta dos periodos de alta pluviosidad y dos de baja pluviosidad; las mayores lluvias se encuentran en la época comprendida entre los meses de marzo a mayo y octubre a diciembre, mientras que los periodos de menor pluviosidad están entre los meses de enero a febrero y de junio a septiembre, 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 las quebradas Toro y De Lazaro, 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 por inundación por desbordamiento se constituye en una medida no estructural, que puede ser empleada para la formulación de diferentes instrumentos de planificación y gestión, entre ellos los planes de ordenamiento territorial, la optimización de los sistemas de alerta temprana y emergencia, el diseño y construcción de obras de protección y en general, la gestión del riesgo.

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 Toro, 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”.

En cuanto a la amenaza por movimientos en masa se evidenció que 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 al costado oriental del municipio, en pendientes superiores a los 16°.

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

Puntualmente para el barrio San José, es necesario monitorear por medio de piezómetro de cuerdas vibrantes el nivel freático e instalar inclinómetro, para conocer si se presentan modificaciones en el terreno (cambio en la inclinación)

A partir de la modelación de la amenaza frente a movimientos en masa, se obtuvo que el barrio San José posee aproximadamente el 60% de la amenaza alta total del municipio, lo cual se asocia a que este barrio se construyó sobre rellenos antrópicos, indicando la inestabilidad del suelo, por ende, es necesario establecer normal 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 Toro 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 (97 %), media en un porcentaje notoriamente inferior (1,95 %), y alta es del (0,55 %), 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 Toro las 159 edificaciones, 70 se encuentran en exposición alta y 8 se encuentra en exposición media.

En lo que respecta a la exposición de líneas vitales frente al fenómeno de inundación, se encontró que la red de acueducto y la red de alcantarillado son las más expuestas comparadas con las redes vial y la red eléctrica. Sin embargo por la poca información 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 96.9% de la población analizada ante el fenómeno tiene un factor resistencia baja y solo el 3.1% tiene un factor de resistencia media. En la misma línea se evidenció para el factor de resistencia estructural que las 159 edificaciones, las red vial y los postes que soportan la red eléctrica que fueron evaluados presentan un factor de resistencia baja.

Los resultados de vulnerabilidad demostraron que la población y las estructuras presentan niveles de vulnerabilidad alta en 148 edificaciones media en 6 y baja en 5 edificaciones ante una inundación.

El escenario de afectación corporal, estrechamente ligado con el escenario de afectación estructural por inundación, arrojó un nivel de afectación alto, con 445 habitantes con poca o nula resistencia al fenómeno de inundación, representando el 99% de la población analizada, solo 1% tiene vulnerabilidad baja.

El análisis realizado a los elementos expuestos ante inundación en la zona urbana del municipio de Toro las 159 edificaciones, 153 tienen afectación alto, 1 edificación tiene un nivel de afectación medio y solo 5 edificaciones un nivel de afectación bajo. 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 pérdidas en edificaciones, asistencia del gobierno y líneas vitales (red vial y postes que soportan la red de energía eléctrica) corresponden a un valor de **once mil ochocientos cuarenta y seis millones cuatrocientos trece mil ciento treinta y tres pesos (\$ 11.846.413.133)**

El análisis realizado a los elementos expuestos ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Toro evidencia que de las 88 edificaciones se encuentran expuestas 62 en zona de amenaza media y 26 en zonas de amenaza alta. El barrio que presnetan mayor edificaciones expuestas es El Lázaro.

En lo que respecta a la exposición de líneas vitales frente al fenómeno, se obtuvo que la red vial y de alcantarillado tienen mayores metros lineales expuestos comparadas con la red acueducto y postes que soportan la red eléctrica.

En lo que corresponde al análisis de fragilidad se encontró que, en el factor de resistencia corporal, el 91.8% de la población analizada ante el fenómeno tiene un factor de resistencia baja, el 7.5% resistencia media y solo 0.7% presenta un factor de resistencia alta. En cuanto al factor de resistencia estructural, se evidenció que las 88 edificaciones evaluadas presentan un factor de resistencia baja.

Los resultados de vulnerabilidad ante movimiento en masa demostraron que la población analizada presenta principalmente una vulnerabilidad corporal baja con 82%, y la vulnerabilidad estructural 36 edificaciones, es decir el 49.6% del área tienen vulnerabilidad es alta, 43 edificaciones, siendo el 34.38% del área presenta vulnerabilidad baja y 9 edificaciób n con el 15.97% del área esta en vulnerabilidad media.

El escenario de afectación corporal, estrechamente ligado con el escenario de afectación estructural por movimiento en masa, arrojó un nivel de riesgo alto, con 960 habitantes con poca o nula resistencia al fenómeno de inundación, representando el 68% de la población analizada, en afectación media 37 habitantes representando el 3% y en afectación baja 417 habitantes representando el 29%.

Para el escenario de afectación estructural ante movimiento en masa, se encontró que las 88 edificaciones, 60 tienen afectación alta, 32 edificaciones afectación media y 42 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 67% de afectación baja y 33% afectación alta y la red eléctrica ante movimiento en masa, presenta afectación alta en los 14 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 **ciento cincuenta y cinco mil trescientos ocho millones ochenta y siete mil seiscientos cuarenta y nueve pesos (\$ 155.308.087.649)**.

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 Toro es de especial interés el centro poblado Salazar, debido a los altos reportes de afectaciones por inundación, movimiento en masa y avenidas torrenciales.

Es necesario elaborar un estudio en el cual se proponga un sistema de alcantarillado de aguas lluvias ya que el municipio no lo tiene y dichas aguas están generando en diferentes puntos de la ciudad inundaciones, especialmente en el barrio Providencia y Bolívar; además el municipio no cuenta con un sistema adecuado de vertimientos de aguas servidas, ya que en las visitas se pudo constatar que todas las aguas servidas de los barrios e incluso del matadero municipal son vertidas directamente a las quebradas del municipio.

Se recomienda elaborar un estudio de historicidad y de mapeo de los nacimientos de los drenajes (Quebradas o zajones) que cruzan el casco urbano del municipio de Toro, ya que en el pasado dichos drenajes fueron canalizadas y no se sabe con certeza por donde cruzan y ya existen reportes de salidas de aguas servidas en diferentes casas sin conocer su origen, posiblemente de estas antiguas canalizaciones ya totalmente deterioradas.

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 EOT.

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 Toro

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 riesgo alta no mitigable asentada en las márgenes de los afluentes quebrada Toro y De Lázaro, 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.
- Alcaldía de Toro (2016). Plan Municipal de Gestión del Riesgos del Municipio del Toro, Valle del Cauca.
- Alcaldía de Toro (2016 - 2019). Plan de Desarrollo del Municipio del Toro, 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 el control posicional en imagenes de teledeteccion georreferenciadas. Teledetección y Desarrollo Regional. X Congreso de Teledeteccion (págs. 117-222). Cáceres, 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.
- Caballero J. (2011). Las avenidas torrenciales: Una amenaza potencial en el valle de Aburrá. Revista Gestión y Ambiente. Volumen 14. Número 3. Páginas 45 y 46. Diciembre del 2011.
- 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). Topografía Plana. Merida: Universidad 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 lo establecido en el Artículo 13 de la Ley 680 de 2001. Bogotá DC. Colombia
- Concejo Municipal de Toro (2000). Acuerdo 008 de 2000. Por el cual se adopta el Esquema de Ordenamiento Territorial para el municipio de Toro. Departamento del Valle del Cauca.
- Concejo Municipal de Toro (2016). Acuerdo 005 del 31 de mayo de 2016, por el cual se adopta el Plan de Desarrollo Municipal de Toro, periodo 2016-2019.
- 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 del IGAC A2_1998-07-20_0_Fal-407_F35_265 y 266 del año 1998.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). (2003). Vuelo A2_2003_07_0_FAL-448_F23_005, 006 y 007 del año 2003.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). (2004). Vuelo A2_2004_02_00_00_FAL-448_F44_1_249, 250, 251 y 252 del año 2004.
- 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>
- 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. <https://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>

- Etayo, F., Parra, E. y Rodriguez, G., (1982). Análisis Facial del "Grupo del Dagua" con base en secciones aflorantes al oeste de Toro (Valle del Cauca). Geol. Norandina, Bogotá, 5, 3-12.
- 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/>
- 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 Geotechnical 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.
- González 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 gravitativem Naturgefahren Fallbeispiele & 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) (2006). Mapa Geológico de Colombia. Escala 1:2.800.000, Bogotá
- 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 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 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 susceptibilidad general del terreno a los movimientos en masa. Bogotá D.C.: Instituto de Hidrología Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM) (2013). Metodología para realizar trabajos de hidrotopografía. 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). (SF). Vuelo IGAC_C_1260_FOTO_028 y 029_Año_19XX
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2004). Aspectos Prácticos de la Adopción del marco geocéntrico nacional de referencia MAGNA-SIRGAS como datum oficial de Colombia, Bogotá.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2006). Vuelo_ C2787_Foto 009 a 012_Año 2006.
- 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 Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) (2016). Especificaciones Técnicas Cartografía Básica Digital.
- Instituto Geográfico 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 – The 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 N° 38.
- 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.
- MDOC-DS (2008). Manual de Diseño de Obras Civiles, Diseño por Sismo (MDOC-DS), 2008, Comisión Federal de Electricidad (CFE), Río 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. *Annual 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. Título H- Estudios geotécnicos. Bogotá DC.
- Ministerio 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”. Bogotá 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_humanaitaria.pdf
- 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=I08C85v&CVID=I08C85v>
- Mitula (2019). Toro- 40 Casas En Toro - Mitula Casas. Recuperado de <https://casas.mitula.com.co/casas/casas-Toro-valle>.
- Montes, J. (2012). Recuperación, rehabilitación y mantenimiento de la malla vial. Bogotá DC. Colombia
- 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. (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.
- Pardo-Trujillo, A., Moreno-Sánchez, M. y Gomez-Cruz, A.d.J. (1994). Evidencias de actividad neotectónica en la carretera Cartago-Toro (Valle del Cauca, Colombia), III Conferencia Colombiana de Geología Ambiental, Armenia, Colombia, pp. 181-191.
- 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 Europeo No. CCE NA 84/03. INGEOMINAS-BRGMADK - KS (en preparación).
- Porras, V. A. (2014). Diplomado en análisis de información 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 Gomez, 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 de Planeación del Municipio de Toro (2000). Información cartográfica del municipio de Toro.
- 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/Normal.jsp?i=20845>
- Secretaría 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 Politècnica de Catalunya. Iniciativa Digital Politècnica. España
- Suter, F., Neuwerth, G. y G. (2005). Depositional model for the Quaternary Zarzal Formation (Colombia) and its stratigraphic relationship with the volcanoclastic 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 Hammet, 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 and Earth Science. The Hague. The 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 Processes. In Scuster & Krizek, Landslides: Analysis and Control. Special report 176. Transportation Commission 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 Tomás 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%20Andina.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 under dense 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 (2017). *Desinventar. Sistema de inventario de efectos de desastres*. Recuperado de <http://www.deSinventar.org/es/>
- Datos Abiertos Colombia (2019) Emergencia Naturales <https://www.datos.gov.co/Ambiente-y-Desarrollo-Sostenible/Emergencias-Naturales/xjv9-mim9>

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 y movimiento en masa del municipio de Toro
 3. Mapa de Geología
 4. Mapa de Zonificación de Amenaza por Inundación
 5. Mapa de Zonificación de Amenaza por Movimiento en Masa
 6. Mapa de Zonificación de Vulnerabilidad por Inundación
 7. Mapa de Zonificación de Vulnerabilidad por Movimiento en masa
 8. Mapa de Afectación por Inundación
 9. Mapa de Afectación por Movimiento en masa
 10. Mapa de Afectación Alta Mitigable y No Mitigable por Inundación
 11. Mapa de Afectación Alta Mitigable y No Mitigable por Movimiento en Masa