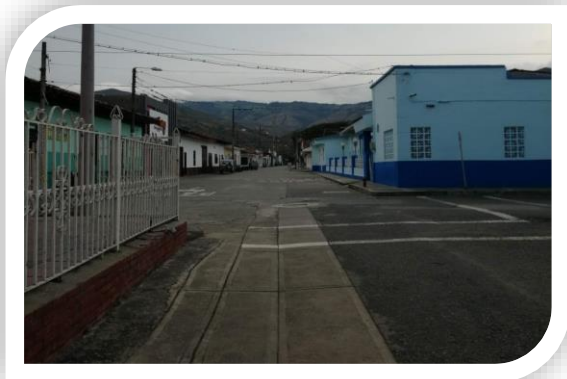
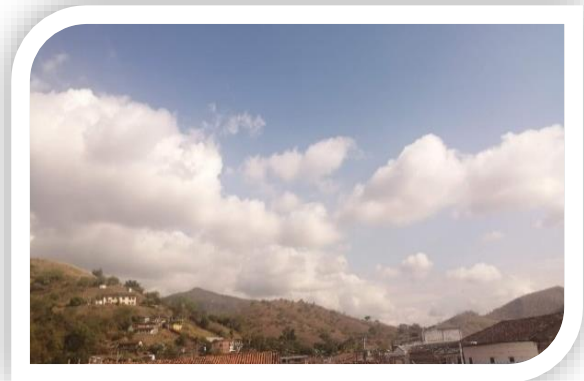


CONVENIO INTERADMINISTRATIVO N° 070 DE 2018 CVC – UNIVALLE
MUNICIPIO DE OBANDO



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



**Universidad
del Valle**



**Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca**

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 Obando, la evaluación de la amenaza, vulnerabilidad y escenarios de afectación o daño (riesgo) en el componente urbano municipal, en cumplimiento de la función dada por la Ley 1523 de 2012 sobre el apoyo a los municipios en el conocimiento del riesgo.

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

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

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

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

MARCO ANTONIO SUÁREZ GUTIÉRREZ
Director General
CVC



AGRADECIMIENTO

Agradecimiento a la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca, La subdirección 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.....	34
OBJETIVOS	36
GENERAL	36
ESPECÍFICOS	36
ALCANCE	36
1. GENERALIDADES DEL MUNICIPIO DE OBANDO VALLE DEL CAUCA	37
1.1. CONTEXTO HISTÓRICO DEL MUNICIPIO	37
1.2. CONTEXTO GEOGRÁFICO DEL MUNICIPIO	37
1.2.1. LÍMITES	37
1.2.2.1. ZONA URBANA	38
1.2.2.2. ZONA RURAL	41
1.2.3. DEMOGRAFÍA.....	43
1.2.4. CLIMATOLOGÍA	44
1.2.5. HIDROLOGÍA	44
1.3. CONTEXTO FISIAGRÁFICO DEL MUNICIPIO	47
1.3.1. FISIGRAFÍA Y RELIEVE.....	47
1.3.2. GEOLOGÍA Y MORFOLOGÍA.....	48
1.3.2.1. LITOLOGÍA.....	48
1.3.2.2. ESTRUCTURAS GEOLÓGICAS.....	51
1.3.2.3. GEOMORFOLOGÍA	54
2. HISTORICIDAD DE EVENTOS DE INUNDACIÓN Y MOVIMIENTO EN MASA	56
2.1. CONCEPTUALIZACIÓN DE INUNDACIÓN Y MOVIMIENTO EN MASA.....	56
2.1.1. INUNDACIÓN	56
2.1.1.1. TIPOS DE INUNDACIÓN	56
2.1.1.1.1. SEGÚN LA DURACIÓN	56
2.1.1.1.2. SEGÚN EL MECANISMO DE GENERACIÓN	57
2.1.2. MOVIMIENTO EN MASA	57
2.1.2.1. TIPOS DE MOVIMIENTO EN MASA	57
2.2. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE EVENTOS HISTÓRICOS	59
2.2.1. MÉTODOS INTENSIVISTA Y EXTENSIVISTA.....	59
2.2.2. ESPACIALIZACIÓN DE LOS RESULTADOS DE HISTORICIDAD	60
2.2.2.1. DENSIDAD DE KERNEL DEFINICIÓN DE ÁREAS DE SUSCEPTIBILIDAD A INUNDACIÓN A PARTIR DE DATOS PUNTALES DE HISTORICIDAD.....	61
2.2.2.2. ANÁLISIS A PARTIR DE LA SUPERFICIE DEL TERRENO	62
2.2.2.3. ESPACIALIZACIÓN DE INFORMACIÓN HISTÓRICA NO PUNTUAL	63
2.2.3. FUENTES DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTOS CONSULTADOS	64
2.2.3.1. ARCHIVO	65
2.2.3.2. BIBLIOGRÁFICAS.....	65
2.2.3.3. HEMEROGRÁFICA	65
2.2.3.4. BASES DE DATOS	66
2.3. EVENTOS POR INUNDACIÓN	67
2.3.1. REPORTES SOBRE EVENTOS POR INUNDACIÓN.....	67
2.3.1.1. DESCRIPCIÓN Y TIPIFICACIÓN DE EVENTOS DE INUNDACIÓN	69
2.3.1.1.1. BASE DE DATOS DESINVENTAR.....	69

2.3.1.1.2.	ARCHIVO DEL CUERPO DE BOMBEROS VOLUNTARIOS DE OBANDO.....	70
2.3.1.2.	MAPAS DE INUNDACIONES HISTÓRICAS DEL MUNICIPIO DE OBANDO PERIODO 1980-FEBRERO 2019	74
2.3.1.3.	INVENTARIO GENERAL DE REPORTES POR EVENTOS HISTÓRICOS DE INUNDACIONES DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO PERIODO 1980 HASTA FEBRERO DE 2019 ..	79
2.4.	EVENTOS DE MOVIMIENTO EN MASA	82
2.4.1.	REPORTE SOBRE EVENTOS POR MOVIMIENTO EN MASA.....	82
2.4.1.1.	DESCRIPCIÓN Y TIPIFICACIÓN DE EVENTOS DE MOVIMIENTOS EN MASA	82
2.4.1.1.1.	PERIÓDICO EL PAÍS	82
2.4.1.2.	MAPAS HISTÓRICOS DE MOVIMIENTO EN MASA DEL MUNICIPIO DE OBANDO PERIODO 1980 HASTA JULIO DE 2019	83
2.4.1.2.1.	INVENTARIO GENERAL DE REPORTES POR EVENTOS HISTÓRICOS DE MOVIMIENTO EN MASA DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO PERIODO 1980-FEBRERO 2019 ..	85
2.5.	TALLER DE SOCIALIZACIÓN Y VALIDACIÓN.....	87
2.5.1.	SOCIALIZACIÓN DEL PROYECTO Y EJECUCIÓN DEL TALLER CON LOS ASISTENTES	87
3.	GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	93
3.1.	GEOLOGIA REGIONAL	93
3.1.1.	FORMACIÓN CINTA DE PIEDRA (TOCP)	94
3.1.2.	FORMACIÓN LA PAILA (TMP).....	95
3.1.3.	FORMACIÓN ZARZAL (TPZ)	95
3.1.4.	DEPÓSITOS.....	97
3.1.4.1.	TERRAZAS – QTA, CONOS – QCA Y ALUVIONES – QAL.....	97
3.1.5.	DEPÓSITOS PIROCLÁSTICOS QP	97
3.2.	GEOLOGIA ESTRUCTURAL REGIONAL	97
3.2.1.	FALLA QUEBRADANUEVA.....	98
3.2.2.	FALLA ARMENIA	98
3.2.3.	FALLA SILVIA PIJAO	98
3.2.4.	FALLA SALENTO	99
3.2.5.	FALLA RÍO VERDE	99
3.2.6.	FALLA QUEBRADA NEGRA	99
3.2.7.	FALLA NAVARCO.....	99
3.3.	GEOLOGÍA LOCAL.....	99
3.3.1.	MAPA GEOLÓGICO LOCAL	99
3.3.1.1.	FORMACIÓN LA PAILA (TMP).....	102
3.3.1.2.	FORMACIÓN ZARZAL	104
3.3.1.3.	FORMACIÓN ZARZAL (TPLZ).....	112
3.3.1.4.	QUEBRADA LAS JAGUAS	113
3.3.1.5.	DEPÓSITOS DE CONOS (QCA).....	114
3.3.1.6.	DEPÓSITOS COLUVIALES Y DEPÓSITOS DE LADERA	116
3.4.	GEOLOGIA ESTRUCTURAL LOCAL	117
3.4.1.	TRAZO DE LA FALLA OBANDO INFERIDA CON INDICIOS GEOMORFOLÓGICOS, PERO SIN EVIDENCIAS DE ACTIVIDAD TECTÓNICA RECIENTE.....	118
3.5.	UNIDADES GEOLOGICAS SUPERFICIALES	118
3.5.1.	UNIDAD DE ROCA INTERMEDIA VOLCANOSSEDIMENTARIA (RIVS)	118
3.5.2.	UNIDAD DE ROCA BLANDA VOLCANOSSEDIMENTARIA (RBVS).....	119
3.5.3.	UNIDAD DE SUELO TRANSPORTADO (ST)	119

3.6.	GEOMORFOLOGÍA	121
3.6.1.	FASE 1	121
3.6.2.	FASE 2	123
3.6.3.	FASE 3	141
3.6.3.1.	ANÁLISIS, RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE LA GEOMORFOLOGÍA	141
3.6.4.	MOVIMIENTOS EN MASA Y EROSIÓN.....	143
3.6.4.1.	MOVIMIENTOS EN MASA DEL BARRIO LAS BRISAS.....	143
3.6.4.2.	MOVIMIENTOS EN MASA DEL BARRIO SAN RAFAEL.....	151
3.6.4.3.	INESTABILIDAD EN EL PARQUE RECREACIONAL	154
3.6.5.	EROSIÓN	159
3.6.5.1.	SECTORES AFECTADOS POR EROSIÓN QUEBRADA EL NARANJO O RÍO OBANDO.....	159
3.6.6.	INUNDACIONES	159
3.6.6.1.	RÍO OBANDO O QUEBRADA EL NARANJO.....	160
4.	TOPOGRAFÍA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	165
4.1.	SISTEMAS Y MARCOS DE REFERENCIA	165
4.2.	LEVANTAMIENTO TOPOGRÁFICO CON ESTACIÓN TOTAL	169
4.3.	TOPO BATIMETRÍA	172
4.4.	DEFINICIÓN DE PRODUCTOS DE INFORMACIÓN GEOMÁTICA PRIMARIA.....	174
4.5.	ANÁLISIS DE ESTÁNDARES DE CALIDAD DE CADA PRODUCTO.....	174
4.5.1.	CARTOGRAFÍA BÁSICA DIGITAL	175
4.5.2.	CONSTRUCCIÓN DE MODELOS DIGITALES DEL TERRENO	176
4.5.3.	MUESTREO.....	178
4.5.3.1.	MUESTREO ALEATORIO.....	178
4.5.3.2.	MUESTREOS NO PROBABILÍSTICOS	179
4.5.3.3.	MUESTREOS ESPACIALES	179
4.6.	NÚMERO DE PUNTOS.....	181
4.6.1.	DISTRIBUCIÓN DE PUNTOS DE CONTROL	182
4.6.2.	UBICACIÓN DE LOS PUNTOS	182
4.7.	DISEÑO DE PROCEDIMIENTOS	182
4.7.1.	CONSTRUCCIÓN REDES DE CONTROL GNSS.....	182
4.7.2.	MUESTREO.....	183
4.7.3.	TOPOGRAFÍA CONVENCIONAL	184
4.7.3.1.	MOVIMIENTOS EN MASAS	184
4.7.3.2.	BATIMETRÍA FLUVIAL PARA CUERPOS DE AGUA PEQUEÑOS Y DRENAJES INTERMITENTES	184
4.8.	TRABAJO DE CAMPO	184
4.8.1.	RESULTADOS AMARRE A LA RED GEODÉSICA NACIONAL.....	185
4.8.2.	EVALUACIÓN DE CALIDAD DE UN MODELO DE ELEVACIÓN DEL TERRENO	189
4.9.	BATIMETRÍA.....	190
5.	HIDROLOGÍA E HIDRÁULICA	194
5.1.	CONCEPTUALIZACIÓN	195
5.2.	METODOLOGÍA.....	197
5.2.1.	CLIMATOLOGÍA	197
5.2.2.	MORFOMETRÍA	197
5.2.3.	HIDROLOGÍA	197
5.2.4.	HIDRÁULICA	197
5.3.	CARACTERIZACION CLIMATICA MUNICIPIO DE OBANDO.....	198

5.3.1.	ELEMENTOS Y VARIABLES CLIMATOLÓGICAS	198
5.3.1.1.	RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS	199
5.3.1.2.	PRECIPITACIÓN	199
5.3.1.2.1.	DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LAS PRECIPITACIONES	199
5.3.1.2.2.	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN.....	200
5.3.1.2.3.	NÚMERO DE DÍAS CON LLUVIA	202
5.3.1.2.4.	ESTIMACIÓN DE PRECIPITACIONES MÁXIMAS	203
5.3.1.2.4.	CURVAS INTENSIDAD – DURACIÓN – FRECUENCIA – IDF.....	209
5.4.	ESTUDIO HIDROLÓGICO.....	215
5.3.2.	MODELACIÓN HIDROLÓGICA.....	216
5.3.2.1.1.	CLASIFICACIÓN DE LOS MODELOS PRECIPITACIÓN-ESCORRENTÍA.....	217
5.3.2.1.2.	VARIABLES Y PARÁMETROS DE MODELACIÓN.....	218
5.3.3.	IMPLEMENTACIÓN DEL MODELO HIDROLÓGICO	227
5.3.3.1.	DATOS DE ENTRADA DEL MODELO HEC-HMS	227
5.3.3.2.	CARACTERÍSTICAS MORFOMÉTRICAS DE LAS SUBZONAS.....	227
5.3.4.	ESQUEMATIZACIÓN DE LAS SUBZONAS.....	229
5.3.5.	USOS DEL SUELO – NÚMERO DE ESCURRIMIENTO-	229
5.3.6.	FLUJO BASE	232
5.3.7.	RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN Y ANÁLISIS HIDROLÓGICO.....	232
5.4.	ESTUDIO HIDRÁULICO.....	240
5.4.1.	MODELACIÓN HIDRAULICA HEC GEO RAS	240
5.4.1.1.	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.....	240
5.4.1.2.	CÁLCULO DE PERFILES DE AGUA SUPERFICIAL	241
5.4.1.3.	COEFICIENTE DE MANNING PARA EL CANAL PRINCIPAL	242
5.4.1.4.	EVALUACIÓN DE LA CABEZA PRINCIPAL DE ENERGÍA CINÉTICA	243
5.4.1.5.	EVALUACIÓN DE PÉRDIDAS POR FRICCIÓN.....	243
5.4.1.6.	EVALUACIÓN DE CONTRACCIONES Y EXPANSIONES	244
5.4.1.7.	LIMITACIONES DEL PROGRAMA.....	244
5.4.1.8.	INFORMACIÓN DE ENTRADA AL MODELO	244
5.4.1.9.	CAUDALES DE MODELACIÓN	245
5.4.1.10.	COEFICIENTE DE RUGOSIDAD.....	245
5.4.1.11.	GRILLA	246
5.5.	RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA	247
6.	AMENAZA POR INUNDACIÓN POR DESBORDAMIENTO	254
6.1.	CONCEPTUALIZACIÓN	254
6.1.1.	AMENAZA.....	255
6.1.2.	ZONIFICACIÓN	255
6.2.	METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE NIVELES DE AMENAZA POR INUNDACIONES	255
6.2.1.	ESTADO DEL ARTE.....	255
6.3.	METODOLOGÍA ADOPTADA EN EL PRESENTE ESTUDIO.....	265
6.3.1.	NIVELES DE FRECUENCIA DE LOS EVENTOS DE INUNDACIONES	265
6.3.2.	NIVELES DE INTENSIDAD O MAGNITUD DE LOS EVENTOS DE INUNDACIONES.....	266
6.3.3.	METODOLOGÍA PARA DETERMINAR LOS NIVELES DE AMENAZA POR INUNDACIONES	266
6.3.4.	DETERMINACIÓN DE LOS NIVELES DE AMENAZA POR INUNDACIONES	267
6.4.	RESULTADOS	268
6.4.1.	DETERMINACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA DE AMENAZA POR INUNDACIÓN	269

6.4.2.	CONSIDERACIONES GENERALES SOBRE LAS INUNDACIONES	269
6.4.3.	MEDIDAS PARA EL CONTROL Y EL MANEJO DE INUNDACIONES	270
6.4.3.1.	MEDIDAS ESTRUCTURALES	271
6.4.3.2.	MEDIDAS NO ESTRUCTURALES.....	271
6.5.	MAPA DE AMENAZA POR INUNDACIÓN POR DESBORDAMIENTO	272
6.5.1.	CLASIFICACIÓN DE LA AMENAZA EN PLANICIES DE INUNDACIÓN	273
6.5.2.	DETERMINACIÓN DE CAUDALES EXTREMOS.....	274
6.5.3.	MODELACIÓN HIDRODINÁMICA Y GENERACIÓN DEL MAPA DE INUNDACIÓN POR DESBORDAMIENTO.....	274
6.5.3.1.	MODELACIÓN HIDRODINÁMICA Y GENERACIÓN DE MAPAS DE INUNDACIÓN POR ESCENARIOS PARA LOS FENÓMENOS DE INUNDACIONES.....	274
6.6.	GENERACIÓN DE LA CARTOGRAFÍA DE AMENAZA GLOBAL POR INUNDACIONES	275
7.	AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA	277
7.1.	CONCEPTUALIZACIÓN DE AMENAZA POR MOVIMIEMTO EN MASA	278
7.1.1.	AMENAZA	278
7.1.2.	ZONIFICACIÓN DE AMENAZA.....	278
7.1.3.	LA CLASIFICACIÓN DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA.....	279
7.2.	METODOLOGÍA.....	280
7.2.1.	EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA Y ENSAYOS DE LABORATORIO	286
7.2.2.	ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA:	293
7.3.	ANÁLISIS FACTORES CONDICIONANTES.....	294
7.3.1.	GEOLOGÍA	294
7.3.2.	GEOMORFOLOGÍA	295
7.3.3.	UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES (UGS).....	295
7.3.4.	COBERTURA Y USO DE LA TIERRA	299
7.3.5.	INVENTARIO DE MOVIMIENTOS EN MASA	305
7.3.6.	EXPLORACIÓN GEOTÉCNICA Y ENSAYOS DE LABORATORIO	307
7.3.6.1.	PERFORACIONES A PERCUSIÓN.....	307
7.3.6.2.	APIQUES	310
7.3.6.3.	LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICA	313
7.3.6.4.	ENSAYOS DE LABORATORIO.....	318
7.3.6.5.	ENSAYO DE CORTE DIRECTO	319
7.3.6.6.	ENSAYOS DE COMPRESIÓN INCONFINADA	320
7.3.6.7.	PARÁMETROS GEOTÉCNICOS.....	320
7.4.	MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO	327
7.5.	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD.....	329
7.5.1.	PARÁMETROS DE RESISTENCIA.....	329
7.5.2.	AGENTES DETONANTES.....	330
7.5.2.1.	LLUVIA Y AGUA SUBTERRÁNEA	330
7.5.2.2.	SISMOS	334
7.5.2.3.	ACTIVIDAD ANTRÓPICA	334
7.6.	ZONIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA.....	335
7.6.1.	ANÁLISIS PROBABILÍSTICOS DE ESTABILIDAD EN SUELOS ARCILLOSOS	335
7.6.2.	MODELACIÓN MECANISMOS DE FALLA TRASLACIONALES SUPERFICIALES	336
7.6.3.	ZONIFICACIÓN DE ESCENARIO.....	340
7.6.4.	CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA	343

7.6.4.1.	MAGNITUD	343
7.6.4.2.	DISTANCIA DE VIAJE	344
7.6.4.3.	INTENSIDAD	345
8.	VULNERABILIDAD POR INUNDACIÓN Y MOVIMIENTO EN MASA EN EL MUNICIPIO DE OBANDO.....	348
8.1.	CONCEPTUALIZACIÓN DE VULNERABILIDAD	348
8.1.1.	VULNERABILIDAD.....	348
8.1.2.	ESCENARIO DE VULNERABILIDAD.....	349
8.1.3.	EXPOSICIÓN	349
8.1.4.	FRAGILIDAD.....	350
8.1.5.	INTENSIDAD -TIPOS Y MODOS DE DAÑOS	350
8.2.	METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD.....	350
8.2.1.	ESCENARIO DE VULNERABILIDAD.....	351
8.2.2.	ESCENARIOS DE VULNERABILIDAD ANTE MOVIMIENTOS EN MASA E INUNDACIONES	353
8.2.2.1.	EXPOSICIÓN	353
8.2.2.2.	FRAGILIDAD.....	355
8.2.2.2.1.	INTENSIDAD.....	355
8.2.2.2.2.	FACTOR DE RESISTENCIA POR MOVIMIENTO EN MASA.....	358
8.2.3.	CÁLCULO Y ZONIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	363
8.3.	ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD ANTE MOVIMIMIENTO EN MASA	364
8.3.1.	PRESIÓN DE IMPACTO ANTE MOVIMIENTOS EN MASA	364
8.3.2.	IDENTIFICACIÓN, LOCALIZACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE ELEMENTOS EXPUESTOS ANTE MOVIMIENTO EN MASA	370
8.3.2.1.	EXPOSICIÓN DE ELEMENTOS ANTE MOVIMIENTO EN MASA.....	370
8.3.2.1.1.	EXPOSICIÓN CORPORAL	371
8.3.2.1.2.	EXPOSICIÓN ESTRUCTURAL	372
8.3.2.1.3.	EXPOSICIÓN DE LÍNEAS VITALES.....	379
8.3.2.2.	FRAGILIDAD ANTE MOVIMIENTO EN MASA.....	386
8.3.2.3.	FACTOR DE RESISTENCIA (FACTOR DE SEGURIDAD)	386
8.3.2.3.1.	FACTOR DE RESISTENCIA CORPORAL	386
8.3.2.3.2.	FACTOR DE RESISTENCIA DE LÍNEAS VITALES	392
8.3.3.	CÁLCULO Y ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD ANTE MOVIMIENTOS EN MASA	397
8.3.3.1.	VULNERABILIDAD CORPORAL	397
8.3.3.2.	VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL	399
8.3.3.3.	VULNERABILIDAD DE LAS LÍNEAS VITALES.....	401
8.3.4.	CURVA DE FRAGILIDAD DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS POR EL FENÓMENO DE MOVIMIENTO EN MASA	404
9.	ESCENARIOS DE AFECTACIÓN ANTE MOVIMIENTO EN MASA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	406
9.1.	CONCEPTUALIZACIÓN DE AFECTACIÓN O RIESGO	406
9.1.1.	RIESGO	406
9.1.2.	EVALUACIÓN DEL RIESGO.....	406
9.1.3.	ESCENARIOS DE RIESGO	406
9.1.4.	RIESGO ALTO NO MITIGABLE.....	406
9.1.5.	RIESGO MITIGABLE	407
9.2.	METODOLOGÍA PARA EVALUACIÓN DE LOS ESCENARIOS DE AFECTACIÓN (RIESGO) POR INUNDACIÓN Y MOVIMIENTOS EN MASA .	407

9.2.1.	ESCENARIO DE AFECTACIÓN MITIGABLE Y NO MITIGABLE POR INUNDACIÓN	408
9.3.	ESCENARIO DE AFECTACIÓN ANTE MOVIMIENTO EN MASA.....	408
9.3.1.	ESCENARIO DE AFECTACIÓN CORPORAL.....	408
9.3.2.	ESCENARIO DE AFECTACIÓN ESTRUCTURAL.....	408
9.3.3.	ESCENARIO DE AFECTACIÓN LÍNEAS VITALES	410
9.3.3.1.	RED VIAL	410
9.3.3.2.	RED ELECTRICA	412
9.4.	ESCENARIO DE AFECTACIÓN MITIGABLE Y NO MITIGABLE POR MOVIMIENTO EN MASA MUNICIPIO DE OBANDO	413
9.4.1.	ZONAS DE ALTO RIESGO MITIGABLE Y NO MITIGABLE	413
9.5.	CÁLCULO DE POSIBLES PERDIDAS ECONOMICAS POR INUNDACION Y MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	415
9.5.1.	IDENTIFICACIÓN DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS EN ESCENARIO DE AFECTACIÓN ANTE MOVIMIENTO EN MASA	416
9.5.1.1.	EDIFICACIONES	416
9.5.1.2.	INFRAESTRUCTURA SOCIAL.....	417
9.5.1.2.1.	ESTIMACIÓN DEL COSTO DE LA ESTRUCTURA DE PREDIOS NO RESIDENCIALES.....	417
9.5.1.2.2.	ESTIMACIÓN DEL COSTO DE LA ESTRUCTURA DE EDIFICACIONES RESIDENCIALES EN ZONA DE AFECTACIÓN ALTA, MEDIA Y BAJA.....	418
9.5.1.2.3.	CONTENIDOS (ELECTRODOMÉSTICOS Y MOBILIARIOS) PROMEDIO EN HOGARES.....	418
9.5.1.2.4.	ESTIMACIÓN DE LOS COSTOS DEL CONTENIDO DE LAS EDIFICACIONES.....	419
9.5.1.2.5.	ESTIMACIÓN DEL COSTO TOTAL APROXIMADO POR DAÑOS DE CONTENIDO EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES	420
9.5.1.2.6.	RESUMEN DE COSTOS APROXIMADOS DE DAÑO EN LA INFRAESTRUCTURA SOCIAL	420
9.5.1.3.	ASISTENCIA GUBERNAMENTAL	421
9.5.1.3.1.	POSIBLES COSTOS POR ASISTENCIAS DEL GOBIERNO A DAMNIFICADOS.....	421
9.5.1.4.	RESUMEN DE COSTOS APROXIMADOS DERIVADOS DE LA ASISTENCIA GUBERNAMENTAL	422
9.6.	CÁLCULO DE POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURA SOCIAL LOCALIZADAS EN ZONA DE AFECTACIÓN POR MOVIMIENTO EN MASA	422
9.6.1.	INFRAESTRUCTURA VIAL.....	423
9.6.1.1.	COSTOS POR POSIBLES AFECTACIONES EN INFRAESTRUCTURA VIAL	423
9.6.2.	LÍNEAS VITALES.....	424
9.6.2.1.	AFECTACIONES EN POSTES DE ENERGÍA ELÉCTRICA	424
9.6.2.1.1.	RESUMEN DE COSTOS APROXIMADOS DE AFECTACIÓN E INFRAESTRUCTURA VIAL Y LÍNEAS VITALES.....	425
9.6.2.1.2.	POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURA VIAL Y LÍNEAS VITALES LOCALIZADAS EN ZONA DE RIESGO	426
9.7.	POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS TOTALES EN INFRAESTRUCTURA EN ZONAS DE AFECTACIÓN	427
9.7.1.	CLASIFICACIÓN DE EDIFICACIONES EN AFECTACIÓN ALTO MITIGABLE Y NO MITIGABLE 427	
9.7.1.1.	CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS ESTRCUTURALES Y FUNCIONALES EXPUESTOS EN EDIFICACIONES CON AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE.....	428

9.7.1.2.	ESTIMACIÓN DEL COSTO DE LA ESTRUCTURA DE LAS EDIFICACIONES EN AFECTACIÓN ALTO MITIGABLE Y NO MITIGABLE	428
9.7.2.	POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN EDIFICACIONES LOCALIZADAS EN ZONA DE AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE	429
	CONCLUSIONES	430
	RECOMENDACIONES	434
	REFERENCIAS	436
	ANEXOS	446

LISTA DE TABLA

TABLA 1.1. DIVISIÓN POLÍTICO-ADMINISTRATIVA DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	39
TABLA 1.2. DIVISIÓN POLÍTICO-ADMINISTRATIVA DE LA ZONA RURAL DEL MUNICIPIO DE OBANDO	41
TABLA 1.3 UNIDADES DEL PAISAJE DEL MUNICIPIO DE OBANDO.....	47
TABLA 2.1. LISTADO DE FUENTES DE INFORMACIÓN	66
TABLA 2.2. NÚMERO DE REPORTES SOBRE EVENTOS DE INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO, VALLE DEL CAUCA, EN EL PERIODO COMPRENDIDO 1980- JULIO 2019	67
TABLA 2.3. NÚMERO DE EVENTOS HISTÓRICOS DE INUNDACIÓN POR BARRIOS EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	68
TABLA 2.4. TIPIFICACIÓN DE LOS REPORTES DE EVENTOS POR INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	74
TABLA 2.5. INVENTARIO DE INUNDACIONES EN EL MUNICIPIO DE OBANDO DURANTE EL PERIODO 1980 HASTA FEBRERO DE 2019	80
TABLA 2.6. INVENTARIO DE EVENTOS POR MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO PERIODO DE 1980-2019	86
TABLA 3.1. EJEMPLOS DE NOMENCLATURAS DE ELEMENTOS GEOMORFOLÓGICOS. CARVAJAL (2012).....	128
TABLA 3.2. SITIOS CON REMOCIÓN DE MASAS.....	157
TABLA 4.1. RESOLUCIÓN ESPACIAL EXPRESADA EN GSD	175
TABLA 4.2. SISTEMA DE COORDENADAS GEOGRÁFICAS MAGNA	175
TABLA 4.3. ORÍGENES DE COORDENADAS GAUSS KRUGER.....	175
TABLA 4.4. EXACTITUD ABSOLUTA DE POSICIÓN POR ESCALAS	176
TABLA 4.5. NIVEL DE TOLERANCIA POR ESCALA.....	176
TABLA 4.6. PRECISIÓN SEGÚN EL TERRENO	177
TABLA 4.7. NUMERO RECOMENDADO DE PUNTOS CHEQUEO BASADOS EN EL ÁREA	181
TABLA 4.8. AJUSTE DE RED	185
TABLA 5.1. ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS Y EVAPORIMÉTRICO SECTOR EN ESTUDIO.	199
TABLA 5.2. RESUMEN DE PROMEDIOS MENSUALES MULTIANUALES DE PRECIPITACIÓN TOTAL MENSUAL DE LAS ESTACIONES UBICADAS EN CERCANÍAS AL SECTOR EN ESTUDIO. ...	200
TABLA 5.3. NÚMERO DE DÍAS CON LLUVIA EN LAS ESTACIONES DE REFERENCIA.	202
TABLA 5.4. RESUMEN PRECIPITACIONES MÁXIMAS ESPERADAS (PREDICCIÓN) ASOCIADAS A DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO. ESTACIÓN CRUCES. PERIODO: 1967 – 2017 ...	204
TABLA 5.5. RESUMEN PRECIPITACIONES MÁXIMAS ESPERADAS (PREDICCIÓN) ASOCIADAS A DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO. ESTACIÓN LA ARBOLEDA. PERIODO: 1982 – 2017.....	206
TABLA 5.6. CUADRO RESUMEN PRECIPITACIONES MÁXIMAS ESPERADAS (PREDICCIÓN) ASOCIADAS A DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO. ESTACIÓN MIRAVALLS. PERIODO: 1967 – 2017.	207
TABLA 5.7. CUADRO RESUMEN PRECIPITACIONES MÁXIMAS ESPERADAS (PREDICCIÓN) ASOCIADAS A DIFERENTES PERÍODOS DE RETORNO. ESTACIÓN PUERTO MOLINA. PERIODO: 1967 – 2016.....	209
TABLA 5.8. VALORES DE LA PRECIPITACIÓN DE DISEÑO HIDROLÓGICO PARA TIEMPOS DE RETORNO DE 2, 5, 10, 25, 50 Y 100 AÑOS Y UNA DURACIÓN DE 180 MIN. ESTACIÓN CRUCES...210	

TABLA 5.9. VALORES DE LA PRECIPITACIÓN DE DISEÑO HIDROLÓGICO PARA TIEMPOS DE RETORNO DE 2, 5, 10, 25, 50 Y 100 AÑOS Y UNA DURACIÓN DE 180 MIN. ESTACIÓN LA ARBOLEDA.....	212
TABLA 5.10. VALORES DE LA PRECIPITACIÓN DE DISEÑO HIDROLÓGICO PARA TIEMPOS DE RETORNO DE 2, 5, 10, 25, 50 Y 100 AÑOS Y UNA DURACIÓN DE 180 MIN. ESTACIÓN EL ORÉGANO.....	213
TABLA 5.11. VALORES DE LA PRECIPITACIÓN DE DISEÑO HIDROLÓGICO PARA TIEMPOS DE RETORNO DE 2, 5, 10, 25, 50 Y 100 AÑOS Y UNA DURACIÓN DE 180 MIN. ESTACIÓN PUERTO MOLINA.....	215
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. RESUMEN DE LAS ECUACIONES DE TIEMPO DE CONCENTRACIÓN.....	225
TABLA 5.16. TIEMPO DE ENTRADA (AFTER DOE/NWC, 1981).....	226
TABLA 5.17. CARACTERÍSTICAS GENERALES Y MORFOMÉTRICAS DE LAS SUBZONAS DE INTERÉS.....	229
TABLA 5.18. COBERTURA DEL SUELO DE LAS SUBZONAS CON INFLUENCIA EN EL ÁREA DE ESTUDIO.....	230
TABLA 5.19. VALORES DE CN PARA LAS SUBZONAS HIDROGRÁFICAS EN ESTUDIO.....	232
TABLA 5.20. PARÁMETROS HIDROLÓGICOS DE LAS SUBZONAS HIDROGRÁFICAS EN ESTUDIO.....	232
TABLA 5.21. CAUDALES MÁXIMOS (M3/S) PARA DIFERENTES TIEMPOS DE RETORNO, GENERADOS CON EL MODELO HIDROLÓGICO HEC HMS.....	232
TABLA 5.22 RUGOSIDAD HIDRÁULICA DE MANNING EN CAUCES SEGÚN CHOW Y COWAN.....	243
TABLA 5.23. RUGOSIDAD HIDRÁULICA DE MANNING EN CAUCES SEGÚN CHOW (1959) Y COWAN (1956).....	244
TABLA 5.24 CAUDALES MÁXIMOS (M3/S) PARA DIFERENTES TIEMPOS DE RETORNO, GENERADOS CON EL MODELO HIDROLÓGICO HEC HMS.....	245
TABLA 6.1. NIVELES DE RIESGOS DEFINIDOS EN LA METODOLOGÍA DEL PATRICOVA.....	258
TABLA 6.2. NIVEL DEL RIESGO DE ACUERDO CON EL PROCEDIMIENTO SIMPLIFICADO DEL PLAN MEDIOAMBIENTAL DEL RÍO EBRO Y TRAMO BAJO DEL RÍO CAUCA.....	259
TABLA 6.3. DEFINICIÓN DE RANGOS DE INTENSIDAD PARA INUNDACIONES ESTÁTICAS Y DINÁMICAS (INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES).....	261
TABLA 6.4. CATEGORIZACIÓN DE LA INUNDACIÓN SEGÚN EL PERIODO DE RETORNO (INSTITUTO NICARAGÜENSE DE ESTUDIOS TERRITORIALES).....	262
TABLA 6.5. MATRIZ DE NIVELES DE AMENAZA POR INUNDACIONES.....	263
TABLA 6.6. NIVEL DISCRETO DE AMENAZA.....	264
TABLA 6.7. DEFINICIÓN DE NIVEL DE AMENAZA.....	264
TABLA 6.8. INTENSIDAD DE LA INUNDACIÓN.....	265
TABLA 6.9. INTENSIDAD DE FLUJO DE LODOS.....	265
TABLA 6.10. NIVEL DE FRECUENCIA DE LOS EVENTOS DE INUNDACIONES.....	266
TABLA 6.11. NIVEL DE INTENSIDAD O MAGNITUD DEL EVENTO DE INUNDACIÓN.....	266
TABLA 6.12. NIVEL DE AMENAZA SEGÚN LA FRECUENCIA Y LA INTENSIDAD O MAGNITUD DE LA INUNDACIÓN.....	268
TABLA 6.13. CLASIFICACIÓN DE LA AMENAZA POR INUNDACIONES.....	268
TABLA 6.14. DESCRIPCIÓN DE LAS PRINCIPALES OBRAS ESTRUCTURALES PARA CONTROL DE LAS CRECIENTES E INUNDACIONES.....	271
TABLA 6.15. CLASIFICACIÓN DEL NIVEL DE AMENAZA POR INUNDACIÓN.....	275

TABLA 7.1. CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA, RESOLUCIÓN 227 DE 2006.....	293
TABLA 7.2. COBERTURAS, ÁREA FÍSICA Y PORCENTAJE DE ÁREA DE COBERTURAS DE LA TIERRA DE ACUERDO CON EL NIVEL 3 DE CLC	302
TABLA 7.3. EVAPOTRANSPIRACIÓN POTENCIA DE LA COBERTURA DEL SUELO	303
TABLA 7.4. PROFUNDIDAD EFECTIVA DE LA COBERTURA DEL SUELO.....	304
TABLA 7.5. RELACIÓN DE LAS PERFORACIONES REALIZADAS, COORDENADAS (PLANAS MAGNA-SIRGAS), ALCANCE EN PROFUNDIDAD Y CANTIDAD DE MUESTRAS TOMADAS EN EL MUNICIPIO DE OBANDO	307
TABLA 7.6. RELACIÓN DE LOS APIQUES REALIZADOS, COORDENADAS (PLANAS MAGNA SIRGAS), ALCANCE EN PROFUNDIDAD EN EL MUNICIPIO DE OBANDO	312
TABLA 7.7. UBICACIÓN DE LAS LÍNEAS DE REFRACCIÓN SÍSMICA REALIZADAS PARA EL PRESENTE ESTUDIO EN EL MUNICIPIO DE OBANDO	316
TABLA 7.8. ESTRATOS, VELOCIDADES Y ESPESORES IDENTIFICADOS EN CADA UNA DE LAS LÍNEAS SÍSMICAS REALIZADAS EN EL ÁREA DE ESTUDIO	317
TABLA 7.9. ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS PARA EL PRESENTE ESTUDIO	319
TABLA 7.10. RESUMEN DE LOS PARÁMETROS GEOTÉCNICOS ESTABLECIDOS PARA LOS MATERIALES PRESENTES EN LA ZONA DE ESTUDIO	321
TABLA 7.11. RELACIÓN DE RESULTADOS DE ENSAYOS DE LABORATORIO REALIZADOS A LAS MUESTRAS RECUPERADAS EN LAS LABORES DE EXPLORACIÓN EN EL MUNICIPIO DE OBANDO	321
TABLA 7.12. PARÁMETROS DE RESISTENCIA PARA LOS DIFERENTES MATERIALES PRESENTES EN LA ZONA.....	330
TABLA 7.13. RESULTADOS DEL CÁLCULO DEL NIVEL FREÁTICO PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO SEGÚN LA UNIDAD GEOLÓGICA SUPERFICIAL	334
TABLA 7.14. PROBABILIDADES DE LOS AGENTES DETONANTES	335
TABLA 7.15. RESUMEN DE LOS FACTORES DE SEGURIDAD Y DE LA PROBABILIDAD DE FALLA SECCIÓN BB', CONDICIÓN SIN OBRAS.....	336
TABLA 7.16. PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EMPLEADOS EN LA MODELACIÓN DE LA UGS SA EN EL MUNICIPIO DE OBANDO.....	337
TABLA 7.17. PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EMPLEADOS EN LA MODELACIÓN DE LA UGS SAJ EN EL MUNICIPIO DE OBANDO.....	337
TABLA 7.18. PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EMPLEADOS EN LA MODELACIÓN DE LA UGS SAR EN EL MUNICIPIO DE OBANDO.....	337
TABLA 7.19. PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EMPLEADOS EN LA MODELACIÓN DE LA UGS SAS EN EL MUNICIPIO DE OBANDO.....	337
TABLA 7.20. PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EMPLEADOS EN LA MODELACIÓN DE LA UGS STA EN EL MUNICIPIO DE OBANDO.....	338
TABLA 7.21. PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EMPLEADOS EN LA MODELACIÓN DE LA UGS STAR EN EL MUNICIPIO DE OBANDO	338
TABLA 7.22. PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EMPLEADOS EN LA MODELACIÓN DE LA UGS STAT EN EL MUNICIPIO DE OBANDO	338
TABLA 7.23. PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EMPLEADOS EN LA MODELACIÓN DE LA UGS STCO EN EL MUNICIPIO DE OBANDO	338
TABLA 7.24. PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EMPLEADOS EN LA MODELACIÓN DE LA UGS STL EN EL MUNICIPIO DE OBANDO.....	339
TABLA 7.25. PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EMPLEADOS EN LA MODELACIÓN DE LA UGS RBVS EN EL MUNICIPIO DE OBANDO	339

TABLA 7.26. PARÁMETROS GEOMECÁNICOS EMPLEADOS EN LA MODELACIÓN DE LA UGS RIVS EN EL MUNICIPIO DE OBANDO	339
TABLA 7.27. VALORACIÓN INCERTIDUMBRE COEFICIENTES DE VARIACIÓN EN EL MUNICIPIO DE OBANDO	340
TABLA 7.28. CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA, RESOLUCIÓN 227 DE 2006	340
TABLA 7.29. ÁREAS SEGÚN LOS NIVELES DE AMENAZA PARA LA CONDICIÓN FUTURA EN EL MUNICIPIO DE OBANDO	342
TABLA 7.30. PORCENTAJE DE AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA EN EL SECTOR MÁS AFECTADOS	343
TABLA 7.31. ECUACIONES PARA DETERMINAR LA DISTANCIA DE VIAJE, OBTENIDAS EN HONG KONG	344
TABLA 7.32. ECUACIONES DE REGRESIÓN PARA $\log(H/L) = A + B * \log V$	345
TABLA 7.33. CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA PARA EL MUNICIPIO DE OBANDO.....	347
TABLA 8.1. CLASIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD PARA ESTRUCTURAS Y LÍNEAS VITALES.....	352
TABLA 8.2. ZONAS Y VALORES DE EXPOSICIÓN PARA EL FENÓMENO DE MOVIMIENTO EN MASA ...	354
TABLA 8.3. LÍMITE DE PRESIÓN HORIZONTAL SOPORTADA DE LAS ESTRUCTURAS.....	356
TABLA 8.4. RELACIÓN DEFORMACIÓN/UMBRAL TOLERABLE	357
TABLA 8.5. RELACIÓN DEFORMACIÓN/UMBRAL TOLERABLE	358
TABLA 8.6. RELACIÓN ALTURA DEL DESLIZAMIENTO/ALTURA NOMINAL DEL POSTE	358
TABLA 8.7. FACTOR DE RESISTENCIA POR TIPOLOGÍA DE LAS ESTRUCTURAS	359
TABLA 8.8. FACTOR DE RESISTENCIA POR ALTURA DE LAS ESTRUCTURAS	360
TABLA 8.9. FACTOR DE RESISTENCIA POR SERVICIO DE LAS ESTRUCTURAS	360
TABLA 8.10. VIDA ÚTIL DE LAS ESTRUCTURAS	360
TABLA 8.11. ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS	361
TABLA 8.12. PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE LA RED DE ACUEDUCTO.....	362
TABLA 8.13. PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE LA RED DE ALCANTARILLADO	362
TABLA 8.14. PARÁMETROS DE RESISTENCIA DE LA RED ELÉCTRICA.....	362
TABLA 8.15. CLASIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD PARA LAS PERSONAS, EDIFICACIONES Y LÍNEAS VITALES	364
TABLA 8.17. ZONAS Y VALORES DE EXPOSICIÓN PARA EL FENÓMENO DE MOVIMIENTO EN MASA .	365
TABLA 8.18. CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO.....	369
TABLA 8.19. INSUMOS PARA LA VULNERABILIDAD DEL MUNICIPIO DE OBANDO.....	370
TABLA 8.20. DETERMINACIÓN DE LOS POSIBLES EFECTOS O DAÑOS ACORDE CON LA INTENSIDAD Y MAGNITUD DE LOS MOVIMIENTOS EN MASA	371
TABLA 8.21. NÚMERO Y PROMEDIO DE HABITANTES EN LAS CONSTRUCCIONES EN QUE SE LOGRÓ EL ACCESO AL INTERIOR.....	372
TABLA 8.22. NÚMERO TOTAL DE HABITANTES, DÍA Y DE NOCHE DE LA POBLACIÓN ENCUESTADA, EXPUESTOS MOVIMIENTO MASA DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO .	372
TABLA 8.23. NÚMERO Y ÁREA (M ²) DE LOS PREDIOS EXPUESTOS A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	373
TABLA 8.24. NÚMERO DE PREDIOS CON Y SIN EDIFICACIONES, EXPUESTOS A MOVIMIENTOS EN MASA EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO.....	373
TABLA 8.25. NÚMERO DE EDIFICACIONES POR BARRIO EXPUESTOS A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	374
TABLA 8.26. NÚMERO DE PISOS DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A MOVIMIENTOS EN MASA EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	374

TABLA 8.27. EDAD DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	375
TABLA 8.28. TIPOLOGÍA DE EDIFICACIONES	375
TABLA 8.29. TIPOLOGÍA DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	376
TABLA 8.30. ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	377
TABLA 8.31. LÍNEAS VITALES EXPUESTAS ANTE MOVIMIENTOS EN MASA DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	380
TABLA 8.32. DISTRIBUCIÓN PORCENTUAL DEL NÚMERO TOTAL DE HABITANTES SEGÚN FACTOR DE RESISTENCIA CORPORAL ANTE MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	386
TABLA 8.33. NÚMERO DE EDIFICACIONES SEGÚN SU TIPOLOGÍA CONSTRUCTIVA	388
TABLA 8.34. NÚMERO DE EDIFICACIONES SEGÚN ESTADO DE CONSERVACIÓN	388
TABLA 8.35. NÚMERO DE EDIFICACIONES SEGÚN SU EDAD	389
TABLA 8.36. FACTOR DE RESISTENCIA DE LA RED VIAL SEGÚN SU MATERIAL ANTE MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	392
TABLA 8.37. FACTOR DE RESISTENCIA DE LA RED VIAL SEGÚN SU ANCHO ANTE MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	392
TABLA 8.38. FACTOR DE RESISTENCIA DE LA RED ELÉCTRICA ANTE MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	395
TABLA 8.39. DISTRIBUCIÓN DE LA VULNERABILIDAD CORPORAL DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	397
TABLA 8.40. VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL ANTE MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	399
TABLA 8.41. VULNERABILIDAD DE LA RED VIAL ANTE MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	401
TABLA 9.1. MATRIZ PARA CALCULAR LOS NIVELES DE ESCENARIO DE AFECTACIÓN PARA EL FENÓMENO DE MOVIMIENTO EN MASA	407
TABLA 9.2. AFECTACIÓN CORPORAL ANTE MOVIMIENTO EN MASA	408
TABLA 9.3. NIVEL DE AFECTACIÓN ESTRUCTURAL POR MOVIMIENTO EN MASA DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	408
TABLA 9.4. ESCENARIO DE AFECTACIÓN ANTE MOVIMIENTO EN MASA DE LA RED VIAL EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	410
TABLA 9.5. ZONAS DE AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE POR MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	413
TABLA 9.6. CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES ANTE MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	416
TABLA 9.7. CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS FUNCIONALES EXPUESTOS ANTE MOVIMIENTO EN MASA EN EL MUNICIPIO DE OBANDO	416
TABLA 9.8. TOTAL, DE LAS EDIFICACIONES NO RESIDENCIALES EN RIESGO ANTE MOVIMIENTO EN MASA	418
TABLA 9.9. COSTO TOTAL DE LAS EDIFICACIONES RESIDENCIALES EN AFECTACIÓN ANTE MOVIMIENTO EN MASA	418
TABLA 9.10. VALOR APROXIMADO DEL CONTENIDO DE LAS VIVIENDAS	420
TABLA 9.11 COSTO TOTAL APROXIMADO POR DAÑOS DE CONTENIDO EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES EN AFECTACIÓN ANTE MOVIMIENTO EN MASA	420

TABLA 9.12	RESUMEN DE COSTOS APROXIMADOS DE DAÑO EN LA INFRAESTRUCTURA SOCIAL AFECTADA POR MOVIMIENTO EN MASA	421
TABLA 9.13.	MONTOS DESIGNADOS POR EL GOBIERNO NACIONAL PARA ASISTENCIA ALIMENTARIA Y ASEO A DAMNIFICADOS DURANTE SITUACIONES DE DESASTRES (PRECIOS 2019)...	421
TABLA 9.14.	COSTOS APROXIMADOS POR ASISTENCIA A FAMILIAS POSIBLEMENTE AFECTADAS ANTE ESCENARIO DE MOVIMIENTO EN MASA (PRECIOS 2019).....	422
TABLA 9.15	RESUMEN DE LOS COSTOS APROXIMADOS DERIVADOS DE LA ASISTENCIA DEL GOBIERNO PARA EDIFICACIONES RESIDENCIALES EN AFECTACIÓN POR MOVIMIENTO EN MASA	422
TABLA 9.16	APROXIMACIÓN DE POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURA SOCIAL AFECTADA POR MOVIMIENTO EN MASA	423
TABLA 9.17	.COSTO PROMEDIO APROXIMADO POR CONSTRUCCIÓN, REHABILITAMIENTO Y MANTENIMIENTO VIAL	424
TABLA 9.18.	COSTO TOTAL APROXIMADO DE MEJORAMIENTO Y REHABILITACIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL POR POSIBLES DAÑOS ANTE ESCENARIO DE MOVIMIENTO EN MASA	424
TABLA 9.19.	COSTO PROMEDIO APROXIMADO DE REPOSICIÓN DE POSTES DE ENERGÍA POR POSIBLES DAÑOS ANTE ESCENARIO DE AFECTACIÓN POR MOVIMIENTO EN MASA	425
TABLA 9.20	COSTO TOTAL APROXIMADO DE REPOSICIÓN DE POSTES DE ENERGÍA POR POSIBLES DAÑOS ANTE ESCENARIOS DE AFECTACIÓN POR MOVIMIENTO EN MASA	425
TABLA 9.21	RESUMEN DE LOS COSTOS APROXIMADOS DERIVADOS DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL Y LÍNEAS VITALES POR MOVIMIENTO EN MASA	425
TABLA 9.22	. ESPECIFICACIÓN DE LOS CÁLCULOS DE VULNERABILIDAD Y PROBABILIDAD EN INFRAESTRUCTURA DE REDES VITALES PARA LA ESTIMACIÓN DE LAS POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS	426
TABLA 9.23.	APROXIMACIÓN DE POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURA VIAL AFECTADA POR MOVIMIENTO EN MASA	426
TABLA 9.24	APROXIMACIÓN DE POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN LÍNEAS VITALES (RED DE ENERGÍA ELÉCTRICA) AFECTADA POR MOVIMIENTO EN MASA	426
TABLA 9.25	APROXIMACIÓN DE POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURA DE REDES VITALES AFECTADA POR MOVIMIENTO EN MASA	427
TABLA 9.26	RESUMEN DE LAS POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURAS EN AFECTACIÓN ANTE UN MOVIMIENTO EN MASA	427
TABLA 9.27	CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES EXPUESTOS EN AFECTACIÓN ALTO MITIGABLE Y NO MITIGABLE ANTE MOVIMIENTO EN MASA EN EL MUNICIPIO DE OBANDO.	428
TABLA 9.28	CLASIFICACIÓN DE ELEMENTOS FUNCIONALES EXPUESTOS EN AFECTACIÓN ALTO MITIGABLE Y NO MITIGABLE ANTE MOVIMIENTO EN MASA EN EL MUNICIPIO DE OBANDO.	428
TABLA 9.29.	COSTO TOTAL DE LAS EDIFICACIONES EN AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE ANTE MOVIMIENTO EN MASA	429
TABLA 9.30	APROXIMACIÓN DE POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN EDIFICACIONES CON AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE POR MOVIMIENTO EN MASA	429

LISTA DE FIGURA

FIGURA 1.1. LOCALIZACIÓN DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO, DEPARTAMENTO DEL VALLE DEL CAUCA.....	38
FIGURA 1.2. MAPA POLÍTICO ADMINISTRATIVO, ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	40
FIGURA 1.3. MAPA DIVISIÓN POLÍTICA DEL ÁREA RURAL DEL MUNICIPIO DE OBANDO	42
FIGURA 1.4. DISTRIBUCIÓN DE POBLACIÓN DEL MUNICIPIO DE OBANDO, PROYECCIÓN 2019	43
FIGURA 1.5. DENSIDAD DE POBLACIÓN DEL MUNICIPIO DE OBANDO	43
FIGURA 1.6. REDES DE DRENAJE DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO.....	46
FIGURA 1.7. MAPA DE GEOLOGÍA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	53
FIGURA 2.1. FLUJOGRAMA DEL PROCESO METODOLÓGICO ESTUDIOS DE HISTORICIDAD.....	60
FIGURA 2.2. ESQUEMA METODOLÓGICO DEL PROCESAMIENTO DE LOS REPORTES	61
FIGURA 2.3. FUNCIÓN DE DENSIDAD KERNEL A DIFERENTES ANCHOS DE BANDA	62
FIGURA 2.4. CLASIFICACIÓN DE LA DENSIDAD KERNEL.....	62
FIGURA 2.5. CLASIFICACIÓN DE PUNTOS SEGÚN CURVAS DE NIVEL	63
FIGURA 2.6. ESPACIALIZACIÓN DE INFORMACIÓN HISTÓRICA NO PUNTUAL SEGÚN CURVAS DE NIVEL	64
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 OBANDO	68
FIGURA 2.8. DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO DE EVENTOS DE INUNDACIÓN POR BARRIOS, ÁREA URBANA EL MUNICIPIO DE OBANDO	69
FIGURA 2.9. MAPA DE FRECUENCIA DE EVENTOS DE INUNDACIÓN REGISTRADOS EN LOS BARRIOS DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO.....	75
FIGURA 2.10. MAPA DE HISTORICIDAD POR EVENTOS PUNTUALES DE INUNDACIÓN, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	76
FIGURA 2.11. MAPA DE HISTORICIDAD DE SECTORES POSIBLEMENTE AFECTADOS POR EVENTOS DE INUNDACIÓN SEGÚN CURVAS DE NIVEL, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO ...	77
FIGURA 2.12. MAPA CONSOLIDADO REPORTES HISTÓRICOS DE INUNDACIÓN, ÁREA URBANA MUNICIPIO DE OBANDO	78
FIGURA 2.13. MAPA DE HISTORICIDAD POR EVENTOS HISTÓRICOS DE MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO.....	84
FIGURA 2.14. TALLER DE SOCIALIZACIÓN Y VALIDACIÓN HISTÓRICA, MAYO 14 DE 2019, MUNICIPIO DE OBANDO	88
FIGURA 2.15. CARTOGRAFÍA SOCIAL PARA LA VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS DE HISTORICIDAD DE EVENTOS DE INUNDACIÓN PERIODO 1980- FEBRERO DEL 2019, ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	89
FIGURA 2.16. CARTOGRAFÍA SOCIAL PARA LA VALIDACIÓN DE LOS RESULTADOS DE HISTORICIDAD POR EVENTOS DE MOVIMIENTO EN MASA EN EL PERIODO DE 1980-FEBRERO 2019, ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	90
FIGURA 2.17. MAPA DE EVENTOS HISTÓRICOS POR INUNDACIÓN EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO, PERIODO 1980-FEBRERO 2019.....	91
FIGURA 2.18. MAPA DE EVENTOS HISTÓRICOS POR MOVIMIENTOS EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO, PERIODO 1980-2019.....	92
FIGURA 3.1. MAPA DE ESTACIONES DE CAMPO ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DEL OBANDO.	100
FIGURA 3.2. MAPA GEOLÓGICO DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DEL OBANDO.....	101

FIGURA 3.3. VÍA A SAN ISIDRO A. AFLORAMIENTO DE ARENISCAS CONGLOMERÁTICAS SILÍCEAS MASIVAS, ESTACIÓN O72. B. DETALLE ARENISCAS CONGLOMERÁTICAS ESTACIÓN O72. C. EROSIÓN OCASIONADA POR GANADO. D. DETALLE CONGLOMERÁTICAS ESTACIÓN O73.	102
FIGURA 3.4. A. AFLORAMIENTO ESTACIÓN O17. B. DETALLE AFLORAMIENTO DE ARENISCAS CONGLOMERÁTICAS EN LA ESTACIÓN O17. C. AFLORAMIENTO ESTACIÓN O19. D. DETALLE CONGLOMERÁTICAS ESTACIÓN O19.	103
FIGURA 3.5. A. AFLORAMIENTO ESTACIÓN O15. B. DETALLE AFLORAMIENTO DE CONGLOMERADO POLIMÍCTICO DE LA FORMACIÓN LA PAILA.	104
FIGURA 3.6. A. AFLORAMIENTO ESTACIÓN O2, ARENA CONGLOMERÁTICA MASIVA, FORMACIÓN LA PAILA.	104
FIGURA 3.7. A. AFLORAMIENTO DE LA FORMACIÓN ZARZAL (TPz) AL SUR DEL ANTIGUO MATADERO, ESTACIÓN O34. B. DIATOMITAS SUPRAYACIDAS POR INTERCALACIONES DE LODOLITAS FÉRREAS, ARENISCAS TOBÁCEAS GRISES Y LODOLITAS GRISES EN LA ESTACIÓN O34. C. ESTACIÓN O32, AFLORAMIENTO DE LA FORMACIÓN ZARZAL (TPz) AL ORIENTE DEL BARRIO LA ESPERANZA. D. INTERCALACIONES DE DIATOMITAS CON SECUENCIAS DE TOBAS, ARCILLOLITAS AMARILLO CLARO Y ARENA GRUESA EN LA ESTACIÓN O32. E. DETALLE DE LAS SECUENCIAS INTERESTRATIFICADAS DE DIATOMITAS CON PEQUEÑOS PAQUETES DE LODOLITAS, Y ARENAS GRUESAS. OBSÉRVESE EL BUZAMIENTO DE LOS ESTRATOS.	105
FIGURA 3.8. A. AFLORAMIENTO DE LA FORMACIÓN ZARZAL (TPz) AL ORIENTE DE LA VÍA PANAMERICANA, SUR DEL ÁREA URBANA, EN LA ESTACIÓN O42. B. DEPÓSITO DE TOBA DACÍTICA EN LA ESTACIÓN O42. C. DETALLE DE CONGLOMERADO CLASTOSOPORTADO QUE INFRAYACE TOBA DACÍTICA EN LA ESTACIÓN O42.	106
FIGURA 3.9. SECUENCIA TIPO PARA LA FORMACIÓN ZARZAL (TPz), LOCALIZADA EN LA ESTACIÓN O80.	107
FIGURA 3.10. ESTACIÓN O80. A. SECUENCIAS DE TOBAS MUY FINAS Y ARENISCAS TOBÁCEAS FINAS A MUY FINAS CON LAMINACIÓN PLANA PARALELA, Y NIVELES DE ÓXIDO. B. ARENISCA DE GRANO MEDIO MUY OXIDADAS EN CONTACTO DISCORDANTE Y CON ESTRUCTURAS DE CARGA. C. ARENA TOBÁCEA DE GRANO MUY FINO Y LÍTICO. D. DIATOMITA COLOR BLANCO. E. DIATOMITAS BLANCAS INTERESTRATIFICADAS CON CAPAS DE CENIZA GRIS. F. SECUENCIAS DE DIATOMITAS COLOR HABANO CLARO A BLANCO QUE SUBRAYASEN INTERCALACIONES DE ESTRATOS DELGADOS DE DIATOMITAS CON ESTRATOS DE TOBAS GRISES QUE EN OCASIONES MUESTRAN ESTRUCTURA LENTICULAR, TAMBIÉN SE OBSERVAN HIATOS DE COLOR ÓXIDO.	108
FIGURA 3.11. ESTACIÓN O28, CERCA DE LA CASA DE LAS DOS PALMAS. A. AFLORAMIENTO DE LA FORMACIÓN ZARZAL (TPz), NÓTESE LA INCLINACIÓN DE LOS ESTRATOS. B. DETALLE DE LAS ARENISCAS CONGLOMERÁTICAS.	109
FIGURA 3.12. ESTACIÓN O27. A. DEPÓSITOS DE INTERCALACIONES DE ARENISCAS DE LA FORMACIÓN. B. DETALLE DE LA ACTIVIDAD TECTÓNICA RECIENTE.	109
FIGURA 3.13. ESTACIÓN O85, ATRÁS DE LA ESCUELA RICARDO NIETO AFLORAN SECUENCIAS DE ARENISCAS FINAS SEPARADAS POR HIATOS DE HASTA 1CM DE ESPESOR, SUPRAYACIDAS POR SECUENCIAS DE TOBAS GRISES Y ARENISCAS FINAS DE COLOR AMARILLO OCRE. .	110
FIGURA 3.14. ESTACIÓN O30. A. DEPÓSITOS DE LA FORMACIÓN ZARZAL (TPz) CONGLOMERADO FINO, CLASTOSOPORTADO, SUPRAYACIDO POR TOBA DACÍTICA. B. DETALLE DEL CONTACTO DISCORDANTE.	110

FIGURA 3.15.	ESTACIÓN O37. A. DEPÓSITOS DE LA FORMACIÓN ZARZAL (TPz) OBSERVADOS EN EL CUERPO DE UN DESLIZAMIENTO ANTIGUO. B. DETALLE DE LOS CLASTOS DE TOBA, LUTITAS Y ARENISCAS PRESENTES EN EL CUERPO DEL DESLIZAMIENTO.	111
FIGURA 3.16.	ESTACIÓN O60. A. DEPÓSITOS DE TOBA DE LA FORMACIÓN ZARZAL (TPz) EN EL BARRIO SAGRADA FAMILIA. B. DETALLE DE TOBA DACÍTICA CON CLASTOS DE HASTA 1CM DE CHERT, JASPE Y CUARZO BLANCO.	111
FIGURA 3.17.	A Y B. DEPÓSITOS DE TOBA EN LA PARTE ALTA DEL BARRIO LAS BRISAS.	112
FIGURA 3.18.	A Y B. DEPÓSITOS DE TOBA EN LA ESTACIÓN O23 SOBRE LA VÍA A SAN ISIDRO.	112
FIGURA 3.19.	A. AFLORAMIENTO EN LA QUEBRADA EL NARANJO, ESTACIÓN O48 Y DETALLE DE DEPÓSITOS MASIVOS DE ARENA TOBÁCEA. B. DEPÓSITOS ALUVIALES DE ARENA TOBÁCEA EN LA ESTACIÓN O49. C. AFLORAMIENTO DE 5M DE ALTURA DE ARENA TOBÁCEA MASIVA EN LA ESTACIÓN O54.....	113
FIGURA 3.20.	A. EVIDENCIA DE LA COBERTERA VEGETAL EN EL CAUCE DE LA QUEBRADA LAS JAGUAS. B. APIQUE REALIZADO PARA CONSTRUIR LAS ZAPATAS DE UNA VIVIENDA EN EL BARRIO SILVIO VELÁZQUEZ, MUESTRA 1.3M DE SECUENCIAS DE DEPÓSITOS ALUVIALES DE INUNDACIÓN.....	114
FIGURA 3.21.	A. AFLORAMIENTO DE DEPÓSITO DE CONO EN LA ESTACIÓN O61. B. DETALLE DEL CONTACTO DISCONFORME.	115
FIGURA 3.22.	AFLORAMIENTO DE DEPÓSITOS DE CONO O DE LADERA (QCA) EN LA ESTACIÓN O69.	115
FIGURA 3.23.	A. AFLORAMIENTO EN LA ESTACIÓN O7. B. DEPÓSITO DE LADERA A LA BASE DEL BARRIO LAS BRISAS, ESTACIÓN O7.	116
FIGURA 3.24.	A. AFLORAMIENTO DE DEPÓSITO DE LADERA EN EL BARRIO SAGRADA FAMILIA, ESTACIÓN O63. B. DEPÓSITO DE LADERA EN LA ESTACIÓN O70. C. DEPÓSITO DE LADERA EN LA ESTACIÓN O84.	117
FIGURA 3.25.	BARRIO LAS BRISAS, CERCA DE LA CASA DE LAS DOS PALMAS, MICRO FALLAMIENTO QUE MUESTRA UNA TECTÓNICA RECIENTE SOBRE DEPÓSITOS DE LA FORMACIÓN ZARZAL.	118
FIGURA 3.26.	MAPA DE UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO.	120
FIGURA 3.27.	FOTOINTERPRETACIÓN DEL VUELO FAL 461_F-30 FOTOS 163, 164 Y 165 DEL AÑO 2007.	121
FIGURA 3.28.	FOTOINTERPRETACIÓN DEL VUELO FAL 407_F43 FOTOS 1213, 1214 Y 1215 DEL AÑO 1999.	122
FIGURA 3.29.	FOTOINTERPRETACIÓN DEL VUELO IGAC, C2141 FOTOS 10, 11 Y 12 DEL AÑO 1984.	122
FIGURA 3.30.	FOTOINTERPRETACIÓN DEL VUELO IGAC, C1514 FOTOS 16, 17 Y 18 DEL AÑO 1999.	123
FIGURA 3.31.	ESQUEMA DE JERARQUIZACIÓN GEOMORFOLÓGICA.....	124
FIGURA 3.32.	MODELO DIGITAL DE TERRENO DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO. ...	125
FIGURA 3.33.	MAPA DE PENDIENTES DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	126
FIGURA 3.34.	TIPOS DE GEOFORMAS PRINCIPALES IDENTIFICADAS EN EL ÁREA URBANA Y ALREDEDORES DEL MUNICIPIO DE OBANDO. DENUDACIONAL (D), FLUVIAL (F), ANTRÓPICO (A).	127
FIGURA 3.35.	LOMO RESIDUAL (DLRES) AL SURESTE DEL BARRIO LAS BRISAS.	130
FIGURA 3.36.	LOMO RESIDUAL (DLRES) DE LA FORMACIÓN LA PAILA (TMP), SOBRE EL QUE SE CONSTRUYERON LAS INSTALACIONES DE ACUAVALLE.	130

FIGURA 3.37. LOMOS Y ONDULACIONES (DMO), VISTA DESDE EL SURESTE HACIA EL BARRIO SILVIO VÁZQUEZ.	131
FIGURA 3.38. LOMOS Y ONDULACIONES (DMO) DE LA FORMACIÓN ZARZAL (TPz), EN EL SECTOR DE LA CASA DE LAS DOS PALMAS E INMEDIACIONES DEL BARRIO SAN RAFAEL	131
FIGURA 3.39. DEPÓSITOS DE LADERA (DCO) EN LA PARTE BAJA DEL BARRIO LAS BRISAS EN LA VÍA A SAN ISIDRO. B. VISTA GENERAL DESDE LA PARTE ALTA HACIA EL BARRIO LAS BRISAS DE LOS DEPÓSITOS DE LADERA (DCO) Y LOMO RESIDUAL (DLRES).	132
FIGURA 3.40. A. GEOFORMA DE DEPÓSITOS DE LADERA (DCO) SOBRE LA QUE SE CONSTRUYÓ PARTE DEL BARRIO SILVIO VÁZQUEZ. B. GEOFORMA DE DEPÓSITOS DE LADERA (DCO) Y CONO DE DEYECCIÓN (FCDY), EN EL BARRIO EL PRADO.	132
FIGURA 3.41. A. GEOFORMA DE DEPÓSITOS DE LADERA SOBRE LA QUE SE CONSTRUYÓ EL BARRIO SAN FERNANDO. B. DEPÓSITOS COLUVIALES (DCO) AL SUROESTE DEL PARQUE RECREACIONAL. FOTOGRAFÍA TOMADA DESDE EL SECTOR DE ACUAVALLE.....	133
FIGURA 3.42. BARRIO LAS BRISAS. A. FISURA EN PAVIMENTO QUE EVIDENCIA EL MOVIMIENTO DEL TERRENO. B. MOVIMIENTO DE REPTACIÓN EVIDENCIADO POR EL TRONCO DE LOS ARBUSTOS INCLINADOS EN DIRECCIÓN CONTRARIA A LA PENDIENTE, OBSÉRVESE ADEMÁS LA LEVE INCLINACIÓN DE LA EDIFICACIÓN DE 2 PISOS.	133
FIGURA 3.43. A. FISURA EN LA CALLE 2 SUR CRA 3ESTE, BARRIO LAS BRISAS. B. DESLIZAMIENTO ROTACIONAL ANTIGUO, NÓTESE EL MOVIMIENTO A FAVOR DE LA PENDIENTE.	134
FIGURA 3.44. BARRIO SAN RAFAEL. A. CORONA DE DESLIZAMIENTO ANTIGUO. B. CUERPO DE DESLIZAMIENTO YA VEGETADO.	134
FIGURA 3.45. QUEBRADA EL NARANJO. A. GEOFORMAS DE TERRAZA ALUVIAL (FTA) EN INMEDIACIONES DE LA ESTACIÓN O47. B. TERRAZA ALUVIAL EN CONTACTO CON DEPÓSITOS DE LA FORMACIÓN ZARZAL (TPz) A UNOS METROS DE LA ESTACIÓN O49. C. FOTOGRAFÍA TOMADA DESDE EL SE HACIA LA ESTACIÓN O50, EN DIRECCIÓN AL BARRIO BELLO HORIZONTE, NÓTESE LA TERRAZA ALUVIAL A LA DERECHA (FTA) Y EL JARILLÓN A LA IZQUIERDA (ALLJ). D. TERRAZA ALUVIAL (FTA) EN LA QUEBRADA LAS JAGUAS Y CAUCE ACTUAL (FCA) VEGETADO, EN LA MISMA QUEBRADA.....	135
FIGURA 3.46. CONO DE DEYECCIÓN AL SW DEL ÁREA URBANA, EN LA VÍA QUE CONDUCE A SAN ISIDRO	136
FIGURA 3.47. CONO DE DEYECCIÓN (FCDY) EN EL BARRIO EL PRADO. B. CONO DE DEYECCIÓN (FCDY) SOBRE EL QUE SE CONSTRUYÓ EL BARRIO SANTA BÁRBARA.	136
FIGURA 3.48. A. GEOFORMAS DE DEPÓSITOS ALUVIALES EN CERCANÍAS AL BARRIO BELLO HORIZONTE. B. DEPÓSITOS ALUVIALES (FA) DETRÁS DEL ESTADIO Y LLENOS DE ROCA (ALLR) PARA LA LÍNEA DEL FERROCARRIL.	137
FIGURA 3.49. A. GEOFORMAS DE DEPÓSITOS ALUVIALES (FA), CONO DE DEYECCIÓN (FCDY), DOMOS Y MONTÍCULOS (DMO) Y LOMO RESIDUAL (DLRES). FOTOGRAFÍA TOMADA DESDE EL SE DE LA CABECERA MUNICIPAL.....	137
FIGURA 3.50. A. GEOFORMAS DE DEPÓSITOS ALUVIALES (FA), DOMOS Y MONTÍCULOS (DMO), LOMO RESIDUAL (DLRES) Y DEPÓSITOS DE LADERA (DCO. FOTOGRAFÍA TOMADA DESDE EL W SOBRE LA VÍA PANORAMA.....	138
FIGURA 3.51. A. Y B. GEOFORMAS DE LLENOS ANTRÓPICOS MIXTOS (ALL) EN EL BARRIO LAS BRISAS.	138
FIGURA 3.52. A. Y B. GEOFORMAS DE LLENOS ANTRÓPICOS MIXTOS (ALL) EN EL BARRIO LAS BRISAS.	139

FIGURA 3.53. A. BARRIO EN CONSTRUCCIÓN SAGRADA FAMILIA, SEGUNDA ETAPA. B. DETALLE DE LOS LLENOS ANTRÓPICOS MIXTOS (ALL) CON PROFUNDIDAD OBSERVADA DE HASTA 1.5M.	139
FIGURA 3.54. A. LLENO DE JARILLÓN (ALLJ) EN INMEDIACIONES DE LA QUEBRADA EL NARANJO.	140
FIGURA 3.55. A. LLENO DE ROCA (ALLR), LÍNEA FÉRREA.	140
FIGURA 3.56. A. Y B. EVIDENCIA DE RELLENO SELECCIONADO (ALLS) EN LA VÍA PANORAMA	141
FIGURA 3.57. MAPA GEOMORFOLÓGICO DEL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO.	142
FIGURA 3.58. EVIDENCIAS DE REPTACIÓN EN EL BARRIO LAS BRISAS, SECTOR ACUAVALLE.	144
FIGURA 3.59. EVIDENCIA DE TANQUES FISURADOS Y DE LA PRESENCIA DE AGUA QUE SALE DE LAS INSTALACIONES DE ACUAVALLE Y CIRCULA POR LAS LADERAS DEL LOMO RESIDUAL.	145
FIGURA 3.60. FRACTURAS EN FACHADAS, MUROS Y PISOS AGRIETADOS EN LA PARTE ALTA DEL BARRIO LAS BRISAS.	146
FIGURA 3.61. MAL ESTADO DEL COLEGIO JOSÉ HILARIO LÓPEZ, OCASIONADO POR EL MOVIMIENTO EN MASA DEL SECTOR.	146
FIGURA 3.62. MAL ESTADO DEL COLEGIO JOSÉ HILARIO LÓPEZ, OCASIONADO POR EL MOVIMIENTO EN MASA DEL SECTOR. BARRIO LAS BRISAS.	147
FIGURA 3.63. MAL ESTADO DE LA VIVIENDA UBICADA EN LA CALLE 1 SUR #1E-17, DEBIDO A LA AFECTACIÓN POR HUMEDAD Y EL MOVIMIENTO EN MASA. BARRIO LAS BRISAS.	147
FIGURA 3.64. MAL ESTADO DE LA VIVIENDA UBICADA EN LA CALLE 1 SUR #1E-17, DEBIDO A LA AFECTACIÓN POR HUMEDAD Y EL MOVIMIENTO EN MASA. BARRIO LAS BRISAS.	148
FIGURA 3.65. AFECTACIONES EN VIVIENDA QUE SOPORTA EL PESO DE LA INFRAESTRUCTURA DEL COLEGIO JOSÉ ILARIO LÓPEZ.	148
FIGURA 3.66. MAL ESTADO DE LAS VIVIENDAS UBICADAS SOBRE LA CALLE 1 SUR, DEBIDO A LA AFECTACIÓN POR HUMEDAD Y EL MOVIMIENTO EN MASA. BARRIO LAS BRISAS.	149
FIGURA 3.67. FILTRACIÓN DE AGUA Y CONSTRUCCIÓN DE CAJAS EN LA CRA 3E #1ª-32. BARRIO LAS BRISAS.	149
FIGURA 3.68. MOVIMIENTO EN MASA EN LA BASE DE LA LADERA ESTE DEL BARRIO LAS BRISAS. CALLE 2 SUR CON CRA 3 ESTE.	150
FIGURA 3.69. AFECTACIÓN EN VIVIENDAS SOBRE LA CRA 3ESTE, OCASIONADAS POR EL MOVIMIENTO EN MASA, ADICIONALMENTE SE EVIDENCIAN TUBERÍAS ANTIGUAS QUE FILTRAN AGUA. NÓTESE EL MURO DE CONTENCIÓN.	150
FIGURA 3.70. MATERIAL DE RELLENO Y FUGAS EN TUBERÍAS DE LAS CASAS ABAJO DEL MURO DE CONTENCIÓN.	151
FIGURA 3.71. DESLIZAMIENTO DEL BARRIO SAN RAFAEL, CORONA, CUERPO DE DESLIZAMIENTO Y LITOLOGÍA.	152
FIGURA 3.72. MAL ESTADO DE LAS INSTALACIONES DEL SIM DEBIDO AL MOVIMIENTO DEL TERRENO.	152
FIGURA 3.73. MAL ESTADO DE LAS INSTALACIONES EN USO ACTUALMENTE, REFORZAMIENTO REALIZADO Y EVIDENCIA DE ASENTAMIENTO DEL TERRENO.	153
FIGURA 3.74. VIVIENDA UBICADA EN LA PARTE TRASERA DEL SIM, TEJAS A PUNTO DE CAER Y CANCHA DEL BARRIO SAN RAFAEL QUE PRESENTA AGRIETAMIENTO.	154
FIGURA 3.75. INSTALACIONES DEL PARQUE RECREACIONAL EN MAL ESTADO POR INESTABILIDAD DEL LUGAR.	155

FIGURA 3.76. A. EROSIÓN EN LA LADERA DERECHA DE LA QUEBRADA, ESTACIÓN O48. B. CURVA EROSIVA (ESTACIÓN O49). C. ZONA EROSIVA PROTEGIDA CON MURO DE CONTENCIÓN (ENTRE ESTACIONES O53 Y O54). D. CURVA EROSIVA EN LA ESTACIÓN O54.	159
FIGURA 3.77. PUENTE SOBRE LA QUEBRADA EL NARANJO EN LA VÍA QUE CONDUCE A VILLA RODAS. NÓTESE LA PRESENCIA DE GRANDES ESCOMBROS DE OTROS PUENTES QUE HA TRANSPORTADO LA QUEBRADA.	160
FIGURA 3.78. NÓTESE LA CAPACIDAD DE LA QUEBRADA EL NARANJO PARA ARRASTRAR ÁRBOLES Y ESCOMBROS DE GRANDES DIMENSIONES.	160
FIGURA 3.79. EVIDENCIA DE CONDICIONES QUE PUEDEN APORTAR AL DETERIORO DEL JARILLÓN (ARRIERAS Y ÁRBOLES CRECIENDO EN EL JARILLÓN); Y CORTE DEL JARILLÓN EN EL BARRIO BELLO AMANECER POR EL TRÁNSITO DE PERSONAS QUE USAN LA CARA HÚMEDA DEL MISMO PARA AGRICULTURA.	161
FIGURA 3.80. CANAL DEL BARRIO LAS BRISAS Y SU SALIDA DEL BOX COLVERT, DONDE CONTINUA COMO UN CANAL SIN RECUBRIMIENTO.	162
FIGURA 3.81. CANAL DEL BARRIO LAS BRISAS AL SUR DEL BARRIO SAGRADA FAMILIA, NÓTESE LA MANIPULACIÓN DEL CAUCE.	163
FIGURA 3.82. PASO DEL CANAL AL NORTE DEL BARRIO SAN FERNANDO PARA DIRIGIRSE HACIA EL BARRIO BELLO HORIZONTE.	163
FIGURA 3.83. PASO DEL CANAL POR EL BARRIO BELLO HORIZONTE Y SU ENTRADA POR TUBERÍA POR DEBAJO DEL JARILLÓN.	164
FIGURA 4.1. NIVELACIÓN TRIGONOMÉTRICA, SITUACIONES	169
FIGURA 4.2. TIPOS DE POLIGONAL.....	170
FIGURA 4.3. LEVANTAMIENTO BATIMÉTRICO.....	172
FIGURA 4.4. ESQUEMA BATIMETRÍA DE RÍO POR ECOSONDA.....	173
FIGURA 4.5. MUESTREO ALEATORIO SIMPLE.....	179
FIGURA 4.6. MUESTREO ALEATORIO ESTRATIFICADO	180
FIGURA 4.7. MUESTREO SISTEMÁTICO.....	180
FIGURA 4.8. MUESTREO ANIDADO	181
FIGURA 4.9. MATERIALIZACIÓN PUNTOS DE CONTROL	183
FIGURA 4.10. GEORREFERENCIACIÓN PUNTOS DE CONTROL.....	183
FIGURA 4.11. RED DE AMARRE, MUNICIPIO DE OBANDO.....	185
FIGURA 4.12. MUESTRA DE DATOS PARA VALIDACIÓN DTM OBANDO.....	190
FIGURA 4.13. GENERACIÓN DE DTM Y PRODUCCIÓN DE BATIMETRÍA.....	191
FIGURA 4.14. BATIMETRÍA Q. LAS JAGUAS	192
FIGURA 4.15. DTM Q. LAS JAGUAS	192
FIGURA 4.16. BATIMETRÍA Q. LOS NARANJOS	193
FIGURA 4.17. DTM Q. LOS NARANJOS	193
FIGURA 5.1. LOCALIZACIÓN GENERAL DE LOS DRENAJES DE LA ZONA DE ESTUDIO EN EL MUNICIPIO DE OBANDO.....	196
FIGURA 5.2. DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE LA PRECIPITACIÓN ESTACIONES DE REFERENCIA.....	200
FIGURA 5.3. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL MULTIANUAL.	201
FIGURA 5.4 DISTRIBUCIÓN TEMPORAL DE NÚMERO DE DÍAS CON LLUVIA. VALORES MEDIOS MENSUALES MULTIANUALES DE DÍAS DE LLUVIA EN LAS ESTACIONES DE REFERENCIA.	202
FIGURA 5.5 PRECIPITACIONES MÁXIMAS CARACTERÍSTICAS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO. FUNCIÓN DE WEIBULL. ESTACIÓN CRUCES. PERIODO: 1967 – 2017.....	203

FIGURA 5.6	PRECIPITACIONES MÁXIMAS CARACTERÍSTICAS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO. FUNCIÓN DE BLOM. ESTACIÓN CRUCES. PERIODO: 1967 – 2017.	204
FIGURA 5.7.	PRECIPITACIONES MÁXIMAS CARACTERÍSTICAS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO. FUNCIÓN DE WEIBULL. ESTACIÓN LA ARBOLEDA. PERIODO: 1982 – 2017.	205
FIGURA 5.8.	PRECIPITACIONES MÁXIMAS CARACTERÍSTICAS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO. FUNCIÓN DE BLOM. ESTACIÓN LA ARBOLEDA. PERIODO: 1982 – 2017.....	205
FIGURA 5.9.	PRECIPITACIONES MÁXIMAS CARACTERÍSTICAS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO. FUNCIÓN DE WEIBULL. ESTACIÓN MIRAVALLÉS. PERIODO: 1967 – 2017..	206
FIGURA 5.10	PRECIPITACIONES MÁXIMAS CARACTERÍSTICAS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO. FUNCIÓN DE BLOM. ESTACIÓN MIRAVALLÉS. PERIODO: 1967 – 2017.....	207
FIGURA 5.11.	PRECIPITACIONES MÁXIMAS CARACTERÍSTICAS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO. FUNCIÓN DE WEIBULL. ESTACIÓN PUERTO MOLINA. PERIODO: 1967 – 2016.	208
FIGURA 5.12	PRECIPITACIONES MÁXIMAS CARACTERÍSTICAS PARA DIFERENTES PERIODOS DE RETORNO. FUNCIÓN DE BLOM. ESTACIÓN PUERTO MOLINA. PERIODO: 1967 – 2016.	208
FIGURA 5.13	CURVAS DE INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA. ESTACIÓN CRUCES.....	209
FIGURA 5.14.	HISTOGRAMA DE PRECIPITACIÓN DE DISEÑO HIDROLÓGICO PARA TIEMPOS DE RETORNO DE 2, 5, 10, 25, 50 Y 100 AÑOS Y UNA DURACIÓN DE 180 MIN. ESTACIÓN CRUCES.	210
FIGURA 5.15	CURVAS DE INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA. ESTACIÓN LA ARBOLEDA.	211
FIGURA 5.16.	HISTOGRAMA DE PRECIPITACIÓN DE DISEÑO HIDROLÓGICO PARA TIEMPOS DE RETORNO DE 2, 5, 10, 25, 50 Y 100 AÑOS Y UNA DURACIÓN DE 180 MIN. ESTACIÓN LA ARBOLEDA.	211
FIGURA 5.17.	CURVAS DE INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA. ESTACIÓN MIRAVALLÉS.	212
FIGURA 5.18.	HISTOGRAMA DE PRECIPITACIÓN DE DISEÑO HIDROLÓGICO PARA TIEMPOS DE RETORNO DE 2, 5, 10, 25, 50 Y 100 AÑOS Y UNA DURACIÓN DE 180 MIN. ESTACIÓN MIRAVALLÉS.	213
FIGURA 5.19.	CURVAS DE INTENSIDAD-DURACIÓN-FRECUENCIA. ESTACIÓN PUERTO MOLINA...	214
FIGURA 5.20.	HISTOGRAMA DE PRECIPITACIÓN DE DISEÑO HIDROLÓGICO PARA TIEMPOS DE RETORNO DE 2, 5, 10, 25, 50 Y 100 AÑOS Y UNA DURACIÓN DE 180 MIN. ESTACIÓN PUERTO MOLINA.	214
FIGURA 5.21.	ESQUEMA DE LAS COMPONENTES HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS QUE UTILIZA EL HEC-HMS 4.3 PARA REPRESENTAR UNA CUENCA HIDROGRÁFICA.....	216
FIGURA 5.22.	CLASIFICACIÓN DE MODELOS.....	217
FIGURA 5.23.	SUBZONAS HIDROGRÁFICAS EN ESTUDIO	228
FIGURA 5.24.	ESQUEMA DE LAS SUBZONAS EN ESTUDIO EN EL MODELO HEC-HMS.....	229
FIGURA 5.25.	USO Y COBERTURA DEL SUELO DE LAS SUBZONAS HIDROGRÁFICAS EN ESTUDIO. ...	231
FIGURA 5.26.	HISTOGRAMA E HIDROGRAMA DE CAUDALES MÁXIMOS PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 2 AÑOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA QUEBRADA LAS JAGUAS.	233
FIGURA 5.27.	HISTOGRAMA E HIDROGRAMA DE CAUDALES MÁXIMOS PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 5 AÑOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA QUEBRADA LAS JAGUAS.	233
FIGURA 5.28.	HISTOGRAMA E HIDROGRAMA DE CAUDALES MÁXIMOS PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA QUEBRADA LAS JAGUAS.	234
FIGURA 5.29.	HISTOGRAMA E HIDROGRAMA DE CAUDALES MÁXIMOS PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 25 AÑOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA QUEBRADA LAS JAGUAS.	234

FIGURA 5.30.	HIETOGRAMA E HIDROGRAMA DE CAUDALES MÁXIMOS PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA QUEBRADA LAS JAGUAS.	235
FIGURA 5.31.	HIETOGRAMA E HIDROGRAMA DE CAUDALES MÁXIMOS PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA QUEBRADA LAS JAGUAS.	235
FIGURA 5.32.	HIETOGRAMA E HIDROGRAMA DE CAUDALES MÁXIMOS PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 2 AÑOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA QUEBRADA EL NARANJO.....	236
FIGURA 5.33.	HIETOGRAMA E HIDROGRAMA DE CAUDALES MÁXIMOS PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 5 AÑOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA QUEBRADA EL NARANJO.....	236
FIGURA 5.34.	HIETOGRAMA E HIDROGRAMA DE CAUDALES MÁXIMOS PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 10 AÑOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA QUEBRADA EL NARANJO.....	237
FIGURA 5.35.	HIETOGRAMA E HIDROGRAMA DE CAUDALES MÁXIMOS PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 25 AÑOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA QUEBRADA EL NARANJO.....	237
FIGURA 5.36.	HIETOGRAMA E HIDROGRAMA DE CAUDALES MÁXIMOS PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 50 AÑOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA QUEBRADA EL NARANJO.....	238
FIGURA 5.37.	HIETOGRAMA E HIDROGRAMA DE CAUDALES MÁXIMOS PARA UN PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA QUEBRADA EL NARANJO.....	238
FIGURA 5.38.	HIDROGRAMAS CONSOLIDADOS DE CAUDALES MÁXIMOS PARA LOS PERIODOS DE RETORNO DE 2, 5, 10, 25, 50 Y 100 AÑOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA LAS JAGUAS	239
FIGURA 5.39.	HIDROGRAMAS CONSOLIDADOS DE CAUDALES MÁXIMOS PARA LOS PERIODOS DE RETORNO DE 2, 5, 10, 25, 50 Y 100 AÑOS DE LA SUBZONA HIDROGRÁFICA DE LA QUEBRADA EL NARANJO.	239
FIGURA 5.40.	MODELO DIGITAL DE TERRENO	240
FIGURA 5.41.	N DE MANNING EMPLEADO EN LA MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO.	246
FIGURA 5.42.	GRILLA EMPLEADA PARA LA MODELACIÓN HIDRÁULICA DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	246
FIGURA 5.43.	MANCHA DE INUNDACIÓN MÁXIMA (PROF. EN M) EN EL TRAMO EN ESTUDIO TR 5 AÑOS	247
FIGURA 5.44.	VELOCIDADES MÁXIMAS (M/S) EN EL TRAMO EN ESTUDIO TR 5 AÑOS.	248
FIGURA 5.45.	MANCHA DE INUNDACIÓN MÁXIMA (PROF. EN M) EN EL TRAMO EN ESTUDIO TR 10 AÑOS.	248
FIGURA 5.46.	VELOCIDADES MÁXIMAS (M/S) EN EL TRAMO EN ESTUDIO TR 10 AÑOS.	249
FIGURA 5.47.	MANCHA DE INUNDACIÓN MÁXIMA (PROF. EN M) EN EL TRAMO EN ESTUDIO TR 25 AÑOS.	249
FIGURA 5.48.	VELOCIDADES MÁXIMAS (M/S) MÁXIMA EN EL TRAMO EN ESTUDIO TR 25 AÑOS....	250
FIGURA 5.49.	MANCHA DE INUNDACIÓN MÁXIMA (PROF. EN M) EN EL TRAMO EN ESTUDIO TR 50 AÑOS.	250
FIGURA 5.50.	VELOCIDADES MÁXIMAS (M/S) EN EL TRAMO EN ESTUDIO TR 50 AÑOS.	251
FIGURA 5.51.	MANCHA DE INUNDACIÓN MÁXIMA (PROF. EN M) EN EL TRAMO EN ESTUDIO TR 100 AÑOS.	251
FIGURA 5.52.	VELOCIDADES MÁXIMAS (M/S) EN EL TRAMO EN ESTUDIO TR 100 AÑOS.	252
FIGURA 5.53.	ENCAJONAMIENTO MODERADO DEL CAUCE DE LA QUEBRADA EL NARANJO	252
FIGURA 5.54.	ENCAJONAMIENTO MENOR DEL CAUCE DE LA QUEBRADA LAS JAGUAS	253
FIGURA 6.1.	CLASIFICACIÓN DE LAS ZONAS DE INUNDACIÓN DE ACUERDO CON LA AGENCIA CATALANA DEL AGUA.....	257
FIGURA 6.2.	ZONA DE INTENSO DESAGÜE DEFINIDA POR LA AGENCIA CATALANA DEL AGUA	257

FIGURA 6.3. DEFINICIÓN DE RANGOS DE INTENSIDAD PARA INUNDACIONES ESTÁTICAS Y DINÁMICAS	261
FIGURA 6.4. NIVEL DE INTENSIDAD O MAGNITUD DE LA AMENAZA POR INUNDACIONES.....	267
FIGURA 6.5. NIVEL DE AMENAZA POR INUNDACIÓN.....	275
FIGURA 6.5. AMENAZA POR INUNDACIÓN POR DESBORDAMIENTO - PERIODO DE RETORNO DE 100 AÑOS	276
FIGURA 7.1. DISEÑO METODOLÓGICO PARA LA EVALUACIÓN DE LA AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA- MUNICIPIO DE OBANDO	281
FIGURA 7.2. PROCEDIMIENTO METODOLÓGICO PARA LA ELABORACIÓN DE MAPAS DE COBERTURA DE LA TIERRA.....	284
FIGURA 7.3. REPRESENTACIÓN GRÁFICA DE LA ECUACIÓN PARA MEDIR EL NIVEL FREÁTICO.....	290
FIGURA 7.4. GRÁFICA DE PROBABILIDAD NORMAL	293
FIGURA 7.5. MAPA GEOLÓGICO MUNICIPIO DE OBANDO.....	296
FIGURA 7.6. MAPA GEOMORFOLÓGICO DEL MUNICIPIO DE OBANDO	297
FIGURA 7.7. MAPA UNIDADES GEOLÓGICAS SUPERFICIALES DEL MUNICIPIO DE OBANDO.....	298
FIGURA 7.8. PORCENTAJES DE ÁREAS OCUPADOS POR GRANDES TIPOS DE COBERTURA DE LA TIERRA EN OBANDO (NIVEL 1 DE CLC)	299
FIGURA 7.9. MAPA DE COBERTURA DE LA TIERRA MUNICIPIO OBANDO.....	301
FIGURA 7.10. MAPA DE EVENTOS HISTÓRICOS DE MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	306
FIGURA 7.11. UBICACIÓN DE LAS PERFORACIONES MECÁNICAS HECHAS PARA EL PRESENTE ESTUDIO EN EL MUNICIPIO DE OBANDO.....	309
FIGURA 7.12. UBICACIÓN EN PLANTA DE LOS APIQUES PARA EL PRESENTE ESTUDIO EN EL MUNICIPIO DE OBANDO	311
FIGURA 7.13. PERFIL ESTRATIGRÁFICO ESTABLECIDO	313
FIGURA 7.14. REALIZACIÓN EN CAMPO DE UNA LÍNEA SÍSMICA EN EL MUNICIPIO DE OBANDO.....	314
FIGURA 7.15. ILUSTRACIÓN TÍPICA DE LA CAPTURA DE DATOS EN CAMPO MEDIANTE EL SOFTWARE SEISVIEW CORRESPONDIENTE A LA EJECUCIÓN DE LA LÍNEA DE REFRACCIÓN PARA ONDAS S	317
FIGURA 7.16. TOMOGRAFÍA DEL TERRENO, VELOCIDADES DE ONDA PLANA (Vp)- LS-3.....	318
FIGURA 7.17. GRÁFICAS ESFUERZO-DEFORMACIÓN PICO OBTENIDAS DEL ENSAYO DE CORTE DIRECTO SOBRE LA MUESTRA M5 DE LA PERFORACIÓN P-10.	319
FIGURA 7.18. UBICACIÓN SECCIONES DE ANÁLISIS MUNICIPIO DE OBANDO.....	327
FIGURA 7.19. PERFIL AA' SECCIÓN DE ANÁLISIS	328
FIGURA 7.20. PERFIL BB' SECCIÓN DE ANÁLISIS	328
FIGURA 7.21. PERFIL CC' SECCIÓN DE ANÁLISIS	329
FIGURA 7.22. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE ESTACIONES HIDROCLIMATOLÓGICAS.....	332
FIGURA 7.23. CURVAS DE INTENSIDAD, DURACIÓN Y FRECUENCIA CON DATOS DE LA ESTACIÓN PUERTO MOLINA	333
FIGURA 7.24. ANÁLISIS DE ESTABILIDAD SECCIÓN CC', ESCENARIO FUTURO, CONDICIÓN SIN OBRAS	336
FIGURA 7.25. MAPA DE AMENAZA CATEGORIZADO CORRESPONDIENTE A LA CONDICIÓN FUTURA PARA EL MUNICIPIO DE OBANDO	341
FIGURA 7.26. DISTRIBUCIÓN DE NIVELES DE AMENAZA PARA LA CONDICIÓN FUTURA EN EL MUNICIPIO DE OBANDO	342
FIGURA 7.27. DETERMINACIÓN DEL VOLUMEN DE UN DESLIZAMIENTO	343

FIGURA 7.28. VARIABLES GEOMÉTRICAS PARA DEFINIR LA DISTANCIA DE VIAJE DE UN DESLIZAMIENTO	344
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	345
FIGURA 8.1. ZONAS DE EXPOSICIÓN ANTE MOVIMIENTOS EN MASA	355
FIGURA 8.2. ZONAS DE EXPOSICIÓN ANTE MOVIMIENTOS EN MASA	366
FIGURA 8.3. LOCALIZACIÓN DE LAS SECCIONES TRANSVERSALES DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	367
FIGURA 8.4. PERFIL A-A''	368
FIGURA 8.5. PERFIL B-B''	368
FIGURA 8.6. PERFIL C-C'	369
FIGURA 8.7. DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO TOTAL DE HABITANTES, DÍA Y DE NOCHE EXPUESTOS A MOVIMIENTO MASA DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	372
FIGURA 8.8. DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO DE PREDIOS EXPUESTOS A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO.....	373
FIGURA 8.9. DISTRIBUCIÓN DEL NÚMERO DE PISOS LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS POR MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	374
FIGURA 8.10. DISTRIBUCIÓN DE LA EDAD DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS POR MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO.....	375
FIGURA 8.11. DISTRIBUCIÓN DEL TIPO DE CONSTRUCCIÓN DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	377
FIGURA 8.12. DISTRIBUCIÓN DEL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS EDIFICACIONES EXPUESTAS A MOVIMIENTOS EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	378
FIGURA 8.13. EXPOSICIÓN ESTRUCTURAL ANTE EL FENÓMENO DE MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO.....	379
FIGURA 8.14. DISTRIBUCIÓN DE LÍNEAS VITALES EXPUESTAS ANTE MOVIMIENTOS EN MASA DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO.....	380
FIGURA 8.15. DISTRIBUCIÓN DE LA RED ELÉCTRICA EXPUESTOS POR MOVIMIENTOS EN MASA DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO.....	381
FIGURA 8.16. EXPOSICIÓN DE LÍNEAS VITALES POR FENÓMENO DE MOVIMIENTO EN MASA, RED DE ACUEDUCTO ZONA URBANA MUNICIPIO DE OBANDO	382
FIGURA 8.17. EXPOSICIÓN DE LÍNEAS VITALES POR FENÓMENO DE MOVIMIENTO EN MASA, RED DE ALCANTARILLADO, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO.....	383
FIGURA 8.18. EXPOSICIÓN DE LÍNEAS VITALES POR FENÓMENO DE MOVIMIENTO EN MASA, RED VIAL, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	384
FIGURA 8.19. EXPOSICIÓN DE LÍNEAS VITALES POR FENÓMENO DE MOVIMIENTO EN MASA, RED DE POSTES, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	385
FIGURA 8.20. FACTOR DE RESISTENCIA CORPORAL ANTE MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	386
FIGURA 8.21. FACTOR DE RESISTENCIA CORPORAL POR MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	387
FIGURA 8.22. FACTOR DE RESISTENCIA SEGÚN EL TIPO DE CONSTRUCCIÓN DE LAS EDIFICACIONES, POR MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	388
FIGURA 8.23. FACTOR DE RESISTENCIA SEGÚN EL ESTADO DE CONSERVACIÓN DE LAS EDIFICACIONES POR MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	389

FIGURA 8.24. FACTOR DE RESISTENCIA SEGÚN LA EDAD DE LAS EDIFICACIONES POR MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO.....	390
FIGURA 8.25. FACTOR DE RESISTENCIA ESTRUCTURAL POR MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	391
FIGURA 8.26. DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR DE RESISTENCIA DE LA RED VIAL SEGÚN SU MATERIAL ANTE MOVIMIENTOS EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	393
FIGURA 8.27. DISTRIBUCIÓN DEL FACTOR DE RESISTENCIA DE LA RED VIAL SEGÚN SU ANCHO, ANTE MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	393
FIGURA 8.28. FACTOR DE RESISTENCIA DE LA RED VIAL ANTE MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	394
FIGURA 8.29. FACTOR DE RESISTENCIA DE LA RED ELÉCTRICA ANTE MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	396
FIGURA 8.30. DISTRIBUCIÓN DEL PORCENTAJE DE LA VULNERABILIDAD CORPORAL DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	397
FIGURA 8.31. ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD CORPORAL ANTE MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DE MUNICIPIO DE OBANDO	398
FIGURA 8.32. ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL ANTE MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO.....	400
FIGURA 8.33. DISTRIBUCION DE LA VULNERABILIDAD EN LA RED VIAL ANTE MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO.....	401
FIGURA 8.34. ZONIFICACIÓN DE VULNERABILIDAD ANTE MOVIMIENTO EN MASA, RED VIAL, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	402
FIGURA 8.35. ZONIFICACION DE LA VULNERABILIDAD ANTE MOVIMIENTO EN MASA DE LA RED ELÉCTRICA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	403
FIGURA 8.36. CURVAS DE FRAGILIDAD DE LOS ELEMENTOS EXPUESTOS (POBLACIÓN Y ESTRUCTURAL) ANTE MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	404
FIGURA 8.37. FACTORES DE RESISTENCIA: A). RESISTENCIA $S=0,7$; B). RESISTENCIA $S=0,9$; C) RESISTENCIA $S=1,0$	405
FIGURA 9.1. ZONIFICACIÓN DE ÁREAS DE AFECTACIÓN ANTE MOVIMIENTO EN MASA, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	409
FIGURA 9.2. ZONIFICACIÓN DE AFECTACIÓN ANTE MOVIMIENTO EN MASA, RED VIAL, ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO	411
FIGURA 9.3. ZONIFICACIÓN DE AFECTACIÓN ANTE MOVIMIENTO EN MASA, RED ELÉCTRICA DE LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO.....	412
FIGURA 9.4. ZONIFICACIÓN DE ÁREAS DE AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE POR MOVIMIENTO EN MASA, MUNICIPIO DE OBANDO	414
FIGURA 9.5. TIPIFICACIÓN DEL CONTENIDO DE UNA VIVIENDA EN EL ÁREA DE ESTUDIO.	419

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 Obando. 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 Obando.
- 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 Obando 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 Obando.

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

OBJETIVOS

General

Realizar estudio de zonificación de amenazas, vulnerabilidad y escenarios de afectación por inundación y movimiento en masa a nivel de detalle para el área urbana del municipio de Obando 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 Obando. 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 OBANDO 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

El territorio del municipio de Obando era habitado, antes de la llegada de los españoles, por indígenas Quimbayas regidos por el cacique Orobi. Durante el dominio español, en 1540, siendo gobernador del Cauca Sebastián de Belalcázar, se le asignó el nombre de San José de los Micos o de los Naranjos; gracias a la belleza de la región, a su fertilidad y a la facilidad de comunicaciones a lo largo del curso del río Cauca, muchos conquistadores y colonizadores se radicaron en este territorio que dedicaron a la gaudería, la producción agrícola y pecuaria para las zonas de producción minera. En 1550 la comunicación se hacía por medio de caminos que constituyen los ejes de comunicación territorial que, además de unir esta región con Popayan, Antioquía y Santa fé de Bogotá, se intercomunicaba Cartago, Buga y Cali (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000).

En 1720 se llamó a Obando, el Naranjo. Durante las guerras de la Independencia en 1824, Obando fue erigido a la categoría de Parroquia y en 1826, con la existencia de 426 casas, se elevó a municipio con el nombre de Obando en memoria del General José María Obando, categoría que perdió en 1854 quedando como aldea y paso a formar parte del municipio de la Victoria. Finalmente, Obando se separa de la Victoria en 1928, por la ordenanza No. 21 de la Asamblea Departamental que lo erigió como Municipio de Obando. (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000).

1.2. CONTEXTO GEOGRÁFICO DEL MUNICIPIO

El municipio de Obando está localizado al Occidente de Colombia a 4°34'40" Latitud Norte, 75°58'10" Longitud Oeste y al Nor-Oriente del departamento del Valle del Cauca, sobre la parte plana del valle del río Cauca, extendiéndose hasta el piedemonte occidental de la cordillera Central, alcanzando alturas entre 917 y 1700 metros sobre el nivel del mar. (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000) (Figura 1.1).

1.2.1. Límites

El municipio de Obando, limita por el norte con el municipio de Cartago, por el sur con el municipio de la Victoria, por el oriente el departamento de Quindío y al occidente los municipios de la Unión y Toro. Como límites físicos tiene al occidente el río Cauca que lo separa de los municipios de la Unión y Toro, y al oriente el río La Vieja, que lo separa del departamento del Quindío y la quebrada Cruces, la ciénaga Grande, que comparte con Cartago (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000).

El municipio tiene una extensión de 22.588,49 ha, de las cuales 43.27% (9.773,64 ha) corresponden a la parte plana y el 56.73% (12.814,85 ha) a la parte de ladera (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000).

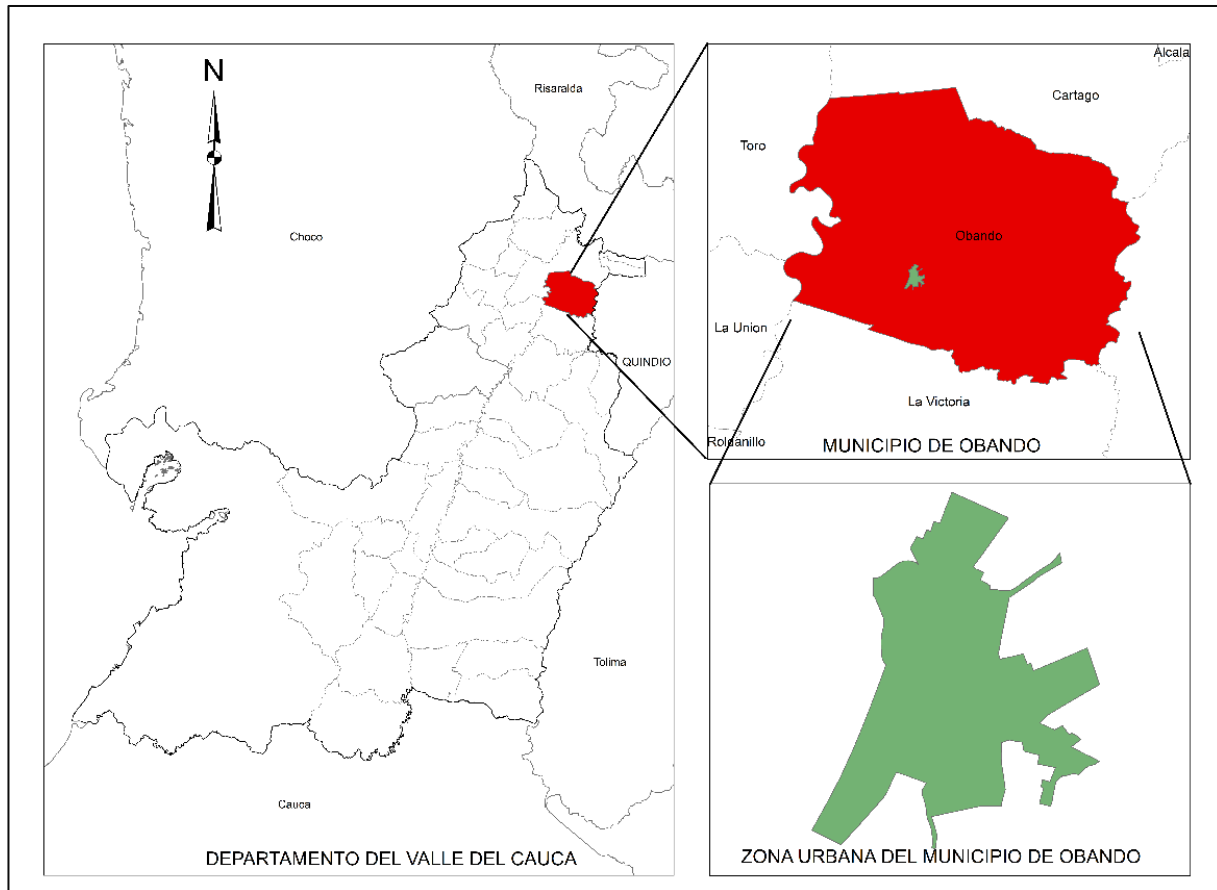


Figura 1.1. Localización de la zona urbana del Municipio de Obando, Departamento del Valle del Cauca

Fuente: elaboración propia

1.2.2. División Política Administrativa

El municipio presenta como divisiones administrativas tradicionales: el sector urbano con veinticinco (25) barrios y el sector rural que está conformado por diez (10) corregimientos y veintitrés (20) veredas.

1.2.2.1. Zona Urbana

En el Esquema de Ordenamiento de Territorial (2000) del municipio de Obando, cuenta con 25 barrios en la zona urbana (Tabla 1.1).

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

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

N°	BARRIO
1	La Esperanza
2	San Rafael
3	El Portal
4	La Arboleda
5	Silvio Vazquez
6	El Prado
7	San Jorge
8	Las Brisas
9	Santander
10	La Virgen
11	Santa Barbara
12	San Fernando
13	El Jardin
14	Sagrada Familia
15	El Lago
16	Villa Del Sol
17	Siglo XXI
18	Villa Europa
19	Centro
20	La Aurora
21	El Llano
22	Ciudadela Obando
23	Bello Horizonte
24	Los Almendros
25	Club De Leones

Fuente: elaboración propia con datos de la Secretaria de Planeación del Municipio de Obando (2019).

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

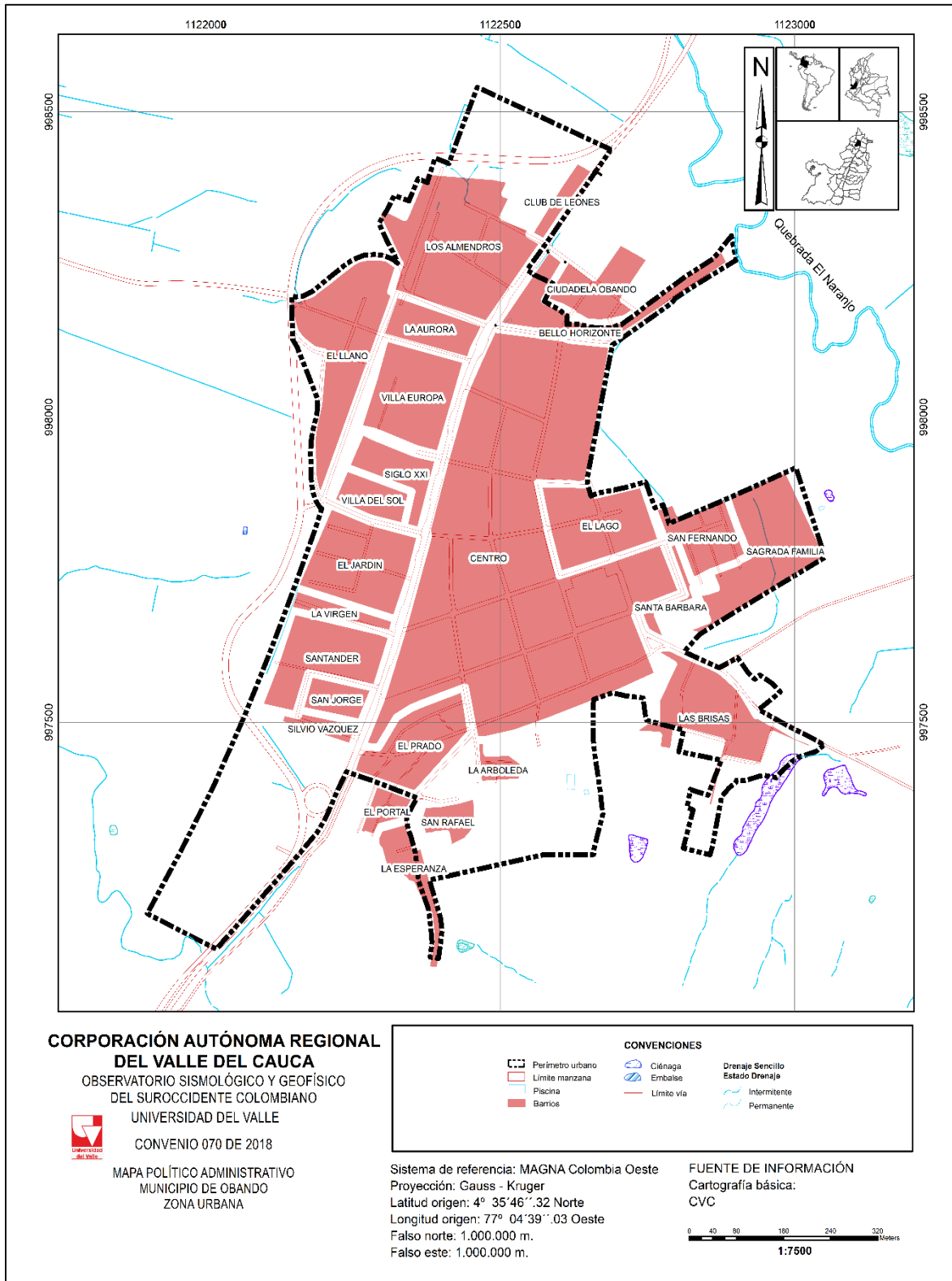


Figura 1.2. Mapa Político Administrativo, área urbana del Municipio de Obando
Fuente: elaboración propia con datos de la Secretaria de Planeación del Municipio de Obando, (2000)

1.2.2.2. Zona Rural

El municipio de Obando, según EOT (2000), a nivel rural se conforma de 10 corregimientos que a su vez se conforma de 23 veredas, como se muestra en la Tabla 1.2.

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

No	CORREGIMIENTOS	VEREDA
1	San Isidro	Morro Azul
		El Porvenir
		Laureles
		El Sande
		El Crucero
		Centro poblado
		Limonas
2	El Chuzo	Salem
		Sierra Mocha
		Yucatán
		La Balsara
3	Villa Rodas	Resplanodores
		Playa Rica
4	Cruces	Tamboral
		Monte Roso
5	San José	Monte Grande
		Marcopolis
		El Machetazo
6	Puerto Molina	Pedro Sánchez
7	Juan Díaz	El Pleito
8	Frías	Calle Larga
9	Puerto Samaria	La Esmeralda
10	Buenos Aires	-
		Buenos Aires Altos

Fuente: elaboración propia con datos de la Secretaria de Planeación del Municipio de Obando, (2019)

En la Figura 1.3 se presenta la división política del área rural, de acuerdo con su distribución espacial de los corregimientos 10 corregimientos del municipio de Obando.

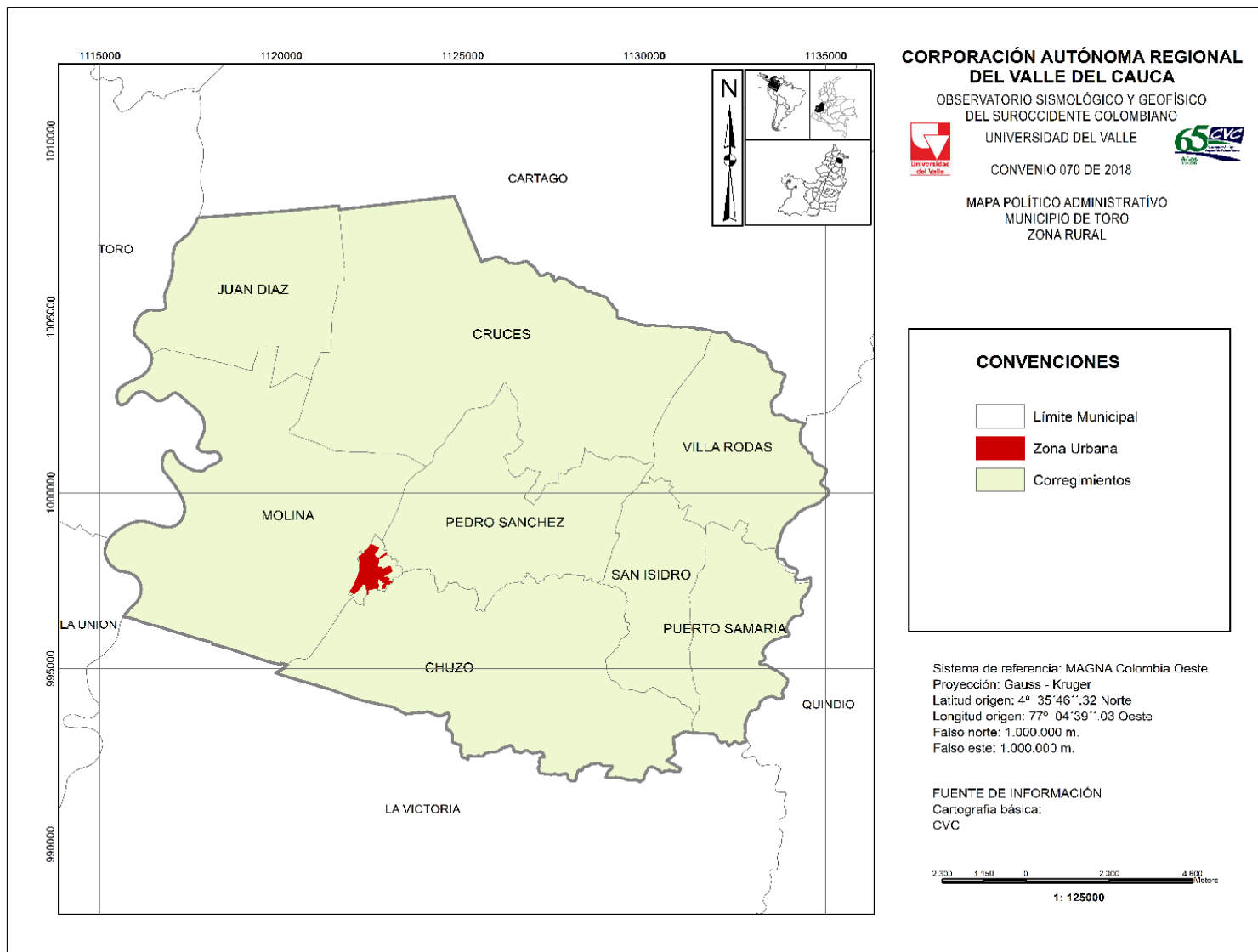


Figura 1.3. Mapa División política del área rural del municipio de Obando

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

1.2.3. Demografía

Según las proyecciones del DANE (2005), para el año 2019, el municipio de Obando cuenta con una población 15.226 habitantes de los cuales 11.504 (equivalente al 75%) se distribuye en el área urbana y 3.810 (correspondiente al 25%) pertenece al área rural (Figura 1.4).

La densidad de población de la zona urbana es de 54 habitantes/km², mientras que la para la zona rural es de 18 habitantes/km² (Figura 1.5).

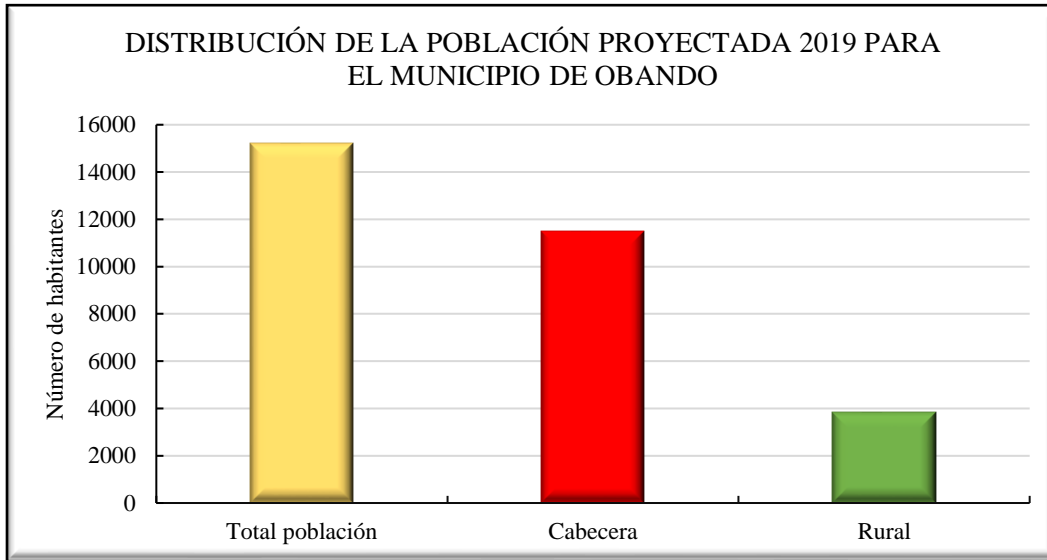


Figura 1.4. Distribución de Población del Municipio de Obando, proyección 2019

Fuente: elaboración propia con datos de DANE, 2005.

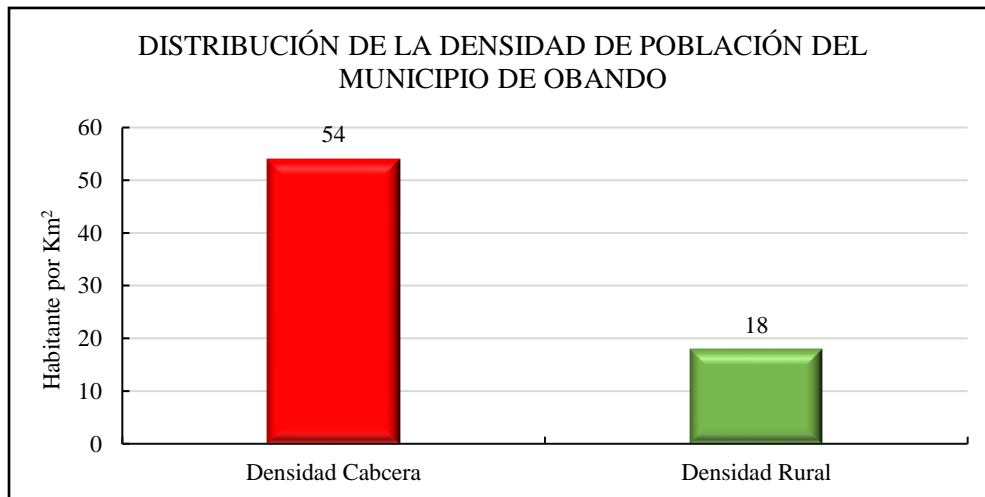


Figura 1.5. Densidad de Población del Municipio de Obando

Fuente: elaboración propia con datos de DANE 2005 y Secretaría de Planeación Municipal 2019.

1.2.4. Climatología

La precipitación media anual del municipio de Obando, es de 1773,6 mm, con un régimen bimodal con dos periodos de lluvia (marzo a mayo y septiembre a noviembre) y secos intermediales.

La temperatura anual promedio es de 24,3°C, con máximas en febrero de 24,8°C y mínimas en marzo de 23,7°C. El brillo solar con 1870 horas al año y en los meses de julio, agosto y enero son los más soleados.

La humedad relativa promedio máxima es de 72% y una mínima de 69%. Para Obando se tienen tres provincias climáticas, correspondiendo para la zona de laderas el clima cálido húmedo que comprende territorios sobre la formación Cinta de Piedra y la Paila. Esta última formación sirve de límite a tierras con clima Cálido que coinciden con el territorio desarrollados sobre la formación Zarzal y los valles aluviales de los ríos secundarios. El resto del territorio municipal presenta clima cálido subhúmedo y se extiende hasta el río Cauca (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000).

1.2.5. Hidrología

El municipio de Obando cuenta con aguas superficiales y subterráneas. Las superficiales pertenecen al sistema hídrico del río Cauca que tiene como principal afluente al Río La Vieja. Las aguas subterráneas del municipio hacen parte del gran potencial que tiene el departamento en todo el valle geográfico del río Cauca (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000).

Están distribuidas en el municipio en una porción de la cuenca media del río Cauca y otra de la cuenca baja del río De la Vieja, compartiendo 7 subcuencas hidrográficas: El Naranjo, Cruces, El Garaje, Los Micos (Quebrada Yucatán) que van al río Cauca, y la Subcuenca La Pobreza, Villa Rodas y Puerto Samaria que tributan al río La Vieja (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000)..

El municipio de Obando el 57% de la zona rural, localizada en el piedemonte de la cordillera Central, cuenta con un sistema de drenaje poco denso, fuertes pendientes y depósitos de rocas susceptibles a ser transportados que limita el desarrollo y requiere realizar acciones que reduzcan la erosión. Por este sistema hídrico bajan gran cantidad de sedimentos, que originan turbiedad en las aguas, debido a la pérdida de la cobertura forestal y prácticas agropecuarias inadecuadas. En la zona plana, por el contrario, las cuencas son de pendientes débiles y ocupan amplias superficies, siendo propicia para la introducción de actuaciones que llevan consigo grandes infraestructuras como el sistema vial, el ferrocarril y la expansión del centro urbano principal (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000).

A continuación, se describe la sub cuenca de la Quebrada Naranjo, principal sub cuenca que recorre la cabecera del municipio:

- Subcuenca de la Quebrada El Naranjo. Tiene una extensión de 2.715,62 ha, un recorrido de 14,4 km, está conformada por quebradas y microcuencas que se desprenden de las alturas sobre el nivel del mar, (m.s.n.m), que varían desde 1000 metros hasta 1700 metros, algunas alturas intermedias conocidas como Alto el Chuzo a 1500 metros, La Cuchilla, La Esmeralda a 1500 metros, Alto La Esmeralda a 1650 y Morro Azul a 1700 metros (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000).

De las anteriores alturas se originan las quebradas El Trapiche, Monte Oscuro, Monte Malo, Canivales, El Sande, Corazones, Sierramocho, Guanábano y las microcuencas El Vergel, Bélgica, Padilla, Palo Blanco, estas quebradas y microcuencas forman la cuenca quebrada El Naranjo que entrega sus aguas al canal de Obando que continua su recorrido para Cartago. En los suelos se presenta desprendimientos, terracetos y erosión laminar intensa.

En la cuenca afloran rocas de la formación Zarzal con buzamientos que varían desde 30° a 45°, las de la formación La Paila con buzamientos que varían de 45° a mayores de 45° que se extiende en la mayor parte del subsuelo de las partes altas de la cuenca y en las partes bajas se localizan depósitos aluviales del Cuaternario (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000).

Esta quebrada abastece de agua a la población del centro urbano del municipio de Obando, suministrando un caudal de 15 litros/seg. en épocas de lluvia y en baja precipitación puede llegar a no abastecerlo. La calidad de sus aguas se ve afectado por los sólidos de los procesos erosivos, el beneficio del café y la contaminación por la disposición de los residuos sólidos en el cauce de algunos afluentes y las aguas residuales domésticas de los centros poblados rurales y veredas de cuatro corregimientos (San Isidro, El Chuzo, San José y Frías), 12 veredas con una población cercana a los 1300 habitantes (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000).

La Figura 1.6 muestra la espacialización de la red hídrica de la zona urbana del municipio de Obando, donde se destacan las Quebradas El Naranjo al norte y Las Jaguas, al sur de la cabecera municipal.

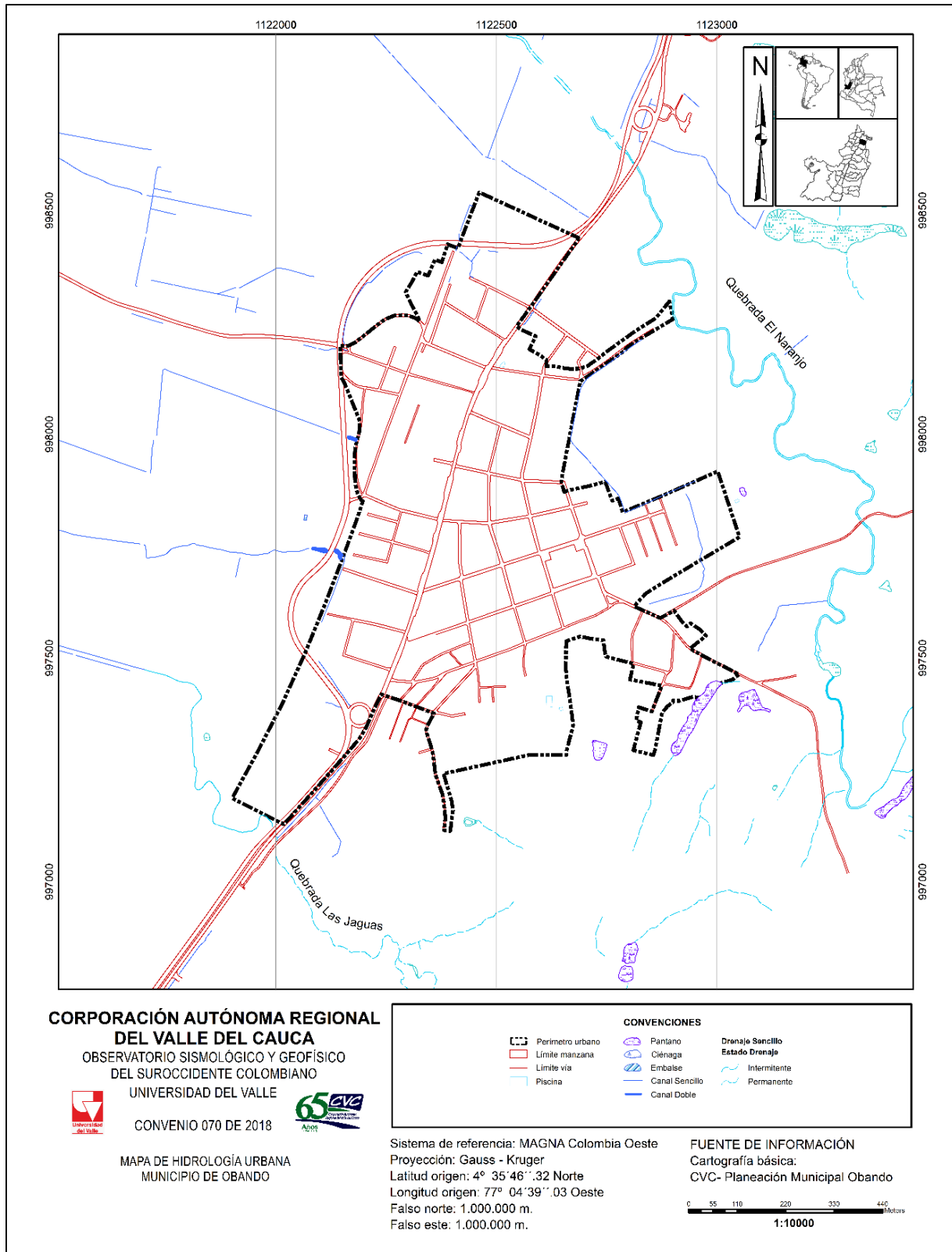


Figura 1.6. Redes de drenaje de la zona urbana del municipio de Obando
Fuente: elaboración propia con datos CVC (2014)

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 Obando.

1.3.1. Fisiografía y Relieve

Para realizar una clasificación con enfoque sintético o de áreas homogéneas, con un carácter estrictamente fisiográfico, que facilite la planificación física del territorio, se basa en la consideración de que en una región dada existen distintos grupos de unidades morfológicas territoriales, cada una de las cuales tiene historias geomorfológica y geológica distinta. La semejanza dentro de cada uno de estos grupos morfológicos se traduce en una similitud de aptitud para distintos usos del suelo. Desde el punto de vista fisiográfico se identifican unidades de gran paisaje distribuidas en las provincias climáticas cálido subhúmedo, cálido y cálido húmedo (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000).

1.3.1.1. Unidades del Paisaje

Las unidades de paisaje, hacen referencia al relieve y en particular a la unidad morfológica territorial, equivalente a unidad geomorfológica (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000). El municipio de Obando tiene 15 unidades de paisaje (Tabla 1.3)

Tabla 1.3 Unidades del paisaje del municipio de Obando

UNIDAD DEL PAISAJE	DESCRIPCIÓN
Llanura aluvial de inundación del río Cauca (L)	Es una unidad de gran paisaje, originada por la sedimentación del río Cauca, se localiza en la provincia climática Cálido Subhúmedo. Aquí el río forma las unidades de paisaje Basín (L1) y Diques L2). Se caracteriza por poseer relieve plano, con pendientes de 0 a 3%, con predominio de materiales finos en los basines y francos a finos en los diques.
Planicie fluvio - lacustre (F)	Los suelos que integran esta unidad se encuentran en el clima Cálido Subhúmedo, presentan relieve plano a plano - cóncavo, y ligeramente inclinado, con pendientes de 0 a 3% y de 3 a 7%, desarrollados a partir de material fino a moderadamente finos depositados en condiciones de aguas tranquilas. Se distinguen en esta unidad las terrazas no disectadas (F1) y las cubetas (F2). Se distinguen aquí cuatro unidades (P3, P31, P32,P6) que corresponden a las formas aluviales de los afluentes del río Cauca, localizadas en clima cálido subhúmedo:
Planicie aluvial de Piedemonte, (P)	Abanicos recientes y subrecientes (P3): corresponde a formas aluviales de los afluentes de río Cauca que emergen de la cordillera y penetran a los terrenos bajos del valle geográfico para depositar allí los aluviones. En estas geoformas se separan en dos subpaisajes, ápice (P31) y cuerpo y pie (P32), cuyos suelos difieren ligeramente en cuanto a los materiales que los conforman y al relieve. Vallecitos coluvio - aluviales menores (P6): formado por colinas a partir de materiales coluvio - aluviales finos y moderadamente finos, de relieve plano a ligeramente inclinado, con pendientes de 0 a 3% y 3 a 7%.

UNIDAD DEL PAISAJE	DESCRIPCIÓN
Colinas erosionadas en rocas sedimentarias de la Formación Zarzal (S)	En clima cálido se localizan las colinas erosionales en rocas sedimentarias de la Formación Zarzal. Unas son bajas, con cimas redondeadas, vertientes convexas y con estratos horizontales (S1).
Valles aluviales de ríos secundarios (V)	En el clima cálido se encuentran tres unidades de paisaje constituidas por material aluvial: terrazas y lechos y coluvios del río de la Vieja (V1), terrazas y lechos de las quebradas (V2) y valles de otros cauces intermitentes (V3).
Colinas erosionadas en rocas sedimentarias de la Formación la Paila localizadas en clima cálido húmedo	En clima cálido húmedo se encuentran dos unidades de paisaje constituido por material sedimentario de la Formación la Paila formando colinas bajas redondeadas, convexas, masivas con estrato de arenisca, arcillolita y conglomerados (Z1) y las vertientes rectilíneas y largas, cimas agudas, escalonadas y muy disectadas en conglomerados areniscas y arcillolitas (Z2).
Superficies colinadas de abanicos antiguos disectados (D)	En clima cálido húmedo, se localizan materiales coluviales finos mezclados en profundidad con rocas angulares de tamaño variable y cantos redondeados altamente meteorizados.
Relieve colinado, estructurales C1	Compuestos de arenisca y arcillolitas de la Formación Cinta de Piedra, con y sin recubrimiento de cenizas volcánicas. El relieve es escarpado con pendientes entre 25 y 50% y mayores del 50%. Corresponden a bancos de arenisca conglomerática que alternan con arcillas.

Fuente: elaboración con información del Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000.

1.3.2. Geología y Morfología

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

1.3.2.1. Litología

En el municipio afloran rocas, que pertenecen al Terreno Cauca -Romeral, estas son Cenozoicas de edad Terciaria y Cuaternaria, que afloran en la depresión de graben del Cauca y corresponden a las formaciones continentales. Todas estas rocas están parcialmente cubiertas por unidades superiores locales no consolidadas de depósitos Plio-Pleistoceno lacustre de agua dulce. En ciertos sectores se encuentran depósitos Cuaternarios (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000).

En el municipio se encuentran tres formaciones litológicas:

- Rocas Terciarias y Cuaternarias. El material rocoso se encuentra distribuido en todo el territorio municipal en forma de depósitos de edad Terciaria identificados como Formación Cinta de Piedra, La Paila y Zarzal, depósitos Cuaternarios de Llanura Aluvial, Conos Antiguos, Conos de Deyección, Terrazas Aluviales Bajas, depósitos Coluvio – Aluviales, depósitos de Ladera y llenos Mecánicos. Algunos de estos materiales presentan potencial minero (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000).

- Formación Cinta de Piedra. Comprende 6.803,99 ha. de edad Terciaria del Oligoceno, formada por una secuencia de areniscas poco seleccionadas y arcillolitas intercaladas con horizontes de conglomerados, las cuales forman una franja alargada en sentido N-S al oeste del río La Vieja, ocupando el núcleo del sinclinal de Miravalles - San Isidro. Los contactos principales son fallados al oeste con la formación La Paila.

Las areniscas son friables, de color gris verdoso con tamaño de grano variable, textura clástica y cantos subredondeados, se encuentra intercaladas con conglomerados polimícticos, de fragmento de tamaño de 1 a 30 cm subangulares a subredondeados, en una matriz areno-arcillosa, y con arcillolitas verdosas en láminas delgadas onduladas. La estratificación tiene dirección predominante N10°-20°E con buzamiento fuerte hasta verticales, los estratos están plegados en forma de sinclinal. Se le asigna una edad de Oligoceno tardío (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000).

- Formación la Paila. Esta secuencia litológica de edad Miocena, está compuesta de 4.747,71 ha de rocas acumuladas por procesos sedimentarios - volcánicos de intercalaciones de conglomerados, areniscas en la parte superior y tobas dacíticas en la parte inferior. Los conglomerados varían de conglomerados de cantos de cuarzo lechoso, chert negro y gris, presentes en bancos gruesos, de estratificación plana, no paralela y continua. Las areniscas son cuarzos de grano grueso a fino de color amarillo grisáceo, sueltas, secas y levemente meteorizadas; en la actualidad se explotan a menor escala, en la vía a San Isidro, como material de base para la pavimentación.

En general estas rocas están mal cementadas decreciendo el grado de cementación con el tamaño del grano, dando lugar a la formación de pendientes estructurales (cuestas y espinazos) en los conglomerados, y valles o geoformas redondeadas suaves en las areniscas. Además, presenta el plegamiento de anticlinal de Holguín (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000).

- Formación Zarzal. Secuencia de rocas sedimentarias, que ocupan un área de 1.198,14 ha, de edad Pliocena, compuesta de arenas, diatomitas y arcillas en estratos delgados laminados, contiene restos de vegetales y se le asigna un origen lacustre. Los mejores afloramientos se encuentran al nororiente y sur del casco urbano, hacia el norte del matadero municipal, con una serie de estratos de material arcilloarenoso con espesor de 3.20 metros, color amarillo claro, luego continúa un nivel arcillo tobáceo, de 3.50 metros de espesor, color blanco amarillento, dispuesto en capas paralelas alternantes con arenas de grano fino a medio, de colores amarillo y rojo, de 0.40 metros de espesor; en este lugar los estratos presentan rumbo N15°E y buzamiento de 22°NW. Esta formación, según el inventario minero, presenta interés económico. Los depósitos de rocas de la Formación Zarzal reposan discordante sobre la Formación la Paila (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000).
- Depósitos de llanura Aluvial. Material Cuaternario localizado en las llanuras aluviales del río La Vieja y la quebrada El Naranjo, ocupando un área de 9.399,61 ha. En el casco urbano al norte, hacia la salida a Cartago cerca del puente que cruza la quebrada El Naranjo, afloran con espesor de 1.30 metros, color amarillo y marrón granular, medianamente sueltos, seco

ligeramente meteorizado, presenta intercalaciones de niveles arcillosos grises y rojizos conteniendo lentes de arena; luego continua un nivel arenoso de tamaño de grano medio a grueso, de 0.78 metros de espesor, gris, suelto, húmedo, medianamente meteorizado y rico en contenido de material volcánico (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000).

- Conos Antiguos. Se tienen 24.85 ha, estos depósitos afloran en la zona de piedemonte en contacto con la formación Zarzal, localmente esparcidos, consistentes en gravas gruesas a finas en matriz tobáceas, interestratificadas con arenas tobáceas (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000).
- Conos de Deyección. Depósitos cuaternarios transportados por el agua, se caracterizan por presentar cierta estratificación e intercalaciones de material areno arcilloso, de colores café y amarillo, sueltos, ricos en material volcánico, y depósitos arcillosos compactos, de color amarillo y gris claro, también hay ciertos niveles arenosos con selección de tamaño de grano, presentando ocasionalmente líticos de cuarzo, chert y rocas ígneas, sub angulares a sub redondeadas, con tamaño que varían entre cantos y gravas.

En el casco urbano se presentan al nororiente hacia la salida a San Isidro en inmediaciones de la quebrada El Naranjo y al norte del matadero municipal (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000).

- Terrazas Aluviales Bajas. Depósitos Cuaternarios transportados por ríos, quebradas presentan alturas que varían entre uno (1) y dos cinco (2,5) metros del cauce de estas corrientes. Están compuestos de material arcillosos de color amarillento claro, seco, intercaladas con niveles arenosos gruesos de color marrón y gris, son depósitos sueltos, algunas veces saturados y con niveles puntuales de cantos subredondeados de cuarzo, chert y rocas ígneas dentro de matriz arenosa, amarillenta suelta correspondiente a depósitos de creciente, hacia el tope de estas terrazas se desarrollan suelos residuales granulares, de colores amarillo y gris oscuro a marrón.

En el casco urbano se presentan al oriente en el valle de la quebrada El Naranjo, al suroriente de Obando y en las quebradas de la parte rural (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000).

- Depósitos Coluvio-Aluviales. Depósitos Cuaternarios originados por el lavado del agua de escorrentía sobre laderas de las vertientes de quebradas, acumulándose en el fondo del valle de éstas. Son materiales sueltos y permeables de colores amarillentos claros y oscuros, de grano fino arcillosos, ricos en mica, cuarzo, plagioclasa y minerales oscuros ferromagnesianos, presentan esporádicamente líticos de rocas provenientes de las formaciones la Paila y Zarzal, sobre estos se desarrollan suelos residuales arcillosos, de colores amarillentos claros y oscuros. Estos depósitos se encuentran en la zona de piedemonte. En general la composición de estos depósitos proviene de las Formaciones sedimentarias presentes en el flanco occidental de la cordillera central (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000).
- Depósitos de Ladera. Material rocoso originado por desprendimiento de laderas escarpadas a medianamente escarpadas. En el casco urbano se localizan al suroriente de la bomba de

gasolina cerca de la calle 1B y al estadio, presentando un espesor de 1.75 metros de arenoarcilla de color amarillo oscuro y suelto, encima de esta secuencia aparece un suelo residual, con espesor de 0.52 metros, de color gris oscuro amarillento, granular, suelto, seco, altamente meteorizado con rocas y cantos esporádicos de cuarzo, chert y rocas ígneas.

Se localizan en los cambios bruscos de pendiente y en el casco urbano principalmente al nororiente (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000).

- Llenos Mecánicos. Corresponden a materiales producto de la actividad humana (desechos de construcción, materiales de descapote, de excavación, de corte de vías, terraplenes, etc.) que han sido dispuestos en diferentes sectores.

Estos llenos se distribuyen unos al sur del casco urbano, donde se construyó la carrera 5 saliendo para Cali y los otros se localizan al norte por la vía a Cartago y en la vía férrea (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000).

1.3.2.2. Estructuras Geológicas

En términos de tectónica global el departamento del Valle está localizado al noroccidente de Suramérica, sobre los Andes Septentrionales, donde interactúan tres placas tectónicas: La Suramericana, Nazca y Caribe originando eventos tectónicos durante las diferentes fases geológicas, que han tectonizado la zona, afectada por un sistema complejo de fallas que afectan el basamento y los sedimentos suprayacentes.

Existen regionalmente cuatro sistemas de fallas, siendo predominantes las fallas Norte-Sur que en su mayoría son fallas inversas de ángulo alto. Estas fallas se presentan como zonas de cizallamiento regional con movimientos horizontales de sentido derecho restringidos a la cordillera Central, estas zonas de cizallamiento se relacionan como estructura relacionadas con el movimiento principal del Sistema de Fallas de Romeral (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000).

En el municipio de Obando se encuentra dentro del área de influencia del Sistema de Fallas de Romeral, con presencia de fallas locales de importancia que influyen en la tectónica del municipio, estas son:

- La falla de dirección N-S que pasa por la zona occidental del casco urbano, la cual no es identificable fácilmente en campo ya que está cubierta por los depósitos de llanura aluvial del río Cauca.
- Al oriente la falla de Quebrada Nueva que presenta rumbo N-NE, inversa de ángulo alto buzando al este, con el bloque oriental levantado, pone en contacto la Formación Cinta de Piedra con la Formación La Paila, se localiza a una distancia aproximada de 6 kilómetros del casco urbano. Esta falla presenta un brazo paralelo que se conoce como la falla de Holguín (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000).

Pliegues

Los rumbos y buzamientos de los planos de estratificación y de los planos axiales de los pliegues son por lo general paralelos a la dirección de las Cordilleras Occidental y Central. Las deformaciones más recientes se presentan en las rocas sedimentarias terciarias, estas presentan pliegues, con ejes de dirección predominante NNE - SSW, estos pliegues son estructuras abiertas y ligeramente asimétricas (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000).

En el terciario se formaron dos amplios pliegues kilométricos producto de compresiones tectónicas en sentido E - W, el Sinclinal de Miravalle, en la Formación Cinta de Piedra, con eje de rumbo N-NE, donde el flanco occidental es más pronunciado con buzamientos de hasta 45° al W, mientras que el flanco este buza entre 25° - 30° al E, adyacente a este se encuentra el Anticlinal de Holguín, el cual plega de forma anticlinal la Formación la Paila. La Formación Zarzal es horizontal a levemente inclinada con un buzamiento no mayor de 3° al SW (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000).

La Figura 1.7 presenta la geología del municipio de Obando de acuerdo con la Plancha 243 de INGEOMINAS de 1984 hoy Servicio Geológico Colombiano SGC, el cual fue transformada al sistema de referencia Magna en el año 2013. muestra la geología del municipio de Obando, donde las unidades crono estratigráficas, son de la Formación Zarzal (Tpz) y Depósitos aluviales y llanuras aluviales (Q-al).

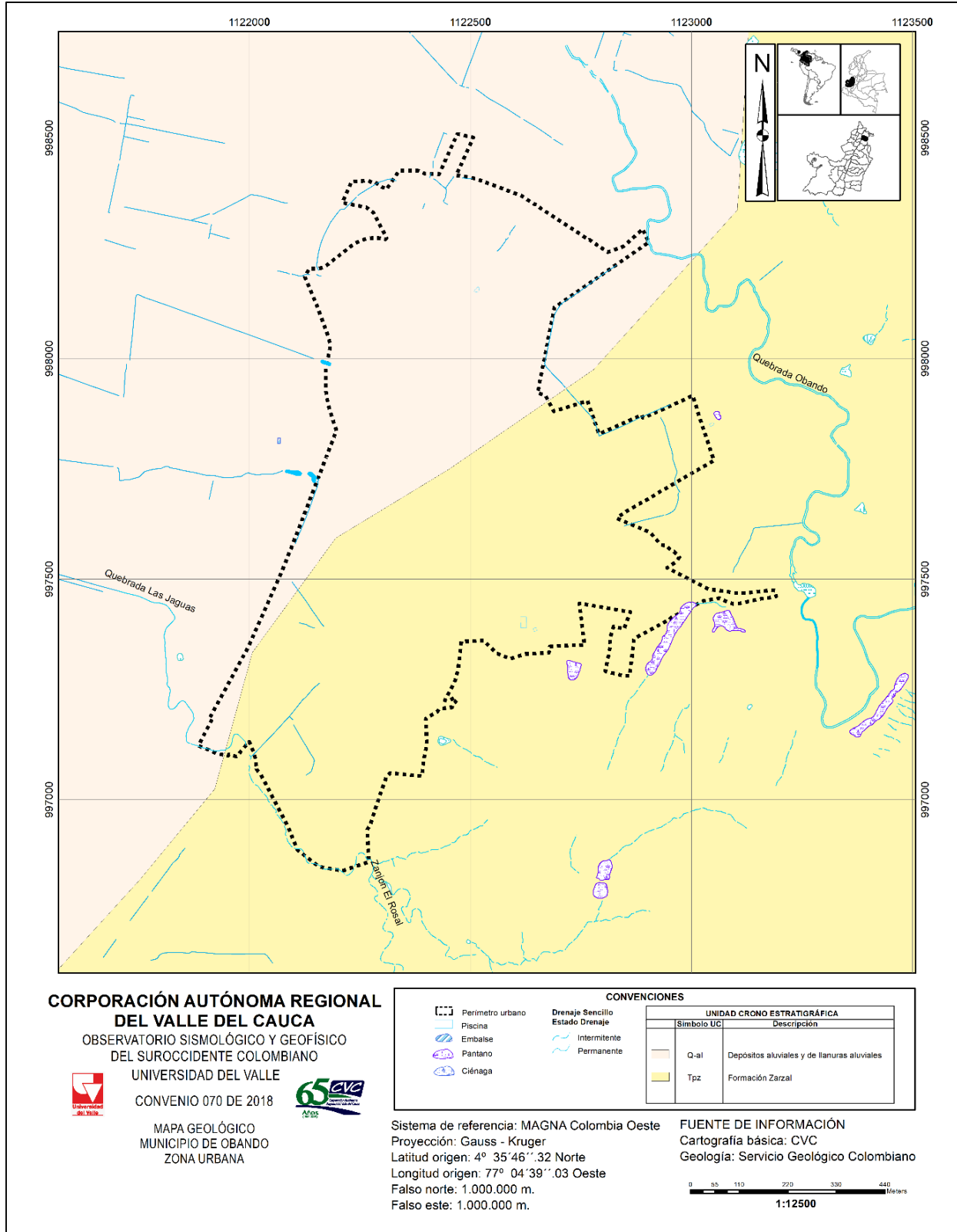


Figura 1.7. Mapa de geología zona urbana del municipio de Obando
Fuente: elaboración con datos del Servicio Geológico Colombiano, 1984

1.3.2.3. Geomorfología

En el municipio de Obando se identifican seis (6) unidades geomorfológicas:

- Relieve colinado de colinas masivas de vertiente suave y muy suave, cimas amplias con perfil plano – convexo (C2). Esta modelada en su mayoría por los materiales de la Formación La Paila y en menor proporción de la formación Zarzal. Se caracteriza por presentar colinas bajas y amplias, de vertiente convexas suaves a muy suaves y cimas de perfil plano convexo amplio. La red de drenaje poco densa de baja disección, con una sedimentación aluvial intracolina abundante, formando valles abiertos.

Los procesos de remoción están asociados a zonas de terracetas, producto del sobrepastoreo que han evolucionado en ciertos sectores a una erosión laminar dejando la roca en la intemperie. Los movimientos de masa más frecuentes son los desgarres superficiales de poco tamaño. En general toda la unidad se encuentra altamente intervenida, como zona para ganadería extensiva (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000).

- Relieve colinado de colinas con alturas moderada a alta, de vertientes intermedias, con frecuentes quiebres de pendiente y de inclinaciones moderadas, C3A. Las colinas evidencian rasgos estructurales significativos por planos de estratificación. El relieve es de colinas moderadas, con frecuentes quiebres de pendiente de formas rectilíneas y convexas, de cimas convexas estrechas y semi-agudas. La red de drenaje es más densa que el relieve denominado C2, con un patrón dendrítico a subdendrítico de moderada a baja disección, la corriente de segundo a primer orden no efímeras, las de tercer orden transcurren permanentemente con fondos planos (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000).
- Relieve colinado de carácter estructural C4A. Se localizan en la franja de Norte a Sur, limita en su borde occidental con el relieve de colinas bajas denominado C2 y en el borde oriental con el río de la Vieja. Colinas de forma rectilínea, buzamientos entre 20° y 25°, con una densidad de drenaje moderada de buena disección, formando valles en "V". Los filos de las cimas son agudos con un modelado en forma de silletas sobre la estructura de la estratificación, producto de una mayor resistencia a la erosión de algunos materiales. La unidad de relieve esta modelada en materiales de la Formación Cinta de Piedra, presenta meteorización gradual sobre los materiales más arenosos con tonalidades de rojizo a naranja. La zona es muy susceptible a los movimientos en masa y a los desgarres superficiales. La erosión en calvas y terracetas afectan zonas que han modificado los cultivos de café por ganadería intensiva (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000).
- Relieve colinado de carácter estructural de colinas equialtitudinales C4B. Presentan características similares que el relieve colinado de C4A, pero se diferencia de estas por ser equialtitudinales, esbeltas y en forma de dientes de sierra. La unidad modela en materiales de la Formación Cinta de Piedra, con una meteorización gradual sobre los depósitos más arenosos con tonalidades de rojizo a naranja. La zona está intervenida por la ganadería extensiva y café (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000).

- Llanuras aluviales del río Cauca, Qal. En terreno se presentan con superficie plana modelada en depósitos aluviales del río Cauca, conformada por gravas, arenas finas, limos y arcillas, los cuales han sido retrabajados en las actividades agrícolas. En esta unidad se tienen el canal de Obando que sirve como drenes en épocas de lluvia y a su vez como riego en épocas de sequía. Esta unidad presenta un grado de intervención muy alta, dedicada a la explotación agrícola de cultivos permanentes (caña) como cultivo dominante (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000).
- Llanuras aluviales de piedemonte, Qp. Se caracteriza por presentar geoformas en abanico, con pendientes que oscilan entre 2° y 7°, las cuales parten de un sistema de relieve colinado, con sedimentos aluviales de los tributarios al río Cauca. Presenta gradación de bloques, guijos y guijarros en su parte apical hasta arenas, limos y arcilla en la parte distal, donde se interdigita con los depósitos grueso - granulares originados por sucesivos flujos que provienen de las zonas altas del relieve colinado. La intervención en esta unidad de relieve está dada por la explotación de cultivos permanentes de caña, transitorios, frutales y ganadería extensiva (Concejo Municipal de Obando-EOT, 2000).

2. HISTORICIDAD DE EVENTOS DE INUNDACIÓN Y MOVIMIENTO EN MASA

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

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

2.1. CONCEPTUALIZACIÓN DE INUNDACIÓN Y MOVIMIENTO EN MASA

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

2.1.1. Inundación

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

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

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

2.1.1.1. Tipos de inundación

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

2.1.1.1.1. Según la duración

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

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

2.1.1.1.2. Según el mecanismo de generación

Las inundaciones se pueden clasificar en:

- Fluviales
- Pluviales
- Costeras
- Otras

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

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

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

2.1.2. Movimiento en Masa

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

2.1.2.1. Tipos de movimiento en masa

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

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

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

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

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

Deslizamiento: movimiento 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 Obando 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 Obando 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).

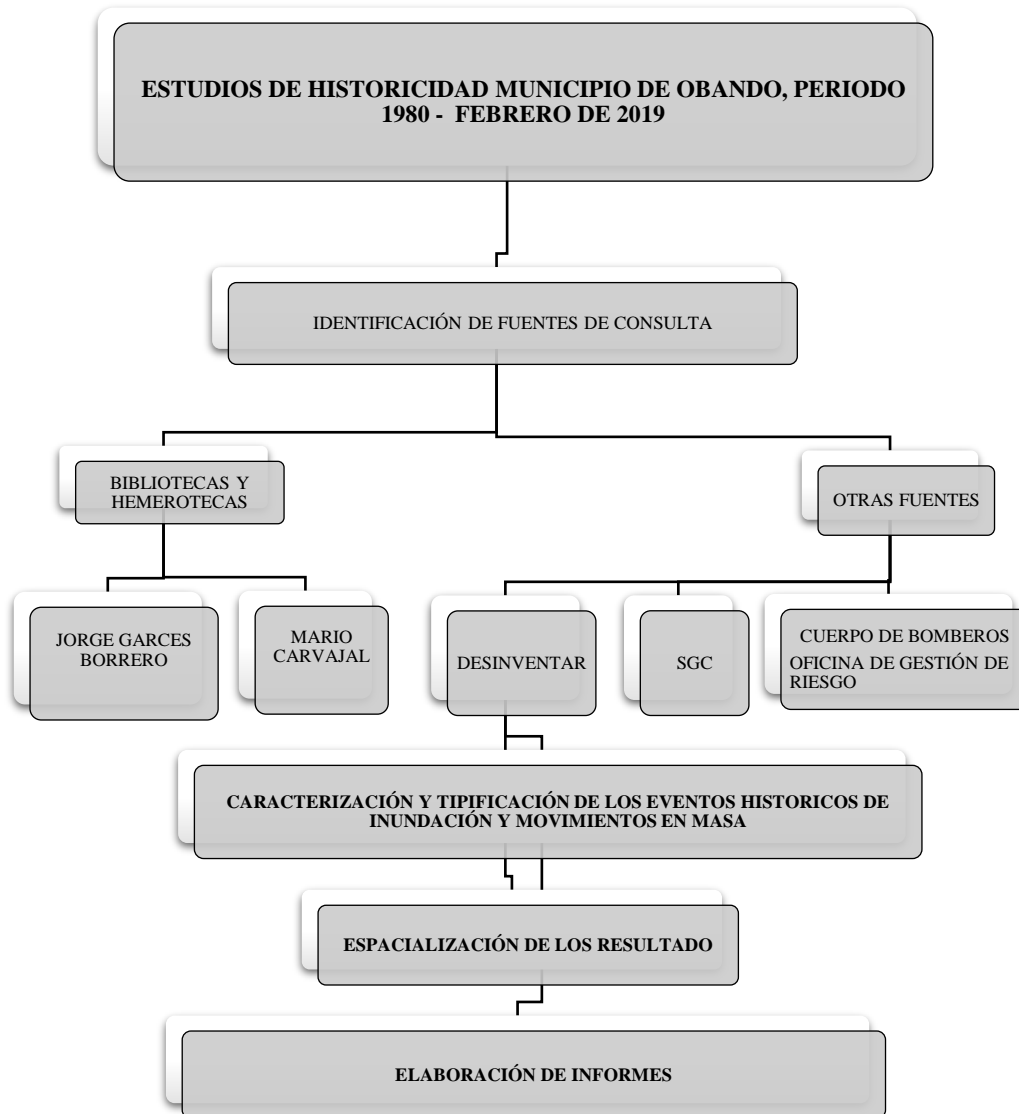


Figura 2.1. Flujograma del proceso metodológico estudios de historicidad.

Fuente: elaboración propia.

2.2.2. Espacialización de los Resultados de Historicidad

Para el municipio de Obando se utilizaron dos metodologías en el procesamiento de los datos encontrados en las diferentes fuentes de información, debido a que algunos reportes son de lugares puntuales, es decir direcciones y en otros se identifica el barrio sin que se asocie a un lugar específico. Por lo tanto, se presentan dos metodologías utilizadas para la representación cartográfica de reportes de los eventos de inundación históricos (Figura 2.2).

El procedimiento se describe en el siguiente esquema:

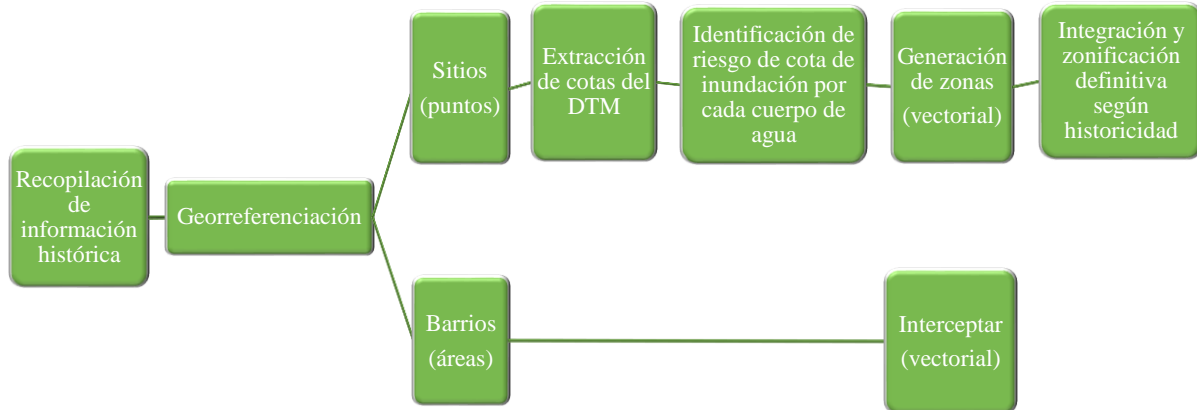


Figura 2.2. Esquema metodológico del procesamiento de los reportes

Fuente: elaboración propia

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

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

Los datos de entrada son:

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

Paso 1. Geo-referenciación de eventos puntuales

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

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

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

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

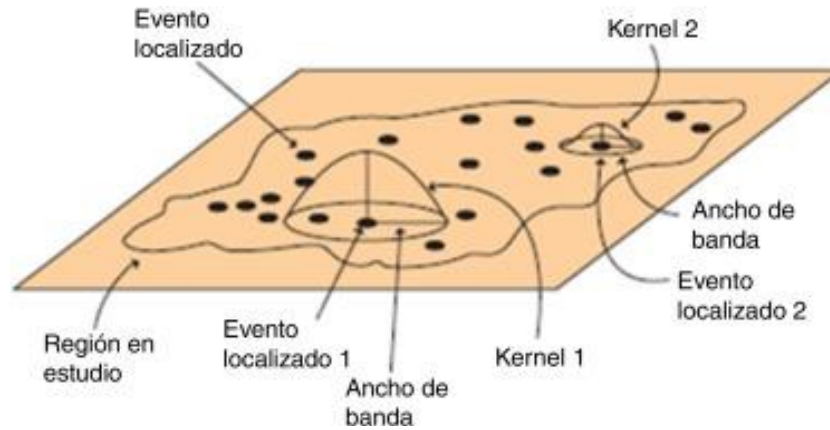


Figura 2.3. Función de densidad Kernel a diferentes anchos de banda

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).

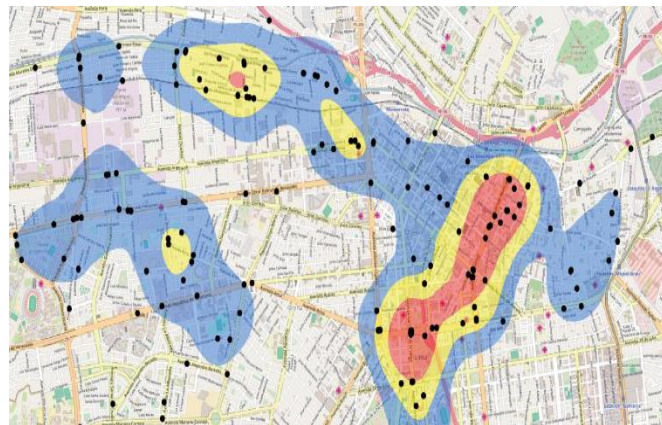


Figura 2.4. Clasificación de la densidad Kernel

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).

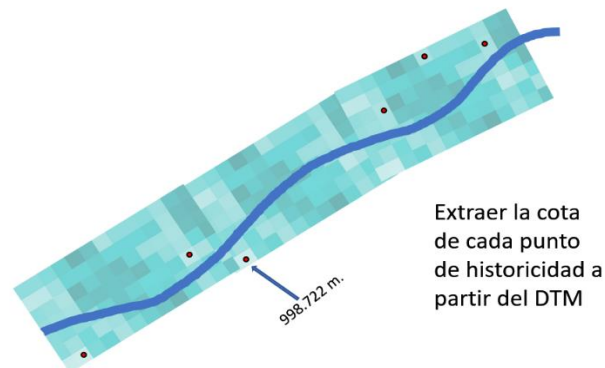


Figura 2.5. Clasificación de puntos según curvas de nivel

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.

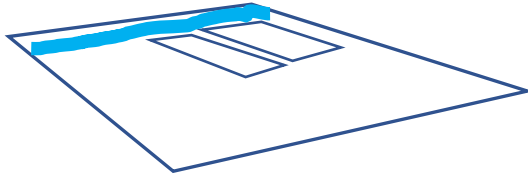
Estas áreas se deben analizar para su adición parcial o total a las áreas obtenidas por la función de densidad.

2.2.2.3. Espacialización de información histórica no puntual

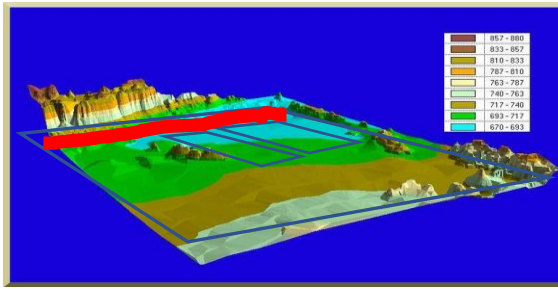
En algunos casos la información histórica no posee una localización específica, debido a que los eventos reportados no presentan una dirección puntual, sino que se hace referencia a todo barrio, un sector o una zona, con topología de área. En estos casos, con el fin de establecer un área de afectación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

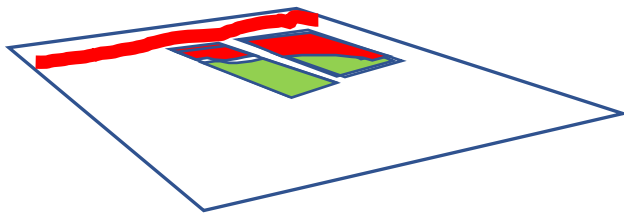


Figura 2.6. Espacialización de información histórica no puntual según curvas de nivel

Fuente: elaboración propia

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 Obando 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 Obando, esta información fue suministrada por el archivo central de la alcaldía, el cual se encuentra desde el 2006-2017 los archivos de los reportes de la minutas de guardia del Cuerpo de Bomberos Voluntario de Obando 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 2012, 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 Obando, Valle del Cauca.
6	Plan de Desarrollo Municipal	--	2016-2019	--	--	Alcaldía de Obando, Valle del Cauca
7	Esquema de Ordenamiento Territorial. EOT del municipio de Obando	--	2001 y 2009	--	--	Alcaldía de Obando, Valle del Cauca.
8	Plan Municipal de Gestión del Riesgo 2012	--		--	--	Alcaldía de Obando, 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 Obando 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 **12 reportes** por inundaciones en la zona urbana del municipio de Obando que son relevantes para el periodo 1980 – febrero 2019. En la Tabla 2.2 y Figura 2.7 se muestra el número de reportes de eventos de inundación donde los años 2008, 2014 y 2017 presentan de a 2 eventos respectivamente. Mientras que los años 2003, 2009, 2011, 2015 y 2016 con un (1) solo evento respectivamente.

Tabla 2.2. Número de reportes sobre eventos de inundación en la zona urbana del Municipio de Obando, 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	0
1981	0	1994	0	2007	0
1982	0	1995	0	2008	2
1983	0	1996	0	2009	1
1984	0	1997	0	2010	0
1985	0	1998	0	2011	1
1986	0	1999	0	2012	0
1987	0	2000	0	2013	1
1988	0	2001	0	2014	2
1989	0	2002	0	2015	1
1990	0	2003	1	2016	1
1991	0	2004	0	2017	2
1992	0	2005	0	2018	0
				Febrero 2019	0
SUBTOTAL	0	SUBTOTAL	1	SUBTOTAL	11
Total			12		

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

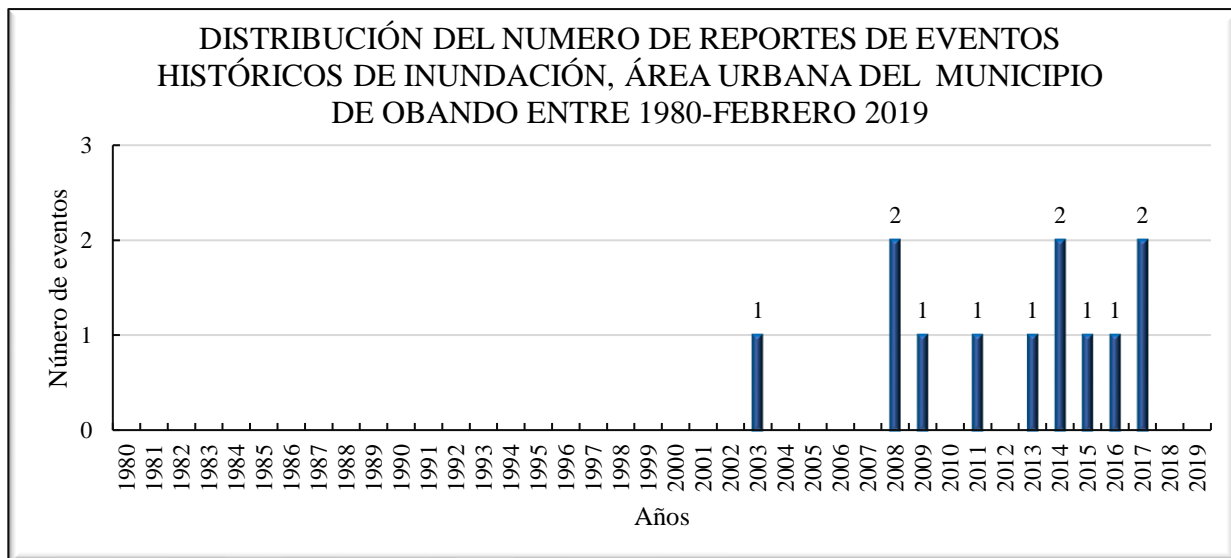


Figura 2.7. Distribución de número de reportes por eventos históricos de inundación en el periodo de 1980 febrero 2109 la zona urbana del municipio de Obando

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 Obando. Los barrios Villa Europa y Centro, son los barrios con mayor frecuencia de eventos por inundación cada uno con un total de 6. Seguido de Las Brisas y Los Almendros, con una frecuencia respectiva de 4 eventos. De 2 eventos, integran la lista los barrios, El Prado, San Jorge, El Llano, y La Virgen. Con 1 solo evento, están San Rafael, San Fernando Ciudadela Obando y Bello Horizonte. El resto de los barrios del área urbana del municipio de Obando, hasta el periodo estudiado, no presentaron algún evento por inundación.

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

BARRIO	NÚMERO DE EVENTOS	BARRIO	NÚMERO DE EVENTOS
La Esperanza	0	Sagrada Familia	0
San Rafael	1	El Lago	0
El Portal	0	Villa Del Sol	0
La Arboleda	0	Siglo Xxi	0
Silvio Vazquez	0	Villa Europa	6
El Prado	2	Centro	6
San Jorge	2	La Aurora	0
Las Brisas	4	El Llano	2
Santander	0	Ciudadela Obando	1
La Virgen	2	Bello Horizonte	1
Santa Barbara	0	Los Almendros	4
San Fernando	1	Club De Leones	0
El Jardin	0		

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

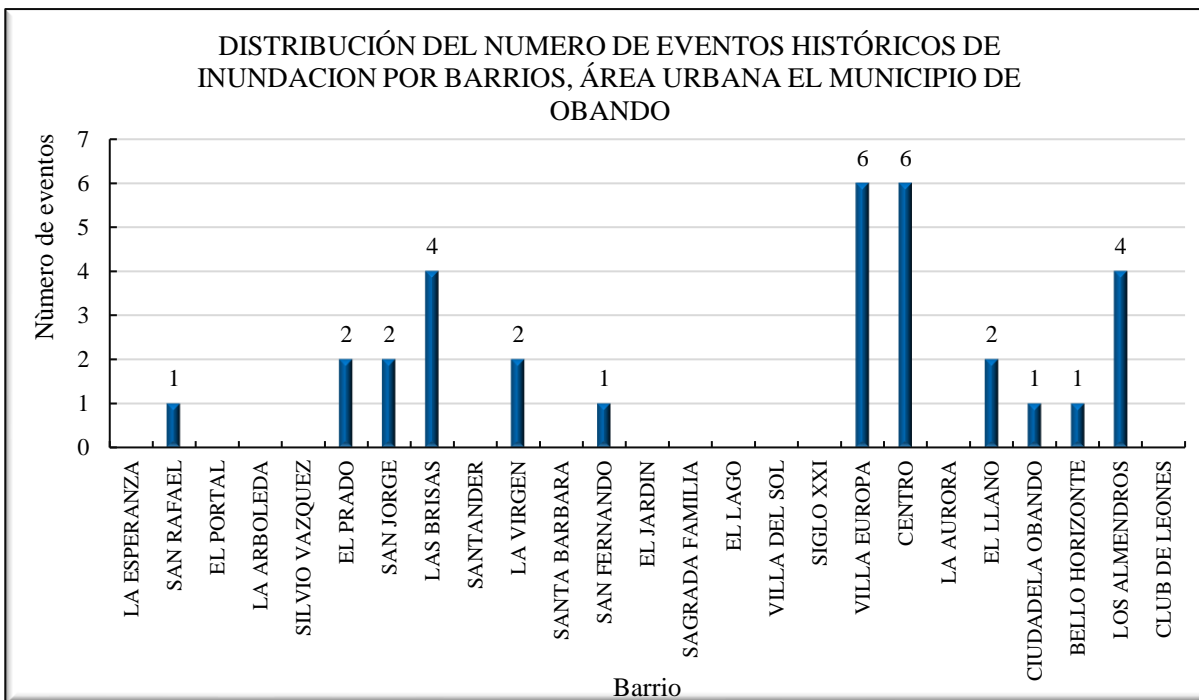


Figura 2.8. Distribución del número de eventos de inundación por barrios, área urbana el municipio de Obando

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. Base de Datos DESINVENTAR

Inundación, 18 de marzo del 2003.

Desbordamiento de la Quebrada El Naranjo, Barrio Bello Horizonte. (Anexo Ficha I-1).

Inundación, 24 de mayo del 2008

Reporte de emergencia

“A las 15:30 hrs. sale la M1 conducida por el cabo Ospina con destino al b/ El Llano cra 6^a # 7 donde la señora Sandra Milena, a quien le darán ayuda porque tiene problemas con la inundación del día anterior acompaña el cap. Purgarín. Regresan a las 16:00 Hrs. 718 719.” (Anexo Ficha I-2).

Inundación, 29 de mayo de 2015

CDGRD VALLE DEL CAUCA:

Informa que dado al fuerte aguacero que se presentó en horas de la tarde en el municipio de Obando; y después de haber realizado la verificación del caso por parte de los organismos de socorro; al momento tenemos el siguiente reporte preliminar: viviendas afectadas: 17 locales comerciales: 5. Instalación alcaldía municipal: 1. sedes educativas: 2- una zona rural y una zona urbana; las viviendas afectadas perdieron colchones y otros muebles. se presentaron inundaciones en las calles principales del municipio por que colapsaron las redes de alcantarillado; y una creciente súbita de 2 quebradas sobre la vía principal que comunica Obando - la victoria; y la victoria - Obando; ocasionando restricción en el paso de vehículos estaremos realizando en horas de la mañana un nuevo reporte con información actualizada. - 400 nota: este registro se relaciona con el registro de la fecha: 2014 -05-29” (Anexo Ficha I-8).

2.3.1.1.2. Archivo del Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Obando Inundación, 8 de julio del 2008

“A las 20:00 Hrs. regresa la M4 Y M2 con las 8 unidades sanas y salvas con la misión cumplida y en compañía de la máquina de bomberos la victoria con 4 unidades que apoyaron la operación. El informe queda pendiente hasta el arribo de la cruz roja. Apoyaron también 4 unidades de la D.C

Obando Julio 08-2008 siendo las 20:20 cuando el oficial de servicio reporta inundación en un 40% de la población por el fuerte aguacero caído en la tarde de hoy 8 de los (...)
A las 20:30 hrs. Arriba la cruz roja a este cuartel con el siguiente informe:

Casas afectadas: $89+23=112$
Familias: 104 afectadas $104+23=127$
Hombres: 113 afectados $113+29=142$
Mujeres 116 afectadas $116+30=146$
Niñas 201 afectadas $201+29=230$
Niños 117 afectados $114+25=142$
Total, personas afectadas 787 con pérdidas materiales como: colchones, frazadas, mercados.

Siendo las 7:00 Hrs termino el turno de 12 hrs nocturnas en el cual no hubo más novedad de la anotada anteriormente. El cuartel en general permanece sin faltantes en pertenencias bomberiles y particulares.” (Anexo Ficha I-3)

Inundación, 24 de enero de 2009

“Comisión hacia Caicedonia Valle, reunión comandantes 8:00 am sale comandante capitán Reyes sargento de la Rosa Cra 6ª N° 6ª-99 molina. Inundación- policía avisa Villa Europa inundación avisa joven no dio el nombre Eliana Agudelo Cra 6 N° al frente la panadería Anuncia inundación salida para molina por un sifón se inundó todo en seguida de Gloria Álvarez.” (Anexo Ficha I-4).

Inundación, 18 de octubre de 2011

“16:55 PM Sale del cuartel de bomberos la M4 conducida por el sargento Alexander Ospina Amando. El bombero Juan Camilo Ospina y aspirante José Javier López Bueno para hacer un recorrido por los sitios inundados barrio Ciudadela y barrio San Fernando, autorizado por capitán Blanca Nubia Montoya.

17:10 pm regresa al cuartel de bomberos la M4 conducida por el sargento Alexander Ospina y personal abordo el cual hizo un recorrido por el barrio Ciudadela y barrio San Fernando: no encontrando novedad alguna informo el sargento Alexander Ospina y se pasó reporte a la central.” (Anexo Ficha I-5).

Inundación, 15 de marzo de 2013

“18:35 horas Sale M5 conducida por el sargento Alexander Ospina acompañado del bombero Juan Camilo Ospina y Aspirante José López para el barrio el llano carrera 6 con calle 5 esquina, informa el señor Marino Palta, para succionar agua, en el patio se inundó debido a la lluvia.

Regresa la M5 19:30 Horas con el siguiente reporte en el sitio se encontraba inundado la parte de atrás de la vivienda con una profundidad del agua de 80cm de alto, se procedió a succionar, quedando totalmente sin agua, sin ninguna más novedad. Se pasa reporte a la central de emergencias.” (Anexo Ficha I-6)

Inundación, 17 de mayo de 2014

Inundación en dos viviendas por atascamiento de basuras en cañerías, Carrera 5 # 2-08; Carrera 5 # 5-38. (Anexo Ficha I-7).

Inundación, 16 de mayo de 2015

“Salen después de terminar de caer el aguacero que cayó en el municipio de Obando Valle del Cauca también la señora Dignora López del supermercado Dimarco dijo que iba a demandar a bomberos a ella informó que cuando está cayendo mucha agua no se puede hacer nada que cuando escampe si se puede proceder en la emergencia barrios donde reportaban y no deban el nombre porque no se atendía esa emergencia **Villa Europa, los Almendros, la 5ta ola, Cantarillo, la Nave y El Prado.**

17:54 pm la entrada al cabo López con la novedad anteriormente anotada y se llevaron la motobomba que trajo el señor Marino Badillo sin más novedad guardia saliente Héctor Dorian Medina Montoya guardia entrante cabo López castillo José.

18:11 pm regresa al cuartel de bomberos la M4 con personal abordo y conducida por motorista Milton Cesar Arango y armado de comando de incidente: capitán José Alcibíades Pulgarín de 4 unidades mencionadas arriba y siguiente informa inundación **iglesia pentecostés unida de Colombia en calle 5 carrera 2 # 4 67** con CC. 4451182 **villa Europa frente vía férrea, la arabia Marín: y calle 5 carrera 3 y 5** señora Amanda Trujillo y **calle 5 carrera 53 y 5** casa de la profesora Violedy Casierra y **calle 5 carrera 3 y 5** casa del

señor Audor Galvis y **carrera primera barrio las brisas # 1ª 18** ruptura de cañería y 02 canales del señor José Javier López Castillo con CC. 6455942 de Obando Valle y celular 3168290250 total **06 casas inundadas** por el fuerte aguacero que cayó en el municipio de Obando Valle del Cauca y no se pasó reporte a la central porque no hay comunicación con la central porque el radio base no funciona del día 15 de mayo 2015 y se pasó el informe a secretaria de gobierno Luz Adriana y bomberos. **Carrera 3-47** inundado por almacenamiento de aguas lluvias en corredor en la segunda planta sin nivel para que el agua salga la cual se le informó a mi capitán Blanca Nubia Montoya y Mi Capitán Carlos Alberto Reyes.

Obando, mayo 16 015 siendo las 19:56 horas pasó revista al cuartel dándome por enterado de las novedades que se presentaron por el fuerte aguacero que se necesitó en el día de hoy cinco (5) servicios prestados por el personal bomberil (Inundaciones).” (Anexo Ficha I-9)

Inundación, 16 de mayo de 2016

“16:10 pm sale la M5 del cuartel de bomberos conducida por motorista Milton Cesar Arango y con el siguiente personal bombera Marta Cecilia Amador, aspirante Kevin Franco y Héctor Vargas y aspirante María Noelia para control de inundación en diferentes partes del municipio de Obando Valle por la iglesia pentecostal y barrio San Rafael y barrio las brisas por divino niño y barrio el centro el Ara reporta guardia de turno cabo López Castillo José Javier.

17:26 pm sale del cuartel de bomberos la M4 conducida por motorista Milton Arango y con el aspirante María Noelia y Kevin Franco Vargas y Héctor Vargas y bombera Martha Cecilia para continuar en los sitios mencionados anteriormente arriba sacando el agua de las viviendas inundadas por el fuerte aguacero y quedando pendientes los reportes que traiga el comando de incidente y reporta guardia de turno cabo López José Javier.

Entrego la guardia de bomberos con todo cuanto hay en el cuartel bomberil con 02 carpas que llegaron en la M4 del vestier y M8 fuera de servicio y M3 con radiadores motos un radio base sin sonido y M4 fuera del cuartel con 05 unidades en emergencia al guardia entrante Héctor Dorian Medina Montoya y guardia saliente sin más novedades cabo López Castillo José Javier y guardia...

En la carrera 2 # 4 – 67 iglesia pentecostal Pastor Pedro Nel Loaiza CC. 2.517.275 se procedió a sacar el agua de adentro de esta iglesia sin daños de enceres se succionó con motobomba.

En la carrera 4 # 2-45 barrio centro la señora María Viviana Sánchez con CC.1113593860 se procede a sacar el agua de esta vivienda sin pérdida de enceres causas de la inundación fuertes lluvias y poca capacidad en las tuberías inundando y en el barrio brisas en el divino niño no se hizo nada se presentaron en este barrio y los trataron muy mal que no era hora de llegar en barrio san Rafael ya había bajado el cauce del agua sin más novedades guardia de turno Héctor Dorian se pasó este reporte a la central de emergencias.” (Anexo Ficha I-10)

Inundación, 24 de noviembre de 2017

“19:30 pm regresa al cuartel de bomberos la M5 conducida por motorista Kevin Franco y aspirante Luz Elena Echeverri Amando con el siguiente reporte calle 3 # 5.138 Barrio la Virgen Alba Lucy Ríos Sánchez CC. 94.693.955 y celular 3177130079 se presentó inundación en vivienda por agua lluvia rebosamiento de cañería siendo perjudicados 4 electrodomésticos camas, armarios colchones y solicita la señora Alba Lucy des taponamiento de cañería de emergencia y reporta a la central de emergencia y reporta guardia de turno cabo López José.” (Anexo Ficha I-11)

Inundación, 25 de noviembre de 2017

Salieron hacer el recorrido a la quebrada del Garan.

19:29 Regresa al cuartel de bomberos la M5 conducida por el operador Kevin Franco Vargas y Aspirante Héctor Nelson Vargas y acompañando bombero Wilmar de Jesús Bueno López con el siguiente reporte...Escuela Santander inundación de los salones por la parte de comedor de los estudiantes 04 salones inundados.

Abelardo Antonio Gallego Botero que cuida CC. 16.356.067 celular 310.774.1387 coordinadora Leticia Moncada.

Barrio la Virgen: calle 3 # 5-138 casa de la señora Alba Lucy Ríos Sánchez CC. 24.613.955 y celular 317.713.0079 inundación por aguas lluvias y rebosamiento de cañería y Albeiro Toro que reporta con CC. 1.113.543.873, controlada.

Barrio San Jorge Carrera 50 # 149 casa de la señora Rosalba Arce CC. 29.622.040 y celular 315.581.8077 inundación por aguas lluvia y rebosamiento de cañería y controlada y le hacen monitoreo a la quebrada del Naranjo que no presenta peligro de rebosamiento de agua.

Y los reportes mencionados anteriormente arriba fueron reportados a al centra de emergencia y me reporta guardia de turno cabo López José. (Anexo Ficha I-12)

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 Obando en el periodo de 1980- febrero 2019. De los cuales 2 eventos fueron de carácter fluvial, y 10 eventos fueron identificados como resultado a condiciones pluviales.

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

FECHA DEL REPORTE DEL EVENTO	FLUVIAL	PLUVIAL
18/05/2003	X	
24/04/2008		X
08/07/2008		X
24/01/2009		X
08/10/2011		X
15/03/2013		X
17/05/2014		X
29/05/2014	X	
16/05/2015		X
06/05/2016		X
24/11/2017		X
25/11/2017		X

Fuente: elaboración propia

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

Para la elaboración cartográfica de los mapas de inundaciones históricas en el área urbana del municipio de Obando, 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 Centro, Villa Europa, Brisas y Los Almendros, son los barrios con mayor frecuencia histórica de inundaciones. En categoría media están los barrios El Llano, La Virgen, San Jorge. Y con baja frecuencia San Rafael, San Fernando, Bello Horizonte y Ciudadela Obando.

Los reportes históricos puntuales de inundaciones, se obtuvo mayores reportes en las Carreras 5 y 6, y Calle 5 con Carrera 2. Siguiendo las evidencias la mayoría de los reportes son por encharcamiento, escorrentía y por falla en el servicio de alcantarillado, y sumado a que el municipio se construyó sobre depósitos aluviales (zonas de inundación, terrazas aluviales y abanicos aluviales) de las Quebradas El Naranjo, Quebrada Las Jaguas y de los drenajes que dirigen las aguas de las colinas ubicadas al Este hacia el valle aluvial (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 con su topografía, se determina que área de ese barrio es más susceptible a inundarse.

El barrio El Centro comparte las tres categorías de susceptibilidad histórica a inundarse, hacia el norte del barrio es alta, parte centro sur, es media y sur oriente, es baja. Los barrios Villa Europa, San Jorge, La Virgen, El Llano, Los Almendros, Ciudadela Obando, Bello Horizonte son de clase alta a inundación. El barrio San Fernando, tiene condición media y San Rafael y barrio Las Brisas, son categoría baja (Figura 2.11).

En la Figura 2.12, muestra la información la unión de los eventos puntuales y de barrios en el área urbana del municipio de Obando.

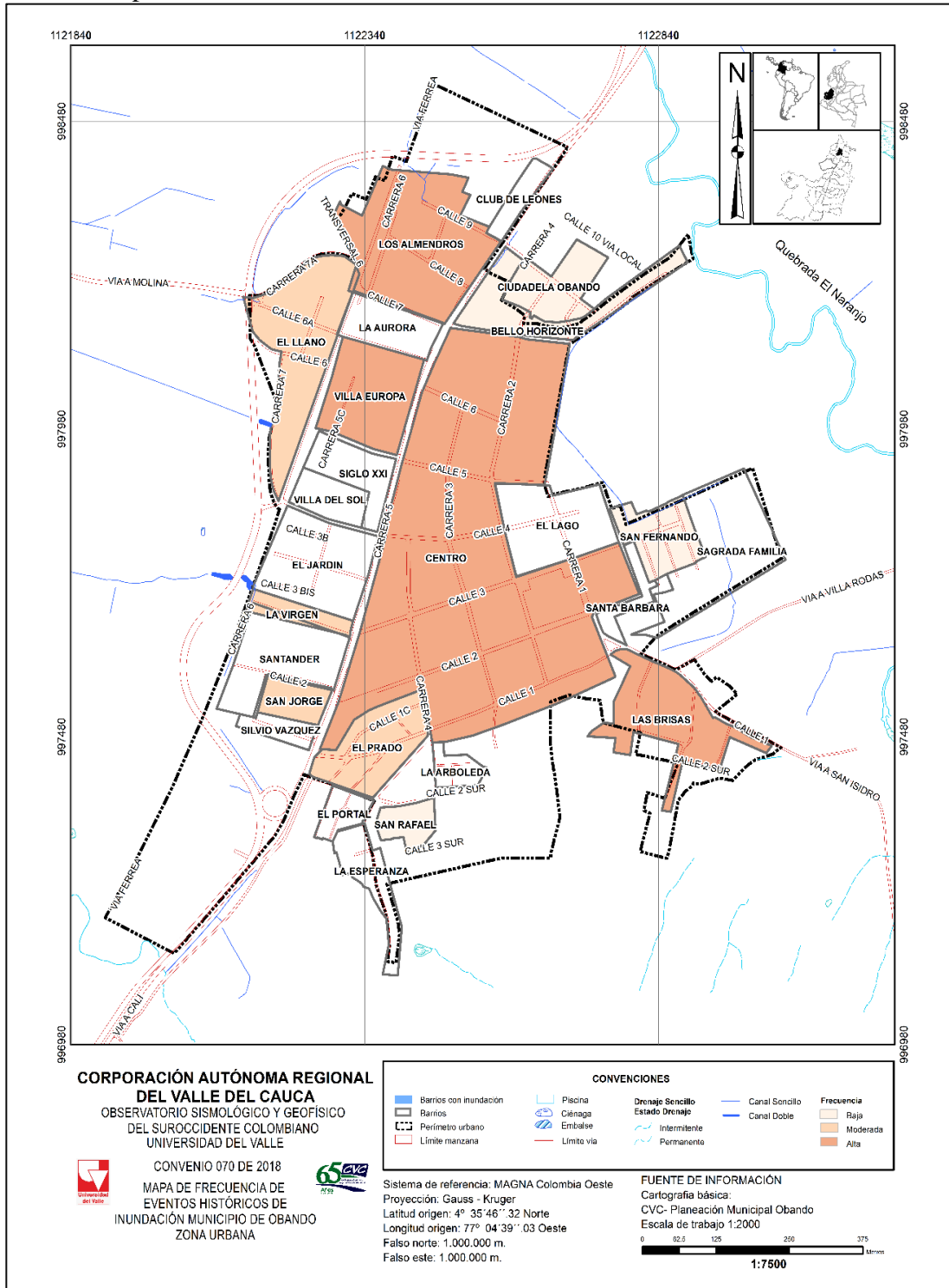


Figura 2.9. Mapa de frecuencia de eventos de inundación registrados en los barrios de la zona urbana del municipio de Obando

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

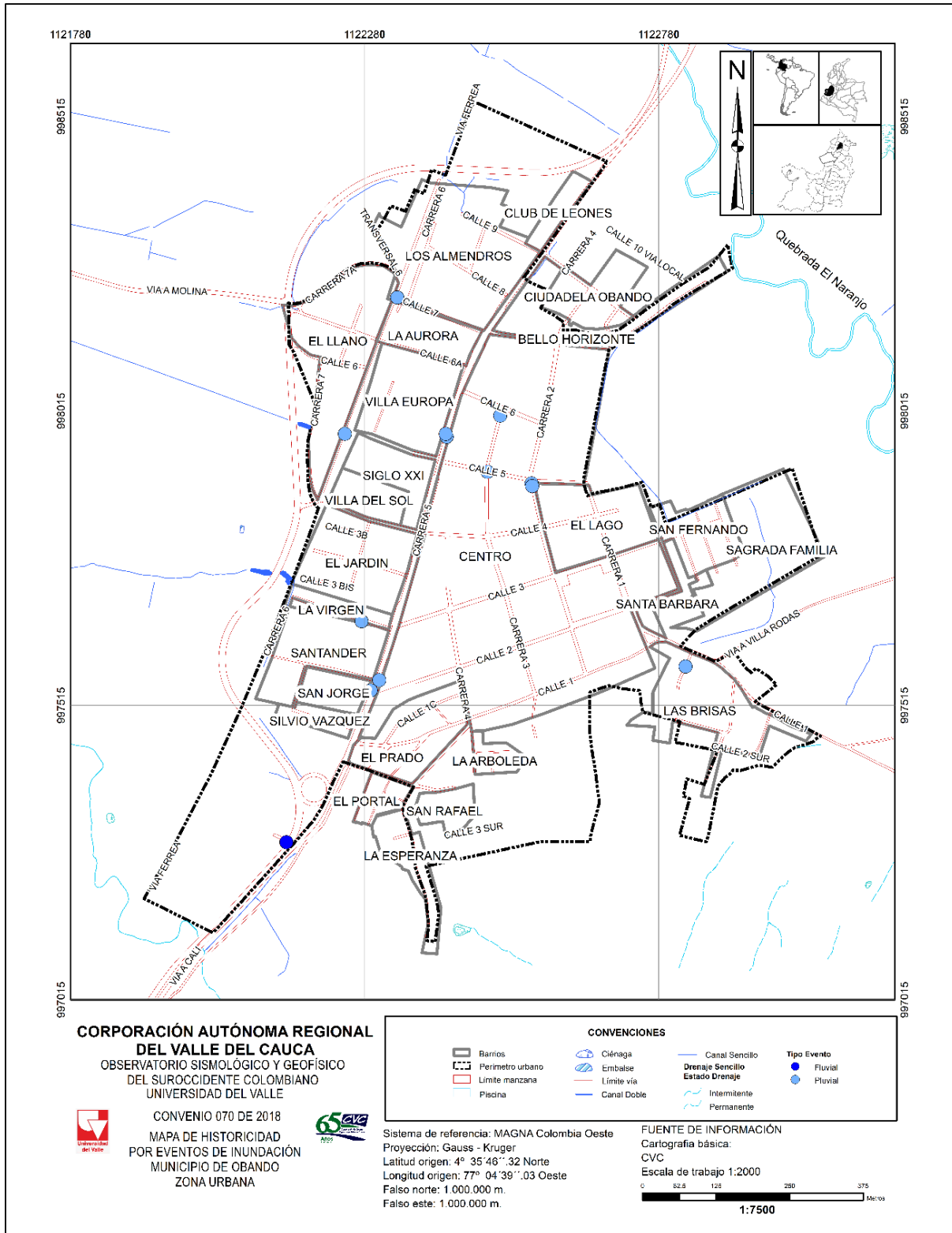


Figura 2.10. Mapa de historicidad por eventos puntuales de inundación, zona urbana del municipio de Obando

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

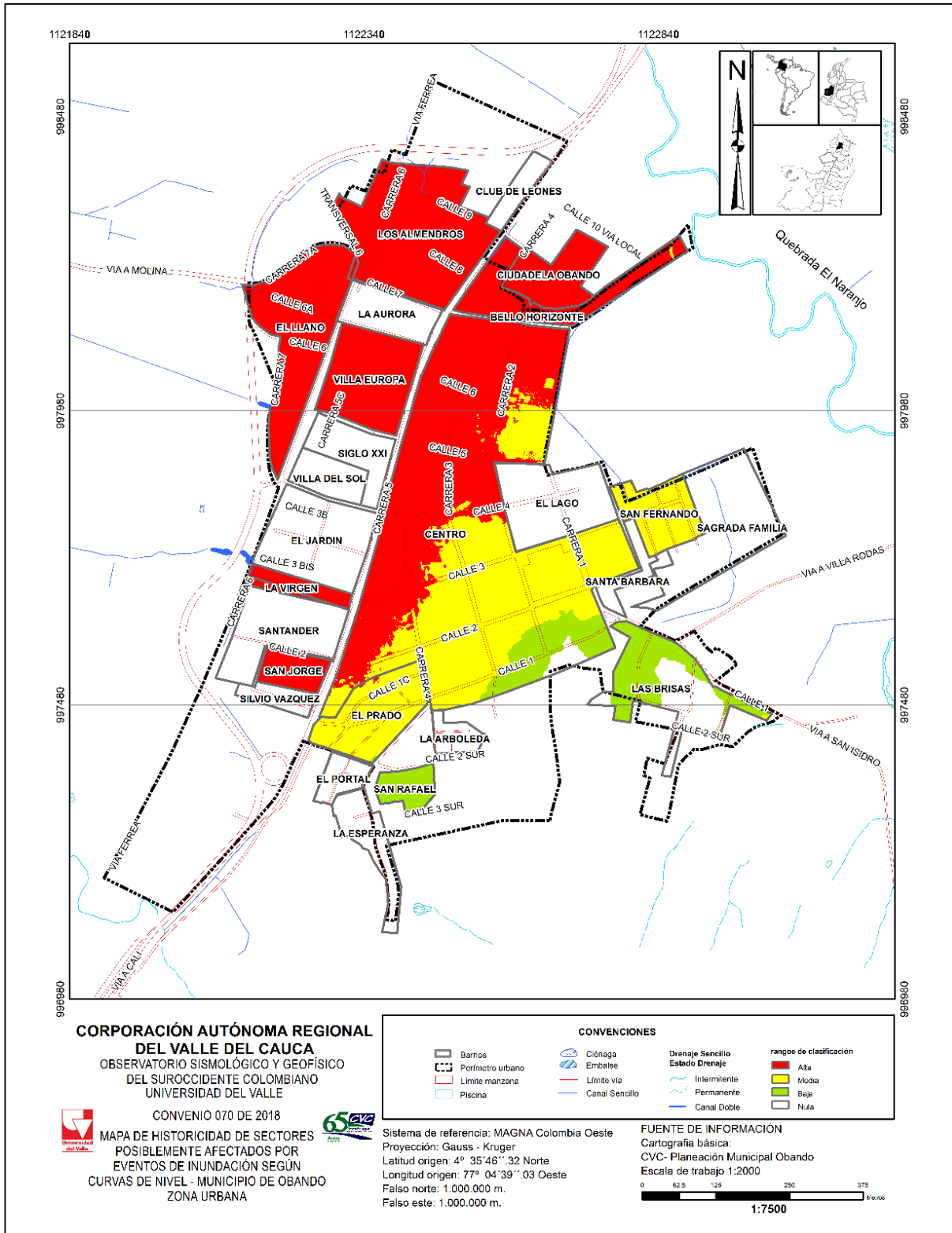


Figura 2.11. Mapa de historicidad de sectores posiblemente afectados por eventos de inundación según curvas de nivel, zona urbana del municipio de Obando
Fuente: elaboración propia con información recolectada en campo, (2019)

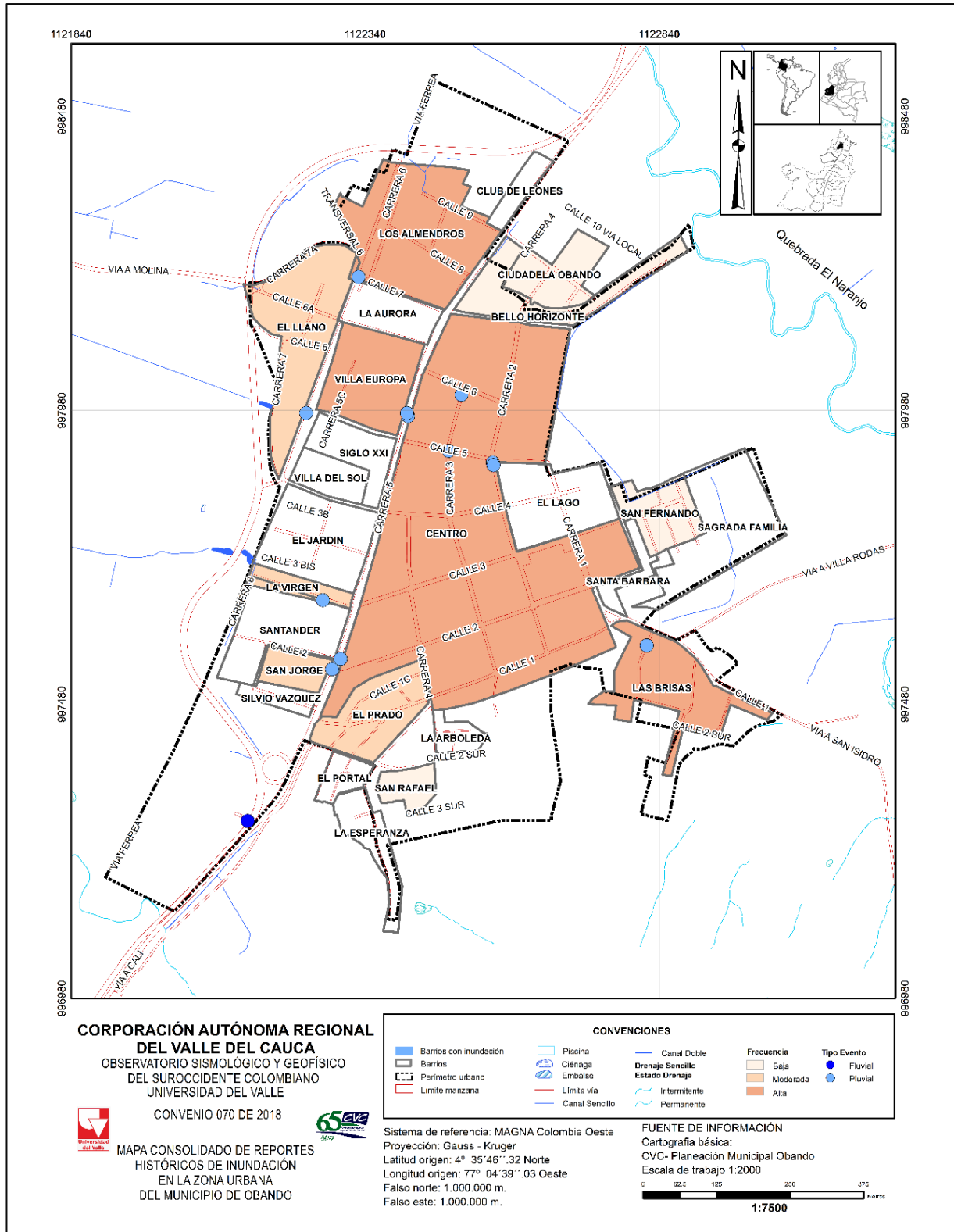


Figura 2.12. Mapa consolidado reportes históricos de inundación, área urbana municipio de Obando

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 Obando 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 Obando, 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 Obando durante el periodo 1980 hasta febrero de 2019

ID	FECHA DEL EVENTO	CAUSA	AFLUENTE	LOCALIZACIÓN	SECTOR			AFECTACIONES				OBSERVACIONES	TIPO DE FUENTE DE INFORMACIÓN	LOCALIZACIÓN
	DIA/MES/AÑO			URBANA				BARRIO	DIRECCIÓN	N° VIVIENDAS AFECTADAS	N° DAMNIFICADOS			
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
I-1	18/05/2003	Desbordamiento	Quebrada El Naranjo	X	Bello Horizonte	ND	50	ND	ND	ND	ND	Base de datos	DNPAD (2019)	
I-2	24/04/2008	Déficit Alcantarillado	ND	X	Barrio El Llano	Carrera 6ª # 7	1	ND	ND	ND	Se presenta inundación por lluvias en patio de una casa.	Archivo Minuta	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Obando	
I-3	8/07/2008	Lluvias	ND	X	Centro	ND	112	787	ND	ND	Fuerte aguacero afectó el 40% de la población	Archivo Minuta	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Obando	
I-4	24/01/2009	Lluvias	ND	X	Villa Europa	ND	1	ND	ND	ND	inundación barrio Villa Europa por taponamiento de sifón	Archivo Minuta	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Obando	
I-5	8/10/2011	Lluvias	ND	X	San Fernando y Ciudadela	ND	ND	ND	ND	ND	El fuerte aguacero abnegó el patio	Archivo Minuta	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Obando	
I-6	15/03/2013	Lluvias	ND	X	El Llano	Carrera 6 con calle 5	1	ND	ND	ND	Inundación de 80cm de alto en parte de atrás de vivienda.	Archivo Minuta	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Obando	
I-7	17/05/2014	Lluvias	ND	X		Carrera 5 # 2-08 ; Carrera 5 # 5-38	2	ND	ND	ND	Inundación en dos viviendas por atascamiento de basuras en cañerías.	Archivo Minuta	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Obando	
I-8	29/05/2014	Desbordamiento	Quebradas NN	X		Vía principal comunica con Obando con La Victoria.	17 locales comerciales, 5 instalaciones en la alcaldía, 1 institución educativa			colchones y otros muebles	Fuete aguacero causó inundaciones en las calles principales de la zona urbana por desbordamiento de dos quebradas NN que están ubicadas sobre la vía que comunica a Obando con La Victoria. También hubo colapso de alcantarillado	Base de datos UNGRD	Datos Abiertos Colombia (2019)	
I-9	16/05/2015	Lluvias	ND	X	Villa Europa, Los Almendros,	Carrera 2 # 4-67 ; Calle 5	6		ND	ND	Inundación por fuerte aguacero,	Archivo Minuta	Cuerpo de Bomberos	

ID	FECHA DEL EVENTO	CAUSA	AFLUENTE	LOCALIZACIÓN	SECTOR			AFECTACIONES				OBSERVACIONES	TIPO DE FUENTE DE INFORMACIÓN	LOCALIZACIÓN
	DIA/MES/AÑO			URBANA	BARRIO	DIRECCIÓN	N° VIVIENDAS AFECTADAS	N° DAMNIFICADOS	PERDIDAS ECONOMICAS	OTROS				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	
					La 5ta Ola, Cantarillo, La Llave, El Prado, Villa Europa (Frente a la vía Férrea), La Arabia ; Las Brisas	con carrera 3 ; Calle 5 Carrera 53-5 Carrera 1ra # 1a -18					ruptura de cañería y dos canales		Voluntarios de Obando	
I-10	6/05/2016	Lluvias	ND	X	San Rafael, Las Brisas, Divino Niño, Centro.	Carrera 2 # 4 - 67	1	ND	ND	Iglesia Pentecosta 1	ND	Archivo Minuta	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Obando	
I-11	24/11/2017	Lluvias	ND	X	La Virgen	Carrera 3 # 5-185	1	ND	Camas, armarios, colchones	ND	Por taponamiento de cañería rebosamiento causa inundación	Archivo Minuta	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Obando	
I-12	25/11/2017	Lluvias	ND	X	La Virgen, San Jorge	Carrera 3 # 5-185 ; Carrera 50 # 149	2	ND	ND	Escuela Santander	Fuerte aguacero causa inundación, déficit de alcantarillado, monitoreo quebrada El Naranjo, sin desbordamiento	Archivo Minuta	Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Obando	

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 Esquema de Ordenamiento Territorial (EOT).

Para el caso de la cabecera del municipio de Obando 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 Obando, para el casco urbano registrados durante el periodo de 1980 – febrero de 2019, han sido escasos, tan solo se cuentan con 1 registro, del 17 de noviembre de 2002, registrados en la fuente el Diario El País

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. Periódico El País

Movimiento en masa, 17 de noviembre de 2002,

Cien familias de Obando, en riesgo.

“Organismos de socorro iniciaron evacuación de los habitantes. Casa fueron adecuadas durante el proceso de reconstrucción del Eje Cafetero.

Redacción del El País, Cartago

El agrietamiento y desprendimiento de masas de tierra de una montaña cercana al barrio San Rafael II Etapa en Obando, tiene un alto riesgo a las cien familias que habitan en el sector.

Por ello los organismos de socorro de la localidad declararon la alerta en la zona, e iniciaron la evacuación de sus habitantes ante el inminente riesgo de que un deslizamiento sepulte sus casas.

Pese a que dicha urbanización hizo parte del proceso de reconstrucción de los municipios afectados por el terremoto del Eje Cafetero, los estudios realizados para su adecuación no permitieron determinar el riesgo actual.

En consecuencia, hasta la fecha un total de nueve familias han sido desalojadas de sus viviendas y albergadas en la antigua estación de Policía, la caseta comunal y algunas escuelas del Municipio.

Según informaron miembros del comité Local de emergencias, CLE, se prevé que en los próximos días 30 familias sean reubicadas en lugares más seguros.

“esta zona no está incluida dentro del área de alto riesgo por deslizamientos comprendida en el POT. Las casas se construyeron bajo todas las especificaciones técnicas y como tal no existían temores ni limitaciones para su ejecución” aclaró Fernando Osorio, presidente de la Junta de acción comunal, JAC del barrio.

El Sargento Gonzalo Varona, miembro del cuerpo de bomberos voluntarios de Obando CBV, afirmó que desde hace seis meses la montaña ha presentado agrietamientos, por lo cual desde esa fecha se lanzó la alerta sobre una posible falla geológica en la zona.

Por su parte, John Mario Vélez, alcalde de Obando, precisó que, aunque hasta el momento la emergencia no ha cobrado víctimas ni generado pérdidas materiales, el problema requiere atención inmediata.

“necesitamos con urgencia la presencia de geólogos que diagnostiquen el origen de la falla y determinen los mecanismos de solución”, dijo el mandatario.

Agregó que debido al incremento del invierno podría ocasionar deslizamientos que también afecten a familias de los barrios contiguos, sobretodo La Esperanza y San Rafael, I etapa.

Al respecto, Carlos Delgado miembro del CBV, aseguró que el jueves pasado fue instalado en la montaña un equipo de monitoreo que permitirá un reporte del área afectada durante las 24 horas del día.” (Anexo MM-1).

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

La especialización del evento encontrado en la zona urbana del municipio de Obando se puede observar en la Figura 2.13, teniendo como único reporte en el barrio San Rafael II.

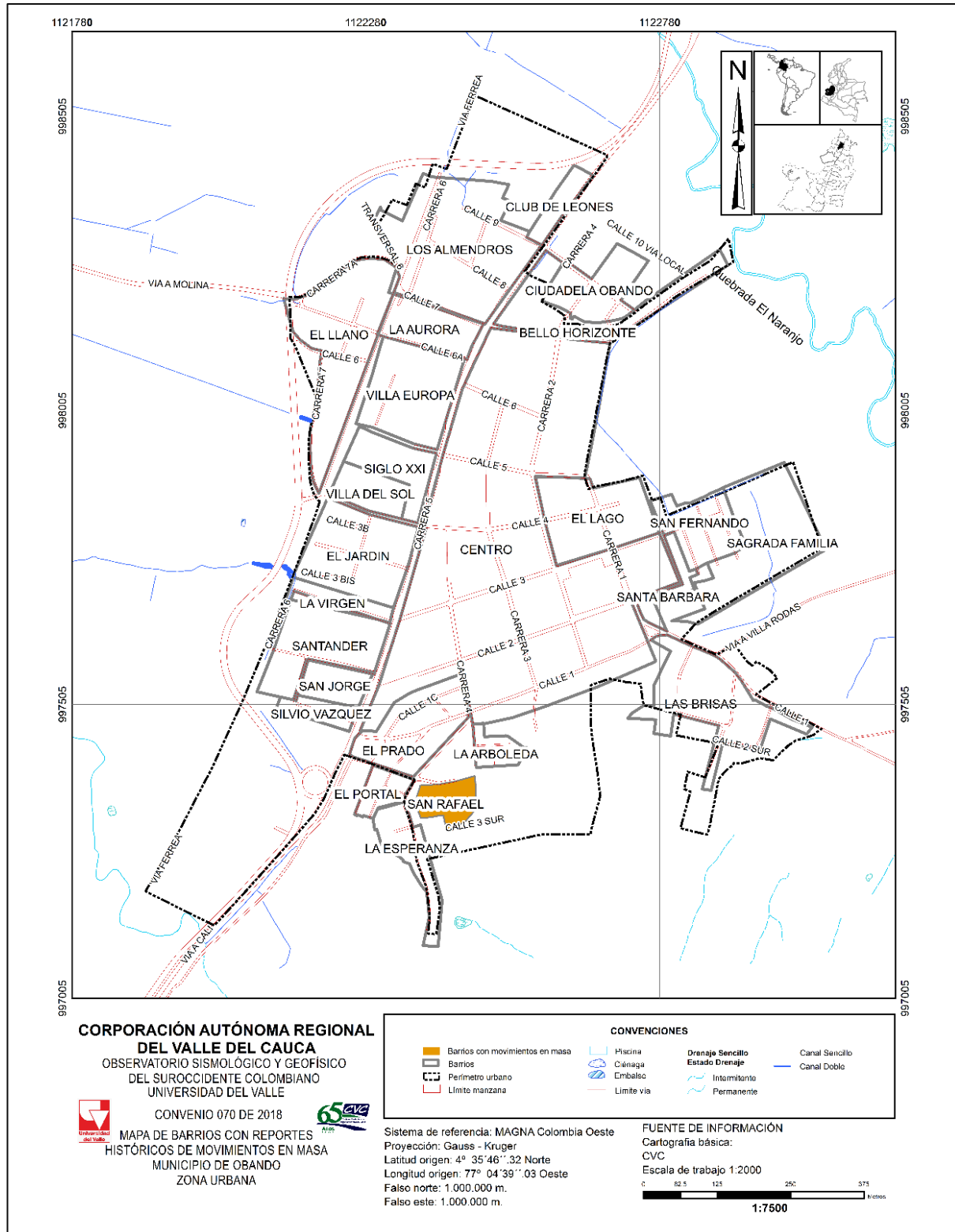


Figura 2.13. Mapa de historicidad por eventos históricos de movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Obando

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 Obando periodo 1980-febrero 2019

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

ID	FECHA DEL EVENTO	LOCALIZACIÓN	SECTOR		CAUSA	AFECTACIONES				OBSERVACIONES	TIPO DE FUENTE DE INFORMACIÓN	LOCALIZACIÓN
	DIA/MES/AÑO	URBANA	BARRIO	DIRECCIÓN		N° VIVIENDAS AFECTADAS	N° DAMNIFICADOS	PERDIDAS ECONOMICAS	OTROS			
1	2	3	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
MM1	18/11/2002	X	San Rafael II etapa	ND	Lluvias	9	100 Familias	ND	ND	El agrietamiento y desprendimiento de masas de tierra de una montaña cercana al B. San Rafael II etapa tiene en alto riesgo a 100 familias que habitan el sector	Diario El País	Hemeroteca Biblioteca Departamental Jorge Garcés Borrero

ND: No hay Datos

Fuente: elaboración propia

2.5. TALLER DE SOCIALIZACIÓN Y VALIDACIÓN

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 Cuerpo Benemérito Voluntarios de Bomberos de Obando, Secretaria de Planeación, Secretaría de Gobierno, Líderes Comunitarios, Defensa Civil, Policía Nacional, CVC y Universidad del Valle (Figura 2.14).

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

Para el fenómeno de inundación (Figura 2.15), los integrantes espacializaron en el plano cartográfico las zonas que tenían conocimiento de inundaciones anteriores, diferenciándolas si eran pluviales o fluviales. En el caso de las inundaciones pluviales, identificaron varios segmentos que relacionaron a algunas vías dentro y alrededor de los barrios (Como Centro, Sagrada Familia, El Lago, Prado, Villa Europa y Los Almendros).

El Barrio Horizonte, identificaron una zona de desbordamiento constante por el canal de aguas lluvias que le atraviesa. Así mismo, en el barrio Centro, una concentración de inundación que se da en el parque recreacional, al igual que, inundaciones en el barrio Santander, por el canal “Escuela Santander”.

Por último, los integrantes plasmaron algunas franjas del barrio Las Brisas, que se ven afectadas por filtraciones de agua producto de la planta de Acuavalle.

En lo que concierne a las inundaciones fluviales, solo el barrio La Esperanza, sufre inundaciones a causa de la Ciénega que está cercana a ellos.

Por el fenómeno de movimiento en masa, marcaron como zona con presencia de éste fenómeno, barrio Las Brisas, en las Carrera 2 oeste, Calle 2 sur, Carrera 3 Oeste y Calle 1 Sur. Mientras que para el barrio San Rafael, identificaron un fenómeno geológico, llamado asentamiento, que es un movimiento descendente vertical del terreno (subsistencia) debido a la aplicación de cargas que causan cambios en las tensiones dentro del terreno, e indicaron que es necesario un estudio en este barrio para atender este caso (Figura 2.16).

Por último, tenemos las Figura 2.17 y Figura 2.18 que es un resultado de la unión de la información histórica de los eventos de inundación y los eventos de movimiento en masa, con la obtenida en el Taller de Socialización y Validación.



Figura 2.14. Taller de Socialización y Validación Histórica, mayo 14 de 2019, municipio de Obando

Fuente: elaboración propia.

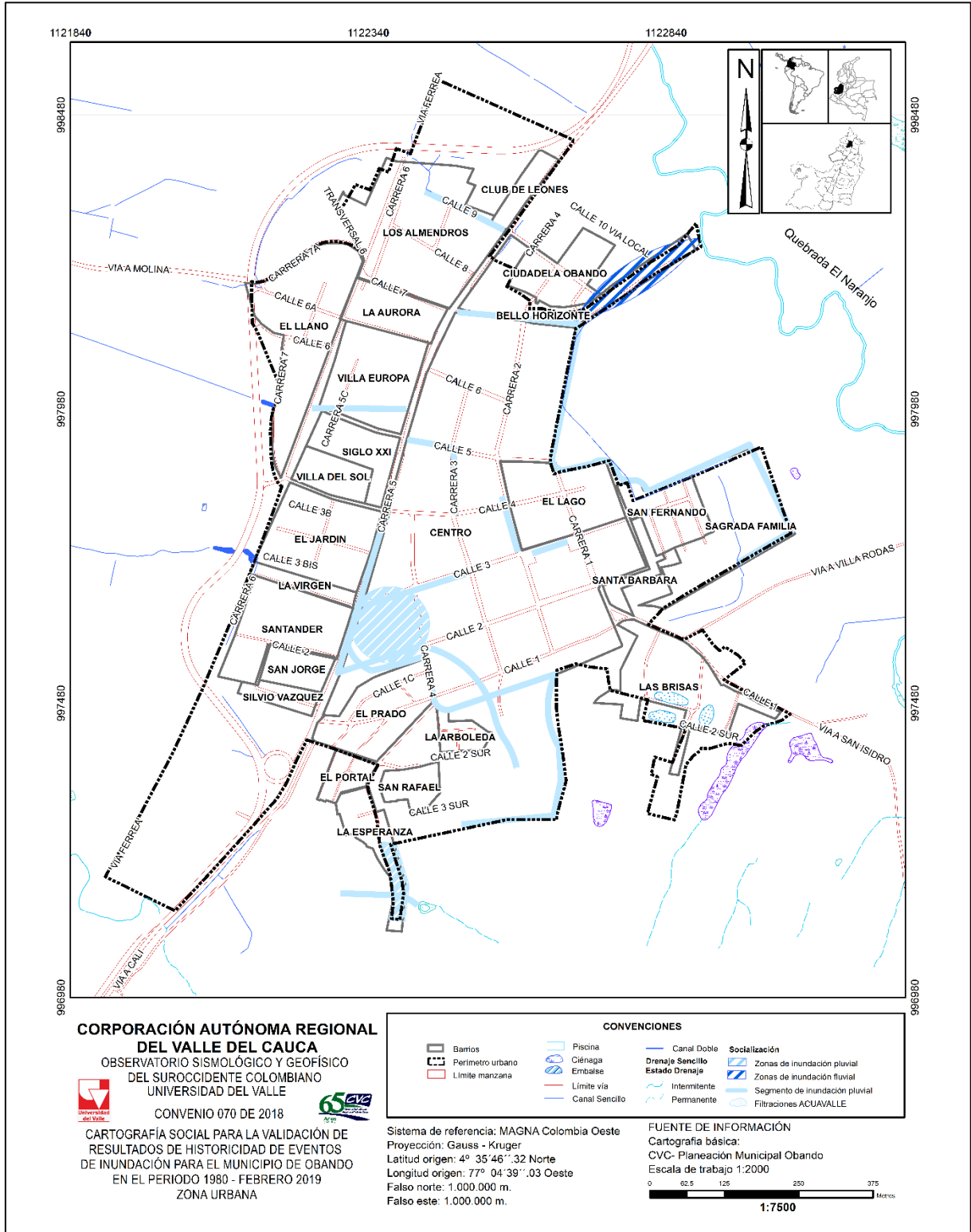


Figura 2.15. Cartografía social para la validación de los resultados de historicidad de eventos de inundación periodo 1980- febrero del 2019, área urbana del municipio de Obando

Fuente: elaboración propia

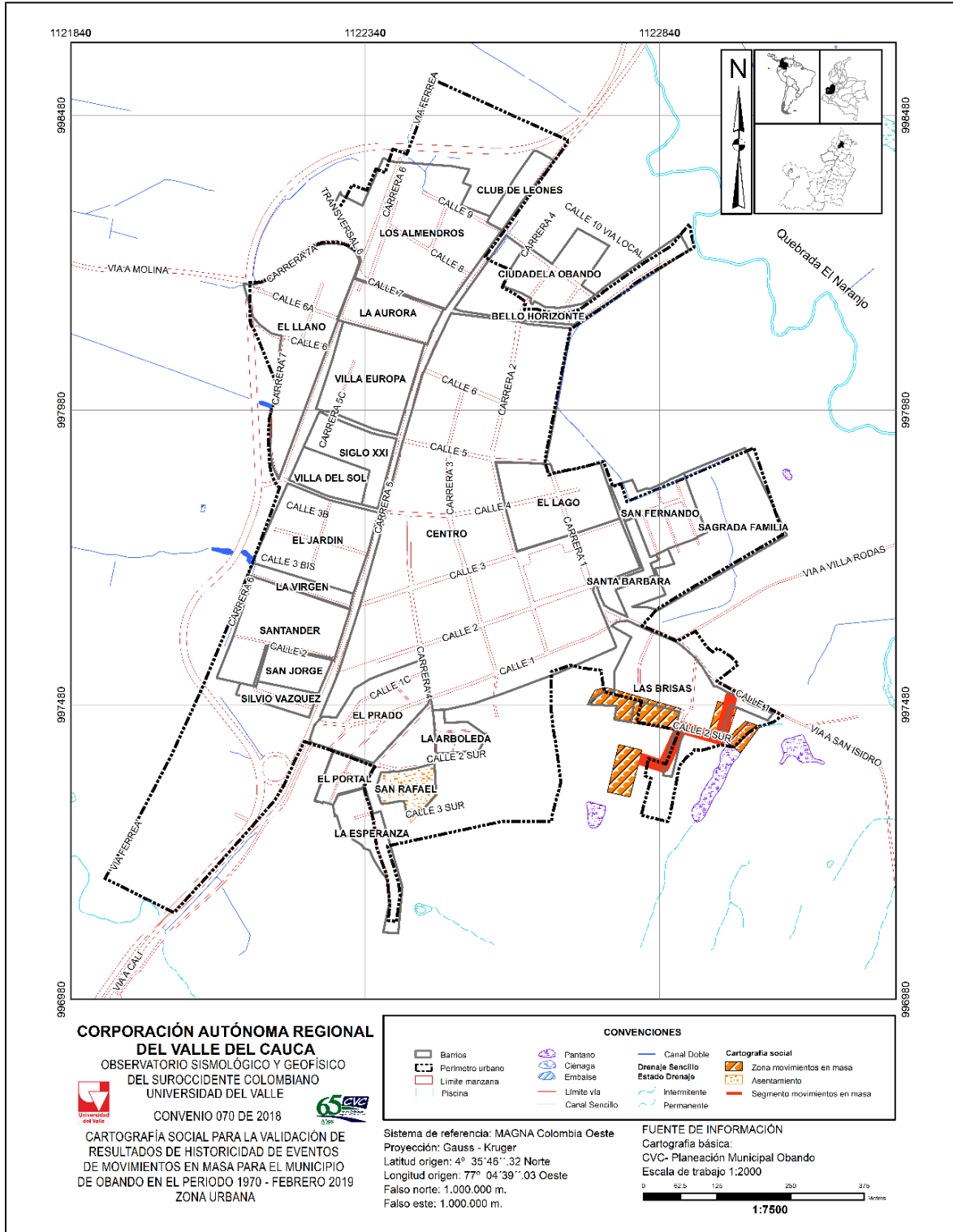


Figura 2.16. Cartografía social para la validación de los resultados de historicidad por eventos de movimiento en masa en el periodo de 1980-febrero 2019, área urbana del municipio de Obando

Fuente: elaboración propia

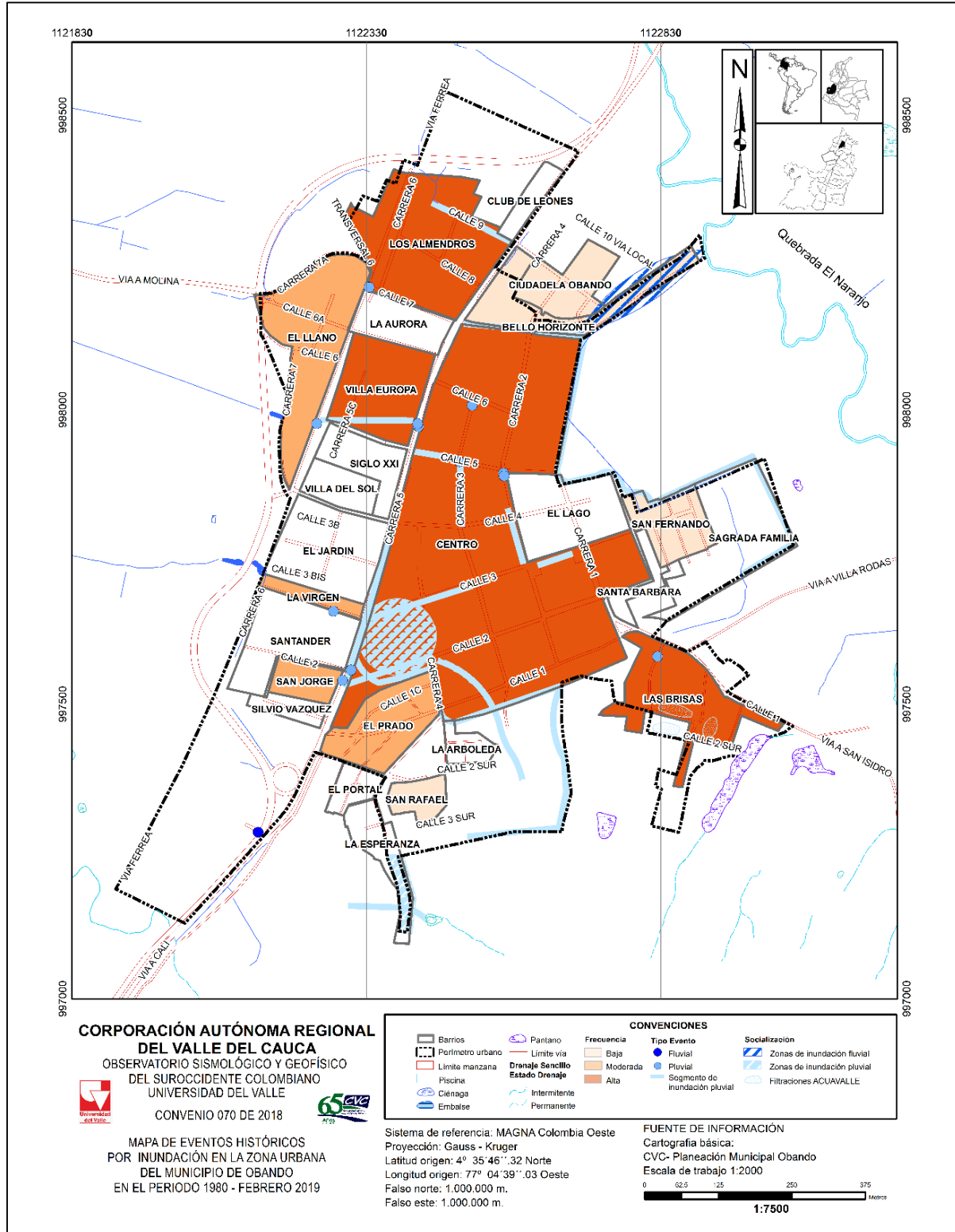


Figura 2.17. Mapa de eventos históricos por inundación en la zona urbana del municipio de Obando, periodo 1980-febrero 2019

Fuente: elaboración propia

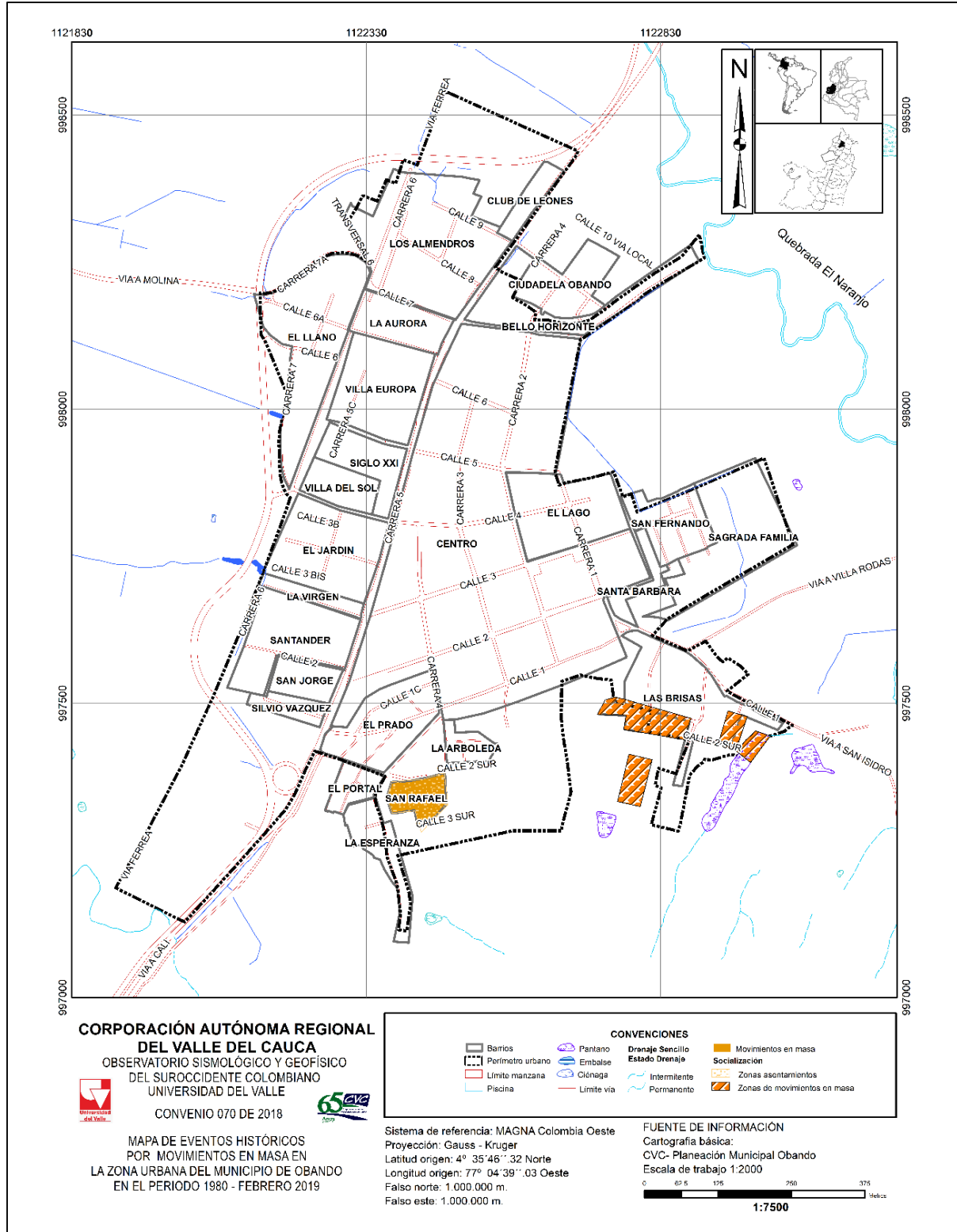


Figura 2.18. Mapa de eventos históricos por movimientos en masa en la zona urbana del municipio de Obando, periodo 1980-2019

Fuente: elaboración propia

3. GEOLOGÍA Y GEOMORFOLOGÍA DEL MUNICIPIO DE OBANDO

El presente capítulo de Geología y Geomorfología de la zona urbana del municipio de Obando 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: FAL 461_F-30 fotos 163, 164 y 165 del año 2007, IGAC C22141 fotos 10, 11 y 12 del año 1984, IGAC C1514 fotos 16, 17 y 18 del año 1974 y el vuelo FAL 407_F-43 fotos 1213, 1214 Y 1215 del año 1999.

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 Obando.

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 Obando.

3.1. GEOLOGIA REGIONAL

Para el presente estudio se utilizó como base la plancha geológica 243 Armenia, Quindío (INGEOMINAS, 1985) 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 243 Armenia (Figura 3.1) la geología reportada para este Municipio corresponde principalmente a depósitos aluviales recientes (Qal), Rocas sedimentarias Terciarias, continentales de la Formación La Paila (TMp), depósitos sedimentarios Terciarios de la Formación Zarzal (TPz), en el área urbana; mientras que en la zona rural se reportan adicionalmente rocas Sedimentarias Terciarias, continentales de la Formación Cinta de Piedra (Tocp), (Figura 3.1).

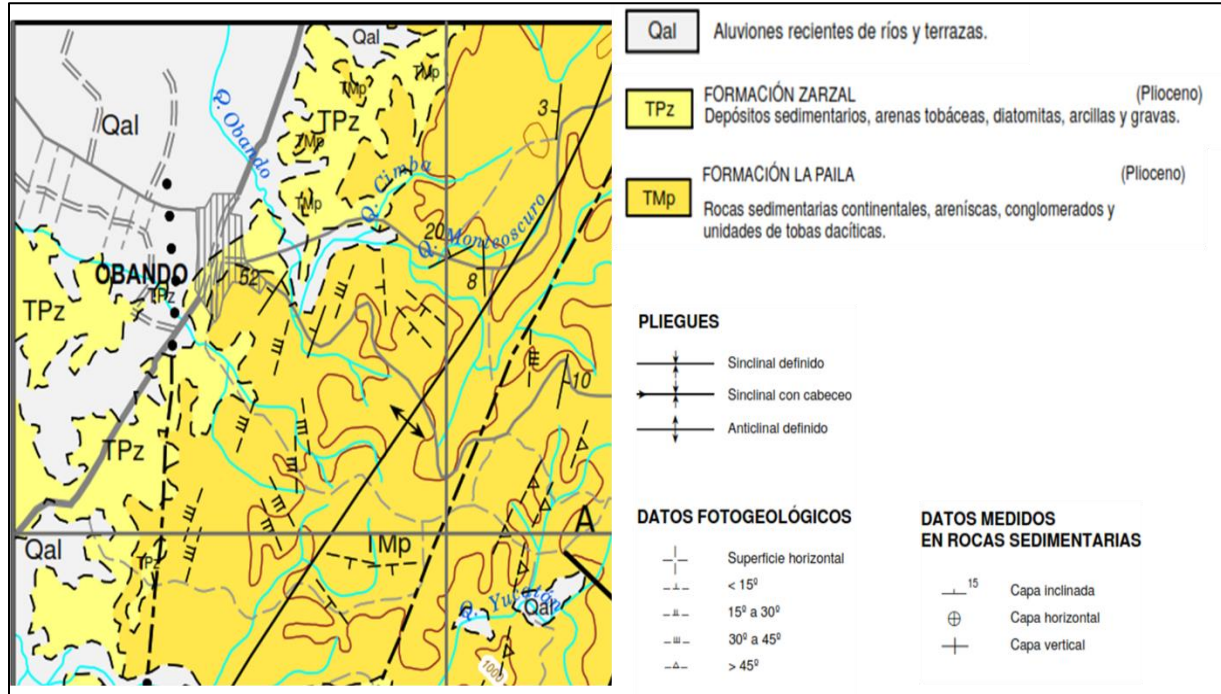


Figura 3.1. Mapa Geológico Plancha 243 – Armenia, Quindío –Colombia. 1985 INGEOMINAS, Transformada a datum MAGNA SIRGAS (2013).

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

3.1.1. Formación Cinta de Piedra (Tocp)

Ha recibido diferentes denominaciones Hubach y Alvarado (1934); McCourt (1984) lo relacionan con el límite superior del “Piso del Cauca”, McCourt (1984) menciona que la Formación Cinta de Piedra (Formación Cartago en sentido de Schwin, (1969) corresponde a una secuencia de areniscas pardo grisáceas intercaladas con arcillolitas compactas y localmente niveles de conglomerados expuestos en una franja al N y NW de Sevilla (Valle) cuyos contactos principalmente son fallados, al oeste con la Formación La Paila, y al este con los sedimentos de la Formación La Pobreza o los basaltos de la formación Amaime.

La datación palinológica realizada por Bioss Ltda. (1989; en Aranzazu y Ríos, 1989) para ECOPETROL dio como resultado una edad correspondiente al Oligoceno tardío, dicha datación coincide con las propuestas por Van Der Hammen (1958; en Aranzazu y Ríos, 1989). Tiene un espesor aproximado de 526 m.

Fue postulada con el nombre de Formación Cinta de Piedra por McCourt; et. al (1985) en la Reseña Explicativa del Mapa Geológico Plancha 243 Armenia; y la describen como una serie de areniscas verdosas hasta carmelita-rojo con intercalaciones de arcillas y conglomerados. La localidad tipo se encuentra al NE de Zarzal en la serranía de Santa Bárbara.

3.1.2. Formación La Paila (TMp)

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

3.1.3. Formación Zarzal (TPz)

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

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 Schullumberger) 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.

3.1.4. 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).

3.1.4.1. 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 denudando conglomerados, los aluviones son ricos en componentes sedimentarios cuyo desgaste y redondeamiento ocurrió durante el proceso de formación de los conglomerados. Algunos de los aluviones más extensos están siendo sometidos a erosión e incluso algunos presentan aluviones confinados entre las caras de erosión. Esto implica que se ha presentado un rejuvenecimiento del ciclo de erosión, y por esta razón estos aluviones han sido separados como terrazas. La magnitud del rejuvenecimiento es, sin embargo, ligera y las diferencias de nivel entre los aluviones depositados entre estas terrazas y la altura de ellas no es muy grande. Hacia el valle aluvial del Río Cauca las terrazas pasan al valle a través de una transición más, que dé un paso o escalón de terraza bien definido (Nivia et al., 1995).

3.1.5. Depósitos Piroclásticos Qp

Se presentan en la parte oriental de la Plancha 243-Armenia. Aunque las cenizas predominan, Qp es un conjunto de tefras compuesto por cenizas, polvo, lapilli y ocasionalmente bombas. Su ocurrencia es local, más o menos continua, aunque su espesor es variable. Estas son las rocas más recientes en el área y se han considerado de edad Pleistoceno-Holoceno, relacionándolas a volcanismo reciente de la Cordillera Central y posiblemente provenientes de los cuellos volcánicos cercanos. (McCourt et al., 1985).

3.2. GEOLOGIA ESTRUCTURAL REGIONAL

En el área de la Plancha 243-Armenia, predominan cuatro sistemas regionales de fallas con orientación aproximada N-S, en su mayoría son fallas reversas de ángulo alto, sin embargo, algunas de ellas han presentado movimiento de rumbo por lo menos una vez durante su evolución.

Las fallas N-S son regionales principalmente de movimiento Dextral y restringidos a la Cordillera Central; estas son relacionadas al Sistema de la Falla Romeral, con movimiento de rumbo durante el Terciario Inferior; y las fallas NE-SW, probablemente están relacionadas al mismo evento. Es probable que las fallas E-W representen estructuras antiguas (paleofallas de transformación, que han sufrido reorientación y desplazamiento por movimientos recientes de los sistemas de fallas N-S).

Las fallas más jóvenes están orientadas NW-SE y se les identifica principalmente como lineamientos regionales. Sin embargo, hacia el este de esta zona (Plancha 244-Ibagué y Plancha

263 – Chaparral), las fallas de esta orientación están cubiertas (“fossilizadas”) por sedimentos terciarios de la Formación Honda (TMh) postulando que movimientos de este sistema de fallas fueron pre-Mioceno (superior). (Reseña Explicativa Preliminar. Plancha 243 Armenia, 1985).

3.2.1. Falla Quebradanueva

Falla de cabalgamiento inverso con componente sinistral y vergencia al occidente (Guzmán et al., 1998), con rumbo N20°E - S20°W (INGEOMINAS, 2000c). Se le considera de actividad intermedia (0.3 - 0.5 mm/año), con una Magnitud Máxima Probable de 6.5 Mw (Guzmán et al., 1998). Presenta rasgos morfotectónicos como desplazamientos de cauces, cauces alineados e interfluvios desplazados horizontalmente, escarpes de falla, basculamiento e inversiones del drenaje en el mismo sentido del basculamiento. La falla afecta la Formación Armenia, con evidencias de compresión NW - SE (Guzmán et al., 1998). (Anexo A. susceptibilidad por Geología. Plancha 243 Armenia, 1985).

3.2.2. Falla Armenia

Es de tipo inverso con buzamiento hacia el occidente. Se desprende de la falla Cauca - Almaguer al Sur de Armenia. En esta ciudad se bifurca en un ramal Oeste que empalma con la falla Filandia en la Formación Armenia y un ramal Este que sigue hacia el noreste. Paralelos a la falla se presentan algunos alineamientos y otros en dirección NE - SW (Guzmán et al., 1998). INGEOMINAS (2000c) reporta truncamiento al norte, por la Falla Salento.

Se le considera de actividad Intermedia a Alta, con Máxima Magnitud Probable (MMP) de 6.7 (CARDER, 1999). Su tasa de actividad ha sido calculada en 0.4 mm/año según Vergara and Moreno (1996, en INGEOMINAS, 2000c) y en 0.1 mm/año, según Paris (1997, en INGEOMINAS, 2000q). (Anexo A. susceptibilidad por Geología. Plancha 243 Armenia, 1985).

3.2.3. Falla Silvia Pijao

Es una de las más importantes fallas del Sistema Romeral. Su rumbo predominante es NS a NNE - SSW; corre al lado oriental del Valle Del Río Cauca. Se compone de una falla principal conocida como Pijao y de ramales subparalelos, como las fallas Buenavista, Córdoba y Bellavista. Las fallas de Buenavista, Pijao y Córdoba se unen entre Quebradanegra y la quebrada La Sonadora, continuando como una sola hacia el Norte, controlando el cauce del río Quindío (INGEOMINAS, 2000c).

Se le considera de actividad Intermedia a Alta, con MMP de 6.7 (CARDER, 1999). McCourt et al., (1984), consideran que esta falla es inversa de alto ángulo con componente de rumbo dextral (Mccourt et al., 1984, en INGEOMINAS, 2000c).

La Falla Silvia se alinea con el Valle del Río Lejos, pasando por Pijao y Córdoba con rumbo general N 10° - 15° E. La Falla Córdoba es el límite entre el Complejo Ígneo de Córdoba y el Complejo Quebradagrande (rumbo general N 10° - 20° E). La falla Bellavista presenta indicios de actividad cuaternaria como escarpes de falla y drenajes deflectados que afectan depósitos recientes. Parece estar conformada por dos segmentos, el primero con rumbo N 15° E, 1 km al oriente de Córdoba

cambia de dirección a N 30° E, para recuperar el rumbo original (INGEOMINAS, 2000c). (Anexo A. susceptibilidad por Geología. Plancha 243 Armenia, 1985).

3.2.4. Falla Salento

Con dirección E-W, que controla el valle del Río Quindío, al E de Salento (Guzmán et al., 1998). Corta la Cordillera Central y varias fallas que recorren el Eje Cafetero (INGEOMINAS, 2000c). Presentan rasgos morfo tectónicos en cercanías de Salento, como facetas triangulares y lomos de flexión en sentido dextral (Guzmán et al., 1998). (Anexo A. susceptibilidad por Geología. Plancha 243 Armenia, 1985).

3.2.5. Falla Río Verde

Con dirección N 80°0 - 85° E (INGEOMINAS, 2000c). Controla el cauce del Río Verde, los primeros tramos del río La Vieja y la confluencia de los ríos Quindío, Barragán y Río Verde (CARDER, 1999b). Interrumpe casi perpendicularmente las trazas de las fallas Quebradanueva, Cauca – Almaguer, Armenia, Córdoba, Nevado y Salado, terminando su recorrido contra la falla de Campanario – Manizales (INGEOMINAS, 2000c). (Anexo A. susceptibilidad por Geología. Plancha 243 Armenia, 1985).

3.2.6. Falla Quebrada Negra

Con rumbo N 45° W, probablemente de movimiento normal por distensión SW - NE. Presenta rasgos morfo tectónicos como facetas triangulares y deflexión de corrientes del Abanico del Quindío (INGEOMINAS, 2000c). (Anexo A. susceptibilidad por Geología. Plancha 243 Armenia, 1985).

3.2.7. Falla Navarco

Fallamiento con rumbo N 35° E y buzamiento vertical (CARDER, 1999b). Se localiza en el frente occidental de la Cordillera Central, bordeando la Formación Armenia, afectando rocas del Complejo Quebradagrande (INGEOMINAS, 2000c). James (1986) afirma que origina desplazamientos leves sobre la superficie de la Formación Armenia (James, 1986, en CARDER, 1999a). (Anexo A. susceptibilidad por Geología. Plancha 243 Armenia, 1985).

3.3. GEOLOGÍA LOCAL

En este apartado se describen la geología local (Figura 3.2) presentes en el área urbana del municipio de Obando.

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 3.1) y fue una de las herramientas para la elaboración de los mapas objeto de este estudio.

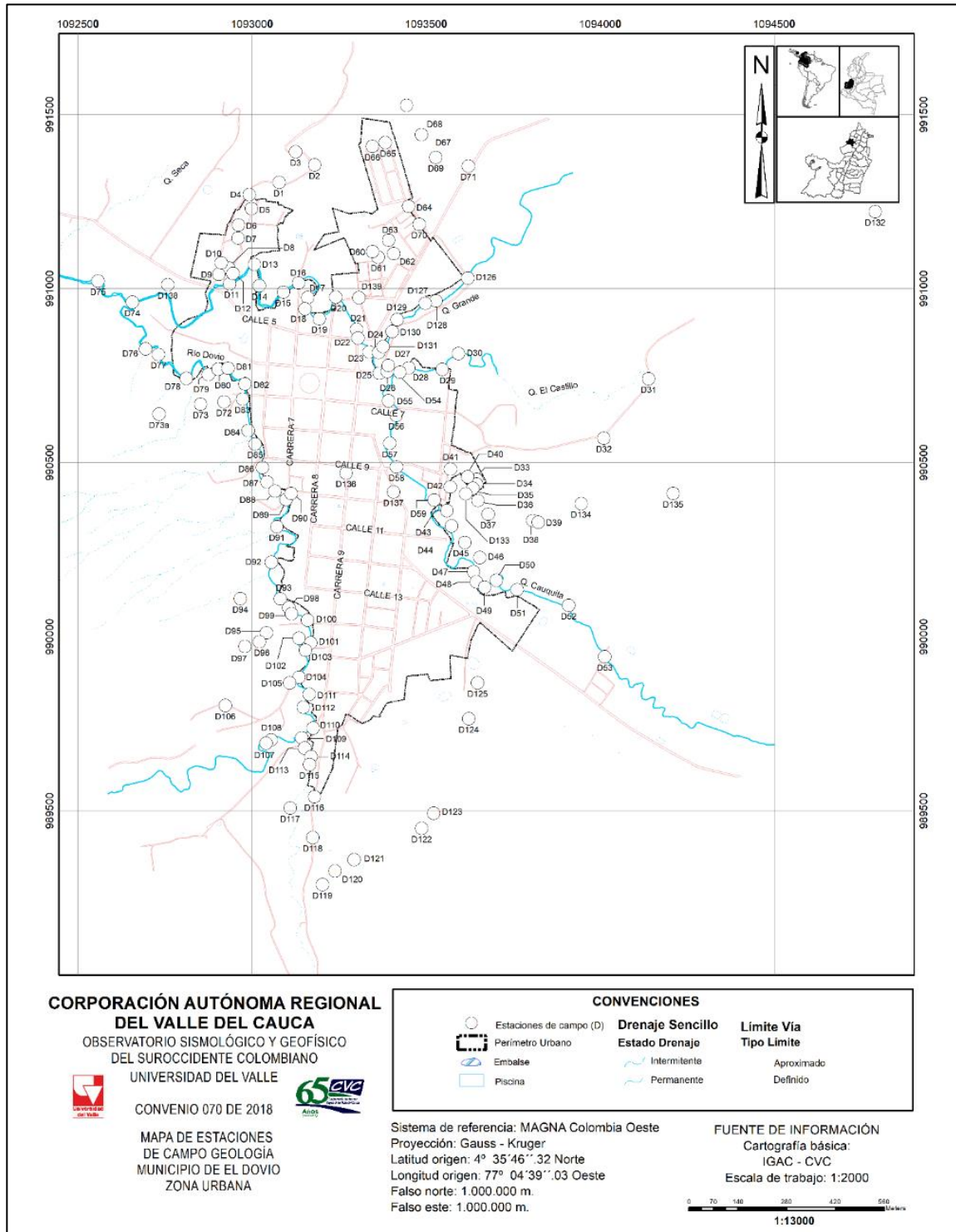


Figura 3.1. Mapa de Estaciones de Campo área urbana del municipio del Obando.

Fuente: elaboración propia.

La geología local del Municipio está conformada de base a techo por rocas sedimentarias continentales de la Formación La Paila (TMp) de edad Mioceno, suprayacidas y en contacto discordante por las rocas volcano-sedimentarias de la Formación Zarzal (TPz) de edad Plioceno; finalmente, al tope y en contacto discordante los depósitos aluviales cuaternarios pertenecientes a aluviones, coluviones y terrazas (Qal, Qco y Qca respectivamente).

3.3.1.1. Formación La Paila (TMp)

Esta formación se describirá de base a techo, donde las rocas a la base están localizadas al SE del área urbana. En las estaciones O73, O72, O17, O18 y O19 en la vía que conduce a la vereda San Isidro, se encuentra un depósito de arenisca conglomerática silícea, masiva y medianamente compacta, de color café a amarillo ocre con venas de oxidación, la matriz es de tamaño medio a grueso y composición 80% cuarzo y 20% líticos; contiene un 10% de guijarros de hasta 3cm de chert negro, cuarzo blanco, jaspe, rocas básicas y metamórficas; sebredondeados y de baja esfericidad. En el lugar se observa alta erosión ocasionada por el paso de ganado. En la Figura 3.3. se detallan los afloramientos de las estaciones O72 y O73. El espesor promedio de este estrato medido sobre el mapa es de aproximadamente 140m.



Figura 3.3. Vía a San Isidro a. Afloramiento de areniscas conglomeráticas silíceas masivas, estación O72. b. Detalle areniscas conglomeráticas estación O72. c. Erosión ocasionada por ganado. d. Detalle conglomeráticas estación O73.

Fuente: fotografía propia

En la Figura 3.4 se detallan los afloramientos encontrados en las estaciones O17, O18 y O19; en las estaciones O17 y O19 fue posible medirlos siguientes datos estructurales: N22E/ 35NW y N35E/39NW respectivamente.

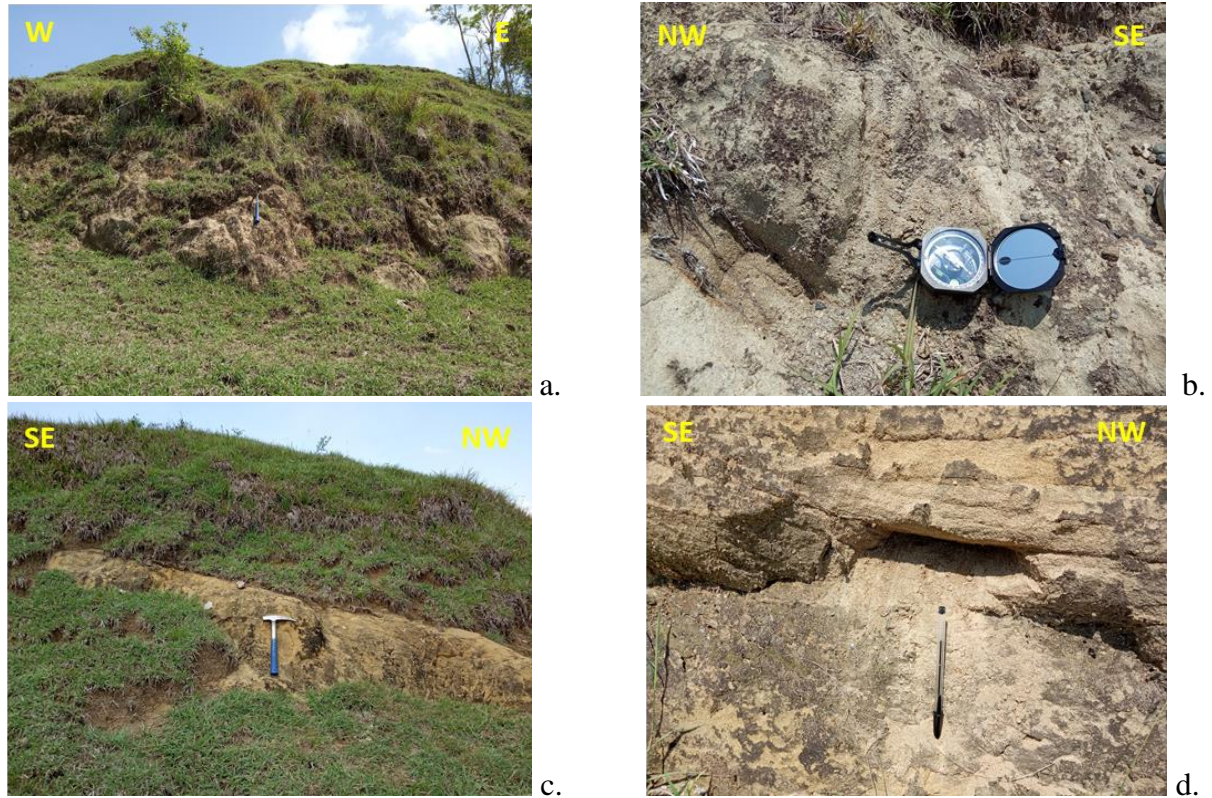


Figura 3.4. a. Afloramiento estación O17. b. Detalle afloramiento de areniscas conglomeráticas en la estación O17. c. Afloramiento estación O19. d. Detalle conglomeráticas estación O19.

Fuente: fotografía propia

Más el Al NE en las estaciones O15 y O16 aflora un conglomerado polimíctico, clastosoportado (80% clastos, 20% matriz), medianamente compacto, con clastos de hasta 10cm, pero predominan los clastos de 1 a 4 cm de jaspe, cuarzo lechoso, chert negro, rocas ígneas (clastos aplanados y alargados), gabro con metamorfismo, basalto; estos clastos son subredondeados y de baja esfericidad; la disposición de los mismos es aleatoria, sin gradación; la matriz es de arena media a gruesa conformada por cuarzo y líticos (Figura 3.5). El espesor promedio de esta capa medido sobre el mapa es de aproximadamente 80m.



Figura 3.5. a. Afloramiento estación O15. b. Detalle afloramiento de conglomerado polimíctico de la Formación La Paila.

Fuente: fotografía propia

En la estación O2 nuevamente aflora un depósito de arena conglomerática, masiva, de color amarillo ocre, la matriz es de arena media a gruesa (de granos subredondeados a angulosos), los clastos tienen disposición aleatoria y son de tamaños entre 1cm y 3cm, subredondeados de baja esfericidad de chert, negro, cuarzo, chert gris, cuarzo lechoso, jaspe y rocas básicas. El espesor de esta capa no se evidencio en campo, pero de acuerdo con observaciones geomorfológicas, se puede presumir que es de aproximadamente 70m (Figura 3.6).



Figura 3.6. a. Afloramiento estación O2, arena conglomerática masiva, Formación La Paila.

Fuente: fotografía propia

3.3.1.2. Formación Zarzal

Está representado en el Municipio por rocas volcano-sedimentarias, que afloran principalmente al SE de la cabecera municipal.

En el sector del antiguo matadero, en la estación O34 aflora una secuencia de diatomitas color habano claro con un espesor de 1.2m que se encuentran suprayacidas de manera concordante por 0.7m de intercalaciones de estratos de lodolitas férricas muy compactas, con capas de arenisca tobácea gris de tamaño grueso compuestas de anfíbol, cuarzo y líticos, suprayacidas

concordantemente por 1m de secuencias de lodolitas grises. El dato estructural medido para este afloramiento fue de N38E/16NW (Figura 3.7 a y b).

Más al Norte, al Oriente del barrio La Esperanza (estación O32) se encontró un afloramiento de 3.5m de altura aproximadamente, donde se observan intercalaciones de diatomitas, tobas de color gris con laminación plana paralela, arcillolitas de color amarillo claro y estratos delgados de areniscas tobáceas finas a gruesas compuestas de anfíbol, cuarzo y líticos; estos depósitos tienen una orientación N15E/23NW, (Figura 3.7 c y d).



Figura 3.7. a. Afloramiento de la formación Zarzal (Tpz) al Sur del antiguo matadero, estación O34. b. Diatomitas suprayacidas por intercalaciones de lodolitas férricas, areniscas tobáceas grises y lodolitas grises en la estación O34. c. Estación O32, afloramiento de la formación Zarzal (TPz) al oriente del barrio la Esperanza. d. Intercalaciones de diatomitas con secuencias de tobas, arcillolitas amarillo claro y arena gruesa en la estación O32. e. Detalle de las secuencias interestratificadas de diatomitas con pequeños paquetes de lodolitas, y arenas gruesas. Obsérvese el buzamiento de los estratos.

Fuente: fotografía propia

En la estación O42, la formación Zarzal se evidencia en un afloramiento de 2m de altura; a la base se observa un conglomerado fino, clastosoportado (80% clastos, 20% matriz) de matriz tobácea de color blanco, con clastos de jaspe (90%) y chert (10%) con tamaños de hasta 3cm; este paquete, esta suprayacido concordantemente por un depósito de toba dacítica blanca. El dato estructural tomado en esta estación es N22E/4NW (Figura 3.8).

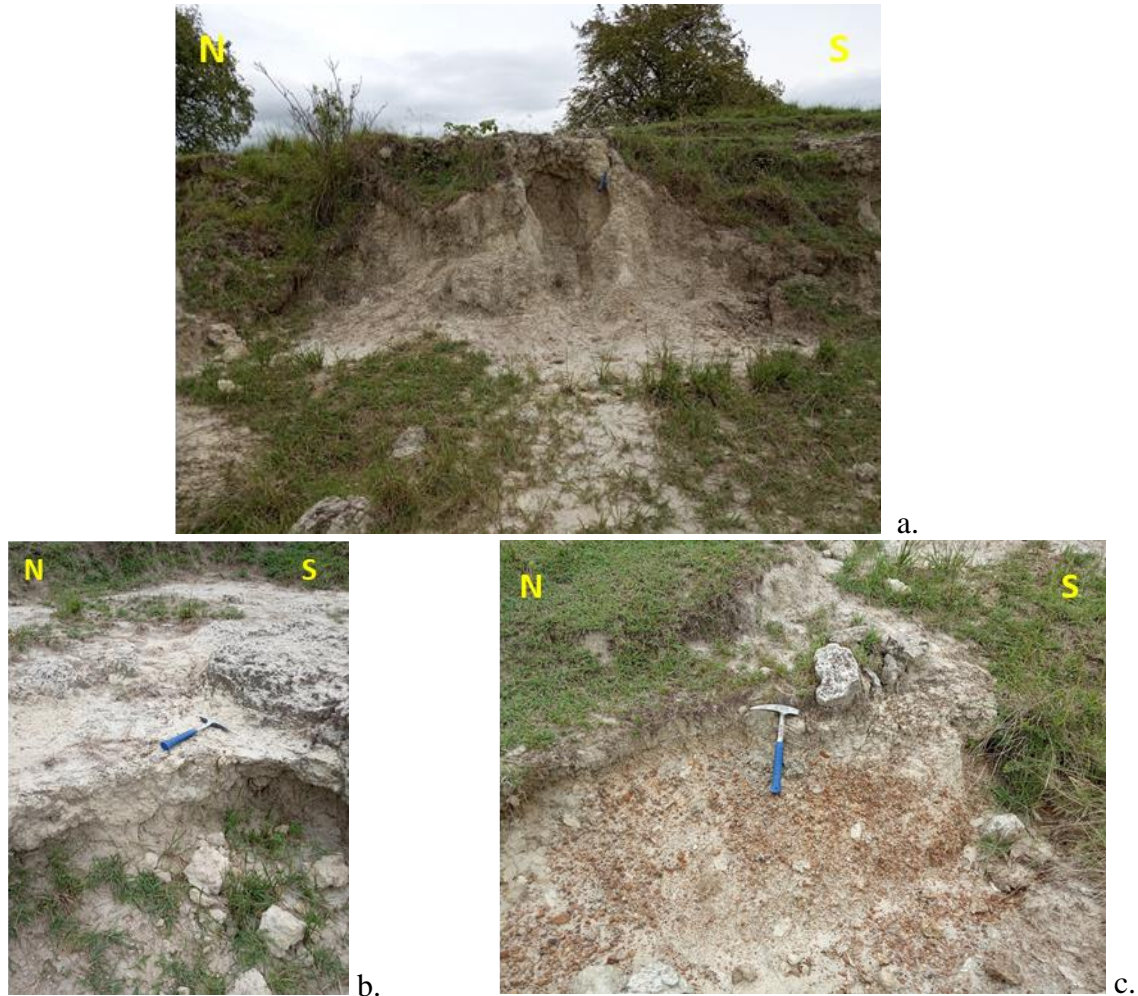


Figura 3.8. a. Afloramiento de la formación Zarzal (TPz) al Oriente de la vía Panamericana, sur del área urbana, en la estación O42. b. Depósito de toba dacítica en la estación O42. c. Detalle de conglomerado clastosoportado que infrayace toba dacítica en la estación O42.

Al NE del área urbana, en la estación O80, al norte del río Naranjo, se encontró un afloramiento de 3m de altura y 20m de largo, donde se puede observar la secuencia tipo de la formación Zarzal, con la particularidad de encontrarse inclinada al NW, el dato estructural medido en el lugar es: N29E/19SW.

De base a techo afloran un paquete de 3m de secuencias de tobas muy finas y areniscas tobáceas finas a muy finas de color habano claro y rosado (compuestas de vidrio volcánico, plagioclasa, cuarzo, anfíbol), con estratificación plana paralela; se observan niveles de óxido. Por encima de estos y en contacto discordante, evidenciado por estructuras de carga se disponen 1.8m de areniscas

de grano medio, color ocre a rojizo muy oxidadas (compuestas por cuarzo, líticos y ferromagnesianos). Seguido a este paquete 2.0m de arena tobácea color habano claro, de grano muy fino, con clastos de hasta 1cm de chert negro y rocas básicas; el comportamiento de este paquete es muy plástico. Este paquete se encuentra suprayacido por 0.8m de diatomita color blanco, seguido por niveles de diatomitas interestratificados con capas de ceniza de 2.5cm, que algunas veces tienen estructura lenticular, de color gris oscuro a gris claro. Finalmente, 4m de secuencias de diatomitas color habano claro a blanco; estas tienen un comportamiento muy frágil; adicionalmente se observan periodos de no deposición caracterizados por oxidación.

Las **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra la secuencia tipo completa para la formación Zarzal (TPz), el numero 1 indica la base de la secuencia y el numero 6 el tope de la misma; mientras que la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** muestra el detalle de los paquetes.

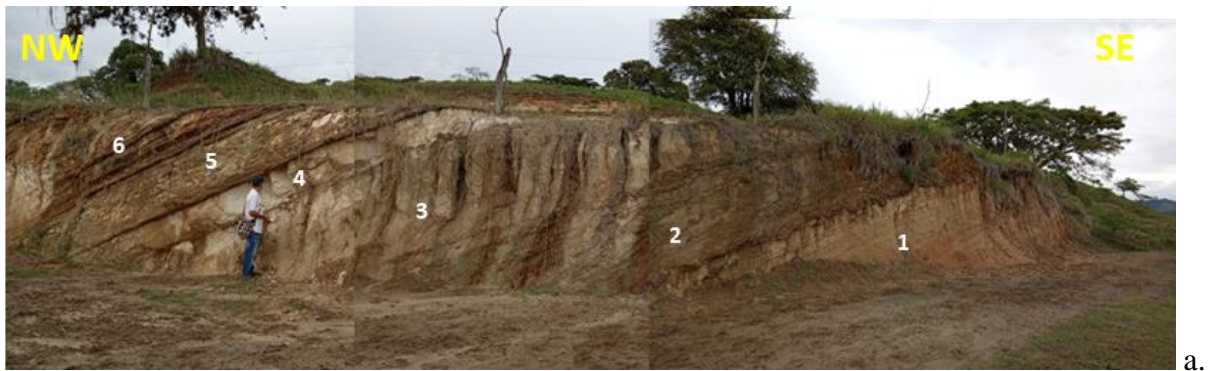


Figura 3.9. Secuencia tipo para la formación Zarzal (TPz), localizada en la estación O80.

Fuente: fotografía propia

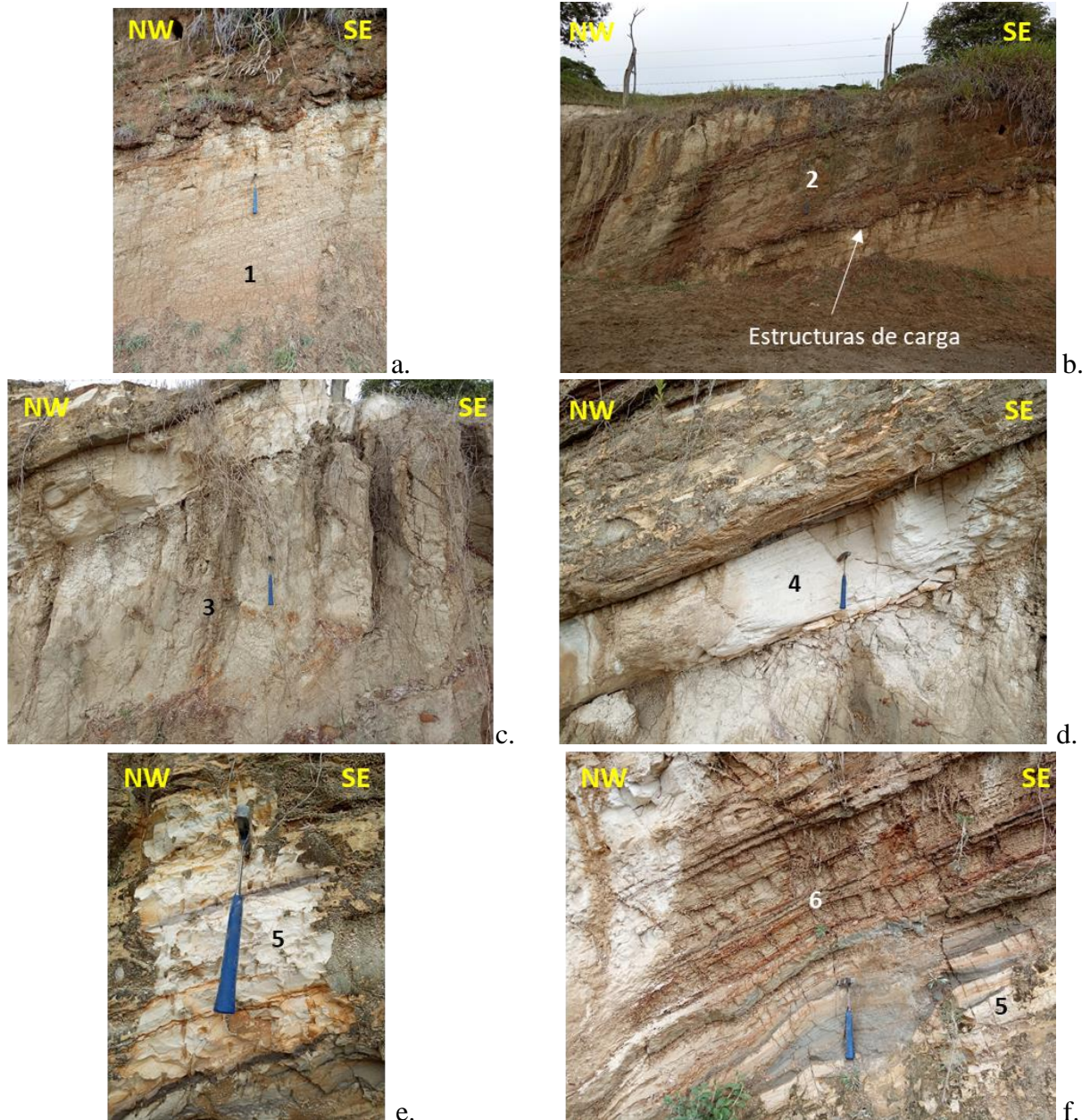


Figura 3.10. Estación O80. a. Secuencias de Tobas muy finas y areniscas tobáceas finas a muy finas con laminación plana paralela, y niveles de óxido. b. Arenisca de grano medio muy oxidadas en contacto discordante y con estructuras de carga. c. Arena tobácea de grano muy fino y lítico. d. Diatomita color blanco. e. Diatomitas blancas interestratificadas con capas de ceniza gris. f. Secuencias de diatomitas color habano claro a blanco que subrayasen intercalaciones de estratos delgados de diatomitas con estratos de tobas grises que en ocasiones muestran estructura lenticular, también se observan hiatos de color óxido.

Fuente: fotografía propia

También se encontraron afloramientos de la formación Zarzal, en el barrio las Brisas cerca a la casa de las dos palmas, en la estación O28, donde aflora una secuencia de 2.2m de areniscas conglomeráticas con clastos no mayores a 1cm de chert negro, cuarzo lechoso y jaspe;

interestratificadas con areniscas de tamaño muy fino a medio (Figura 3.11). El dato estructural medido en el lugar fue N58E/52NW.

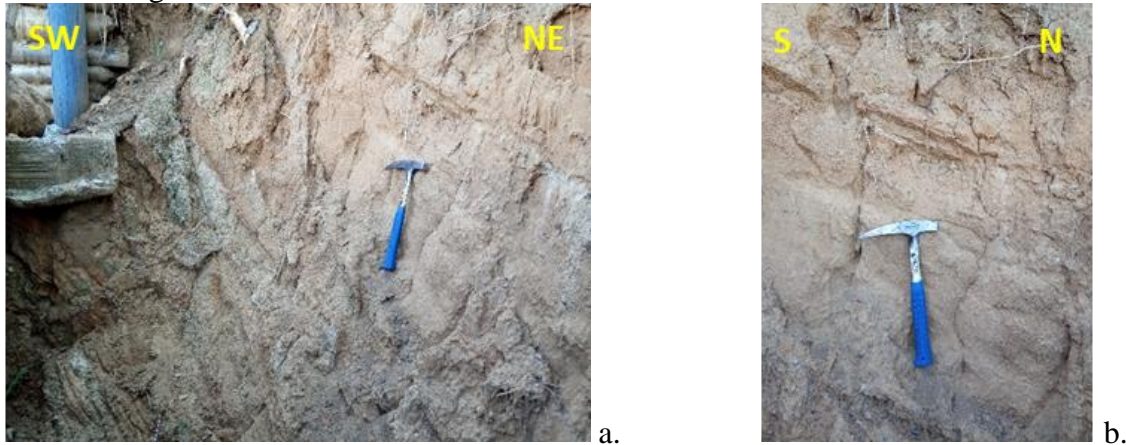


Figura 3.11. Estación O28, cerca de la casa de las dos palmas. a. Afloramiento de la formación Zarzal (TPz), nótese la inclinación de los estratos. b. Detalle de las areniscas conglomeráticas.

Fuente: fotografía propia

Unos metros más al SE, en la estación O27, afloran 2 m de intercalaciones de areniscas de tamaños que varían de muy finos a medios, de color habano claro a amarillo óxido; el afloramiento presenta microfallas del tipo inverso, siendo esta una evidencia de actividad tectónica reciente en la zona (Figura 3.12).



Figura 3.12. Estación O27. a. depósitos de intercalaciones de areniscas de la formación. b. Detalle de la actividad tectónica reciente.

Fuente: fotografía propia

En la estación O85, detrás de la Escuela Ricardo Nieto, se encontraron depósitos de la formación Zarzal que de base a techo se describen como 1.2m de areniscas finas de color rosado a habanas (compuestas por cuarzo, líticos y ferromagnesianos), de comportamiento muy plástico, interestratificadas con hiatos de color óxido que llegan a tener 1cm de espesor; estas se encuentran suprayacidas por 1.8m de areniscas de grano fino, color gris a café (de composición cuarzo, líticos y ferromagnesianos), contienen clastos líticos menores a 0.5cm; por encima de esto, afloran 0.6m de tobas grises muy plásticas y al tope 0.7m de arenisca fina color amarillo ocre (Figura 3.13).



Figura 3.13. Estación O85, atrás de la Escuela Ricardo Nieto afloran secuencias de areniscas finas separadas por hiatos de hasta 1cm de espesor, suprayacidas por secuencias de tobas grises y areniscas finas de color amarillo ocre.

Fuente: fotografía propia

En la zona del parque recreacional en la estación O30, se encuentra un afloramiento de 12m de ancho y 3,5m de alto; se describen de base a techo, 1m de conglomerado fino, clastosoportado, con clastos de subredondeados a angulosos y de baja esfericidad, de tamaños de hasta 3cm de jaspe (70%), chert negro (10%), cuarzo lechoso (10%) y lodolitas silíceas (10%), lo suprayacen discordantemente, 2m de toba de color habano claro a blanco con clastos de hasta 1cm (Figura 3.14).

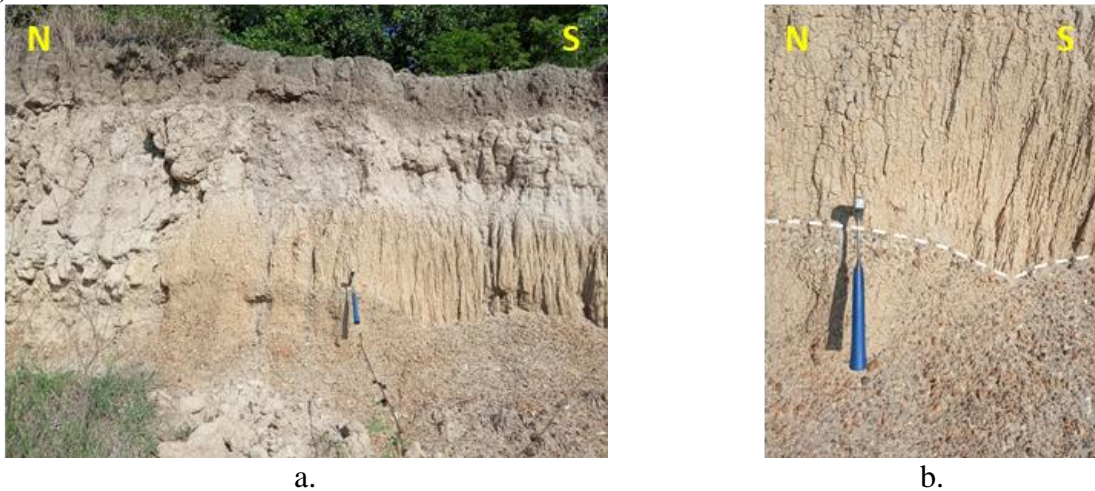


Figura 3.14. Estación O30. a. Depósitos de la formación Zarzal (TPz) conglomerado fino, clastosoportado, suprayacido por toba dacítica. b. Detalle del contacto discordante.

Fuente: fotografía propia

En el barrio San Rafael se encuentra un deslizamiento antiguo que será descrito en la sección de movimientos en masa. Aunque el lugar ya está reforestado es posible detallar que el cuerpo del deslizamiento está conformado por lutitas grises muy finas, areniscas muy finas de color óxido y

diatomitas blancas, se notan clastos de chert, jaspe subredondeados y de tamaños de hasta 3cm, (Figura 3.15; **Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).



Figura 3.15. Estación O37. a. Depósitos de la formación Zarzal (TPz) observados en el cuerpo de un deslizamiento antiguo. b. Detalle de los clastos de toba, lutitas y areniscas presentes en el cuerpo del deslizamiento.

Fuente: fotografía propia

Finalmente, en el barrio la Sagrada Familia aflora un depósito de toba dacítica, conocido en la zona como “Caliche”, presenta clastos de tamaño no mayor a 1cm de chert negro, jaspe y cuarzo blanco (Figura 3.16).



Figura 3.16. Estación O60. a. Depósitos de toba de la formación Zarzal (TPz) en el barrio Sagrada Familia. b. Detalle de toba dacítica con clastos de hasta 1cm de chert, jaspe y cuarzo blanco.

Fuente: fotografías propias

En la parte alta del barrio las brisas, en las estaciones, O8 y O9; se observan depósitos de toba color habano claro, muy compacto; sin embargo, no fue posible verificar el espesor de estos depósitos, tampoco se puede confirmar a que formación pertenecen; esto será verificado con las perforaciones a realizar para el estudio geotécnico (Figura 3.17).



Figura 3.17. a y b. Depósitos de toba en la parte alta del barrio las Brisas.
Fuente: fotografía propia

Depósitos de toba de la formación Zarzal también afloran en la vía a San Isidro, en las estaciones O22 y O23 (Figura 3.18).

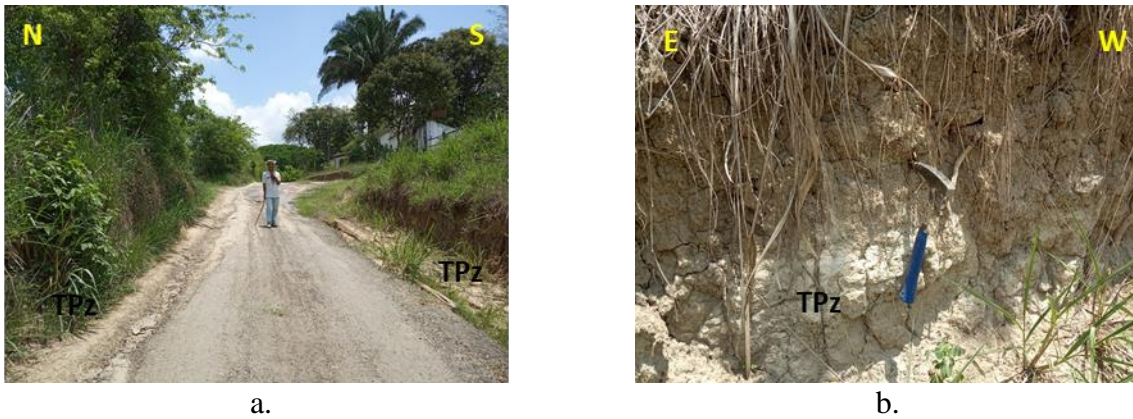


Figura 3.18. a y b. Depósitos de toba en la estación O23 sobre la vía a San Isidro.
Fuente: fotografías propias

3.3.1.3. Formación Zarzal (Tplz)

En la quebrada el Naranjo se encontró una secuencia sedimentaria de arenas tobáceas inconsolidadas, masivas, de granos subredondeados a angulosos de baja esfericidad y de tamaño medio a grueso, compuestos de 60% cuarzo y 40% líticos; el color de la arena tobácea es café pardo. Esta secuencia puede alcanzar los 7m de espesor (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).



Figura 3.19. a. Afloramiento en la quebrada el Naranjo, estación O48 y detalle de depósitos masivos de arena tobácea. b. Depósitos aluviales de arena tobácea en la estación O49. c. Afloramiento de 5m de altura de arena tobácea masiva en la estación O54.

Fuente: fotografías propias

3.3.1.4. Quebrada las Jaguas

Esta quebrada es del tipo intermitente y se encuentra completamente cubierta por vegetación, incluido su cauce (Figura 3.20a); sin embargo, en el barrio Silvio Vázquez fue posible ver una pequeña secuencia de los depósitos de inundación de esta quebrada; en unos apiques (de 1.3m*1m*1m) que se estaban realizando para construir las zapatas de una vivienda.

La secuencia de 1.3m, se describe de la siguiente manera: a la base 0.4m de suelo arenoso inconsolidado de color pardo, de grano fino a medio (compuesta de cuarzo, ferromagnesianos, y líticos de toba), los granos son de baja esfericidad, subredondeados a angulosos; a este paquete lo sigue un suelo negro de 0.4m, suprayacido por 0.3m de suelo inconsolidado arcillo arenoso (compuesta de cuarzo, ferromagnesianos y líticos de toba) de color gris claro con manchas de óxido y de comportamiento plástico; al tope 0.3m de suelo orgánico de color gris oscuro (Figura 3.20b).



Figura 3.20. a. Evidencia de la cobertura vegetal en el cauce de la quebrada Las Jaguas. b. Apique realizado para construir las zapatas de una vivienda en el barrio Silvio Velázquez, muestra 1.3m de secuencias de depósitos aluviales de inundación.

Fuente: fotografías propias

3.3.1.5. Depósitos de Conos (Qca)

Consisten en depósitos de abanicos y depósitos de pie de talud, localizados estratigráficamente por encima de los depósitos aluviales (Qal).

Uno de estos depósitos está localizado entre los barrios Las Brisas en su parte baja, el barrio Santa Bárbara y el Centro; en la estación O61 se detalla la litología, (Figura 3.21), el afloramiento cuenta con 2m de altura, a la base se encuentran 0.3m de conglomerado clastosoportado (80% clastos, 20% matriz) que se puede identificar como un depósito de la Fm Zarzal; cuenta con clastos de hasta 4 cm de jaspe (70%), chert negro (10%), cuarzo lechoso (10%) y rocas básicas (10%); la matriz es de arena tobácea de tamaño medio. Este paquete se encuentra suprayacido discordantemente por 1.4m de conglomerado matriz soportado (70% matriz, 30% clastos), la matriz es de arena tobácea de tamaño medio, los clastos son de baja esfericidad y subangulosos (jaspe de hasta 3cm, chert negro de hasta 1cm, cuarzo blanco), clastos de rocas ígneas de hasta 10cm, redondeados, de baja esfericidad y clastos de toba de 1 a 3 cm; finalmente se observan 0.4m de suelo de color café.

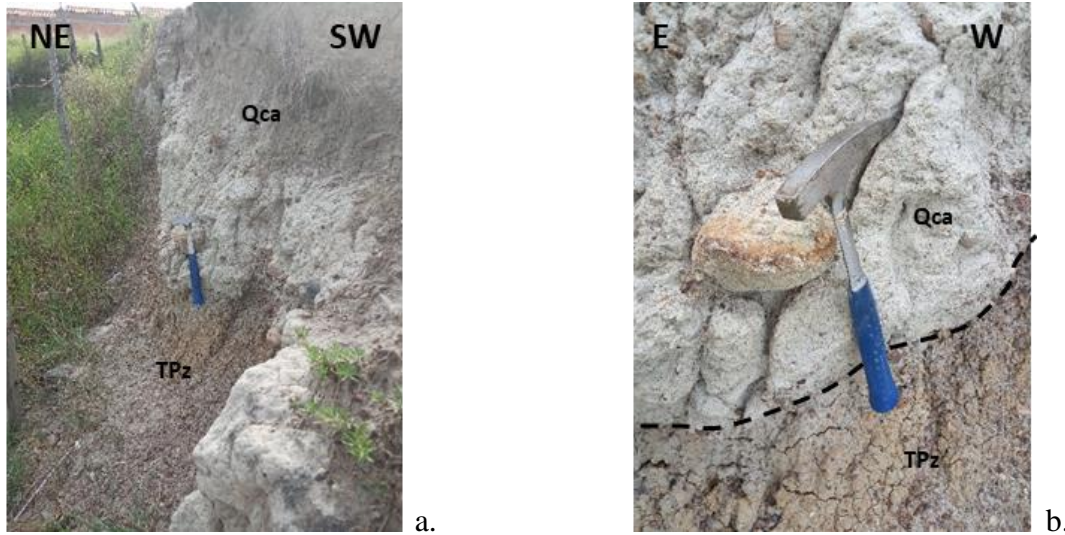


Figura 3.21. a. Afloramiento de depósito de cono en la estación O61. b. Detalle del contacto disconforme.

Fuente: fotografías propias

Otro depósito de este tipo fue localizado al SE de área urbana a unos metros de la vía que conduce a San Isidro, en la estación O69; el afloramiento tiene 7m de alto, los 5m de la base corresponden a un conglomerado clastosoportado, donde la matriz es de arena tobácea de grano medio a grueso y de comportamiento plástico, de color café pardo, con clastos subredondeados y de baja esfericidad, de hasta 5 cm de rocas ígneas, metamórficas, cuarzo, chert; después de este paquete se observan 0.6m de Toba conglomerática matriz soportada, con clastos de hasta 10cm de rocas ígneas, metamórficas, cuarzo y chert negro; finalmente lo suprayacen 1.5m de arena tobácea muy compacta con clastos de hasta 10 cm (Figura 3.22).



Figura 3.22. Afloramiento de depósitos de cono o de ladera (Qca) en la estación O69.

Fuente: fotografía propia

3.3.1.6. Depósitos coluviales y depósitos de ladera

Corresponden a materiales depositados a media ladera o a la base de colinas tras un corto recorrido y como consecuencia de la acción erosiva derivada de la escorrentía. Se ubican sobre divisorias, o sobre los flancos, nunca sobre áreas de drenaje. En la cabecera municipal de Obando se identificaron en los sectores que bordean las colinas onduladas; en los barrios El Portal, El Prado, Centro, San Fernando y Las Brisas.

Específicamente en la estación O7 a la base del barrio, sobre la vía que conduce a San Isidro, afloran 2m de un depósito matriz soportado (90% matriz, 10% clastos), con matriz de arena tobácea de grano fino y muy compacta, contiene clastos de hasta 2cm de jaspe, rocas ígneas, cuarzo, chert negro, también presentan líticos de tobas de tamaño menor a 1cm que exhiben alto grado de oxidación, estos clastos son subredondeados y de baja esfericidad. Se observa erosión en surcos (Figura 3.23).



a.



b.

Figura 3.23. a. Afloramiento en la estación O7. b. Depósito de ladera a la base del barrio Las Brisas, estación O7.

Fuente: fotografías propias

Para la construcción del barrio Sagrada familia, el material que conformaba los depósitos de ladera fue retirado; sin embargo, fue posible encontrar una franja de estos depósitos localizada en la parte trasera de las casas, ubicadas en la parte alta de este barrio, estación O63; se aclara que por la escala estos depósitos no son cartografiables, pero el lugar sirve como evidencia de la presencia de los mismos en el pasado y es muy útil para la parte descriptiva de estos materiales. Este es un depósito inconsolidado, presenta 3.4m de alto, a la base se describen 2m de depósito clastosoportado con clastos de tamaño variado: 50% de clastos de 1cm, 30% de clastos de hasta 5cm y 10% de clastos de hasta 10 cm la composición es jaspe, chert negro, rocas ígneas, rocas metamórficas, cuarzo blanco, toba; la disposición es aleatoria y no presenta gradación; la matriz es de arena de tamaño medio a grueso. Discordantemente es suprayacido por un paquete conglomerático de color amarillo ocre a rojo de material no consolidado y de disposición aleatoria, sin gradación, pero con un porcentaje de 20% de clastos de 15cm y un 80% de clastos que varían en tamaños de 1 a 5 cm, la composición de los clastos es de chert negro, cuarzo, rocas ígneas, tobas; el grado de oxidación es alto, la matriz es de arena media a gruesa y de la misma composición de los clastos (Figura 3.24a).

Este mismo tipo de depósito aflora en las estaciones O70 y O84 (Figura 3.24b y d) respectivamente.



Figura 3.24. a. Afloramiento de depósito de ladera en el barrio Sagrada Familia, estación O63.
b. Depósito de ladera en la estación O70. c. Depósito de ladera en la estación O84.

Fuente: fotografías propias

Aunque no fue posible verificar otros afloramientos, esta unidad se puede diferenciar con facilidad en el trabajo de geomorfología y será descrito en el capítulo en mención.

3.4. GEOLOGIA ESTRUCTURAL LOCAL

Parte del casco urbano al SW, se encuentra sobre el flanco izquierdo de la estructura anticlinal de Obando, donde los estratos tienen orientación o rumbo NE y buzamiento al NW; tanto para los depósitos de la formación La Paila como para los depósitos de la formación Zarzal.

Se detectó una tectónica reciente, evidenciada en un afloramiento del barrio las brisas, donde se observan microfallas locales, que afectan depósitos de la formación Zarzal (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).



Figura 3.1. Barrio las brisas, cerca de la casa de las dos Palmas, micro fallamiento que muestra una tectónica reciente sobre depósitos de la formación Zarzal.

Fuente: fotografía propia

En el trabajo de fotointerpretación se trazó un lineamiento al Sur del área urbana, este tiene orientación W-E

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

Corresponde a un trazo de falla cubierta reportado en el Mapa Geológico Plancha 243 – Armenia (McCourt et al., 1985). Este trazo esta por fuera del área de trabajo, pero debido a su cercanía se considera importante mencionarlo.

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 Obando 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 intermedia volcanosedimentaria (Rivs)

Comprende macizos rocosos en los que el material se presenta como roca meteorizada y con alto contenido de humedad, por lo tanto, la roca es de dureza intermedia y tienen resistencia intermedia. Dentro de esta unidad se incluyen las rocas de la Formación La Paila (TMp) que afloran al Sureste del área Urbana, en zona de lomas alargadas caracterizada por laderas cortas y de pendiente abrupta a muy abrupta.

3.5.2. Unidad de Roca blanda volcanosedimentaria (Rbvs)

Macizos rocosos meteorizados con código Rbvs (Roca blanda volcansedimentario), son rocas blandas y de baja resistencia. En esta unidad están las rocas pertenecientes a la Formación Zarzal (TPz), la cual está presente en las zonas de montículos donde la pendiente es suavemente inclinada a inclinada, esta unidad se encuentra en contacto con la unidad de roca intermedia volcanosedimentaria (Rivs).

3.5.3. Unidad de suelo transportado (St)

Son materiales que han sufrido algún tipo de transporte, ya sea por medios naturales de tipo fluvial o aluvial, eólico, 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 Obando se definieron las siguientes (Figura 3.2):

- 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).

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 Obando fueron:

- FAL 461_F-30 fotos 163, 164 y 165 del año 2007 (Figura 3.3).
- FAL 407_F43 fotos 1213, 1214 y 1215 del año 1999 (Figura 3.4).
- IGAC, C2141 fotos 10, 11 y 12 del año 1984 (Figura 3.5).
- IGAC C1514 fotos 16, 17 y 18 del año 1999 (Figura 3.6).

Son vuelos de aceptable calidad y escala, en los que se pudieron definir las unidades geomorfológicas y las unidades superficiales de gran escala; también se pudo definir la orientación estratigráfica y la geología estructural regional; siendo de gran ayuda y complemento para el conocimiento de la geomorfología del área.

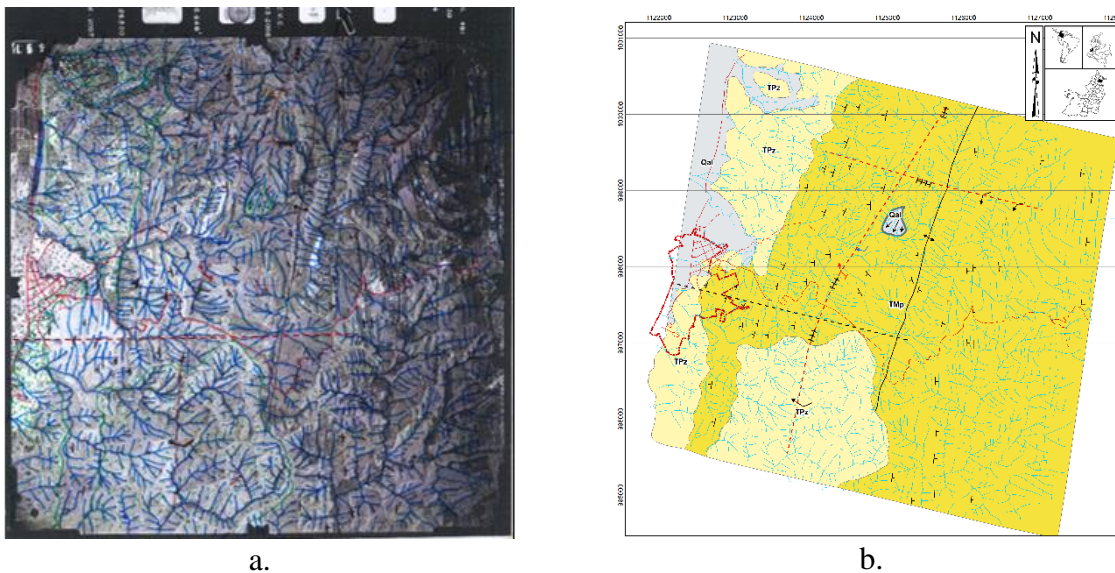
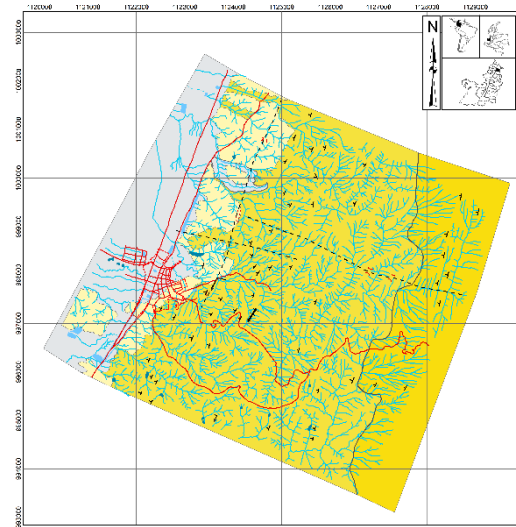


Figura 3.3. Fotointerpretación del vuelo FAL 461_F-30 fotos 163, 164 y 165 del año 2007.
Fuente: elaboración propia con datos de CVC, (2007).



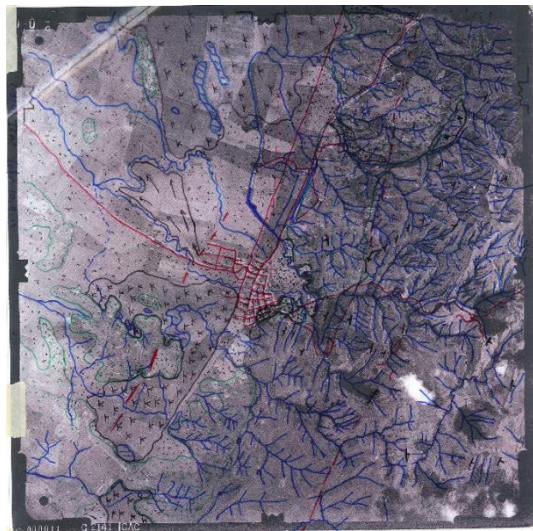
a.



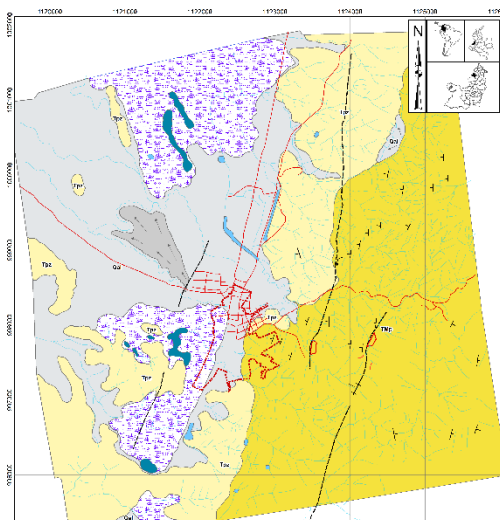
b.

Figura 3.4. Fotointerpretación del vuelo FAL 407_F43 fotos 1213, 1214 y 1215 del año 1999.

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



a.



b.

Figura 3.5. Fotointerpretación del vuelo IGAC, C2141 fotos 10, 11 y 12 del año 1984.

Fuente: elaboración propia con datos de la CVC, (1984)

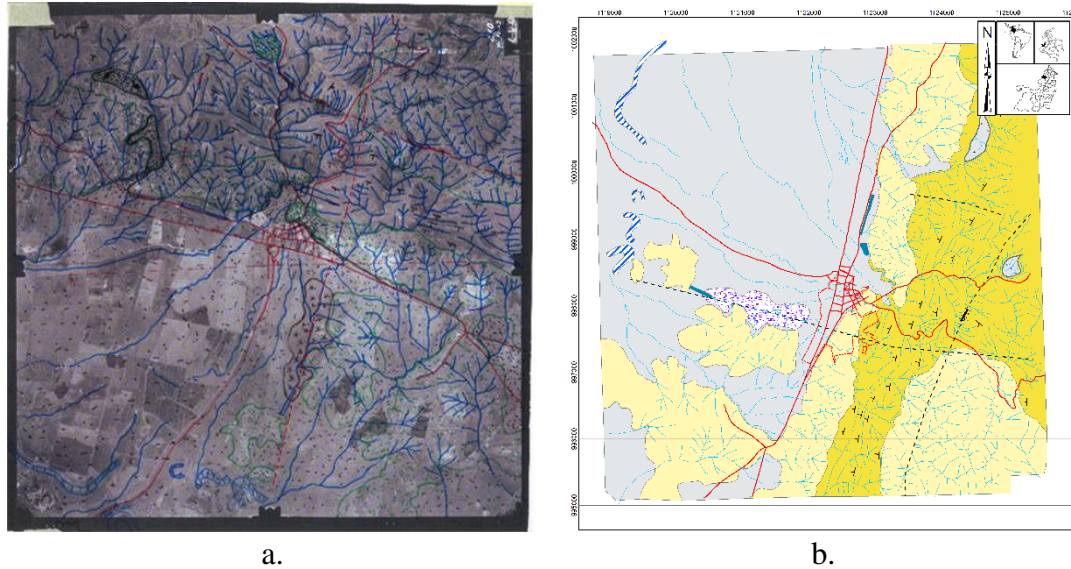


Figura 3.6. Fotointerpretación del vuelo IGAC, C1514 fotos 16, 17 y 18 del año 1999.

Fuente: elaboración propia con datos de la CVC, (1999)

Adicionalmente, se analizó el Modelo Digital del Terreno y el Mapa de Pendientes (Ver Figura 3.8 Figura 3.9 y el Modelo de Sombras) para verificar las características de la superficie y se complementó con el análisis de las fotografías aéreas. Con estas herramientas se obtuvo un insumo muy importante en la determinación de las unidades Geomorfológicas y se definió que el área urbana de Obando corresponde en un alto porcentaje a un relieve plano o suavemente inclinado ($0-2^\circ$) a inclinado ($4-8^\circ$) que corresponden a geoformas de origen aluvial. En menor proporción el relieve es de pendientes abruptas ($16-20^\circ$) a muy abruptas ($21-30^\circ$). Esta definición del relieve de acuerdo con la pendiente fue tomada de van Zuidam (1986).

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 3.31.

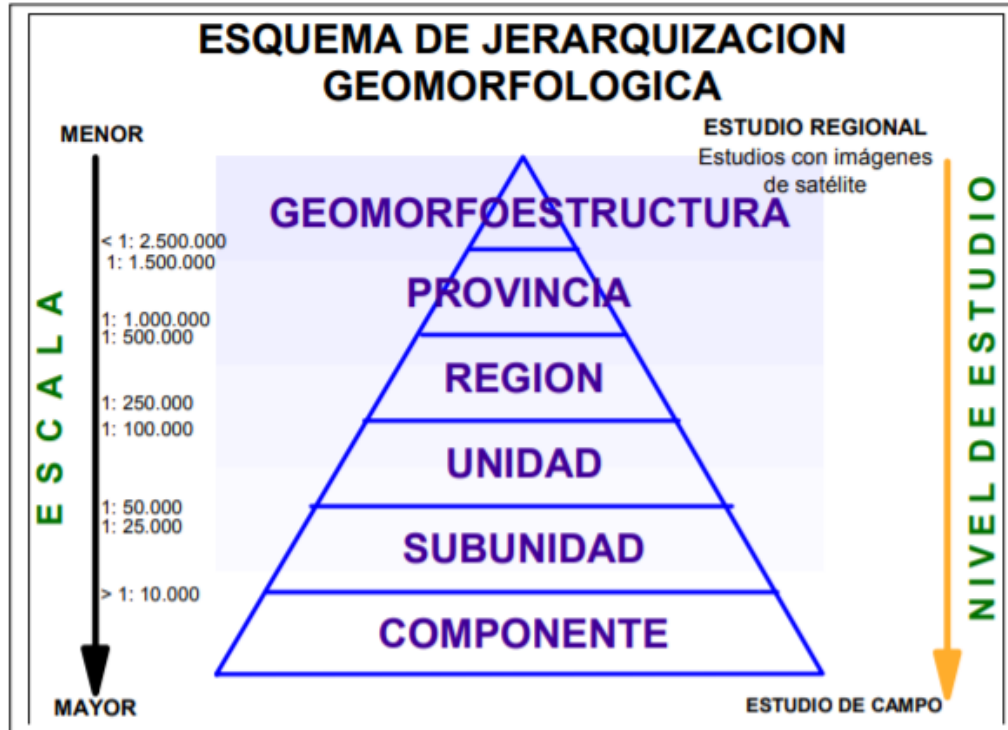


Figura 3.31. Esquema de jerarquización geomorfológica
Fuente: Tomado de Carvajal (2012).

Regionalmente el municipio de Obando se ubica en la cordillera de los Andes, específicamente sobre el piedemonte occidental de la Cordillera Central, conformado por sierras y Lomos de presión hacia la parte occidental; más al Este se encuentran los Lomos residuales que hacen parte de la geomorfología circundante del área urbana; también se encuentran los Montículos y ondulaciones denudacionales que bordean el piedemonte y sobre los que se construyeron algunos barrios del Municipio; finalmente en la parte baja domina la geomorfología aluvial del río Cauca y algunos de sus afluentes y que data del periodo cuaternario; sobre la que se construyó el mayor porcentaje del casco urbano.

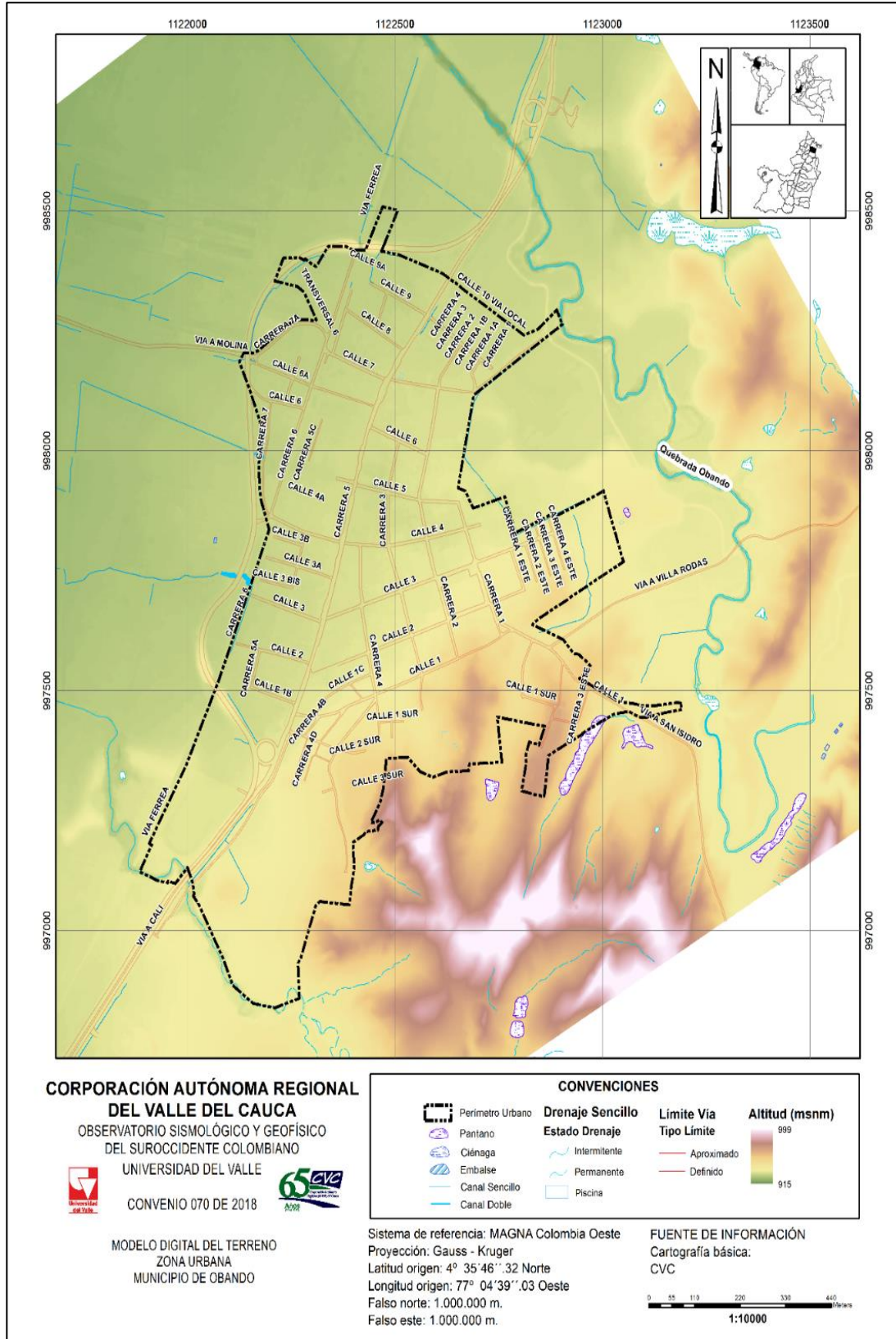


Figura 3.8. Modelo Digital de Terreno del área urbana del municipio de Obando.
Fuente: elaboración propia.

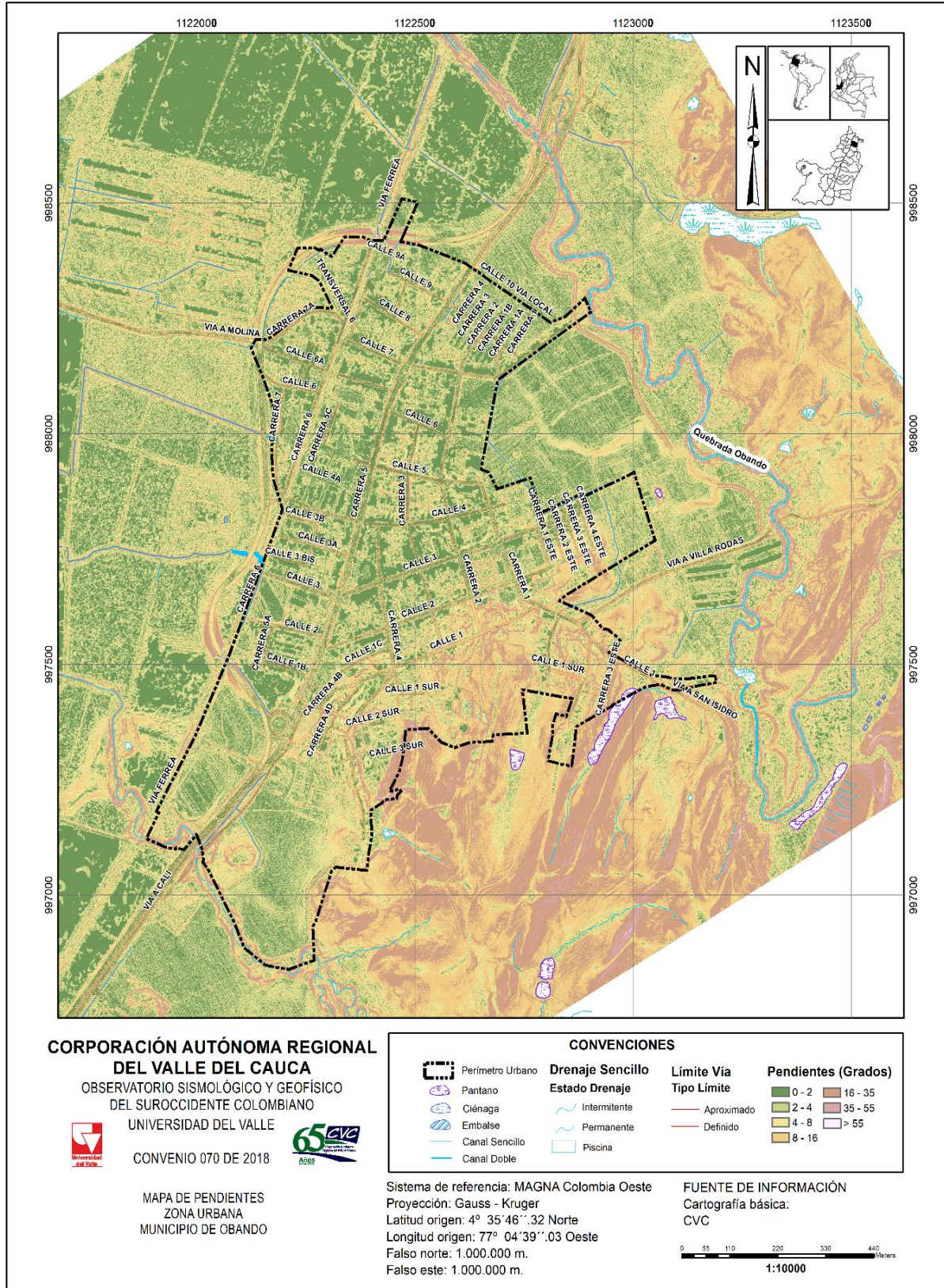


Figura 3.9. Mapa de Pendientes del área urbana del municipio de Obando
Fuente: elaboración propia.

De otra parte, la actividad antrópica, modificó puntualmente en algunos sectores la morfología del paisaje natural, generando nuevas formas y nuevos procesos que modifican el terreno (rellenos). Se destacan tres tipos de morfología en el área urbana de Obando:

1. Sectores de piedemonte conformado por lomos residuales, donde predominan las rocas sedimentarias Terciarias de la Formación La Paila (TMp), con predominio de pendientes abruptas a muy abruptas, localizadas en el 2.41% del casco urbano del Municipio; también se incluye en este sector los Montículos y ondulaciones denudacionales con predominio de pendientes inclinadas a muy inclinadas asociadas a rocas de la formación Zarzal (TPz), se localizan en el 9.93% del casco urbano.
2. Zonas de conos, terrazas, depósitos aluviales y de ladera, donde se tienen básicamente depósitos Cuaternarios de origen fluvial y denudacional, asociados con la actividad de la quebrada El Naranjo, quebrada Las Jaguas y otros tributarios menores, también los depósitos de Ladera (Dco), estas geoformas cubren en 81.52% del casco urbano.
3. Zonas asociadas a actividad antrópica (6.14%), particularmente sobre los depósitos aluviales, y sobre depósitos terciarios de la Formación Zarzal (TPz) que han generado geoformas recientes, especialmente relacionadas con rellenos realizados con fines de urbanización y transporte.

Con base en su origen, en el casco urbano del municipio de Obando se reconocieron tres tipos de geoformas: De origen denudacional (D), fluvial (F) y antrópico (A) Figura 3.34.



Figura 3.34. Tipos de geoformas principales identificadas en el área urbana y alrededores del municipio de Obando. Denudacional (D), Fluvial (F), Antrópico (A).

Fuente: fotografía propia.

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).

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

ORIGEN	CARACTERÍSTICAS	NOMBRE DEL ELEMENTO	NOMENCLATURA
ESTRUCTURAL DENUDACIONAL	Estas geoformas se originan por la influencia de la actividad tectónica sobre roca y suelos, generando expresiones en el terreno que se combinan con los procesos denudacionales.	Gancho de falla	Sgf
		Lomo de presión	Slp (Sle)
		Cerro estructural	Scs
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)
SUBORIZ ONTALE S A INCLINA		Colina residual	Vcr (Dcr)
		Superficie Plana o Sub- horizontal	Vlpf (Dlp)

ORIGEN	CARACTERÍSTICAS	NOMBRE DEL ELEMENTO	NOMENCLATURA
DENUACIONAL	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	Ladera suave	Vls (Dls)
		Ladera moderada	Vlm (Dlm)
		Ladera inclinada a escarpada	Vle (Del)
		Microcuencas denudacionales	Dmc
		Depósitos de lavado	Ddl
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	Depósitos de ladera o coluviales	Dco
		Cauce o lecho actual del río	Fca
		Nivel de terraza bajo	Ftb
		Nivel de terraza medio	Ftm
		Nivel de terraza alto	Fta
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.	Escarpe de terraza	Fet
		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.

Los elementos asociados con dichas geoformas encontrados en el casco urbano del municipio de Obando se relacionan a continuación:

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).

Por lo tanto, dentro de los elementos de este origen se incluyen:

Depósito de lomo residual (**Dires**): Identificado al Sureste del área urbana, sobre este tipo de geoforma se construyó parte del barrio Las Brisas; la morfología es de lomas alargadas y laderas muy cortas a cortas, las formas de las laderas son cóncavas y convexas, presenta pendientes abruptas a muy abruptas Figura 3.35.



Figura 3.35. Lomo residual (Dlres) al Sureste del barrio las Brisas.
Fuente: fotografías propias



Figura 3.36. Lomo residual (Dlres) de la formación La Paila (TMp), sobre el que se construyeron las instalaciones de Acuavalle.
Fuente: fotografías propias

Montículos y ondulaciones denudacionales (**Dmo**): Identificado al Sureste del área urbana, sobre este tipo de geoforma se construyeron los barrios Sagrada Familia primera Etapa, parte del Centro, San Rafael, la Arboleda; la morfología es de colinas de laderas muy cortas, las formas de las laderas son cóncavas y convexas, presenta pendientes inclinadas a muy inclinadas, son geoformas tipo de sedimentos inconsolidados de la formación Zarzal (TPz) (Figura 3.37 y Figura 3.38).



Figura 3.37. Lomos y Ondulaciones (Dmo), vista desde el Sureste hacia el barrio Silvio Vázquez.

Fuente: fotografías propias



Figura 3.38. Lomos y Ondulaciones (Dmo) de la formación Zarzal (TPz), en el sector de la casa de las dos Palmas e inmediaciones del barrio San Rafael

Fuente: fotografías propias

Depósito de ladera o coluvial (**Dco**): Fueron identificados a media ladera o a la base de las mismas en el Cerro Loma Fuerte, en Loma Arrinconada y en el Cerro de La Cruz; presentan pendiente inclinada (Figura 3.39, Figura 3.40 y Figura 3.41)



Figura 3.39. Depósitos de ladera (Dco) en la parte baja del barrio las Brisas en la vía a San Isidro. b. Vista general desde la parte alta hacia el barrio las Brisas de los depósitos de ladera (Dco) y lomo residual (Dlres).

Fuente: fotografías propias



Figura 3.40. a. Geofoma de depósitos de ladera (Dco) sobre la que se construyó parte del barrio Silvio Vázquez. b. Geofoma de depósitos de ladera (Dco) y Cono de deyección (Fcdy), en el barrio El Prado.

Fuente: fotografías propias



Figura 3.41. a. Geoforma de depósitos de ladera sobre la que se construyó el barrio San Fernando. b. Depósitos coluviales (Dco) al Suroeste del Parque Recreacional. Fotografía tomada desde el sector de Acuavalle

Fuente: fotografías propias

Depósitos de movimiento en masa (Dmm): Corresponde a los cuerpos de lodos deslizamientos y reptación, identificados en el sector del barrio las Brisas y San Rafael (Figura 3.42, Figura 3.43 y Figura 3.44).



Figura 3.42. Barrio Las Brisas. a. Fisura en pavimento que evidencia el movimiento del terreno. b. Movimiento de reptación evidenciado por el tronco de los arbustos inclinados en dirección contraria a la pendiente, obsérvese además la leve inclinación de la edificación de 2 pisos.

Fuente: fotografías propias



Figura 3.43. a. Fisura en la calle 2 Sur Cra 3Este, barrio las Brisas. b. Deslizamiento rotacional Antiguo, nótese el movimiento a favor de la pendiente.

Fuente: fotografías propias



Figura 3.44. Barrio San Rafael. a. Corona de deslizamiento antiguo. b. Cuerpo de deslizamiento ya vegetado.

Fuente: fotografías propias

Las formas de origen Fluvial son geoformas desarrolladas a partir del material erosionado y transportado pendiente abajo desde las zonas montañosas aledañas por acción de las corrientes o por acción de la gravedad (modificado de Ibañez et al., 2012). Se incluyen los siguientes elementos: Cauce o lecho actual (**Fca**): Corresponde a los lechos de la quebrada el Naranjo, quebrada las Jaguas y las corrientes secundarias e intermitentes que bajan del piedemonte, hacia la zona urbana

Depósito de Terraza aluvial (**Fta**). Zonas de pendiente plana a suave, que se originan por procesos de erosión y acumulación fluvial (Figura 3.45), se pueden observar en las riveras de la quebrada el Naranjo y en la quebrada las Jaguas, algunos ejemplos de geoformas de depósitos de terraza aluvial.



Figura 3.45. Quebrada El Naranjo. a. Geoformas de terraza aluvial (Fta) en inmediaciones de la estación O47. b. Terraza aluvial en contacto con depósitos de la formación Zarzal (Tpz) a unos metros de la estación O49. c. Fotografía tomada desde el SE hacia la estación O50, en dirección al barrio Bello Horizonte, nótese la terraza aluvial a la derecha (Fta) y el jarillón a la izquierda (Allj). d. Terraza aluvial (Fta) en la quebrada las Jaguas y Cauce actual (Fca) vegetado, en la misma quebrada.

Fuente: fotografías propias

Depósitos de Conos de deyección (**Fcdy**). Zonas en forma de cono, con pendientes de suavemente inclinadas a inclinadas, su extensión es de decenas de metros, se forman donde las quebradas llegan a valles amplios.

En el área urbana se encontraron al SE, donde esta geoforma es cortada por la vía que conduce a San Isidro (estación O69) (Figura 3.46).

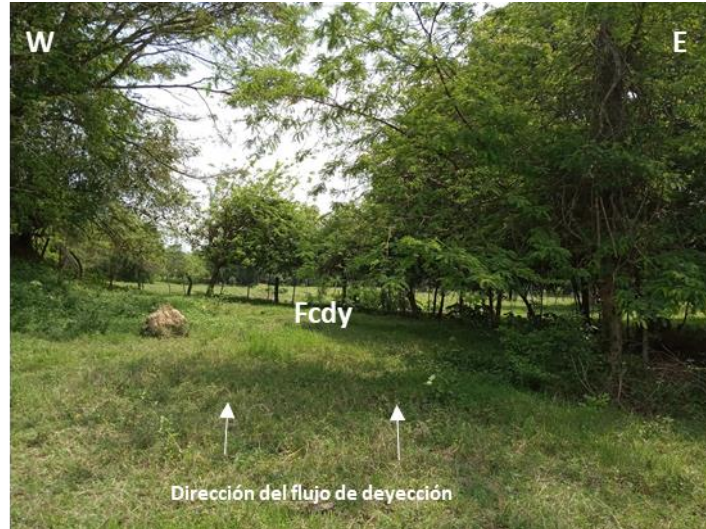


Figura 3.46. Cono de deyección al SW del área urbana, en la vía que conduce a San Isidro
Fuente: fotografía propia

También se localizó un cono de deyección sobre el que se construyó parte del barrio El Prado y esta misma geoforma fue identificada a la salida del canal de la carrera 1 Este (actualmente canalizado), fue depositado en el pasado y los sedimentos vienen de la microcuenca del barrio las Brisas hacia el barrio Santa Bárbara y al SE del Barrio Sagrada Familia (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).



Figura 3.47. Cono de deyección (Fcdy) en el barrio el Prado. b. Cono de deyección (Fcdy) sobre el que se construyó el barrio Santa Bárbara.
Fuente: fotografías propias

Cono de deyección (Fcdy) en el barrio el Prado. b. Cono de deyección (Fcdy) sobre el que se construyó el barrio Santa Bárbara.

El 63.45% del área urbana se construyó sobre estos depósitos transportados por las quebradas el Naranjo y las Jaguas (Figura 3.48).



Figura 3.48. a. Geoformas de depósitos aluviales en cercanías al barrio Bello Horizonte. b. Depósitos aluviales (Fa) detrás del estadio y Llenos de Roca (Allr) para la línea del ferrocarril.

Fuente: fotografías propias

Las siguientes imágenes muestran vistas panorámicas que detallan los diferentes tipos de geoformas naturales en el área urbana de Obando (Figura 3.49 y Figura 3.50).



Figura 3.49. a. Geoformas de depósitos aluviales (Fa), Cono de deyección (Fcdy), Domos y montículos (Dmo) y Lomo residual (Dlres). Fotografía tomada desde el SE de la cabecera municipal.

Fuente: fotografía propia



Figura 3.50. a. Geformas de depósitos aluviales (Fa), Domos y montículos (Dmo), Lomo residual (Dlres) y Depósitos de Ladera (Dco. Fotografía tomada desde el W sobre la vía Panorama.

Fuente: fotografía propia

Las formas de origen Antrópico corresponden a geformas que han sido modeladas como producto de las actividades realizadas por el hombre, durante sus procesos de adaptación y aprovechamiento del territorio (Ibañez et al., 2012). Los elementos identificados con estas geformas se definieron en el mapa como:

Llenos Mixtos (**All**): Corresponde llenos conformados por escombros, basura, plástico, etc. El primero está ubicado en el barrio las brisas al oriente de la carrera 3 Este (Figura 3.51).



Figura 3.51. a. y b. Geformas de Llenos antrópicos mixtos (All) en el barrio Las Brisas.

Fuente: fotografías propias

El segundo lleno fue identificado en el Barrio San Rafael, y sobre este se construyeron las instalaciones del SIM (Servicio Social y Misionero) (Figura 3.76).



Figura 3.52. a. y b. Geoformas de Llenos antrópicos mixtos (All) en el barrio Las Brisas.

Fuente: fotografías propias

Finalmente, en el Barrio Sagrada Familia (etapa en construcción), se observa que el material in situ fue removido y mezclado con otros materiales de relleno; personal de la alcaldía manifiesta que es un lugar que se ha re-trabajado y relleno con el fin de mejorar la calidad del suelo y para levantar el nivel base del lugar; por ende para este proyecto se desconoce con precisión qué tipo de material se ha usado, sin embargo es posible visualizar que la remoción en el momento es de 1m a 1.5 m (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).



Figura 3.53. a. Barrio en construcción Sagrada Familia, Segunda Etapa. b. Detalle de los Llenos antrópicos mixtos (All) con profundidad observada de hasta 1.5m.

Fuente: fotografías propias

Llenos de jarillón (**Allj**): Corresponde al jarillón realizado por la CVC para protección del municipio ante inundaciones de la quebrada el Naranjo (Figura 3.54).



Figura 3.54. a. Lleno de jarillón (Allj) en inmediaciones de la quebrada el Naranjo.

Fuente: fotografía propia

Llenos de roca (**Allr**): Corresponde a los llenos realizados para la construcción de la línea férrea (Figura 3.55).



Figura 3.55. a. Lleno de roca (Allr), línea férrea.

Fuente: fotografía propia

Llenos seleccionados (Alls): Corresponde llenos conformados para la construcción de vías intermunicipales como la Panorama, que cumplen con especificaciones inve 330 del INVIA. Estos llenos ocasionan en algunos sectores represamiento de aguas lluvias y por ende inundaciones, debido a que no existen suficientes pasos de agua para que esta circule por debajo de la vía, (Figura 3.77).



Figura 3.56. a. y b. Evidencia de relleno seleccionado (Alls) en la vía Panorama

Fuente: fotografías propias

3.6.3. Fase 3

El resultado de la integración de las fases 1 y 2 del trabajo de geomorfología permitió definir el mapa geomorfológico (o de elementos geomorfológicos) de acuerdo con la escala de detalle del presente trabajo; este mapa se muestra en la Figura 3.57.

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 Central, flanco occidental. 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.

3.6.4. Movimientos en masa y erosión

El fenómeno de movimientos de remoción en masa se evidenció en la zona urbana del municipio de Obando, específicamente en los barrios Las Brisas y San Rafael, adicionalmente se observan algunas zonas erosivas principalmente ocasionadas por la actividad fluvial en las laderas de la quebrada el Naranjo; además del uso del suelo para ganadería.

3.6.4.1. Movimientos en masa del Barrio Las Brisas

El barrio las Brisas es un barrio ubicado al Sureste, construido en la parte frontal de un lomo residual, de laderas muy cortas a cortas, las pendientes son abruptas a muy abruptas.

En el sector urbanizado no se pudo verificar la geología del lugar, debido a que por los problemas de movimiento del terreno todo ha sido cubierto con concreto, paredes, etc, cubriendo posibles afloramientos de roca y dificultando definir con certeza la litología; sin embargo, por asociación geomorfológica se deduce que este barrio fue construido sobre rocas de la formación La Paila (conglomerados polimícticos de cantos a areniscas grueso granulares a conglomeráticas que se presentan en bancos de espesor muy grueso a grueso de estratificación plana, no paralela, y continua; interestratificados con conglomerados y tobas dacíticas, también se presentan areniscas de grano grueso a medio, cuya composición (que incluye granos de hornblenda, biotita, magnetita, plagioclasa) o por depósitos de ladera inconsolidados provenientes de las mismas rocas; esto será verificado en la etapa de geotecnia (etapa exploratoria con perforaciones) que se realizará para el proyecto.

Lo que sí es evidente es la ocurrencia de movimientos en masa del tipo reptación que se presentan en el sector, la primera evidencia está localizada en la Cra 2 Este, vía que conduce hacia las instalaciones de Acuavalle, donde se observa una fisura circular y un pequeño desnivel de la ladera Occidental; es notoria la inclinación en contra de la pendiente de los pocos arbustos sobre el cuerpo de deslizamiento.

Adicionalmente en las instalaciones de Acuavalle se reconocen evidencias como: Inclinación de la puerta de ingreso, postes de iluminación inclinados en la dirección del movimiento, subsidencia de los pisos en las instalaciones, inclinación y fracturas en los muretes de cerramiento, fracturas en los tanques de agua y que por ende están inhabilitados; también se evidencia la presencia de nidos muy grandes de arrieras que pueden contribuir a la inestabilidad. También se evidencia la circulación de agua limpia por los lados de las instalaciones y que evidencia la fisura de los tanques en uso, situación que puede aportar al movimiento en masa del sector (Figura 3.58 y Figura 3.59).

Barrio Las Brisas Parte Alta

Se observa movimiento lento (reptación) en la zona, árboles que inclinan su tronco en la dirección opuesta a la pendiente



Figura 3.58. Evidencias de reptación en el barrio Las Brisas, sector Acuavalle.
Fuente: fotografías propias



Tanques con fisuras que fueron inhabilitados



Agua acumulada limpia que sale por el Oriente,
de una tubería de las instalaciones de Acuavalle



Agua limpia que sale por el
Occidente,
de las instalaciones de
Acuavalle



Figura 3.59. Evidencia de tanques fisurados y de la presencia de agua que sale de las instalaciones de Acuavalle y circula por las laderas del lomo residual.

Fuente: fotografía propia.

También la afectación se da sobre las viviendas alrededor de Acuavalle (Figura 3.60).



Figura 3.60. Fracturas en fachadas, muros y pisos agrietados en la parte alta del barrio Las Brisas.

Fuente: fotografías propias

Una de las muchas evidencias del movimiento en masa en el barrio las Brisas se observó en el Colegio José Hilario López que se encuentra en desuso por su mal estado (Figura 3.61).

Barrio Las Brisas Colegio José Hilario López

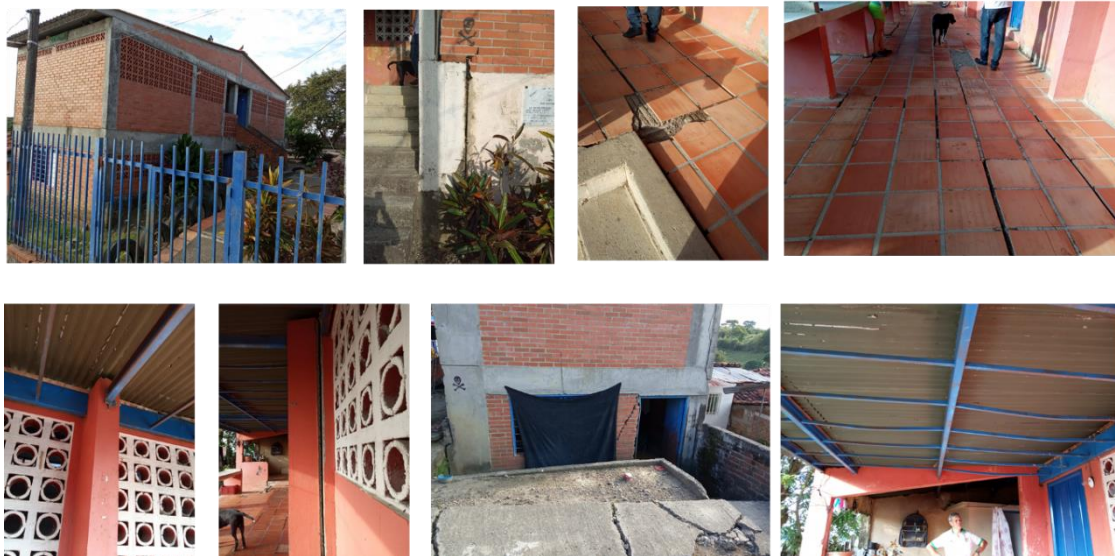


Figura 3.61. Mal estado del Colegio José Hilario López, ocasionado por el movimiento en masa del sector.

Fuente: fotografías propias



Figura 3.62. Mal estado del Colegio José Hilario López, ocasionado por el movimiento en masa del sector. barrio Las Brisas.

Fuente: fotografías propias

Las viviendas ubicadas sobre la Calle 1 Sur (al Sur-Este) presentan agrietamientos y hundimiento en pisos, etc., las Figuras 3.7.39, 40 y 41 muestran algunas de viviendas afectadas.

Las personas de la casa ubicada en la Calle 1 Sur #1E-17, manifiestan que el FOREC les realizó una remodelación hace 20 años, cuando la casa era de bahareque, comentan que el suelo era como barro mojado, después subieron la pared de ladrillo para minimizar la humedad (Figura 3.63).



Figura 3.63. Mal estado de la vivienda ubicada en la Calle 1 Sur #1E-17, debido a la afectación por humedad y el movimiento en masa. Barrio Las Brisas.

Fuente: fotografías propias

Calle 1Sur #1E-3, vivienda de la señora Blanca Libia Salas, presenta agrietamiento en piso y paredes, se evidencian problemas con el método constructivo (construcción con método de ladrillo trabado, ausencia de vigas y columnas) (Figura 3.64).



Se observa agrietamiento en fachadas y pisos de las casas



Figura 3.64. Mal estado de la vivienda ubicada en la Calle 1 Sur #1E-17, debido a la afectación por humedad y el movimiento en masa. Barrio Las Brisas.

Fuente: fotografías propias

La casa abajo del colegio José Ilario López en el barrio las Brisas, presenta curvatura en muros, evidenciando la carga de la infraestructura del colegio (Figura 3.65).



Casa abajo del Colegio José Hilario López

Figura 3.65. Afectaciones en vivienda que soporta el peso de la infraestructura del colegio José Ilario López.

Fuente: fotografías propias

La Figura 3.66, muestra las filtraciones de agua observadas en el tanque localizado en la Cra 2 Este con Calle 1 Sur. Las personas del sector manifiestan que el tanque tiene más de 50 años y que no se le hace mantenimiento; también mencionan que cuando realizaron las zapatas de sus viviendas estas se llenaban de agua limpia y que encontraban tuberías antiguas que filtraban agua.



Figura 3.66. Mal estado de las viviendas ubicadas sobre la Calle 1 Sur, debido a la afectación por humedad y el movimiento en masa. Barrio Las Brisas.

Fuente: fotografías propias

Sobre la ladera Oriental también se encontraron evidencias de filtraciones donde los propietarios realizaron cajas para recolectar el agua y conducirla por tubería al alcantarillado, esto se evidencio en la vivienda ubicada en la Cra 3E #1a-32 (Figura 3.67).

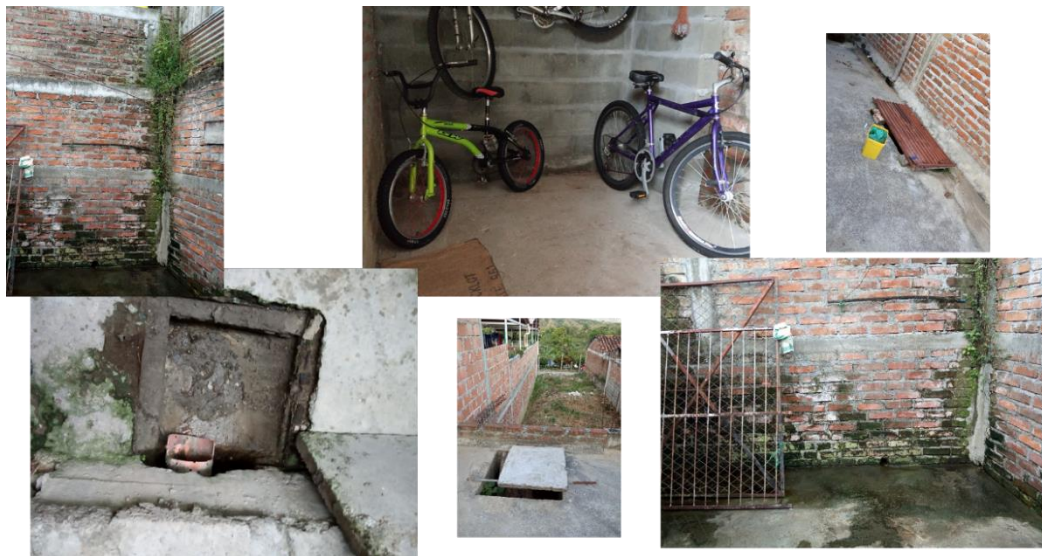


Figura 3.67. Filtración de agua y construcción de cajas en la Cra 3E #1ª-32. Barrio Las Brisas.

Fuente: fotografías propias.

También se encontró evidencia de un deslizamiento del tipo rotacional, localizado en la base de la ladera Este del barrio Las Brisas (Figura 3.68). Es un deslizamiento antiguo, se observa fisura y desnivel de la vía en dirección de la pendiente, también existe un muro de contención, lo que suma a las evidencias del movimiento en el lugar y afectaciones en pisos y paredes de viviendas, además de la humedad (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.).



Figura 3.68. Movimiento en masa en la base de la ladera Este del barrio las Brisas. Calle 2 Sur con Cra 3 Este.

Fuente: fotografías propias.



Figura 3.69. Afectación en viviendas sobre la Cra 3Este, ocasionadas por el movimiento en masa, adicionalmente se evidencian tuberías antiguas que filtran agua. Nótese el muro de contención.

Fuente: fotografías propias.

Las personas que habitaban las casas atrás del deslizamiento fueron reubicadas, sin embargo, fueron nuevamente ocupadas. En este sector se han demolido viviendas, pero los lotes han sido nuevamente asignados y construidos.

Respecto de la geología del lugar, se evidenció que existe un relleno con material mixto, y sobre este se ha ido edificando (Figura 3.70).



Figura 3.70. Material de relleno y fugas en tuberías de las casas abajo del muro de contención.
Fuente: fotografías propias.

3.6.4.2. Movimientos en masa del Barrio San Rafael

Es un barrio ubicado al Sur del casco urbano, construido en la ladera Occidental de una colina de pendientes inclinadas a muy inclinadas.

Se trata de un deslizamiento traslacional antiguo con un escarpe de 2m, la corona de deslizamiento tiene cerca de 8m de ancho, este deslizamiento ocurrió en el año 2002; años después se reactivó (entre 2009 y 2011), según información de personas del Municipio, sin embargo, se realizó una reforestación con guadua, bambú y mata ratón que ayudo a estabilizar el terreno y no se ha vuelto a reactivar; no fue posible determinar las dimensiones exactas debido a la vegetación.

El material del cuerpo de deslizamiento corresponde a tobas grises muy finas, areniscas muy finas color rojo oxido y diatomitas, también se observan jaspes, y chert subredondeados de hasta 3cm (esta descripción concuerda con las rocas que hacen parte de la formación Zarzal); el cuerpo de deslizamiento es un estrato que se desplazó completo usando la superficie de contacto entre estratos; también es notoria la presencia de nidos de arrieras que pudieran aportar en la reactivación del movimiento (Figura 3.71).



Figura 3.71. Deslizamiento del Barrio San Rafael, corona, cuerpo de deslizamiento y litología.
Fuente: fotografías propias.

El terreno en la parte baja de este deslizamiento fue explanado hasta cierto sector y debido a la pendiente, se rellenó para completar el área necesaria para construir las instalaciones del SIM (Servicio Social y Misionero), este es un centro infantil donde permanecen niños entre 18 meses y 5 años.

Este relleno sobre el cual se construyeron las instalaciones del SIM está presentando inestabilidad, se observa agrietamiento de hasta 4cm en paredes y pisos en una de las secciones, la cual fue inhabilitada; sin embargo, representa un riesgo debido a que es un centro infantil y se puede ocasionar un accidente (Figura 3.72).



Figura 3.72. Mal estado de las instalaciones del SIM debido al movimiento del terreno.
Fuente: fotografías propias.

En las instalaciones que están en uso actualmente, también han presentado inestabilidad, debido a esto se le construyeron unos pilares y refuerzos estructurales en metal, sin embargo, la construcción se ha seguido fracturando.

Es visible en la parte trasera de las instalaciones que la viga de amarre se separó del suelo 13cm (asentamiento), además la canaleta que recoge el agua lluvia presenta hundimiento y ya no evacúa el agua, es decir quedó a contrapendiente por el hundimiento (Figura 3.73).



Figura 3.73. Mal estado de las instalaciones en uso actualmente, reforzamiento realizado y evidencia de asentamiento del terreno.

Fuente: fotografía propia.

También se observa riesgo por caída de tejas desde el tejado de barro que puede caer sobre un niño. Las personas que habitaban las casas que están ubicadas en la parte trasera del SIM fueron reubicadas por la inestabilidad, al momento estas casas no se han demolido y están inhabitadas. También se notó que la cancha que se encuentra por fuera de las instalaciones del SIM pero sobre el mismo borde de ladera se encuentra fracturada (Figura 3.74).



Figura 3.74. Vivienda ubicada en la parte trasera del SIM, tejas a punto de caer y cancha del barrio San Rafael que presenta agrietamiento.

Fuente: fotografía propia.

Se considera importante mencionar que se observan nidos de arrieras en el terreno detrás de las instalaciones del SIM y que se debe realizar un control de las mismas.

3.6.4.3. Inestabilidad en el Parque Recreacional

En el parque recreacional se encuentra ubicado en una microcuenca, a la que le pasaba un pequeño riachuelo por el centro (ahora canalizado hasta la parte media de la microcuenca), las instalaciones están sobre las laderas de la microcuenca y en el centro de la misma. Se realizaron modificaciones y adecuaciones del terreno para realizar, piscinas y tanques que en el momento presentan fracturas, hundimientos e inestabilidad, el lugar se encuentra en desuso, el agua de las piscinas es la que se acumula por lluvias, el agua sale por medio de las fisuras; sin embargo, hay estancamiento de la misma y por ende una proliferación de zancudos en la zona. La **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** resume la situación del lugar.



Figura 3.75. Instalaciones del Parque Recreacional en mal estado por inestabilidad del lugar.
Fuente: fotografía propia.

La geología del lugar corresponde a tobas de color habano (Formación Zarzal) en la parte alta, que se encuentran muy húmedas y tienen un comportamiento plástico, dando respuesta a lo que está

sucediendo en el lugar, ya que, si el material sobre el que se construyeron las piscinas y estanques, está recibiendo un aporte de agua, sumado al comportamiento plástico, además del peso de la infraestructura. El resultado es evidente. Por tratarse de una cuenca, también existe materia aluvial hacia la parte baja topográficamente.

También existe la posibilidad de que el material que salió de la excavación de la piscina se haya dispuesto alrededor, siendo un material no consolidado que se puede mover; adicionalmente se observa que los caminos y la cancha de basquetbol no tuvieron un buen método constructivo (ausencia de varillas y mallas en acero); no se tiene un criterio para decir lo mismo de las piscinas y demás instalaciones. Tampoco se observa un manejo de las aguas lluvias en el lugar.

Tabla 3.2. Sitios con remoción de masas

SITIOS CON REMOCION EN MASA ACTUAL					
ESTACIÓN	LOCALIZACIÓN	LITOLOGIA	DESCRIPCIÓN	COORDENADAS	OBSERVACIONES
O10	Barrio Las Brisas	El deslizamiento afecto depósitos de relleno mixto (Sa) y posiblemente, rocas volcano sedimentarias, de la formación La Paila (TMP)	Deslizamiento Rotacional, los materiales afectados se pueden describir como suelo transportado antrópico mixto (Sa) y posiblemente, rocas volcano sedimentarias, de dureza intermedia y muy meteorizadas de la formación La Paila (Rivs) Se presentan fisura en pavimento de la vía de 10m de ancho aprox. No es posible detallar el escarpe debido a que se ha continuado el relleno sobre el cuerpo del deslizamiento.	X.: 1122943,663 Y:997433,0898 Elevación: 946.5	Como contribuyentes detonantes se tienen: - El aporte de agua que sale de las tuberías antiguas de Acuavalle. - Aporte de agua de las viviendas alrededor y de la vía que no tiene canaletas. - La litología del lugar (posiblemente rocas volcano sedimentarias de la Formación La Paila) o depósitos de ladera de la misma formación (esto se comprobará con los estudios Geotécnicos).
O1, O3	Barrio Las Brisas, Sector Acuavalle	Afecta posiblemente depósitos volcano sedimentarios de la Formación La Paila y/o Depósitos de Ladera inconsolidados de la misma formación.	Movimiento en masa del tipo Reptación, los materiales afectados se pueden describir como rocas volcano sedimentarias, de dureza intermedia y muy meteorizadas de la formación La Paila (Rivs) y/o Depósitos de Ladera (Dco) inconsolidados. Se evidencia el movimiento lento del terreno por la inclinación en contra de la pendiente de los arbustos localizados en el cuerpo de deslizamiento. Fisura en pavimento en la parte alta	X.: 1122929,421 Y:997311,1164 Elevación: 957.1	Como contribuyentes detonantes se tienen: - Poca vegetación -Uso de suelo: Ganadería. - El aporte de agua que viene de los tanques fisurados y tuberías viejas de Acuavalle. - La litología del lugar (posiblemente rocas volcano sedimentarias de la Formación La Paila) o depósitos de ladera de la misma formación (esto se comprobará con los estudios Geotécnicos). -Orientación y disposición de las rocas (estratificación), posiblemente a favor de la pendiente (esto se comprobará con los estudios Geotécnicos).
O4, O5, O9, entre otras	Calle 1Sur y sus alrededores, barrio Las Brisas	Afecta posiblemente depósitos volcano sedimentarios de la Formación La Paila y/o	Movimiento en masa del tipo Reptación, los materiales afectados se pueden describir como rocas volcano sedimentarias, de dureza intermedia y muy meteorizadas de la formación La Paila (Rivs)	X.: 1122984,298 Y:997423,9539 Elevación: 954.7	Como contribuyentes detonantes se tienen: - El aporte de agua que viene de los tanques fisurados y tuberías viejas de Acuavalle. - La litología del lugar (posiblemente rocas volcano sedimentarias de la Formación La Paila) o depósitos de ladera de la misma formación

SITIOS CON REMOCION EN MASA ACTUAL					
ESTACIÓN	LOCALIZACIÓN	LITOLOGIA	DESCRIPCIÓN	COORDENADAS	OBSERVACIONES
		Depósitos de Ladera inconsolidados de la misma formación.	y/o Depósitos de Ladera (Dco) inconsolidados. Se evidencia el movimiento lento del terreno por las afectaciones observadas en las viviendas; además del aporte de agua al terreno que se evidencia en la humedad de paredes y pisos de las mismas.		(esto se comprobará con los estudios Geotécnicos). -Orientación y disposición de las rocas (estratificación), posiblemente a favor de la pendiente (esto se comprobará con los estudios Geotécnicos).
O37	SIM, Barrio San Rafael	Afecta rocas volcano sedimentarias de la formación Zarzal (TPz), conformada por diatomitas, tobas y areniscas de tamaño muy fino	Se puede clasificar como Deslizamiento traslacional antiguo, los materiales afectados se pueden describir como Rocas blandas (Rb) de la Formación Zarzal (TPz). Escarpe de 2m, Ancho de la corona 8m. Deslizamiento inactivo, con manejo de reforestación.	X.: 1122476,811 Y:997282,5363 Elevación: 961.7	Es un movimiento en masa antiguo, inactivo. Como posibles contribuyentes detonantes se tienen: - La litología del lugar (rocas volcano sedimentarias blandas de la Formación Zarzal -Orientación y disposición de las rocas (estratificación), favor de la pendiente. - Temporada invernal?
O37	SIM, Barrio San Rafael	Afecta depósitos antrópicos de relleno mixto (All)	En el momento se puede clasificar como asentamiento del terreno que afecta suelos antrópicos no diferenciados (Sa); evidenciado por la afectación en la infraestructura del SIM y las viviendas que fueron desalojadas.	X.: 1122387,473 Y:997287,1741 Elevación: 946.3	Es un movimiento en masa activo. Como posibles contribuyentes detonantes se tienen: - La disposición de relleno inconsolidado, en el área donde se construyeron las viviendas. -No hay un manejo correcto del agua lluvia que cae del techo. - No hay un manejo correcto de las aguas lluvias que bajan de la ladera
O71	Parque Recreacional	Afecta rocas volcano sedimentarias de la formación Zarzal (TPz), , tobas y areniscas de tamaño muy fino y de comportamiento plástico	En el momento se puede clasificar como asentamiento del terreno que afecta rocas blandas de la formación Zarzal (Rbvs); evidenciado por la afectación en la infraestructura del lugar	X.: 1122639,454 Y:997395,4948 Elevación: 947.4	Es un movimiento en masa activo. Como posibles contribuyentes detonantes se tienen: - La remoción y disposición de material para construir la piscina y estanques. -La litología del lugar. - No hay un manejo correcto de las aguas lluvias que bajan de la ladera. -Problemas con el método constructivo. -El peso de la infraestructura supera la capacidad portante del suelo.

Fuente: elaboración propia

3.6.5. Erosión

3.6.5.1. Sectores afectados por erosión quebrada el Naranjo o Río Obando

Para iniciar esta descripción es importante recalcar que la quebrada el Naranjo, tiene un cauce profundo (promedio 7m), y un ancho observado de hasta 10m aproximadamente; presenta erosión lateral y en algunas de sus curvas.

La Figura 3.76, muestra los lugares afectados por erosión durante el recorrido de la quebrada en inmediaciones del casco urbano.



Figura 3.76. a. Erosión en la ladera derecha de la quebrada, estación O48. b. Curva erosiva (estación O49). c. Zona erosiva protegida con muro de contención (entre estaciones O53 y O54). d. Curva erosiva en la estación O54.

Fuente: fotografías propias

3.6.6. Inundaciones

En las observaciones de campo se evidenció que el 75.17% del área urbana se encuentra construida sobre depósitos aluviales de la quebrada el Naranjo, la quebrada las Jaguas y los pequeños afluentes que bajan de las colinas circundantes.

3.6.6.1. Río Obando o Quebrada el Naranjo

La quebrada el Naranjo o río Obando bordea por el Oriente el casco urbano, tiene un cauce profundo (promedio 7m), y un ancho observado de hasta 10m aproximadamente como se mencionó anteriormente. Es una corriente que tiene la capacidad de transportar grandes volúmenes de agua, pero no se cataloga del tipo torrencial por la naturaleza de las rocas en el área, es decir, no existen bloques de roca que puedan ser transportados; pero si por el volumen de agua puede arrastrar grandes árboles y escombros, como se observa sobre el puente que conduce a Villa Rodas (estación O45) (Figura 3.77).



Figura 3.77. Puente sobre la quebrada el Naranjo en la vía que conduce a Villa Rodas. Nótese la presencia de grandes escombros de otros puentes que ha transportado la quebrada.

Fuente: fotografías propias

En la estación O49 se detallan árboles de grandes dimensiones y escombros que ha transportado esta quebrada (Figura 3.78).



Figura 3.78. Nótese la capacidad de la quebrada el Naranjo para arrastrar árboles y escombros de grandes dimensiones.

Fuente: fotografías propias

Históricamente El río Obando o quebrada el Naranjo afectado por inundaciones al área urbana en su parte Nor-oriental; por este motivo CVC construyó un jarillón de protección que tiene unas medidas aproximadas de 2m de alto, 2m de ancho al tope y 4m de base.

Al momento el jarillón se encuentra en buen estado; sin embargo, se debe tener en cuenta que algunos sectores presentan nidos de arrieras, árboles y arbustos creciendo sobre el jarillón, además se le está dando un uso de ganadería y agricultura a la zona húmeda del mismo; adicionalmente en el sector de barrio Bello Horizonte el jarillón se encuentra deteriorado por el paso de personas y ganado hacia la zona húmeda del mismo (estación O52) (Figura 3.79).

Las condiciones anteriormente mencionadas deben ser corregidas con el fin de minimizar el deterioro del jarillón y por ende la posibilidad de que el río corte o rompa el mismo por estos puntos de debilidad.



Figura 3.79. Evidencia de condiciones que pueden aportar al deterioro del jarillón (arrieras y árboles creciendo en el jarillón); y corte del jarillón en el barrio Bello amanecer por el tránsito de personas que usan la cara húmeda del mismo para agricultura.

Fuente: fotografías propias

3.6.6.2. Canal del barrio Las Brisas

Este canal es intermitente y nace en la microcuenca del barrio las Brisas, fue canalizado sobre la carrera 1Este, con ancho 1.2m y 0.5m de profundidad; cuando llueve recoge las aguas de la

microcuenca inundando las casas localizadas en la ladera izquierda, debido a que la canalización es poco profunda; es posible observar la humeada en fachadas.

Se construyó un box coulvert que cruza la vía, tiene dimensiones de 1.5m de ancho y 1.0m de profundidad (estación O24); al pasar la vía este canal ya no está recubierto (es en tierra) (Figura 3.80).



Figura 3.80. Canal del barrio Las Brisas y su salida del Box Colvert, donde continua como un canal sin recubrimiento.

Fuente: fotografías propias

El canal continúa su tránsito por detrás del barrio Sagrada Familia primera etapa sin ocasionar problemas ya que bordea una colina; sin embargo, al llegar al Centro de Integración ciudadana, el curso natural del canal es interrumpido por esta instalación (estación O65).

La finca ubicada del otro lado del cauce sufre inundaciones que de acuerdo con lo manifestado por el propietario es por la manipulación que se le ha realizado al mismo.

Desde el punto del Centro de integración ciudadana, este canal es desviado con un ángulo de 90° y continúa recto por aproximadamente 60m para nuevamente ser desviado con un ángulo de 90° (estación O67) y continuando recto por otros 60m aproximadamente, donde de nuevo es desviado 90°, formando un cerramiento alrededor del barrio Sagrada Familia segunda etapa (Figura 3.81).

Continúa en línea recta por detrás del barrio San Fernando hasta unos metros después de la estación O81 (Figura 3.82); siendo esta una zona de cultivos donde el canal bordea el lote para finalmente llegar al Barrio Bello Horizonte; barrio en el que se inunda las viviendas cercanas debido al poco mantenimiento y la ausencia de un control de basuras en canal; finalmente las aguas de este son conducidas por tubería por debajo del jarillón hacia el río el Naranjo (Figura 3.83).

El manejo de este cauce es preocupante ya que es un drenaje que recibe un volumen de agua considerable en época de lluvias, por lo tanto, existe la posibilidad de inundaciones a futuro para el barrio Sagrada Familia segunda etapa que se encuentra en construcción.



Figura 3.81. Canal del barrio Las Brisas al Sur del barrio Sagrada Familia, nótese la manipulación del cauce.

Fuente: fotografías propias



Figura 3.82. Paso del Canal al Norte del barrio San Fernando para dirigirse hacia el barrio Bello Horizonte.

Fuente: fotografías propias



Figura 3.83. Paso del Canal por el barrio Bello Horizonte y su entrada por tubería por debajo del jarillón.

Fuente: fotografías propias

4. TOPOGRAFÍA DEL MUNICIPIO DE OBANDO

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 OBANDO 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.

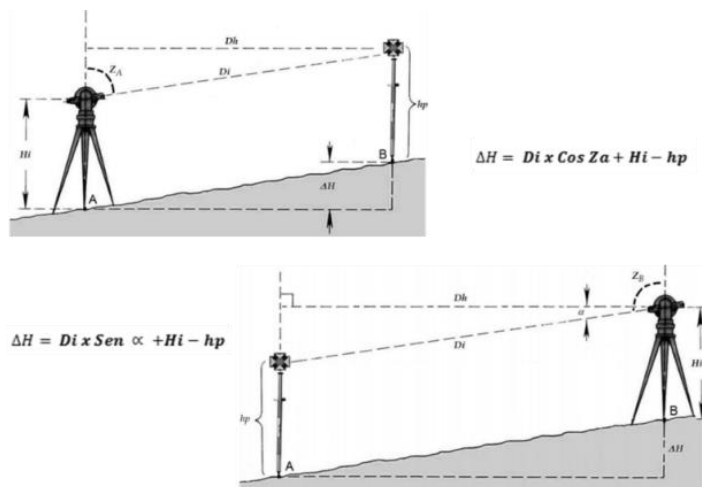


Figura 4.1. Nivelación Trigonométrica, Situaciones
Fuente: Ministerio de Agricultura Chile, 2014

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.).

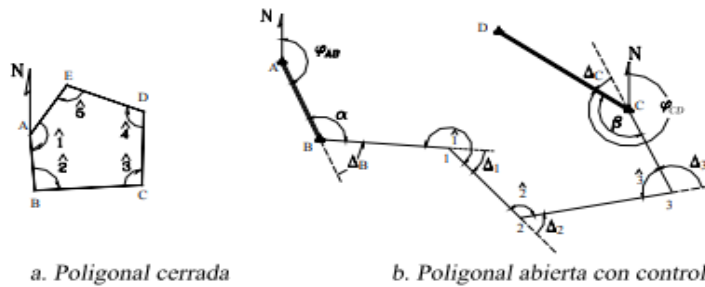


Figura 4.2. Tipos de Poligonal

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).

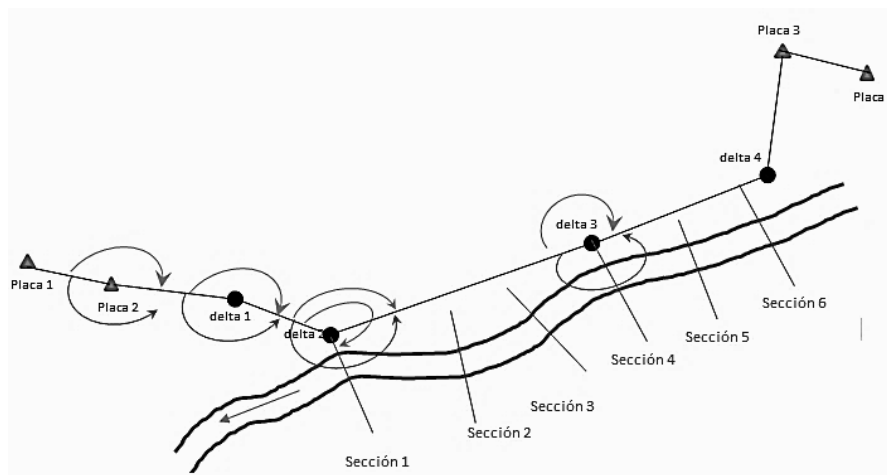


Figura 4.3. Levantamiento Batimétrico

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).

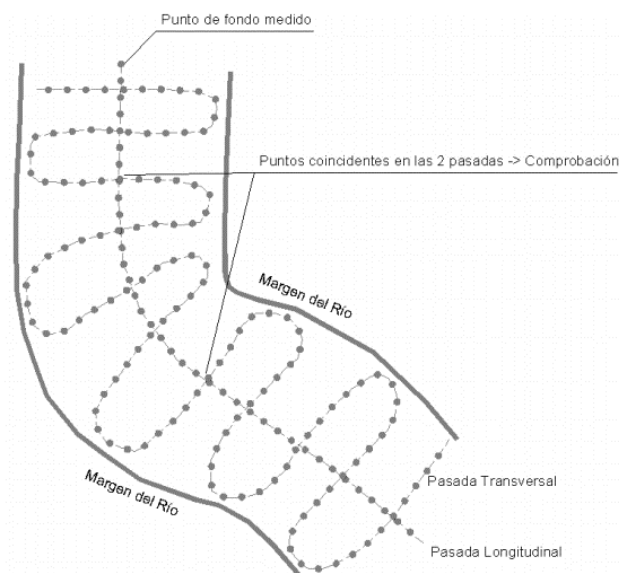


Figura 4.4. Esquema Batimetría de río por Ecosonda

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 OBANDO 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 OBANDO 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 de las quebradas Las Jaguas y Los Naranjos en el municipio de Obando. 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.

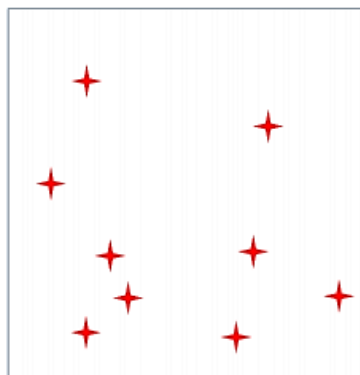


Figura 4.5. Muestreo aleatorio simple

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.

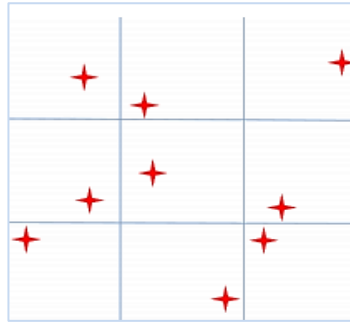


Figura 4.6. Muestreo aleatorio estratificado
Fuente: (Porras, 2014). Imagen basada en (Haining, 2003).

- **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).

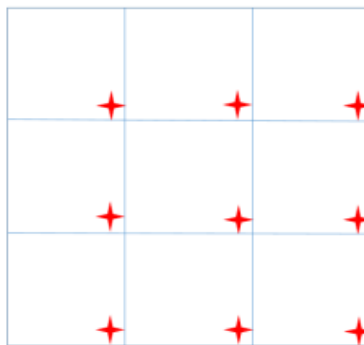


Figura 4.7. Muestreo sistemático
Fuente: (Porras, 2014). Imagen basada en (Haining, 2003)

- **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.

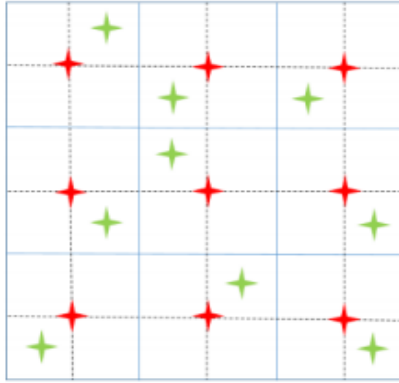


Figura 4.8. Muestreo anidado
Fuente: (Porrás, 2014).

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.

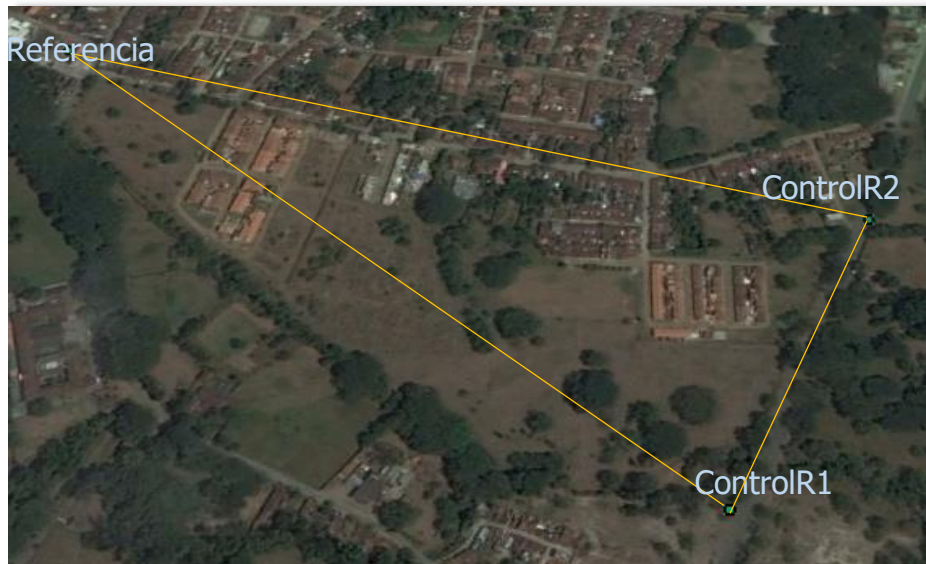


Figura 4.10. Georreferenciación Puntos de Control
Fuente: elaboración propia.

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

cabo la validación del DTM, según las especificaciones de la NSSAD (National Standard for Spatial Data Accuracy).

La muestra de puntos de control terrestre de acuerdo con la forma y el tamaño de la zona es de alrededor de 44 en OBANDO. 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 Obando, 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 Obandose utilizó un punto de la red MAGNA pasiva (Figura 4.11).

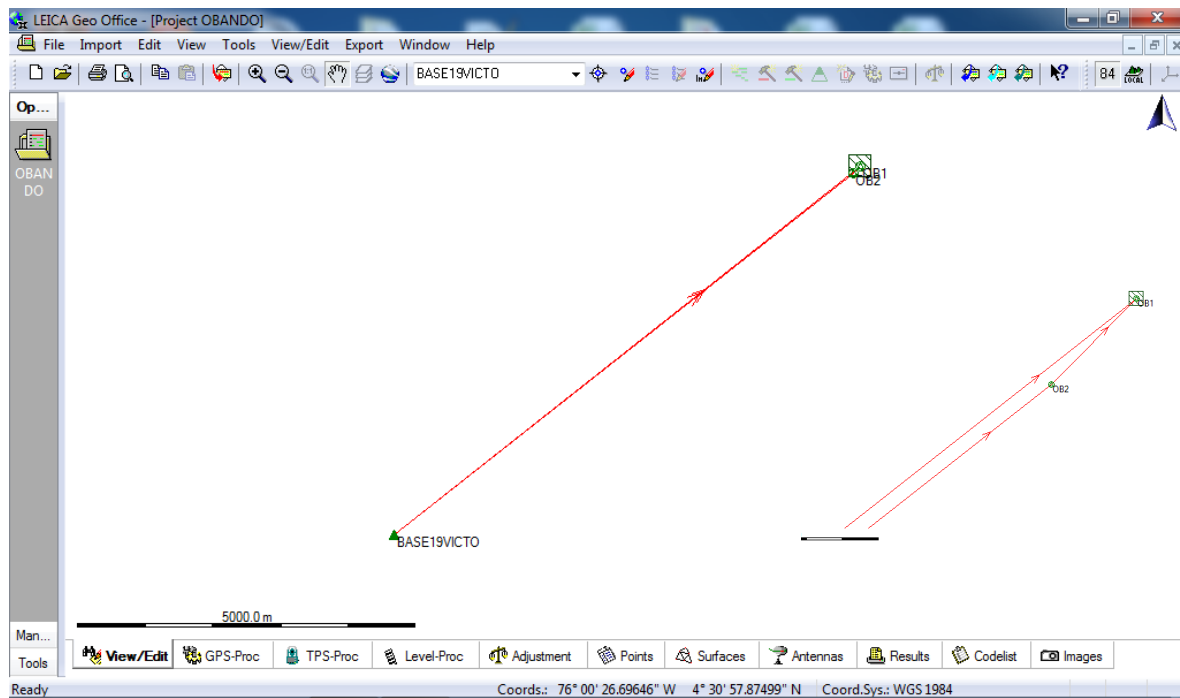


Figura 4.11. Red de amarre, municipio de Obando

Fuente: elaboración propia.

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

Tabla 4.8. Ajuste de Red

Project	Information
Project name:	OBANDO
Date created:	05/19/2019 21:43:06
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:	2		
Total:	3		
Observations			
GPS coordinate differences:	9 (3 baselines)		
Known coordinates:	3		
Total:	12		
Unknowns			
Coordinates:	9		
Total:	9		
Degrees of freedom:	3		
Testing			
Alfa (multi dimensional):	0.1291		
Alfa 0 (one dimensional):	5.0 %		
Beta:	80.0 %		
Sigma a-priori (GPS):	10.0		
Critical value W-test:	1.96		
Critical value T-test (2-dimensional):	2.42		
Critical value T-test (3-dimensional):	1.89		
Critical value F-test:	1.89		
F-test:	0.24	✓	(accepted)

Results based on a-posteriori variance factor

Adjustment Results

Coordinates

Station		Coordinate	Corr	Sd	
BASE19VICTO	Latitude	4° 31' 14.71283" N	0.0000 m	-	fixed
	Longitude	76° 02' 21.34613" W	0.0000 m	-	fixed
	Height	955.6645 m	0.0000 m	-	fixed
OB1	Latitude	4° 34' 11.54851" N	0.0000 m	0.0004 m	
	Longitude	75° 58' 38.11143" W	-0.0002 m	0.0005 m	
	Height	961.6173 m	-0.0002 m	0.0010 m	
OB2	Latitude	4° 34' 08.50359" N	-0.9661 m	0.0007 m	

Longitude	75° 58' 41.10501" W	-0.2188 m	0.0009 m
Height	961.8787 m	1.6725 m	0.0017 m

Observations and Residuals

Station	Target	Adj obs	Resid	Resid (ENH)	Sd
DX BASE19VICTO	OB2	6487.8250 m	-0.0034 m	-0.0027 m	0.0010 m
DY		2046.1789 m	0.0023 m	0.0004 m	0.0016 m
DZ		5322.8443 m	0.0002 m	-0.0030 m	0.0008 m
DX BASE19VICTO	OB1	6575.4954 m	0.0003 m	0.0003 m	0.0006 m
DY		2076.0238 m	-0.0002 m	0.0000 m	0.0009 m
DZ		5416.0712 m	0.0000 m	0.0002 m	0.0004 m
DX OB2	OB1	87.6704 m	-0.0006 m	-0.0005 m	0.0009 m
DY		29.8449 m	0.0004 m	0.0001 m	0.0014 m
DZ		93.2270 m	0.0000 m	-0.0005 m	0.0007 m

GPS Baseline Vector Residuals

Station	Target	Adj vector [m]	Resid [m]	Resid [ppm]
DV BASE19VICTO	OB2	8637.7886	0.0041	0.5
DV BASE19VICTO	OB1	8768.1721	0.0003	0.0
DV OB2	OB1	131.4081	0.0007	5.3

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

Station	A [m]	B [m]	A/B	Phi	Sd Hgt [m]
BASE19VICTO	0.0000	0.0000	1.0	90°	0.0000
OB1	0.0005	0.0004	1.3	-70°	0.0010
OB2	0.0009	0.0007	1.2	-69°	0.0017

Testing and Estimated Errors

Observation Tests

Station	Target	MDB	Red	BNR	W-Test	T-Test
DX BASE19VICTO	OB2	0.0057 m	79	1.6	-1.53	1.00
DY		0.0082 m	69	1.9	-0.22	
DZ		0.0046 m	70	1.8	0.03	
DX BASE19VICTO	OB1	0.0057 m	7	10.0	1.53	1.00
DY		0.0082 m	7	9.8	0.22	
DZ		0.0046 m	7	9.8	-0.03	
DX OB2	OB1	0.0057 m	13	6.4	-1.53	1.00
DY		0.0082 m	23	5.1	-0.22	
DZ		0.0046 m	21	5.3	0.03	

Adjustment Results

Coordinates

Station	Coordinate	Corr	Sd
OB3	Latitude	4° 34' 46.03910" N	0.0000 m
	Longitude	75° 58' 13.25328" W	0.0000 m
	Height	962.9455 m	0.0000 m
o1	Latitude	4° 34' 44.55411" N	0.0000 m
	Longitude	75° 58' 15.46129" W	0.0000 m
	Height	961.5209 m	0.0000 m

Adjustment Results				
Coordinates				
Station		Coordinate	Corr	Sd
o10	Latitude	4° 34' 25.62846" N	0.0000 m	0.4523 m
	Longitude	75° 58' 23.79312" W	0.0000 m	0.5327 m
	Height	963.9343 m	0.0000 m	1.1773 m
o11	Latitude	4° 34' 28.69997" N	0.0000 m	0.4740 m
	Longitude	75° 58' 24.77425" W	0.0000 m	0.5043 m
	Height	961.9382 m	0.0000 m	1.2458 m
o2	Latitude	4° 34' 42.30456" N	0.0000 m	0.1729 m
	Longitude	75° 58' 18.71712" W	0.0000 m	0.2449 m
	Height	960.3950 m	0.0000 m	0.5071 m
o3	Latitude	4° 34' 42.39948" N	0.0000 m	0.1582 m
	Longitude	75° 58' 21.64725" W	0.0000 m	0.2398 m
	Height	960.2767 m	0.0000 m	0.5108 m
o5	Latitude	4° 34' 37.92684" N	0.0000 m	0.0045 m
	Longitude	75° 58' 22.61393" W	0.0000 m	0.0048 m
	Height	962.5048 m	0.0000 m	0.0108 m
o6	Latitude	4° 34' 34.80627" N	0.0000 m	0.6210 m
	Longitude	75° 58' 23.22808" W	0.0000 m	0.7985 m
	Height	960.5325 m	0.0000 m	1.5338 m

Observations and Residuals						
	Station	Target	Adj obs	Resid	Resid (ENH)	Sd
DX	OB3	o6	-292.2458 m	0.0000 m	0.0000 m	0.7341 m
DY			-98.9289 m	0.0000 m	0.0000 m	1.5576 m
DZ			-344.1833 m	0.0000 m	0.0000 m	0.6411 m
DX	OB3	o5	-275.2548 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0044 m
DY			-88.8255 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0110 m
DZ			-248.4623 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0045 m
DX	OB3	o3	-249.5382 m	0.0000 m	0.0000 m	0.2103 m
DY			-68.8076 m	0.0000 m	0.0000 m	0.5222 m
DZ			-111.6716 m	0.0000 m	0.0000 m	0.1629 m
DX	OB3	o2	-161.8150 m	0.0000 m	0.0000 m	0.2186 m
DY			-47.2520 m	0.0000 m	0.0000 m	0.5167 m
DZ			-114.5687 m	0.0000 m	0.0000 m	0.1798 m
DX	OB3	o11	-334.5247 m	0.0000 m	0.0000 m	0.3938 m
DY			-126.3603 m	0.0000 m	0.0000 m	1.2799 m
DZ			-531.0692 m	0.0000 m	0.0000 m	0.4875 m
DX	OB3	o10	-302.8730 m	0.0000 m	0.0000 m	0.4629 m
DY			-128.2607 m	0.0000 m	0.0000 m	1.1992 m
DZ			-624.9715 m	0.0000 m	0.0000 m	0.4711 m
DX	OB3	o1	-65.5008 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0059 m
DY			-18.6574 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0137 m
DZ			-45.5896 m	0.0000 m	0.0000 m	0.0046 m

GPS Baseline Vector Residuals					
	Station	Target	Adj vector [m]	Resid [m]	Resid [ppm]
DV	OB3	o6	462.2301	0.0000	0.0

GPS Baseline Vector Residuals					
	Station	Target	Adj vector [m]	Resid [m]	Resid [ppm]
DV	OB3	o5	381.2987	0.0000	0.0
DV	OB3	o3	281.9120	0.0000	0.0
DV	OB3	o2	203.8206	0.0000	0.0
DV	OB3	o11	640.2407	0.0000	0.0
DV	OB3	o10	706.2381	0.0000	0.0
DV	OB3	o1	81.9565	0.0000	0.0

Absolute Error Ellipses (2D - 39.4% 1D - 68.3%)					
Station	A [m]	B [m]	A/B	Phi	Sd Hgt [m]
OB3	0.0000	0.0000	1.0	90°	0.0000
o1	0.0065	0.0042	1.5	-76°	0.0136
o10	0.5337	0.4511	1.2	83°	1.1773
o11	0.5155	0.4617	1.1	62°	1.2458
o2	0.2488	0.1673	1.5	-76°	0.5071
o3	0.2408	0.1568	1.5	-83°	0.5108
o5	0.0049	0.0044	1.1	69°	0.0108
o6	0.8234	0.5876	1.4	70°	1.5338

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 obando.

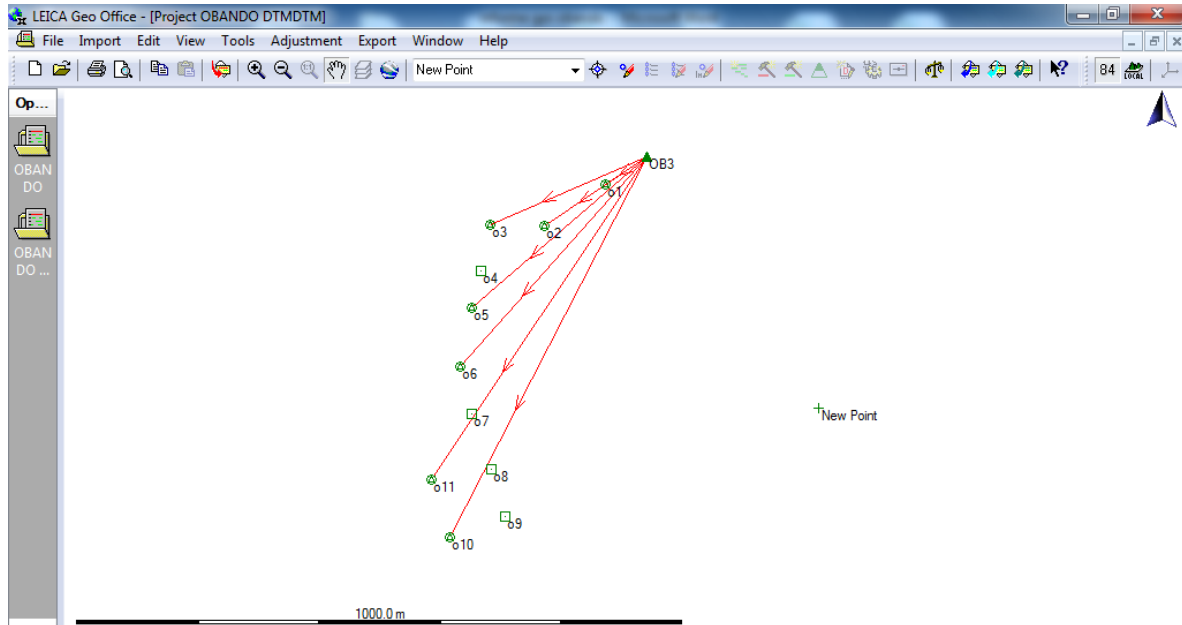


Figura 4.12. Muestra de datos para Validación DTM Obando

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 Obando se centró en el río Obando, l la Quebrada Las Jaguas y quebrada Los Naranjos.

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.

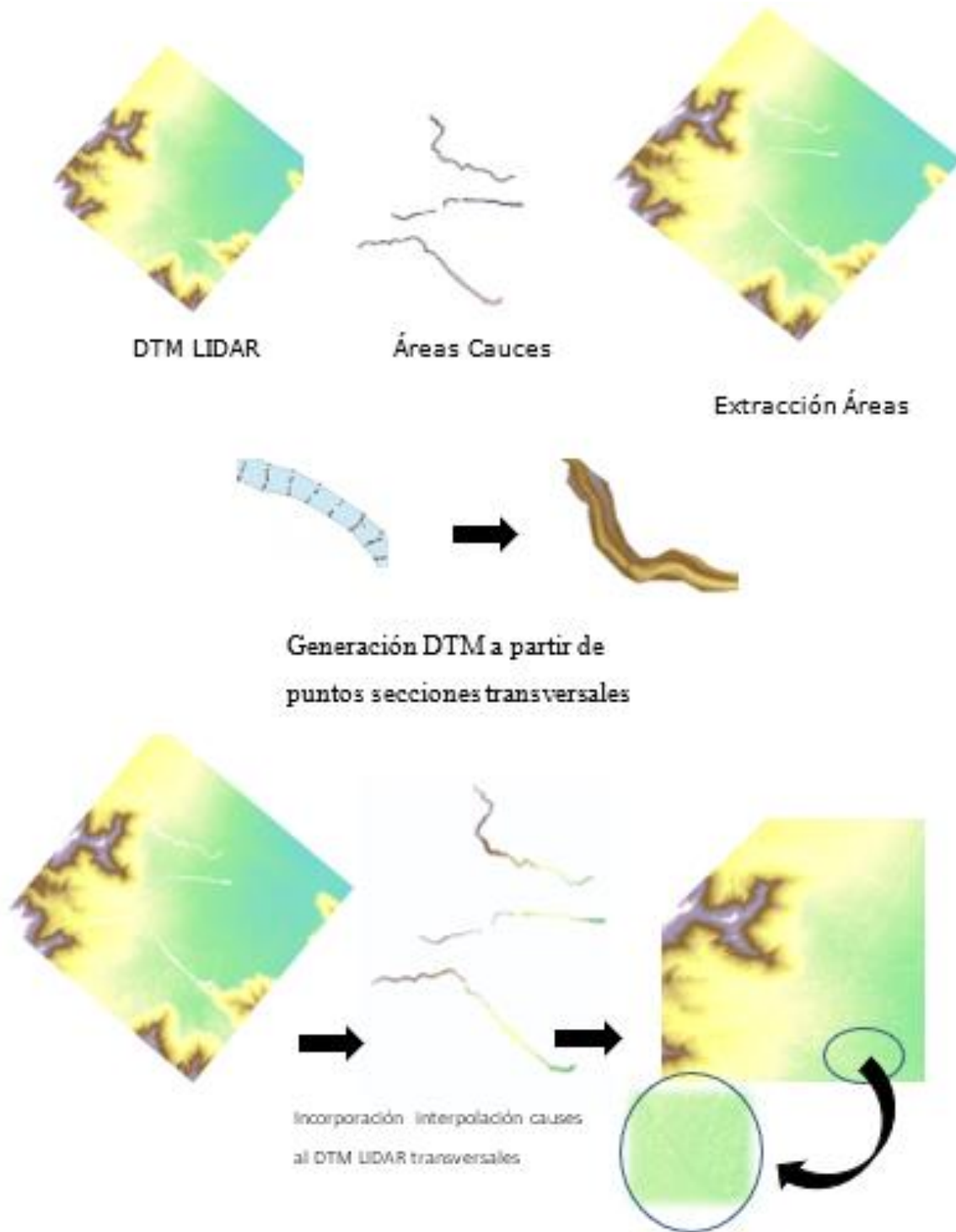


Figura 4.13. Generación de DTM y Producción de Batimetría
Fuente: elaboración propia.



Figura 4.14. Batimetría Q. Las Jaguas
Fuente: elaboración propia

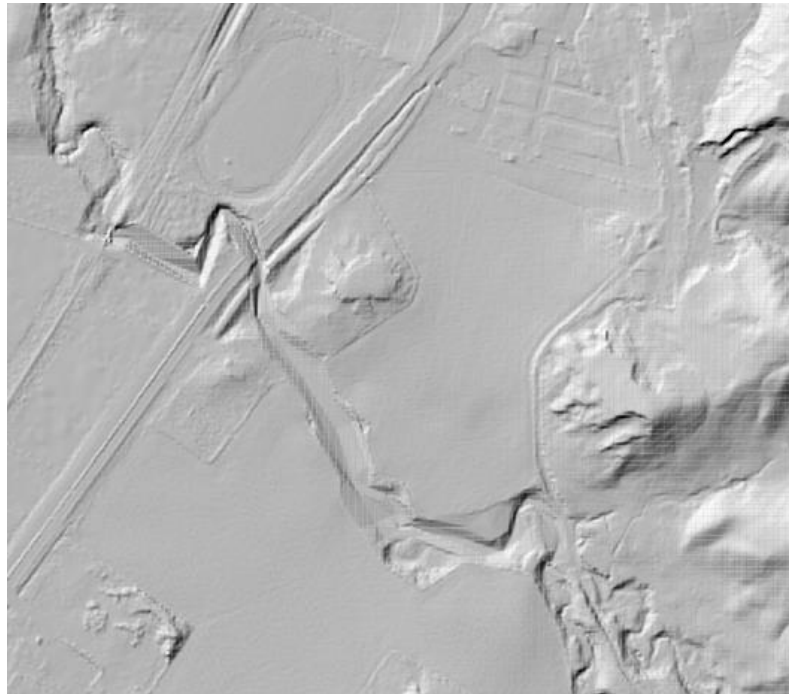


Figura 4.15. DTM Q. Las Jaguas
Fuente: elaboración propia



Figura 4.16. Batimetría Q. Los Naranjos
Fuente: elaboración propia



Figura 4.17. DTM Q. Los Naranjos
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 Obando con 22588.49 hectáreas, está situado al Occidente de Colombia, al norte del departamento del Valle del Cauca, sobre la parte plana del Valle del río Cauca y se extiende sobre la cordillera Central, alcanzando alturas entre 917 metros y los 1700 metros sobre el nivel del mar. Tiene relieve plano en el valle geográfico del río Cauca, que representa el 43.27% de todo el territorio municipal y la parte de ladera el 56.73%.

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 Obando en el departamento del Valle del Cauca. Para ello se efectuó la caracterización hidráulica del río Obando 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 obando limita por el norte con el municipio de Cartago, por el sur con el municipio de la Victoria, por el oriente con el departamento de Quindío y al occidente con los municipios de la Unión y Toro. Presenta además límites físicos como son, al occidente el río Cauca que lo separa de la Unión y Toro, y al oriente el río de la Vieja que lo separa del departamento del Quindío y la quebrada Cruces.

Por la zona urbana del municipio de Obando transitan las aguas de las quebradas El Naranjo y Las Jaguas tributarios del río Cauca.

Teniendo en cuenta que el sector por donde discurren 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, la cual produjo los mapas de datos referenciados espacialmente, de forma dinámica a partir de información geográfica, que contienen temáticas asociadas².

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

² Esquema de Ordenamiento Territorial Municipio de Obando.

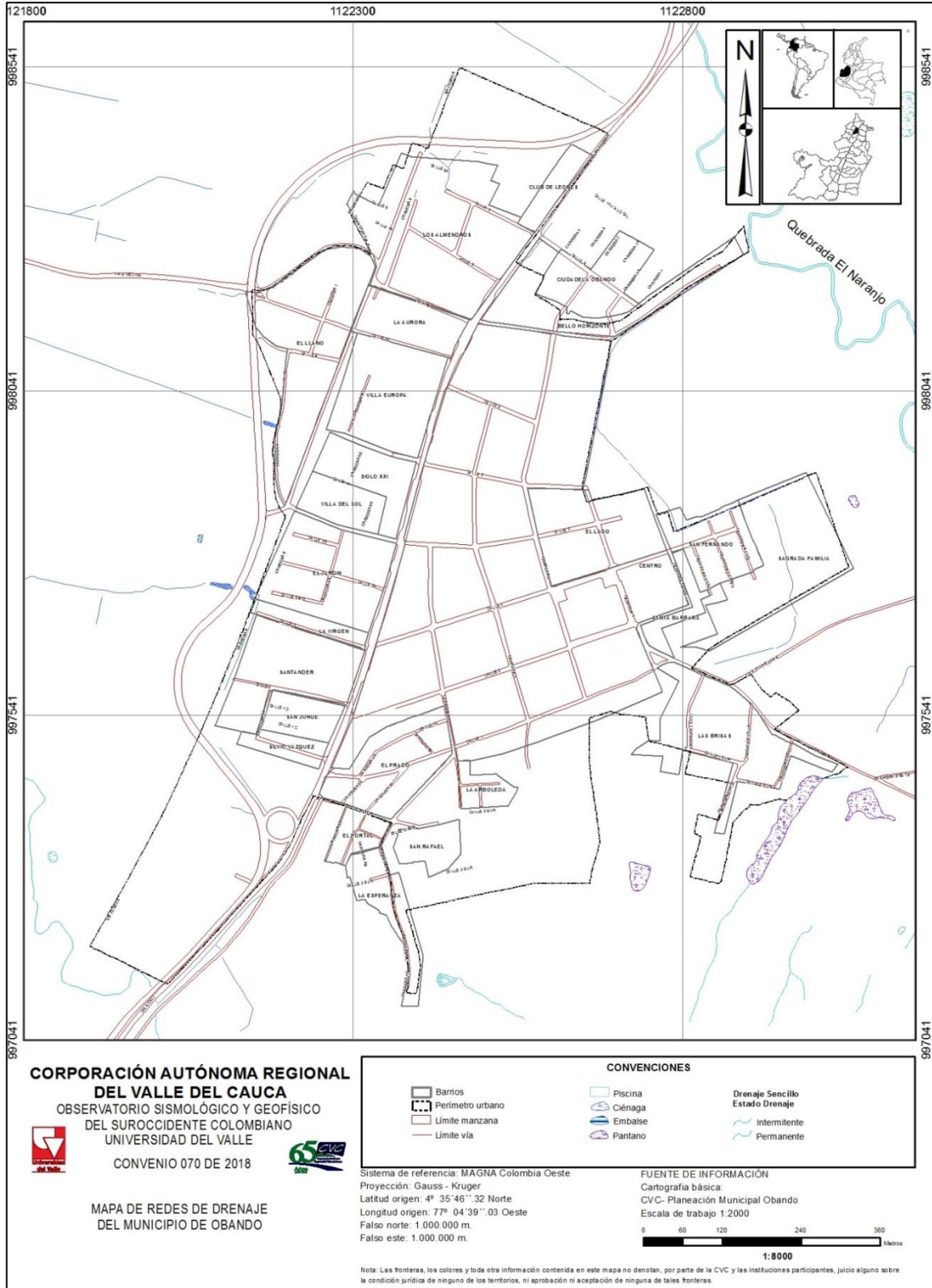


Figura 5.1. Localización general de los drenajes de la zona de estudio en el municipio de Obando

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 Obando, se desarrollan a partir de los siguientes componentes:

5.2.1. 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 se 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.

5.2.2. 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.

5.2.3. 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.

5.2.4. Hidráulica

Modelación hidráulica de los cuerpos de agua que discurren por el área urbana del municipio de Obando, 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 OBANDO

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 clima de Colombia es muy variado, tanto a lo largo de su territorio como a través del tiempo. Esta diversidad climática está determinada en gran medida por la ubicación geográfica y por las características fisiográficas del territorio colombiano. La diversidad climática colombiana es un recurso importante del país, y las variaciones del clima juegan un papel importante en las diferentes formas de actividad humana en él.

En el presente estudio se busca identificar, zonificar y describir 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 la zona en estudio, de igual manera se busca analizar las fuentes hídricas más cercanas, identificando el régimen hidrológico y los caudales característicos de las principales corrientes.

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 5.1. Estaciones pluviométricas y evaporimétrico sector en estudio.

CÓDIGO	NOMBRE	MUNICIPIO	CATEGORIA	ENTIDAD	COORDENADAS		ALTURA (msnm)
					X	Y	
2610000103	Cruces	Cartago	PM	CVC	1128630,12	1006201,07	935
2615000102	La Arboleda	Obando	PG	CVC	1128355,84	998691,15	1275
2614900201	Miravalles	La Victoria	CO	CVC	1128830,22	991582,75	1233
2610000105	Puertomolina	Obando	PM	CVC	1116942,95	1003000,56	886

PM (Pluviométrica), PG (Pluviográfica), CO (Climatológica Ordinaria)

Fuente: elaboración propia

A continuación, se realiza un análisis de la precipitación de la zona, para lo cual se emplearon los registros mensuales multianuales de las estaciones relacionadas en la Tabla 5.1.

5.3.1.2. Precipitación

Para la determinación de la precipitación en el municipio de Obando, se construyó una base de datos con la información de precipitación mensual de 4 estaciones (2 pluviométricas y 1 pluviográfica y 1 climatológica) localizadas en la zona de influencia del sector en estudio, pertenecientes a la CVC.

5.3.1.2.1. Distribución 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 presenta dos periodos de alta pluviosidad y dos de baja pluviosidad, con tendencia a un régimen de tipo bimodal; las mayores lluvias se encuentran en los periodos comprendidos entre los meses de marzo a mayo y septiembre a noviembre, mientras que los periodos de menor pluviosidad están entre los meses de enero a febrero incluyendo diciembre y de junio a agosto. En la Tabla 5.2 se presenta el promedio de la precipitación total mensual multianual de las estaciones de referencia.

Tabla 5.2. Resumen de promedios mensuales multianuales de precipitación total mensual de las estaciones ubicadas en cercanías al sector en estudio.

Estación	Periodo Evaluado	Valor Mensual												Anual
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Cruces	1967-2017	80,5	104,2	159,0	209,7	202,0	115,6	85,2	97,1	144,9	180,3	172,8	100,4	1627,7
La Arboleda	1982-2017	62,1	93,1	152,1	184,7	167,1	102,8	81,3	75,1	121,2	161,6	158,1	94,9	1403,4
Miravalles	1967-2017	73,2	102,1	160,1	215,2	182,9	126,8	87,1	88,4	146,6	193,8	183,1	115,0	1614,7
Puerto Molina	1967-2016	72,7	88,6	134,6	179,9	180,9	120,1	105,1	108,7	148,5	158,9	139,9	97,6	1517,7

Fuente: elaboración propia

En la zona de influencia del sector en estudio se destacan enero y julio como los meses más secos para tres de las cuatro estaciones, siendo la estación La Arboleda la que presenta los menores valores con 62 mm en el mes de enero. El mes más lluvioso para todas las estaciones corresponde a abril seguido de mayo y octubre, siendo los valores más altos los registrados por la estación Miravalles, con 215 mm para el mes de abril. En la Figura 5.2 se observa la distribución temporal de la precipitación para área de estudio.

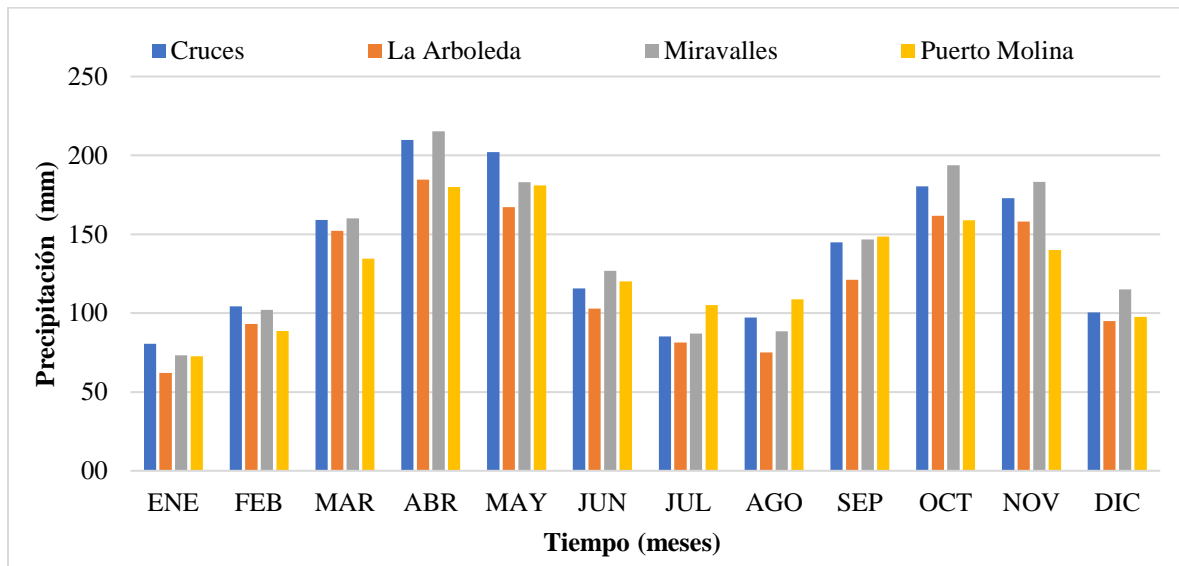


Figura 5.2. Distribución temporal de la precipitación estaciones de referencia.

Fuente: elaboración propia

5.3.1.2.2. Distribución espacial de la precipitación

Con base a los registros anuales multianuales se aplicó el método de isoyetas como se muestra en la Figura 5.3, para determinar la variación espacial de la precipitación anual multianual para la zona de estudio. La subzona hidrográfica de la quebrada Las Jaguas presenta precipitaciones anuales que están por el orden de los 1490 mm/año hasta los 1510 mm/año, siendo la precipitación media anual de 1504 mm, mientras la subzona hidrográfica de la quebrada El Naranjo esta por el orden de los 1410 mm/año hasta los 1570 mm/año, siendo la precipitación media anual de 1476 mm.

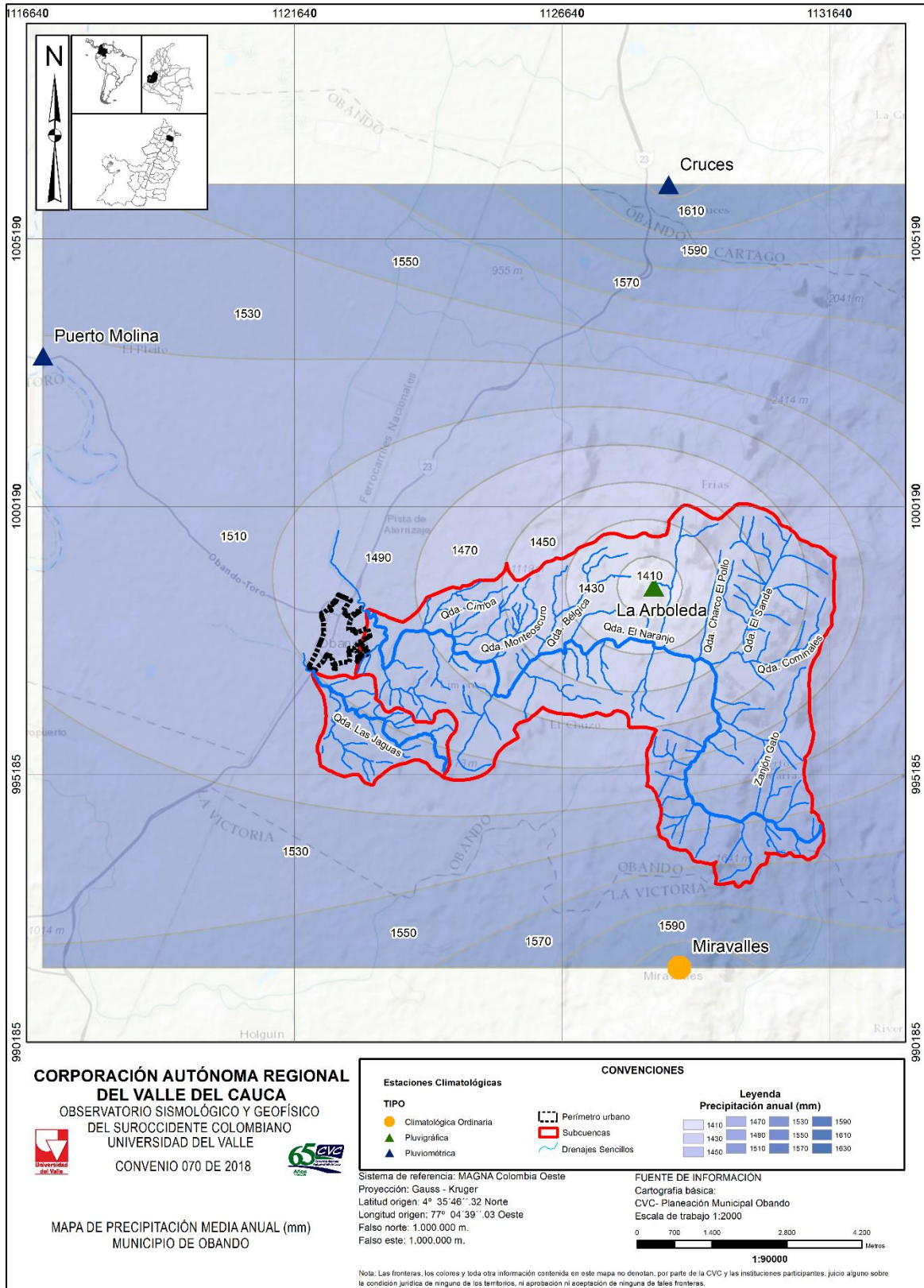


Figura 5.3. Distribución espacial de la precipitación anual multianual.

Fuente: elaboración propia

5.3.1.2.3. Número de Días con Lluvia

El número de días con lluvia es un parámetro climatológico de gran importancia para la planificación de proyectos agrícolas y civiles pues de este dependen los diseños de los sistemas de drenaje relacionado directamente con las frecuencias, mientras que para las obras civiles es preponderante para diseñar los tiempos, periodos o meses de adecuación y construcción de proyectos principalmente cuando se trata de obras con intervención de fuentes hídricas para asociarse con los periodos de niveles mínimos de flujo y días sin lluvia anuales. En la Tabla 5.3 y en la Figura 5.4 se presenta el número de días con lluvia en las estaciones de referencia.

Tabla 5.3. Número de días con lluvia en las estaciones de referencia.

Estación	Periodo Evaluado	Valor Mensual												Anual
		Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Cruces	1967-2017	7	8	10	12	13	8	7	8	10	14	13	8	117
La Arboleda	1982-2017	8	9	13	15	15	11	9	9	13	15	14	10	136
Miravalles	1967-2017	8	9	13	15	14	11	8	9	12	16	15	10	135
Puerto Molina	1967-2016	6	7	10	12	12	9	8	8	11	12	11	8	115

Fuente: elaboración propia

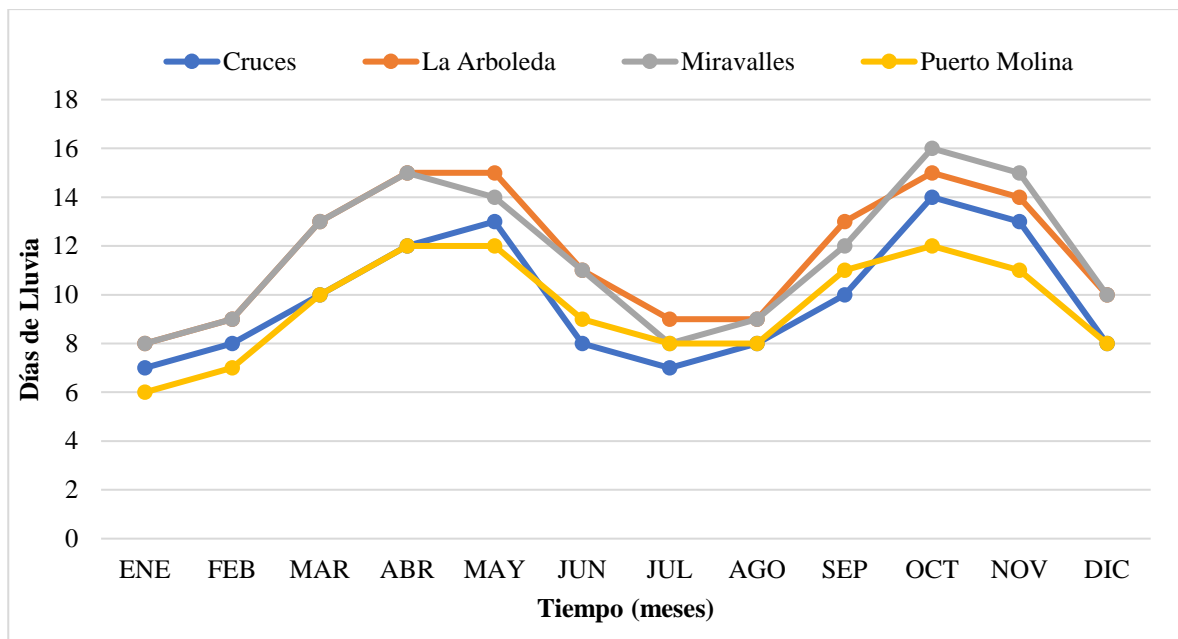


Figura 5.4 Distribución temporal de Número de días con lluvia. Valores medios mensuales multianuales de días de lluvia en las estaciones de referencia.

Fuente: elaboración propia

Las estaciones aledañas al tramo de estudio presentan valores de número de días con lluvia que varían entre 6 y 16 al año, los mayores registros se observan en los meses de abril-mayo y octubre-noviembre, mientras que los más bajos se encuentran en los periodos comprendidos entre los meses de diciembre, enero-febrero y julio-agosto. Las estaciones Puerto Molina y Las Cruces presentan

los menores valores de días con lluvia, mientras que las estaciones La Arboleda y Miravalles exhiben los más altos, siendo octubre el mes con mayor número de días (15 y 16 respectivamente).

5.3.1.2.4. Estimación de Precipitaciones Máximas

Se realizó un análisis de la información hidrológica con el fin de relacionar la magnitud de las precipitaciones máximas con su frecuencia de ocurrencia, mediante el uso de distribuciones de probabilidad. Con base en las series de precipitaciones máximas anuales se calcularon las precipitaciones máximas para períodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50, 100 y 200 años, aplicando un análisis de frecuencia, empleando como factor las distribuciones de Normal, Log Normal, Pearson III, Log Pearson III y Gumbel para cada una de las estaciones (ver desde la Tabla 5.4 hasta la Tabla 5.7).

Como verificación de ajuste de las distribuciones de probabilidad al conjunto de las series históricas de las estaciones Cruces, La Arboleda, Miravalles y Puerto Molina, se emplearon las funciones de Weibull y Blom.

De acuerdo con lo anterior, en la Figura 5.5 y Figura 5.6 se puede observar que para la estación Cruces la distribución de probabilidad que mejor se ajusta empleando las ecuaciones de Weibull y Blom es Log Normal y Pearson III respectivamente.

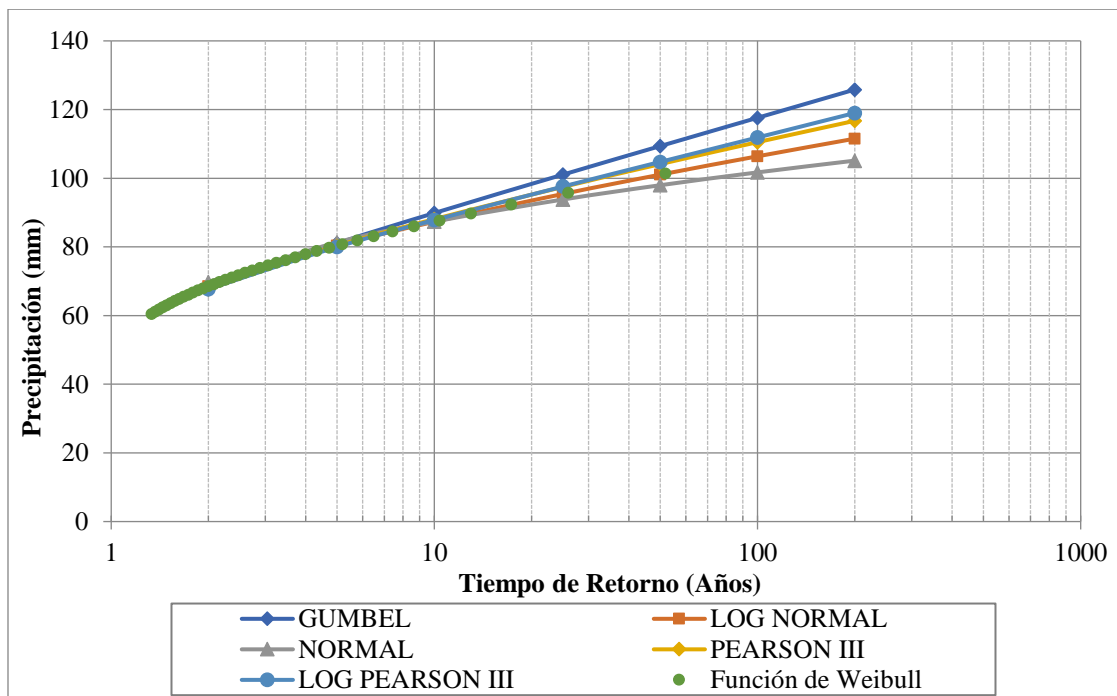


Figura 5.5 Precipitaciones máximas características para diferentes periodos de retorno. Función de Weibull. Estación Cruces. Periodo: 1967 – 2017.

Fuente: elaboración propia

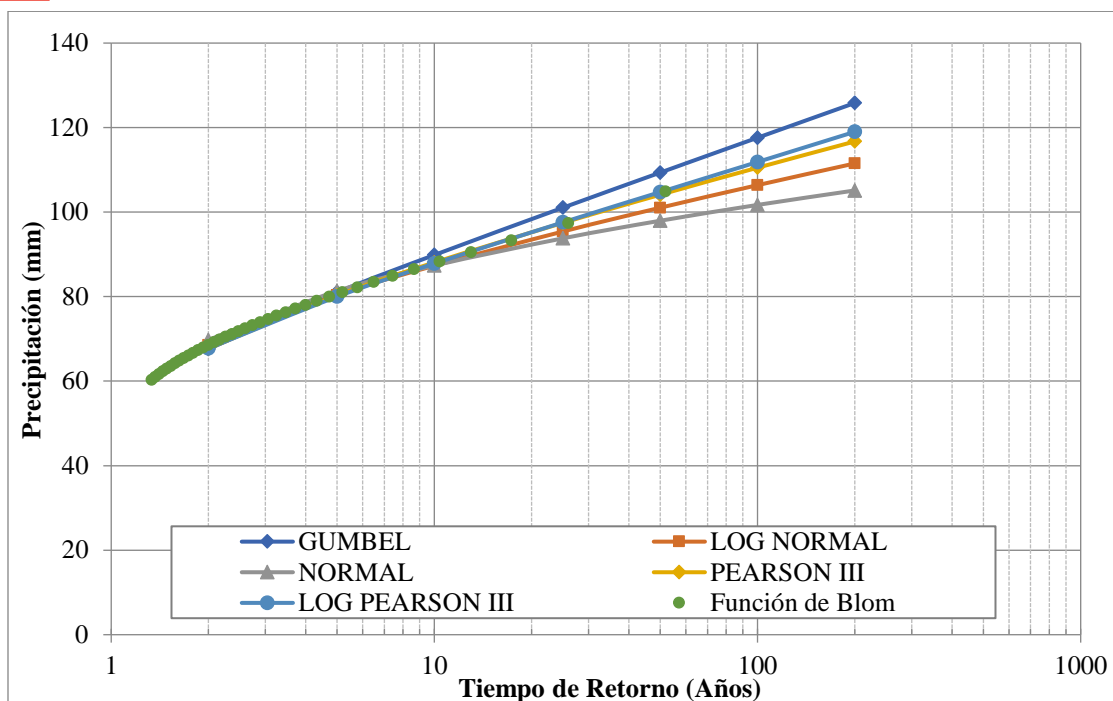


Figura 5.6 Precipitaciones máximas características para diferentes periodos de retorno. Función de Blom. Estación Cruces. Periodo: 1967 – 2017.

Fuente: elaboración propia

Tabla 5.4. Resumen precipitaciones máximas esperadas (predicción) asociadas a diferentes periodos de retorno. Estación Cruces. Periodo: 1967 – 2017

PERÍODO DE RETORNO (Años)	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	NORMAL	LOG NORMAL	PEARSON III	LOG PEARSON III	GUMBEL
2	0,500	69,76	68,53	67,74	67,75	67,61
5	0,667	81,31	80,34	80,27	79,99	81,00
10	0,800	87,36	87,31	88,09	87,84	89,86
25	0,900	93,80	95,41	97,46	97,58	101,05
50	0,980	97,96	101,04	104,11	104,75	109,36
100	0,990	101,70	106,38	110,51	111,86	117,60
200	0,995	105,12	111,52	116,72	119,00	125,82
R²		0,6026	0,6635	0,6833	0,7086	0,7159

Fuente: elaboración propia

En la Figura 5.7 y Figura 5.8 es posible observar que para la estación La Arboleda, las distribuciones de probabilidad que mejor se ajustan empleando las ecuaciones de Weibull y Blom son Log Normal y Log Pearson III, respectivamente.

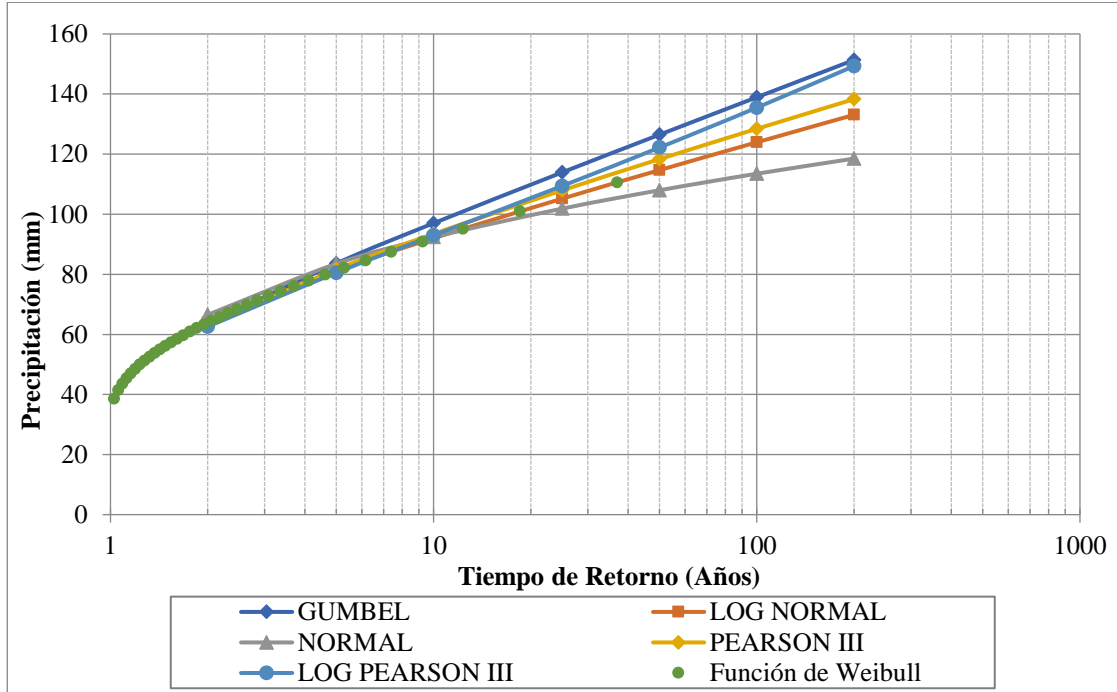


Figura 5.7. Precipitaciones máximas características para diferentes periodos de retorno. Función de Weibull. Estación La Arboleda. Periodo: 1982 – 2017.

Fuente: elaboración propia

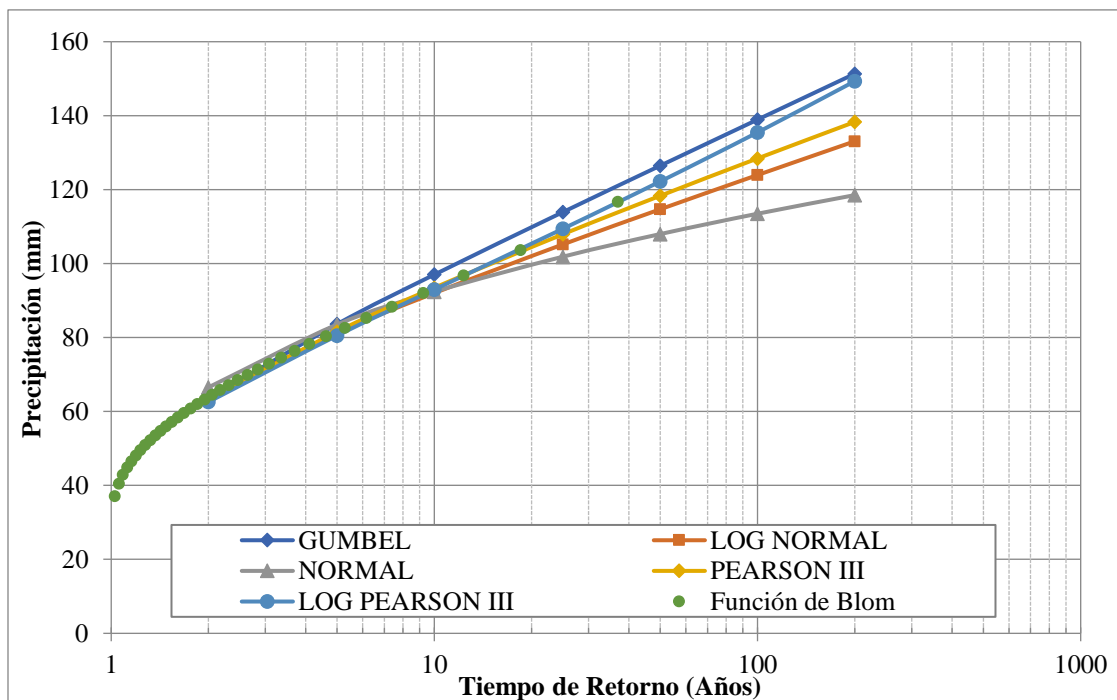


Figura 5.8. Precipitaciones máximas características para diferentes periodos de retorno. Función de Blom. Estación La Arboleda. Periodo: 1982 – 2017.

Fuente: elaboración propia

Tabla 5.5. Resumen precipitaciones máximas esperadas (predicción) asociadas a diferentes períodos de retorno. Estación La Arboleda. Periodo: 1982 – 2017.

PERÍODO DE RETORNO (Años)	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	NORMA L	LOG NORMAL	PEARSON III	LOG PEARSON III	GUMBEL
2	0,500	66,53	63,86	63,09	62,58	63,42
5	0,667	83,51	81,17	81,59	80,52	83,63
10	0,800	92,39	92,02	93,47	92,98	97,02
25	0,900	101,86	105,19	107,94	109,42	113,93
50	0,980	107,98	114,68	118,34	122,21	126,48
100	0,990	113,48	123,95	128,43	135,47	138,93
200	0,995	118,52	133,08	138,31	149,33	151,34
R²		0,6026	0,6933	0,6941	0,7499	0,7159

Fuente: elaboración propia

Para la estación Miravalles, las distribuciones de probabilidad que mejor se ajustan empleando las ecuaciones de Weibull y Blom son Log Normal y Gumbell, respectivamente, tal y como se observa en la Figura 5.9 y Figura 5.10.

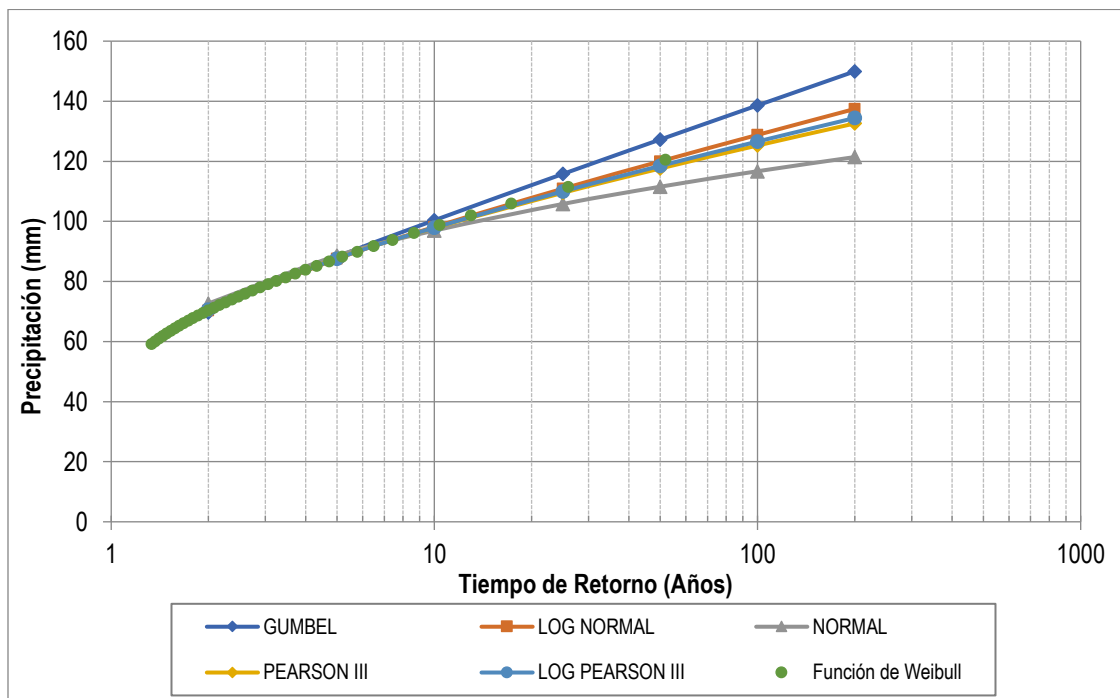


Figura 5.9. Precipitaciones máximas características para diferentes periodos de retorno. Función de Weibull. Estación Miravalles. Periodo: 1967 – 2017.

Fuente: elaboración propia

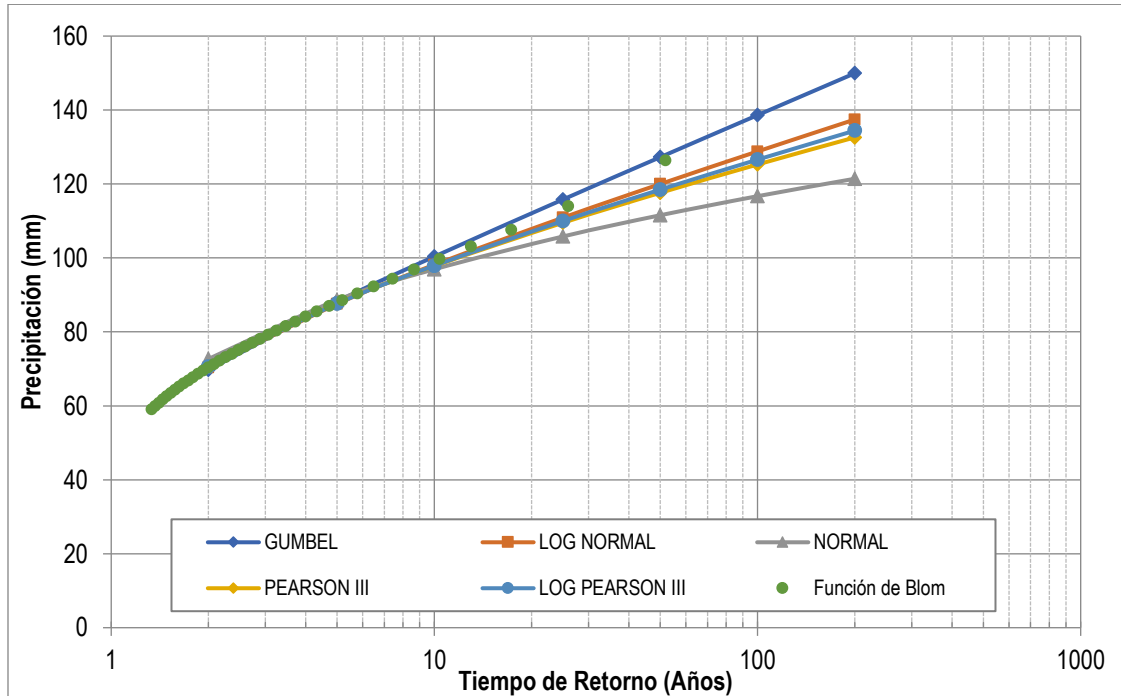


Figura 5.10 Precipitaciones máximas características para diferentes periodos de retorno. Función de Blom. Estación Miravalles. Periodo: 1967 – 2017.

Fuente: elaboración propia

Tabla 5.6. Cuadro resumen precipitaciones máximas esperadas (predicción) asociadas a diferentes periodos de retorno. Estación Miravalles. Periodo: 1967 – 2017.

PERÍODO DE RETORNO (Años)	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	NORMAL	LOG NORMAL	PEARSON III	LOG PEARSON III	GUMBEL
2	0,500	72,68	70,33	70,72	70,61	69,71
5	0,667	88,60	87,54	87,72	87,63	88,16
10	0,800	96,93	98,15	97,81	97,89	100,37
25	0,900	105,81	110,89	109,51	109,99	115,81
50	0,980	111,54	119,99	117,61	118,47	127,25
100	0,990	116,70	128,80	125,27	126,59	138,62
200	0,995	121,42	137,43	132,60	134,43	149,94
R²		0,6026	0,6856	0,6619	0,6725	0,7159

Fuente: elaboración propia

En la Figura 5.11 y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se observa que para la estación Puerto Molina las distribuciones de probabilidad que mejor se ajustan empleando las ecuaciones de Weibull y Blom son Log Normal y Gumbell, respectivamente.

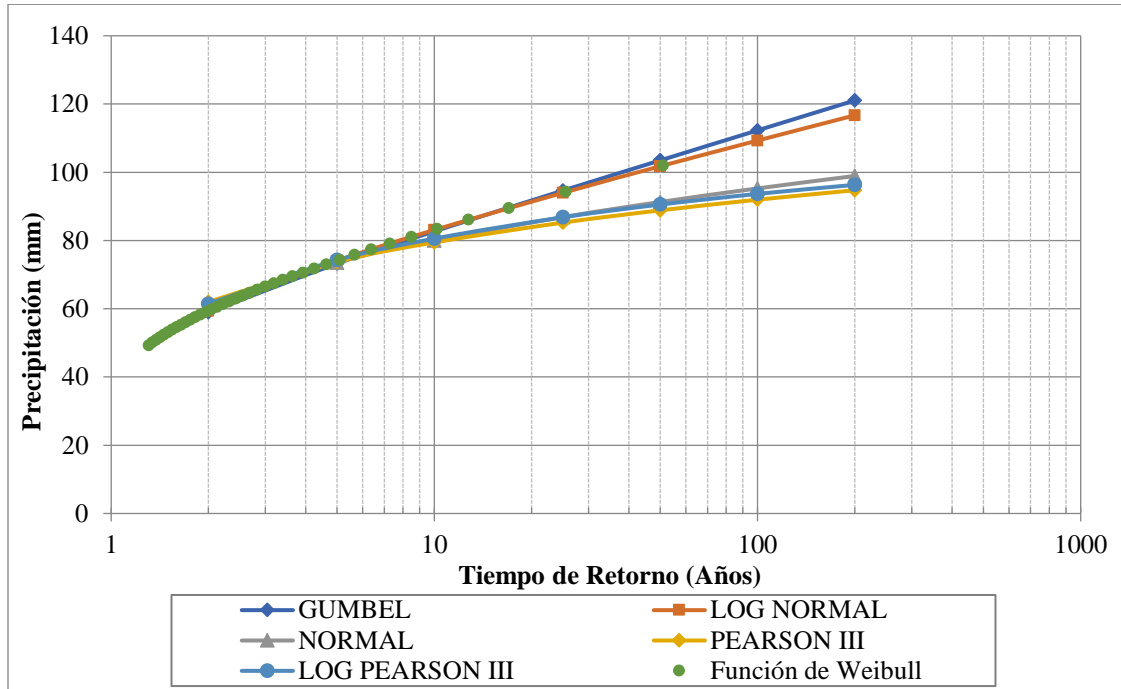


Figura 5.11. Precipitaciones máximas características para diferentes periodos de retorno. Función de Weibull. Estación Puerto Molina. Periodo: 1967 – 2016.

Fuente: elaboración propia

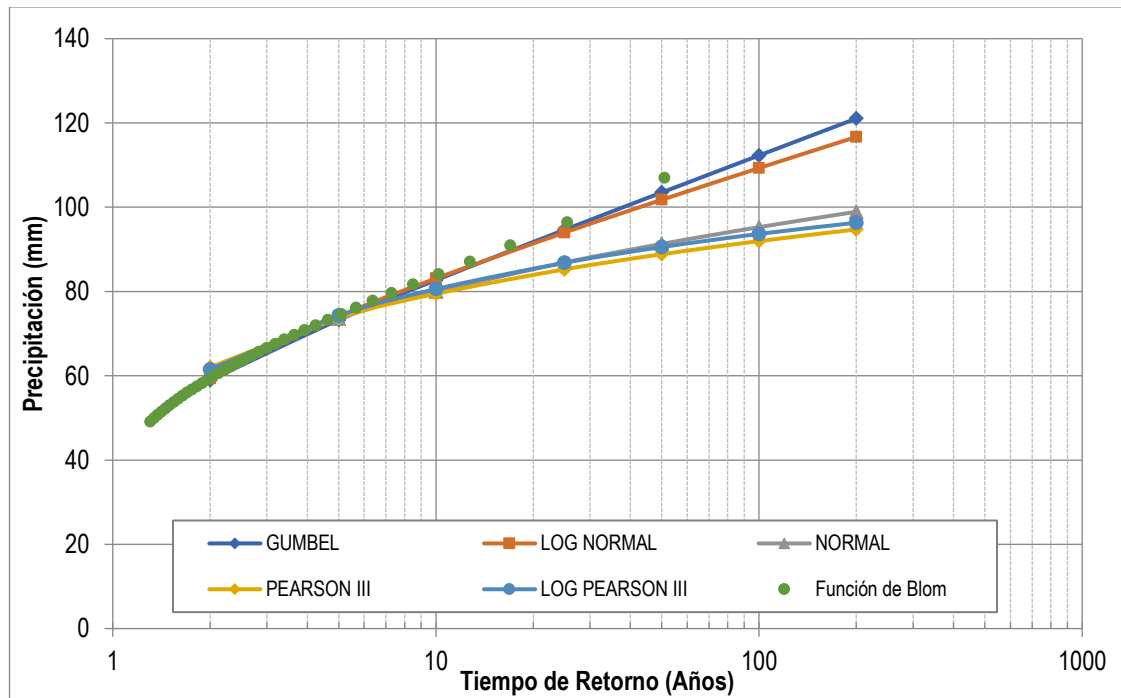


Figura 5.12 Precipitaciones máximas características para diferentes periodos de retorno. Función de Blom. Estación Puerto Molina. Periodo: 1967 – 2016.

Tabla 5.7. Cuadro resumen precipitaciones máximas esperadas (predicción) asociadas a diferentes períodos de retorno. Estación Puerto Molina. Periodo: 1967 – 2016.

PERÍODO DE RETORNO (Años)	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA	NORMA L	LOG NORMAL	PEARSON III	LOG PEARSON III	GUMBEL
2	0,500	61,26	59,36	62,01	61,45	58,97
5	0,667	73,56	74,03	73,72	74,26	73,24
10	0,800	80,00	83,09	79,44	80,56	82,69
25	0,900	86,86	93,97	85,25	86,81	94,63
50	0,980	91,29	101,75	88,84	90,54	103,49
100	0,990	95,27	109,29	91,96	93,66	112,28
200	0,995	98,92	116,69	94,73	96,32	121,05
R²		0,6026	0,6863	0,5664	0,5474	0,7159

Fuente: elaboración propia

5.3.1.2.4. Curvas Intensidad – Duración – Frecuencia – IDF

Para definir la lluvia de diseño se recurre a las Curvas IDF de las estaciones Cruces, La Arboleda, Miravalles y Puerto Molina, esto con el objetivo de determinar o generar los hietogramas de diseño, empleando la metodología de bloque alterno (CHOW, 1963), 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 180 minutos de duración, a una intensidad asociada a tiempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años (ver desde la Figura 5.13 hasta Figura 5.20 y Fuente: elaboración propia

Tabla 5.8 hasta Tabla 5.11).

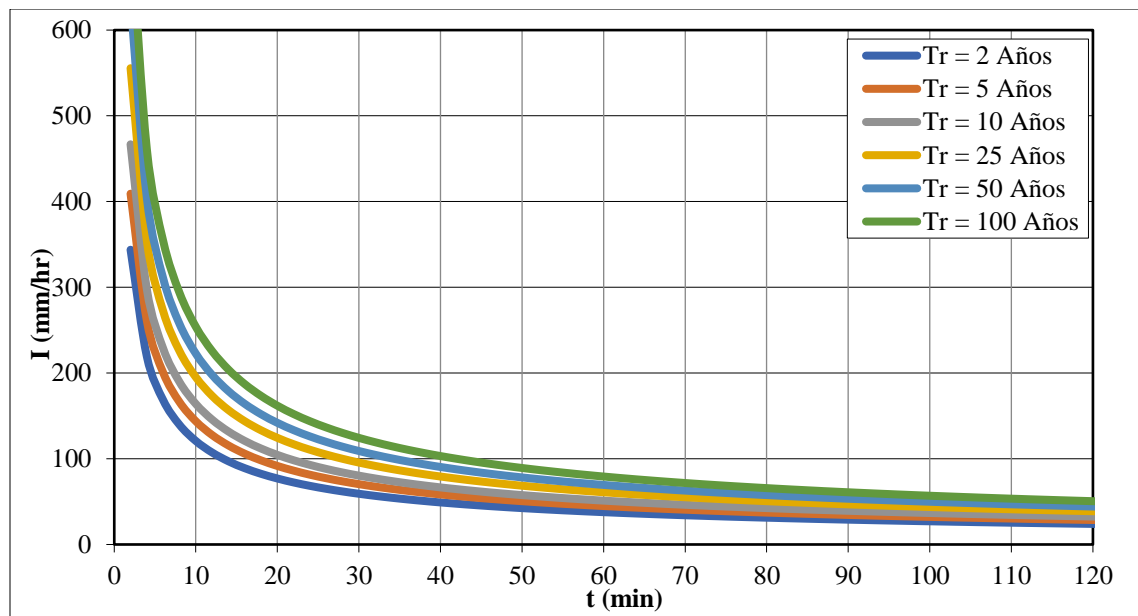


Figura 5.13 Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia. Estación Cruces

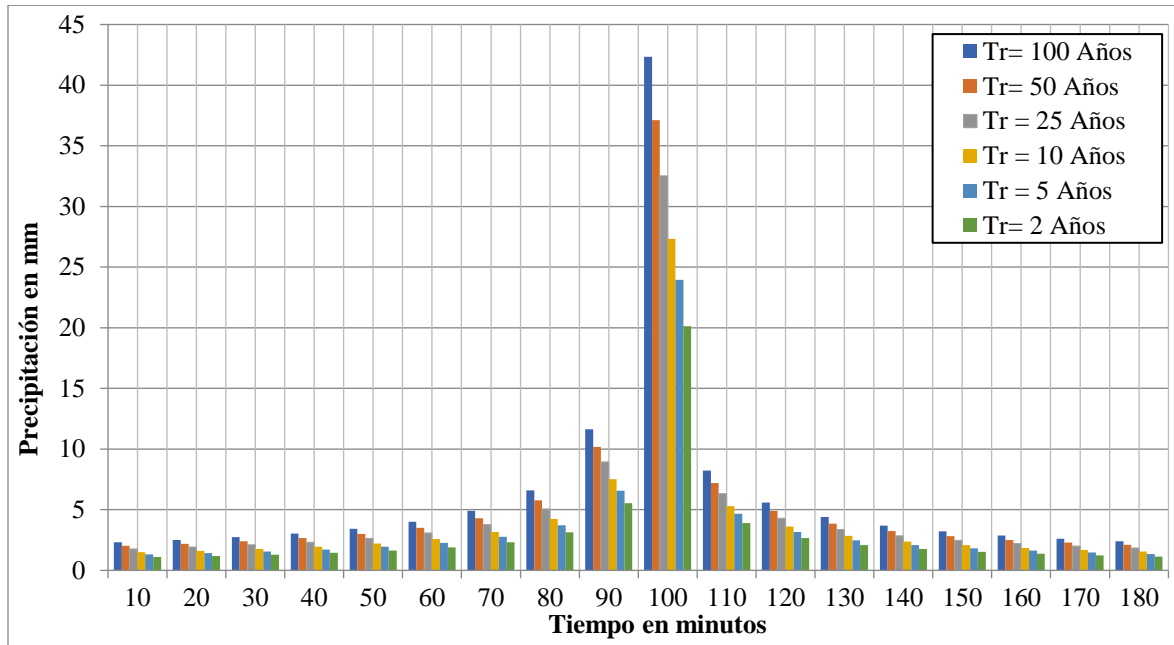


Figura 5.14. Histograma de precipitación de diseño hidrológico para tiempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años y una duración de 180 min. Estación Cruces.

Fuente: elaboración propia

Tabla 5.8. Valores de la precipitación de diseño hidrológico para tiempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años y una duración de 180 min. Estación Cruces.

Duración (min)	Precipitación (mm)					
	Tr = 2	Tr = 5	Tr = 10	Tr = 25	Tr = 50	Tr = 100
10	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,3
20	1,2	1,4	1,6	1,9	2,2	2,5
30	1,3	1,5	1,8	2,1	2,4	2,7
40	1,4	1,7	2,0	2,3	2,7	3,0
50	1,6	1,9	2,2	2,6	3,0	3,4
60	1,9	2,3	2,6	3,1	3,5	4,0
70	2,3	2,8	3,2	3,8	4,3	4,9
80	3,1	3,7	4,3	5,1	5,8	6,6
90	5,5	6,6	7,5	8,9	10,2	11,6
100	20,1	24,0	27,3	32,5	37,1	42,3
110	3,9	4,7	5,3	6,3	7,2	8,2
120	2,7	3,2	3,6	4,3	4,9	5,6
130	2,1	2,5	2,8	3,4	3,9	4,4
140	1,8	2,1	2,4	2,8	3,2	3,7
150	1,5	1,8	2,1	2,5	2,8	3,2
160	1,4	1,6	1,9	2,2	2,5	2,9
170	1,2	1,5	1,7	2,0	2,3	2,6
180	1,1	1,4	1,5	1,8	2,1	2,4

Fuente: elaboración propia

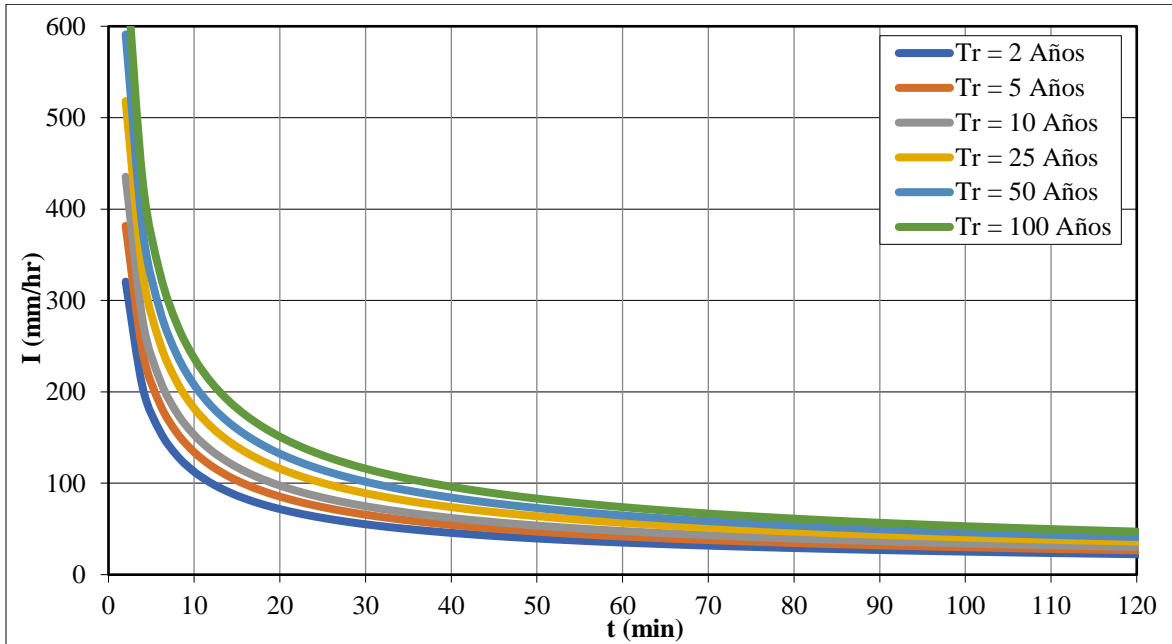


Figura 5.15 Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia. Estación La Arboleda.
Fuente: elaboración propia

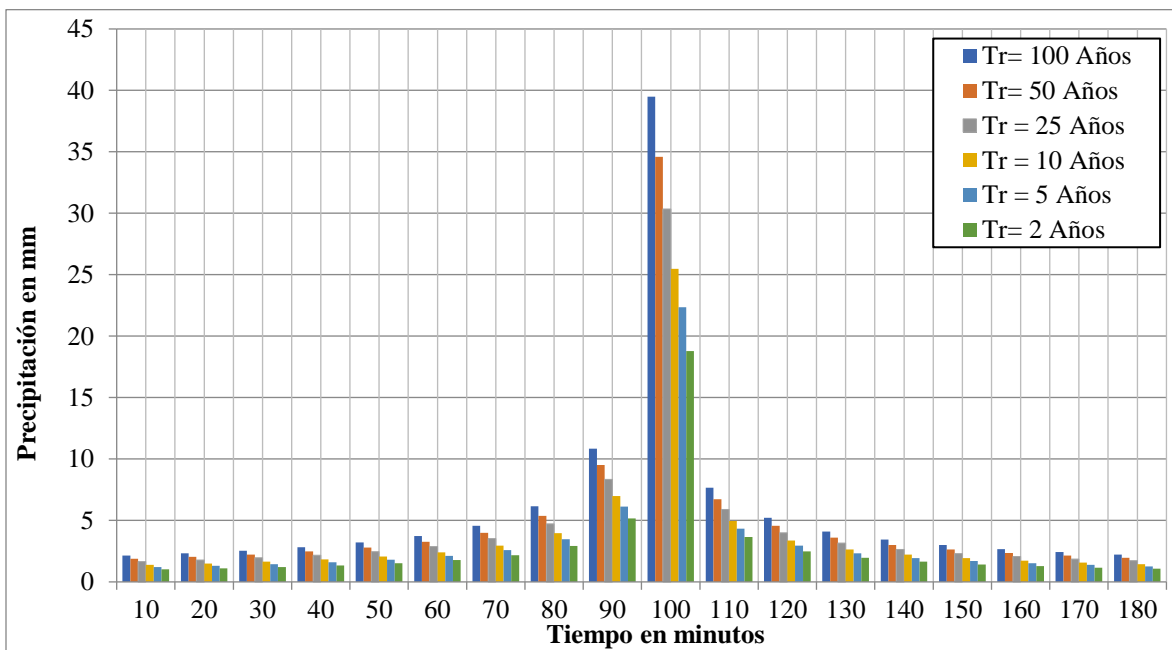


Figura 5.16. Histograma de precipitación de diseño hidrológico para tiempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años y una duración de 180 min. Estación La Arboleda.
Fuente: elaboración propia

Tabla 5.9. Valores de la precipitación de diseño hidrológico para tiempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años y una duración de 180 min. Estación La Arboleda.

Duración (min)	Precipitación (mm)					
	Tr = 2	Tr = 5	Tr = 10	Tr = 25	Tr = 50	Tr = 100
10	1,0	1,2	1,4	1,7	1,9	2,2
20	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,3
30	1,2	1,4	1,6	2,0	2,2	2,5
40	1,3	1,6	1,8	2,2	2,5	2,8
50	1,5	1,8	2,1	2,5	2,8	3,2
60	1,8	2,1	2,4	2,9	3,3	3,7
70	2,2	2,6	2,9	3,5	4,0	4,6
80	2,9	3,5	4,0	4,7	5,4	6,1
90	5,2	6,1	7,0	8,3	9,5	10,8
100	18,8	22,3	25,5	30,3	34,6	39,5
110	3,6	4,3	5,0	5,9	6,7	7,7
120	2,5	2,9	3,4	4,0	4,6	5,2
130	1,9	2,3	2,6	3,1	3,6	4,1
140	1,6	1,9	2,2	2,6	3,0	3,4
150	1,4	1,7	1,9	2,3	2,6	3,0
160	1,3	1,5	1,7	2,1	2,3	2,7
170	1,2	1,4	1,6	1,9	2,1	2,4
180	1,1	1,3	1,4	1,7	2,0	2,2

Fuente: elaboración propia

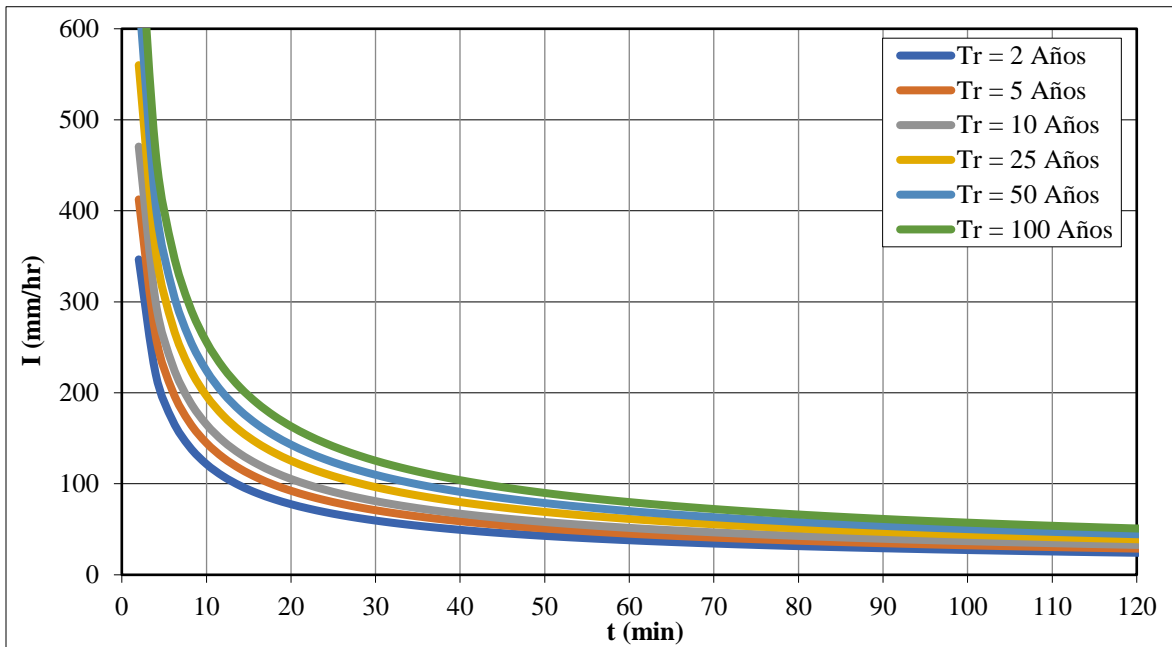


Figura 5.17. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia. Estación Miravalles.

Fuente: elaboración propia

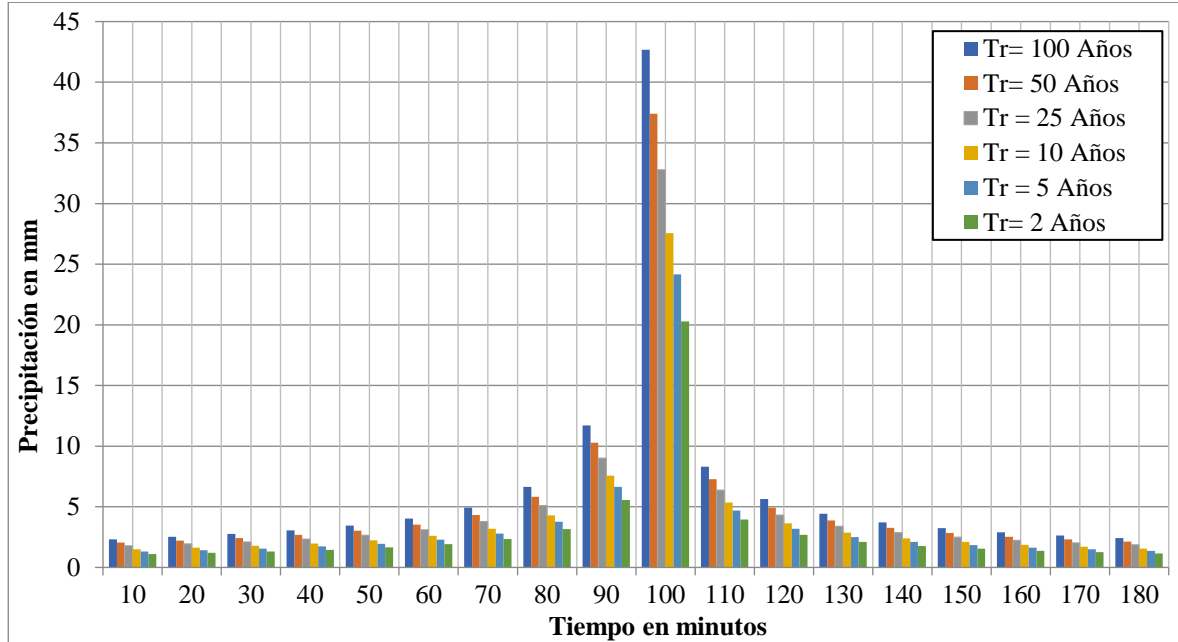


Figura 5.18. Histograma de precipitación de diseño hidrológico para tiempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años y una duración de 180 min. Estación Miravalles.

Fuente: elaboración propia

Tabla 5.10. Valores de la precipitación de diseño hidrológico para tiempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años y una duración de 180 min. Estación El Orégano.

Duración (min)	Precipitación (mm)					
	Tr = 2	Tr = 5	Tr = 10	Tr = 25	Tr = 50	Tr = 100
10	1,1	1,3	1,5	1,8	2,0	2,3
20	1,2	1,4	1,6	1,9	2,2	2,5
30	1,3	1,6	1,8	2,1	2,4	2,8
40	1,5	1,7	2,0	2,3	2,7	3,1
50	1,6	2,0	2,2	2,7	3,0	3,5
60	1,9	2,3	2,6	3,1	3,5	4,0
70	2,3	2,8	3,2	3,8	4,3	4,9
80	3,2	3,8	4,3	5,1	5,8	6,6
90	5,6	6,6	7,6	9,0	10,3	11,7
100	20,3	24,2	27,6	32,8	37,4	42,7
110	3,9	4,7	5,4	6,4	7,3	8,3
120	2,7	3,2	3,6	4,3	4,9	5,6
130	2,1	2,5	2,9	3,4	3,9	4,4
140	1,8	2,1	2,4	2,9	3,3	3,7
150	1,5	1,8	2,1	2,5	2,8	3,2
160	1,4	1,6	1,9	2,2	2,5	2,9
170	1,2	1,5	1,7	2,0	2,3	2,6
180	1,1	1,4	1,6	1,9	2,1	2,4

Fuente: elaboración propia

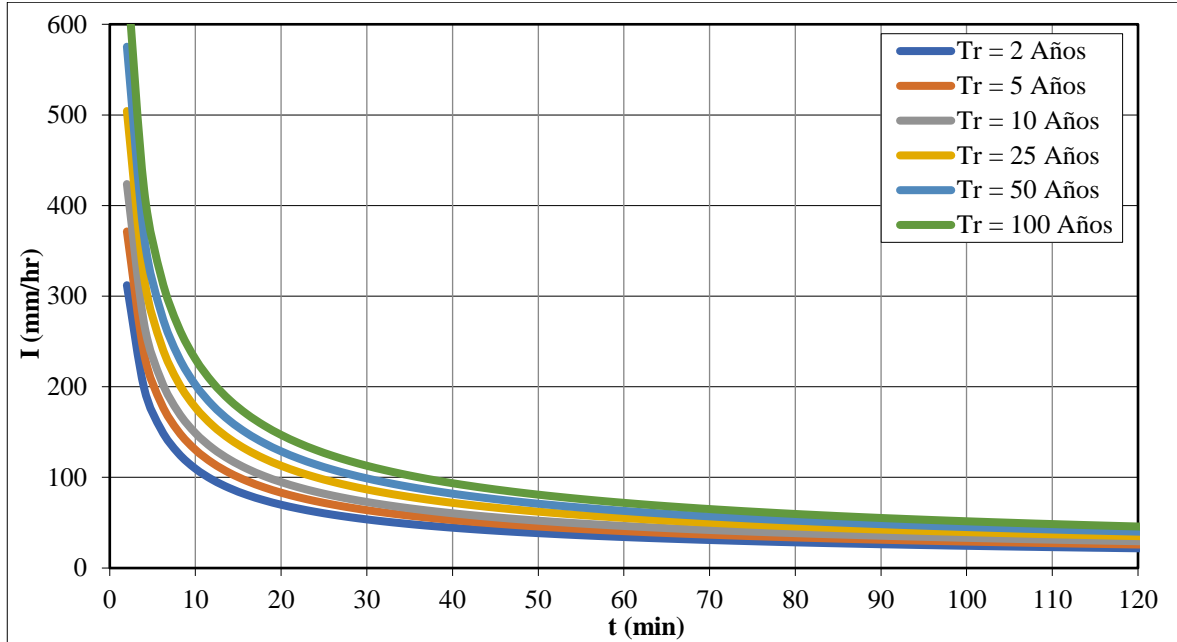


Figura 5.19. Curvas de Intensidad-Duración-Frecuencia. Estación Puerto Molina.

Fuente: elaboración propia

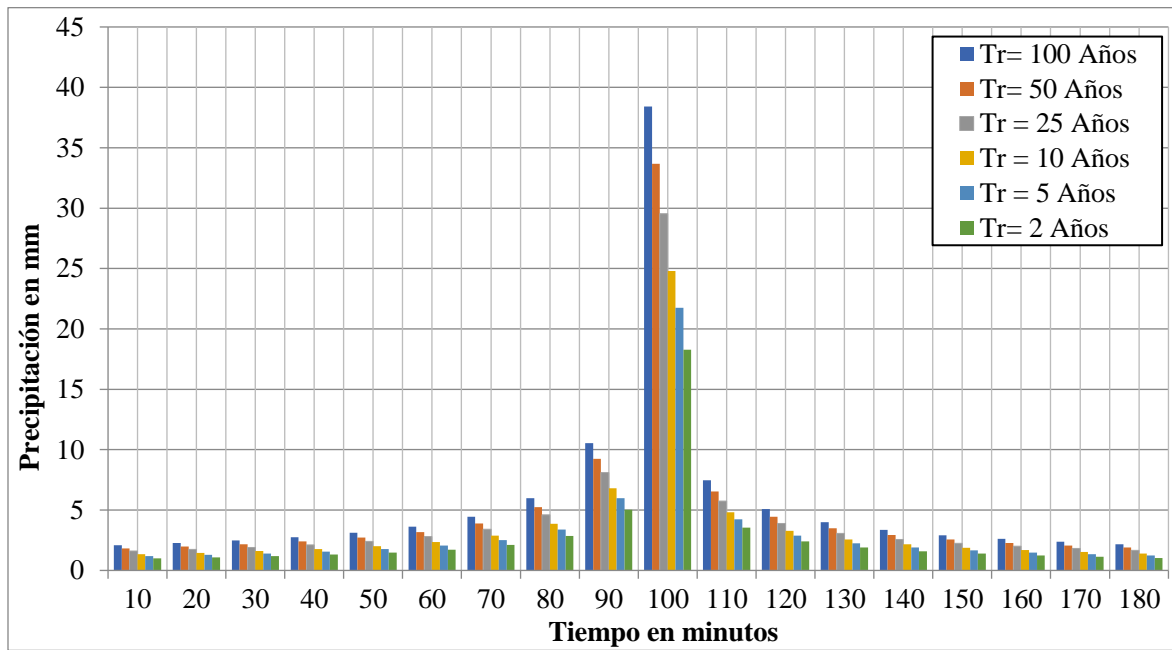


Figura 5.20. Histograma de precipitación de diseño hidrológico para tiempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años y una duración de 180 min. Estación Puerto Molina.

Fuente: elaboración propia

Tabla 5.11. Valores de la precipitación de diseño hidrológico para tiempos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años y una duración de 180 min. Estación Puerto Molina.

Duración (min)	Precipitación (mm)					
	Tr = 2	Tr = 5	Tr = 10	Tr = 25	Tr = 50	Tr = 100
10	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,1
20	1,1	1,3	1,5	1,7	2,0	2,3
30	1,2	1,4	1,6	1,9	2,2	2,5
40	1,3	1,6	1,8	2,1	2,4	2,7
50	1,5	1,8	2,0	2,4	2,7	3,1
60	1,7	2,1	2,3	2,8	3,2	3,6
70	2,1	2,5	2,9	3,4	3,9	4,4
80	2,8	3,4	3,9	4,6	5,2	6,0
90	5,0	6,0	6,8	8,1	9,2	10,5
100	18,3	21,7	24,8	29,5	33,7	38,4
110	3,6	4,2	4,8	5,7	6,5	7,5
120	2,4	2,9	3,3	3,9	4,4	5,1
130	1,9	2,3	2,6	3,1	3,5	4,0
140	1,6	1,9	2,2	2,6	2,9	3,3
150	1,4	1,7	1,9	2,2	2,6	2,9
160	1,2	1,5	1,7	2,0	2,3	2,6
170	1,1	1,3	1,5	1,8	2,1	2,4
180	1,0	1,2	1,4	1,7	1,9	2,2

Fuente: elaboración propia

5.4. ESTUDIO HIDROLÓGICO

Los estudios hidrológicos para la determinación de caudales de aporte hacia un punto de interés se han centrado en la implementación de modelos determinísticos o estocásticos; los primeros son modelos que se emplean para la predicción de fenómenos a partir de las condiciones climatológicas en una cuenca –precipitación, causa- y la respuesta de la corriente de agua ante los fenómenos presentados –caudales, efecto-, los segundos modelos, estocásticos, son de tipo pronóstico y se basan en la información histórica recopilada en una estación hidrométrica bajo una serie de datos confiables y de larga duración. Para el caso del presente estudio hidrológico, no existe una estación hidrométrica que permita conocer directamente los caudales de aporte o al menos que permitan conocer los tipos de respuesta hidrológica de estas subzonas por lo que la hidrología se desarrolla bajo la implementación de modelos determinísticos, tipo HEC-HMS, bajo la aceptación de los resultados basados en la experiencia del ingeniero y el conocimiento local de las relaciones ambientales de estos fenómenos.

Para estimar los caudales de aporte máximos se utiliza un modelo de tipo determinístico en el punto de cierre de la subzona hidrográfica, el área de esta, se define como la zona de influencia hidrológica directa y área particular de estudio; los caudales estimados para diseño no puede ser calibrados dado que no se conocen reportes de aforos o estación hidrométrica alguna que permita conocer los rendimientos de caudal, por tal motivo los caudales modelados corresponden a una apreciación definida por diferentes parámetros sugeridos en el modelo a partir de condiciones biofísicas de la subzona como es el uso del suelo, el tipo de suelo, la morfología, el análisis de datos de precipitación, y lo más importante, el criterio del ingeniero.

5.3.2. MODELACIÓN HIDROLÓGICA

5.3.2.1. 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 5.21), cada uno de las cuales refleja un aspecto del proceso precipitación-escorrentía a partir de parámetros físicos e hidrológicos.

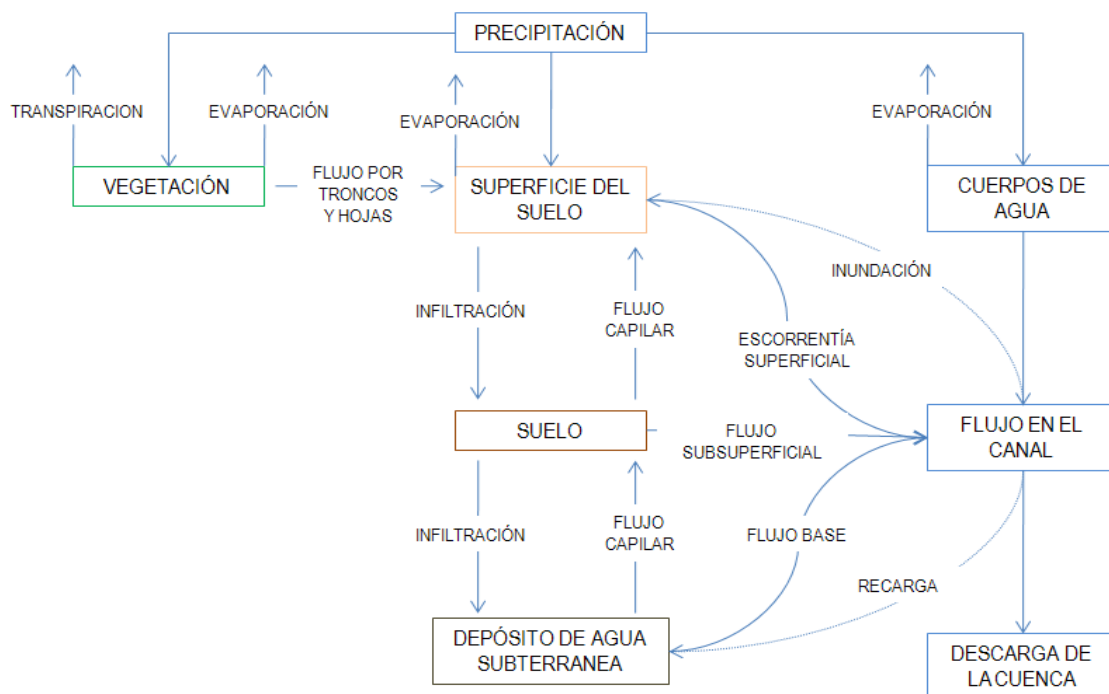


Figura 5.21. Esquema de las componentes hidrológicas e hidráulicas que utiliza el HEC-HMS 4.3 para representar una cuenca hidrográfica.

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 creciente entre tramos.

5.3.2.1.1. Clasificación de los modelos Precipitación-Escorrentía

La Figura 5.22 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.

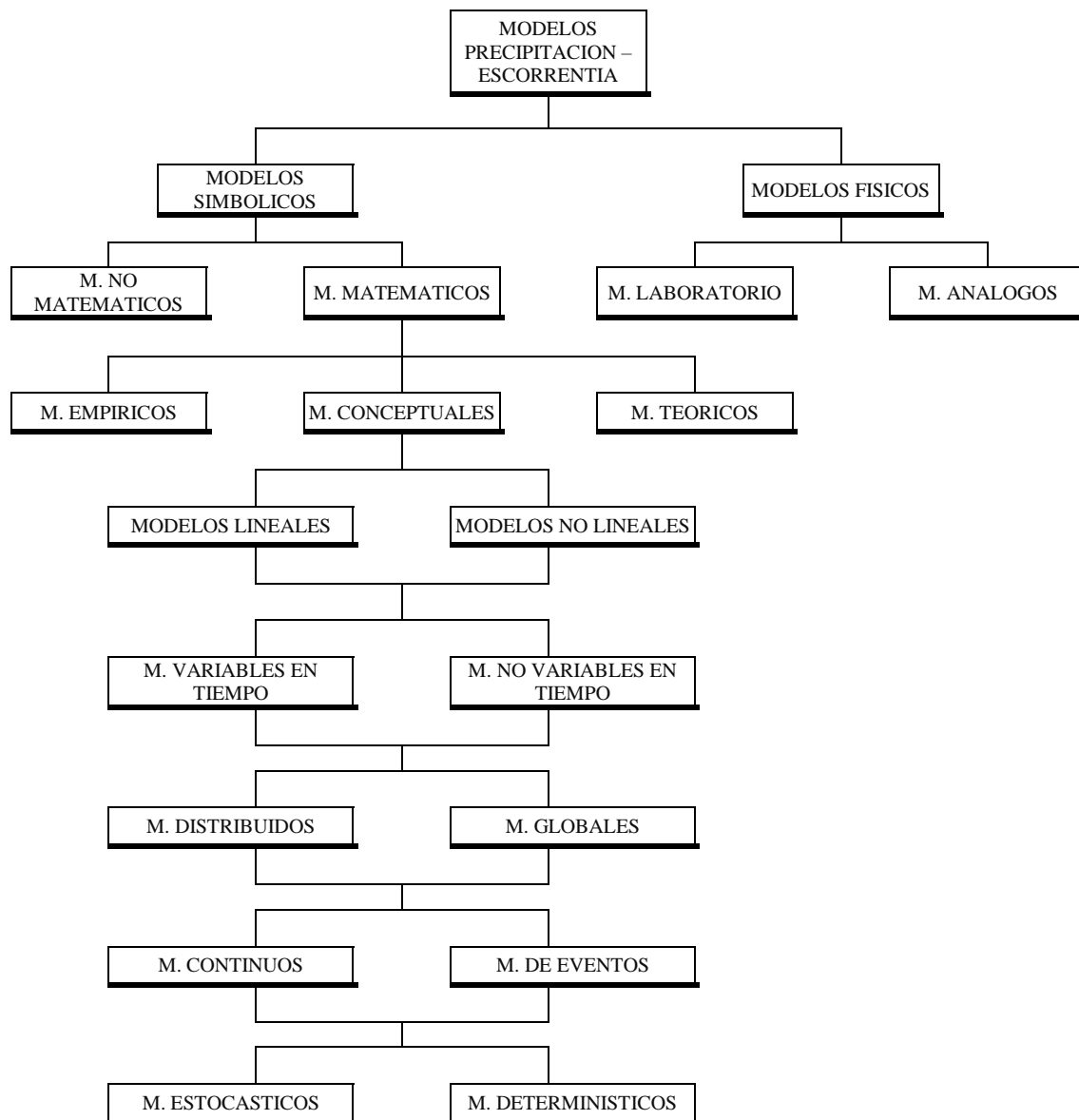


Figura 5.22. Clasificación de Modelos

Fuente: elaboración propia

5.3.2.1.2. 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 cálculos 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 sea su duración. Por esta razón no es lógico distribuir una lluvia de 24 horas con una distribución de duraciones pequeñas.

Precipitación Efectiva y Pérdidas de Precipitación: Se hace referencia con esto al destino del volumen de lluvia total; por un lado, las pérdidas son agrupadas en los fenómenos como la

infiltración, evapotranspiración, evaporación, almacenamiento en depresiones topográficas e Intercepciones. Por otro lado, la lluvia efectiva, es aquella que se convierte en escorrentía directa.

Infiltración: Como parte componente de las pérdidas de precipitación, la infiltración es la cantidad de lluvia que llega al suelo, sobrepasa el estrato superficial, siguiendo caminos subterráneos más lentos para conformar en algún momento parte del flujo base. Este es un parámetro muy importante en la simulación de los modelos P-E, sirviendo de patrón para evaluar el resto de los parámetros que componen las pérdidas de lluvia.

El software HEC-HMS basa el cálculo de pérdidas de lluvia en la infiltración, teniendo opciones como: pérdidas 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

DESCRIPCIÓN DEL USO DE LA TIERRA	GRUPO HIDROLÓGICO DEL SUELO			
	A	B	C	D
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)				
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
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, remítirse a Soil Conservation Service, t 972, Cap. 9

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

³ Los números de curva se calculan suponiendo que la escorrentía desde las casas y de los accesos se dirige hacia la calle, con un mínimo del agua del techo dirigida hacia el césped donde puede ocurrir infiltración adicional.

⁴ Las áreas permeables restantes (césped) se consideran como pastizales en buena condición para estos números de curva. ⁵ 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

USO DE LA TIERRA O COBERTURA	CONDICION DE LA SUPERFICIE	CN POR GRUPO HIDROLÓGICO DE SUELO			
		A	B	C	D
	ESPACIADOS O DE BAJA TRANSPIRACION	46	68	78	84
	NORMAL	36	60	70	76
	DENSO O DE ALTA TRANSPIRACION	26	52	62	69
	MUY DENSO O DE ALTA TRANSPIRACION	15	44	54	61
Bosque	Pobre	45	66	77	83
	Regular	36	60	73	79
	Bueno	30	55	70	77
SECANSO (SIN CULTIVO)	SURCO RECTO	77	86	91	94
CULTIVOS DE SURCO	SURCO RECTO	70	80	87	90
	SURCO EN CURVAS A NIVEL	67	77	83	87
	TERRAZAS	64	73	79	82
CEREALES	SURCO RECTO	64	76	84	88
	SURCO EN CURVAS A NIVEL	62	74	82	85
	TERRAZAS	60	71	79	82
LEGUMINOSAS (SEMBRADAS CON MAQUINARIA O AL VOLEO) POTRERO DE ROTACION	SURCO RECTO	62	75	83	87
	SURCO EN CURVAS A NIVEL	60	72	81	84
	TERRAZAS	57	70	78	82
PASTIZAL	POBRE	68	79	86	89
	NORMAL	49	69	79	84
	BUENO	39	61	74	80
	CURVAS A NIVEL, POBRE	47	67	81	88
	CURVAS A NIVEL, NORMAL	25	59	75	83
	CURVAS A NIVEL, BUENO	6	35	70	79
POTRERO PERMANENTE	NORMAL	30	58	71	78
SUPERFICIE IMPERMEABLE		100	100	100	100
Pastos, praderas, terrenos de 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

USO DE LA TIERRA O COBERTURA	CONDICION DE LA SUPERFICIE	CN POR GRUPO HIDROLÓGICO DE SUELO			
		A	B	C	D
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.

Puede utilizarse un procedimiento de tanteos para determinar el tiempo crítico de concentración donde existen varias rutas posibles que deben considerarse. El tiempo de concentración de cualquier punto en un sistema de drenaje de aguas lluvias es la suma del tiempo de entrada t_o (el tiempo que se toma para fluir desde el punto más remoto hasta la entrada al alcantarillado) y del tiempo de flujo t_f en los alcantarillados localizados aguas arriba conectados al punto de salida:

$$t_c = t_o + t_f \quad (21)$$

El tiempo de flujo está dado por la ecuación:

$$t_f = \sum_{i=1}^n \frac{L_i}{V_i} \quad (22)$$

Donde L_i es la longitud del i -ésimo tubo a lo largo de la trayectoria de flujo y V_i es la velocidad de flujo en el tubo.

El tiempo de entrada, o tiempo de concentración para el caso de que no exista alcantarillado aguas arriba, puede obtenerse mediante observaciones experimentales o puede estimarse utilizando ecuaciones como las presentadas en la Tabla 5.15. Pueden existir varias rutas posibles de flujo para diferentes cuencas drenadas por un alcantarillado; el mayor tiempo de concentración de todos los tiempos para las diferentes rutas se supone que es el tiempo de concentración crítico del área drenada.

Debido a que las áreas que llegan a la mayor parte de las obras de captación de aguas lluvias son relativamente pequeñas, también es bastante común determinar el tiempo de entrada con base en experiencias bajo condiciones similares. El tiempo de entrada (0) disminuye a medida que tanto la pendiente como la impermeabilidad de la superficie aumentan, y se incrementa a medida que la distancia sobre la cual tiene que viajar el agua se incrementa y a medida que la retención en las superficies de contacto aumenta. Todos los tiempos de entrada determinados con base en la experiencia deben verificarse mediante cálculos directos de la escorrentía superficial en el terreno.

Tabla 5.15. Resumen de las ecuaciones de tiempo de concentración

Método y fecha	Fórmula para t_c (min)	observaciones
Kirpich (1940)	$t_c = 0.0078L^{0.77} S^{-0.385}$ <p>L = longitud del canal desde aguas arriba hasta la salida, pies S = pendiente promedio de la cuenca, pies/pie</p>	Desarrollada a partir de información del SCS en siete cuencas rurales en Tennessee con canales bien definidos y pendientes empinadas (3 a 10%); para flujo superficial en superficies de concreto o asfalto se debe multiplicar te por 0.4; para canales de concreto se debe multiplicar por 0.2; no se debe hacer ningún ajuste para flujo superficial en suelo descubierto o para flujo en cunetas
California Culverts Practice (1942)	$t_c = 60(11.9L^3/H)^{0.385}$ <p>L=longitud del curso de agua más largo, pies H = diferencia de nivel entre la divisoria de aguas y la salida, pies</p>	Esencialmente es la ecuación de Kirpich; desarrollada para pequeñas cuencas montañosas en California (D. S. Bureau of Reclamation, 1973, pp. 67-71).
Izzard (1946)	$t_c = \frac{41.025(0.0007i+c)L^{0.33}}{S^{0.333} i^{0.667}}$ <p>i = intensidad de lluvia, pulg/h c = coeficiente de retardo L = longitud de la trayectoria de flujo, pies S = pendiente de la trayectoria de flujo, pies/pie</p>	Desarrollada experimentalmente en laboratorio por el Bureau of Public Roads para flujo superficial en caminos y áreas de céspedes; los valores del coeficiente de retardo varían desde 0.0070 para pavimentos muy lisos hasta 0.012 para pavimentos de concreto y 0.06 para superficies densamente cubiertas de pasto; la solución requiere de procesos iterativos; el producto de i por L debe ser ≤ 500
Cartas de velocidad promedio del SCS (1946)	$t_c = \frac{L}{60} \sum \frac{L}{V}$ <p>L = longitud de la trayectoria de flujo, pies V = velocidad promedio en pies/s de la figura 3.1 del TR 55 para diferentes superficies</p>	Las curvas de flujo superficial de la figura 3.1 del TR 55 muestran la velocidad promedio como una función de la pendiente del curso de agua y de la cubierta superficial. (Véase también la tabla 5.7.1).

Método y fecha	Fórmula para t_c (min)	observaciones
Ecuaciones de onda cinemática Morgali y Linsley (1965) Aron y Herborge (1973)	$t_c = \frac{0.94 L^{0.6} n^{0.6}}{i^{0.4} S^{0.3}}$ <p>L = longitud del flujo superficial, pies n = coeficiente de rugosidad de Manning i = intensidad de la lluvia, pulg/h S = pendiente promedio del terreno, pies/pie</p>	Ecuación para flujo superficial desarrollada a partir de análisis de onda cinemática de la escorrentía superficial desde superficies desarrolladas; el método requiere iteraciones debido a que tanto i (intensidad de la lluvia) como t_c son desconocidos; la superposición de una curva de intensidad-duración-frecuencia da una solución gráfica directa para t_c .
Ecuación de retardo SCS (1973)	$t_c = \frac{100 L^{0.8} ((1000/CN)-9)^{0.7}}{1900 S^{0.50}}$ <p>L=longitud hidráulica de la cuenca (mayor trayectoria de flujo), pies CN = número de curva SCS S = pendiente promedio de la cuenca, %</p>	Ecuación desarrollada por el SCS a partir de información de cuencas de uso agrícola; ha sido adoptada a pequeñas cuencas urbanas con áreas inferiores a 2000 acres; se ha encontrado que generalmente es buena cuando el área se encuentra completamente pavimentada; para áreas mixtas tiene tendencia a la sobreestimación; se aplican factores de ajuste para corregir efectos de mejoras en canales e impermeabilización de superficies; la ecuación supone que $t_c = 1.67 * \text{retardo de la cuenca}$
Federal Aviation Administration (1970)	$t_c = 1.8(1.1-C)L^{0.50}/S^{0.333}$ <p>C = coeficiente de escorrentía del método racional L = longitud del flujo superficial, pies S = pendiente de la superficie, %</p>	Desarrollada de información sobre el drenaje de aeropuertos recopilada por el Corps of Engineers; el método tiene como finalidad el ser usado en problemas de drenaje de aeropuertos, pero ha sido frecuentemente usado para flujo superficial en cuencas urbanas.

Fuente Kibler, 1982, copyright de la American Geophysical Union.

Tabla 5.16. Tiempo de Entrada (after DoE/NWC, 1981)

Return Period	Time of entry (min)
1	4-8
2	4-7
5	3-6

Fuente: DoE/NWC (1981) Design and Analysis of Urban Storm Drainage. The Walling-ford procedure, Four volumes, Standing Technical Committee Report No. 28.

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.

5.3.3. Implementación del modelo hidrológico

5.3.3.1. 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.

5.3.3.2. 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 Figura 5.23.

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 (Tabla 5.17), información requerida por el modelo hidrológico.

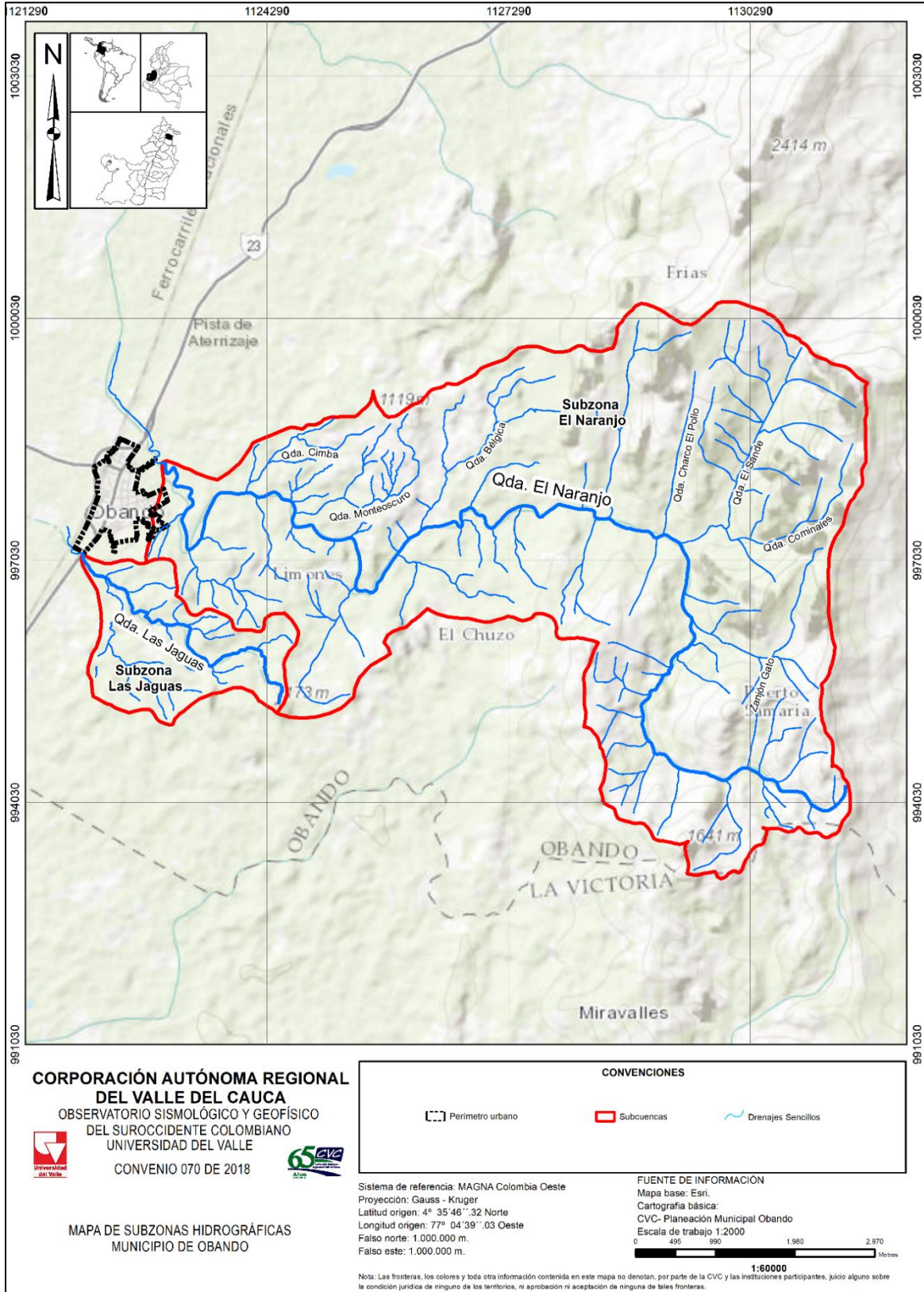


Figura 5.23. Subzonas hidrográficas en estudio
Fuente: elaboración propia

Tabla 5.17. Características generales y morfométricas de las subzonas de interés

Nombre Subzona hidrográfica	Área de la subzona	Longitud cauce principal	Curva más alta	Curva más baja	Elevaciones extremas	Tiempo de concentración
	Área (Km ²)	Lcp (Km)	H máximo	H mínimo	Pendiente media S (m/m)	Tc (min) Formula Kirpich
Quebrada Las Jaguas	3,33	4,09	1060	925	0,033	68,1
Quebrada El Naranjo	35,05	16,42	1435	927	0,031	296,4

Fuente: elaboración propia

5.3.4. Esquematización de las subzonas

Definida las zonas de estudio, procesada la información requerida para la implementación del modelo y evaluada la calidad de la misma, se procede a la esquematización de las subzonas, la evaluación de características morfométricas e hidrológicas y las corridas del modelo hidrológico como se muestra a continuación.

Para representar adecuadamente el comportamiento hidrológico de determinada cuenca, es preciso, en primer lugar, llevar a cabo una representación esquemática de la misma (basin model), que refleje, de la mejor manera posible, su morfología y las características de su red de drenaje. En la Figura 5.24 se presenta un esquema general de las subzonas en el modelo HEC-HMS.

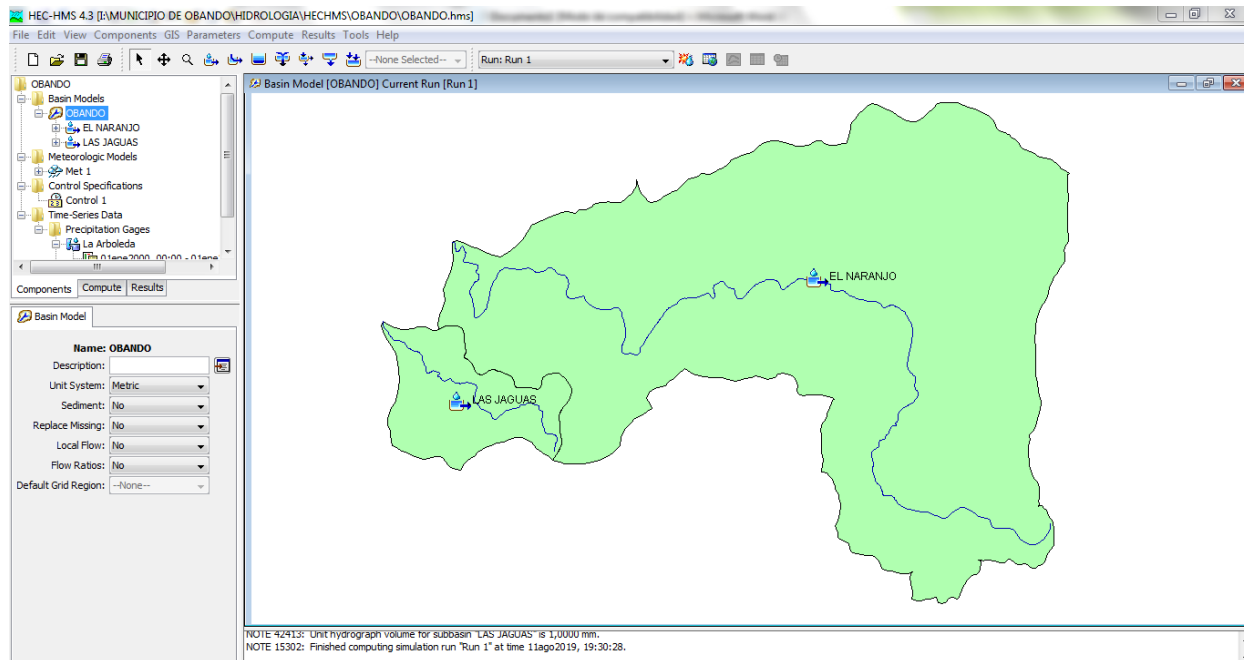


Figura 5.24. Esquema de las subzonas en estudio en el modelo HEC-HMS.

Fuente: elaboración propia

5.3.5. Usos del suelo – Numero de escurrimiento-

Para el cálculo del CN de las subzonas hidrográficas se utilizó el mapa de uso y cobertura del suelo (de acuerdo con la metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia), lo cual es

procesado en ArcMap 10.1 para obtener un mapa temático de grupo hidrológico de suelo para el polígono de estudio. Finalmente, con la información de cobertura y grupo hidrológico de suelos del área se procesa para obtener el valor de CN, el cual fue ponderado con respecto al área total de la unidad de codificación, para obtener el CN ponderado para cada unidad.

Con base en la cartografía temática de las zonas se estableció que la mayor cobertura del suelo en para para la subzona hidrográfica de la quebrada Las Jaguas corresponde a pastos limpios, mientras que para la subzona de la quebrada El naranjo es el mosaico de cultivos, pastos y espacios naturales. (ver Tabla 5.18). En la Figura 5.25 se observa el uso del suelo de las subzonas hidrográficas en estudio de acuerdo con las coberturas encontradas.

Tabla 5.18. Cobertura del suelo de las subzonas con influencia en el área de estudio

SUBZONA	USO Y COBERTURA	ÁREA (m ²)	ÁREA (%)
Quebrada Las Jaguas	Bosque de Galería y Ripario	296227,13	8,89
	Mosaico de Pastos y Cultivos	117473,18	3,52
	Pastos Limpios	2919218,01	87,59
Quebrada El Naranjo	Bosque de Galería y Ripario	2283932,26	6,52
	Mosaico de Cultivos, Pastos y Espacios Naturales	20451074	58,36
	Mosaico de Pastos con Espacios Naturales	139663,108	0,40
	Pastos Limpios	12170663,9	34,73

Fuente: elaboración propia

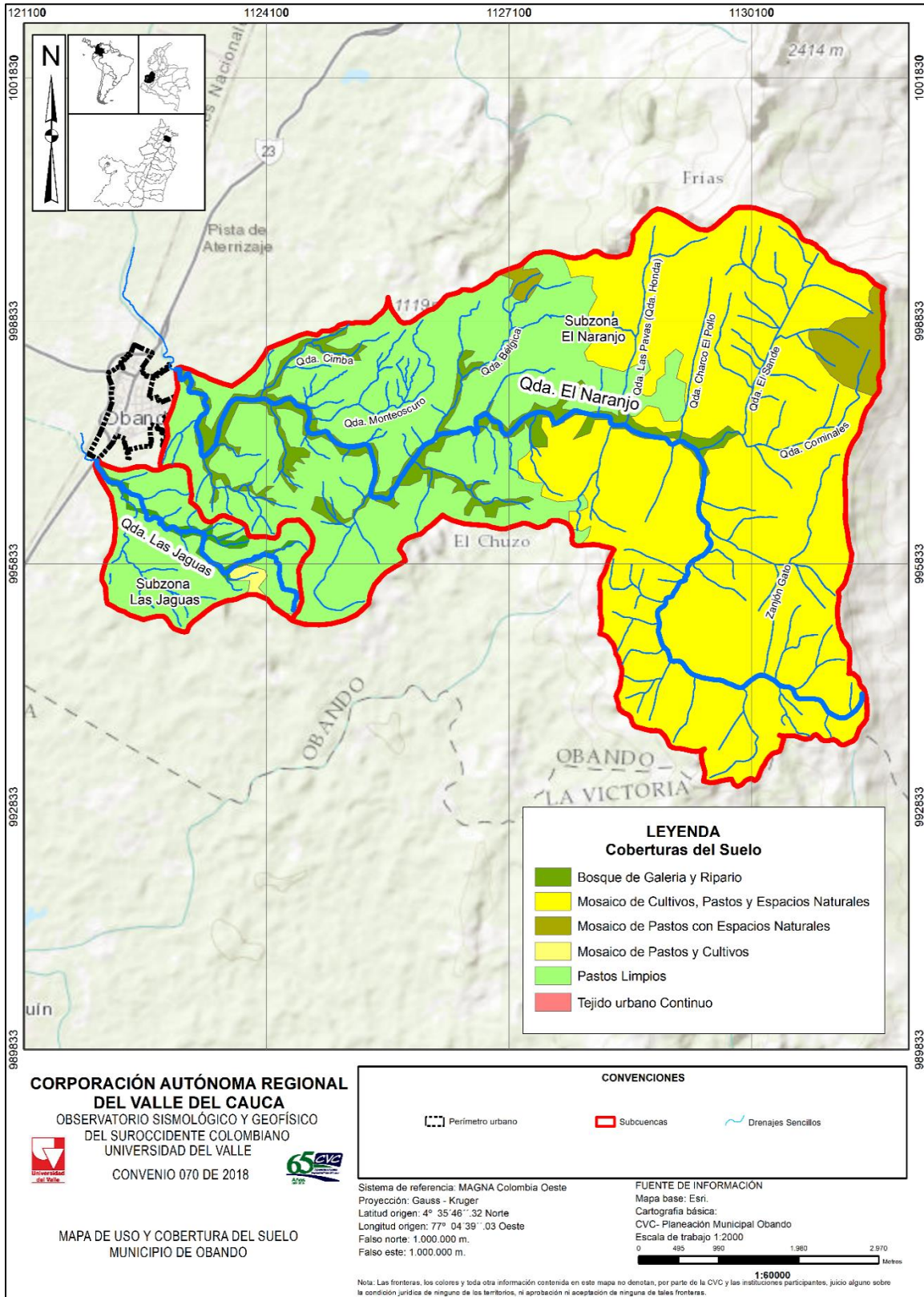


Figura 5.25. Uso y cobertura del suelo de las subzonas hidrográficas en estudio.
Fuente: CVC 2018.

Una vez ponderados las coberturas de uso del suelo con número de curva se estimaron los valores correspondientes al CN, en la Tabla 5.19 se presentan los resultados obtenidos.

Tabla 5.19. Valores de CN para las subzonas hidrográficas en estudio

SUBZONAS	CN
Quebrada Las Jaguas	57,73
Quebrada El Naranjo	57,80

Fuente: elaboración propia

5.3.6. Flujo base

Los parámetros hidrológicos se analizaron espacialmente implementando herramientas de SIG, a partir de los mapas temáticos de la zona de estudio y el modelo digital de elevaciones – DEM (siglas en ingles). En la Tabla 5.20 se muestran los parámetros hidrológicos calculados utilizando las metodologías expuestas anteriormente.

Tabla 5.20. Parámetros hidrológicos de las subzonas hidrográficas en estudio

SUBZONA	TLAG (MIN)	CN	S (MM)	IA (MM)	FLUJO BASE (M ³ /S)
Quebrada Las Jaguas	40,85	57,73	185,95	37,19	0,036
Quebrada El Naranjo	177,85	57,80	185,41	37,08	0,035

Tlag: Tiempo de demora = 0,60 T_c; CN: Numero de curva; S: Máximo potencial de retención; Ia: Abstracciones iniciales, Q_b: Caudal base.

Fuente: elaboración propia

5.3.7. Resultados de la simulación y análisis hidrológico

El presente estudio tiene como objetivo determinar los caudales máximos de crecidas para periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años. Con el fin de evaluar los eventos de interés se implementó el modelo hidrológico HEC – HMS, el cual se fundamenta en la relación lluvia – escorrentía pues permite calcular los caudales máximos en función de la profundidad total de precipitación, parámetros de forma (morfométrica de las subzonas) y de parámetros de abstracción.

El aporte de caudales de las subzonas hidrográficas en estudio, depende directamente de las características edafológicas, morfológicas e hidroclimatológicas que influyen sobre el sistema de las cuencas. Para el uso del paquete computacional HEC - HMS con el modelo del SCS, se utilizó la información que se ha descrito en forma precedente. En la Tabla 5.21 se presentan los caudales máximos generados con el modelo hidrológico para las subzonas hidrográficas en estudio.

Tabla 5.21. Caudales máximos (m³/s) para diferentes tiempos de retorno, generados con el modelo hidrológico HEC HMS

SUBZONA HIDROGRÁFICA	TIEMPO DE RETORNO EN AÑOS					
	2	5	10	25	50	100
Quebrada Las Jaguas	0,70	1,60	2,80	5,50	8,50	12,40
Quebrada El Naranjo	3,30	8,10	13,90	25,00	36,70	52,10

Fuente: elaboración propia a partir de resultados HEC HMS.

Teniendo en cuenta que el periodo de retorno de 100 años se considera como el escenario evaluado más extremo, de la Figura 5.26 hasta la Figura 5.37 se presentan los hietogramas e hidrogramas de caudales máximos, resultantes de la modelación hidrológica para las subzonas hidrográficas en estudio.

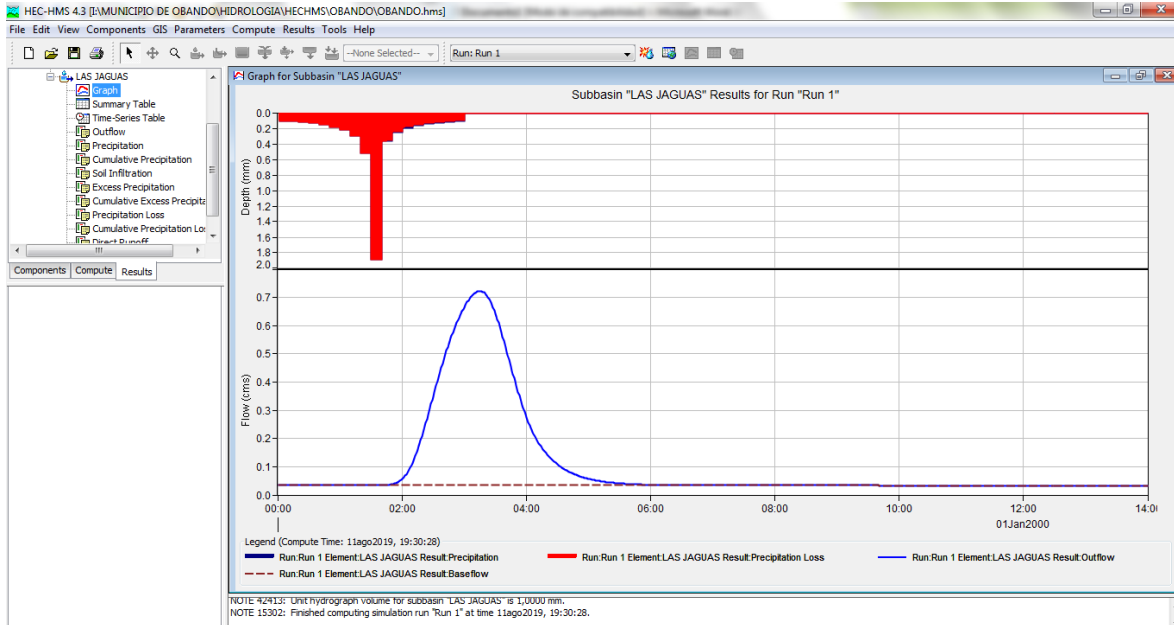


Figura 5.26. Hietograma e hidrograma de caudales máximos para un periodo de retorno de 2 años de la subzona hidrográfica quebrada Las Jaguas.

Fuente: elaboración propia

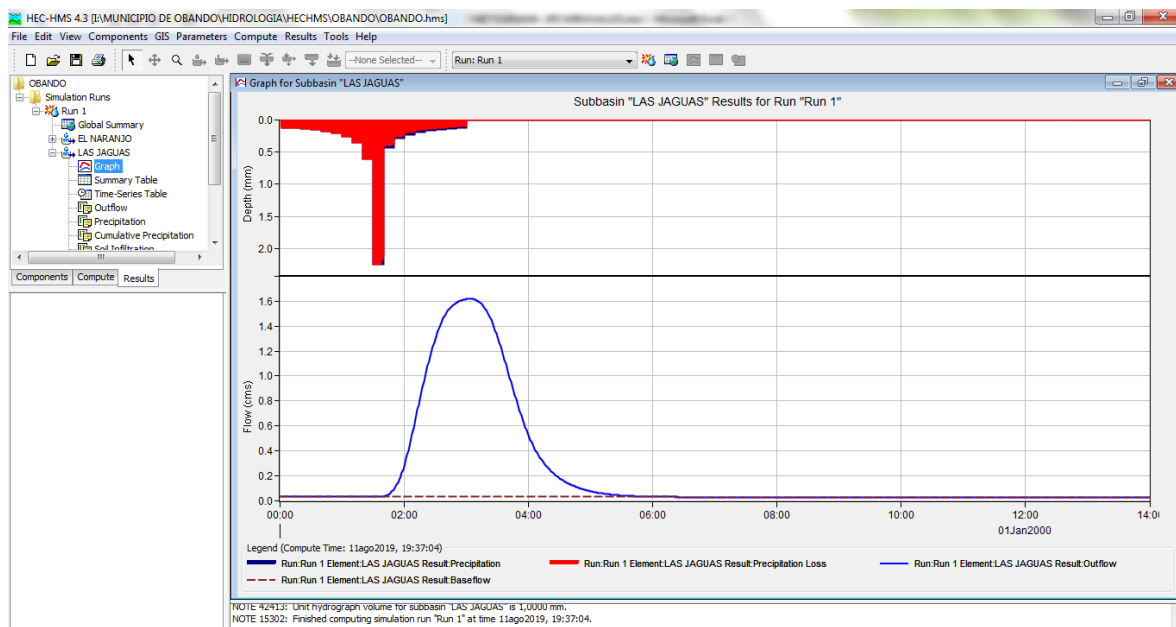


Figura 5.27. Hietograma e hidrograma de caudales máximos para un periodo de retorno de 5 años de la subzona hidrográfica quebrada Las Jaguas.

Fuente: elaboración propia

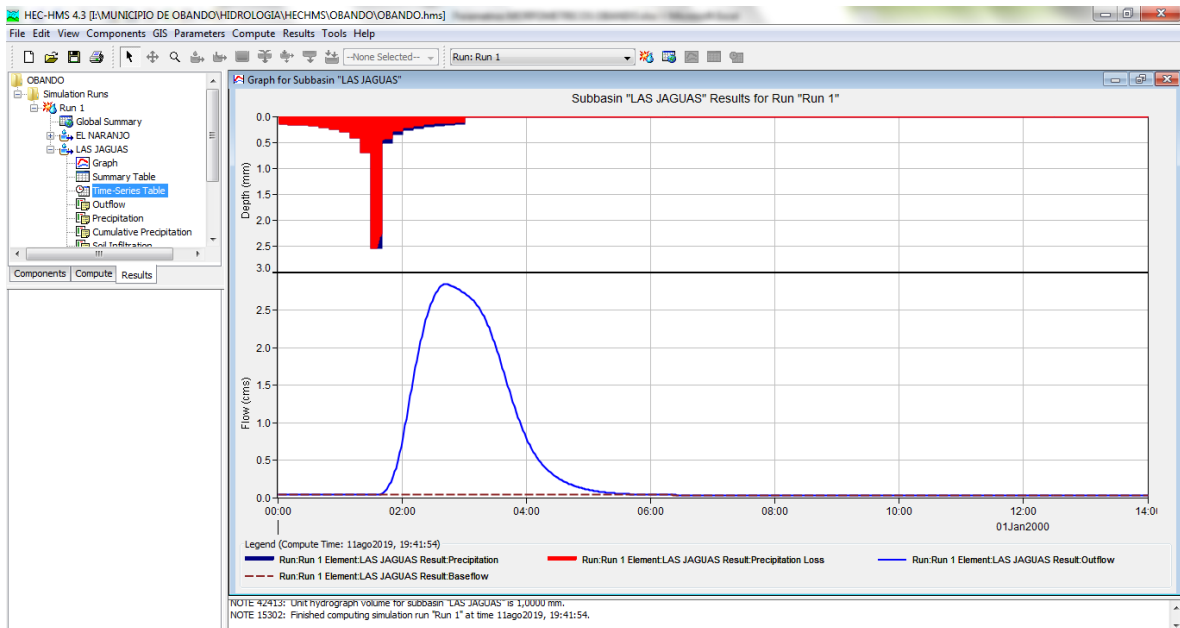


Figura 5.28. Hietograma e hidrograma de caudales máximos para un periodo de retorno de 10 años de la subzona hidrográfica quebrada Las Jaguas.

Fuente: elaboración propia

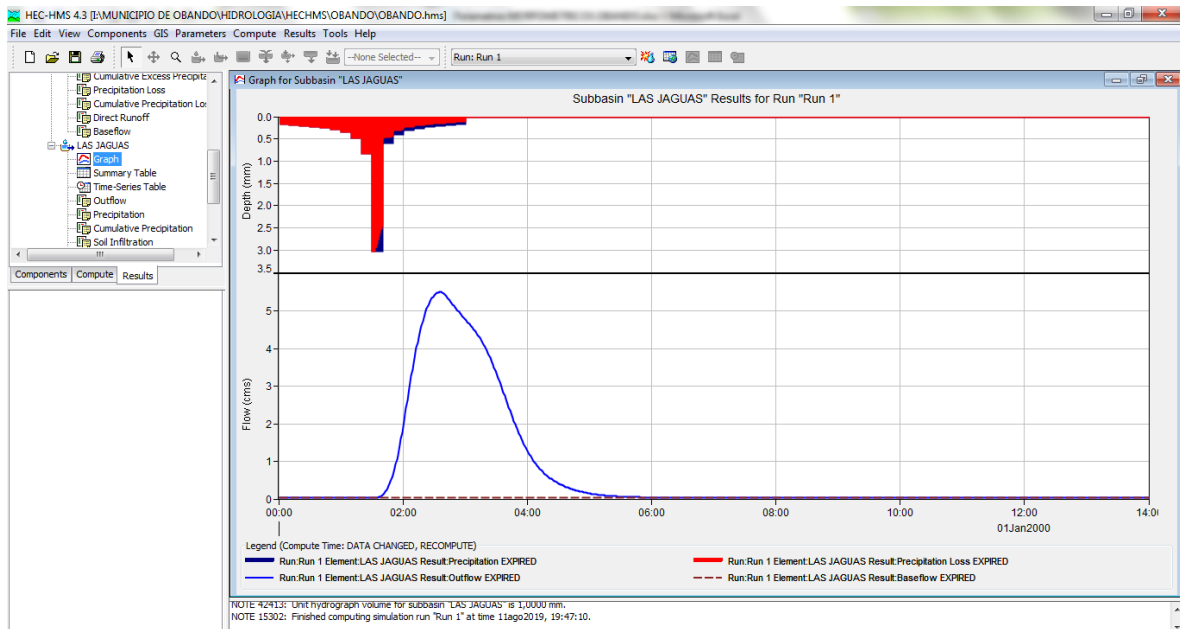


Figura 5.29. Hietograma e hidrograma de caudales máximos para un periodo de retorno de 25 años de la subzona hidrográfica quebrada Las Jaguas.

Fuente: elaboración propia

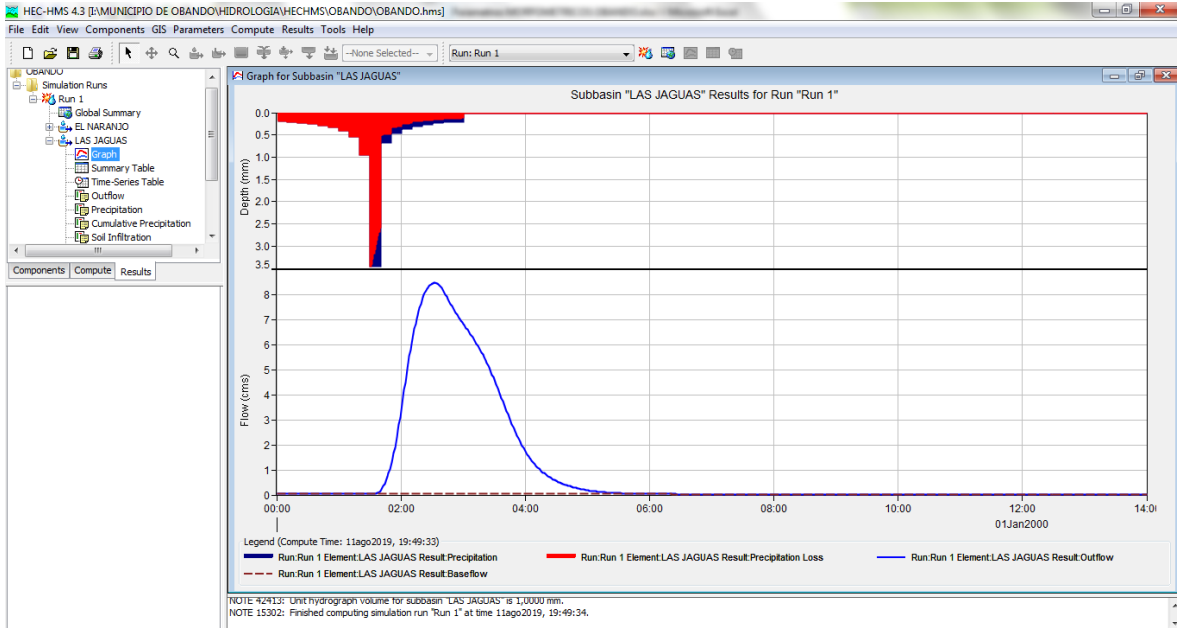


Figura 5.30. Hietograma e hidrograma de caudales máximos para un periodo de retorno de 50 años de la subzona hidrográfica quebrada Las Jaguas.

Fuente: elaboración propia

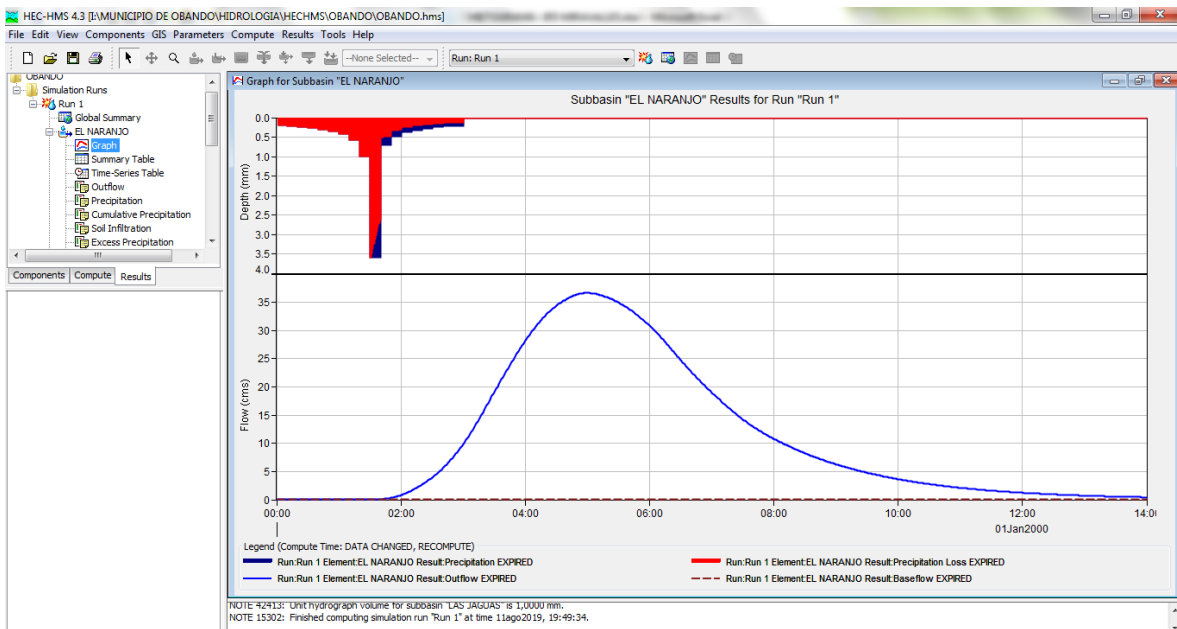


Figura 5.31. Hietograma e hidrograma de caudales máximos para un periodo de retorno de 100 años de la subzona hidrográfica quebrada Las Jaguas.

Fuente: elaboración propia

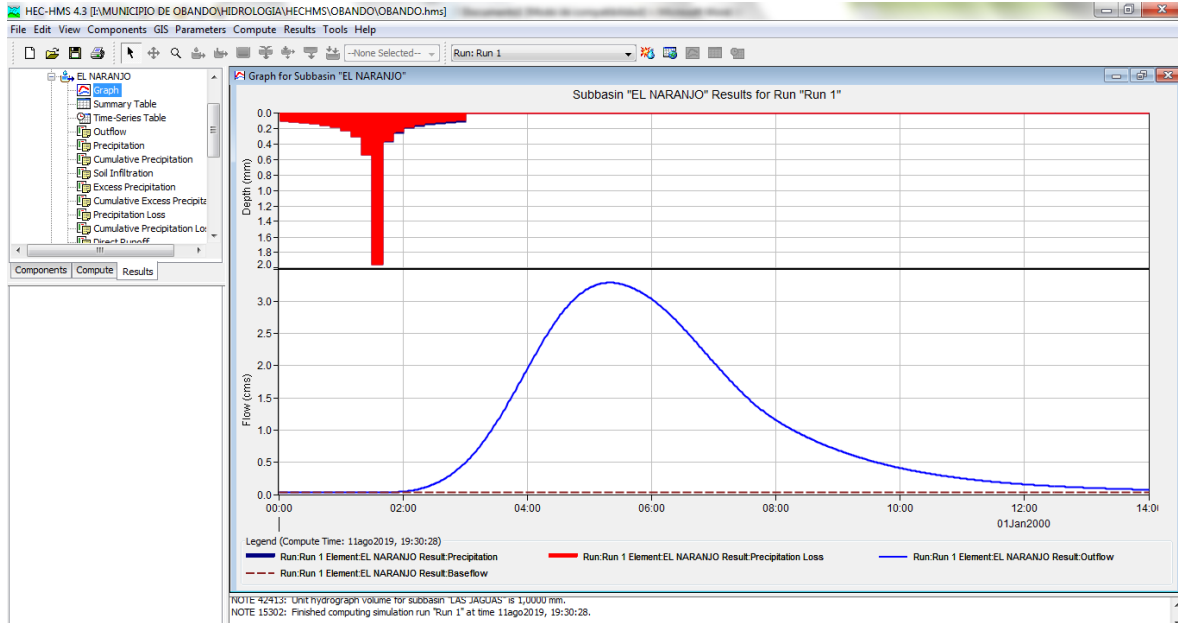


Figura 5.32. Hietograma e hidrograma de caudales máximos para un periodo de retorno de 2 años de la subzona hidrográfica quebrada El Naranjo.

Fuente: elaboración propia

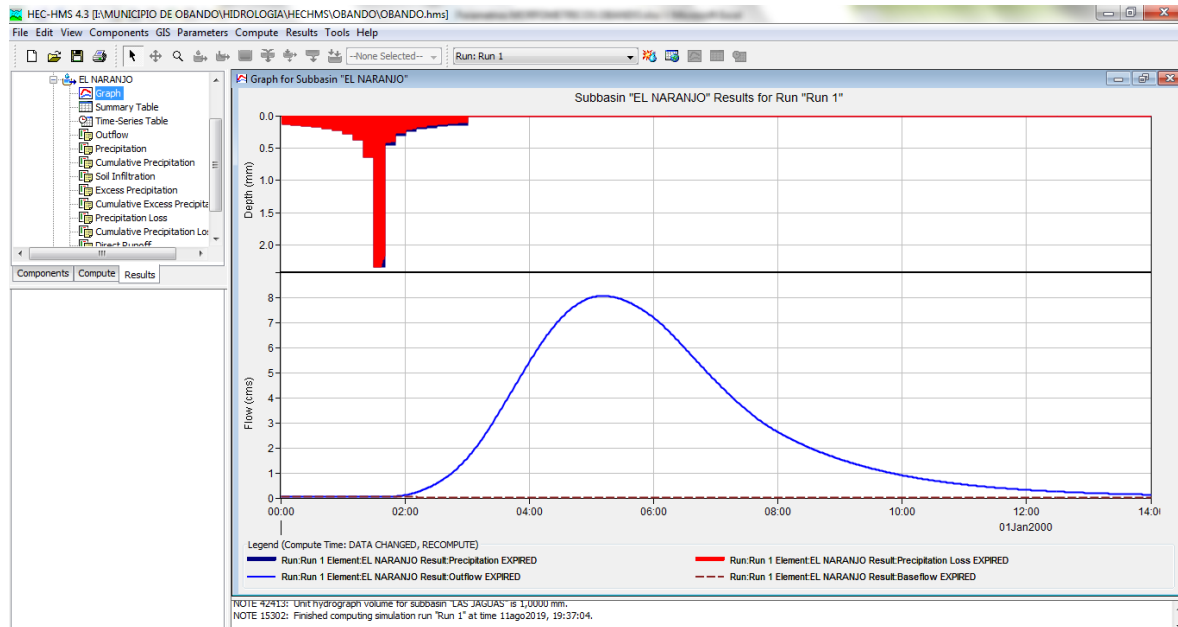


Figura 5.33. Hietograma e hidrograma de caudales máximos para un periodo de retorno de 5 años de la subzona hidrográfica quebrada El Naranjo.

Fuente: elaboración propia

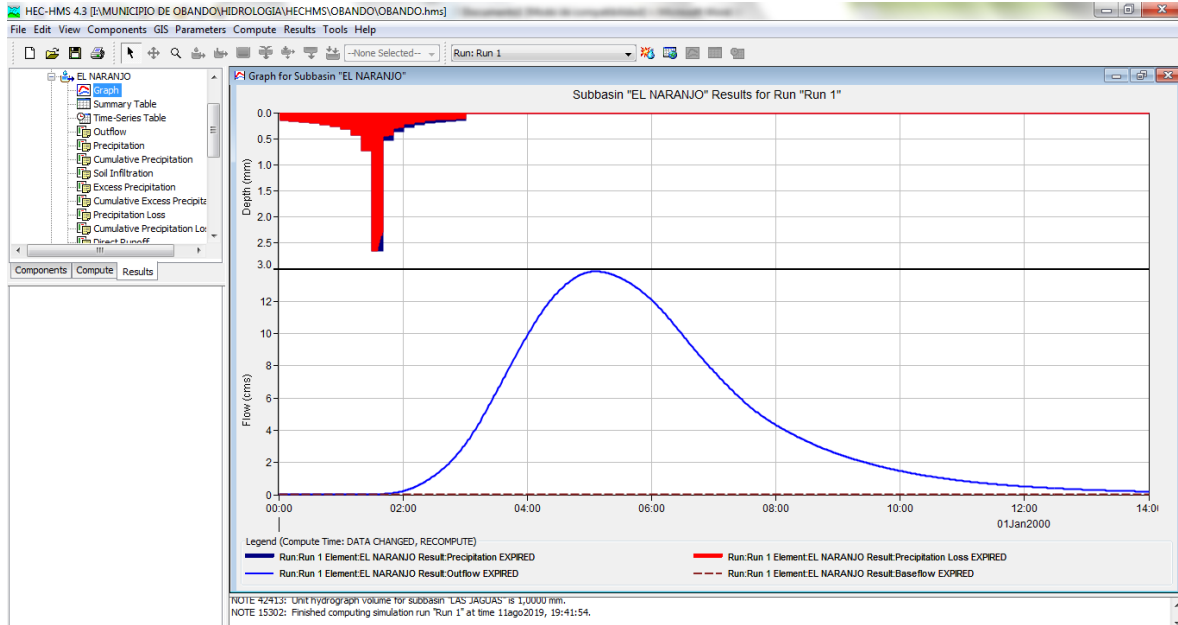


Figura 5.34. Hietograma e hidrograma de caudales máximos para un periodo de retorno de 10 años de la subzona hidrográfica quebrada El Naranjo.

Fuente: elaboración propia

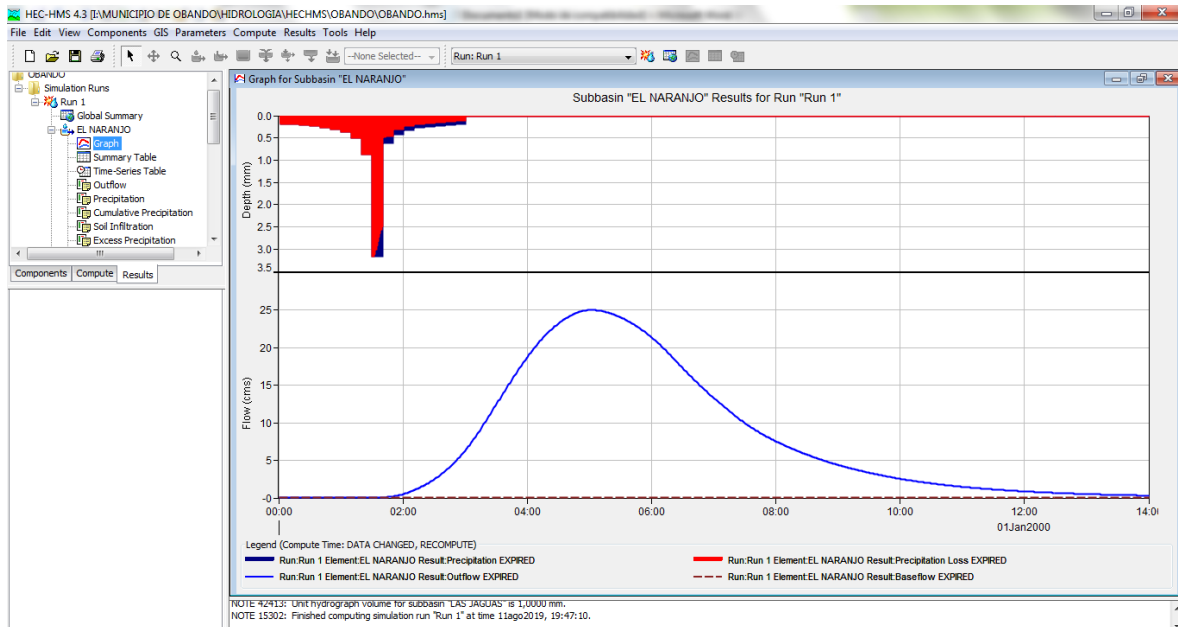


Figura 5.35. Hietograma e hidrograma de caudales máximos para un periodo de retorno de 25 años de la subzona hidrográfica quebrada El Naranjo.

Fuente: elaboración propia

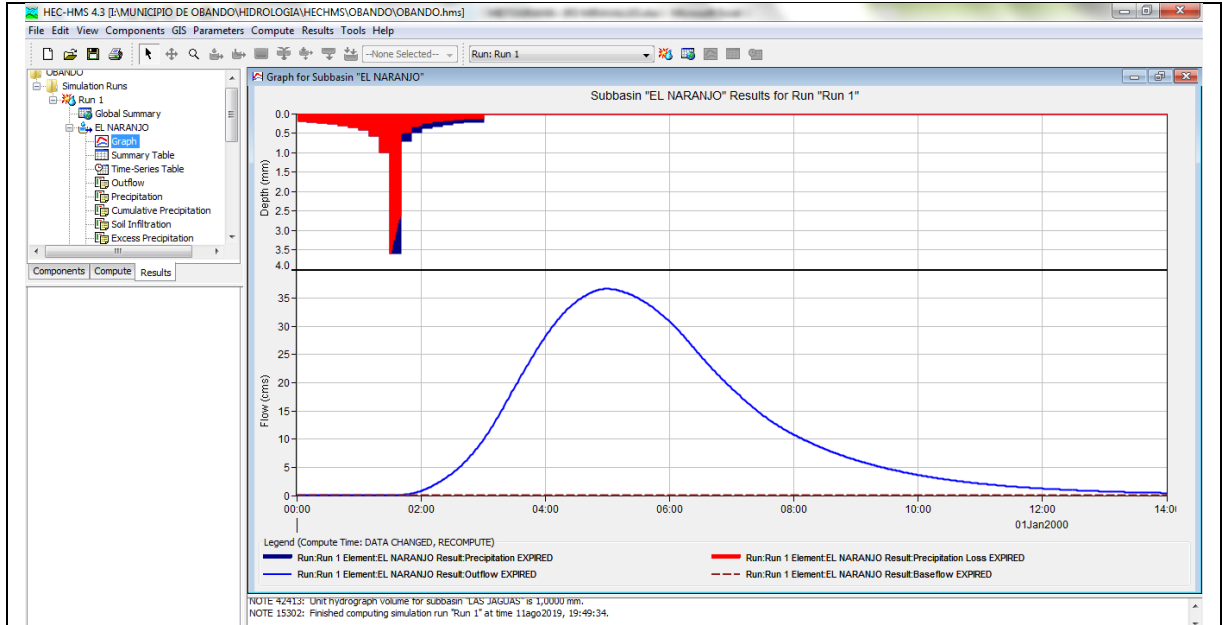


Figura 5.36. Hietograma e hidrograma de caudales máximos para un periodo de retorno de 50 años de la subzona hidrográfica quebrada El Naranjo.

Fuente: elaboración propia

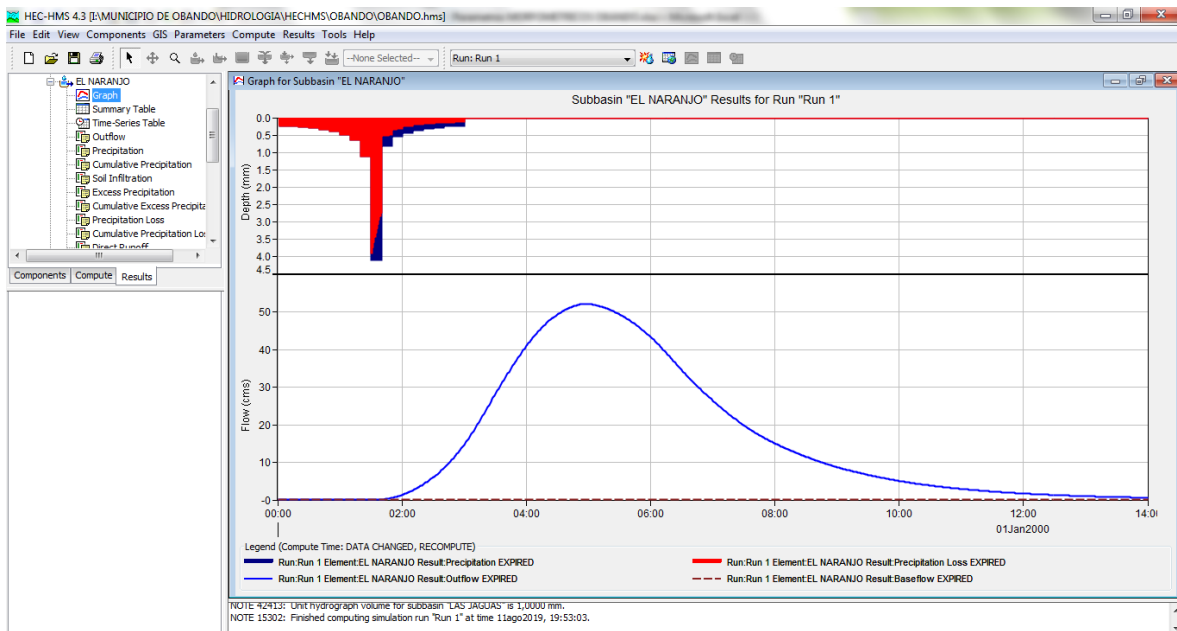


Figura 5.37. Hietograma e hidrograma de caudales máximos para un periodo de retorno de 100 años de la subzona hidrográfica quebrada El Naranjo.

Fuente: elaboración propia

Desde la Figura 5.38 hasta la Figura 5.39 se presentan los hidrogramas consolidados de caudales máximos para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años para las subzonas hidrográfica en estudio.

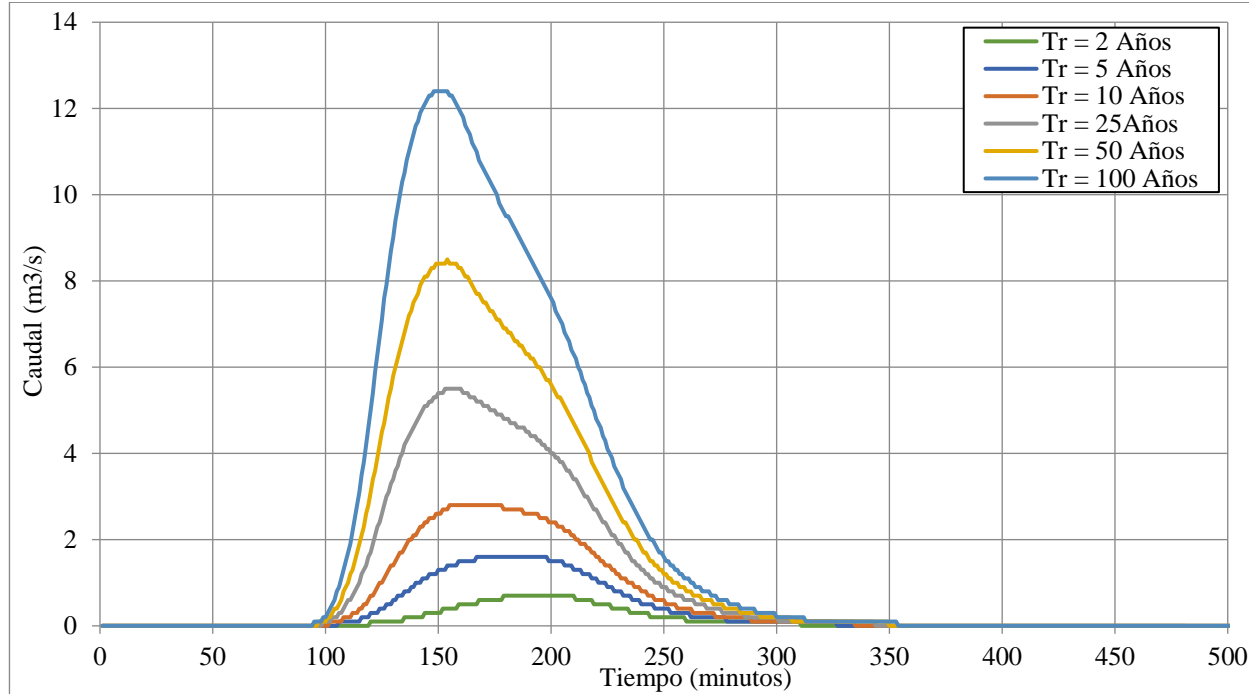


Figura 5.38. Hidrogramas consolidados de caudales máximos para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años de la subzona hidrográfica de la quebrada Las Jaguas
Fuente: elaboración propia

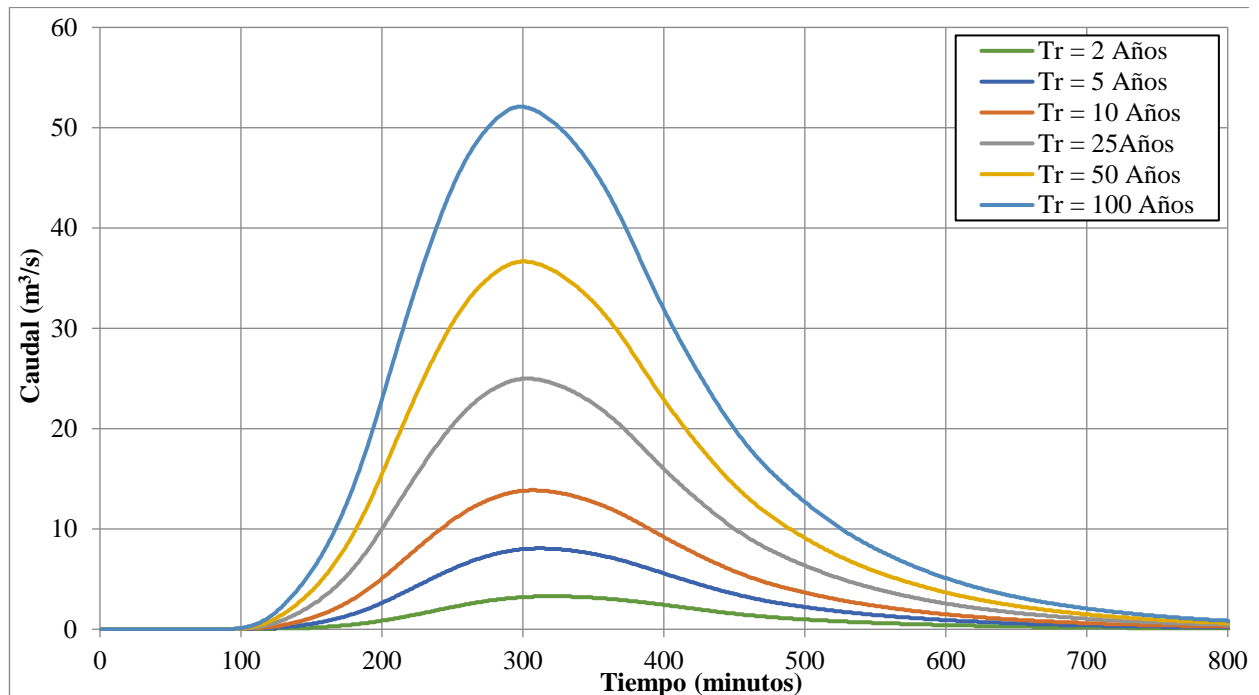


Figura 5.39. Hidrogramas consolidados de caudales máximos para los periodos de retorno de 2, 5, 10, 25, 50 y 100 años de la subzona hidrográfica de la quebrada El Naranjo.
Fuente: elaboración propia

5.4. ESTUDIO HIDRÁULICO

Los drenajes en estudio se modelaron con el software HEC RAS 5.0.7, para lo cual se generó un Modelo Digital de Terreno – MDT de toda la zona de estudio, a partir de la información base suministrada por la CVC y del estudio topobatemétrico realizado, adicionalmente, se ingresaron los caudales máximos e hidrogramas obtenidos de la modelación hidrológica de las corrientes de agua. En la Figura 5.40 se presenta el Modelo Digital de Terreno con la batimetría empleada para el desarrollo de este estudio.

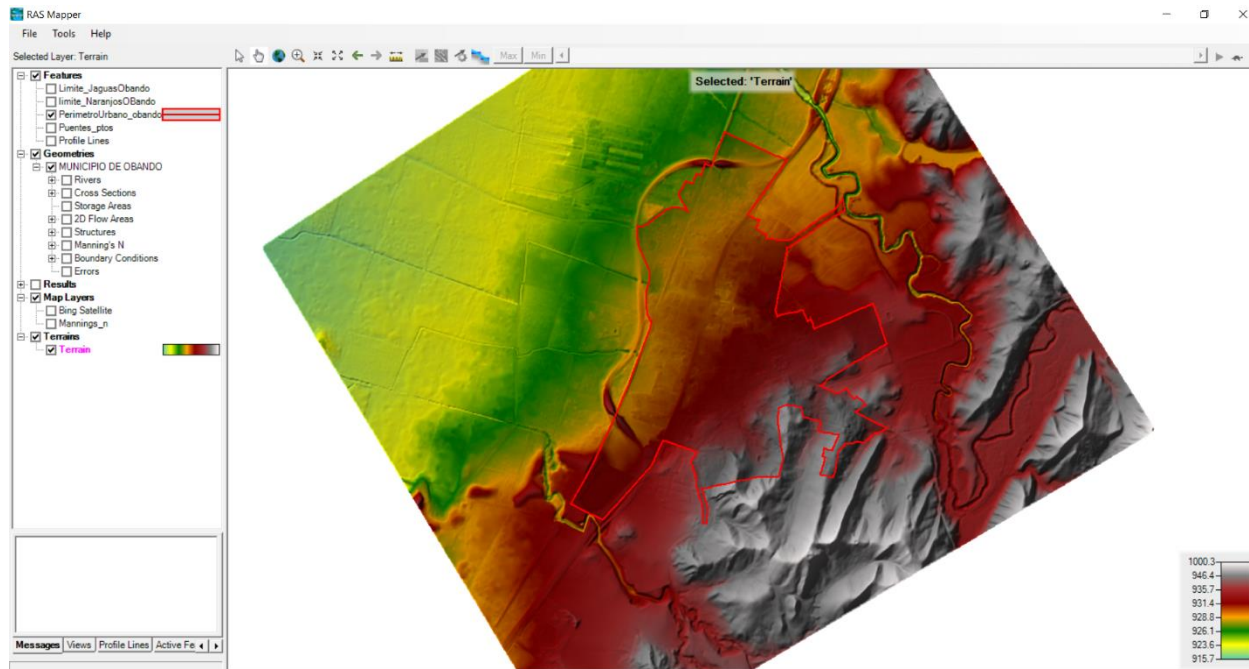


Figura 5.40. Modelo Digital de Terreno

Fuente: elaboración propia

5.4.1. 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.

5.4.1.1. Características técnicas

El software HEC-RAS fue desarrollado para calcular perfiles de flujo gradualmente variado en un canal con secciones transversales regulares o irregulares. El programa calcula los perfiles de flujo empleando el método del paso estándar.

Un flujo gradualmente variado constituye una clase del flujo permanente no uniforme en el cual, existe una variación continua a lo largo del canal, de la profundidad del flujo y de igual forma en el área, la velocidad, el perímetro mojado, el radio hidráulico, entre otros (Chaudhry, 1994).

La posible forma que pueda tener la superficie libre está en función de las profundidades real, normal y crítica. Para el análisis de este tipo de flujos, el HEC-RAS, presenta las siguientes consideraciones:

- El flujo es permanente, es decir, constante en el tiempo.
- La distribución de presiones en cada sección transversal del canal es hidrostática (líneas de corriente paralelas).
- La pendiente del canal es pequeña y uniforme.
- Para el cálculo de la línea de energía, se permite el uso de las ecuaciones de flujo uniforme, que consideran que la pérdida de energía por fricción es la más importante.

En el análisis del flujo en canales, es necesario predecir cuál es el comportamiento de los perfiles de la lámina de agua. Esto se puede hacer con un análisis del comportamiento de la pendiente de la superficie del agua en función de las variables geométricas e hidráulicas del flujo.

Existen varias formas de calcular el flujo gradualmente variado en un canal. El HEC-RAS, emplea el método del paso estándar, que es una de las metodologías más aplicables para el cálculo tanto de perfiles de flujo en canales prismáticos como en aquellos de geometría variada.

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.

5.4.1.2. 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. El transporte del flujo es calculado con la subdivisión con la siguiente forma de la Ecuación de Manning:

$$Q = KS_f^{1/2} K = \frac{1.486}{n} AR^{2/3} \quad (23)$$

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).

5.4.1.3. 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:

$$n_c = \frac{\sum (P_i \cdot n_i^{1.5})^{\frac{2}{3}}}{\sum P_i} \quad (24)$$

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:

$$n = (n_0 + n_1 + n_2 + n_3 + n_4) m_5 \quad (25)$$

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.

Tabla 5.22 Rugosidad Hidráulica de Manning en Cauces Según Chow y Cowan

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
	Suave		0.000
Grado de Irregularidad	Menor		0.005
	Moderado	n_1	0.010
	Severo		0.020
Variaciones de la Sección Transversal	Gradual		0.00
	Ocasionalmente alternante	n_2	0.005
	Frecuentemente alternante		0.010-0.015
Efectos Relativos de Obstrucciones	Despreciable		0.000
	Menor	n_3	0.010-0.015
	Apreciable		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
Vegetación	Baja		0.005-0.010
	Media	n_4	0.010-0.025
	Alta		0.025-0.050
	Muy alta		0.050-0.100
Meandros	Menor		1.000
	Apreciable	m_5	1.150
	Severo		1.300

Fuente = VEN TE CHOW

5.4.1.4. 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).

5.4.1.5. Evaluación de Pérdidas por fricción

Las pérdidas por fricción son evaluadas por HEC-RAS como el producto de S_f y L , donde S_f 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 5.23).

Tabla 5.23. 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
	Despreciable		0.000
Efectos Relativos de Obstrucciones	Menor	n3	0.010-0.015
	Apreciable		0.020-0.030
	Severo		0.040-0.060
	Baja		0.005-0.010
Vegetación	Media	n4	0.010-0.025
	Alta		0.025-0.050
	Muy alta		0.050-0.100
	Menor		1.000
Meandros	Apreciable	m5	1.150
	Severo		1.300

Fuente: Chow (1959)

5.4.1.6. 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.

5.4.1.7. 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.

5.4.1.8. 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).

5.4.1.9. Caudales de Modelación

Los caudales de modelación corresponden a los valores para diferentes tiempos de retorno de los años 2, 5, 10, 25, 50 y 100, generados con el modelo hidrológico HEC – HMS.

En la Tabla 5.24 se encuentran los caudales máximos de diseño obtenidos mediante la modelación hidrológica en el HEC-HMS para los drenajes que discurren por el área urbana del municipio de Obando.

Tabla 5.24 Caudales máximos (m^3/s) para diferentes tiempos de retorno, generados con el modelo hidrológico HEC HMS

Subzona hidrográfica	Tiempo de retorno en años					
	2	5	10	25	50	100
Quebrada Las Jaguas	0,70	1,60	2,80	5,50	8,50	12,40
Quebrada El Naranjo	3,30	8,10	13,90	25,00	36,70	52,10

Fuente: elaboración propia

5.4.1.10. 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, se define el coeficiente de rugosidad para el drenaje en estudio. En la Figura 5.41 se puede observar las áreas empleadas en el modelo hidráulico 2D con los diferentes n de manning, con valores de 0.035 para los cauces y 0.1 para sus zonas aledañas.

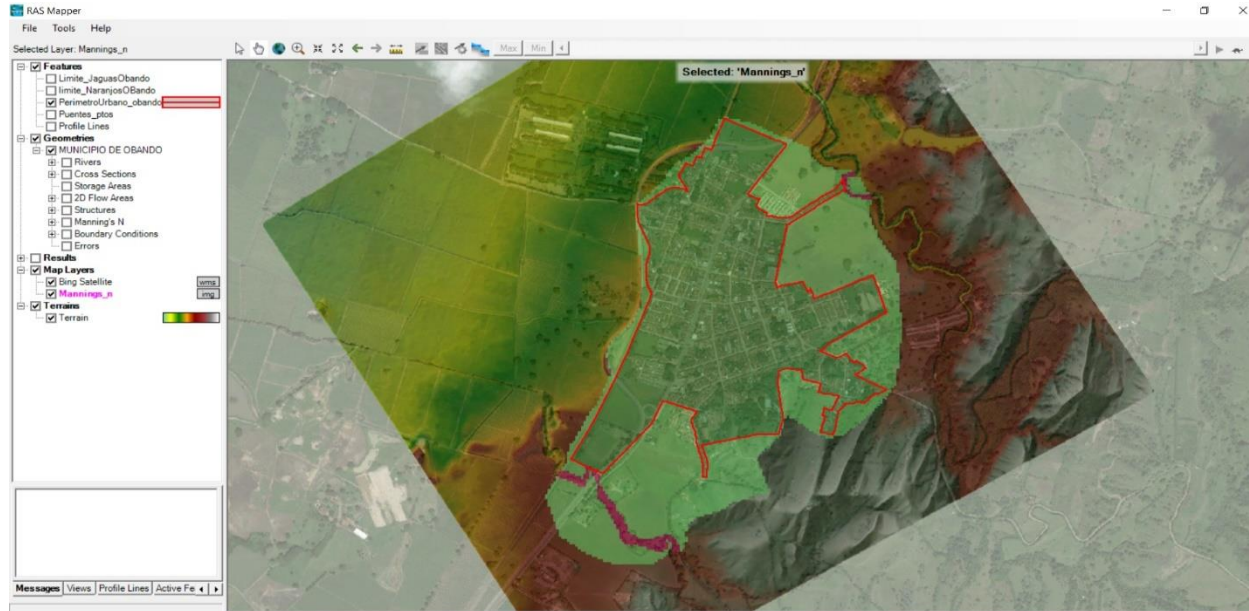


Figura 5.41. n de Manning empleado en la modelación hidráulica de la zona urbana del municipio de Obando.

Fuente: elaboración propia

5.4.1.11. Grilla

Una vez elaborado el MDT se establece el área de importancia para la modelación hidráulica, el cual tiene una grilla de 5 x 5 metros y para las corrientes de agua se estableció una grilla de 2 x 2 metro. En la Figura 5.42 se presenta la grilla empleada para la modelación hidráulica de la zona de estudio.

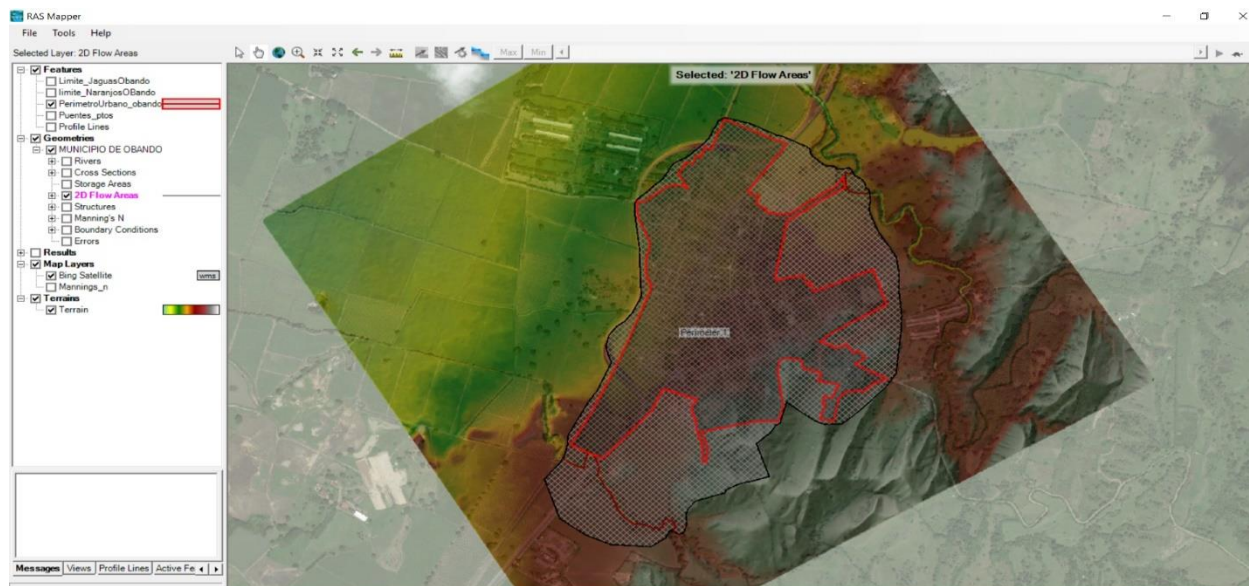


Figura 5.42. Grilla empleada para la modelación hidráulica de la zona urbana del municipio de Obando

Fuente: elaboración propia

5.5. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN HIDRÁULICA

Las modelaciones hidráulicas de los tramos de las quebradas El Naranjo y Las Jaguas que discurren por la zona urbana del municipio de Obando, se realizaron empleando la herramienta de dos dimensiones del programa HEC RAS, así como los hidrográmas obtenidos en la modelación hidrológica para los periodos de retorno de 5, 10, 25, 50 y 100 años, es decir, flujo no permanente. Los resultados de la modelación hidráulica en 2 dimensiones evidencian que las quebradas El Naranjo y Las Jaguas no presentan inundación por desbordamiento, debido a las condiciones actuales del terreno, asociadas a la amplia capacidad hidráulica que estas tienen para transitar los caudales de los diferentes periodos de retorno y al cumplimiento de la protección de la ronda hídrica mediante la no urbanización o ausencia de viviendas en sus orillas, lo cual permite que tenga zonas de amortiguamiento ante posibles crecientes (ver Figura 5.43 hasta Figura 5.52).

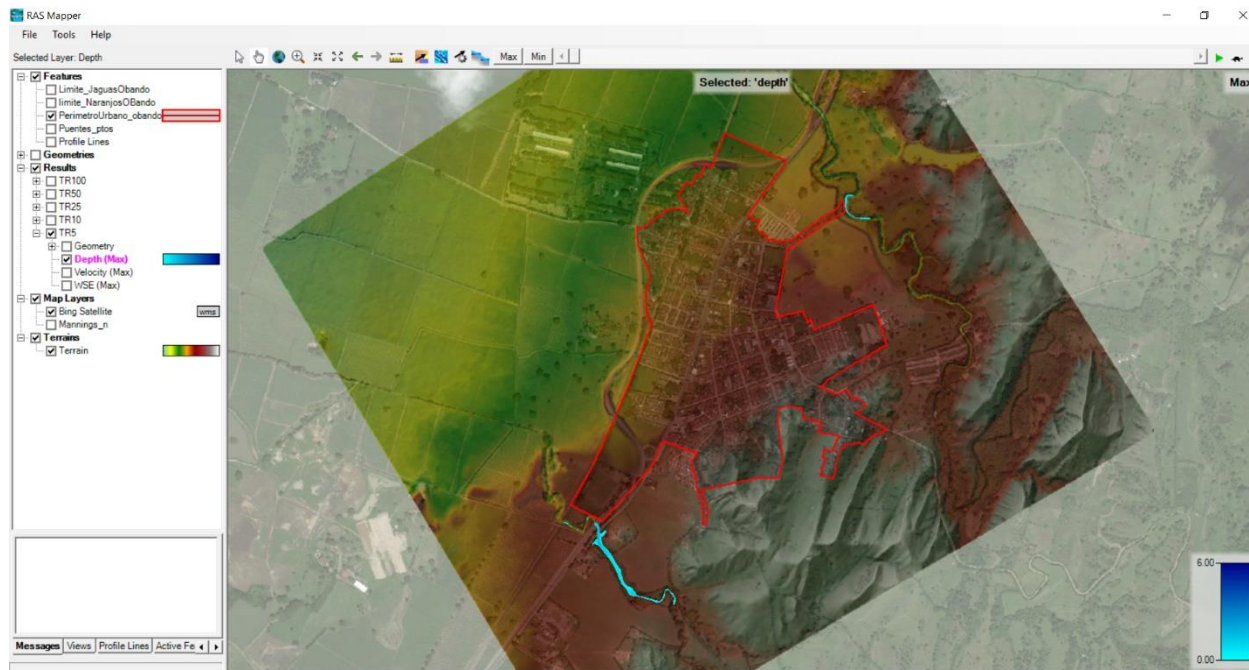


Figura 5.43. Mancha de inundación máxima (prof. en m) en el tramo en estudio TR 5 años

Fuente: elaboración propia

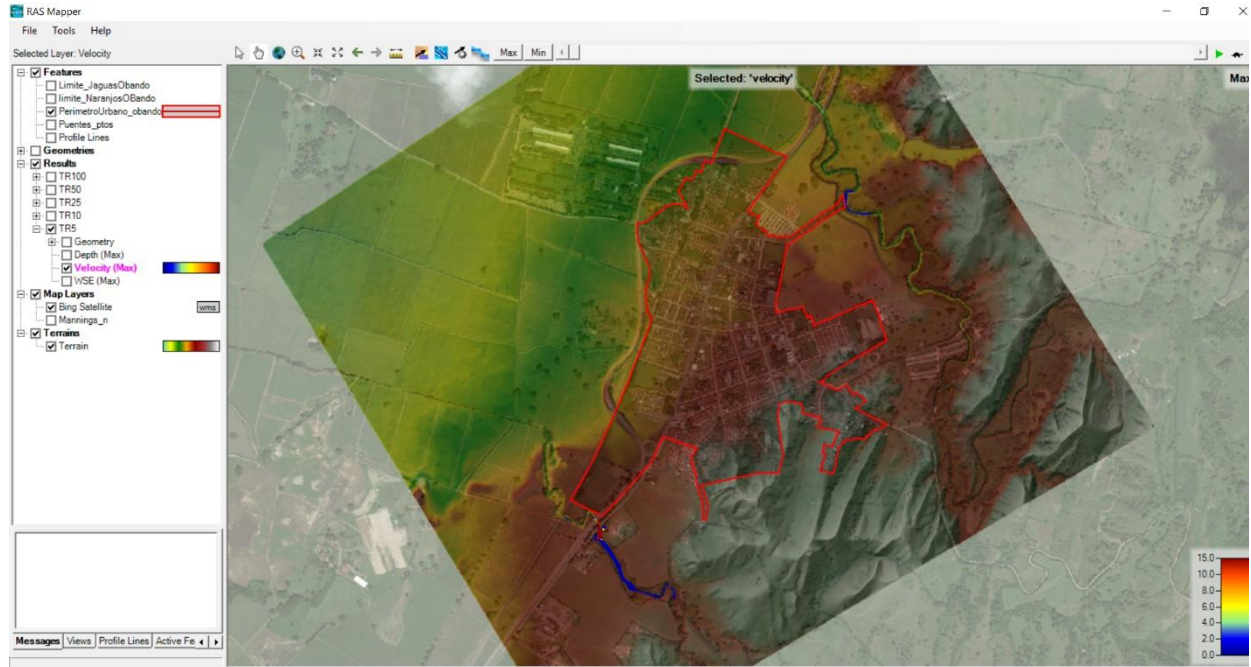


Figura 5.44. Velocidades máximas (m/s) en el tramo en estudio TR 5 años.
Fuente: elaboración propia

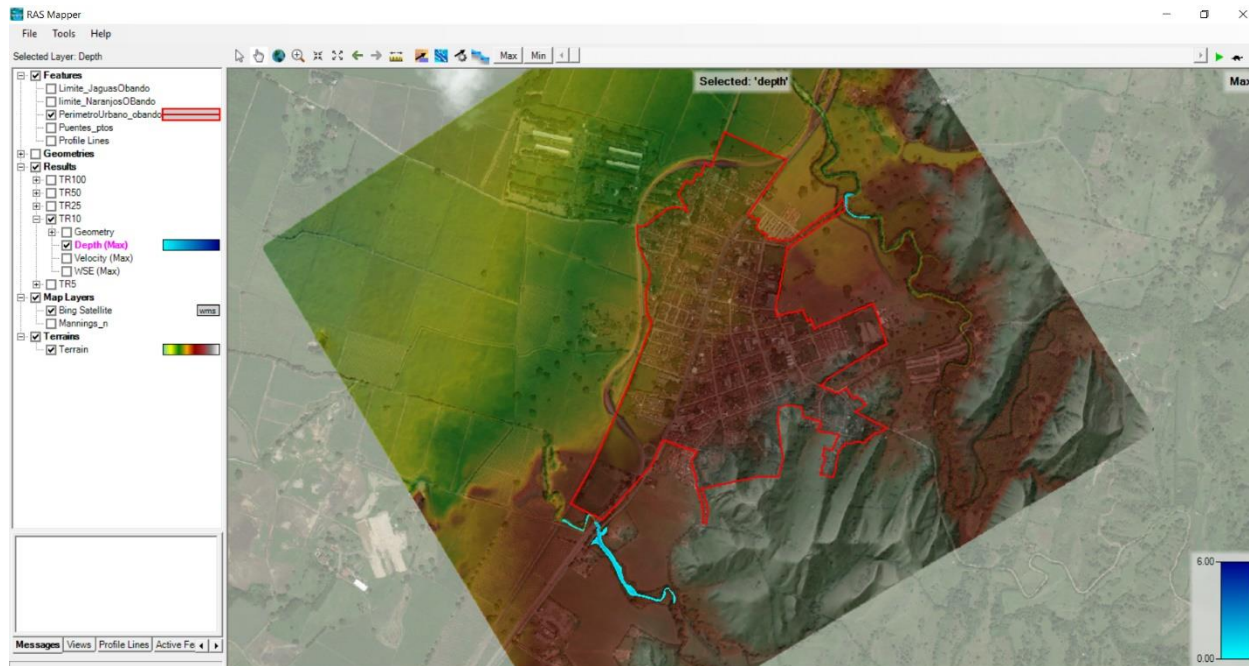


Figura 5.45. Mancha de inundación máxima (prof. en m) en el tramo en estudio TR 10 años.
Fuente: elaboración propia

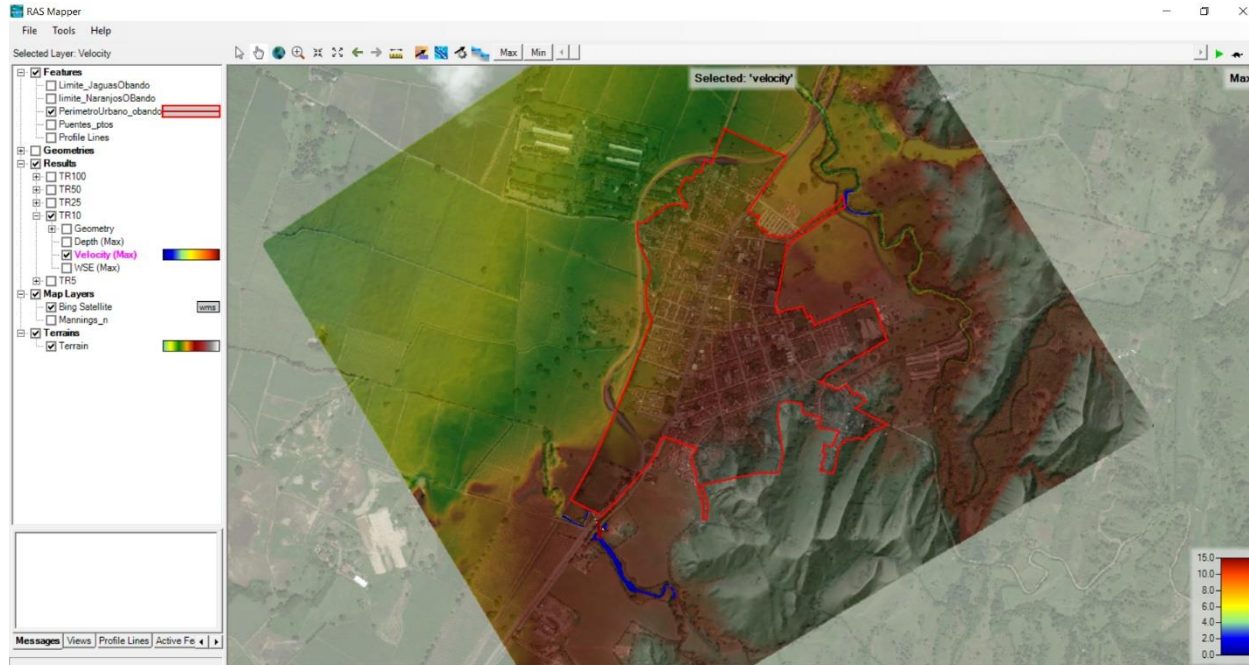


Figura 5.46. Velocidades máximas (m/s) en el tramo en estudio TR 10 años.
Fuente: elaboración propia

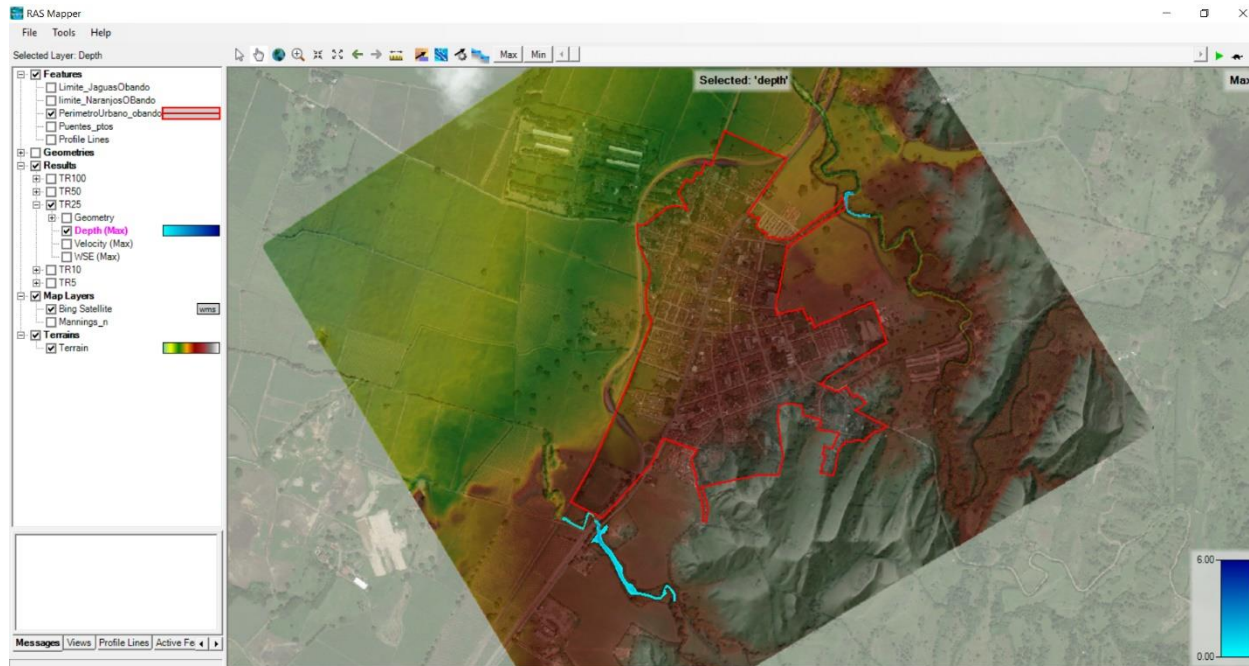


Figura 5.47. Mancha de inundación máxima (prof. en m) en el tramo en estudio TR 25 años.
Fuente: elaboración propia

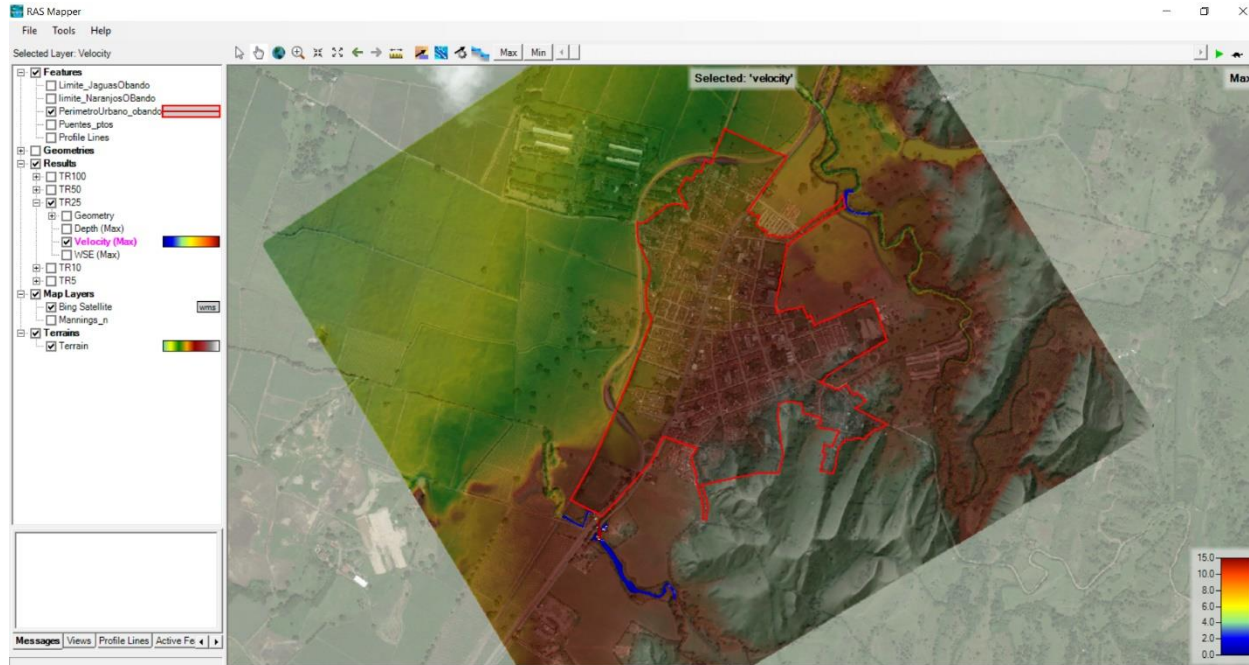


Figura 5.48. Velocidades máximas (m/s) máxima en el tramo en estudio TR 25 años.
Fuente: elaboración propia

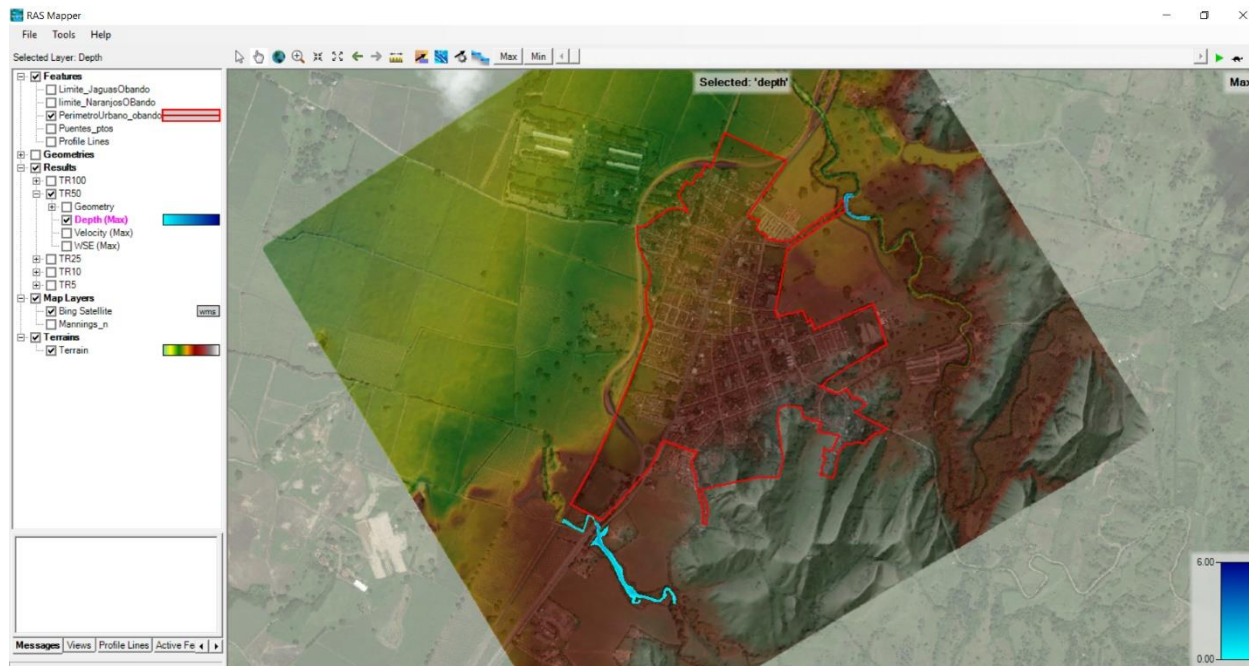


Figura 5.49. Mancha de inundación máxima (prof. en m) en el tramo en estudio TR 50 años.
Fuente: elaboración propia

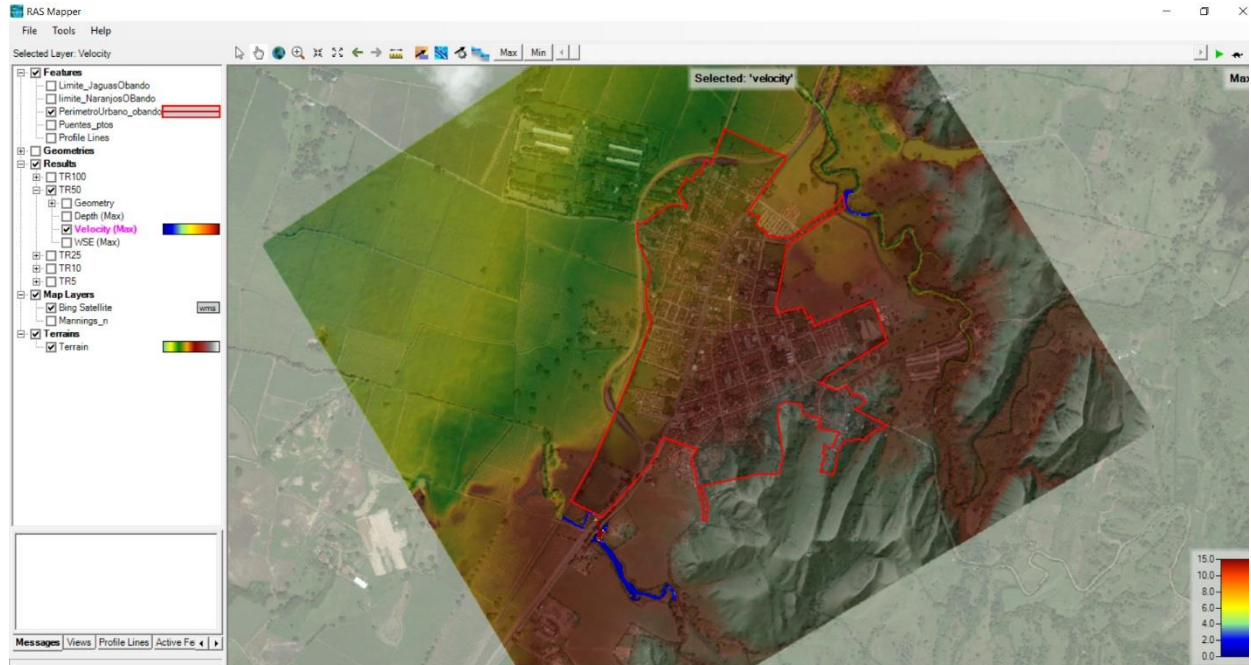


Figura 5.50. Velocidades máximas (m/s) en el tramo en estudio TR 50 años.

Fuente: elaboración propia

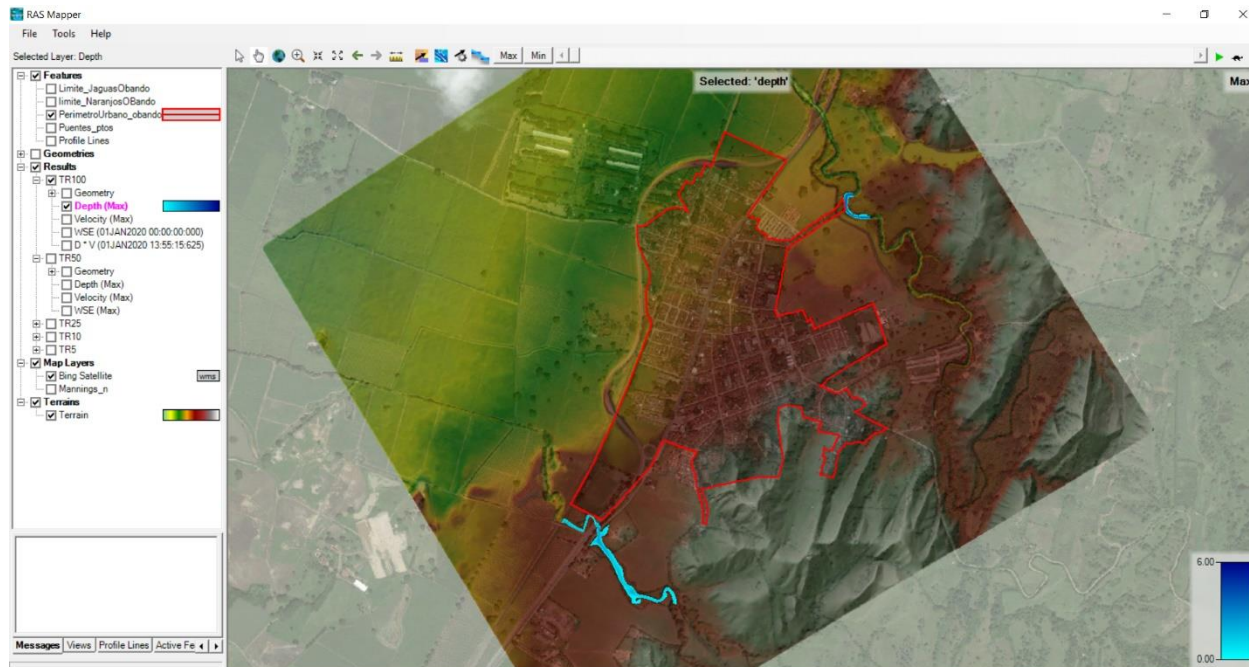


Figura 5.51. Mancha de inundación máxima (prof. en m) en el tramo en estudio TR 100 años.

Fuente: elaboración propia

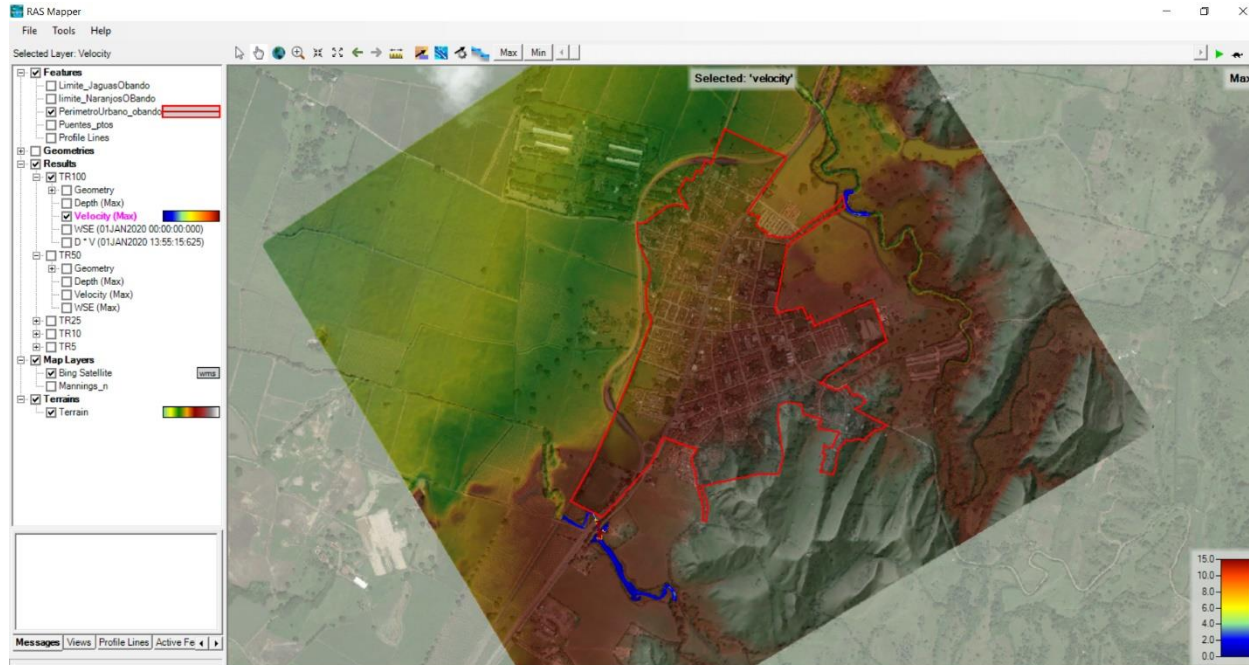


Figura 5.52. Velocidades máximas (m/s) en el tramo en estudio TR 100 años.

Fuente: elaboración propia

En el tramo en estudio de la quebrada El Naranjo se observó un cauce con encajonamiento moderado de aproximadamente 5 metros de profundidad, el cual hace que en condiciones normales (sin obstrucciones) transiten incluso los caudales asociados al periodo de retorno de 100 años sin presentar desbordamiento (ver Figura 5.53).



Figura 5.53. Encajonamiento moderado del cauce de la quebrada El Naranjo

Fuente: elaboración propia

Por su parte, la quebrada Las Jaguas presenta un encajonamiento menor entre 2 y 4 metros de profundidad aproximadamente y espacios para el amortiguamiento de los caudales asociados al periodo de retorno 100 años (ver Figura 5.54).



Figura 5.54. Encajonamiento menor del cauce de la quebrada Las Jaguas
Fuente: elaboración propia

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 las quebradas Las Jaguas y El Naranjo, que discurren por el área urbana del municipio de Obando 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 $0.5 \text{ m}^2/\text{s}$ (ver Figura 6.1).

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 crecida 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).

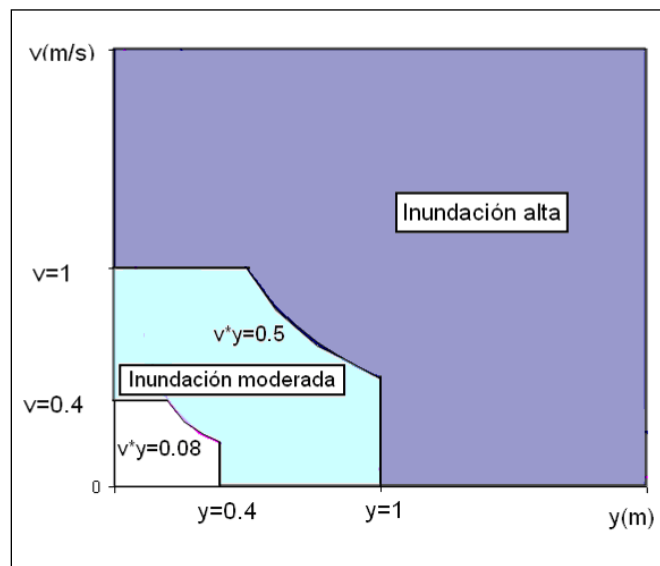


Figura 6.1. Clasificación de las zonas de inundación de acuerdo con la Agencia Catalana del Agua

Fuente: Agencia Catalana, (2003)

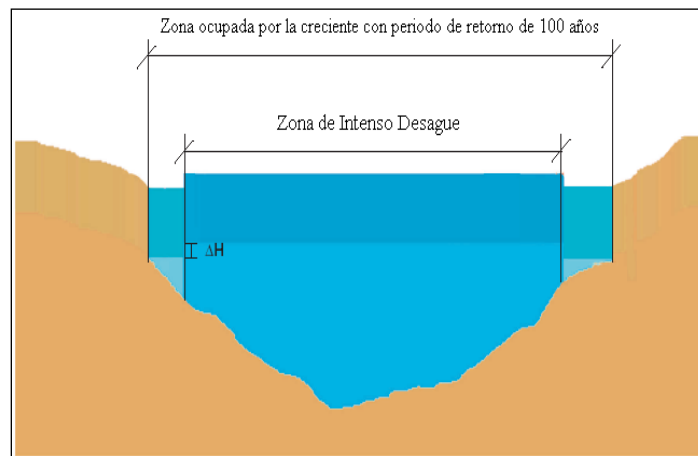


Figura 6.2. Zona de intenso desagüe definida por la Agencia Catalana del Agua

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).

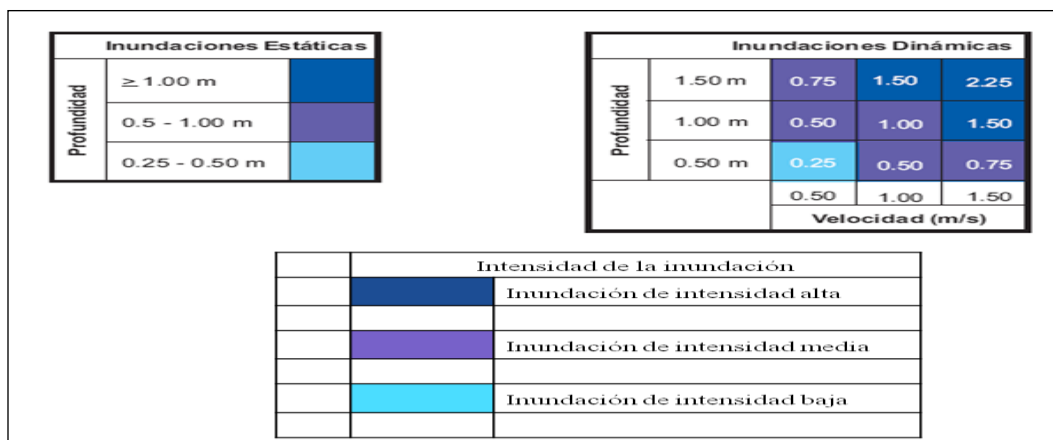


Figura 6.3. Definición de rangos de intensidad para inundaciones estáticas y dinámicas

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 $1.5 \text{ m}^2/\text{s}$. 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 $1.5 \text{ m}^2/\text{s}$. 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 $0.5 \text{ m}^2/\text{s}$. Los daños asociados son generalmente leves, no se esperan pérdidas de vidas humanas, aunque sí pueden darse pérdidas en áreas de cultivo y animales.

La definición de los criterios de intensidad (velocidad y profundidad) han sido consertados con base en las experiencias del equipo técnico participante y en experiencias previas de proyectos ejecutados o en ejecución en Nicaragua, tales como el PRRAC, ALARN-COSUDE, SIG-Georiesgos y el SIG para mapas de amenazas.

De igual forma, los criterios resultantes han sido revisados y comparados con criterios similares utilizados en el ámbito internacional, en particular en países como España, Venezuela y Suiza, entre otros. En España, por ejemplo, la intensidad de la inundación está en función de la altura de agua y el umbral se ha definido de 0.8 m entre una inundación intensa y otra de baja intensidad (no existen tres niveles de amenaza como los propuestos en la metodología aquí presentada).

3. *Criterios para la evaluación de la frecuencia, recurrencia o periodo de retorno de la inundación.* La frecuencia o recurrencia de las inundaciones, es decir, cada cuánto se inunda una determinada zona, dependerá esencialmente de la frecuencia de las precipitaciones excepcionalmente fuertes. Los periodos de retorno se establecieron en tres categorías (Tabla 6.4).

Tabla 6.4. Categorización de la inundación según el periodo de retorno (Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales)

FRECUENCIA DE LA INUNDACIÓN	PERIODO DE RETORNO (TR) (AÑOS)
Alta	$Tr \leq 10$
Media	$10 < Tr \leq 50$
Baja	$50 < Tr \leq 200$

Fuente. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales y Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación -COSUDE, (2005).

No se consideran periodos de retorno mayores a 200 años, principalmente porque las series de datos hidrometeorológicos que existen en Nicaragua no son lo suficientemente extensas (por lo general, son menores a 50 años) y consistentes para poder extrapolar a periodos de retorno mayores. Tampoco otros métodos (como los geomorfológicos) permiten estimar con precisión satisfactoria el alcance de crecidas de periodos de retorno mayores.

4. *Determinación de los niveles de amenaza por inundaciones.* Los niveles de amenaza por inundaciones de un área dada resultan de la relación entre la frecuencia de las inundaciones y su intensidad (es decir, su profundidad o el producto de la profundidad por la velocidad). Esta forma de evaluar la amenaza es comúnmente usada en países como Australia, Estados Unidos y Suiza, y ha sido aplicada en Nicaragua en el proyecto PRRAC.

Se consideran tres niveles de amenaza: alto, medio y bajo, que resultan de la combinación de la categorización de la inundación según la frecuencia (periodo de retorno) y la intensidad (H y V*H) (Tabla 6.5), como se describe a continuación:

Tabla 6.5. Matriz de niveles de amenaza por inundaciones

		NIVEL DE AMENAZA		
		Alto	Medio	Bajo
INTENSIDAD	Alta $H \geq 1$ ó $H*V > 1.5$	Alto	Alto	Alto
	Media $0.5 \leq H < 1$ ó $0.5 < H*V < 1.5$	Alto	Medio	Bajo
	Baja $0.25 \leq H < 0.5$ ó $H*V < 0.5$	Medio	Bajo	Bajo
FRECUENCIA		Alto $Tr \leq 10$	Medio $10 < Tr \leq 50$	Bajo $50 < Tr \leq 200$

Fuente. Instituto Nicaragüense de Estudios Territoriales y Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación -COSUDE, (2005).

Zonas de amenaza alta. Son aquellas zonas en donde, sin importar la frecuencia, $H \geq 1$ m ó $H*V > 1,5$ 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 $V * H > 1.5$
Media	$0,5 < H < 1,5$	ó $0,5 < V * H < 1,5$
Baja	$0,1 < H < 0,5$	y $0,1 < V * H < 0,5$

Fuente: García et, al, (2001).

Los eventos de flujos de lodos son más destructivos que los flujos de agua; por lo tanto, los criterios de intensidad son más conservadores que los de las inundaciones de agua, como se muestra en la Tabla 6.9.

Tabla 6.9. Intensidad de flujo de lodos

INTENSIDAD DE FLUJOS DE LODOS	PROFUNDIDAD MÁXIMA H (m)	PRODUCTO DE LA PROFUNDIDAD MÁXIMA H Y LA VELOCIDAD MÁXIMA V (m ² /s)
Alta	$H > 1$	o $V * H > 1$
Media	$0,2 < H < 1$	y $0,2 < V * H < 1$
Baja	$0,2 < H < 1$	y $V * H < 0,2$

Fuente: García et, al, (2001).

6.3. METODOLOGÍA ADOPTADA EN EL PRESENTE ESTUDIO

La metodología propuesta en el presente estudio para la determinación de los niveles de amenaza por el fenómeno de inundación se fundamenta en varios de los criterios utilizados en las metodologías revisadas y en la experiencia del grupo de investigación HIDROMAR en el área de amenazas aplicadas en el río Cauca, teniendo en cuenta los diferentes acuerdos reglamentados por la CVC para protección de las planicies aluviales del río Cauca y sus tributarios (alineamientos de diques riberanos, determinación de la franja protectora del río Cauca y periodos de retorno de diseño de diques para cultivos, infraestructuras y centros poblados). También se consideraron los planes y esquemas de ordenamiento territorial y los planes de prevención y de atención de desastres, emergencias y contingencias de la inundación.

6.3.1. Niveles de frecuencia de los eventos de inundaciones

A cada escenario seleccionado para el fenómeno de inundaciones se le debe asignar un nivel de frecuencia en términos cualitativos: frecuencia alta, media, moderada, baja, etc.

Los umbrales de periodos de frecuencia o recurrencia recomendados se presentan en la Tabla 6.10. Los umbrales de los periodos seleccionados corresponden inicialmente a dos veces el periodo de retorno de los diseños de los drenajes urbanos (10 años). El segundo umbral corresponde aproximadamente a los periodos que los diseños de las obras de infraestructura vial y de cultivos deben garantizar según la normatividad colombiana (30 años). El tercer umbral corresponde a la norma que estipula que cualquier comunidad aledaña a un cauce debe tener garantizada su integridad para una creciente con un periodo de retorno de 100 años.

Tabla 6.10. Nivel de frecuencia de los eventos de inundaciones

FRECUENCIA	FRECUENCIA DE LA INUNDACIÓN
$Tr \leq 10$ 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 $0.225 \text{ m}^2/\text{s}$ y $0.45 \text{ m}^2/\text{s}$. 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

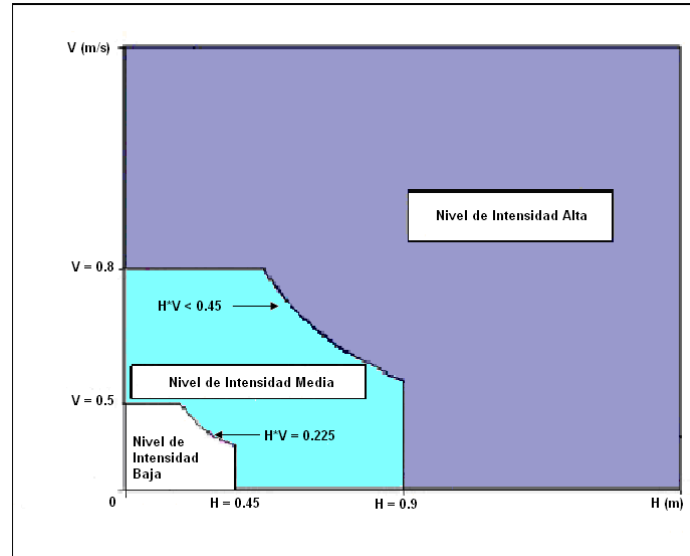


Figura 6.4. Nivel de intensidad o magnitud de la amenaza por inundaciones.

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

favorecen que las zonas urbanizadas no presenten inundaciones por desbordamiento asociadas a las quebradas Las Jaguas y El Naranjo. Esto considerando, de igual forma, el encajonamiento y profundidad de los cauces, así como las áreas de amortiguación de crecientes.

En este capítulo se presenta el mapa de zonificación de amenaza por inundación por desbordamiento (fundamentado en profundidades y velocidades del agua para los caudales asociados al periodo de retorno de 100 años) de las quebradas Las Jaguas y El Naranjo.

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 no estructurales corresponden al conjunto de programas y actividades que permiten tener una mejor convivencia con las crecientes, minimizando las pérdidas que éstas pueden generar en las áreas inundables. Entre las medidas de protección no estructurales se tienen: la definición y protección de las zonas de ronda hídricas, la generación de los mapas de amenaza y de riesgos por inundación, los sistemas de previsión y alertas de inundaciones, los programas de protección civil y los programas de seguros contra crecientes.

En una clasificación más general identificó las siguientes medidas no estructurales: creación de aberturas en las estructuras, levantamiento de las estructuras existentes, construcción de nuevas estructuras sobre pilotes, construcción de pequeñas paredes o diques circundando una estructura, relocalización o protección de artículos que puedan resultar afectados dentro de una estructura, reubicación de estructuras por fuera del área de inundación, construcción de cerramientos con materiales resistentes al agua, implementación de un código de construcciones adecuado, compra de áreas inundables, seguros contra inundaciones, instalación de sistemas de previsión y alerta con planes de evacuación, adopción de incentivos fiscales para un uso prudente del área inundables, instalación de avisos de alerta en áreas inundables y adopción de políticas de desarrollo que impongan restricciones de uso a las áreas inundables.

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 las quebradas Las Jaguas y El Naranjo. Las crecientes de estos cauces presentan duraciones relativamente variables. Sin embargo, en promedio las crecientes presentan una duración aproximadamente 10 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. Las quebradas Las Jaguas y El Naranjo son cauces importantes que bordean el casco urbano. El mapa de inundación por desbordamiento obtenido para el periodo de retorno de 100 años se presenta en la Figura 6.5. En este mapa se presentan los tres niveles de intensidad (alta, media y baja) definidos en la metodología de amenaza establecida para la profundidad de inundación.

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.

En la Tabla 6.15 y Figura 6.6 se muestra las áreas por hectarias que se pueden ver afectadas por inundación en el municipio de Obando, donde el nivel de amenaza alta podría afectar 6,93 ha, en media se encuentran 4,38 ha y en baja 4,58

Tabla 6.15. Clasificación del nivel de amenaza por inundación

NIVEL DE AMENAZA	ÁREA (HA)	PORCENTAJE
Alta	6,93	43,61
Media	4,38	27,56
Baja	4,58	28,82

Fuente: elaboración propia

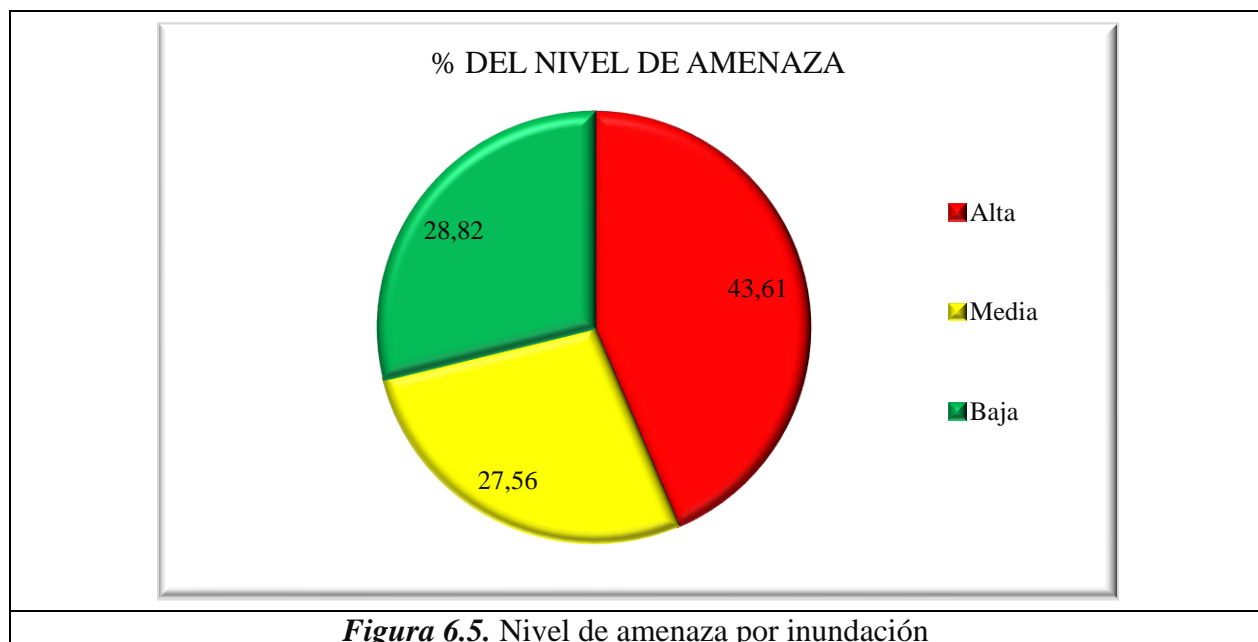


Figura 6.5. Nivel de amenaza por inundación

Fuente: elaboración propia

El mapa de zonificación de amenaza por inundación por desbordamiento para la zona urbana del municipio de Obando se presenta en la Figura 6.6.

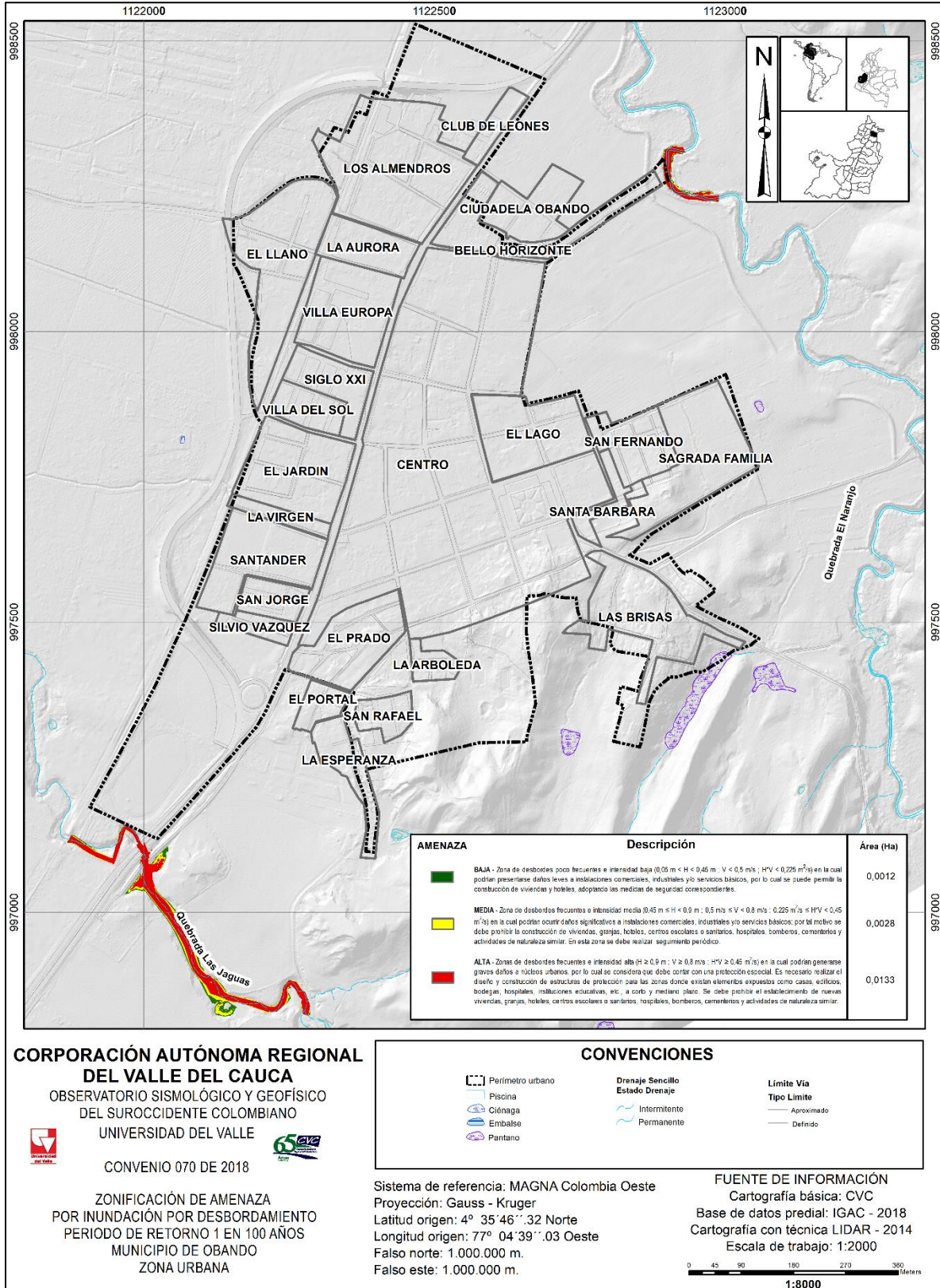


Figura 6.6. Amenaza por inundación por desbordamiento - Periodo de retorno de 100 años
Fuente: elaboración propia

7. AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

La zonificación de amenazas del territorio es una de las herramientas necesarias para la administración racional de la ocupación de áreas socio-económicamente aprovechables. También permite a los entes territoriales la toma de decisiones en relación 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 Obando - 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 MOVIMIENTO 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 servicios y 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.

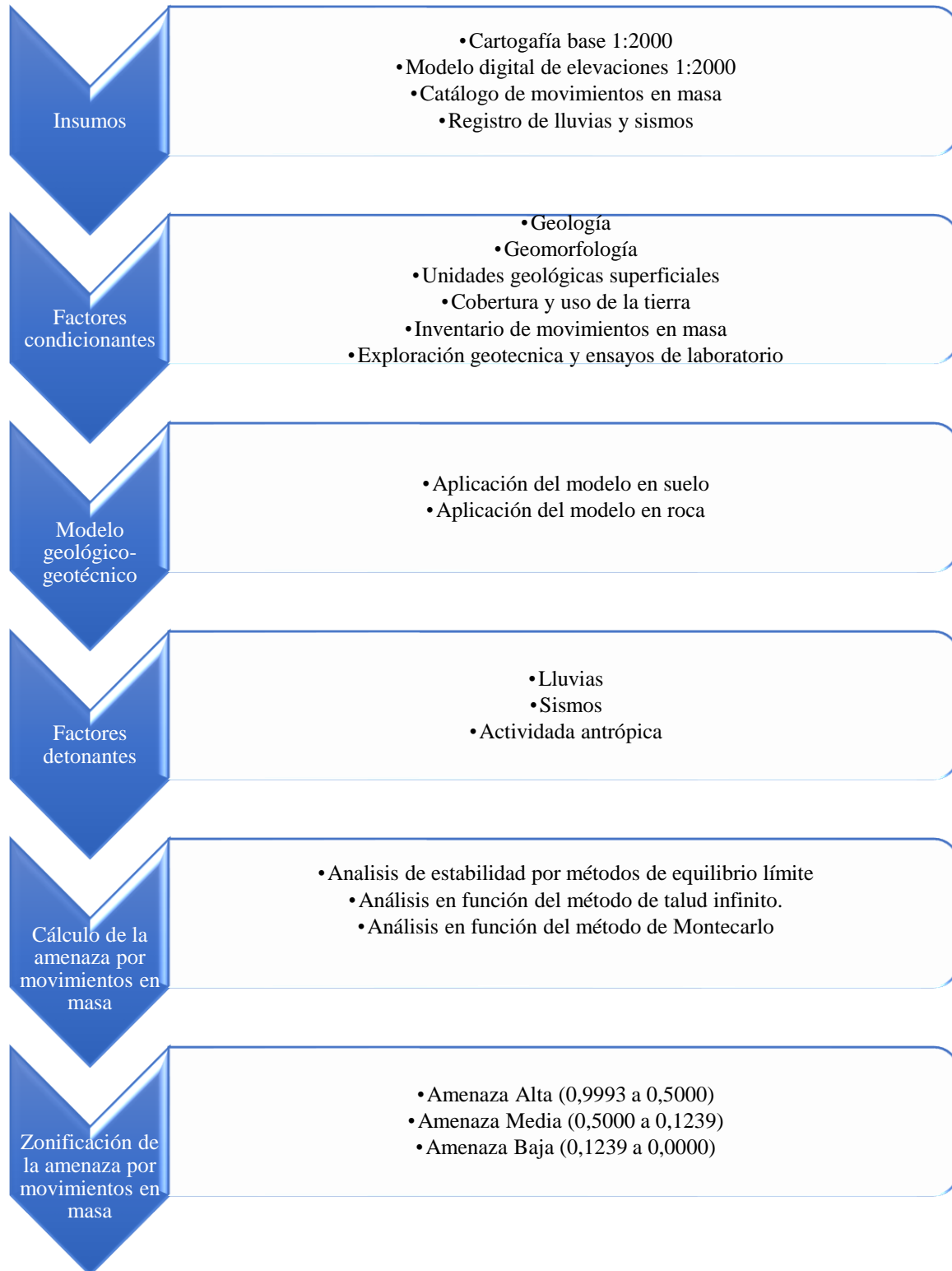


Figura 7.1. Diseño metodológico para la evaluación de la amenaza por movimientos en masa- municipio de Obando

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: FAL461 F30 fotos 163, 164 y 165 del año 2007, FAL407 F43 fotos 1213, 1214 y 1215 del año 1999, IGAC C2141 fotos 10, 11 y 12 del año 1984 e IGAC C1514 fotos 16, 17 y 18 del año 1974, 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 Obando.

Una vez establecidos el ambiente morfogenético del área de estudio y los posibles elementos geomorfológicos presentes, se define la nomenclatura asociada, la cual fue tomada de la Guía metodología para estudios de amenazas, vulnerabilidad y riesgos por movimientos de masa del Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2015), donde la primera letra (en mayúscula) indica el origen de la geoforma (Volcánico, Marino, Eólico Antropogénico (...)) y a partir de la segunda letra (en minúscula), se indican características particulares del elemento, rasgo o proceso geomorfológico (loma residual, llenos mixtos, terrazas acumulativas, entre otros). En el 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.

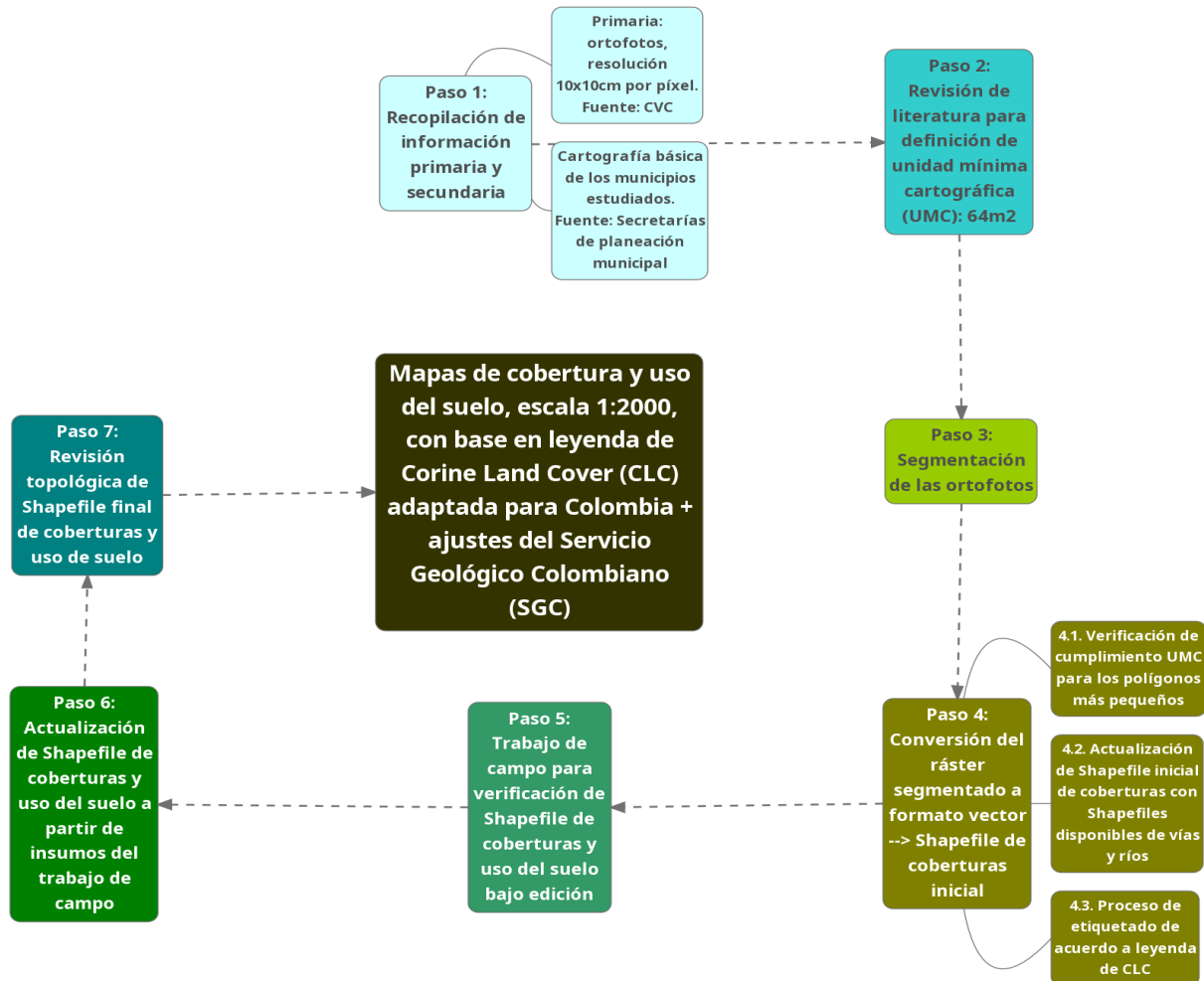


Figura 7.2. Procedimiento metodológico para la elaboración de mapas de cobertura de la tierra
Fuente: elaboración propia

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

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 (EVTzona): Este valor se obtiene del mapa de Distribución de la Evapotranspiración Potencial Total Media Anual sobre el Área del Territorio Continental e Insular de Colombia durante el período 1981-2010 generado por IDEAM. Los datos empleados para su generación fueron tomados de las estaciones meteorológicas que tiene el IDEAM en toda el área del Territorio Continental e Insular de Colombia. La Distribución de la Evapotranspiración Potencial Total Media Anual está clasificada en siete (7) rangos significativos que oscilan desde 600 hasta 2200 milímetros (IDEAM, 2010).

Coefficiente del Cultivo (Kc): El valor aproximado de Kc correspondiente a la cantidad de agua que las coberturas extraen del suelo se toma de datos de la FAO e IDEAM. Con estos valores se construyen las tablas de Kc para las coberturas identificadas en el nivel 3 de la leyenda CLC para cada uno de los municipios (IDEAM; SGC, 2016)

7.2.1. Exploración geotécnica y ensayos de laboratorio

Para realizar la caracterización geotécnica, se definió un programa de exploración del subsuelo con base en el análisis de la cartografía de unidades geológicas superficiales y zonas críticas encontradas en el municipio (seleccionar los sitios de exploración, tipo y profundidad aproximada). El objeto del estudio geotécnico y los ensayos de laboratorio está orientado a obtener los modelos geológico-geotécnicos del subsuelo de las unidades geológicas superficiales identificadas, donde se pueda definir la disposición y distribución estratigráfica de los materiales, superficies de falla, profundidad del nivel freático y determinación de parámetros geotécnicos de los materiales, información fundamental para la etapa de análisis de estabilidad y evaluación de la amenaza.

Con el fin de realizar la caracterización y estimar las propiedades geotécnicas de los materiales presentes en el subsuelo, se llevaron a cabo exploraciones de tipo directo e indirecto. La exploración directa consistió en la ejecución de una serie de perforaciones mecánicas a percusión y apiques, con su respectiva descripción del perfil estratigráfico y toma de muestras inalteradas. Por otro lado, la exploración indirecta consistió en la ejecución de ensayos de campo a través de líneas geofísicas de refracción sísmica.

La exploración geotécnica consistió en realizar perforaciones profundas con muestreo continuo inalterado (perforación a percusión), apiques con toma de muestras en bloque y líneas de refracción sísmica, con el fin de definir los espesores e identificar los diferentes materiales del subsuelo en la zona de estudio, adicional a ello tener el reporte del nivel freático en cada una de las perforaciones realizadas.

En palabras de Suriol Castellví, J., Josa García-Tornel, A., y Lloret Morancho, A., (2007) y Jimeno, C. L., (2013) el Ensayo de Penetración Estándar o SPT (por sus siglas en inglés), 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 atravesaran las unidades geológicas superficiales y los cuerpos inestables.

Una vez identificados los mecanismos de falla (traslacional, caída y rotacional), y realizada la respectiva caracterización geotécnica, se definieron y construyeron los perfiles geológico-geotécnicos, con el fin de realizar los respectivos análisis de estabilidad (modelación numérica). Para efectos de evaluar la estabilidad de los diferentes sectores se procedió a realizar los análisis de la siguiente manera, en función del factor de seguridad y la probabilidad de falla:

Análisis de estabilidad en depósitos coluviales arcillosos sobre suelos residuales y transportados
Análisis de estabilidad del material superficial alterado, suelto (suelo residual y transportados)

Por lo anterior, se procedió a analizar el espectro de posibilidades que se pueden obtener variando los parámetros de resistencia de los materiales y el nivel de intensidad de los agentes detonantes considerados (lluvia y sismo). De esta manera, los análisis de estabilidad en términos de probabilidad de falla se tornan más representativos que el reporte de un factor de seguridad, el cual es el simbolismo numérico de uno de los múltiples eventos factibles.

Sin embargo, la deducción de la probabilidad de falla implica conocer la distribución estadística del factor de seguridad (González, 1999), específicamente la de sus dos primeros momentos: 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:

$$p(D) = P(D/LS)p(LS) + P(D/L\bar{S})p(L\bar{S}) + P(D/\bar{L}S)p(\bar{L}S) + P\left(\frac{D}{\bar{L}\bar{S}}\right)p(\bar{L}\bar{S}) \quad (26)$$

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

$p(D/L\bar{S})$: Es la probabilidad condicional de que ocurra el deslizamiento dado que se presente el sismo y que no tenga lugar la lluvia

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

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

$$I = a * \frac{T^b}{t^c} * M^d * N^e * PT^f * ELEV^g \quad \text{Ecuación (27)}$$

Donde:

I : Intensidad (mm/h)	a	Parámetros calculados
T : Periodo de retorno (años)	b	por Vargas y Díaz-

t : Duración de la lluvia (horas) c Granados en 1998 para la región,
 M : Promedio de la precipitación máxima anual (mm) d
 N : Promedio del número de días con lluvia al año e
 PT : Promedio de la precipitación media anual (mm) f
 $ELEV$: Elevación sobre el nivel del mar (msnm) g
 K es la constante que depende del sitio

Dado de $K = a * M^d * N^e * PT^f * ELEV^g$, reemplazamos en la ecuación 2 quedando al final la ecuación 30

$$I = k * \frac{T^b}{t^c} \quad (28)$$

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)

$$Pf_{25} = (Pf - 1,65 CV Pf) - (I_{25} * 24) \quad (29)$$

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).

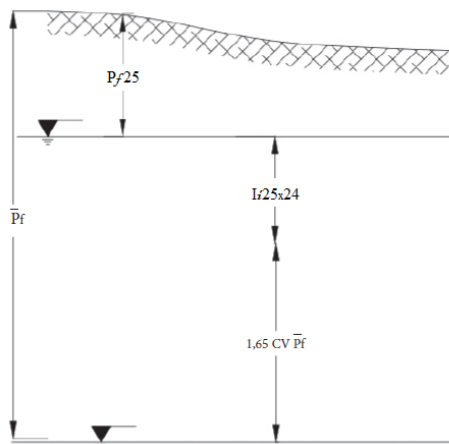


Figura 7.3. Representación gráfica de la ecuación para medir el nivel freático

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 Obando 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

$$P^+ = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^\beta \quad (30)$$

$$P^- = 1 - P^+ \quad (31)$$

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:

$$FS = \frac{(c' b \sec \alpha + (\gamma b h \cos \alpha - k \gamma b h \sin \alpha - \gamma_w h_w \cos^2 \alpha) \tan \Phi')}{\gamma b h \sin \alpha + k \gamma b h \cos \alpha} \quad (32)$$

Donde:

C' = Cohesión efectiva

k = Coeficiente de aceleración horizontal

Φ = Angulo efectivo de fricción

b = Espesor de estrato deslizante

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

h = Proporción del estrato deslizante que se encuentra saturado

γ = Peso unitario del suelo

α = Angulo de inclinación de la superficie de falla

γ_w = Peso unitario del agua

Para ello se necesita desarrollar las siguientes matrices, todas de igual tamaño (m x n): matriz de elevación (se obtiene de la topografía desarrollando un modelo digital de elevación), matriz de

pendientes (se desarrolla haciendo uso de las herramientas de ArcGis) y matrices de valores de cohesión, ángulo de fricción y peso unitario del suelo, datos provenientes de la cartografía geológica y caracterización geotécnica realizada para el presente estudio. Para el tratamiento de los datos se creó un código desarrollado en Matlab donde se genera una matriz de tamaño (m x n) con los valores de factor de seguridad para cada pixel del mapa.

Como el objetivo es desarrollar un mapa probabilístico, la creación de las matrices de los parámetros del suelo, cohesión, ángulo de fricción y peso unitario, se han desarrollado haciendo uso del Método Montecarlo considerando una distribución normal para estos parámetros (los parámetros geotécnicos se comportan normalmente según varios autores). Para la variable del espesor del estrato deslizante, se ha tomado una distribución uniforme. Estas distribuciones se muestran a continuación en la ecuación:

Como el objetivo es desarrollar un mapa probabilístico, la creación de las matrices de los parámetros del suelo, cohesión, ángulo de fricción y peso unitario, se han desarrollado haciendo uso del Método Montecarlo considerando una distribución normal para estos parámetros (según varios autores los parámetros geotécnicos se comportan normalmente). Para la variable del espesor del estrato deslizante, se ha tomado una distribución uniforme. Estas distribuciones se muestran a en la ecuación (35). generación de una matriz (m x n) con m x n valores a partir de una distribución normal:

$$r = (randn(m, n) * sd) + mu \quad (33)$$

Donde:

Sd = Desviación estándar del parámetro geotécnico (phi, c o gamma).

Mu = Media del parámetro geotécnico (phi, c o gamma).

Randn = función que genera valores aleatorios de 0 a 1.

Generación de una matriz (m x n) con m x n valores a partir de una distribución uniforme:

$$r = a + randn(m, n) * (b - a) \quad (34)$$

Donde:

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

b = valor máximo del parámetro geotécnico (phi (Φ), c o gamma (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).

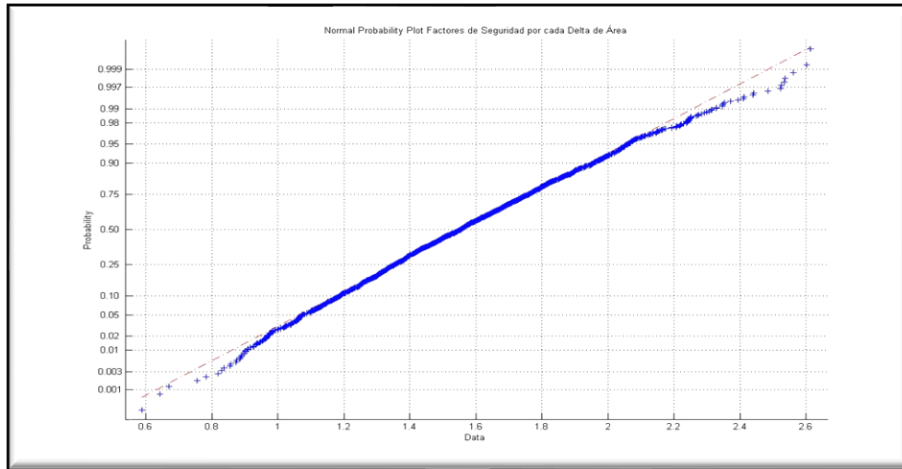


Figura 7.4. Gráfica de probabilidad normal

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 Obando y su área de influencia como se aprecia en la Figura 7.5, de las cuales, cuatro se concentran en la zona Sur-Oriental, la cual presenta lomeríos y ondulaciones; las unidades presentes en dicha área son: Formación La Paila – plioceno (TMp), Formación Zarzal (TPz), Depósitos coluviales y depósitos de talud (Qco) y Conos, abanicos, consistentes en gravas, arenas y limos no consolidados (Qca). La unidad Depósitos aluviales (Qal) se extiende sobre la planicie y abarca la mayoría del área urbana, cubriendo las zonas norte, occidente y sur.

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 Obando y su área de influencia, existen once unidades geomorfológicas presentes, como se evidencia en la Figura 7.6. En el sector sur-occidente que corresponde a las zonas altas (montañas y lomeríos) se presentan seis unidades, de las cuales cuatro tienen origen denudacional (Dco, Dmo, Dmm y Drles), una de origen fluvial (Fcdy) y una de origen antrópico (All). En el sector Nor-occidental, existen dos unidades asociadas a la Quebrada Obando, Los Depósitos de terraza aluvial (Fta) de origen fluvial y Llenos de jarillon (Allj) de origen antrópico. La unidad Deposito aluvial (Fa) abarca la mayoría del casco urbano y sobre el costado occidental se encuentran las unidades antrópicas llenos de roca (Allr) y llenos seleccionados (Alls).

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).

Existen Once unidades UGS presentes sobre la zona urbana del municipio de Obando, como se evidencia en la Figura 7.7, la distribución de las unidades es similar a la geomorfología, en donde el sector sur-occidente abarca la mayoría de unidades; en dicho sector se presentan seis unidades, las cuales dos corresponden a rocas (Rivs y Rbvs) y cuatro corresponden a suelos transportados (Stco, Star, Sta y Stl). En el sector Nor-occidental, existen dos unidades asociadas a la Quebrada Obando, el Suelo transportado aluvial de terrazas (Stat) y el suelo antrópico jarillon (Saj). La unidad Suelo transportado aluvial (Sta) abarca la mayoría del casco urbano y sobre el costado occidental se encuentran las unidades Suelo antrópico seleccionado (Sas) y Suelo antrópico de roca (Sar).

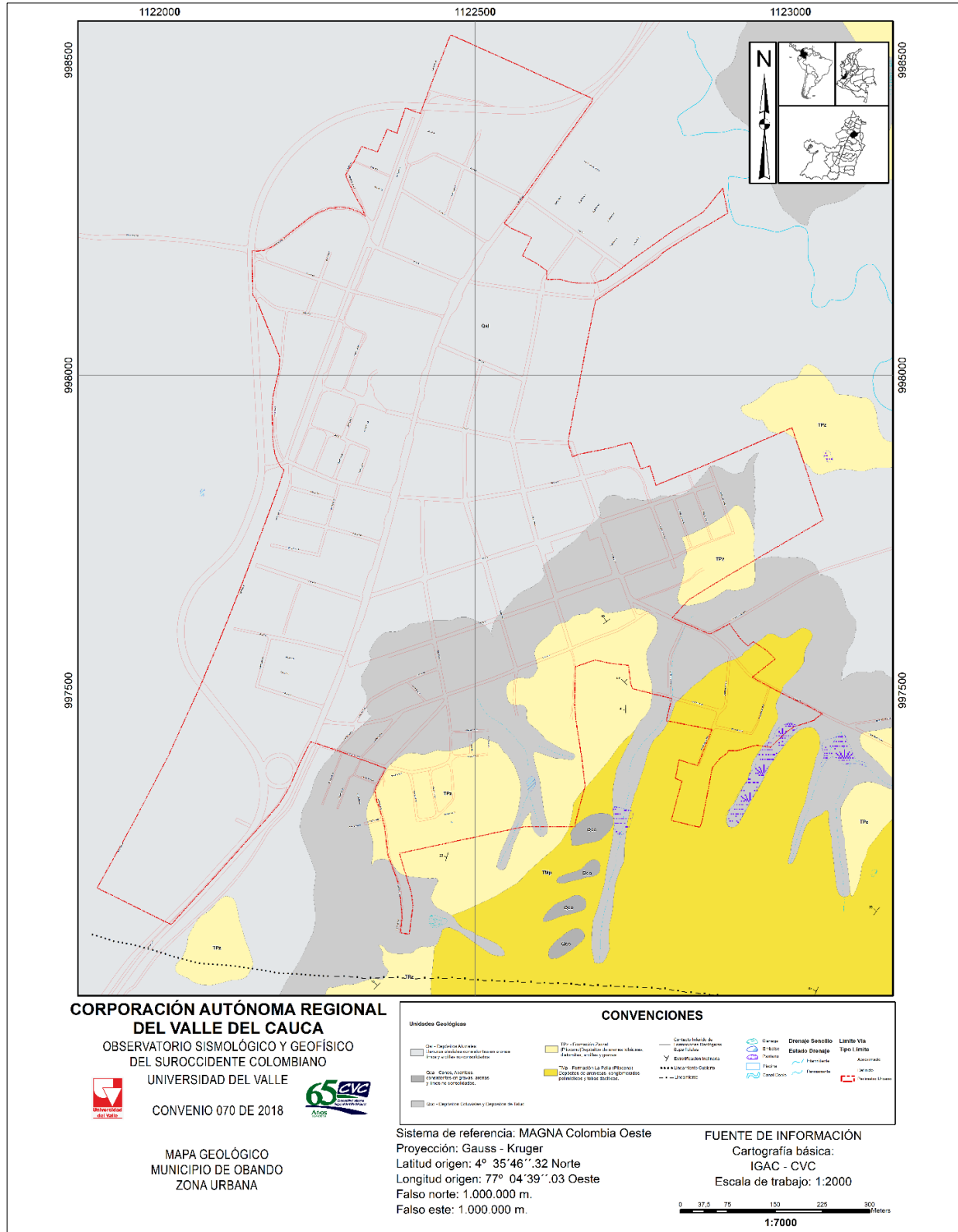


Figura 7.5. Mapa geológico municipio de Obando
Fuente: elaboración propia

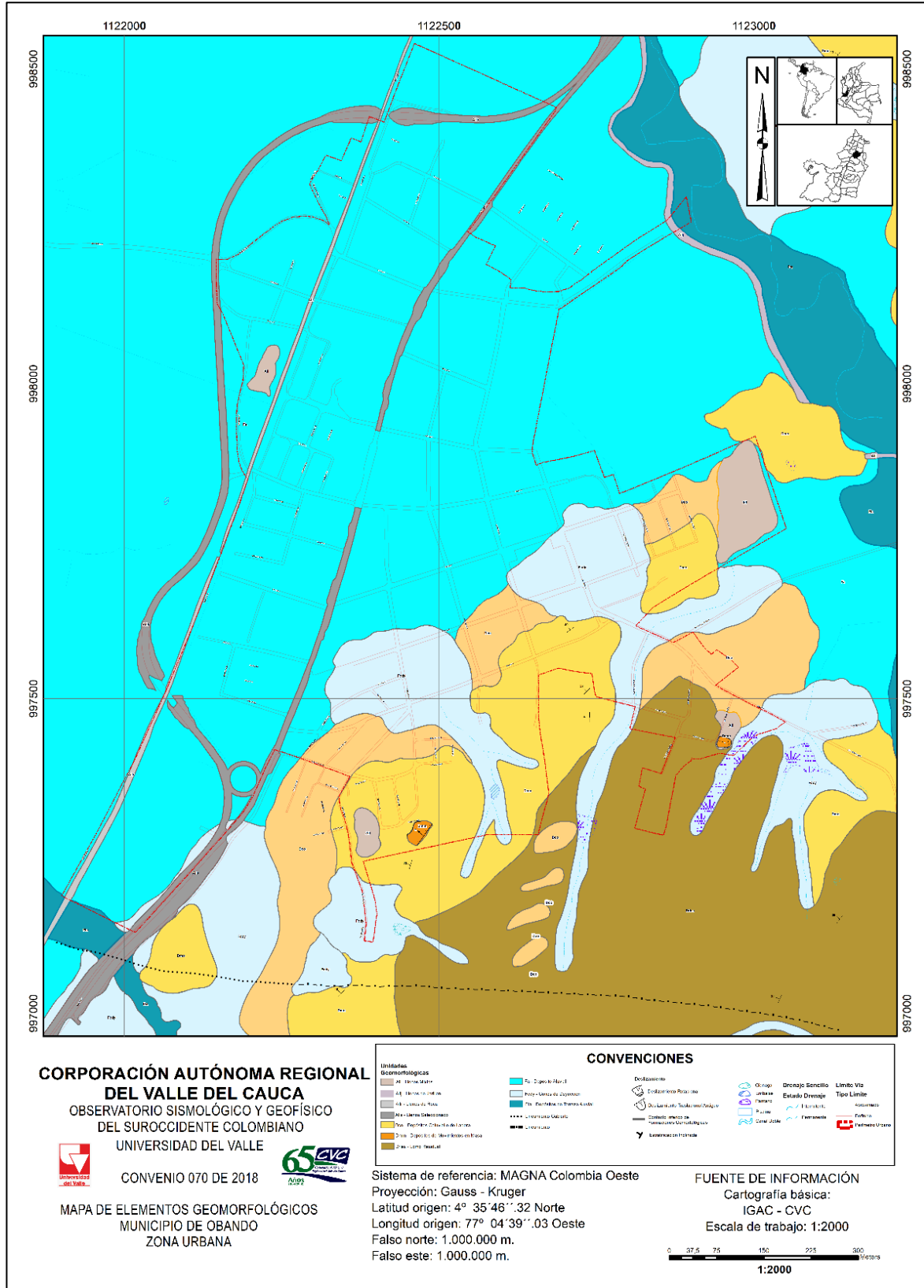


Figura 7.6. Mapa geomorfológico del municipio de Obando
Fuente: elaboración propia

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 226 hectáreas (ha). De ese total, los territorios agrícolas ocupan el 61,3%, mientras que las áreas artificializadas el 29,3%, los bosques el 2,1%, tierras desnudas el 4,6, las superficies de agua y las superficies húmedas el 0.8%. (ver Figura 7.8).

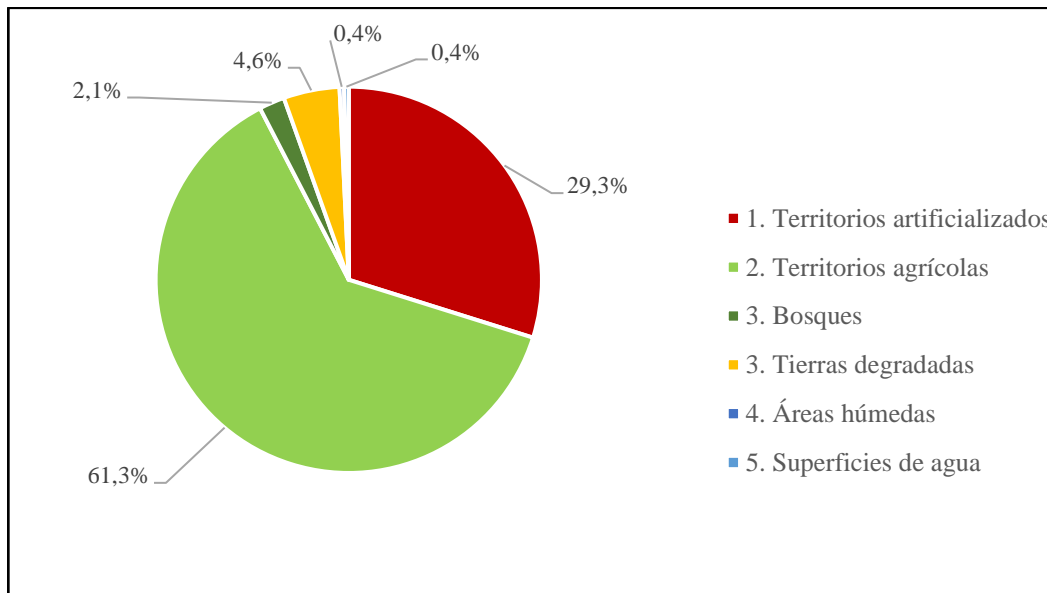


Figura 7.8. Porcentajes de áreas ocupados por grandes tipos de cobertura de la tierra en Obando (nivel 1 de CLC)

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 Obando, clasificado según el nivel 3 de CLC. En total, se identificaron veintinueve (29) coberturas de la tierra y once (11) usos del suelo. Dentro de las coberturas predominan: el tejido urbano (área urbana),

seguido de bosque, pastos limpios y en cuarto lugar cultivos transitorios. Dentro del uso del suelo prevalecen las edificaciones destinadas a servicios públicos (educación, hospitales, servicios, galerías y cultura).

En cuanto al detalle de los usos del suelo, en el municipio se presentan cincuenta y cuatro (54) equipamientos urbanos dentro de los cuales se identificaron veintitrés (23) edificaciones de servicio público, tres (3) zonas industriales, cinco (5) zonas de habitación periférica, cuatro (4) edificaciones de seguridad pública, dos (2) estaciones de gasolina, cuatro (4) parques pequeños y quince (15) instalaciones recreativas.

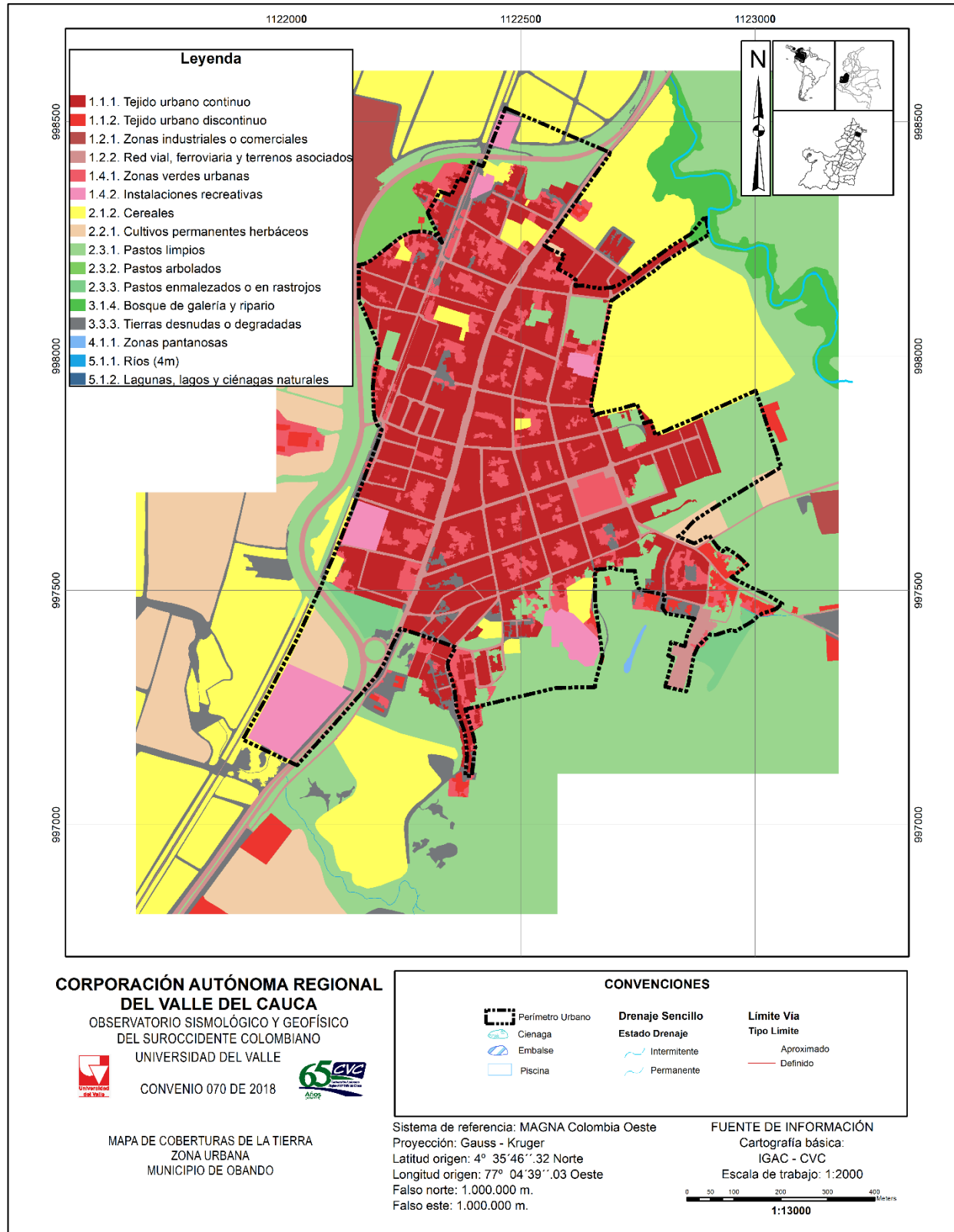


Figura 7.9. Mapa de cobertura de la tierra municipio Obando
Fuente: elaboración propia

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 quince hectáreas son pastos limpios (72,5 ha), el tejido urbano continuo (34 ha), y los cultivos de maíz (22 ha), soya (21 ha) y caña (19 ha). Las demás áreas están ocupadas por red vial (12 ha), tierras degradadas (10 ha), zonas verdes urbanas (9 ha), zonas industriales o comerciales (8 ha), bosque de galería (5 ha), instalaciones recreativas (5 ha), tejido urbano discontinuo (2,5 ha), pastos arbolados (1,75), pastos enmalezados o rastrojos (1,2ha), entre otros. La tabla presenta al 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
2.3.1. Pastos limpios	72,54	32,1
1.1.1. Tejido urbano continuo	34,08	15,1
2.1.2. Cereales (Maíz)	21,91	9,7
2.1.2. Cereales (Maíz-Soya)	21,28	9,4
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos (Caña)	19,32	8,6
1.2.2. Red vial. ferroviaria y terrenos asociados	12	5,4
3.3.3. Tierras desnudas o degradadas	10,33	4,6
1.4.1. Zonas verdes urbanas	9	4,0
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	8,18	3,6
3.1.4. Bosque de galería y ripario	4,66	2,1
1.4.2. Instalaciones recreativas	4,58	2,0
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	2,47	1,1
2.3.2. Pastos arbolados	1,75	0,8
2.3.3. Pastos enmalezados o en rastrojos	1,22	0,5
4.1.1. Zonas pantanosas	0,83	0,4
5.1.1. Ríos (1m)	0,49	0,2
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos (Papaya)	0,43	0,2
5.1.2. Lagunas, lagos y ciénagas naturales	0,38	0,2
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos (Plátano y Yuca)	0,05	0,02
TOTAL	226	100

Fuente: elaboración propia

La principal actividad económica del municipio de Obando es la agricultura, siendo la caña de azúcar, la soya y el maíz los más representativos. En menor proporción se destacan algunos cultivos permanentes herbáceos y frutales que se establecen en rotación con los cultivos de maíz y soja cómo el plátano, la papaya, el mango, los cítricos y el aguacate. En las zonas verdes urbanas

predominan especies arbóreas como los aromos, samanes, guácimos, matarratones, tecas, caracolís y ébanos.

Con respecto a la relación entre las coberturas del suelo en el municipio y la evapotranspiración, el SGC, 2013 plantea que entre mayores valores de evapotranspiración tenga una cobertura, menor es la cantidad de agua que se almacena en el sistema suelo-planta, lo que implica una disminución en la saturación de los suelos y por ende en la potencial ocurrencia de eventos de remoción en masa, en otras palabras, se entiende que entre mayor sea el Kc mayor será la magnitud de la evapotranspiración, lo cual puede favorecer la condición de estabilidad de los terrenos en la medida que sale mayor cantidad de humedad de los suelos y de la cobertura disminuyendo los efectos de saturación. Para el municipio de Obando, 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 cubiertas por asfalto (Tejido urbano, Zonas industriales, red vial férrea) son las que poseen un menor valor en cuanto a la evapotranspiración seguido de áreas cubiertas de pastos limpios, 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		PREDISPOSICIÓN A LA INESTABILIDAD DEL SUELO
	KC	POTENCIAL COBERTURA	
1.1.1. Tejido urbano continuo	0,1	0,185	5
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	0,1	0,222	5
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	0,1	0,222	5
1.2.2. Red vial. ferroviaria y terrenos asociados	0,1	0,222	5
1.4.1. Zonas verdes urbanas	0,6	1,332	2
1.4.2. Instalaciones recreativas	0,5	1,11	2
2.1.2. Cereales (Maíz)	0,6	1,332	2
2.1.2. Cereales (Maíz-Soya)	0,6	1,332	2
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos (Caña)	0,9	1,998	1
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos (Plátano y Yuca)	0,9	1,998	1
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos (Papaya)	0,9	1,998	1
2.3.1. Pastos limpios	0,4	0,888	4
2.3.2. Pastos arbolados	0,6	1,332	3
2.3.3. Pastos enmalezados o en rastrojos	0,5	1,11	3
3.1.4. Bosque de galería y ripario	1,4	3,108	1
3.3.3. Tierras desnudas o degradadas	0,1	0,222	5
4.1.1. Zonas pantanosas	0,9	1,998	1

Fuente: elaboración propia

La profundidad efectiva de las coberturas de la tierra en el municipio de Obando presentes en la Tabla 7.4 evidencia que los Bosque de galería y ripario y los Pastos arbolados poseen espesores de suelo mayores, mientras, las áreas urbanizadas y las tierras desnudas al poseer poca profundidad

favorecen la inestabilidad del terreno, 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)	PREDISPOSICIÓN A LA INESTABILIDAD DEL SUELO
1.1.1. Tejido urbano continuo	0,0	5
1.1.2. Tejido urbano discontinuo	0,0	5
1.2.1. Zonas industriales o comerciales	0,0	5
1.2.2. Red vial. ferroviaria y terrenos asociados	0,0	5
1.4.1. Zonas verdes urbanas	0,5	4
1.4.2. Instalaciones recreativas	0,5	4
2.1.2. Cereales (Maíz)	0,8	3
2.1.2. Cereales (Maíz-Soya)	0,8	3
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos (Caña)	0,8	3
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos (Plátano y Yuca)	1,0	2
2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos (Papaya)	1,0	2
2.3.1. Pastos limpios	0,5	4
2.3.2. Pastos arbolados	1,2	2
2.3.3. Pastos enmalezados o en rastrojos	0,8	3
3.1.4. Bosque de galería y ripario	2,5	1
3.3.3. Tierras desnudas o degradadas	0,0	5
4.1.1. Zonas pantanosas	1,0	2

Fuente: elaboración propia

Además, en esta Tabla se observa que las zonas de predisposición alta y muy alta a los procesos de inestabilidad son los tejidos urbanos continuos y discontinuos, las tierras desnudas o degradadas, y los pastos limpios debido a la nula o baja profundidad efectiva de tales coberturas. La susceptibilidad alta tiene un cubrimiento del 63,4%.

Por su parte, la susceptibilidad media, tiene un cubrimiento del 29,6% y se distribuye en zonas agrícolas con dominancia de cultivos de caña, maíz y soya, además de pastos enmalezados o rastrojos.

Por último, y con un porcentaje del 2,1%, los bosques riparios (altamente fragmentados) a pesar de su alta degradación presentan baja susceptibilidades asociadas a drenajes muy profundos y a sistemas radiculares de alta profundidad.

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 Obando. En el área de estudio se localizaron dos (2) eventos de movimiento en masa identificado por medio de rasgos geomorfológicos presentes en el barrio San Rafael y el segundo en el barrio Las Brisas, mediante registros de historicidad (comprendido entre 1980 y febrero de 2019) se menciona un (1) evento que afectó el barrio San Rafael, ubicado al sur de la cabecera urbana. La espacialización de los registros se presentan en la Figura 7.10 (espacialización de los registros de movimientos en masa).

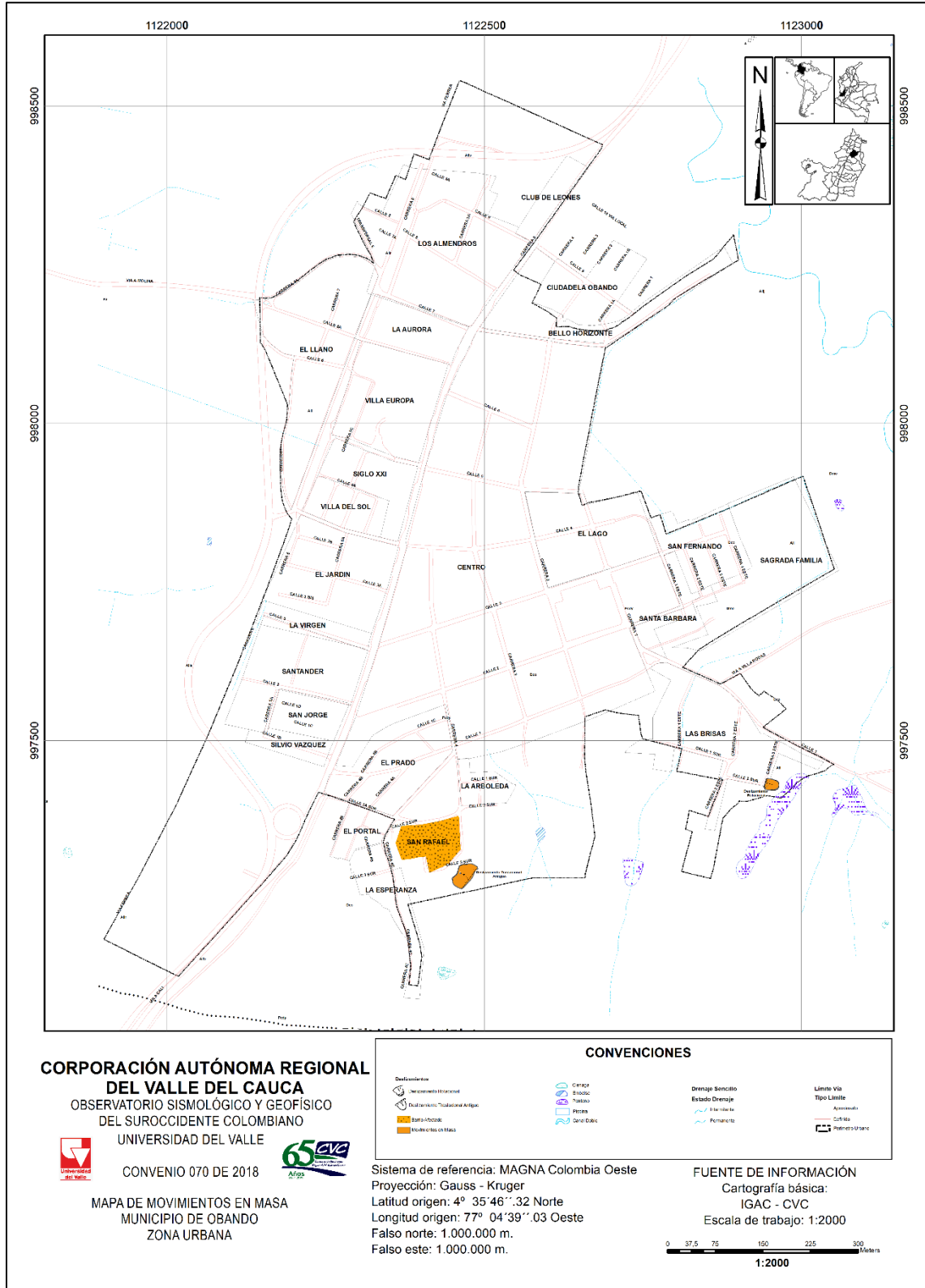


Figura 7.10. Mapa de eventos históricos de movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Obando

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 (19) 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.

Adicional a la Figura 7.11 por medio de 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 Obando

PERFORACIÓN CÓDIGO	LONGITUD	LATITUD	PROFUNDIDAD ALCANZADA (m)	NIVEL FREÁTICO (m)	NÚMERO DE MUESTRAS	UGS
P1	1122782.5614	997735.5660	5	No se encontró	5	Star Suelo transportado aluvial reciente
P2	1122795.1774	997301.4058	5	No se encontró	6	Rivs Roca Intermedia Volcano Sedimentario
P3	1123014.1206	997423.1143	5	No se encontró	5	Rivs Roca Intermedia Volcano Sedimentario
P4	1122975.0944	997524.9791	4,5	No se encontró	4	Rivs Roca Intermedia Volcano Sedimentario
P5	1122686.6980	997534.9010	5	No se encontró	6	Rbvs Roca Blanda Volcano Sedimentario
P6	1122684.7137	997360.9371	5	No se encontró	4	Rbvs Roca Blanda Volcano Sedimentario
P7	1122889.3146	997659.3278	5	No se encontró	5	Rbvs Roca Blanda Volcano Sedimentario
P8	1122414.5321	997283.1689	5	No se encontró	6	Rbvs Roca Blanda Volcano Sedimentario

PERFORACIÓN CÓDIGO	LONGITUD	LATITUD	PROFUNDIDAD ALCANZADA (m)	NIVEL FREÁTICO (m)	NÚMERO DE MUESTRAS	UGS
P9	1122948.5770	997445.3830	5	No se encontró	4	Sa Suelo Antrópico
P10	1122082.1924	997172.5659	5	No se encontró	6	Sas Suelo Antrópico Seleccionado
P11	1122605.8950	998294.1576	5	No se encontró	5	Sta Suelo Transportado aluvial
P12	1122082.9414	996984.0795	4	No se encontró	3	Stat Suelo Transportado Aluvial de Terrazas
P13	1122676.7964	997894.6288	5	No se encontró	5	Sta Suelo Transportado aluvial
P14	1122440.8591	997422.4247	5	No se encontró	6	Stl Suelo Transportado de Ladera
P15	1122980.9012	997770.1143	5	No se encontró	7	Sa Suelo Antrópico
P16	1122660.2520	997267.0742	5	No se encontró	7	Stco Suelo Transportado Coluvial
P17	1122315.2170	998267.4394	5	No se encontró	5	Sta Suelo Transportado aluvial
P18	1122415.6810	997874.3394	5	No se encontró	6	Sta Suelo Transportado aluvial
P19	1122185.2894	997790.0836	5	No se encontró	5	Sta Suelo Transportado aluvial

Fuente: Elaboración propia

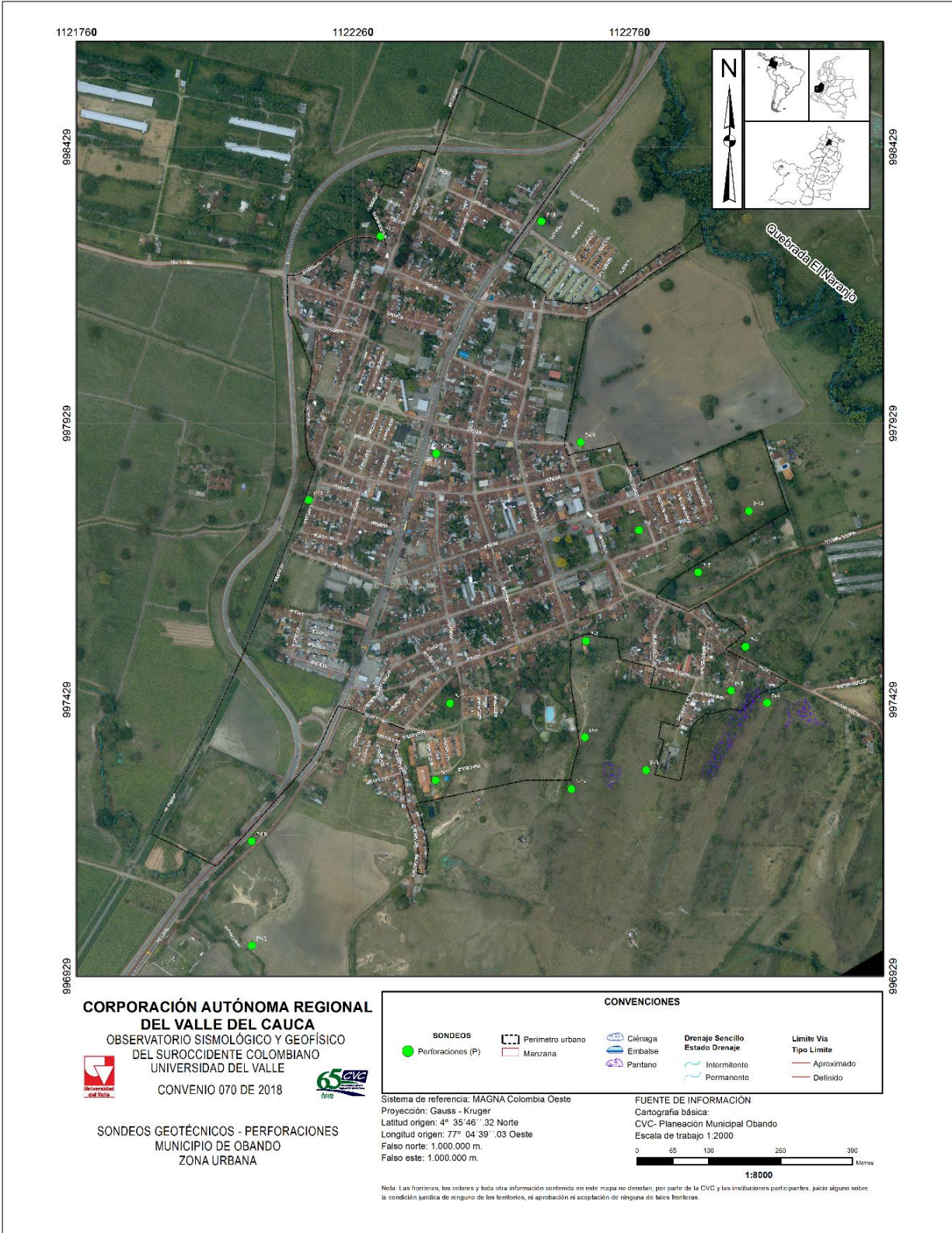


Figura 7.11. Ubicación de las perforaciones mecánicas hechas para el presente estudio en el municipio de Obando

Fuente: elaboración propia

7.3.6.2. Apiques

Además de las perforaciones realizadas, se llevó a cabo la apertura de diecinueve (20) 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 40 m de excavación.

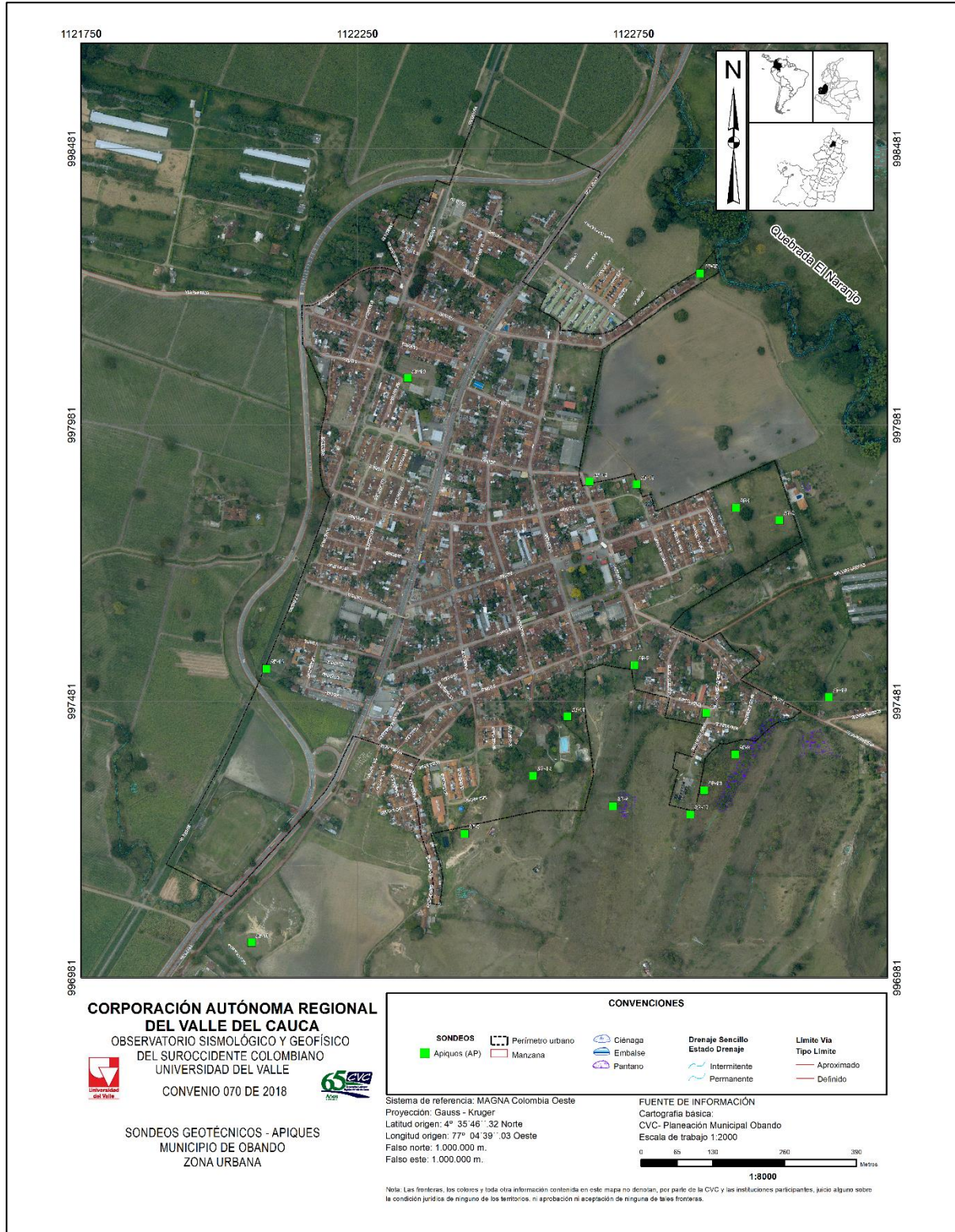


Figura 7.12. Ubicación en planta de los apiques para el presente estudio en el municipio de Obando

Fuente: elaboración propia.

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

APIQUE CÓDIGO	LONGITUD	LATITUD	PROFUNDIDAD
AP1	1122931.6762	997830.9704	2
AP2	1123010.9015	997808.3043	2
AP3	1122930.3357	997384.8379	2
AP4	1122877.9481	997459.4505	2
AP5	1122747.7728	997545.7049	2
AP6	1122709.6727	997291.1752	2
AP7	1122440.9905	997241.4969	2
AP8	1122131.5962	996883.8629	2
AP9	1122299.3720	996913.1417	2
AP10	1123100.0027	997488.3470	2
AP11	1122055.4256	997044.3753	2
AP12	1122565.0142	997345.9833	2
AP13	1122627.1914	997452.8752	2
AP14	1122081.6349	997539.9812	2
AP15	1122752.2743	997873.2226	2
AP16	1122666.8666	997877.9852	2
AP17	1122849.4956	997275.9378	2
AP18	1122849.4956	997319.2634	2
AP19	1122337.7243	998065.6677	2
AP20	1122867.3365	998255.0348	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-16.

Profund. m		Muestra		Límite de consistencia y Humedad Natural (%)	USCE	DESCRIPCIÓN	M. Unit Humeda g/cm ³	M. Unit Seca g/cm ³	qu Kg/cm ²	No. GOLPES
No	Tipo	No	Tipo							
0,50	1	APIQUE		*	*	SUELO FINO ORGÁNICO COLOR NEGRO. CONSISTENCIA FIRME. ESTADO HÚMEDO (DESCRIPCIÓN VISUAL)				
1,50	2	APIQUE		HN=9,1%	*	SUELO FINO ARENOSO COLOR CAFÉ CLARO. COMPACIDAD MEDIA. ESTADO SECO A HÚMEDO, PRESENCIA DE AGREGADO (DESCRIPCIÓN VISUAL)				
2,00	3	CUCHARA 10/6 10/6 9/6		HN=2,4%	*	SUELO GRANULAR SUB ANGULOSO DE TAMAÑO 3/4" COLOR GRIS. CEMENTACIÓN MODERADA, ESTADO SECO. PRESENCIA DE SUELO FINO COLOR CAFÉ (DESCRIPCIÓN VISUAL)				19
2,50		CUCHARA 9/6 9/6 9/6								18
3,00	4	CUCHARA 11/6 12/6 18/6		HN=4,5%	*	GRAVA FINA COLOR GRIS CAFESOSO. CEMENTACIÓN FUERTE. ESTADO SECO (DESCRIPCIÓN VISUAL)				30
3,50		CUCHARA 10/6 12/6 24/6								36
4,00	*	PUNZÓN DE AVANCE		*	*	NOTA: SE INSERTA PUNZÓN DE AVANCE DANDO 40 GOLPES AVANZA 50 cm				
4,50	5	CORTE DIRECTO		LL=42,4%; LP=25,7%; HN=5,6%	SC	ARENA ARCILLOSA COLOR CAFÉ AMARILLOSO, COMPACIDAD FIRME. ESTADO HÚMEDO, PRESENCIA DE ROCA METEORIZADA DE ALTA DUREZA				
5,00	6	SHELBY		*	*	SUELO GRANULAR COLOR GRIS Y CAFÉ PRESENCIA DE PARTICULAS ANGULOSAS. CEMENTACIÓN FUERTE. ESTADO HÚMEDO, PRESENCIA DE SUELO FINO COLOR CAFÉ (DESCRIPCIÓN VISUAL)	1,82	1,73	2,05	

FIN DE SONDEO - NO SE ENCONTRÓ NIVEL FREÁTICO.

ESTADO DEL TIEMPO: Soleado

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 (RAS 24) de 12 canales y un cable con una separación de 5 m entre geófonos para una profundidad de investigación mínima de 20 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 Obando

Fuente: fotografías propias

En total se realizaron seis (6) 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 **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** se presenta la ubicación de las líneas realizadas dentro del área de estudio.

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 LS1 la que alcanza mayor profundidad, asociado a tres horizontes, el primero se correlaciona con depósitos de ladera de consistencia blanda, alcanza una profundidad de 1,0 a 1,90 metro con velocidad de 220m/seg, el segundo horizonte alcanza una profundidad de 9 a 12 metros y velocidad del orden de 480 y 760 m/seg, se correlaciona con rocas meteorizadas pertenecientes

a la Formación La Paila de consistencia muy blanda a blanda. La tercera sección está constituida por conglomerados y areniscas con velocidad de 1430M/seg.

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

COORDENADAS LÍNEAS SÍSMICAS MUNICIPIO DE OBANDO					
CÓDIGO	VÉRTICE	LONGITUD	LATITUD	LONGITUD (m)	PROFUNDIDAD (m)
LS1	LS1_Inicial	1122718.1394	997425.5838		
LS1	LS1_Final	1122773.9597	997403.5816	60	>(0,00) (12,00)
LS2	LS2_Inicial	1122453.2275	997269.6090		
LS2	LS2_Final	1122477.9654	997324.2719	60	>(0,00) (11,00)
LS3	LS3_Inicial	1122906.9447	997451.5743		
LS3	LS3_Final	1122964.1997	997433.6336	60	>(0,00) (8,00)
LS4	LS4_Inicial	1122722.5562	998202.8095		
LS4	LS4_Final	1122770.7208	998167.0299	60	>(0,00) (7,00)
LS5	LS5_Inicial	1122720.6830	997824.8567		
LS5	LS5_Final	1122779.4823	997836.7997	60	>(0,00) (8,00)
LS6	LS6_Inicial	1122893.5633	997605.9137		
LS6	LS6_Final	1122856.1019	997652.7820	60	>(0,00) (4,60)

Fuente: elaboración propia

El método de adquisición de datos depende de un impacto en superficie, realizado con un martillo de 20 lb, el cual es golpeado contra una placa de acero; seguidamente, mediante un sensor (Hammerswitch), manda un impulso electromagnético al equipo, el cual activa el registro de señales vibratorias de cada uno de los geófonos a profundidad durante un tiempo de lectura definido al inicio de las mediciones. El sistema cuenta con una unidad de control, geófonos verticales y horizontales (ondas P y ondas S respectivamente), un martillo, el Hammerswitch y algunos otros accesorios necesarios para el buen funcionamiento del sistema.

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 7.15, se presenta un mosaico de los datos registrados por medio del software SeisImager, durante la medición de las ondas P.

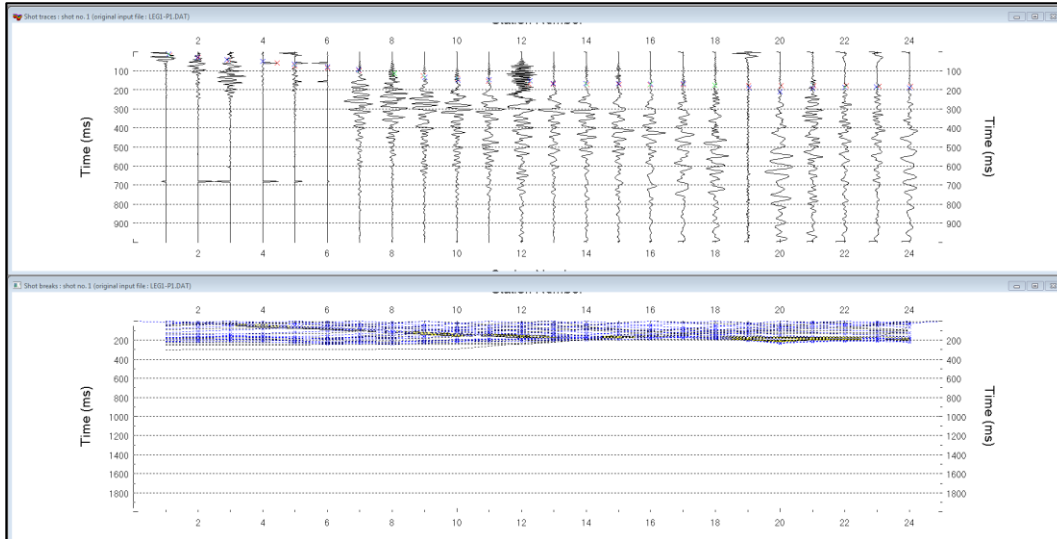


Figura 7.15. Ilustración típica de la captura de datos en campo mediante el software Seisview correspondiente a la ejecución de la línea de refracción para ondas S

Fuente: elaboración propia

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 7.8, 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 P. lo cual ayuda a determinar si el horizonte está compuesto por suelo, roca meteorizada o basamento rocoso.

Tabla 7.8. Estratos, velocidades y espesores identificados en cada una de las líneas sísmicas realizadas en el área de estudio

LÍNEAS	ESTRATOS	VELOCIDADES [m/s]	PROFUNDIDAD
		V _p	[m]
LS1	Depósito de ladera	220	1,90
	Formación La Paila	480 a 760	12,00
	Formación La Paila	1430	> 12,00
LS2	Depósito de ladera	150	2,00
	Formación Zarzal	480	11,00
	Formación Zarzal	830	> 11,00
LS3	Depósito de ladera	270	3,80
	Formación La Paila	800	8,00
	Formación La Paila	1400	> 8,00
LS-4	Depósito de conos aluviales	250	3,00
	Depósito de conos aluviales	400	7,00
	Formación Zarzal	920	> 7,00
LS5	Lleno mecánico y depósito de ladera	150	3,60
	Formación Zarzal	310	8,00

LÍNEAS	ESTRATOS	VELOCIDADES [m/s]	PROFUNDIDAD
		V _p	[m]
LS6	Formación Zarzal	1250	> 8,00
	Depósito de ladera	480	2,00
	Formación La Paila	750	4,60
	Formación La Paila	1400	> 4,60

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 7.16 se presenta la tomografía del terreno, de la línea sísmica LS-3 (ubicada en la el barrio Las Brisas), donde se observan 3 horizontes de velocidad, la primera superficie corresponden a suelo blando con velocidades de 270 m/s con espesores entre 1,7 y 3 metros , la segunda, capa presenta una V_p = 800 m/s, lo cual correspondería a un suelo medio o rígido, relacionado con rocas meteorizadas de la Formación la Pila, el espesor de esta capa es de 5 m aproximadamente (profundidad acumulada 8 m) y se presenta como una capa de espesor cambiante a lo largo de toda la línea sísmica. El tercer y último horizonte está constituido por intercalaciones de conglomerados y tobas dacíticas de consistencia dura, alcanza velocidades de 1400 m/s

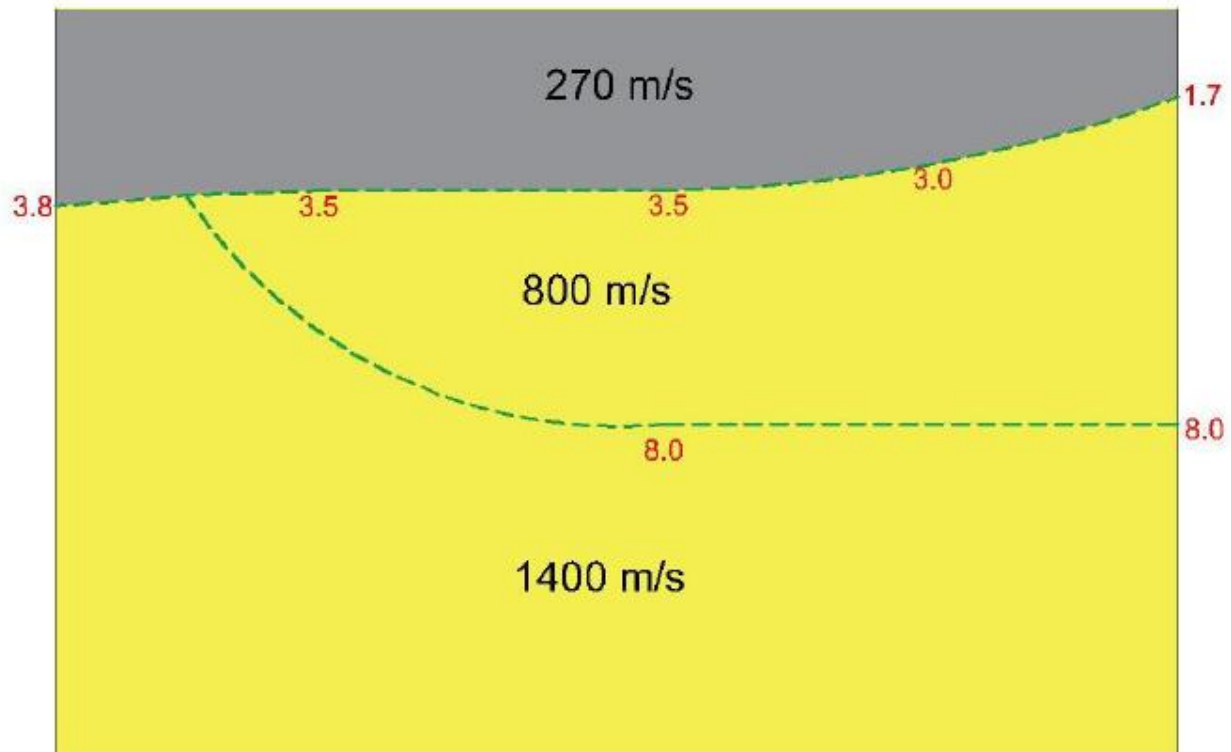


Figura 7.16. Tomografía del Terreno, Velocidades de Onda Plana (V_p)- LS-3

Fuente: elaboración propia

7.3.6.4. Ensayos de laboratorio

El plan de ensayos de laboratorio tuvo por objeto la caracterización geomecánica de los materiales que componen el subsuelo bajo el área de estudio, para lo cual se llevaron a cabo ensayos de clasificación y de resistencia. Dentro de los ensayos de suelos se realizaron los límites de

consistencia, granulometría, contenido de humedad, gravedad específica, compresión inconfiada, corte directo y peso unitario.

La Tabla 7.9, 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 Obando.

Tabla 7.9. Ensayos de laboratorio realizados para el presente estudio

ENSAYO DE LABORATORIO	CANTIDAD
Granulometría por tamizado	35
Gravedad específica empleando el picnómetro	12
Determinación de los límites de consistencia	47
Contenido de humedad	105
Compresión inconfiada	14
Corte directo 3 puntos (consolidado drenado)	12
Peso unitario	57

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 5 metros de profundidad), incluyendo la estimación de los parámetros de resistencia del suelo (cohesión y ángulo de fricción interna). Este ensayo se realizó para tres niveles de esfuerzos, cada uno a través de tres etapas: saturación, consolidación y falla.

La Figura 7.17a, exhibe el esfuerzo normal y el esfuerzo cortante, mostrando el intercepto de la cohesión con su respectivo ángulo de fricción. En complemento la Figura 7.17b presenta el esfuerzo aplicado y la deformación que ha sufrido la muestra (representado por las 3 líneas), además se puede determinar el comportamiento de la misma (dúctil o frágil).

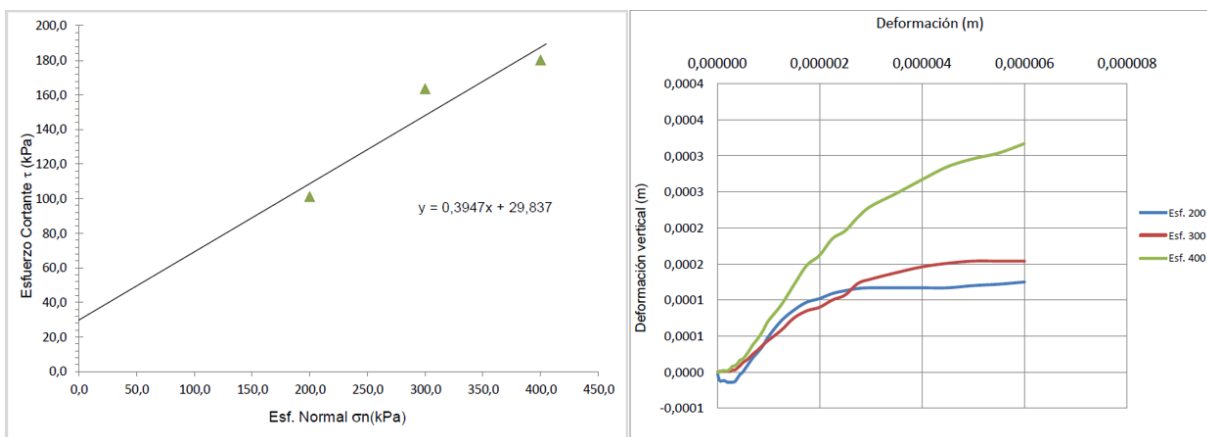


Figura 7.17. Gráficas esfuerzo-deformación pico obtenidas del ensayo de corte directo sobre la muestra M5 de la perforación P-10.

Fuente: Elaboración propia.

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

$$q_c = \frac{q_u}{2}(\text{kg/ccm}^2) \quad (35)$$

Donde q_c es la resistencia al corte y q_u es la compresión no confinada

El cálculo se basa en que el esfuerzo principal menor es cero y que el ángulo de fricción interna se supone cero, en el ensayo se aplica a la probeta la tensión longitudinal, puesto que no es necesario el dispositivo para aplicar la presión lateral, este método se podrá realizar de dos (2) formas, una es el control de deformación y la otro el control de esfuerzos, en el primero se controla la velocidad del avance, mientras que el segundo se realiza incrementando la carga paulatinamente.

7.3.6.7. Parámetros geotécnicos

La Tabla 7.10 resume las propiedades geotécnicas establecidas para cada uno de los materiales identificados en la zona de estudio, apoyados en la cartografía de las unidades geológicas superficiales (UGS), los resultados de la exploración del subsuelo y de los ensayos de laboratorio practicados en el municipio, expuestos en los numerales previos. En ella se discretizan las propiedades en función de su profundidad y UGS, dando valores promedios en cuanto a su clasificación, características básicas y resistencia.

Tabla 7.10. Resumen de los parámetros geotécnicos establecidos para los materiales presentes en la zona de estudio

MATERIAL	APIQUE PERF.	DESCRIPCIÓN	UGS	W	LL	LP	IP	USCS	%GRAVA	%ARENA	%FINOS	PESO UNITARIO SECO (g/cm³)	PESO UNITARIO HÚMEDO (g/cm³)	COMPRESIÓN INCONFINADA		CORTE PICO	
														Qu	GS	C (KPa)	FI (°)
M5	P-1	Suelo fino arenoso color café amarilloso	Star	3.8	27.6	12.6	15	SC	0	81.3	18.7	1.87	1.80	-	-	18.763	25.8
M4	P-9	Arcilla inorgánica de alta plasticidad, color café amarillosos con franjas color café oliva, consistencia media estado saturado, presencia de suelo arenoso	Sa	61.4	61.6	23.9	37.7	CH	4.7	15.6	79.7	1.01	1.63	-	-	39.001	25.4
M5	P-10	Arena arcillosa color oliva con franjas café y oxidaciones. Compacidad media estado húmedo	Sas	21.5	30.3	14.2	16.1	SC	0	53.1	46.9	1.51	1.83	-	2.682	29.837	21.54
M5	P-13	Arcilla inorgánica de baja plasticidad color café amarilloso con franjas café claro y vetas negras, consistencia media, estado húmedo	Sta	17.4	46.1	14.1	32	CL	0	12.2	87.8	1.73	2.03	-	-	48.693	21.5
M5	P-14	Arcilla inorgánica de baja plasticidad color gris verdoso claro con vetas café, consistencia dura, estado húmedo	Stl	14	26.6	13.6	13	CL	0	47.5	53.5	1.74	1.99	-	-	52.356	22.62
M3	AP-3	Arcilla inorgánica de alta plasticidad, color gris, consistencia media, estado húmedo, presencia de vetas café	Rivs	29.3	82.1	31.3	50.8	CH	0	0.5	99.5	1.45	1.87	0.98	2.669	7.437	21.27
M2	AP-6	Arcilla inorgánica de baja plasticidad color gris caferoso, consistencia dura, estado seco a húmedo	Stco	10.3	32.9	16.7	16.2	CL	0	36.7	63.3	1.82	2.0	10.8	2.638	-	-
M2	AP-8	Arcilla inorgánica de alta plasticidad color café, consistencia media, estado seco, presencia de roca meteorizada	Stat	20.7	60.1	27.1	33	CH	6.1	27.4	66.6	1.02	1.23	-	-	-	-
M2	AP-13	Limo inorgánico de baja compresibilidad color gris verdoso, consistencia muy firme, estado húmedo, presencia de vetas café claro	Rbvs	16.6	41.7	14.3	27.4	SC	13.9	39.6	46.5	1.69	1.96	5.08	2.682	-	-
M3	AP-14	Suelo Fino color gris caferoso claro con vetas amarillas, consistencia dura, estado húmedo	Sar	18.9	47.7	27.1	20.1	ML	0	17.4	82.6	1.61	1.91	2.76	2.657	10.147	21.26
M2	AP-20	Arcilla inorgánica de baja plasticidad color café amarilloso, consistencia muy firme, estado húmedo	Saj	27.6	32.2	16.3	15.9	CL	3.7	41.9	54.4	1.58	2.02	3.34	2.677	34.319	25.39

Fuente: Elaboración propia, a partir de los ensayos de laboratorio

Tabla 7.11. Relación de resultados de ensayos de laboratorio realizados a las muestras recuperadas en las labores de exploración en el municipio de Obando

ID EXPLORACIÓN	ID MUESTRA	PROFUNDIDAD [m]		PESO UNITARIO HÚMEDO (g/cm³)	PESO UNITARIO SECO (g/cm³)	HUMEDAD (%)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	GRANULOMETRÍA			CLASIFICACIÓN USCS	CORTE DIRECTO		COMPRESIÓN INCONFINADA		DESCRIPCIÓN
		DESDE	HASTA							% DE GRAVAS	% DE ARENAS	% DE FINOS		ÁNGULO DE FRICCIÓN PICO f(°)	COHESIÓN PICO	Qu	Gs	
P-01	M5	4	5	1.87	1.80	3.8	27.6	12.6	15	0	81.3	18.7	SC	25.80	18.763	-	-	Suelo fino arenoso color café amarilloso
P-02	M6	4.5	5	2.05	1.74	18.1	83.0	23.8	54.8	0	0.2	99.8	CH	20.52	8.198	-	-	Suelo fino color gris con vetas café amarilloso
P-03	M2	1	1.5	1.93	1.64	17.5	36.2	15.6	20.6	-	-	-	CL	-	-	4.31	-	Suelo fino color gris con vetas café y oxidaciones, consistencia blanda, estado húmedo, presencia de agregado

ID EXPLORACIÓN	ID MUESTRA	PROFUNDIDAD [m]		PESO UNITARIO HÚMEDO (g/cm ³)	PESO UNITARIO SECO (g/cm ³)	HUMEDAD (%)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	GRANULOMETRÍA			CLASIFICACIÓN USCS	CORTE DIRECTO		COMPRESION INCONFINADA		DESCRIPCIÓN
		DESDE	HASTA							% DE GRAVAS	% DE ARENAS	% DE FINOS		ÁNGULO DE FRICCIÓN PICO f (°)	COHESIÓN PICO	Qu	Gs	
P-03	M3	1.5	2.5	1.96	1.68	16.6	36.7	16.5	20.2	-	-	-	CL	-	-	-	-	Suelo fino color gris con vetas y oxidaciones cafés, consistencia firme, estado húmedo, presencia de roca meteorizada
P-03	M4	2.5	3.5	1.82	1.53	18.5	50	20.2	28.8	0	20.2	79.8	CH	-	-	-	-	Suelo fino color gris con vetas y oxidaciones cafés, consistencia firme, estado húmedo
P-04	M2	1.5	2.0	1.96	1.86	5.5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Suelo granular color gris con partículas de cantos angulosos y sub angulosos, cementación fuerte, estado húmedo
P-04	M3	2.0	3.0	1.64	1.57	4.5	32.8	15.9	16.9	-	-	-	CL	-	-	-	-	Suelo granular color gris con partículas de cantos angulosos y sub angulosos, cementación fuerte, estado húmedo
P-04	M4	3.5	4.5	1.57	1.45	8.4	38.6	16.1	22.5	29.3	35.6	35.1	SC	-	-	-	-	Arena arcillosa color café claro, compacidad firme, estado húmedo, presencia de suelo granular con partículas cantos sub angulosos de alta dureza
P-05	M6	4.5	5	2.27	1.76	28.6	56	30	26	0	1.6	98.4	MH	-	-	14.31	-	Suelo fino gris claro con trazos rojos
P-06	M4	3.5	5	2.04	1.96	4.5	22.1	12.8	9.3	10.8	72.9	16.3	SC	21.43	40.315	-	-	Suelo fino color gris claro con vetas cafés
P-07	M2	1.0	1.5	1.54	1.46	5.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Suelo arenoso color café, compacidad media, estado húmedo
P-07	M3	1.5	2.5	1.72	1.63	5.4	34	17.2	16.8	-	-	-	CL	-	-	-	-	Suelo fino arenoso color café amarilloso
P-07	M4	3	4	1.5	1.26	19.2	42.8	22.8	20	0	13.6	86.4	CL	-	-	-	-	Arcilla inorgánica de baja plasticidad color café pálido con trazos rojos y oxidaciones café, consistencia media estado de seco a húmedo
P-08	M5	4	4.5	1.73	1.3	31.9	32	24.1	7.9	1.2	26.5	72.3	ML	22.97	7.774	-	-	Suelo fino color amarillo pálido con vetas cafés y amarillas
P-09	M1	0	1.5	1.78	1.35	31.8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Suelo fino color gris claro con vetas cafés, consistencia blanda, estado húmedo
P-09	M2	1.5	2.5	1.7	1.2	41.4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Suelo fino color gris claro con vetas café amarilloso, consistencia firme, estado húmedo
P-09	M3	2.5	3.5	1.79	1.53	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Suelo fino arenoso color café claro con vetas rojizas
P-09	M4	4	5	1.63	1.01	61.4	61.6	23.9	37.7	4.7	15.6	79.7	CH	25.4	39.001	-	-	Arcilla inorgánica de alta plasticidad, color café amarillosos con franjas color café oliva,

ID EXPLORACIÓN	ID MUESTRA	PROFUNDIDAD [m]		PESO UNITARIO HÚMEDO (g/cm ³)	PESO UNITARIO SECO (g/cm ³)	HUMEDAD (%)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	GRANULOMETRÍA			CLASIFICACIÓN USCS	CORTE DIRECTO		COMPRESION INCONFINADA		DESCRIPCIÓN
		DESDE	HASTA							% DE GRAVAS	% DE ARENAS	% DE FINOS		ÁNGULO DE FRICCIÓN PICO f _c	COHESIÓN PICO	Qu	G _s	
																		consistencia media estado saturado, presencia de suelo arenoso
P-10	M5	3.5	4.5	1.83	1.51	21.5	30.3	14.2	16.1	0	53.1	46.9	SC	21.54	29.837	-	2.682	Arena arcillosa color oliva con franjas café y oxidaciones. Compacidad media estado húmedo
P-10	M6	4.5	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.73	-	Suelo fino arenoso color oliva con franjas café y oxidaciones
P-11	M2	1	1.5	1.96	1.56	25	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Suelo fino color negro, consistencia dura, estado húmedo
P-11	M3	2	3	2.18	1.98	10	60.4	25.1	35.3	-	-	-	CH	-	-	-	-	Suelo fino color café claro, compacidad media estado seco a húmedo
P-11	M4	3	4	1.88	1.72	9.1	27	16	11	0	55	45	SC	-	-	-	-	Arena arcillosa color café, compacidad media estado húmedo a seco
P-12	M1	1	2	1.92	1.56	23.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Suelo fino arenoso color gris con vetas café, consistencia firme a dura, estado húmedo
P-12	M2	2	3	1.89	1.69	11.5	26.7	16	10.8	-	-	-	CL	-	-	-	-	Suelo granular color café, cementación fuerte, estado húmedo, con matriz de suelo fino color café en estado saturado
P-12	M3	3	4	2.02	1.77	14.6	NL	NP	NP	34.7	51	14.3	SM	-	-	-	-	Arena limosa color café, compacidad firme, estado saturado, presencia de partículas de alta dureza
P-13	M5	4.5	5	2.03	1.73	17.4	46.1	14.1	32	0	12.2	87.8	CL	21.5	48.693	-	-	Arcilla inorgánica de baja plasticidad color café amarilloso con franjas café claro y vetas negras, consistencia media, estado húmedo
P-14	M5	4	4.5	1.99	1.74	14	26.6	13.6	13	0	47	53	CL	22.62	52.356	-	-	Arcilla inorgánica de baja plasticidad color gris verdoso claro con vetas café, consistencia dura, estado húmedo
P-14	M6	4.5	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4.44	-	Suelo fino color gris verdoso claro con vetas café, consistencia dura, estado húmedo
P-15	M6	3	4	1.88	1.44	30.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Suelo fino color gris con vetas rojas, consistencia dura, estado seco a húmedo
P-15	M7	4	5	1.07	1.32	28.9	60.5	23.9	36.6	0.2	4.5	95.4	CH	-	-	4.4	2.63	Arcilla inorgánica de alta plasticidad color gris con vetas

ID EXPLORACIÓN	ID MUESTRA	PROFUNDIDAD [m]		PESO UNITARIO HÚMEDO (g/cm ³)	PESO UNITARIO SECO (g/cm ³)	HUMEDAD (%)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	GRANULOMETRÍA			CLASIFICACIÓN USCS	CORTE DIRECTO		COMPRESIÓN INCONFINADA		DESCRIPCIÓN
		DESDE	HASTA							% DE GRAVAS	% DE ARENAS	% DE FINOS		ÁNGULO DE FRICCIÓN PICO f _c	COHESIÓN PICO	Qu	G _s	
																		rojas, consistencia firme estado húmedo
P-16	M5	4	4.5	-	-	5.6	42.4	16.7	25.7	13.3	64.1	22.6	SC	27.63	67.074	-	-	Arena arcillosa color café amarillosos, compacidad firme, estado húmedo, presencia de roca meteorizada de alta dureza
P-16	M6	4.5	5	1.82	1.73	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.05	-	Suelo granular color gris y café, presencia de partículas angulosas, cementación fuerte, estado húmedo, presencia de suelo fino color café
P-17	M2	0.85	1.5	1.86	1.48	26.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Suelo fino color café amarilloso con vetas grises y oxidaciones café, consistencia firme, estado húmedo
P-17	M3	1.5	2.5	1.93	1.59	21.3	30.8	14	16.9	-	-	-	CL	-	-	-	-	Suelo fino color gris con vetas café, consistencia firme, estado húmedo
P-17	M4	3	4.5	1.94	1.65	17.4	NL	NP	NP	0.1	71.2	28.7	SM	-	-	-	-	Arena limosa color café amarilloso, compacidad media, estado húmedo
P-18	M5	4	4.5	2	1.74	15.3	19.7	11.9	7.8	0.6	52.4	47	SC			1.72	2.669	Arena arcillosa color café amarilloso, compacidad firme, estado húmedo
P-19	M2	1	1.5	2.15	1.96	9.6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	Suelo fino color café con oxidaciones café, consistencia muy dura, estado seco
P-19	M3	2	3	2.09	1.94	7.8	32.4	14.4	18.1	-	-	-	CL	-	-	-	-	Suelo fino arenoso color café amarilloso con vetas rojizas, compacidad firme, estado seco a húmedo
P-19	M4	3	4	2.01	1.79	12	61.2	20.2	40.9	0	5.6	94.4	CH	-	-	-	-	Arcilla inorgánica de alta plasticidad color gris cafésoso con vetas rojas, consistencia dura, estado seco a húmedo
AP-1	M3	1.1	2	1.54	1.48	4.3	28.9	16.2	12.7	58.1	23.6	18.2	GC			-	2.68	Grava arcillosa color café claro, cementación moderada, estado seco húmedo, presencia de partículas e origen aluvial de cantos sub redondeados de alta y baja dureza
AP-2	M3	1.5	2	1.92	1.65	15.8	47.3	22.3	25	0.5	28.9	70.6	CL	-	-	-	-	arcilla inorgánica de baja plasticidad color café grisáceo, consistencia dura, presencia de partículas deleznales
AP-3	M3	1.2	2	1.87	1.45	29.3	82.1	31.3	50.8	0	0.5	99.5	CH	21.27	7.437	0.98	2.669	Arcilla inorgánica de alta plasticidad, color gris, consistencia

ID EXPLORACIÓN	ID MUESTRA	PROFUNDIDAD [m]		PESO UNITARIO HÚMEDO (g/cm ³)	PESO UNITARIO SECO (g/cm ³)	HUMEDAD (%)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	GRANULOMETRÍA			CLASIFICACIÓN USCS	CORTE DIRECTO		COMPRESIÓN INCONFINADA		DESCRIPCIÓN
		DESDE	HASTA							% DE GRAVAS	% DE ARENAS	% DE FINOS		ÁNGULO DE FRICCIÓN PICO f (°)	COHESIÓN PICO	Qu	Gs	
																		media, estado húmedo, presencia de vetas cafés
AP-4	M2	1	2	1.77	1.24	42.7	87.3	27.1	60.2	0.1	3.4	96.4	CH	-	-	-	-	Arcilla inorgánica de alta plasticidad, color gris cafésoso, consistencia blanda, estado húmedo, presencia de vetas cafés
AP-5	M2	1	2	1.83	1.42	29.4	72	22	50	0	2.7	97.3	CH					Arcilla inorgánica de alta plasticidad color gris, consistencia firme, estado húmedo, presencia de vetas oliva
AP-6	M2	0.8	2	2	1.82	10.3	32.9	16.7	16.2	0	36.7	63.3	CL	-	-	10.8	2.638	Arcilla inorgánica de baja plasticidad color gris cafésoso, consistencia dura, estado seco a húmedo
AP-7	M3	1.3	2	1.44	0.8	79.8	126.9	42.5	84.4	0	4.5	95.5	CH	-	-	-	-	Arcilla inorgánica de alta plasticidad color café grisáceo, consistencia media, estado húmedo, presencia de vetas cafés y oxidaciones
AP-8	M2	0.7	2	1.23	1.02	20.7	60.1	27.1	33	6.1	27.4	66.6	CH	-	-	-	-	Arcilla inorgánica de alta plasticidad color café, consistencia media, estado seco, presencia de roca meteorizada
AP-9	M2	0.8	2	1.68	1.52	10.4	25.2	14	11.2	0.6	42.2	57.2	CL	-	-	-	-	Arcilla inorgánica de baja plasticidad color gris, consistencia dura, estado seco a húmedo
AP-10	M3	1.2	2	1.51	1.43	5.6	26.8	11.6	15.2	31.3	40.2	28.5	SC	-	-	-	2.65	Arena arcillosa color café amarillosos, compacidad firme, estado húmedo, presencia de partículas sub redondeadas de alta dureza y oxidaciones
AP-11	M2	0.7	2	1.82	1.62	12.3	33.9	19.8	14.1	0	41.7	58.3	CL	-	-	-	-	Arcilla inorgánica de baja plasticidad color gris cafésoso, consistencia dura, estado seco a húmedo
AP-12	M2	1	2	1.87	1.68	11.2	45.1	14.8	30.3	1	30.9	68.1	CL	-	-	-	2.695	Arcilla inorgánica de baja plasticidad color café, consistencia dura, estado húmedo, presencia de oxidaciones
AP-13	M2	1	2	1.96	1.69	16.6	41.7	14.3	27.4	13.9	39.6	46.5	SC	-	-	5.08	2.682	Arena arcillosa color gris verdoso, compacidad dura, estado húmedo, presencia de vetas amarillas y partículas sub redondeadas
AP-14	M3	0.9	2	1.91	1.61	18.9	47.7	27.6	20.1	0	17.4	82.6	ML	21.26	10.147	2.76	2.657	Limo inorgánico de baja compresibilidad color gris verdoso, consistencia muy firme, estado

ID EXPLORACIÓN	ID MUESTRA	PROFUNDIDAD [m]		PESO UNITARIO HÚMEDO (g/cm ³)	PESO UNITARIO SECO (g/cm ³)	HUMEDAD (%)	LÍMITE LÍQUIDO (%)	LÍMITE PLÁSTICO (%)	ÍNDICE DE PLASTICIDAD (%)	GRANULOMETRÍA			CLASIFICACIÓN USCS	CORTE DIRECTO		COMPRESION INCONFINADA		DESCRIPCIÓN
		DESDE	HASTA							% DE GRAVAS	% DE ARENAS	% DE FINOS		ÁNGULO DE FRICCIÓN PICO f (°)	COHESIÓN PICO	Qu	Gs	
																		húmedo, presencia de vetas café claro
AP-15	M3	1.2	2	1.93	1.57	22.5	46	18.9	27.1	-	-	-	CL	-	-	2.14	-	Suelo Fino color gris cafésoso claro con vetas amarillas, consistencia dura, estado húmedo
AP-16	M3	1	1.5	1.91	1.65	15.9	40.4	16.8	23.6	-	-	-	CL	-	-	-	-	Suelo fino color café claro, consistencia dura, estado húmedo
AP-17	M3	1.1	2	1.84	1.51	22.1	64.3	19.1	45.2	-	-	-	CH	-	-	-	-	Suelo fino color oliva claro con vetas café, consistencia dura, estado seco a húmedo
AP-18	M2	0.9	2	2.09	1.57	33.3	49	21	28	0	30.8	69.2	CL	-	-	2.44	2.633	Arcilla inorgánica de baja plasticidad color gris claro con vetas café amarillosas, consistencia muy firme, estado seco a húmedo
AP-19	M4	1.2	2	1.83	1.37	34.3	71	28.3	42.7	-	-	-	CH	-	-	-	-	Suelo fino color café amarilloso claro, consistencia blanda, estado húmedo, presencia de vetas grises
AP-20	M2	0.8	2	2.02	1.58	27.6	32.2	16.3	15.9	3.7	41.9	54.4	CL	25.39	34.319	3.34	2.677	Arcilla inorgánica de baja plasticidad color café amarilloso, consistencia muy firme, estado húmedo

Fuente: Elaboración propia

7.4. MODELO GEOLÓGICO-GEOTÉCNICO

Bajo los lineamientos anteriores y con el fin de realizar la evaluación de estabilidad, se establecieron tres (3) secciones o modelos geológico-geotécnicos de análisis, representativos de la condición actual del terreno y cuya localización se muestra sobre el mapa (Figura 7.18). 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.

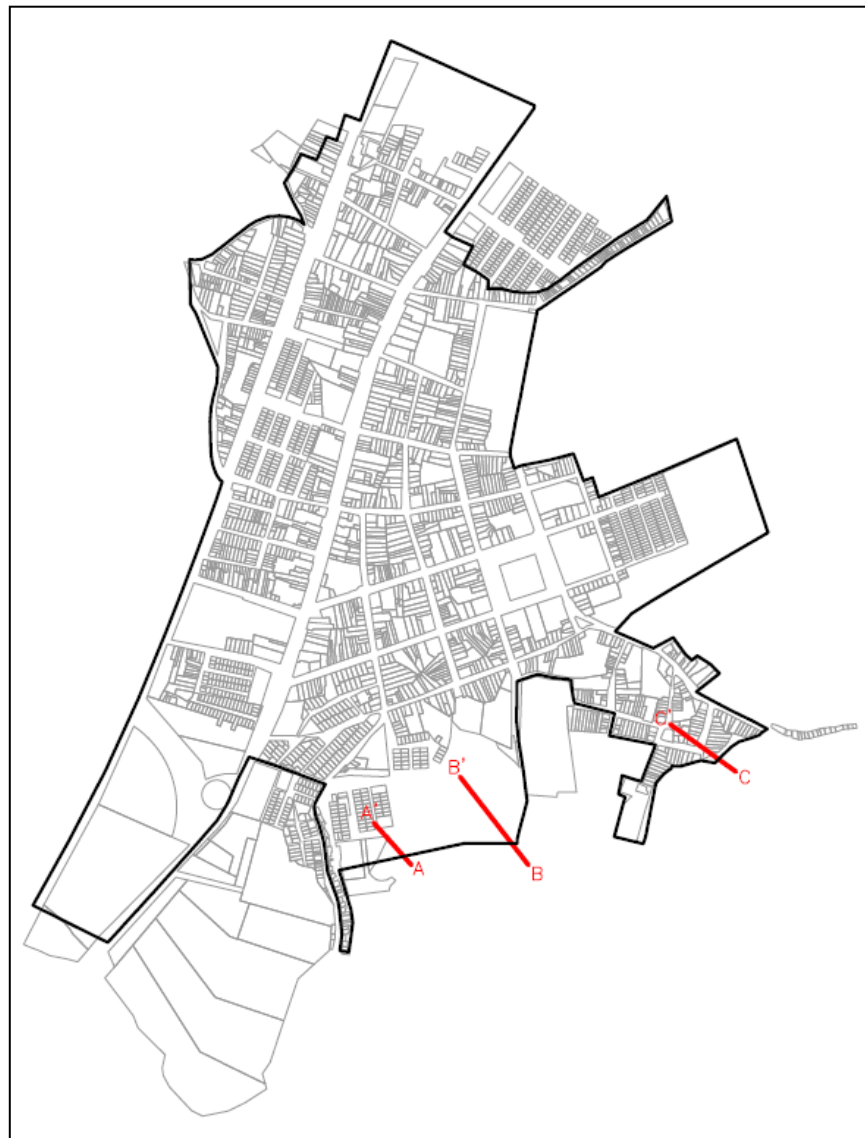


Figura 7.18. Ubicación secciones de análisis Municipio de Obando

Fuente: elaboración propia

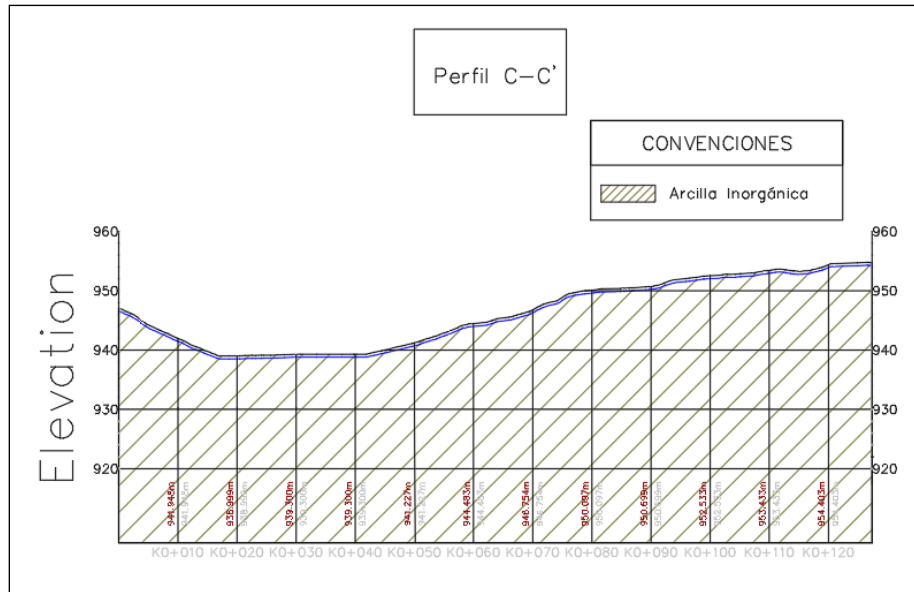


Figura 7.21. Perfil CC' sección de análisis

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 7.9) 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 confinadas 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 7.12.

Tabla 7.12. Parámetros de resistencia para los diferentes materiales presentes en la zona

UNIDAD	C (Kpa)	Φ (°)	γ (KN/m ³)
Rbvs	40	21	17.4
Rivs	49	0	17.4
Sa	26	23	10.1
Saj	34	25	15.8
Sar	10	21	16.1
Sas	30	22	15.1
Sta	20	23	17.3
Star	19	26	18.0
Stat	54	28	17.8
Stco	36	30	17.0
Stl	38	24	17.5

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 30 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 realizar 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 Obando, 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.

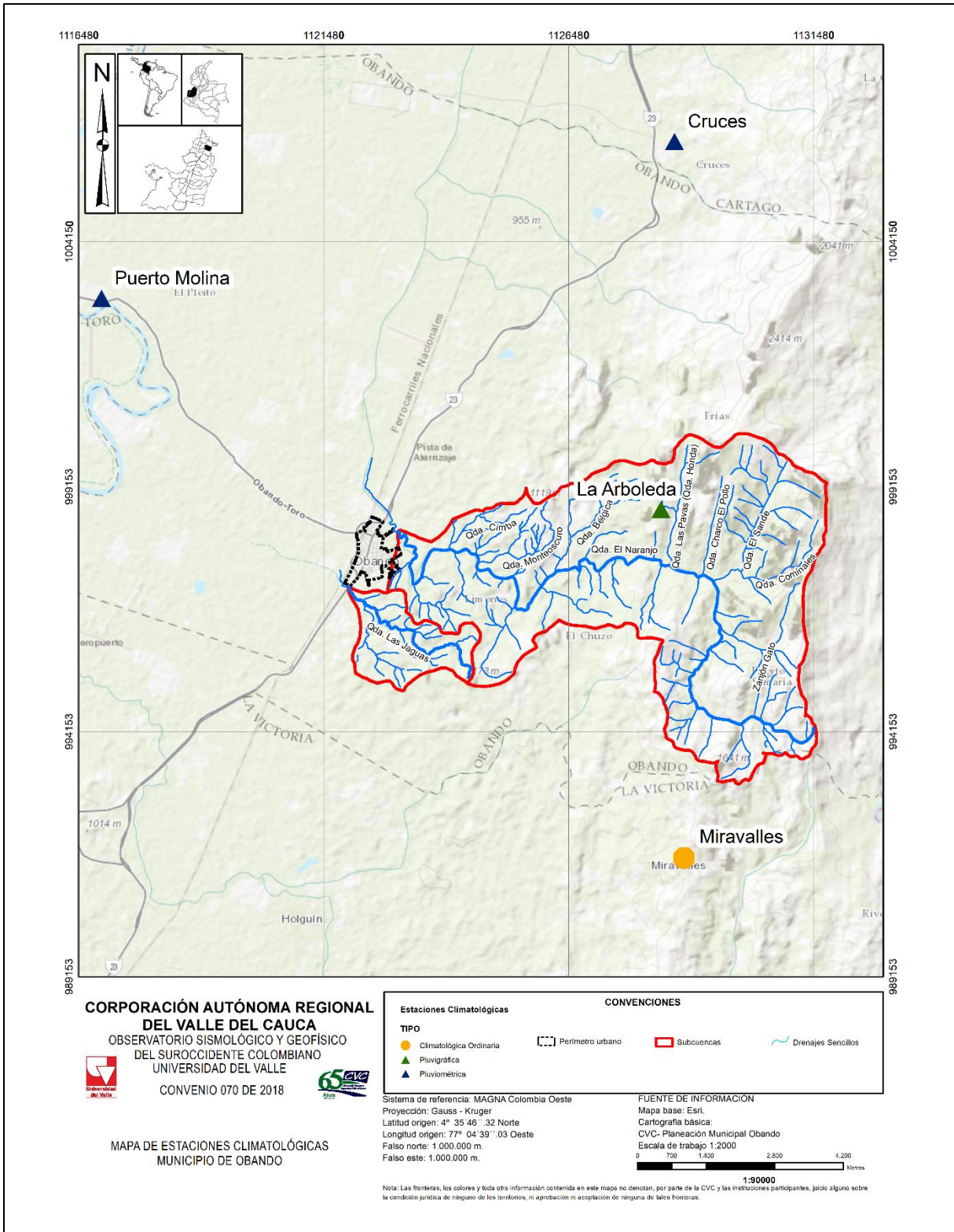


Figura 7.22. Distribución espacial de estaciones hidroclimáticas
Fuente: elaboración propia

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 Puerto Molina, 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.

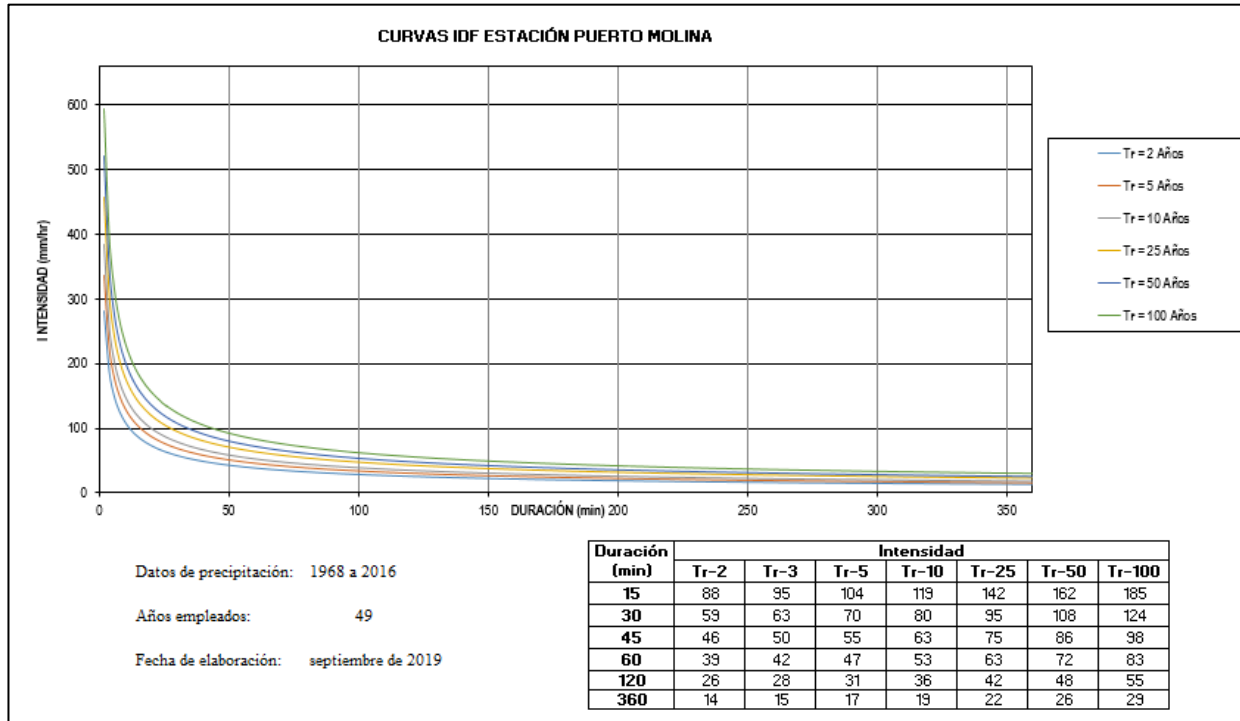


Figura 7.23. Curvas de Intensidad, Duración y Frecuencia con datos de la estación Puerto Molina

Fuente: CVC, (2019)

Una vez se aplicó la ecuación en el área de estudio se elabora la Tabla 7.13, 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 7.13. Resultados del cálculo del nivel freático para diferentes periodos de retorno según la unidad geológica superficial

UNIDAD GEOLOGICA SUPERFICIAL	PROFUNDIDAD N.F. (m)	PROFUNDIDAD N.F. (mm)	Intensidad TR 5 AÑOS (mm/hr)	INTENSIDAD TR 10 AÑOS (mm/hr)	INTENSIDAD TR 25 AÑOS (mm/hr)	INTENSIDAD TR 50 AÑOS (mm/hr)	INTENSIDAD TR 100 AÑOS (mm/hr)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	CV Pf (mm)	P.N.F. ₅ (m)	P.N.F. ₁₀ (m)	P.N.F. ₂₅ (m)	P.N.F. ₅₀ (m)	P.N.F. ₁₀₀ (m)
Sa	5.00	5000						2073.64	45.08	2.43	2.07	1.52	1.04	0.49
Saj	5.00	5000						1581.14	31.62	2.45	2.09	1.54	1.06	0.51
Sar	5.00	5000						1581.14	31.62	2.45	2.09	1.54	1.06	0.51
Sas	5.00	5000						1581.14	31.62	2.45	2.09	1.54	1.06	0.51
Sta	5.00	5000						1581.14	31.62	2.45	2.09	1.54	1.06	0.51
Star	5.00	5000	104.00	119.00	142.00	162.00	185.00	1581.14	31.62	2.45	2.09	1.54	1.06	0.51
Stat	5.00	5000						1581.14	31.62	2.45	2.09	1.54	1.06	0.51
Stco	5.00	5000						1581.14	31.62	2.45	2.09	1.54	1.06	0.51
Stl	5.00	5000						1581.14	31.62	2.45	2.09	1.54	1.06	0.51
Rbvs	5.00	5000						1581.14	31.62	2.45	2.09	1.54	1.06	0.51
Rivs	5.00	5000						1581.14	31.62	2.45	2.09	1.54	1.06	0.51

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 Obando 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 7.14,

Tabla 7.14. 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 CC’ 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 7.15.

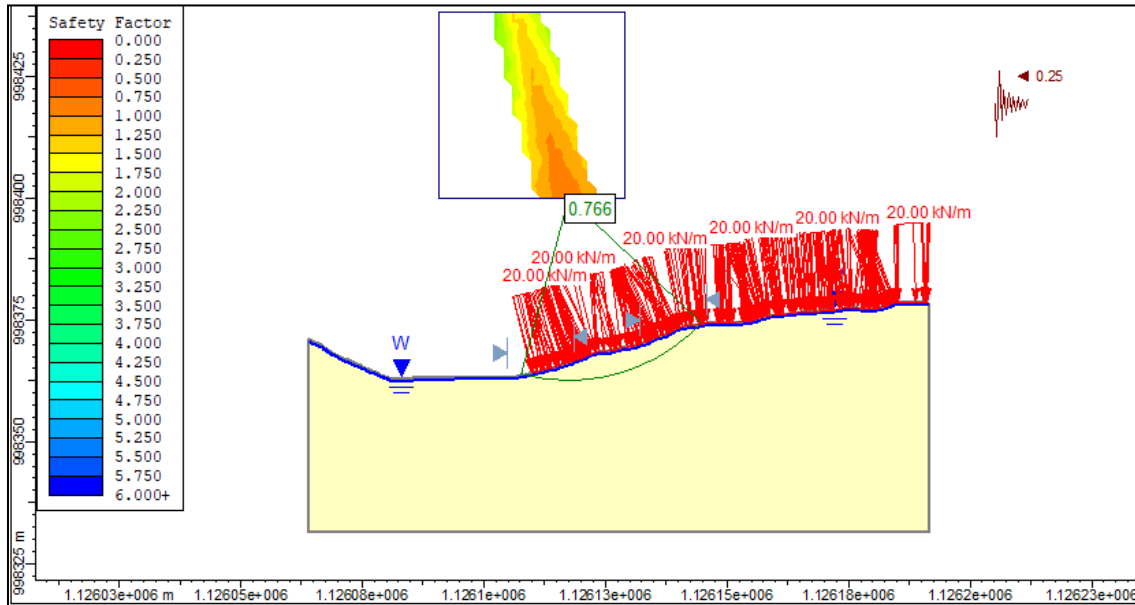


Figura 7.24. Análisis de estabilidad Sección CC', escenario futuro, condición sin obras
Fuente: elaboración propia

Tabla 7.15. 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	0.766	100%

Fuente: elaboración propia

Una vez realizada la modelación, se procede a espacializar los resultados de la amenaza por movimientos en masa en el casco urbano del municipio de Obando, donde se denota que las áreas con amenaza alta corresponden aquellas con pendientes ente 16 y 55 grados.

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 Obando (Tabla 7.16 a 7.26).

Tabla 7.16. Parámetros geomecánicos empleados en la modelación de la UGS Sa en el municipio de Obando

PARÁMETROS GEOMECÁNICOS Y DE MODELACIÓN	Sa		VALOR
	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	
Angulo de Fricción (°)	23	2.43	-
Cohesión (kN/m ²)	26	9.1	-
Peso Unitario (kN/m ³)	10.1	1.01	-
Superficie de falla (m)	4.5	-	-
Tamaño de celda (m)	-	-	2 x 2

Fuente: elaboración propia

Tabla 7.17. Parámetros geomecánicos empleados en la modelación de la UGS Saj en el municipio de Obando

PARÁMETROS GEOMECÁNICOS Y DE MODELACIÓN	Saj		VALOR
	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	
Angulo de Fricción (°)	25	2.67	-
Cohesión (kN/m ²)	34	11.90	-
Peso Unitario (kN/m ³)	15.8	1.58	-
Superficie de falla (m)	2	-	-
Tamaño de celda (m)	-	-	2 x 2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.18. Parámetros geomecánicos empleados en la modelación de la UGS Sar en el municipio de Obando

PARÁMETROS GEOMECÁNICOS Y DE MODELACIÓN	Sar		VALOR
	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	
Angulo de Fricción (°)	21	2.20	-
Cohesión (kN/m ²)	10	3.50	-
Peso Unitario (kN/m ³)	16.1	1.61	-
Superficie de falla (m)	2	-	-
Tamaño de celda (m)	-	-	2 x 2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.19. Parámetros geomecánicos empleados en la modelación de la UGS Sas en el municipio de Obando

PARÁMETROS GEOMECÁNICOS Y DE MODELACIÓN	Sas		VALOR
	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	
Angulo de Fricción (°)	22	2.31	-
Cohesión (kN/m ²)	30	10.50	-
Peso Unitario (kN/m ³)	15.1	1.51	-
Superficie de falla (m)	5	-	-
Tamaño de celda (m)	-	-	2 x 2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.20. Parámetros geomecánicos empleados en la modelación de la UGS Sta en el municipio de Obando

PARÁMETROS GEO MECÁNICOS Y DE MODELACIÓN	Sta		
	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	VALOR
Angulo de Fricción (°)	23	2.43	-
Cohesión (kN/m ²)	20	7.00	-
Peso Unitario (kN/m ³)	17.3	1.73	-
Superficie de falla (m)	3.89	-	-
Tamaño de celda (m)	-	-	2 x 2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.21. Parámetros geomecánicos empleados en la modelación de la UGS Star en el municipio de Obando

PARÁMETROS GEO MECÁNICOS Y DE MODELACIÓN	Star		
	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	VALOR
Angulo de Fricción (°)	26	2.79	-
Cohesión (kN/m ²)	19	6.65	-
Peso Unitario (kN/m ³)	18	1.80	-
Superficie de falla (m)	2.08	-	-
Tamaño de celda (m)	-	-	2 x 2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.22. Parámetros geomecánicos empleados en la modelación de la UGS Stat en el municipio de Obando

PARÁMETROS GEO MECÁNICOS Y DE MODELACIÓN	Stat		
	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	VALOR
Angulo de Fricción (°)	28	3.04	-
Cohesión (kN/m ²)	54	18.90	-
Peso Unitario (kN/m ³)	17.8	1.78	-
Superficie de falla (m)	3.33	-	-
Tamaño de celda (m)	-	-	2 x 2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.23. Parámetros geomecánicos empleados en la modelación de la UGS Stco en el municipio de Obando

PARÁMETROS GEO MECÁNICOS Y DE MODELACIÓN	Stco		
	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	VALOR
Angulo de Fricción (°)	30	3.30	-
Cohesión (kN/m ²)	36	12.60	-
Peso Unitario (kN/m ³)	17	1.70	-
Superficie de falla (m)	2.6	-	-
Tamaño de celda (m)	-	-	2 x 2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.24. Parámetros geomecánicos empleados en la modelación de la UGS Stl en el municipio de Obando

PARÁMETROS GEO MECÁNICOS Y DE MODELACIÓN	Stl		
	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	VALOR
Angulo de Fricción (°)	24	2.55	-
Cohesión (kN/m ²)	38	13.30	-
Peso Unitario (kN/m ³)	17.5	1.75	-
Superficie de falla (m)	4.3	-	-
Tamaño de celda (m)	-	-	2 x 2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.25. Parámetros geomecánicos empleados en la modelación de la UGS Rbvs en el municipio de Obando

PARÁMETROS GEO MECÁNICOS Y DE MODELACIÓN	Rbvs		
	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	VALOR
Angulo de Fricción (°)	21	2.20	-
Cohesión (kN/m ²)	40	14.00	-
Peso Unitario (kN/m ³)	17.4	1.74	-
Superficie de falla (m)	3.6	-	-
Tamaño de celda (m)	-	-	2 x 2

Fuente: Elaboración propia

Tabla 7.26. Parámetros geomecánicos empleados en la modelación de la UGS Rivs en el municipio de Obando

PARÁMETROS GEO MECÁNICOS Y DE MODELACIÓN	Rivs		
	MEDIA	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	VALOR
Angulo de Fricción (°)	0	0.00	-
Cohesión (kN/m ²)	49	17.15	-
Peso Unitario (kN/m ³)	17.4	1.74	-
Superficie de falla (m)	3.5	-	-
Tamaño de celda (m)	-	-	2 x 2

Fuente: Elaboración propia

Debido a la variabilidad intrínseca de los parámetros de resistencia de los materiales detectados in situ, se tomaron valoraciones estadísticas tomando como base el Eurocode, el cual recomienda valores de coeficientes de variación que permiten modelar la incertidumbre asociada cuando no se cuenta con una nube de datos estadísticamente significativa de los parámetros de resistencia.

En el caso de estudio se tomaron los coeficientes de variación (COV) relacionados en la (Tabla 7.27).

Tabla 7.27. Valoración incertidumbre coeficientes de variación en el municipio de Obando

PARÁMETROS GEOMECÁNICOS DE MODELACIÓN	MEDIA	COV (%)	VALOR
Angulo de fricción (°)	31	10	-
Cohesión (kN/m ²)	8	35	-
Peso unitario (kN/m ³)	22	10	-
Superficie de falla (m)	1.5	0	-
Tamaño de celda (m)	-	-	2x 2

Fuente: elaboración propia

Similar a los análisis de estabilidad anteriores, se consideró el escenario actual y cuyos resultados se expresan en función del F.S y de la Pf, así:

Escenario Futuro - Talud parcialmente saturado con sismo correspondiente a tiempo de exposición de 50 años: Este escenario representa un periodo crítico de lluvias y adicionalmente se presenta un sismo de baja probabilidad de ocurrencia anual, pero de intensidad alta con $A_a = 0.25$.

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 7.28), la espacialización de los niveles de amenaza por movimientos en masa se observa en la Figura 7.25.

Tabla 7.28. Categorización de la Amenaza, Resolución 227 de 2006

TIEMPO DE EXPOSICIÓN T_e (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).

Para el casco urbano del municipio de Obando, se puede denotar que los niveles de amenaza alta se concentran en el Sur occidente del municipio, afectando principalmente el barrio Las Brisas, el cual posee un 7% de la amenaza alta total que posee el área de estudio, También se debe tener en cuenta el barrio San Rafael, aunque los niveles de amenaza alta no se encuentran dentro del barrio, este se ha visto afectado por el desenlace de este evento natural, como se puede denotar en el mapa.

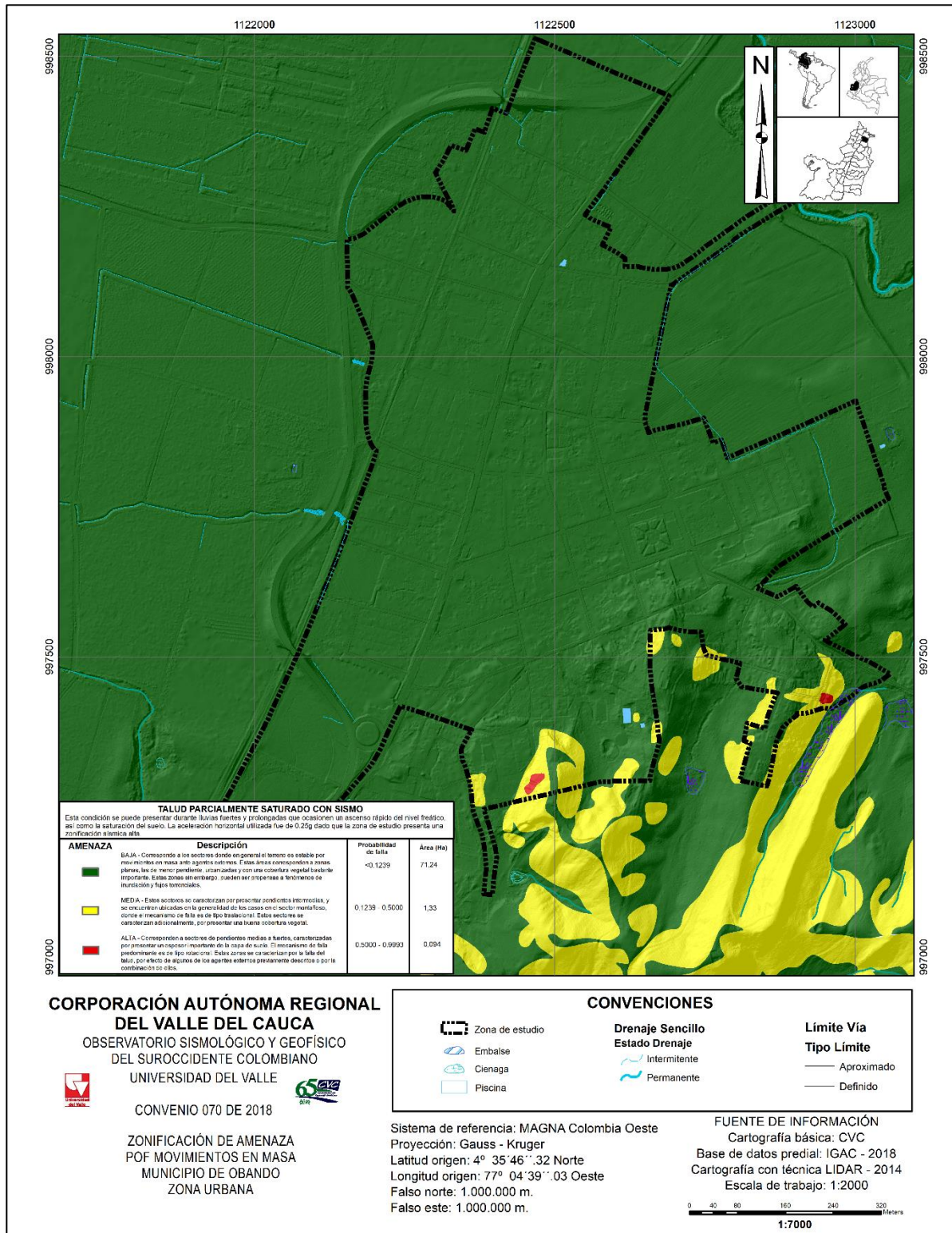


Figura 7.25. Mapa de amenaza categorizado correspondiente a la condición futura para el municipio de Obando

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 antrópicos. 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 7.29, destacándose los siguientes aspectos:

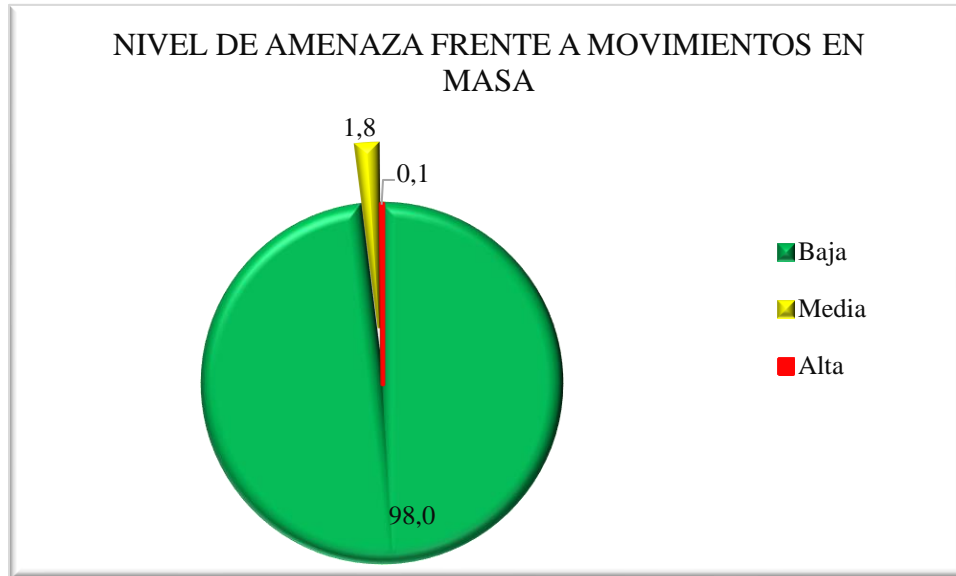


Figura 7.26. Distribución de niveles de amenaza para la condición futura en el municipio de Obando

Fuente: elaboración propia

Tabla 7.29. Áreas según los niveles de amenaza para la condición futura en el municipio de Obando

NIVEL DE AMENAZA	ÁREA NIVEL DE AMENAZA (Ha)	PREDIOS
Alta	0,094	3
Media	1,33	71
Baja	71,24	2616

Fuente: elaboración propia

Las zonas que presentan amenaza alta y media corresponden principalmente a áreas de rellenos antrópicos en las cuales la geomorfología indica que han ocurrido deslizamientos, estas áreas se localizan en mayor proporción en el barrio Las Brisas, en el cual el 0,3% de su área (aproximadamente 0,0070 Ha) posee niveles de amenaza alta y el 6,63% (0,171 Ha, aproximadamente) está en media (Tabla 7.30). Por fuera del casco urbano, también se presentan zonas con niveles de amenaza alta y media, los cuales se localizan en sectores específicamente ubicados al sur occidente del municipio de Obando.

Tabla 7.30. 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 (%)
Las Brisas	0,007	7,351	0,1709	12,853	2,400	3.370

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.

$$V = \left(\frac{1}{6} \pi D_r W_r L_r\right) f_{exp} \quad (36)$$

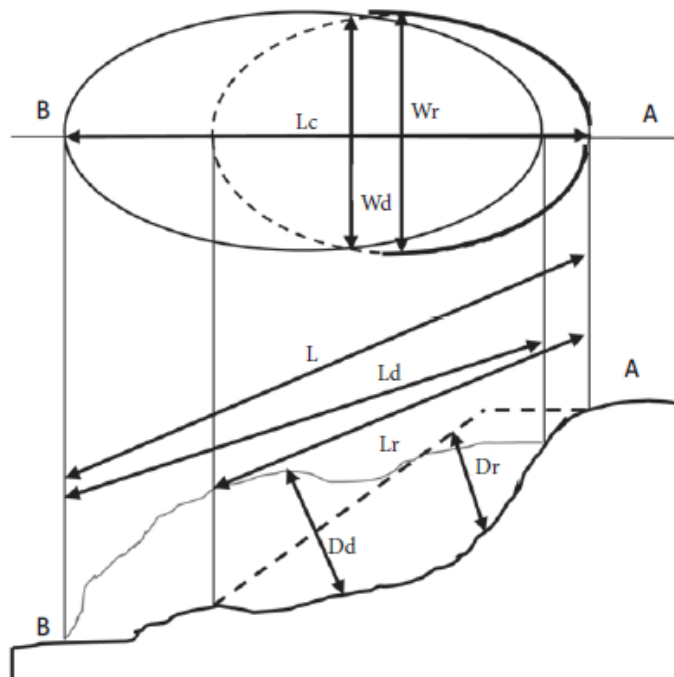


Figura 7.27. Determinación del volumen de un deslizamiento

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 7.31 y 7.32).

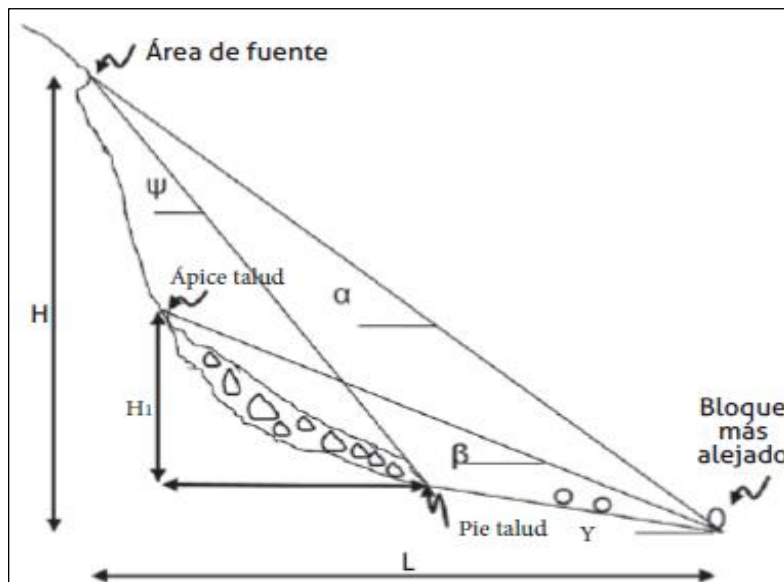


Figura 7.28. Variables geométricas para definir la distancia de viaje de un deslizamiento
Fuente: Hungr et al., 2005

Tabla 7.31. 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 7.32. Ecuaciones de regresión para $\log (H/L) = A + B * \log V$

TIPO DE DESLIZAMIENTO	TRAYECTORIA	A	B	R2
Caída de rocas	Todo	0,210	- 0,109	0,76
	Obstruido	0,231	- 0,091	0,83
	Sin obstruir	0,167	- 0,119	0,92
Deslizamiento traslacional	Todo	- 0,159	- 0,068	0,67
	Obstruido	- 0,133	- 0,057	0,76
	Sin obstruir -	0,143	- 0,080	0,80
Flujo de detritos	Todo	- 0,012	- 0,105	0,76
	Obstruido	- 0,049	- 0,108	0,85
	Sin obstruir -	0,031	- 0,102	0,87
Flujos de tierra	Todo	- 0,214	- 0,070	0,65
	Sin obstruir -	0,220	- 0,138	0,91

Fuente: Corominas (1996) para diferentes materiales (Hung 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).

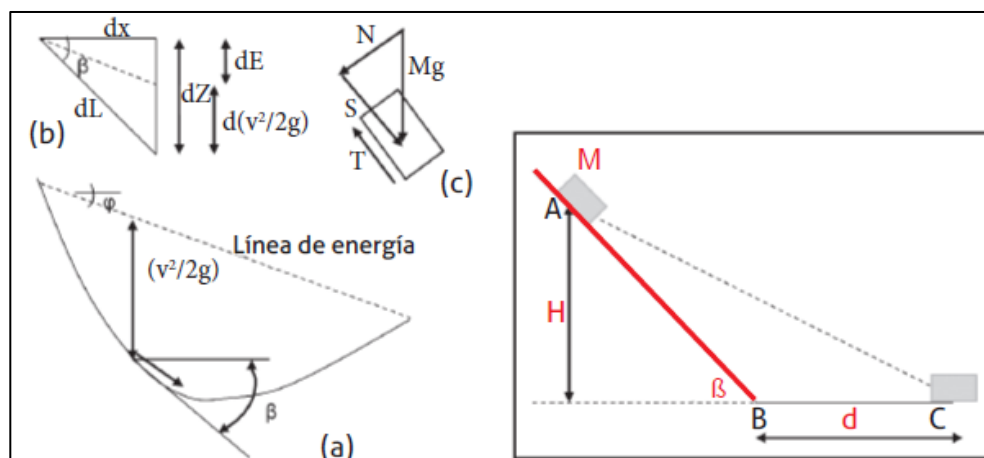


Figura 7.29. Bloque deslizante, consideraciones dinámicas. a) Perfil de la trayectoria. b) Geometría local del contacto. c) Diagrama de fuerzas. d) Planteamiento del problema

Fuente: Yue, 2014

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

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

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

$$V_{AB} = \sqrt{2Hg \left(1 - \frac{\tan \phi}{\tan \beta} \right)} \quad (37)$$

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

$$d = \left(1 - \frac{\tan \phi}{\tan \beta} \right) \frac{H}{\tan \phi_p} \quad (38)$$

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

$$V_{BC}^2 V_{AB}^2 - 2g \tan \phi_p d \quad (39)$$

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

$$V_{inclinado} = \sqrt{2gh * \left(1 - \frac{\tan \phi}{\tan \beta} \right)} \quad (40)$$

$$E_c = \frac{1}{2} m V_{plano}^2 \quad (41)$$

$$E_p = mgh \quad (42)$$

$$E_c = \frac{1}{2} E_p \quad (43)$$

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

Igualemos las ecuaciones 44 y 46

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

Remplazamos E_p en la ecuación 45

$$V_{plano}^2 = \frac{\frac{1}{3}mgh}{\frac{1}{2}m} \quad (46)$$

$$V_{plano}^2 = \frac{2}{3}gh \quad (47)$$

$$V_{plan} = \sqrt{\frac{2}{3}gh} \quad (48)$$

$$V_{plan} = \begin{cases} V_{inclinado} - V_{plano} \\ V_{plano} - V_{inclinado} \end{cases} \quad (49)$$

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 (Hungry 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 7.33) 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 Obando.

Tabla 7.33. Caracterización de la Amenaza para el municipio de Obando

CARACTERIZACIÓN DE LA AMENAZA			
SECCIÓN	MAGNITUD Vol (m ³)	INTENSIDAD Velocidad (m/s)	DISTANCIA DE VIAJE (m)
A-A'	11517	2.9	16
B-B'	5824	1.7	8
C-C'	2069	0.8	7

Fuente: elaboración propia

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

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 Obando.

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 Obando.

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 determinada acorde a la magnitud e intensidad de los eventos a los cuales está expuesto.

8.1.5. Intensidad -Tipos y modos de daños

El escenario de vulnerabilidad está asociado a la intensidad y la magnitud del evento sobre las edificaciones, el ambiente y las personas expuestas que pueden padecer diferentes tipos de daño o afectación, que serán valorados en función de la intensidad o magnitud (severidad) con la cual se manifieste el evento amenazante. El tipo y modo de daño que pueden sufrir los elementos expuestos constituyen el elemento fundamental del denominado escenario de vulnerabilidad.

Anteriormente se pensaba que la intensidad de los daños esperados 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 Obando, 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:

$$V = E * F \quad (50)$$

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:

$$F = \frac{P_{imp}}{S} \quad (51)$$

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 lo tanto, la expresión de la vulnerabilidad se transforma en:

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

O

$$V = 1 - \frac{1}{2} \text{Exp} \left(\frac{1-I}{S} \right)^2 \quad I > 1 - S \quad (53)$$

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 representada por todo lo que multiplica a la exposición. Tal como se muestra en la siguiente expresión (ecuación 54):

$$\left(\frac{1-I}{S} \right)^2 \quad \text{o} \quad \left(\frac{I}{1-S} \right)^2 \quad (54)$$

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.

CLASIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	VALOR DE VULNERABILIDAD	DESCRIPCIÓN	
		ESTRUCTURA (EDIFICACIONES)	PERSONAS
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 movimientos en masa.

8.2.2. Escenarios de vulnerabilidad ante movimientos en masa e inundaciones

La caracterización del escenario de vulnerabilidad ante inundación de los elementos expuestos de edificaciones, personas y líneas vitales se describe a continuación los soportes metodológicos y bibliográficos tomados en cuenta para su evaluación.

8.2.2.1. Exposición

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 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 8.2 y Figura 8.1): La delimitación de las zonas en cada municipio, se realizó 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, intensidad y magnitud.

Tabla 8.2. Zonas y valores de exposición para el fenómeno de movimiento en masa

ZONA	DESCRIPCIÓN	DAÑOS ESPERADOS	CRITERIO DE INTENSIDAD O MAGNITUD	VALOR DE EXPOSICIÓN
1	Elementos ubicados sobre la zona estable en la parte superior del talud sin posibilidad de afectación por retrogresión.	No se esperan daños a causa de los movimientos en masa.		0
2	Elementos ubicados sobre una ladera potencialmente inestable o potencialmente afectados por efectos de retrogresión.	Colapso o daños instantáneos debido a pérdida de soporte en la zona de retrogresión. Asentamientos diferenciales, inclinaciones y agrietamientos asociados a con movimientos lentos; colapso de la estructura asociado con movimientos rápidos.	Velocidad del movimiento Actividad del desplazamiento Cantidad de desplazamiento Desplazamientos verticales	1
3	Elementos ubicados en la trayectoria del movimiento en masa o en la zona de depósito del material deslizado.	Daños localizados por impacto, colapso total, obstrucción, enterramiento, entre otros.	Velocidad del movimiento Distancia de viaje Presiones laterales Impactos (volúmenes y energía cinética) Alturas de acumulación de material	0,8
4	Elementos fuera del alcance del movimiento en masa y su área de depósito.	No se esperan daños a causa de los movimientos en masa.		0

Fuente: modificado de SGC (2016).

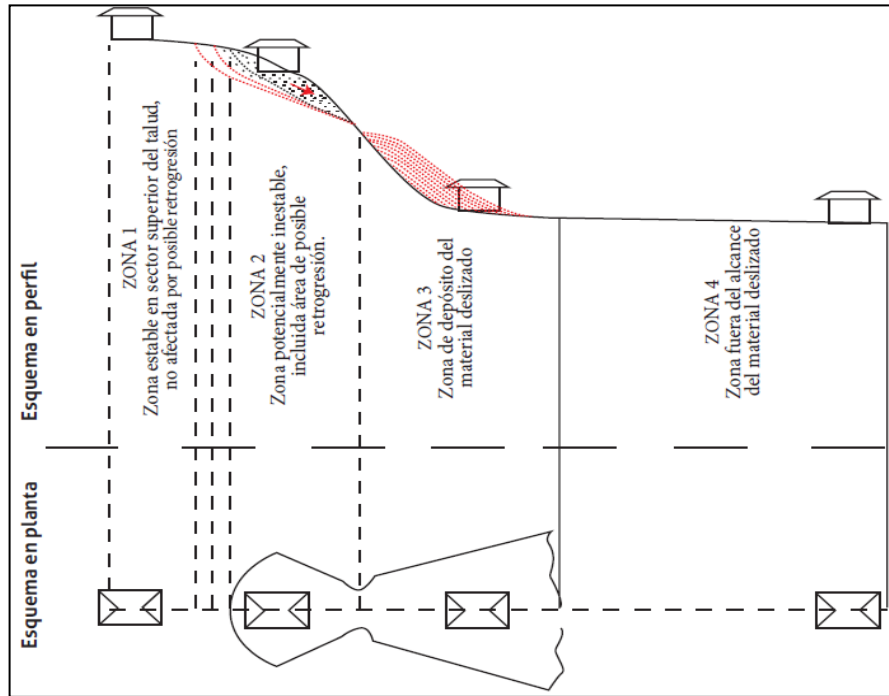


Figura 8.1. Zonas de exposición ante movimientos en masa

Fuente: SGC, 2016.

8.2.2.2. Fragilidad

La fragilidad está determinada por dos factores principales, uno es la 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

- **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:

$$I = 1 - (1 - I_{f-pre}) (1 - I_{f-prof}) \quad (55)$$

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 56)

$$I_{f-pre} = \frac{P_{iinun}}{P_{le}} \quad (56)$$

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 los planteado por Du et al. (2014) para los movimientos en masa. Para este caso, se toma la velocidad y densidad del flujo de agua (ecuación 57):

$$P_{iinun} = \frac{1}{2} \rho v^2 \quad (57)$$

Donde:

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

ρ : densidad del agua (kg/m³)

v : velocidad (m/s)

En relación con el límite de la presión horizontal soportada por las estructuras (P_{le}), se aborda de la misma manera que para el fenómeno de movimiento en masa, considerando que Du et al. (2014) plantean un promedio para diferentes tipos de estructuras, los cuales son complementados por el SGC (2016) (Tabla 8.3). Entre mayor sea valor, más alta es la presión que soporta la estructura.

Tabla 8.3. Límite de presión horizontal soportada de 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:

$$I_{f-prof} = \frac{h_{mm}}{h_e} \quad (58)$$

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 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 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:

$$I_{vías} = \frac{L_p}{W_e + W_{cal}} \quad (59)$$

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 8.4).

Tabla 8.4. 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 8.5). 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:

$$\delta = 0.0075 \frac{1}{D} \quad (60)$$

Donde:

D = diámetro de la tubería en metros.

Tabla 8.5. 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 8.6).

Tabla 8.6. Relación altura del deslizamiento/altura nominal del poste

Relación altura deslizamiento/altura nominal poste	I_{relec}
≤ 0.1	0.1
0.2	0.4
0.25	0.7
≥ 0.3	1.0

Fuente: SGC (2016).

8.2.2.2.2. 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:

$$S_e = 1 - [(1 - S_{tip}) * (1 - S_{alt}) * (1 - S_{con}) * (1 - S_{ser})] \quad (61)$$

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 8.7).

Tabla 8.7. 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 8.8).

Tabla 8.8. 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 8.9).

Tabla 8.9. Factor de resistencia por servicio de las estructuras

RELACIÓN AÑOS DE SERVICIO/VIDA ÚTIL	S _{ser}
≤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 8.10).

Tabla 8.10. 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 8.11).

Tabla 8.11. Estado de conservación de las estructuras

ESTADO DE CONSERVACIÓN	DESCRIPCIÓN	SEPARACIÓN GRIETAS (mm)	S_{con}
Bueno	Solo se observan daños superficiales leves en los acabados.	0-0,5	0,01
Daños moderados	Fisuras en juntas horizontales en los extremos superior e inferior de elementos verticales. Desplazamiento relativo o movimiento en el plano fuera del (pandeo). Inclinaciones del elemento fuera de su plano vertical.	0,5- 5,0	0,35
Daños graves	Unidades de mampostería con fallas por aplastamiento.	> 5	0,70
Colapso	Colapso total de la estructura		1

Fuente: modificado de Du et al. (2013, 2014)

- **Factor de resistencia corporal**

Uzielli et al. (2008), con base en el trabajo de Ragozin y Tikhvinsky (2000) y Uzielli (2006), plantea que la resistencia de las personas ubicadas dentro de una edificación es proporcional a la resistencia de la estructura. Adopta un modelo donde considera que las lesiones, fatalidad y capacidad de evacuación de las personas está condicionada a la estabilidad de las estructuras (ecuación 62):

$$S_{corp} = (S_e)^{3.2} \quad (62)$$

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 (71) que se presenta a continuación:

$$S_{ancho} = \frac{3,0}{W_{vía}} \quad (63)$$

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 8.12).

Tabla 8.12. 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 8.13).

Tabla 8.13. Parámetros de resistencia de la red de alcantarillado

MATERIAL	S _{mat}
Asbesto cemento	0,90
Gres	0,60
Concreto simple	0,60
Polietileno	0,50
Concreto reforzado	0,10

Fuente: tomado del SGC (2016).

- *Redes eléctricas y de comunicaciones*: para este tipo de redes la resistencia se define a partir de la carga nominal de rotura de los postes, la cual es determinada en las normas Retie e Incontec y en las especificaciones técnicas de EPM (2015) (Tabla 8.14).

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 8.14. 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
Metálicos	3432 N	0,95

MATERIAL	CARGA NOMINAL	S _{mat}
	5001 N	0,90
	7354 N	0,80
	10297 N	0,65

Fuente: tomado del SGC (2016).

Con base en la normatividad, cada poste debe contar con una placa visible (localizada a dos metros de la señal de empotramiento) donde se indique la carga nominal de rotura, entre otro tipo de información. Los postes de madera tienen un valor general de resistencia de 1. Para los postes de concreto, según lo planteado por el SGC (2016), en caso de que no se pueda determinar la carga nominal de los postes de concreto localizados en el área de estudio, se utiliza el valor mínimo de 5001 N y su correspondiente parámetro de fragilidad. De igual forma, para el caso de los postes metálicos, en caso de no contar con un valor claro de la carga nominal de rotura se asigna el valor más bajo de resistencia: 3432 N.

8.2.3. Cálculo y zonificación de la vulnerabilidad

Para el cálculo de la vulnerabilidad se adapta la propuesta de Li (2010), la cual analiza la vulnerabilidad como una función de la intensidad y la capacidad de resistencia de los elementos expuestos (*S*). Sin embargo, partiendo de la concepción que la vulnerabilidad es el producto de la relación entre la exposición y la fragilidad (Ecuación 64), se modifica dicho planteamiento, incluyendo la evaluación de la exposición (Ecuaciones 65 y 66). Esto se realiza teniendo en cuenta soporte bibliográfico y el conocimiento previo del equipo de trabajo sobre la temática.

La estimación de la vulnerabilidad se realiza para los elementos expuestos tanto físicos como corporales.

$$v = (Exp * Frag) \quad (64)$$

Donde:

v: vulnerabilidad

Exp: exposición

Frag: fragilidad

$$v = \frac{1}{2} Exp \left(\frac{I}{1-S} \right)^2 \quad I \leq 1 - S \quad (65)$$

$$v = 1 - \frac{1}{2} Exp \left(\frac{1-I}{S} \right)^2 \quad I > 1 - S \quad (66)$$

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 representada por todo lo que multiplica a la exposición. Tal como se muestra en la siguiente expresión:

$$\left(\frac{1-I}{S}\right)^2 \quad \text{o} \quad \left(\frac{I}{1-S}\right)^2 \quad (67)$$

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 8.15) (SGC, 2016).
- 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 (bla 8.15) (SGC, 2016).

Finalmente, con base en los valores de vulnerabilidad definidos se preparará 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 8.15. Clasificación de la vulnerabilidad para las personas, edificaciones y líneas vitales

CLASIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	VALOR DE VULNERABILIDAD	NIVEL DE DAÑO	
		EDIFICACIONES	PERSONAS
ALTA	0,60-1,00	Total- colapso	Alta posibilidad de muerte o lesiones serias.
MEDIA	0,30-0,60	Grave	Alta posibilidad de lesiones moderadas, pero baja probabilidad de muertes.
BAJA	0,00-0,30	Moderado	Probabilidad de muerte casi nula y lesiones muy leves o inexistentes.

Fuente: SGC (2016).

8.3. ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD ANTE MOVIMIMIENTO EN MASA

El análisis de la vulnerabilidad ante movimientos en masa se realiza conforme a la metodología descrita anteriormente, donde se tiene en cuenta la exposición y la fragilidad. Esta última, considera la intensidad, la cual esta determinada por la presión de impacto del evento, establecida mediante, la magnitud, la intensidad y la distancia de viaje de la masa deslizable y el factor de resistencia de los elementos expuestos estructurales y corporales.

8.3.1. Presión de impacto ante movimientos en masa

Para el análisis de la presión de impacto ante movimientos en masa se realizó 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 criterios de magnitud, el cual se estableció por el volumen (m³) de tierra que se podría mover, la intensidad, definida por la velocidad (m/s) en la que mueve y la distancia de viaje establecida hasta donde afectaría el movimiento en masa. Además de los valores de exposición para realizar los cálculos y determinar las zonas de exposición de los elementos expuestos.

En la Tabla 8.16 muestra que los elementos ubicados en la zona 1 que es la parte superior del talud, el cual no representaría 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, el cual serían afectados por los efectos de retrogresión. Los elementos ubicados en la zona 3 siendo la 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 (Figura 8.2)

Tabla 8.16. Zonas y valores de exposición para el fenómeno de movimiento en masa

ZONA	DESCRIPCIÓN	DAÑOS ESPERADOS	CRITERIO DE INTENSIDAD O MAGNITUD	VALOR DE EXPOSICIÓN
1	Elementos ubicados sobre la zona estable en la parte superior del talud sin posibilidad de afectación por retrogresión.	No se esperan daños a causa de los movimientos en masa.		0
2	Elementos ubicados sobre una ladera potencialmente inestable o potencialmente afectados por efectos de retrogresión.	Colapso o daños instantáneos debido a pérdida de soporte en la zona de retrogresión. Asentamientos diferenciales, inclinaciones y agrietamientos asociados a con movimientos lentos; colapso de la estructura asociado con movimientos rápidos.	Velocidad del movimiento Actividad del desplazamiento Cantidad de desplazamiento Desplazamientos verticales	1
3	Elementos ubicados en la trayectoria del movimiento en masa o en la zona de depósito del material deslizado.	Daños localizados por impacto, colapso total, obstrucción, enterramiento, entre otros.	Velocidad del movimiento Distancia de viaje Presiones laterales Impactos (volúmenes y energía cinética) Alturas de acumulación de material	0,8
4	Elementos fuera del alcance del movimiento en masa y su área de depósito.	No se esperan daños a causa de los movimientos en masa.		0

Fuente. Modificado de SGC (2016).

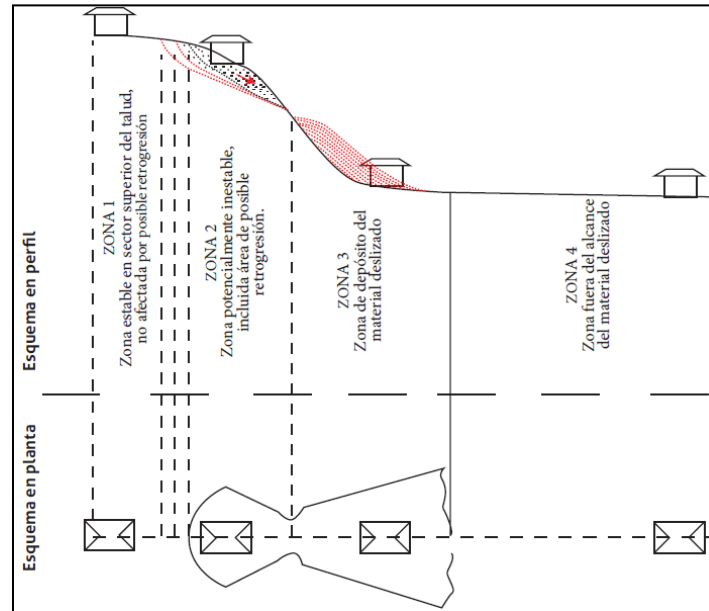


Figura 8.2. Zonas de exposición ante movimientos en masa
Fuente: SGC, 2016.

En el municipio de Obando se establecieron tres (3) secciones transversales en las zonas urbanas donde se podría presentar el fenómeno de movimientos en masa. En la Figura 8.3 se muestra la localización de cada una. La sección A-A' localizada en el barrio San Rafael, sección B-B' en el barrio La Esperanza, y C-C' barrio Las Brisas.

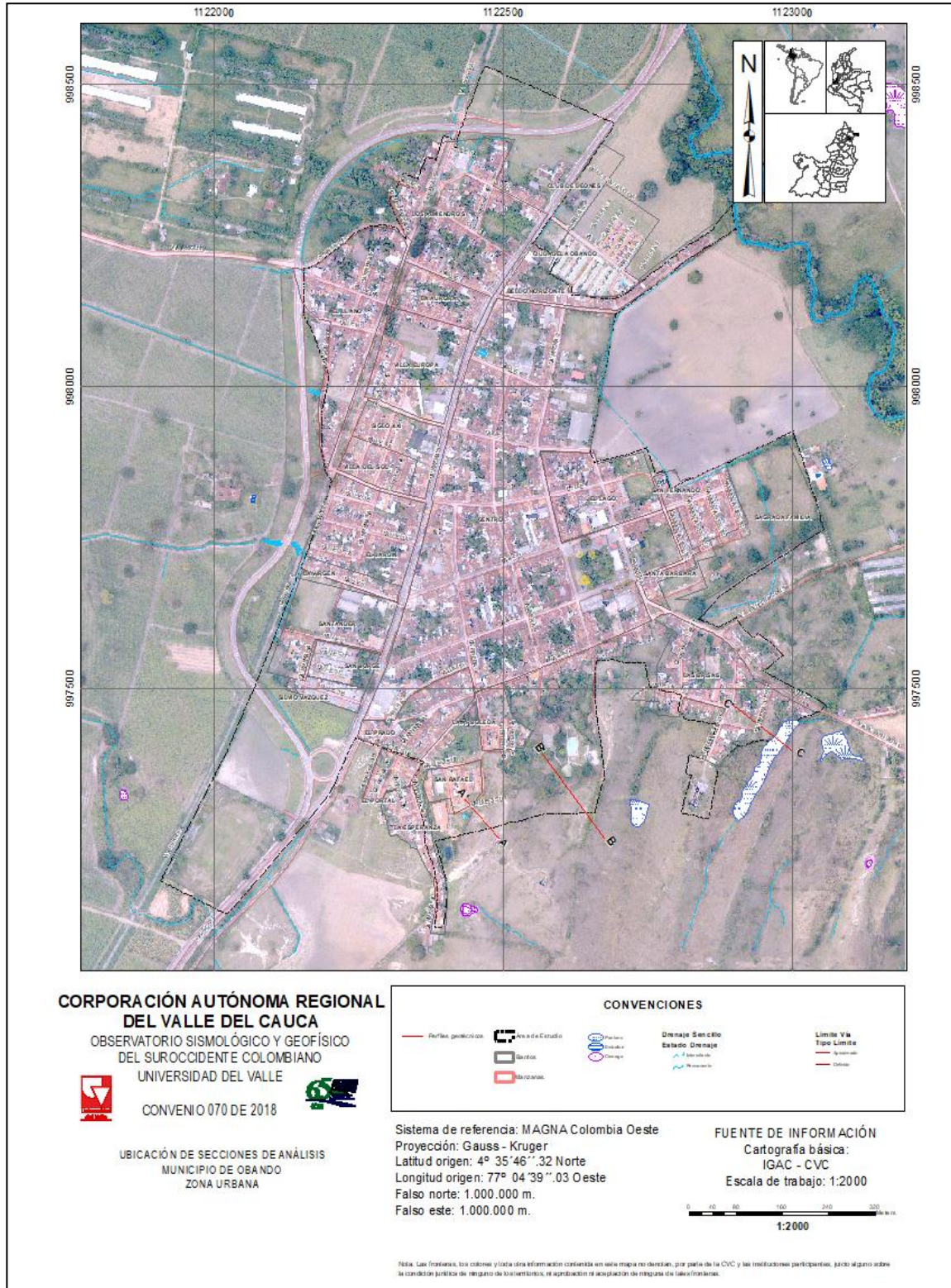


Figura 8.3. Localización de las secciones transversales de la zona urbana del municipio de Obando

Fuente: elaboración propia

En las Figura 8.4, Figura 8.5 y Figura 8.6, se presenta los perfiles, realizados en la zona urbana del municipio de Obando, 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.

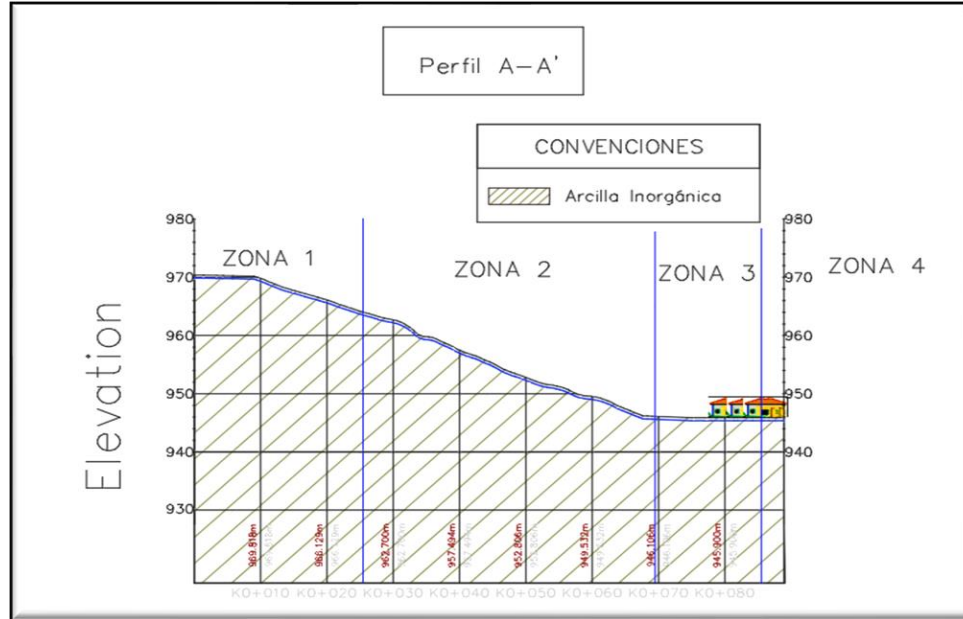


Figura 8.4. Perfil A-A''
Fuente: elaboración propia.

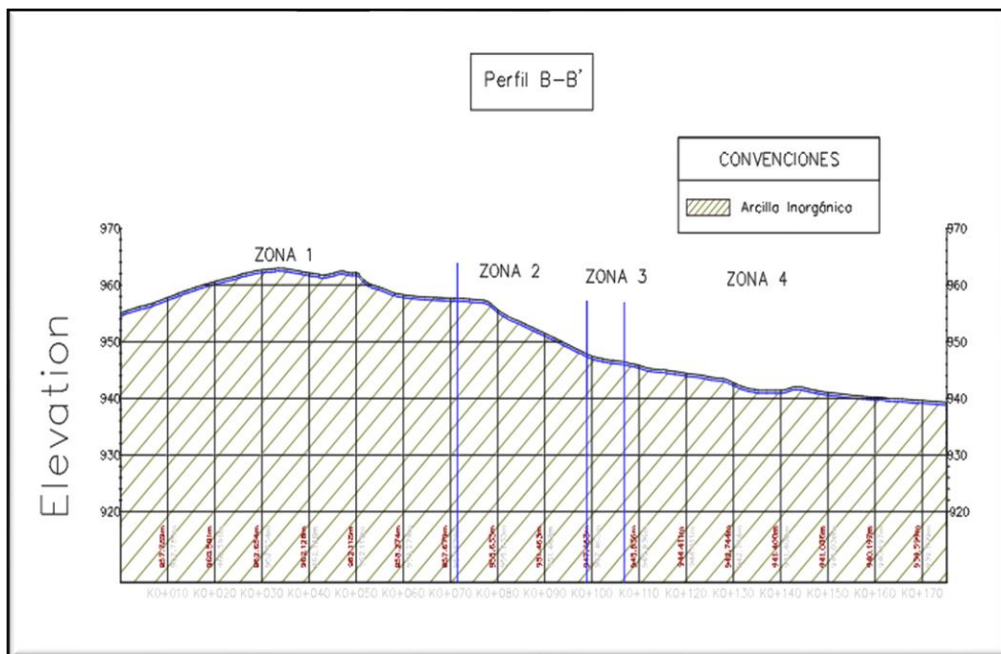


Figura 8.5. Perfil B-B''
Fuente: elaboración propia.

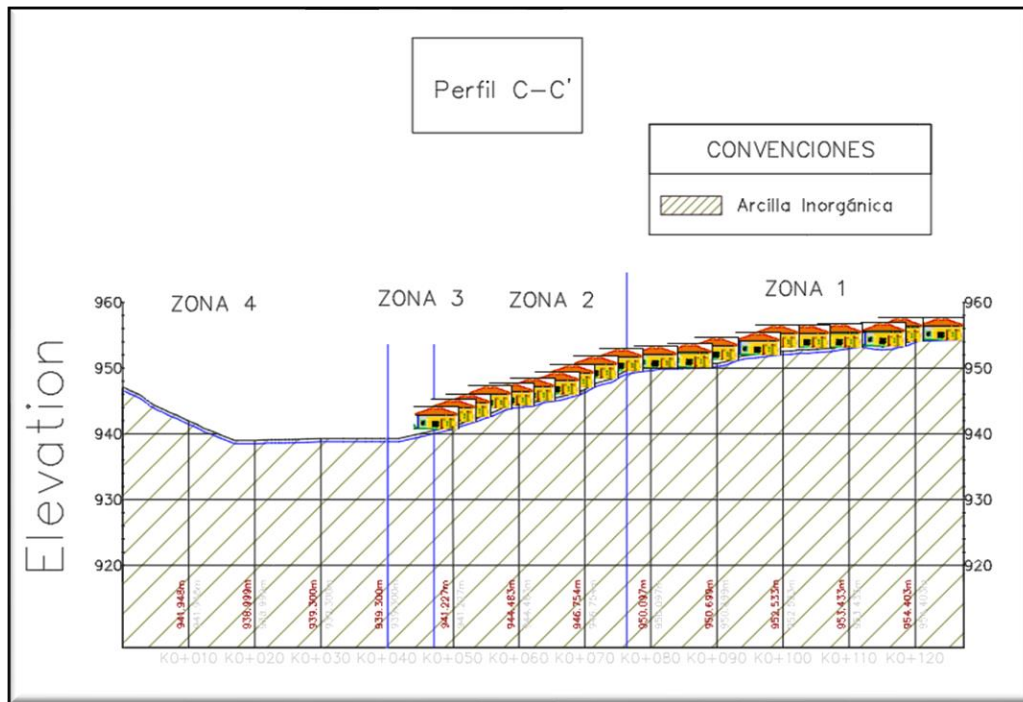


Figura 8.6. Perfil C-C'
Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 8.17 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 San Rafael, presenta una magnitud (volumen) de $11517m^3$ con una Intensidad (velocidad) de 2,9 m/s y una distancia de viaje de 16 metros. La sección B-B' tomada en el barrio La Esperanza, con una magnitud (volumen) de $5824 m^3$ con una intensidad (velocidad) de 1,7m/s y una distancia de viaje de 8 metros. Y por último la sección C-C' tomada en el barrio Las Brisas, con una Magnitud (volumen) de $2069 m^3$ con una intensidad (velocidad) 0,8 m/s y una distancia de viaje 7 metros.

Tabla 8.17. Caracterización de la amenaza por movimiento en masa, zona urbana del municipio de Obando

CARACTERIZACION DE LA AMENAZA			
SECCION	MAGNITUD Vol. (m3)	INTENSIDAD Vel (m/s)	DISTANCIA DE VIAJE (m)
A-A'	11517	2,9	16
B-B'	5824	1,7	8
C-C'	2069	0,8	7

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 8.18 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 8.18. Insumos para la vulnerabilidad del municipio de Obando

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	47	846888	847	9
B-B'	1650	9,8	31	501270	501	6
C-C'	1839	9,8	38	684718	685	5

Fuente: elaboración propia.

8.3.2. Identificación, localización y caracterización de elementos expuestos ante movimiento en masa

En el municipio de Obando 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. Los resultados concluyeron que los barrios San Rafael, La Esperanza y Las Brisas, 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 estos barrios.

8.3.2.1. Exposición de elementos ante movimiento en masa

Para el fenómeno de movimientos en masa se determinaron posibles daños y afectaciones en la población, en los elementos de infraestructura, funcionales y ambientales. Teniendo en cuenta los para metros de las secciones transversales levantadas en los barrios San Rafael, La Esperanza y Las Brisas.

En la Tabla 8.19 se presenta los niveles de daños de acuerdo con los criterios de intensidad y la magnitud. El nivel bajo, los daños se considerarían leves, en el nivel medio los daños que se esperarían agrietamientos, perdidas parciales, daños en las vías, en las redes de acueducto, alcantarillado y de gas natural y las personas tendrían lesiones.

Tabla 8.19. 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	–
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.	Perdida de cultivos o de importancia económica. Pérdidas moderadas en extensiones agrícolas y de cultivos	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	Grandes extensiones de terreno agrícolas y no agrícolas	Pérdida de vidas humanas.

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

Para el análisis de la exposición de elementos corporales y estructurales se consideró lo establecido en el Decreto 1807, en el cual se indica el nivel de escala de los estudios, en este caso es 1:2000, por lo tanto, debe tomar la información a nivel de predio.

A continuación, se presentan los resultados obtenidos con la información recolectada en el trabajo de campo, realizado por el equipo técnico, en las zonas establecidas en amenaza media y alta por movimiento en masa.

8.3.2.1.1. Exposición corporal

El análisis de la exposición de elementos corporales se realizó con la información recolectada a través de la encuesta desarrollada por el equipo técnico durante el mes de diciembre de 2019, en las edificaciones presentes en las zonas clasificadas en amenaza media y alta por movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Obando, 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 109 personas, de las cuales 74 permanecen en el día y las 109 en la noche, esto indica que 67,9% de la población encuestada permanecen en el día. Con lo cual se encuentra un promedio de 4,19 personas en edificaciones de tipo residencial, comercial y mixto (Tabla 8.20).

Tabla 8.20. Número y promedio de habitantes en las construcciones en que se logró el acceso al interior

HABITANTES	NÚMERO DE HABITANTES	HABITANTES PROMEDIO POR EDIFICACIÓN
Total	109	4,19
Día	74	2,84
Noche	109	4,19

Fuente: elaboración propia.

En la Tabla 8.21 se especifica la cantidad de personas en la edificación según las tres variables priorizadas: personas totales, personas presentes en el día y personas presentes en la noche. El 4,5% de los habitantes se encuentra en exposición alta, y la mayor parte se encuentra en exposición media con un 95,5% (Figura 8.7).

Tabla 8.21. Número total de habitantes, día y de noche de la población encuestada, expuestos movimiento masa de la zona urbana del municipio de Obando

HORARIO	NÚMERO DE HABITANTES		Total
	EXPOSICION MEDIA	EXPOSICION ALTA	
Día	71	3	74
Total	104	5	109
Noche	104	5	109

Fuente: elaboración propia.

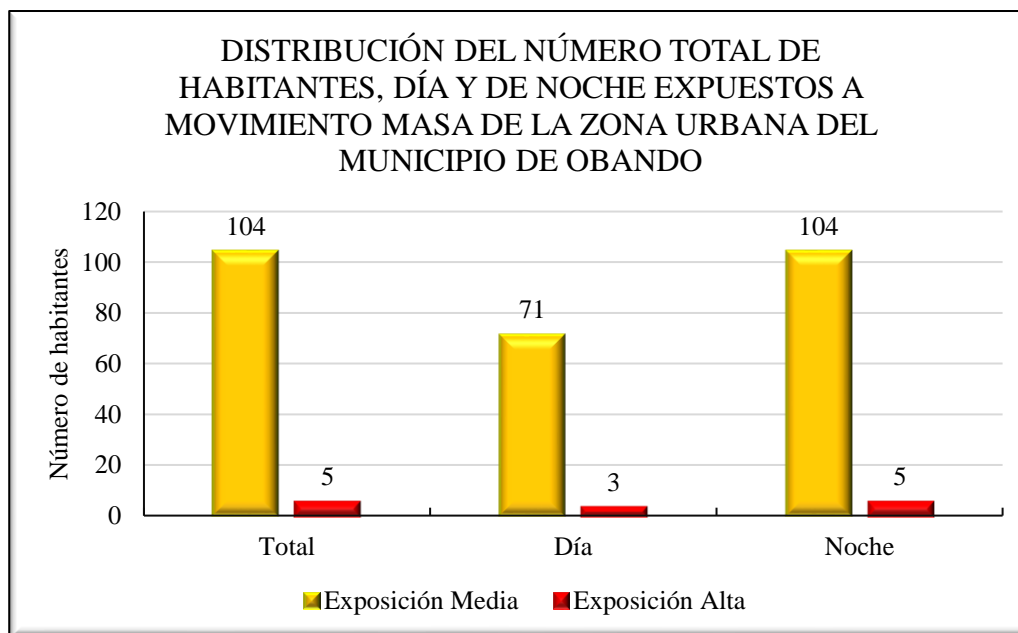


Figura 8.7. Distribución del número total de habitantes, día y de noche expuestos a movimiento masa de la zona urbana del municipio de Obando

Fuente: elaboración propia.

8.3.2.1.2. Exposición estructural

La cantidad de predios expuestos al fenómeno de movimiento en masa se relacionan en la Tabla 8.22 y Figura 8.8. Con un total de 51 predios, 48 predios en exposición media y 3 predios en exposición alta.

Tabla 8.22. Número y área (m²) de los predios expuestos a movimientos en masa en la zona urbana del municipio de Obando

NIVEL DE AMENAZA	ÁREA M ²	NÚMERO DE PREDIOS
Media	7189,83	48
Alta	440,08	3
Total	7629,91	51

Fuente: elaboración propia

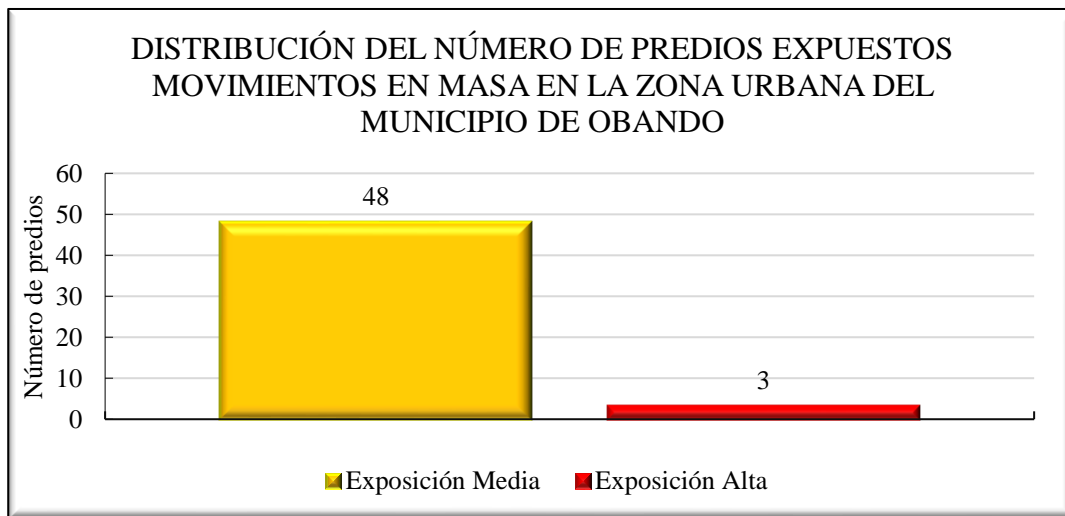


Figura 8.8. Distribución del número de predios expuestos a movimientos en masa en la zona urbana del municipio de Obando

Fuente: elaboración propia.

De los 51 expuestos por movimiento en masa, se tiene que: 5 predios se encuentran sin construcción y 46 predios presentan por lo menos una edificación. Por lo cual se definió la Tabla 8.23 que presenta el número de predios con y sin edificaciones que están expuestos en nivel medio y alto por movimiento en masa. De los cuales, 50 edificaciones están en exposición media y 3 en exposición alta.

Tabla 8.23. Número de predios con y sin edificaciones, expuestos a movimientos en masa en el área urbana del municipio de Obando

NIVEL DE EXPOSICIÓN	PREDIOS SIN EDIFICACIONES	PREDIOS CON EDIFICACIONES	NÚMERO DE EDIFICACIONES
Media	5	43	50
Alta	0	3	3
Total	5	46	53

Fuente: elaboración propia.

Teniendo en cuenta lo anterior, la Tabla 8.24, muestra la distribución de las edificaciones en exposición de acuerdo con el barrio. Las Brisas tiene 48 edificaciones expuestas, 45 en exposición media y 3 en exposición alta. San Rafael con 2 edificaciones en exposición media al igual que La Esperanza con 3 edificaciones.

Tabla 8.24. Número de edificaciones por barrio expuestas a movimientos en masa en la zona urbana del municipio de Obando

BARRIO	NÚMERO DE EDIFICACIONES	
	EXPOSICIÓN MEDIA	EXPOSICION ALTA
La Esperanza	3	0
Las Brisas	45	3
San Rafael	2	0
Total	50	3

Fuente: elaboración propia

A continuación, se analizan las principales características de las edificaciones expuestas, número de pisos, tipología de la edificación, estado de conservación y la edad.

- **Altura de la edificación (número de pisos)**

Todas las edificaciones analizadas tienen un piso. 50 edificaciones está en exposición media y 3 edificaciones en exposición media (Tabla 8.25 y Figura 8.9).

Tabla 8.25. Número de pisos de las edificaciones expuestas a movimientos en masa en el área urbana del municipio de Obando

NÚMERO DE PISOS	NÚMERO DE EDIFICACIONES		TOTAL
	EXPOSICIÓN MEDIA	EXPOSICIÓN ALTA	
1	50	3	53
Total	50	3	53

Fuente: elaboración propia.

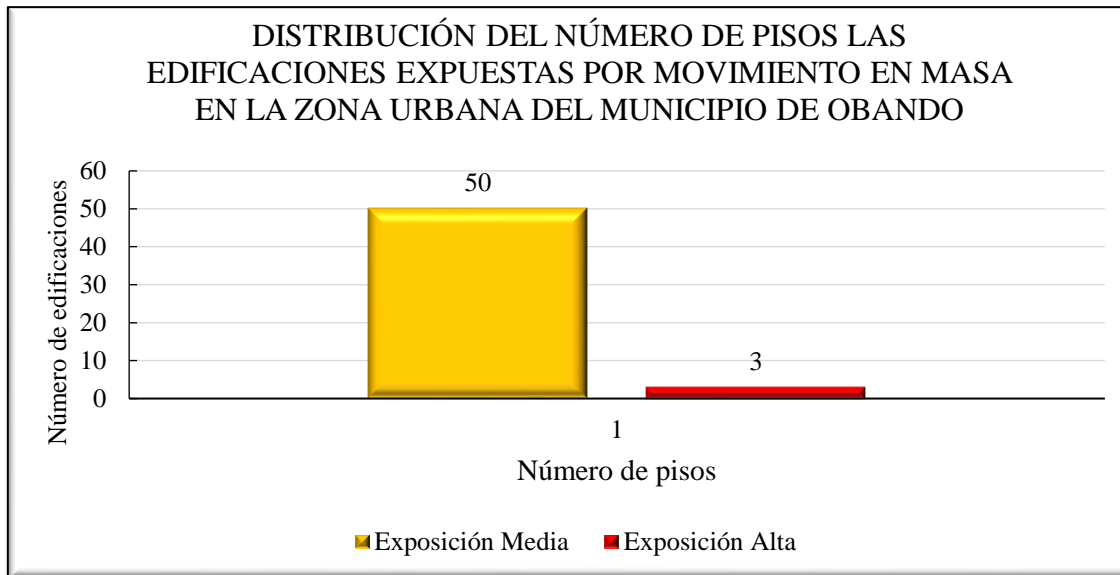


Figura 8.9. Distribución del número de pisos las edificaciones expuestas por movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Obando

Fuente: elaboración propia.

- **Edad de la edificación**

En el análisis de la edad de las edificaciones, Tabla 8.26 y Figura 8.10, se consideraron 5 rangos de edad. El rango con mayor frecuencia en las edificaciones fue <20, con 37 edificaciones, 34 de

ellas está en exposición media y las restantes en exposición alta. Seguimiento de 8 edificaciones en el rango de 20-29 años en exposición media. En el rango 50- 79, 3 edificaciones en exposición media. Y en el rango con edad mayor o igual a 80 años solo se tiene 1 edificación con exposición media.

Tabla 8.26. Edad de las edificaciones expuestas a amenaza por movimientos en masa en la zona urbana del municipio de Obando

RANGO DE EDAD	NÚMERO DE EDIFICACIONES		TOTAL
	EXPOSICIÓN MEDIA	EXPOSICIÓN ALTA	
<20	34	3	37
[20; 29]	8	0	8
[30; 49]	4	0	4
[50; 79]	3	0	3
>=80	1	0	1
Total	50	3	53

Fuente: elaboración propia.

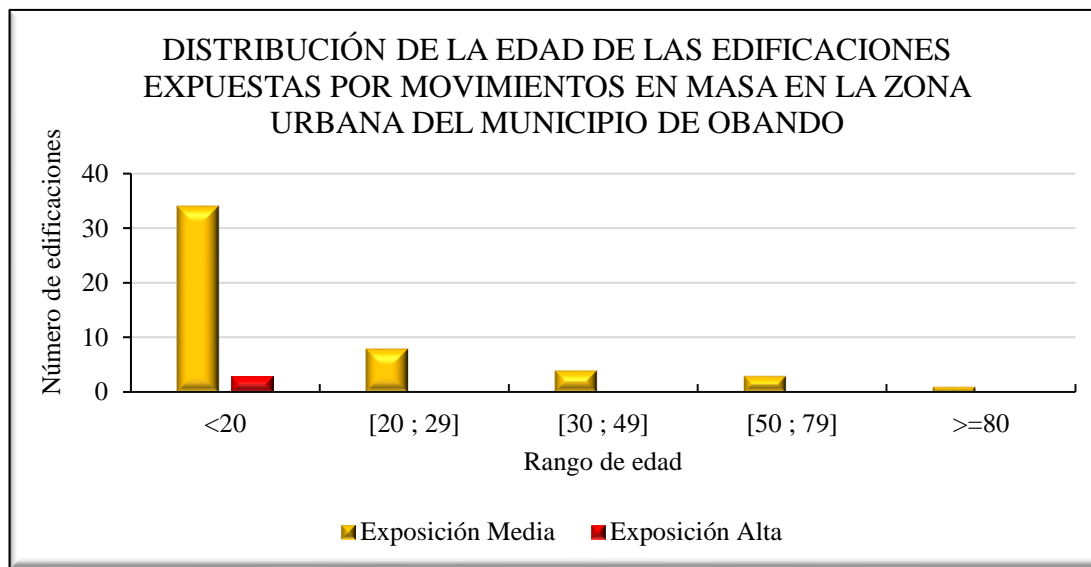


Figura 8.10. Distribución de la edad de las edificaciones expuestas por movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Obando

Fuente: elaboración propia.

- **Tipología de las edificaciones**

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 8.27.

Tabla 8.27. 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). También hace referencia a aquellas construcciones de las categorías A, B y C que poseen elementos de otros materiales no competentes.
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 8.28 se muestran las 53 edificaciones expuestas según su tipología constructiva. Las 50 edificaciones están en exposición media y 3 en exposición alta. En exposición media la mampostería no reforzada es la más representativa con 23 edificaciones; 7 edificaciones son mampostería confinada, 9 edificaciones edificadas en madera, tapia bahareque y 6 edificaciones son de otro tipo constructivo. En exposición alta, 1 edificación es mampostería no reforzada y 2 son mampostería confinada (Figura 8.11).

Tabla 8.28. Tipología de las edificaciones expuestas a movimientos en masa en la zona urbana del municipio de Obando

TIPO DE CONSTRUCCIÓN	NÚMERO DE EDIFICACIONES		TOTAL
	EXPOSICIÓN MEDIA	EXPOSICION ALTA	
Mampostería no Reforzada	28	1	29
Mampostería Confinada	7	2	9
Madera, Tapia, Bahareque	9	0	9
Otro	6	0	6
Total	50	3	53

Fuente: elaboración propia.

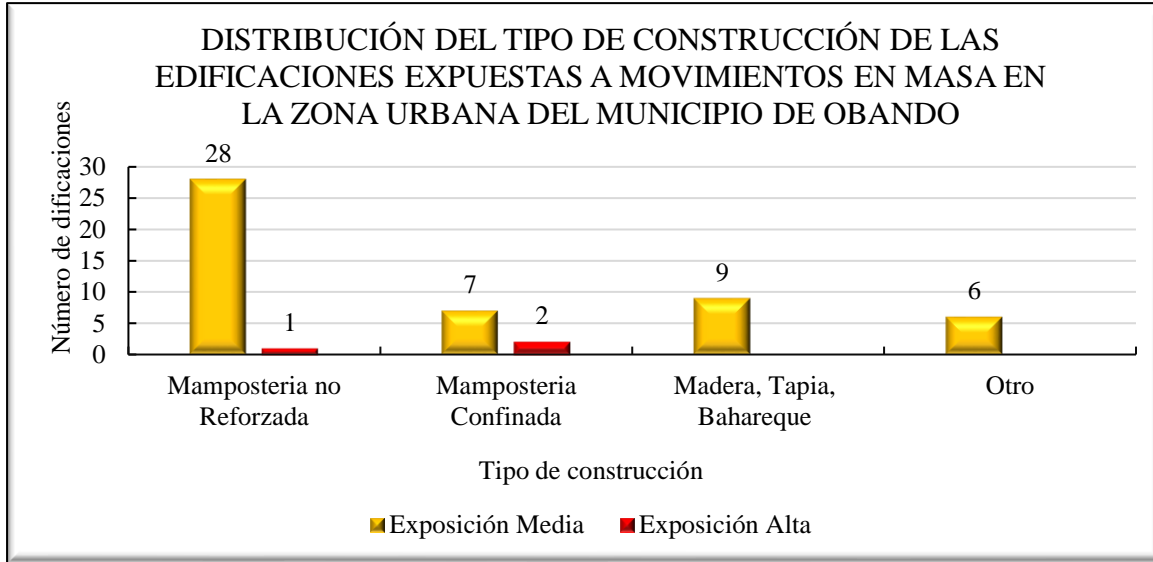


Figura 8.11. Distribución del tipo de construcción de las edificaciones expuestas a movimientos en masa en la zona urbana del municipio de Obando

Fuente: elaboración propia.

- **Estado de la conservación de la edificación**

El análisis del estado de conservación se definió mediante cuatro categorías: bueno, daños leves, daños moderados y daños graves. La Tabla 8.29 y Figura 8.12, muestran la distribución del estado de conservación de las edificaciones frente al nivel de exposición a movimiento en masa. De las 53 edificaciones, 27 de ellas presentan un estado de conservación bueno, 24 localizadas en exposición media y 3 en exposición alta. Con daños moderados, se tienen 16 edificaciones en exposición media. Y 10 edificaciones con daños graves en exposición media.

Tabla 8.29. Estado de conservación de las edificaciones expuestas a movimientos en masa en la zona urbana del municipio de Obando

ESTADO DE CONSERVACIÓN	NÚMERO DE EDIFICACIONES		TOTAL
	EXPOSICIÓN MEDIA	EXPOSICIÓN ALTA	
Bueno	24	3	27
Daños Moderados	16	0	16
Daños Graves	10	0	10
Total	50	3	53

Fuente: elaboración propia.

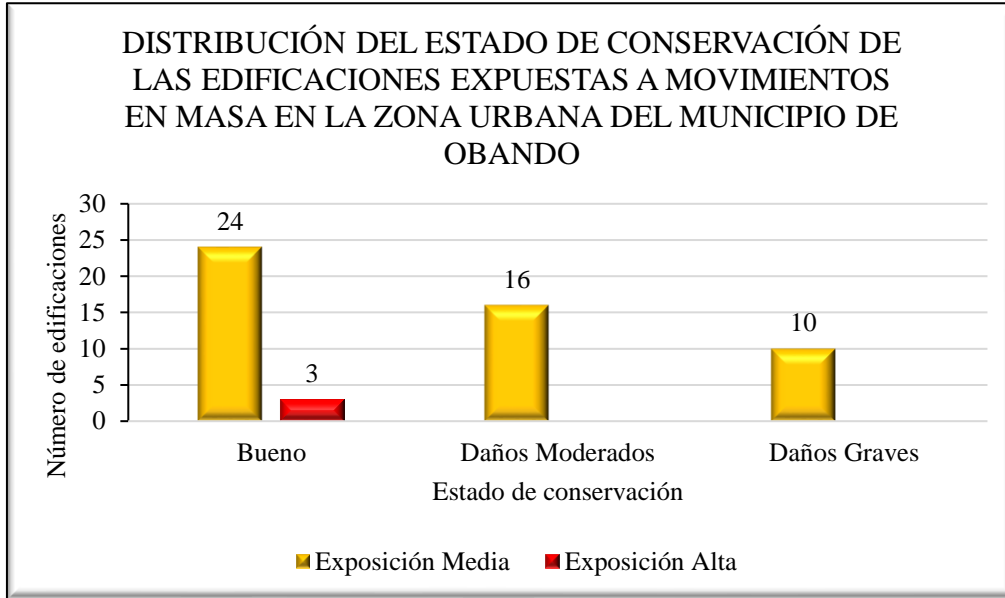


Figura 8.12. Distribución del estado de conservación de las edificaciones expuestas a movimientos en masa en la zona urbana del municipio de Obando

La Figura 8.13 muestra la distribución espacial de la exposición estructural ante el fenómeno de movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Obando. Teniendo mayor exposición el barrio Las Brisas.

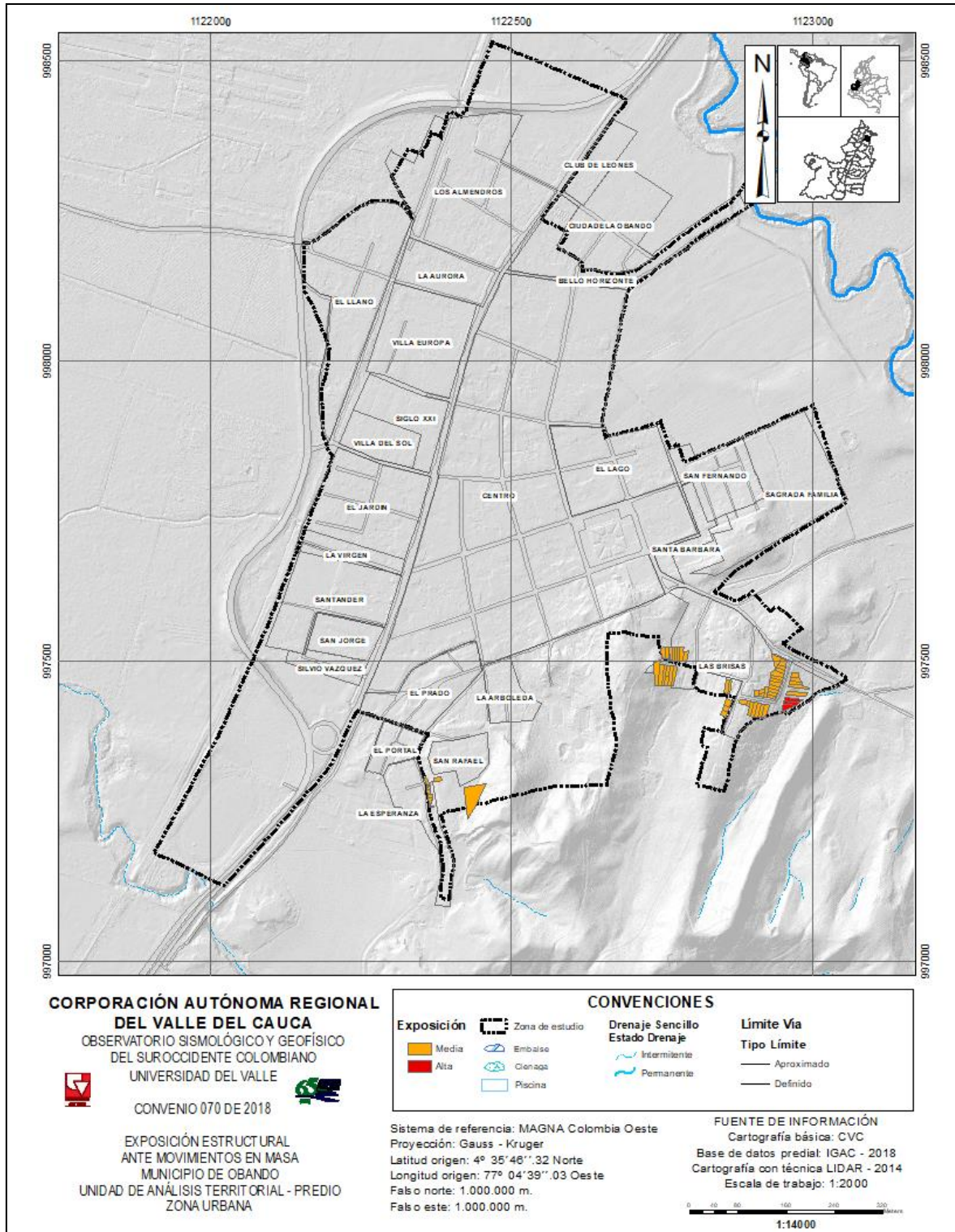


Figura 8.13. Exposición estructural ante el fenómeno de movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Obando

Fuente: elaboración propia.

8.3.2.1.3. 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 8.30 y las Figura 8.12 y Figura 8.13 contiene la información de en metros lineales de las líneas vitales y la cantidad de postes expuestos en las zonas de exposición media y alta por movimiento en masa. Estas redes vienen compuestas por 343,64 m de red vial en exposición media. Por 180,89 m de red de acueducto en exposición media y en alta 13,23m. La red de alcantarillado con 96,85 m en exposición media y 11m en exposición alta. Para la red eléctrica, se contabilizó 6 postes, 5 en exposición media y 1 en exposición alta.

Tabla 8.30. Líneas vitales expuestas ante movimientos en masa del área urbana del municipio de Obando

TIPO DE LÍNEA VITAL	LONGITUD (KM)		Total
	EXPOSICIÓN MEDIA	EXPOSICIÓN ALTA	
Red vial	343,64	0	343,64
Red de Acueducto	180,89	13,23	194,12
Red de Alcantarillado	96,85	11	107,85
TIPO DE LÍNEA VITAL	NÚMERO DE POSTES ELÉCTRICOS		Total
	EXPOSICIÓN MEDIA	EXPOSICION ALTA	
Red eléctrica	5	1	6

Fuente: elaboración propia.

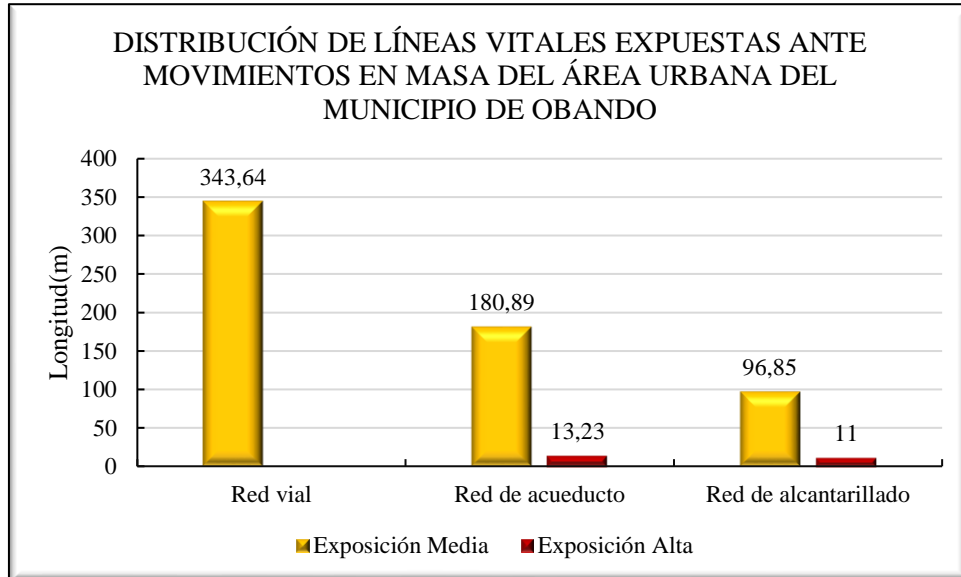


Figura 8.14. Distribución de líneas vitales expuestas ante movimientos en masa de la zona urbana del municipio de Obando

Fuente: elaboración propia.

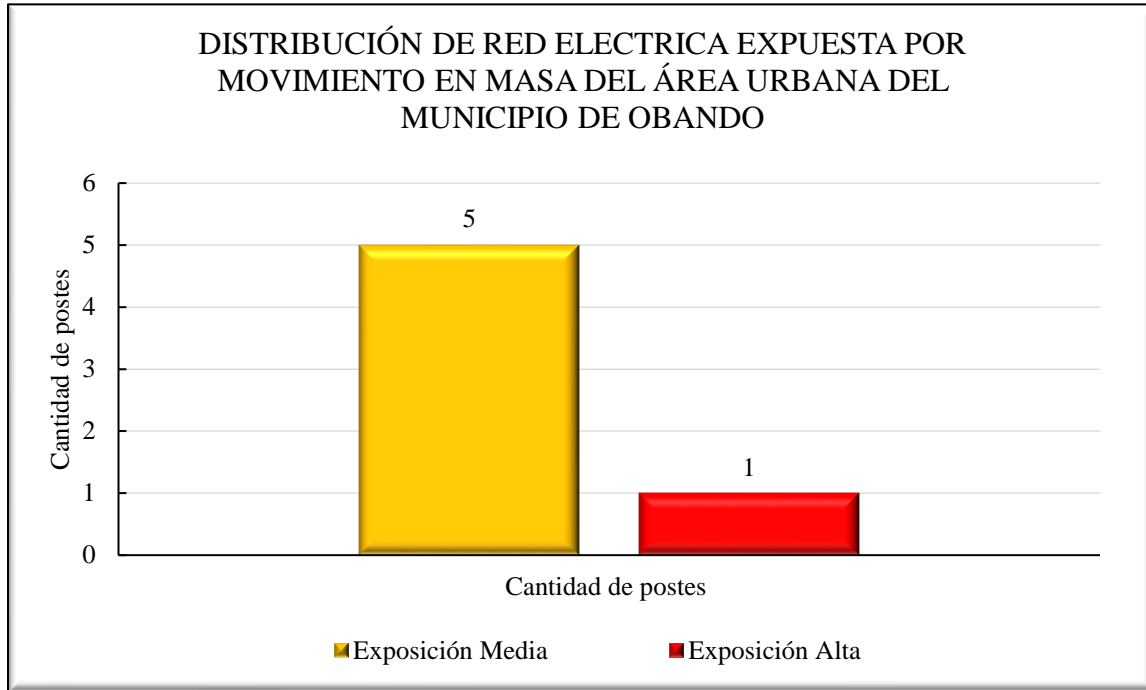


Figura 8.15. Distribución de la red eléctrica expuestas por movimientos en masa de la zona urbana del municipio de Obando.

Fuente: elaboración propia.

De la Figura 8.14 a la Figura 8.17 se muestra las redes que se encuentran exposición alta y media por movimientos en masa en la zona urbana del municipio de Obando. Los barrios Las Brisas y San Rafael, presentan exposición media y alta en tramos de la red de alcantarillado y red vial. El barrio La Esperanza presenta exposición en red de acueducto. Los 6 postes expuestos están ubicados en el barrio Las Brisas.

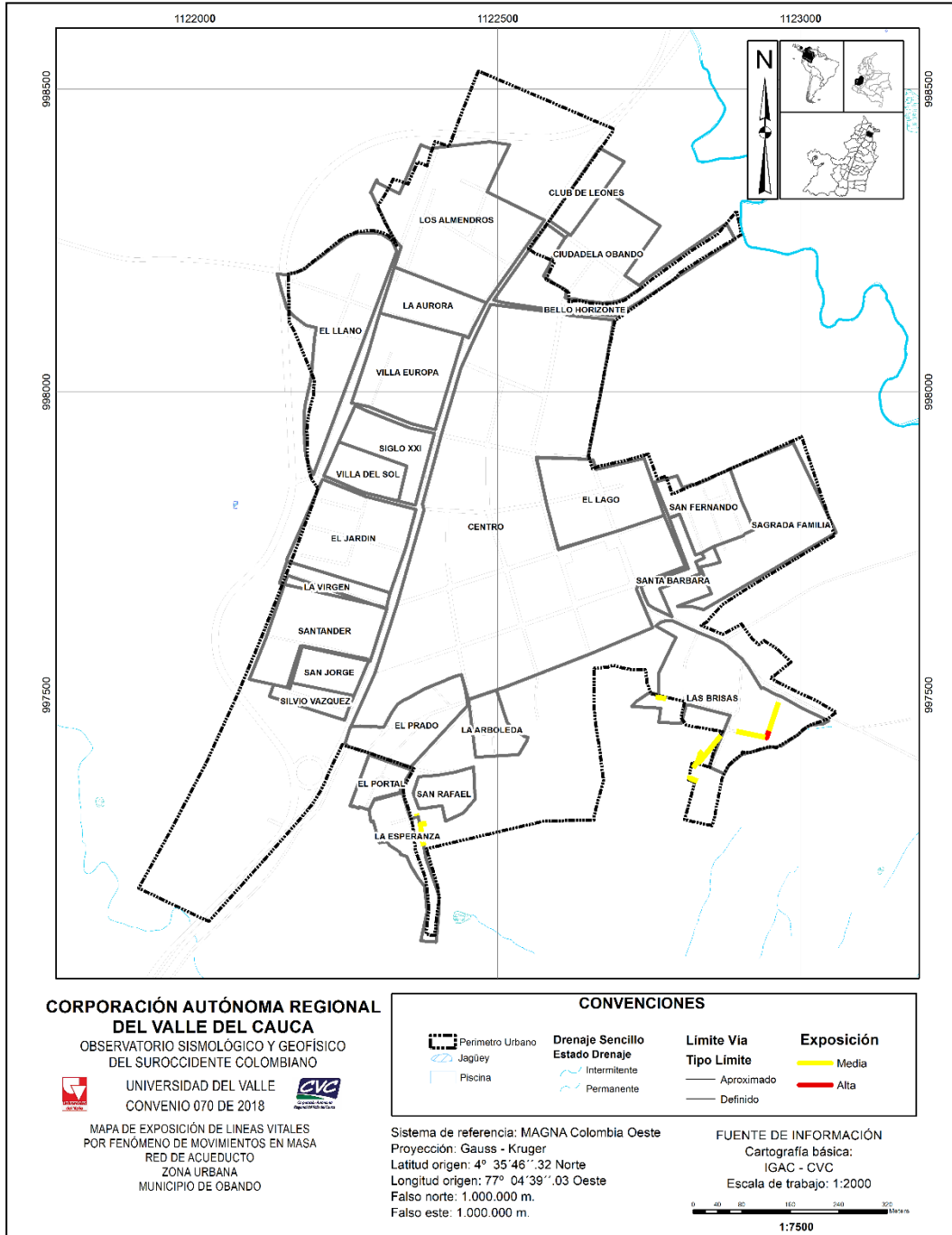


Figura 8.16. Exposición de líneas vitales por fenómeno de movimiento en masa, red de acueducto zona urbana municipio de Obando

Fuente: elaboración propia.

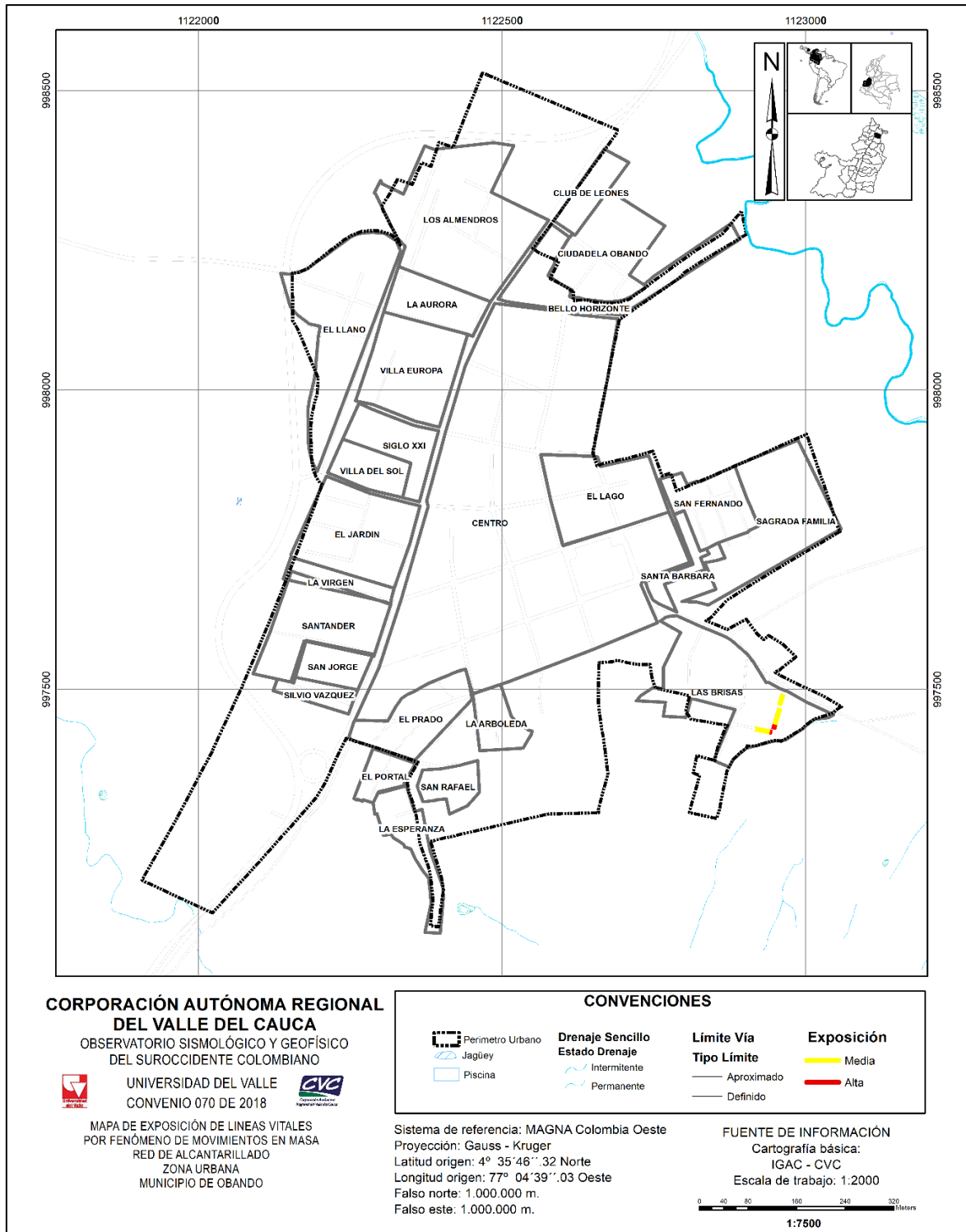


Figura 8.17. Exposición de líneas vitales por fenómeno de movimiento en masa, red de alcantarillado, zona urbana del municipio de Obando

Fuente: elaboración propia.

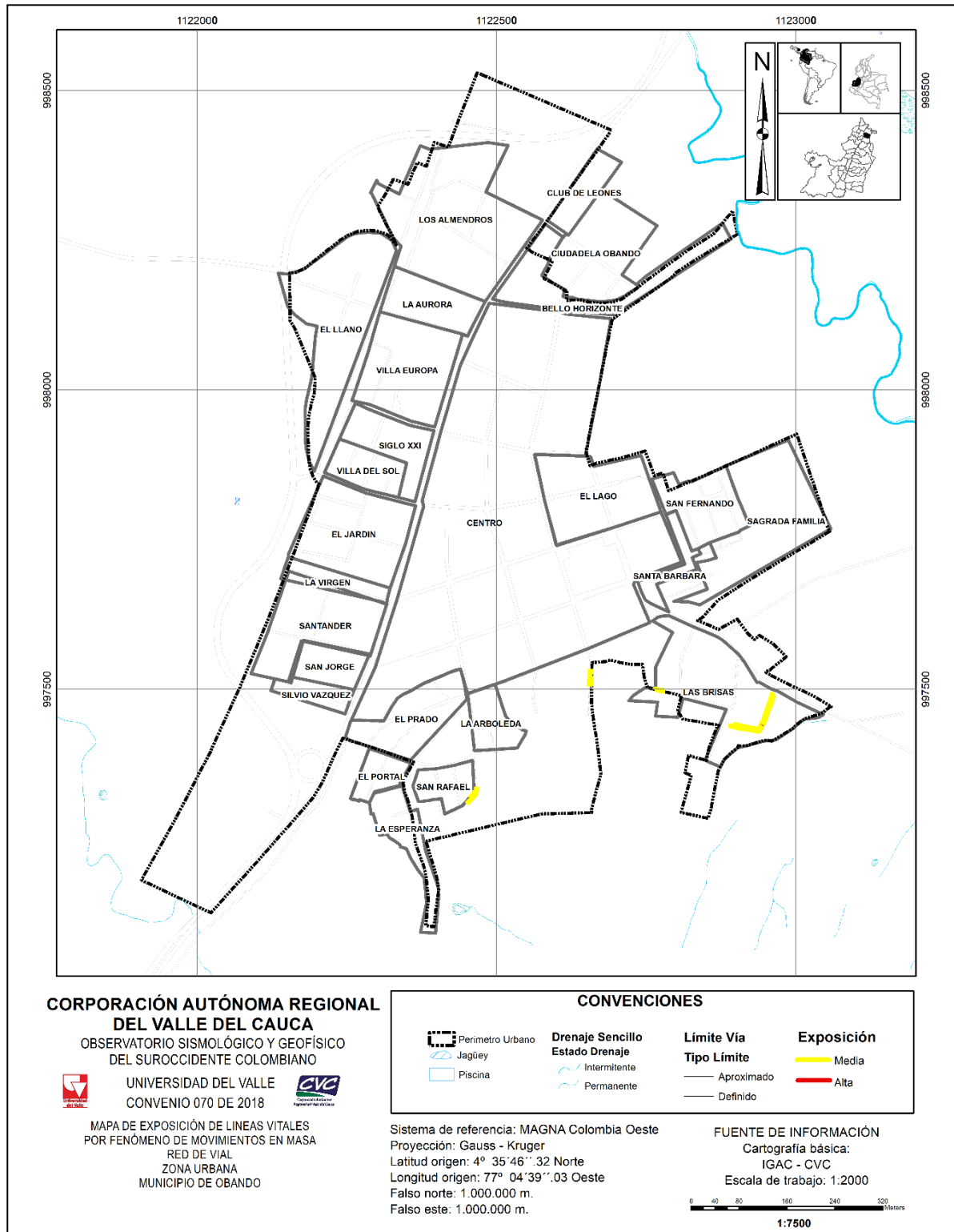


Figura 8.18. Exposición de líneas vitales por fenómeno de movimiento en masa, red vial, zona urbana del municipio de Obando

Fuente: elaboración propia.

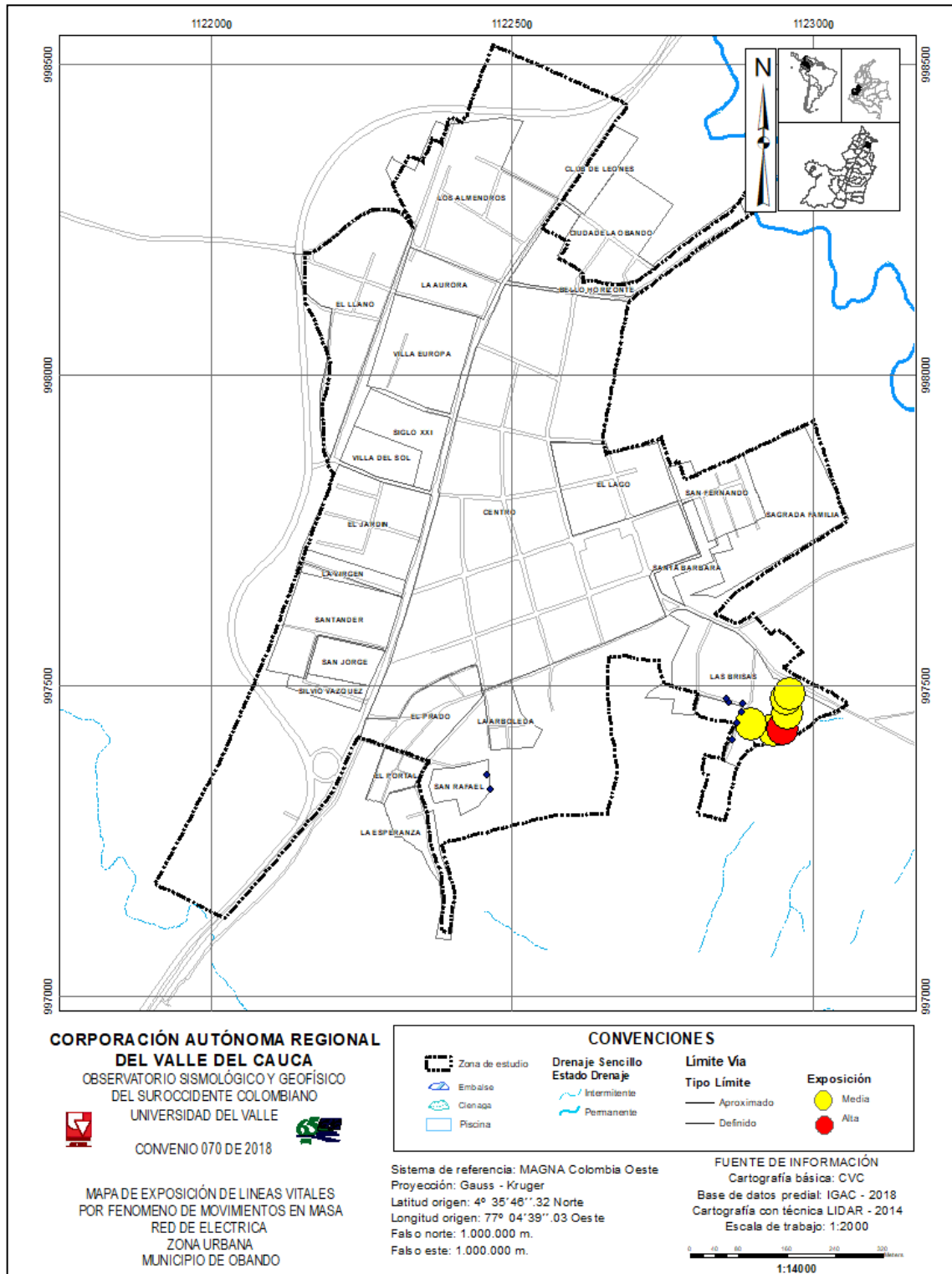


Figura 8.19. Exposición de líneas vitales por fenómeno de movimiento en masa, red de postes, zona urbana del municipio de Obando

Fuente: elaboración propia.

8.3.2.2. 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).

8.3.2.3. Factor de resistencia (factor de seguridad)

El factor de resistencia, indica que tan resistente es el individuo o elementos expuestos frente a movimiento en masa, está en relación con la información de los niveles de exposición ante el fenómeno.

8.3.2.3.1. Factor de resistencia corporal

En la Tabla 8.30 se presenta el factor de resistencia en sus distintas categorías. El 11.32% de la población obtuvo factor de resistencia alto, 5.66% factor de resistencia medio y el 83.36% presenta un factor de resistencia bajo (Figura 8.20).

Tabla 8.31. Distribución porcentual del número total de habitantes según factor de resistencia corporal ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Obando

FACTOR DE RESISTENCIA CORPORAL	PORCENTAJE DE POBLACIÓN
Alta	11,32%
Media	5,66%
Baja	83,02%

Fuente: elaboración propia

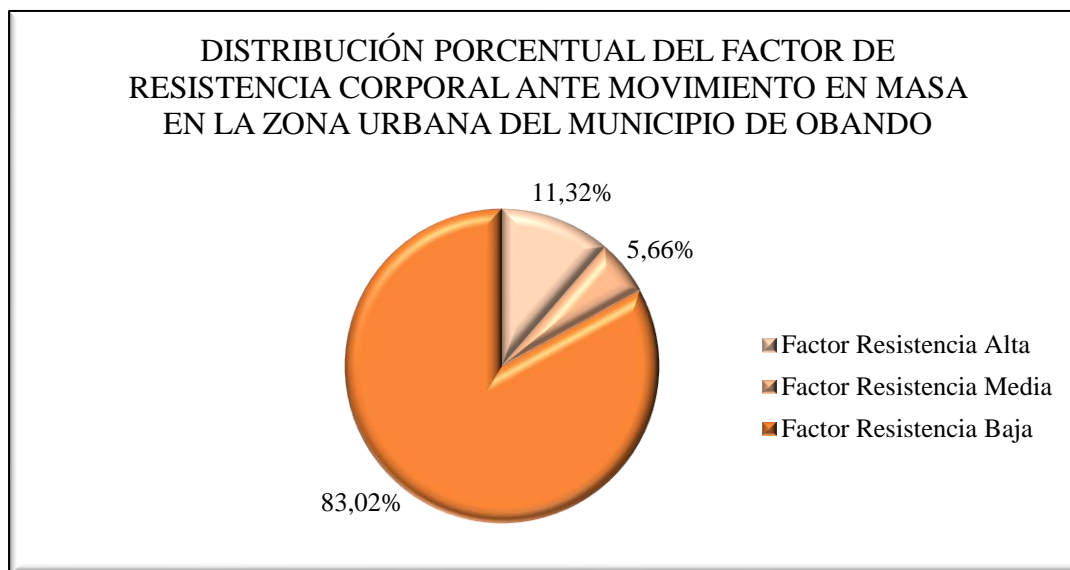


Figura 8.20. Factor de resistencia corporal ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Obando

Fuente: elaboración propia.

La Figura 8.21, muestra la distribución espacial del factor de resistencia corporal ante el fenómeno de movimiento en masa para la zona urbana del municipio de Obando. El barrio Las Brisas es el que mayor variabilidad en el factor de resistencia corporal, con niveles de bajo, medio y alto. La Esperanza y San Rafael, prima el factor de resistencia corporal baja.

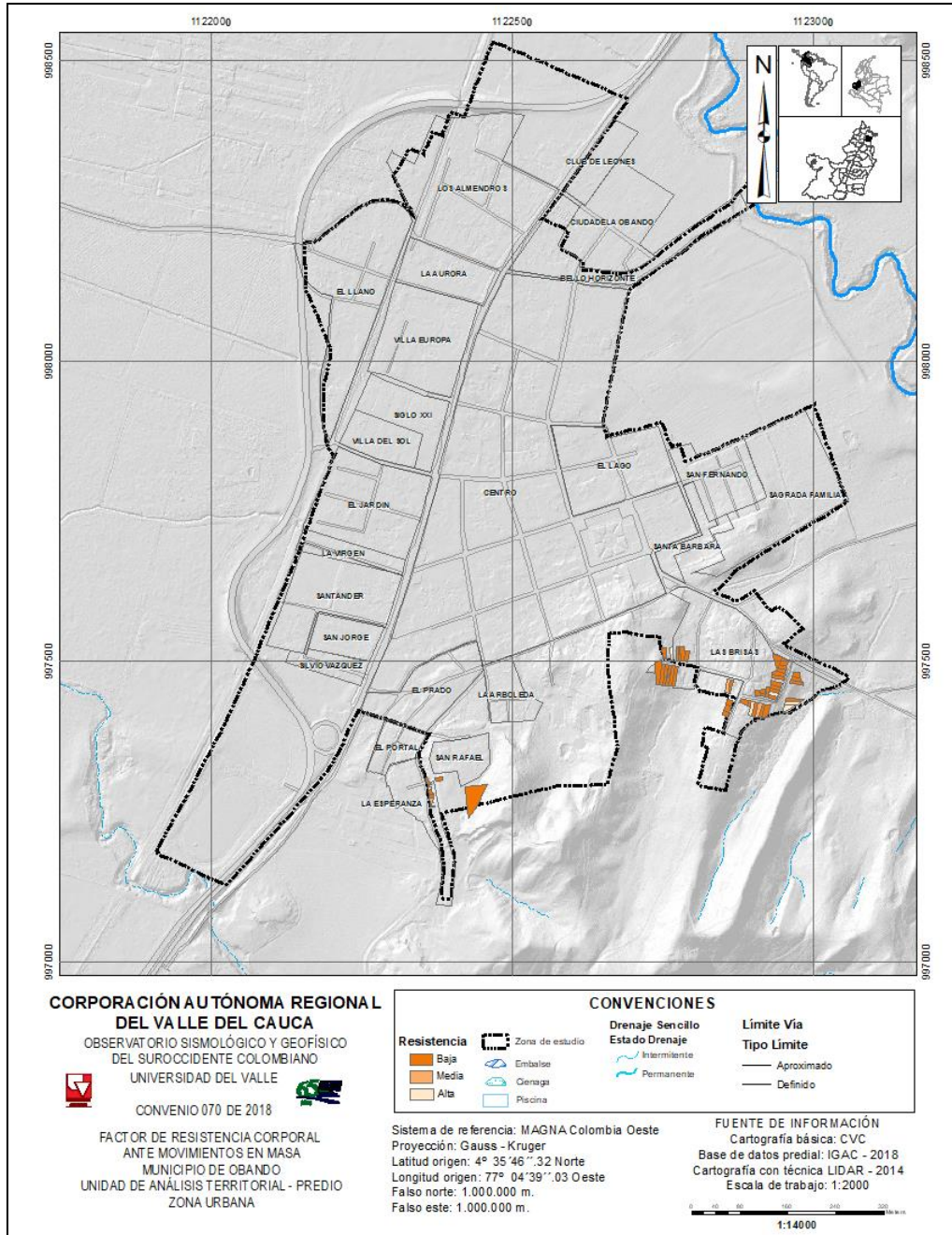


Figura 8.21. Factor de resistencia corporal por movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Obando

Fuente: elaboración propia.

- **Factor de resistencia estructural**

El factor de resistencia de los elementos estructurales 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 la profundidad del del deslizamiento 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 53 edificaciones analizadas, arrojaron de manera digital 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**

Por la tipología constructiva se encontró 29 edificaciones en mampostería no reforzada, 9 con mampostería confinada, 9 edificaciones hechas de madera, tapia y bahareque y 6 edificaciones en otro material (

Tabla 8.32 y Figura 8.22).

Tabla 8.32. Número de edificaciones según su tipología constructiva

TIPOLOGÍA DE CONSTRUCCIÓN	NÚMERO DE EDIFICACIONES
Mampostería no reforzada	29
Mampostería Confinada	9
Madera, Tapia, Bahareque	9
Otro (Material reciclado)	6
Total	53

Fuente: elaboración propia.

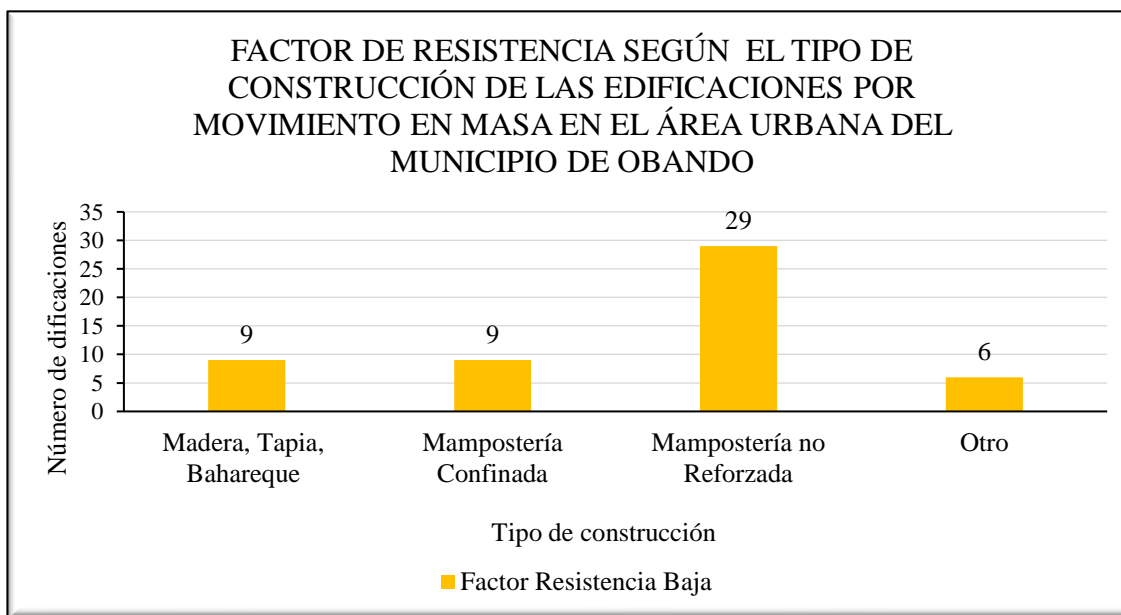


Figura 8.22. Factor de resistencia según el tipo de construcción de las edificaciones, por movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Obando

Fuente: elaboración propia.

- **Estado de conservación de la edificación**

Según el estado de conservación definido en las categorías: bueno, daños moderados, daños graves. Por estado de conservación estado bueno 27 edificaciones. Con daños moderados 16 edificaciones y con daños graves 10 edificaciones (Tabla 8.33 y Figura 8.1).

Tabla 8.33. Número de edificaciones según estado de conservación

ESTADO DE CONSERVACIÓN	NÚMERO DE EDIFICACIONES
Bueno	27
Daños Moderados	16
Daños Graves	10
Total	53

Fuente: elaboración propia.

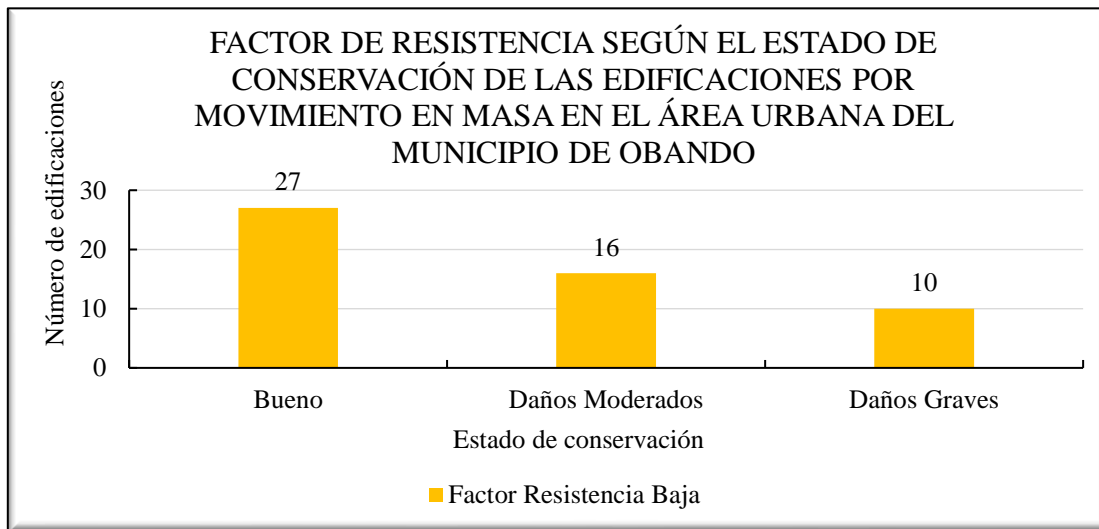


Figura 8.23. Factor de resistencia según el estado de conservación de las edificaciones por movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Obando

Fuente: elaboración propia.

- **Edad o tiempo de servicio de la edificación**

Teniendo los rangos de edad categorizados para las edificaciones, se encontró 37 edificaciones con edades <20 años. En el rango de edad entre 20 y 29 años, 8 edificaciones. 4 edificaciones entre los 30 y 49 años; 3 edificaciones entre los 50 y 79 años, y la existencia de 1 edificación con una edad mayor a 80 años (Tabla 8.34 y Figura 8.24).

Tabla 8.34. Número de edificaciones según su edad

RANGO DE EDAD	NÚMERO DE EDIFICACIONES
<20	37
[20; 29]	8
[30; 49]	4
[50; 79]	3
>=80	1
Total	53

Fuente: elaboración propia.

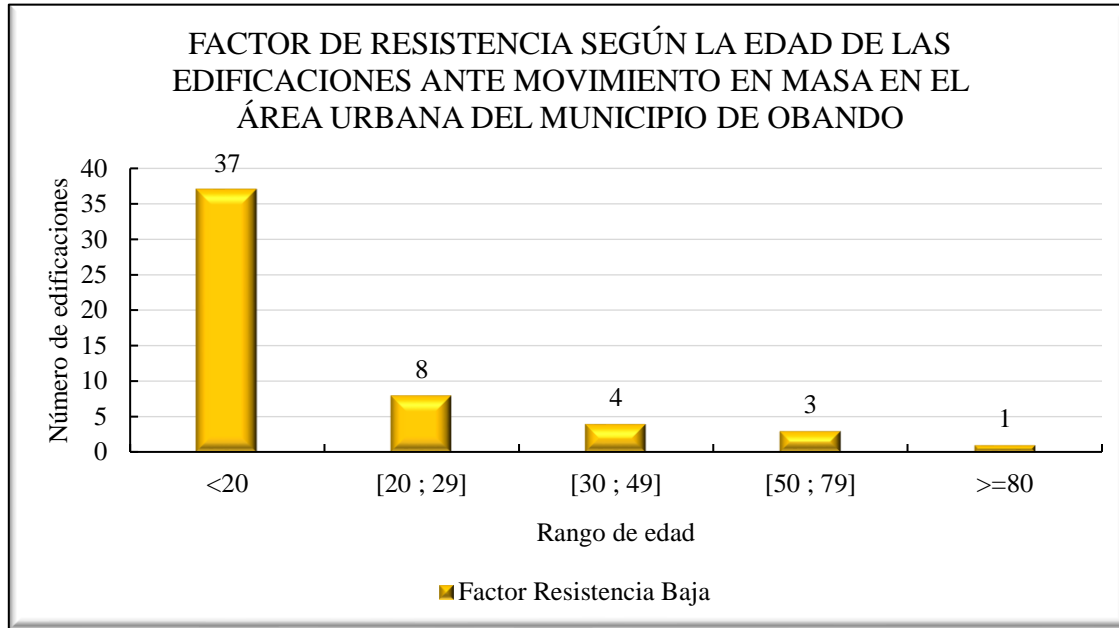


Figura 8.24. Factor de resistencia según la edad de las edificaciones por movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Obando

Fuente: elaboración propia.

- **Altura de la edificación**

Todas las 53 edificaciones son 1 piso y todas tienen factor de resistencia bajo.

El comportamiento espacial del factor de resistencia estructural ante el fenómeno de movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Obando se muestra en la Figura 8.25. Los barrios Las Brisas, La Esperanza y San Rafael, presentan resistencia baja

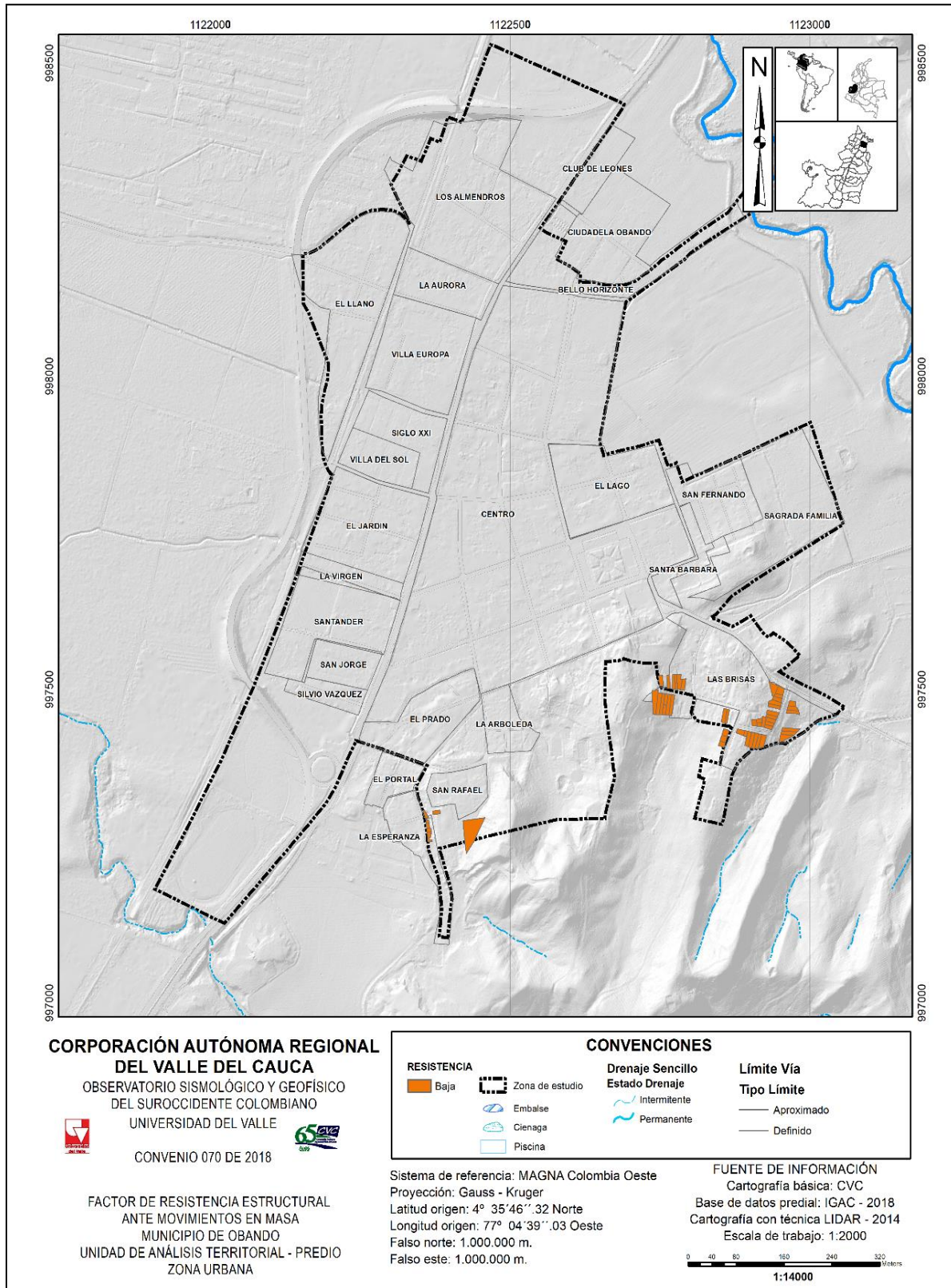


Figura 8.25. Factor de resistencia estructural por movimiento en masa, zona urbana del municipio de Obando
Fuente: elaboración propia.

8.3.2.3.2. Factor de resistencia de líneas vitales

En el municipio de Obando, 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 a detalle.

-Factor de resistencia red vial

De acuerdo con lo planteado en la metodología, el análisis de la red vial está en función de su ancho y del tipo de material.

En la Tabla 8.35 se encuentra los factores de resistencias para la red vial según su material. Para las vías de material concreto se obtuvo 114,02m de longitud con factor de resistencia media. Mientras que para la red vial destapada con 74,37 presenta factor de resistencia baja (Figura 8.26). Los anchos hallados en los tramos viales expuestos ante movimiento en masa, fueron de de 3m y 5 metros. En la Tabla 8.36 se muestra que con factor de resistencia media se tiene ancho de vía de 5 metros con 114,02m de longitud. Y para vías de ancho de 3m se obtuvo 74,32m de longitud (Figura 8.27).

Tabla 8.35. Factor de resistencia de la red vial según su material ante movimiento en masa, zona urbana del municipio de Obando

MATERIAL DE LA VÍA	LONGITUD(M)	
	FACTOR DE RESISTENCIA MEDIA	FACTOR DE RESISTENCIA BAJA
Concreto	114,02	0
Destapada	0	74,37

Fuente: elaboración propia.

Tabla 8.36. Factor de resistencia de la red vial según su ancho ante movimiento en masa, zona urbana del municipio de Obando

ANCHO DE LA VÍA	LONGITUD (M)	
	FACTOR DE RESISTENCIA MEDIA	FACTOR DE RESISTENCIA BAJA
5M	114,02	0
3M	0	74,37

Fuente: elaboración propia.

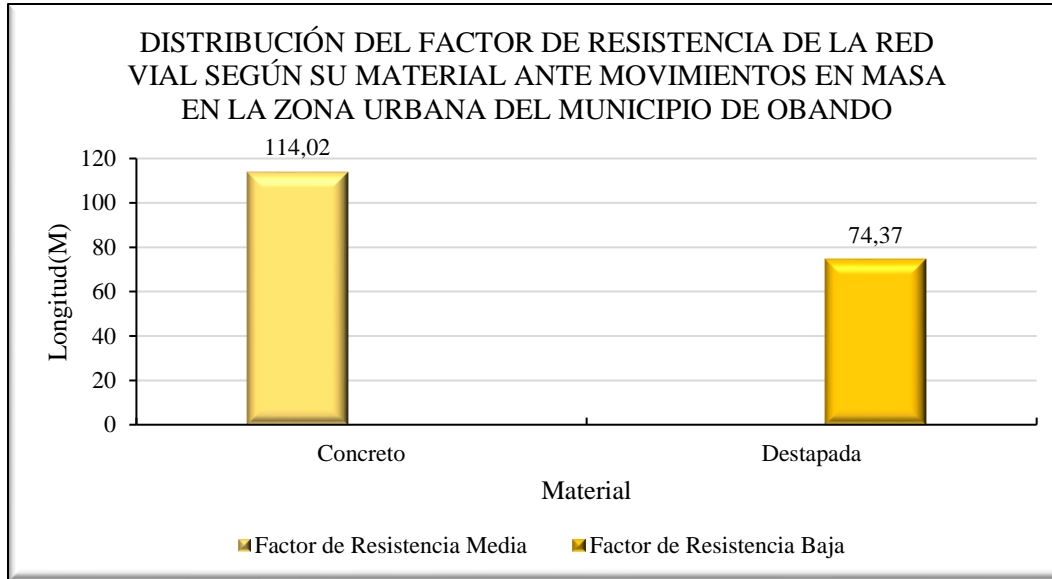


Figura 8.26. Distribución del factor de resistencia de la red vial según su material ante movimientos en masa en la zona urbana del municipio de Obando
Fuente: elaboración propia.

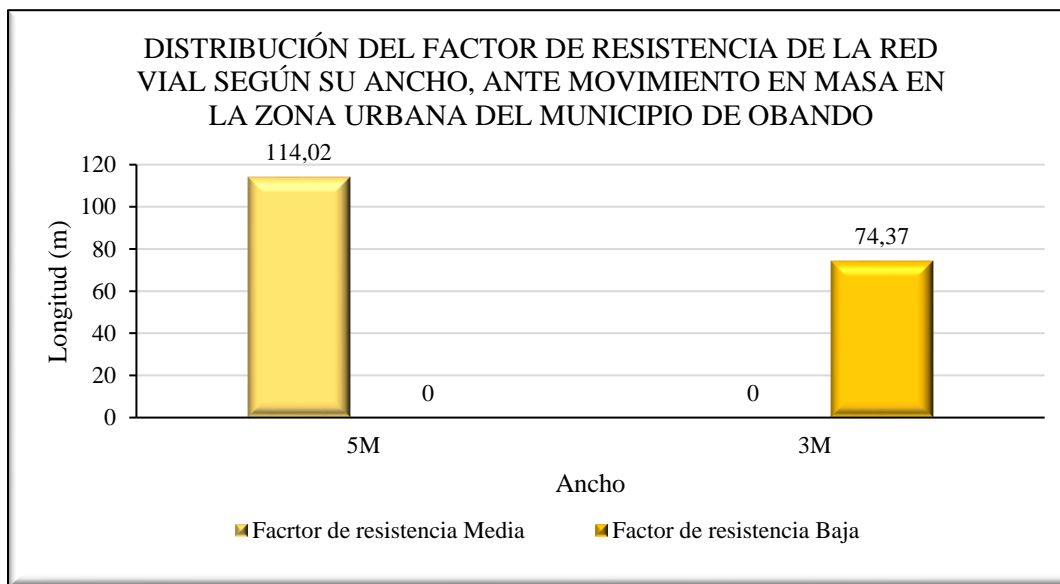


Figura 8.27. Distribución del factor de resistencia de la red vial según su ancho, ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Obando
Fuente: elaboración propia.

La Figura 8.28 representa espacialmente la distribución del factor de resistencia de la red vial ante el fenómeno de movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Obando. Los tramos viales están distribuidos en los barrios La Esperanza, San Rafael y Las Brisas. El material concreto de los tramos de la vía en Las Brisas obtuvo resistencia media, algunos pequeños tramos de destapada en este barrio presentando resistencia baja. Los demás tramos de las vías analizados arrojaron factor de resistencia.

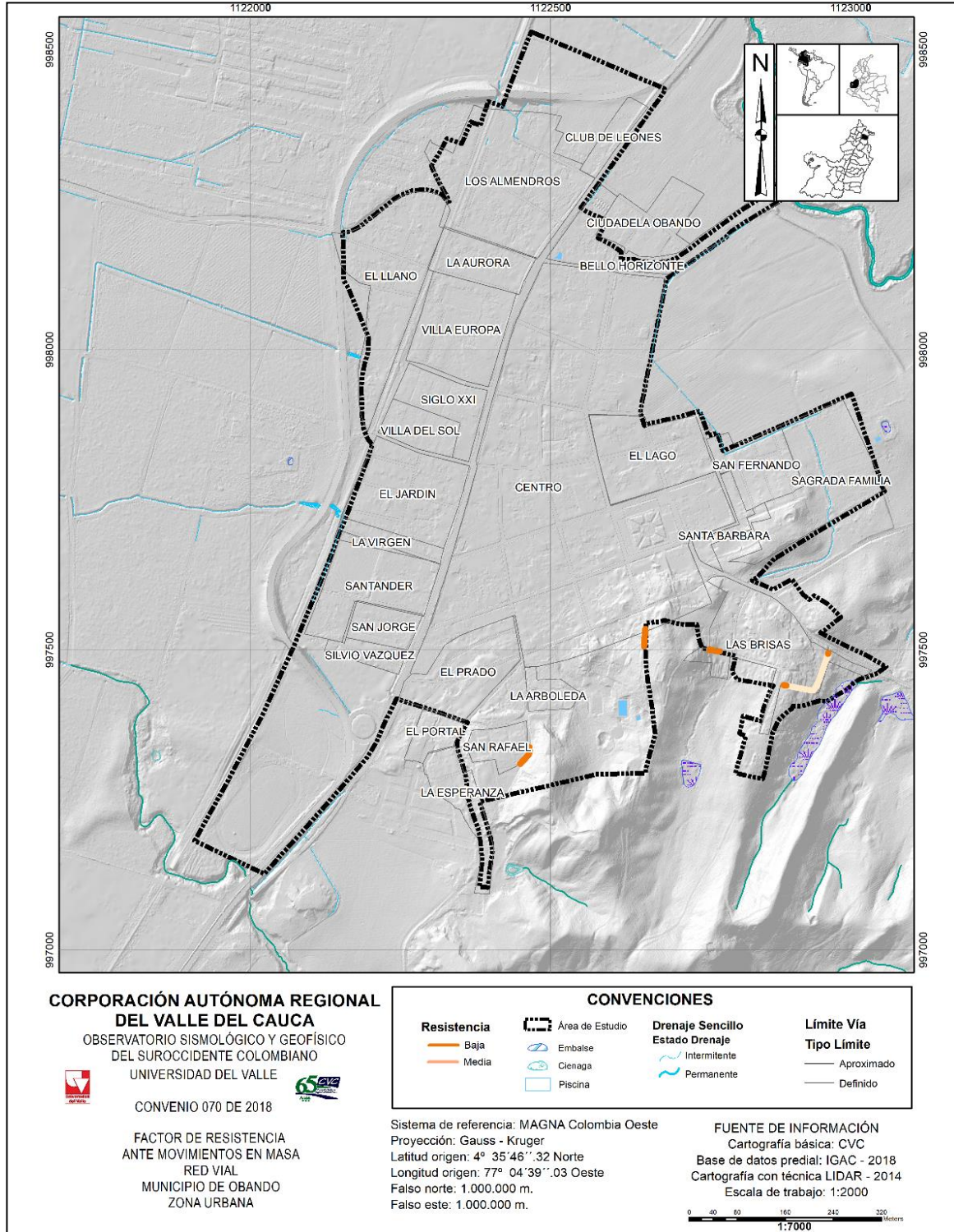


Figura 8.28. Factor de resistencia de la red vial ante movimiento en masa, zona urbana del municipio de Obando

Fuente: elaboración propia.

- **Factor de resistencia red eléctrica**

Para el análisis del factor de resistencia de la red eléctrica, se tiene dos factores importantes el tipo de material de los postes y su respectiva carga nominal.

Los 6 postes de material de concreto y cargas nominales de 5001N, arrojaron de manera general factor de resistencia baja, como se puede observar en la Tabla 8.37. Los 6 postes están localizados en el barrio Las Brisas como lo muestra la Figura 8.29.

Tabla 8.37. Factor de resistencia de la red eléctrica ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Obando

TIPO DE MATERIAL	CARGA NOMINAL	NÚMERO DE POSTES
		FACTOR DE RESISTENCIA BAJA
Concreto	5001N	6

Fuente: elaboración propia.

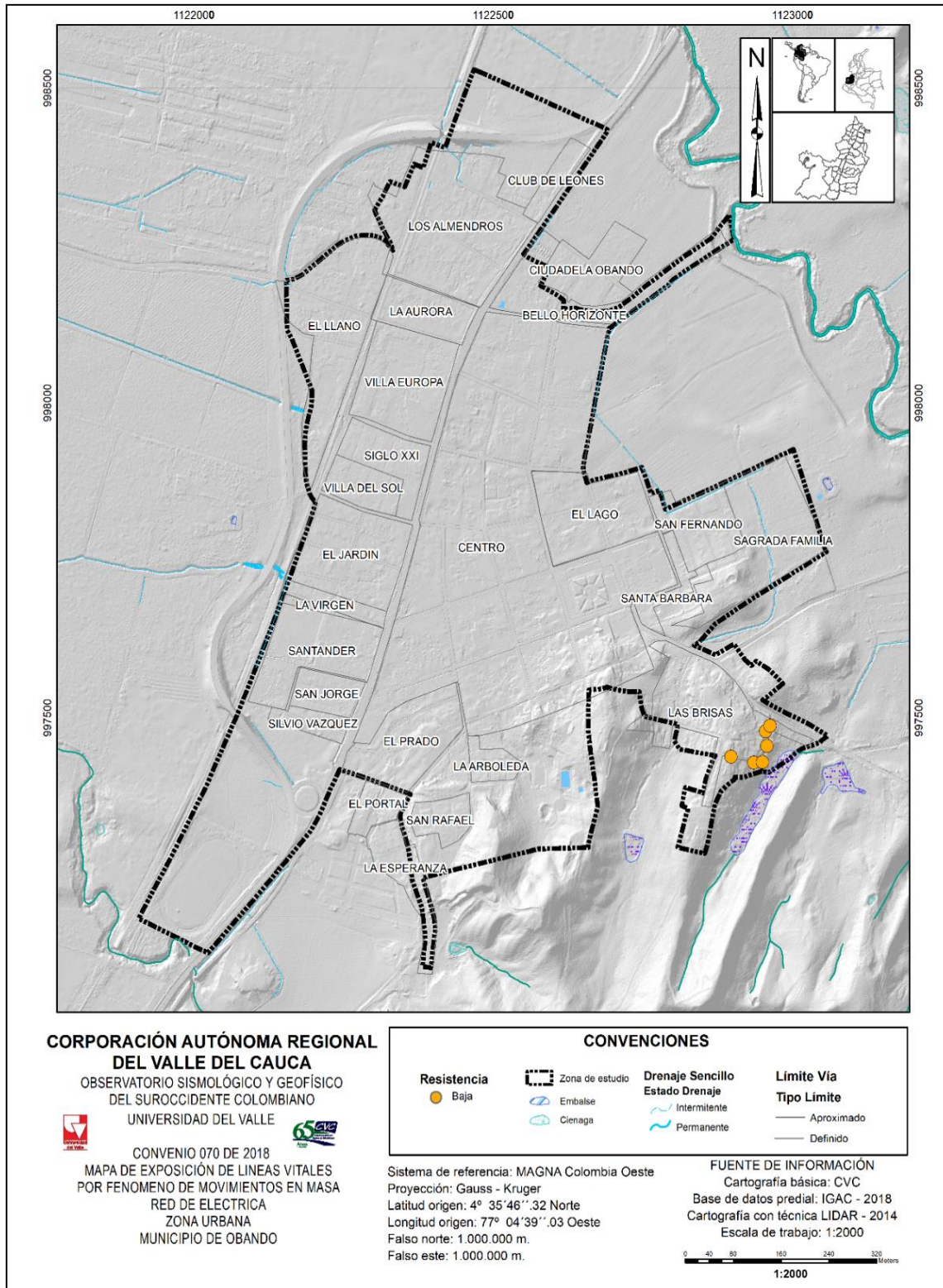


Figura 8.29. Factor de resistencia de la red eléctrica ante movimiento en masa, zona urbana del municipio de Obando
Fuente: elaboración propia.

8.3.3. 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 Obando.

A continuación, se presentan los resultados de vulnerabilidad corporal, vulnerabilidad estructural y vulnerabilidad de líneas vitales.

8.3.3.1. 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 la zona urbana del municipio de Obando.

En la Tabla 8.38 y Figura 8.30 se expone la vulnerabilidad a partir del porcentaje de la población encuestada, el 97.27% tienen vulnerabilidad corporal alta, el 1.83% poseen vulnerabilidad corporal media

Tabla 8.38. Distribución de la vulnerabilidad corporal de la zona urbana del municipio de Obando

VULNERABILIDAD CORPORAL	PORCENTAJE DE POBLACIÓN
Alta	97,27%
Media	1,83

Fuente: elaboración propia.

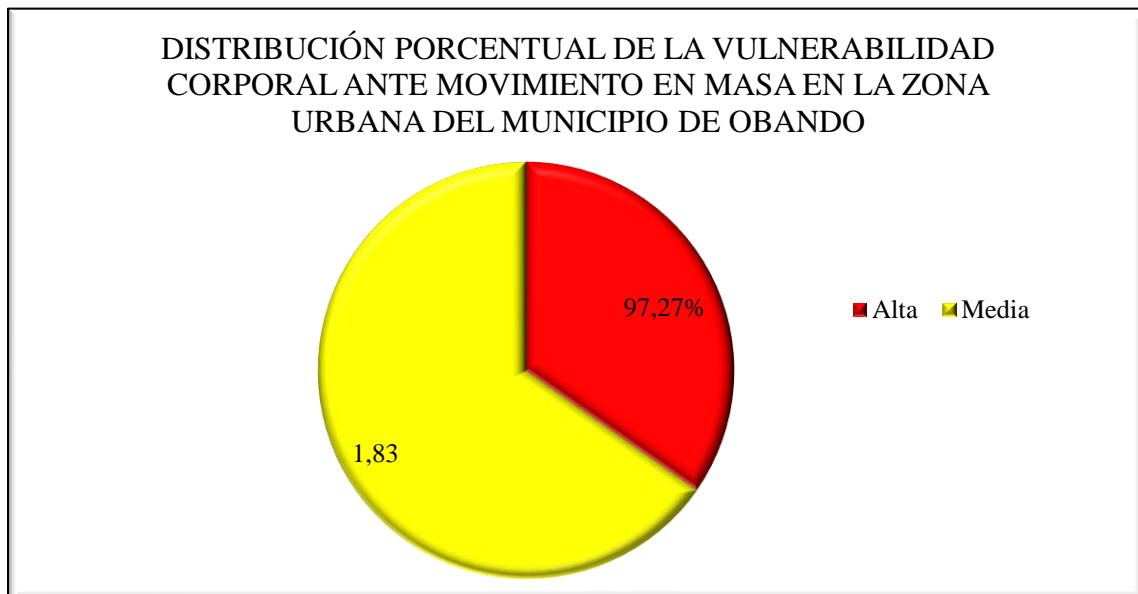


Figura 8.30. Distribución del porcentaje de la vulnerabilidad corporal de la zona urbana del municipio de Obando

Fuente: elaboración propia.

La Figura 8.31 muestra la distribución de la vulnerabilidad corporal ante el fenómeno de movimiento en masa de la zona urbana del municipio de Obando. Presentando vulnerabilidad corporal alta en los barrios La Esperanza, San Rafael y Las Brisas.

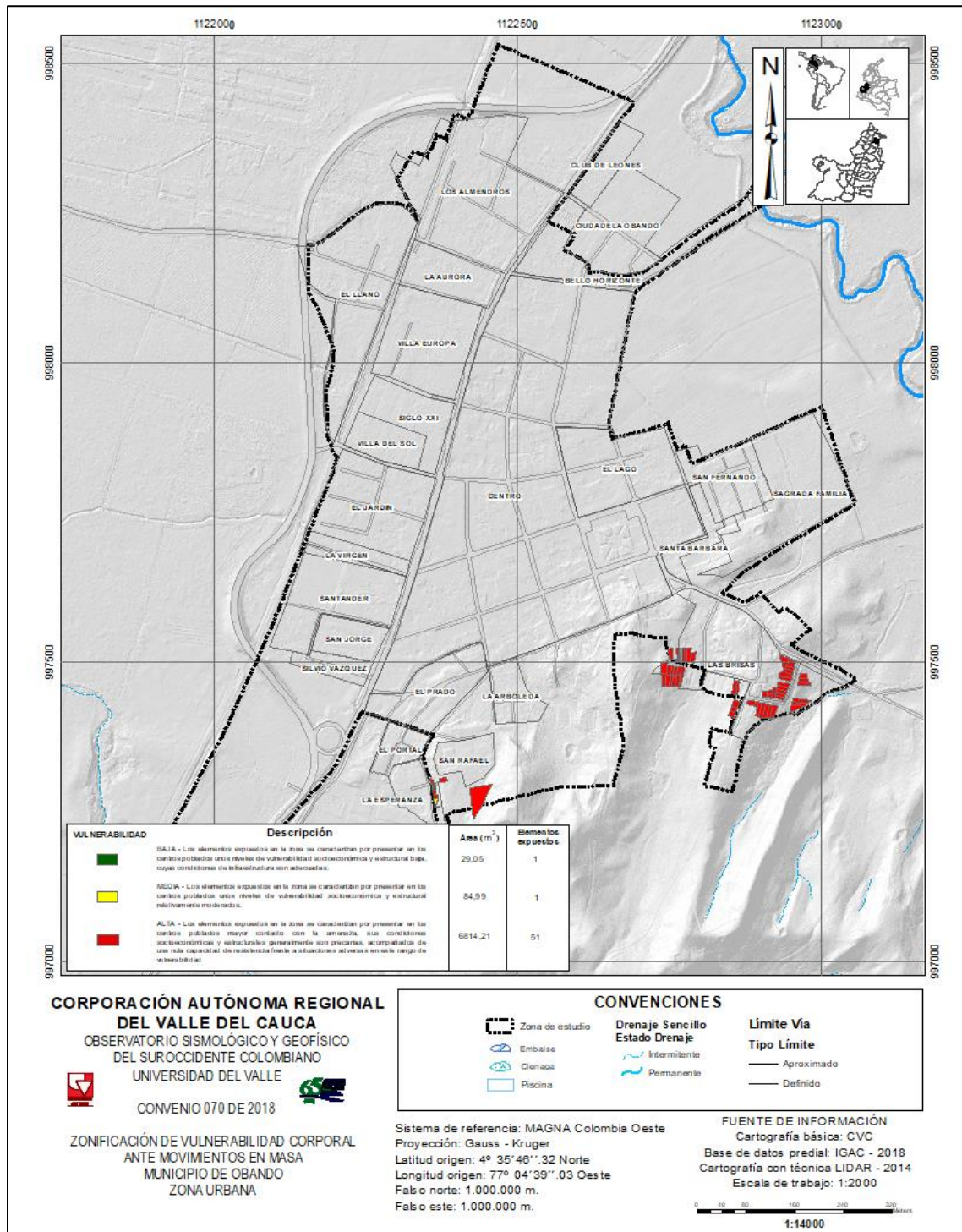


Figura 8.31. Zonificación de vulnerabilidad corporal ante movimiento en masa, zona urbana de municipio de Obando

Fuente: elaboración propia.

8.3.3.2. Vulnerabilidad estructural

En el análisis de vulnerabilidad estructural se encontró que el 100% de las edificaciones se presentan una vulnerabilidad alta (Tabla 8.39).

Tabla 8.39. Vulnerabilidad estructural ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Obando

VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL	EDIFICACIONES	ÁREA M2	PORCENTAJE ÁREA
Alta	53	6928,27	100,00%
Total	53	6928,27	100%

La Figura 8.32, muestra la distribución espacial de la vulnerabilidad estructural ante el fenómeno de movimiento en masa. Las condiciones de amenaza más los factores de las edificaciones, indicaron que son altamente vulnerables en los barrios La Esperanza, Las Brisas y San Rafael.

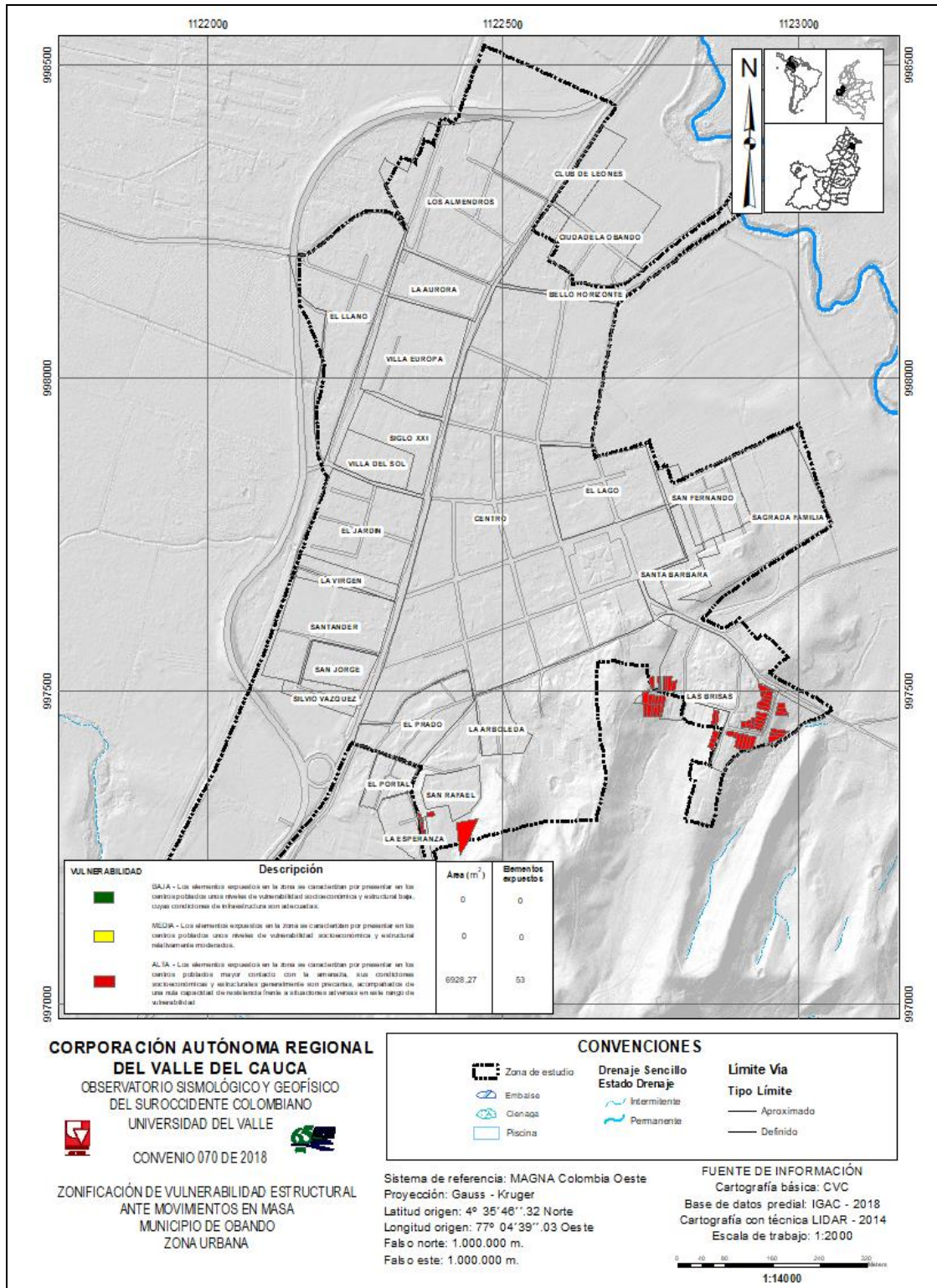


Figura 8.32. Zonificación de vulnerabilidad estructural ante movimiento en masa, zona urbana del municipio de Obando
Fuente: elaboración propia.

8.3.3.3. Vulnerabilidad de las líneas vitales

En el municipio de Obando, el análisis de vulnerabilidad de las líneas vitales se realizó para la red vial y los psotes que soportan las redes 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 grande y de mayor jerarquía se requieren estudios específicos a detalle.

A continuación, el análisis de la vulnerabilidad para la red vial y la red eléctrica por el fenómeno de movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Obando.

- **Red vial**

Los resultados de la vulnerabilidad de la red vial analizada en la zona urbana del municipio de Obando, se muestra en la Tabla 8.40. Se obtuvo en vulnerabilidad media 113,02 m, con vulnerabilidad baja 19,67m y con vulnerabilidad alta un total de 55,69m (Figura 8.33).

Tabla 8.40. Vulnerabilidad de la red vial ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Obando

TIPO DE LÍNEA VITAL	LONGITUD (M)		
	NIVEL DE VULNERABILIDAD		
	BAJA	MEDIA	ALTA
Red vial	19,67	113,02	55,69

Fuente: elaboración propia.

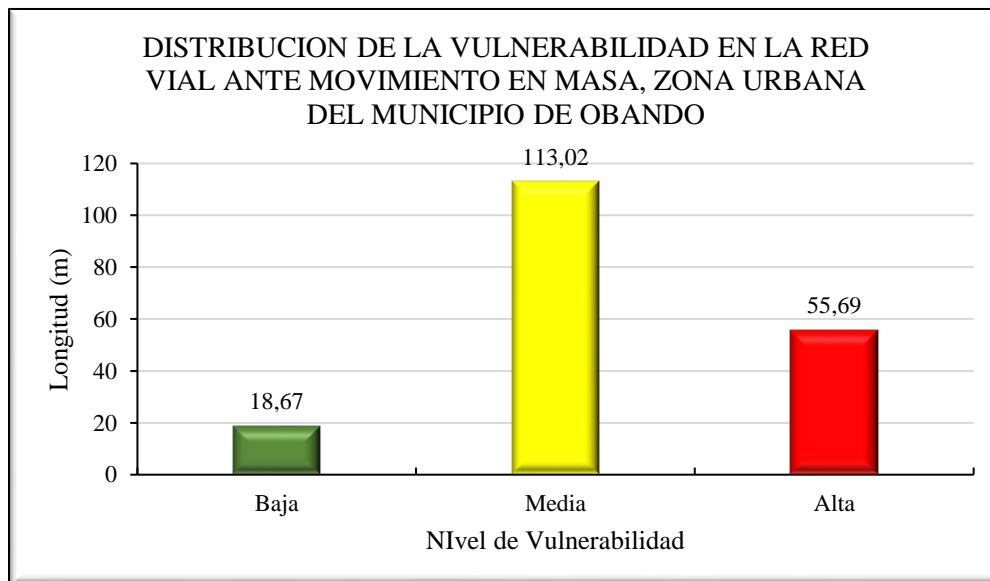


Figura 8.33. Distribucion de la vulnerabilidad en la red vial ante movimiento en masa, zona urbana del municipio de Obando

Fuente: elaboración propia.

La distribución espacial de la vulnerabilidad de la red vial ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio se muestra en la Figura 8.34. La vulnerabilidad media está presente en un

tramo vial del barrio las brisas, que presenta graves daños y en este barrio también se localiza el único tramo con vulnerabilidad baja. Los tramos viales con vulnerabilidad baja se localizan en los barrios San Rafael y La Esperanza.

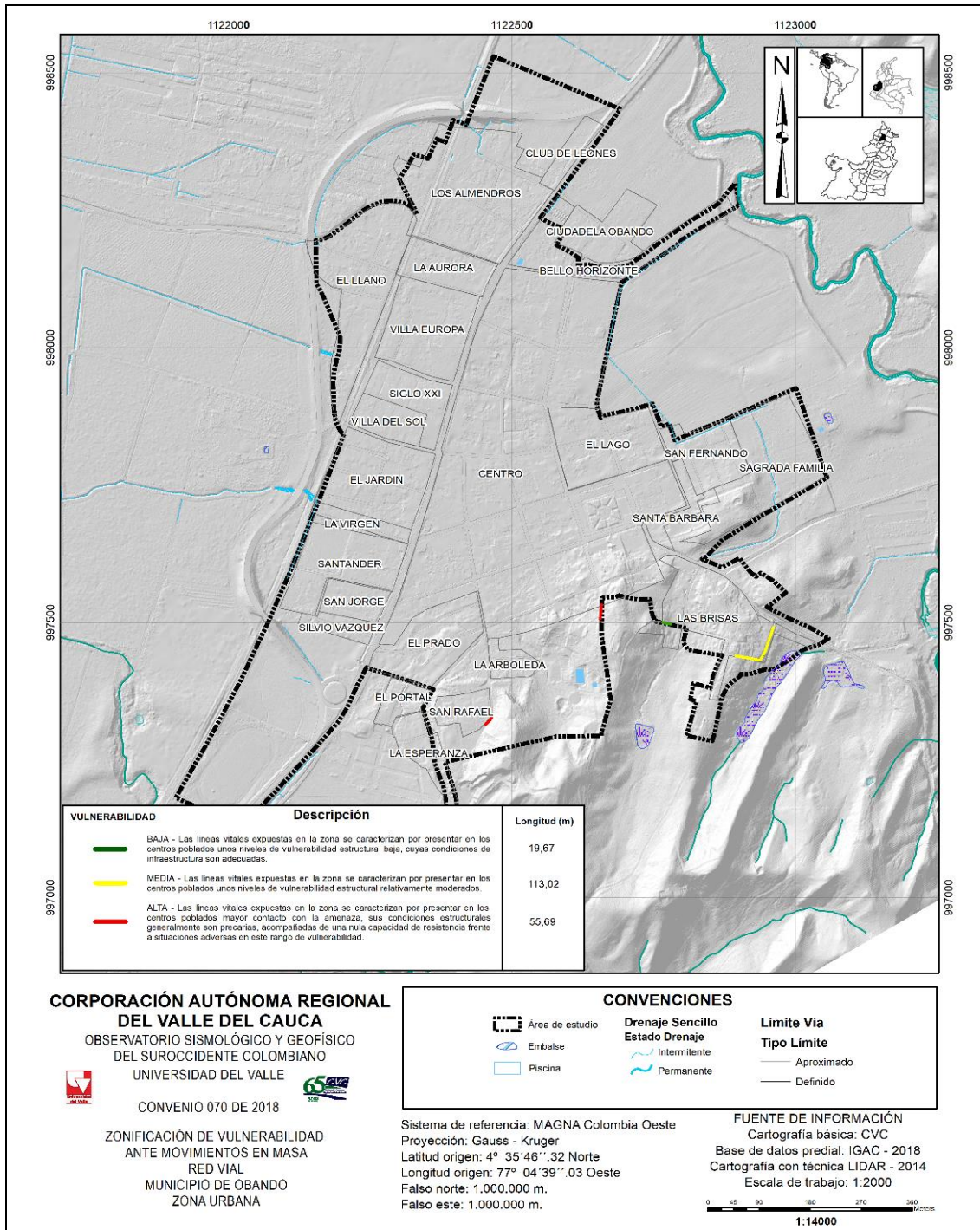


Figura 8.34. Zonificación de vulnerabilidad ante movimiento en masa, red vial, zona urbana del municipio de Obando

Fuente: elaboración propia.

- **Red eléctrica**

La vulnerabilidad en la red eléctrica ante movimiento en masa arrojó que los 6 postes localizados en el barrio Las Brisas, presentan vulnerabilidad alta como se muestra en la Figura 8.35.

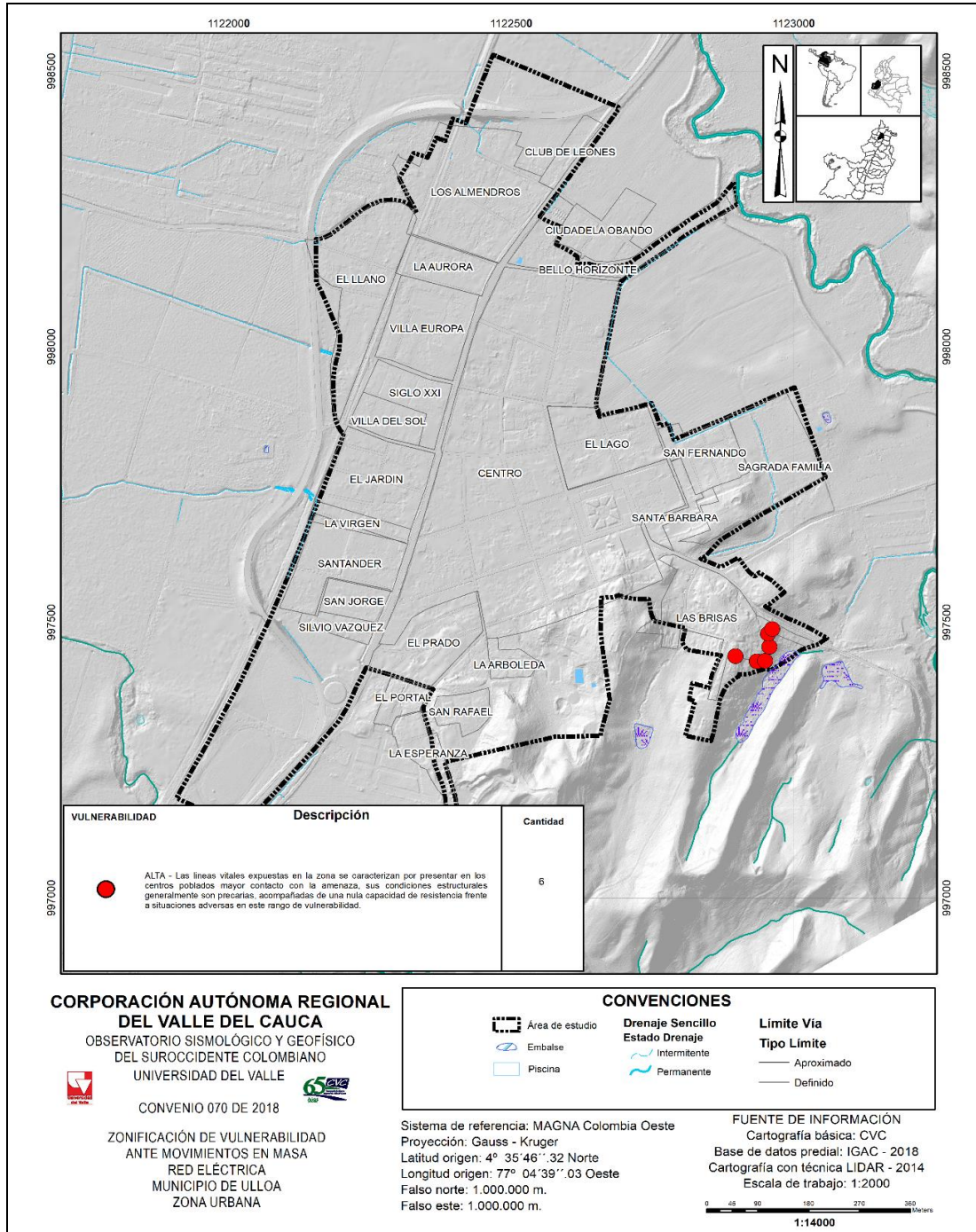


Figura 8.35. Zonificación de la vulnerabilidad ante movimiento en masa de la red eléctrica en la zona urbana del municipio de Obando

Fuente: elaboración propia.

8.3.4. Curva de fragilidad de los elementos expuestos por el fenómeno de movimiento en masa

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 respuesta estructural (Di Pásquale y Cakmak, 1989). Dicha curva está en función de la intensidad y la resistencia de los elementos expuestos.

La Figura 8.37 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 Obando. En ella se observa que, para los 4 factores de resistencia, $S=0,7$; $S=0,8$; $S=0,9$ y $S=1,0$, se presentan valores de vulnerabilidad e intensidad altos. Lo que evidencia una clara relación de proporcionalidad entre estos factores. Todos los factores de resistencia, tienen valores de intensidad promedio de 0,91 y de vulnerabilidad en 1 (Figura 8.36).

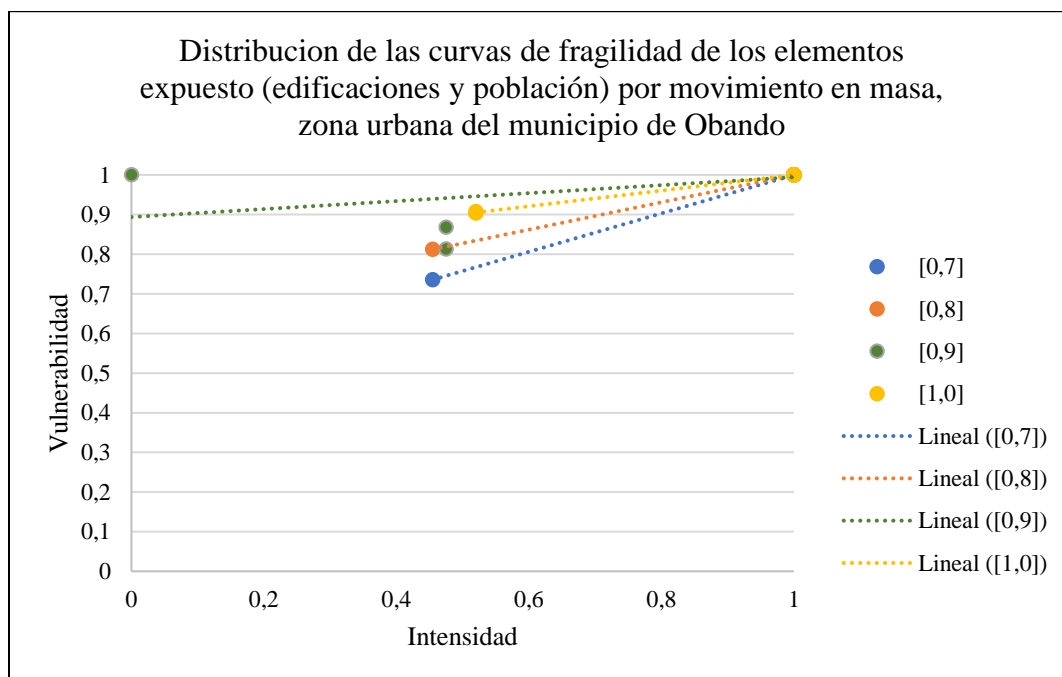


Figura 8.36. Curvas de fragilidad de los elementos expuestos (población y estructural) ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Obando

Fuente: elaboración propia.

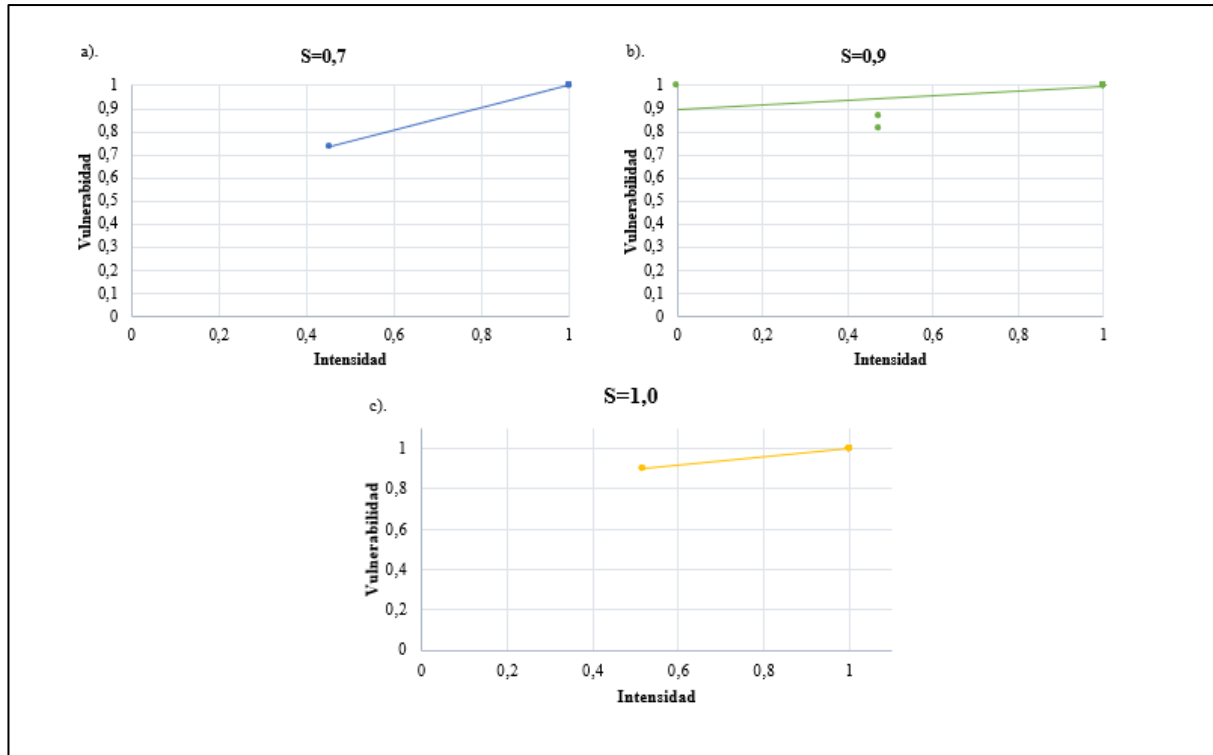


Figura 8.37. Factores de resistencia: a). Resistencia $S=0,7$; b). Resistencia $S=0,9$; c) Resistencia $S=1,0$

Fuente: elaboración propia.

9. ESCENARIOS DE AFECTACIÓN ANTE MOVIMIENTO EN MASA DEL MUNICIPIO DE OBANDO

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. La importancia de la realización de los escenarios de afectación para el municipio de Obando, por el fenómeno de inundación a partir del desarrollo de la metodología propuesta en este estudio, se ve reflejada en el gran aporte al entendimiento del origen y comportamiento de escenarios de riesgo en los que, sin duda, es el primer paso para estructurar y aplicar acciones que eviten, en la medida de lo posible, pérdidas humanas y materiales, como consecuencia de la acción de dicho fenómeno.

Para determinar el escenario de afectación por movimiento en masa se realiza una matriz que es el resultado de la multiplicación de los valores de amenaza por los valores de vulnerabilidad, Tabla 9.1.

Tabla 9.1. Matriz para calcular los niveles de escenario de afectación para el fenómeno de movimiento en masa

AMENAZA	VULNERABILIDAD		
	ALTA =3	MEDIA =2	BAJA =1
ALTA=3	9	6	3
MEDIA=2	6	4	2
BAJA =1	3	2	1

Fuente: elaboración propia.

Las zonas de estudio ante el fenómeno de inundación se clasificaron en escenarios de afectación alta, media y baja:

Afectación baja: son las zonas que se caracterizan por presentar niveles de amenaza baja con unas condiciones de vulnerabilidad bajas.

Afectación media: son las zonas que se caracterizan por presentar niveles de amenaza moderada con niveles de vulnerabilidad socioeconómica y estructural moderados.

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.

9.2.1. Escenario de afectación mitigable y no mitigable por inundación

Para determinar las zonas de afectación mitigable y no mitigable por movimientos en masa, se siguieron 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.

9.3. ESCENARIO DE AFECTACIÓN ANTE MOVIMIENTO EN MASA

Siguiendo la metodología propuesta, a continuación, los escenarios de afectación corporal y estructural por el fenómeno de movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Obando.

9.3.1. Escenario de afectación corporal

De acuerdo con la metodología la afectación corporal está ligada a la afectación de las estructuras. La Tabla 9.2 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 (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**).

Tabla 9.2. Afectación corporal ante movimiento en masa

NIVEL DE AFECTACION	NÚMERO DE HABITANTES	PORCENTAJE DE POBLACIÓN
Alto	109	100%

Fuente: elaboración propia.

9.3.2. Escenario de afectación estructural

Para este escenario se clasificó alta, media y baja la afectación estructural y su respectiva área en m². Confirmando que todas las 53 edificaciones se encuentran clasificadas con afectación estructural alta en los 6928.27m² (Tabla 9.3).

Tabla 9.3. Nivel de afectación estructural por movimiento en masa de la zona urbana del municipio de Obando

AFECTACIÓN ESTRUCTURAL	EDIFICACIONES	ÁREA M2	PORCENTAJE ÁREA
Alta	53	6928,27	100%
Total	53	6928,27	100%

Fuente: elaboración propia

La Figura 9.1, muestra la afectación ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Obando. Las 53 edificaciones con afectación alta están distribuidas en los barrios Las Brisas, La Esperanza y San Rafael.

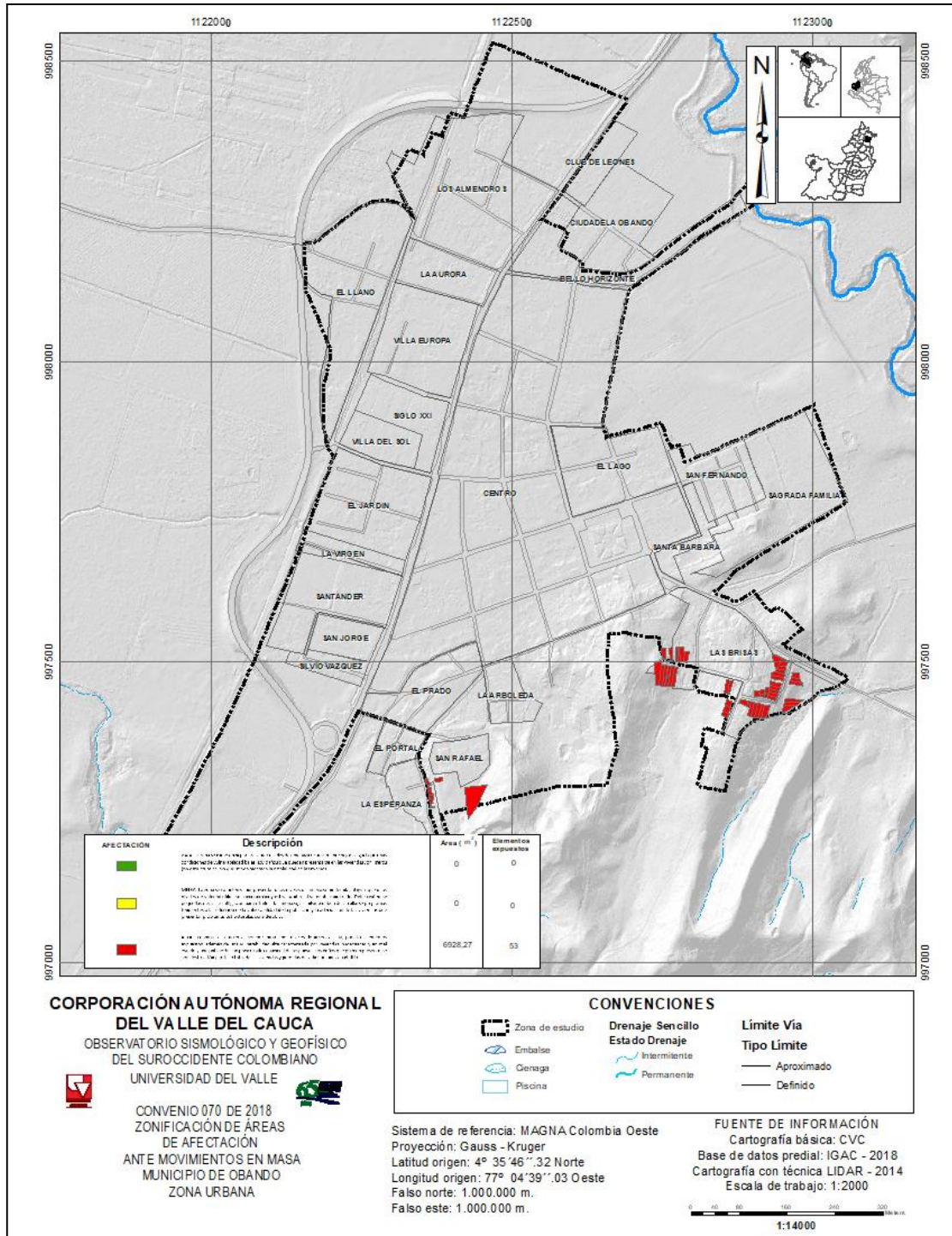


Figura 9.1. Zonificación de áreas de afectación ante movimiento en masa, zona urbana del municipio de Obando

Fuente: elaboración propia.

9.3.3. Escenario de afectación líneas vitales

En el municipio de Obando, 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 análisis de la red vial arrojó para el escenario de afectación por movimiento en masa, en afectación alta 55,69m, en afectación media, 113,02m y 18,67 m con afectación baja (Tabla 9.4). La Figura 9.2 muestra la zonificación del escenario de afectación de la red vial ante el fenómeno de movimiento en masa en la zona urbana. En los barrios La Esperanza y San Rafael están localizados los tramos viales con afectación alta. En el barrio Las Brisas, los tramos viales con afectación media y baja.

Tabla 9.4. Escenario de afectación ante movimiento en masa de la red vial en la zona urbana del municipio de Obando

TIPO DE LÍNEA VITAL	LONGITUD (M)		
	AFECTACIÓN BAJA	AFECTACIÓN MEDIA	AFECTACIÓN ALTA
Red vial	18,67	113,02	55,69

Fuente: elaboración propia.

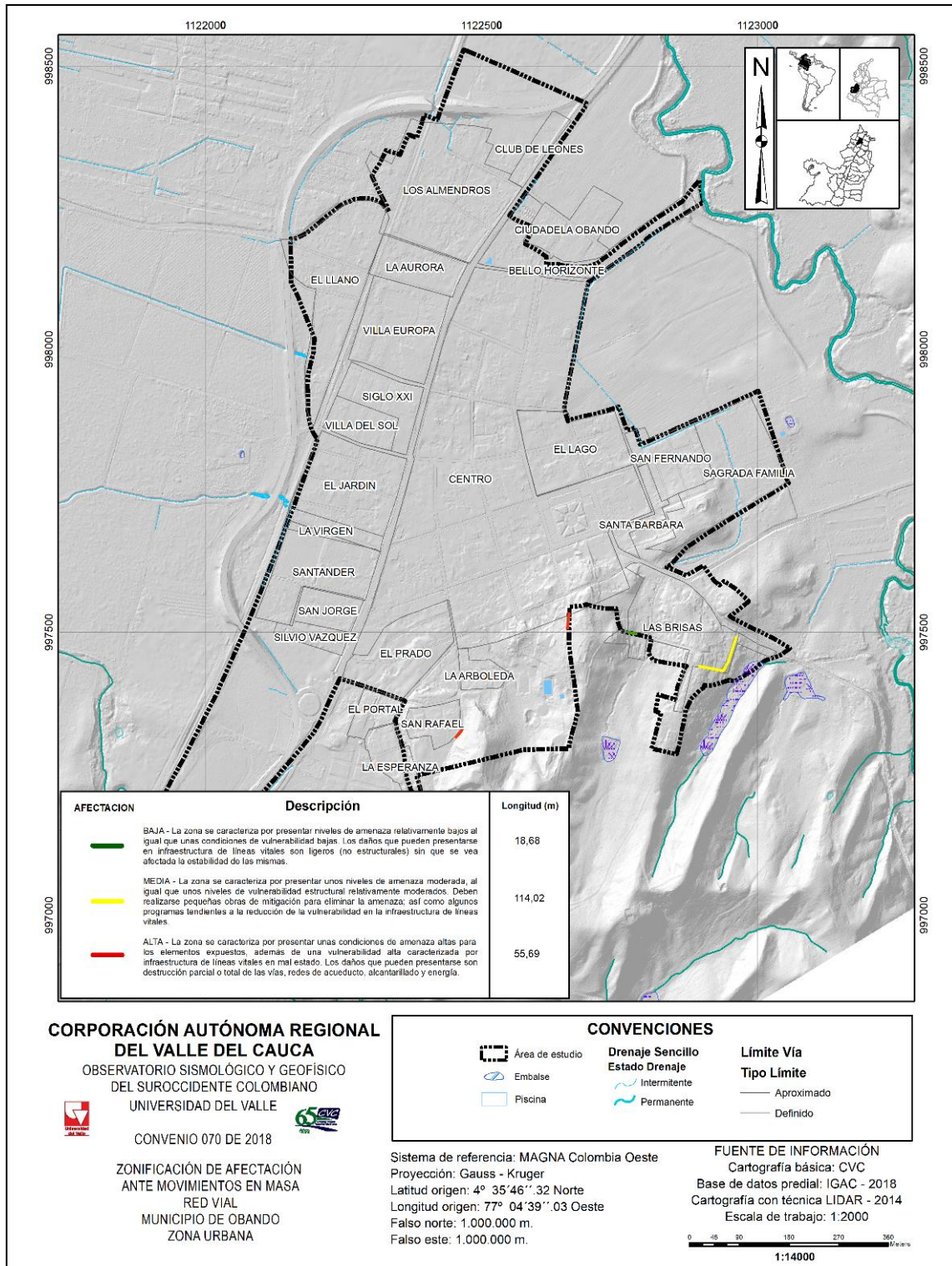


Figura 9.2. Zonificación de afectación ante movimiento en masa, red vial, zona urbana del municipio de Obando
Fuente: elaboración propia.

9.3.3.2. Red electrica

El escenario de afectación ante movimiento en masa para la red eléctrica arrojó que los 6 postes localizados en el barrio Las Brisas, presentan afectación alta como se muestra en la Figura 9.3.

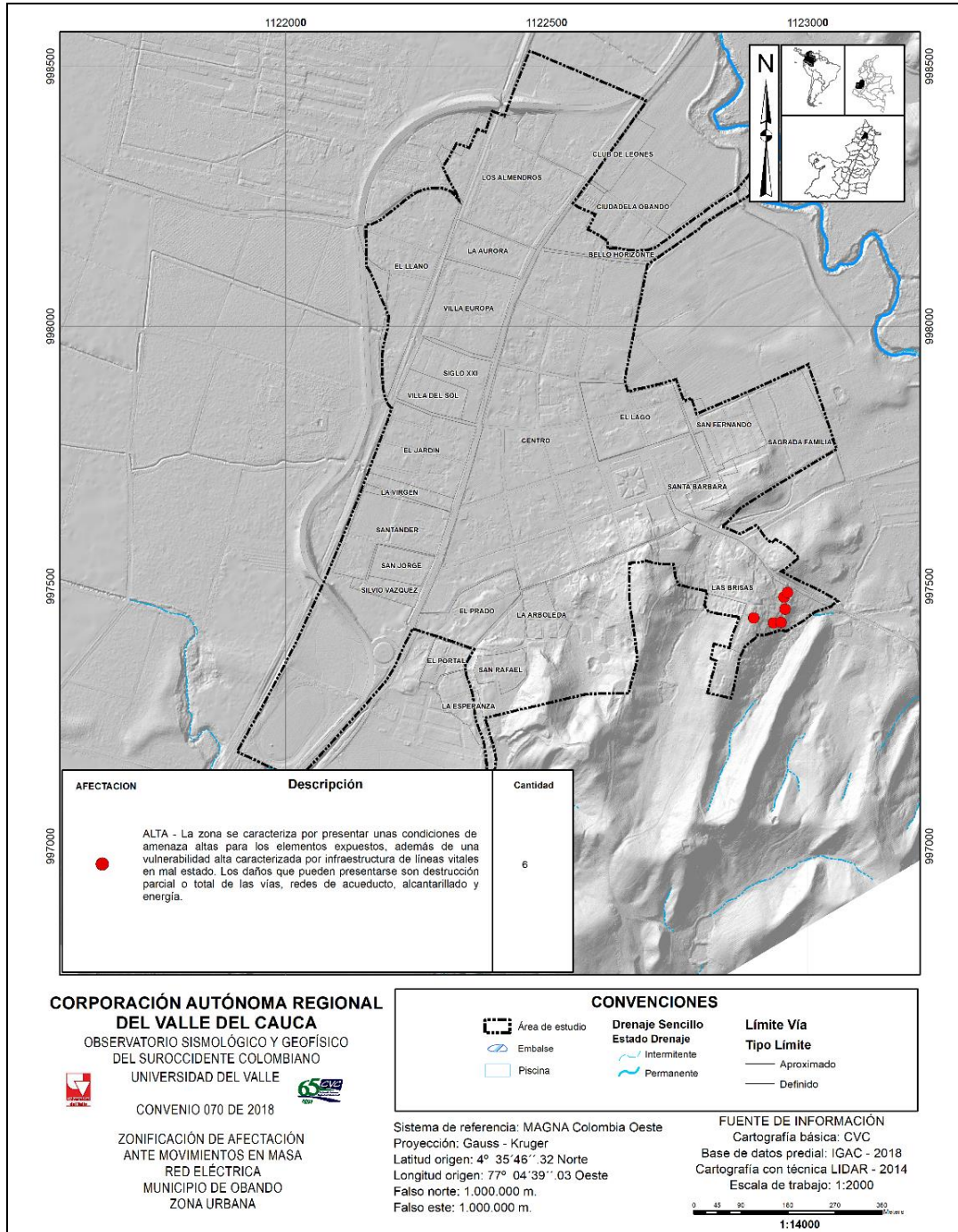


Figura 9.3. Zonificación de afectación ante movimiento en masa, red eléctrica de la zona urbana del municipio de Obando

Fuente: elaboración propia.

9.4. ESCENARIO DE AFECTACIÓN MITIGABLE Y NO MITIGABLE POR MOVIMIENTO EN MASA MUNICIPIO DE OBANDO

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 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.

Para el municipio de Obando las 53 edificaciones en afectación alta por movimiento en masa, presentaron un nivel de afectación alta mitigable (Tabla 9.5).

Tabla 9.5. Zonas de afectación alta mitigable por movimiento en masa, zona urbana del municipio de Obando

NIVEL DE AFECTACIÓN	EDIFICACIONES	ÁREA M2	PORCENTAJE ÁREA
Alta mitigable	53	6928,2	100%
Total	53	6928,2	100%

Fuente: elaboración propia.

La Figura 9.4, presenta el comportamiento espacial de las zonas de afectación (riesgo) alto mitigable y no mitigable por movimiento en la zona urbana del municipio de Obando. Con un área de 6829,2 m², las estructuras analizadas de los barrios Las Brisas, La Esperanza y San Rafael, son altas mitigables. Lo que implica obras correctivas de la amenaza, como Gaviones, planes de mejoramiento de vivienda y educación preventiva de la población.

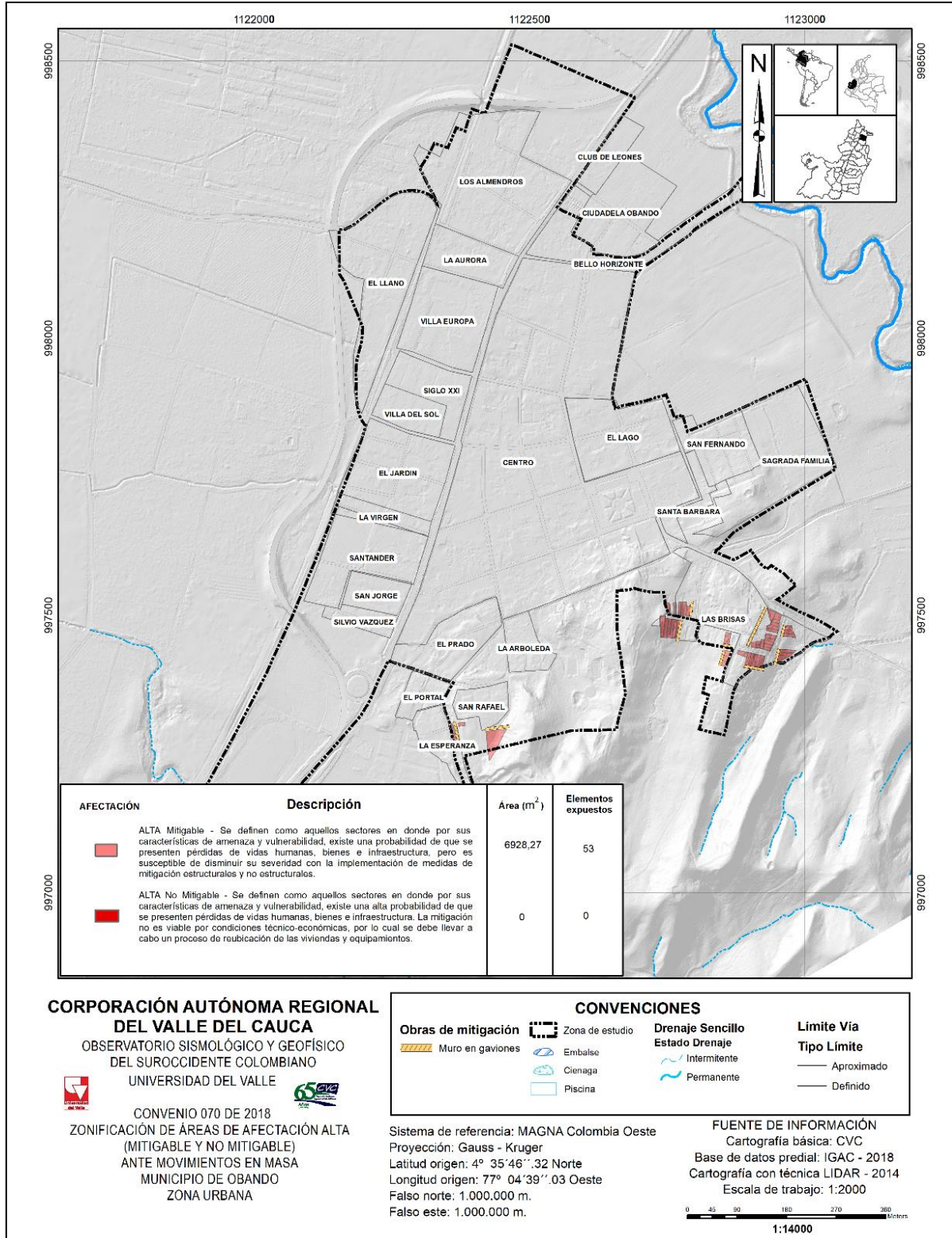


Figura 9.4. Zonificación de áreas de afectación alta mitigable y no mitigable por movimiento en masa, municipio de Obando
Fuente: elaboración propia.

9.5. CÁLCULO DE POSIBLES PERDIDAS ECONOMICAS POR INUNDACION Y MOVIMIENTO EN MASA EN LA ZONA URBANA DEL MUNICIPIO DE OBANDO

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.

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 Obando, 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 primer lugar, se identificaron los elementos expuestos en las zonas de riesgo, mediante los cálculos correspondientes mencionados previamente y teniendo en cuenta diferentes precios oficiales. Se estima el valor de un grupo de variables compuestas por: i) el daño en la infraestructura social; ii) los gastos del gobierno para atender el evento de movimiento en masa; iii) afectaciones en las vías y iv) costo de reposición de líneas vitales. Y, en segundo lugar, se hace una estimación de las posibles pérdidas económicas ante la manifestación de movimiento en masa en las áreas identificadas con riesgo en el municipio de Obando.

Acorde a la cantidad de edificaciones en el área urbana del municipio de Obando en riesgo (53), se realizan las estimaciones de las posibles pérdidas o costos asociados a un eventual movimiento en masa.

9.5.1. 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 edificaciones residenciales y no residenciales. A continuación, se detallan los elementos localizados dentro del municipio los cuales poseen afectación alta y baja por inundación.

9.5.1.1. Edificaciones

De acuerdo al censo que se realizó para la evaluación estructural en el área de estudio, señalado en la Tabla 9.6 y 9.7, 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 y bahareque y de otros materiales. Además, en su mayoría el uso de suelo de la zona urbana de Obando ha sido destinado para la construcción de vivienda.

Tabla 9.6. Clasificación de elementos estructurales ante movimiento en masa en la zona urbana del municipio de Obando

TIPOS DE ESTRUCTURAS	
TIPO DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	NÚMERO DE EDIFICACIONES AFECTACIÓN ALTA
Mampostería confinada	9
Mampostería no reforzada	29
Madera, tapia y bahareque	9
Otro	6
TOTAL	53

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9.7. Clasificación de elementos funcionales expuestos ante movimiento en masa en el municipio de Obando

FUNCIONALIDAD DE LOS ELEMENTOS	
USO DEL SUELO	NÚMERO DE EDIFICACIONES AFECTACION ALTA
Residencial	47
Comercial	3
Mixto	2
Institucional	1
TOTAL	53

Fuente: elaboración propia.

9.5.1.2. 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 riesgo que se identifique para presentar dicho desastre natural. Las edificaciones residenciales construidas 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 (electrodomésticos y mobiliarios) asociado a reposición de los bienes afectados.
2. El daño en la estructura asociado a costes de reparación de la misma.
- 3.

En el caso de estructuras no residenciales, éstas se ven expuestas en igual medida que las estructuras 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.

La metodología que se siguió para la valoración económica de los posibles daños en edificaciones residenciales y no residenciales. Para las edificaciones residenciales es necesario determinar cada uno de estos daños mediante la tipificación de una vivienda promedio y su contenido en el municipio de Obando. Para las 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 en riesgo 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 las edificaciones residenciales y no residenciales teniendo en cuenta los costos calculados anteriormente.

9.5.1.2.1. 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 5 inmuebles básicos en venta para un valor de \$ 486.963 por cada m².

En el contexto del municipio de Obando se encuentran ubicadas 6 edificaciones con uso de suelo no residencial en afectación alta ante un escenario de movimiento en masa. Se estimó un área total construida en nivel de riesgo alto de 701 m² con un costo total aproximado de **trescientos cuarenta y un millones trescientos sesenta y un mil sesenta y tres pesos (\$ 341.361.063)** (Tabla 9.8).

Tabla 9.8. Total, de las edificaciones no residenciales en riesgo ante movimiento en masa

EDIFICACIONES NO RESIDENCIALES EN AFECTACIÓN ANTE MOVIMIENTO EN MASA			
NIVEL DE AFECTACIÓN	CANTIDAD DE EDIFICACIONES	ÁREA (m ²) TOTAL CONSTRUIDA	COSTO TOTAL POR NIVEL DE RIESGO (\$)
ALTO	6	701 m ²	\$ 341.361.063
COSTO TOTAL (\$)			\$ 341.361.063

Fuente: elaboración propia a partir del censo estructural y avalúo comercial por m² del municipio de Obando.

9.5.1.2.2. Estimación del costo de la estructura de edificaciones residenciales en zona de afectación alta, media y baja

Se determinó 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 5 inmuebles básicos en venta para un valor de \$ 486.963 por cada m². En el contexto del municipio de Obando se encuentran ubicadas 47 edificaciones con uso de suelo residencial en riesgo alto ante un escenario de movimiento en masa. Se estimó un área total construida en nivel de afectación alto de 6.628 m² con un costo total aproximado de **tres mil treinta y dos millones ochocientos cinco mil quinientos sesenta y cuatro pesos (\$3.032.805.564)** (Tabla 9.9).

Tabla 9.9. Costo total de las edificaciones residenciales en afectación ante movimiento en masa

EDIFICACIONES RESIDENCIALES EN AFECTACIÓN ANTE MOVIMIENTO EN MASA			
NIVEL DE AFECTACIÓN	CANTIDAD DE EDIFICACIONES	ÁREA (m ²) TOTAL CONSTRUIDA	COSTO TOTAL POR NIVEL DE RIESGO (\$)
ALTO	47	6.228 m ²	\$ 3.032.805.564
COSTO TOTAL (\$)			\$ 3.032.805.564

Fuente: elaboración propia a partir del censo estructural y avalúo comercial m² del municipio de Obando.

9.5.1.2.3. 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 9.5.

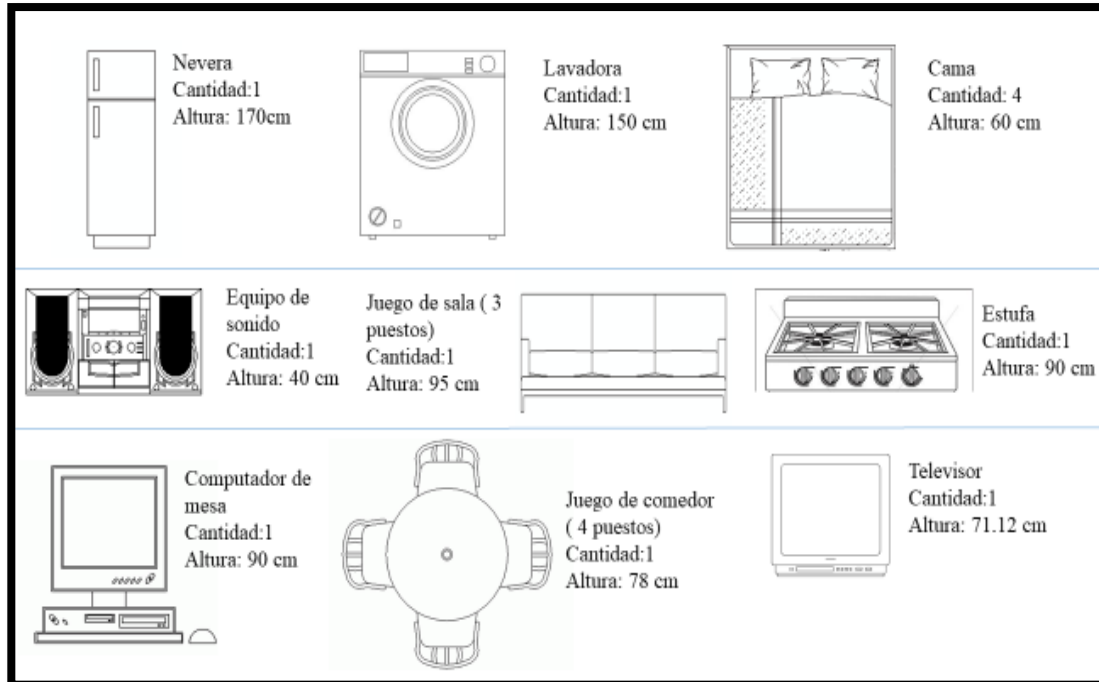


Figura 9.5. Tipificación del contenido de una vivienda en el área de estudio.

Fuente: elaboración propia con información DANE (2016).

A continuación, se procede a estimar el valor económico del contenido y la estructura de las viviendas:

9.5.1.2.4. Estimación de los costos del contenido de las edificaciones

En la Tabla 9.10 se estima el valor económico de los contenidos por vivienda. Inicialmente, se determina el valor del mobiliario y electrodomésticos de una vivienda a través de la multiplicación del valor comercial promedio de los artículos nuevos de acuerdo con la cantidad de los mismos en cada vivienda. Se considera que el contenido de las viviendas tiene un determinado tiempo de vida útil, para los electrodomésticos la vida útil será establecida por el promedio de vida proyectado desde la Organización de Consumidores y Usuarios y para los muebles de hogar 10 años con base en información del sector comercial, en este caso los principales almacenes de cadena en Colombia.

Se estipula la depreciación en línea recta que supone una depreciación constante, teniendo en cuenta el valor comercial promedio del artículo y su vida útil, dicha depreciación arroja el cambio de precio que sufre durante el transcurso de los años. Es importante establecer el tiempo promedio de tenencia como la vida útil media para cada artículo, ya que se tiene en cuenta los años de tenencia de artículos nuevos y antiguos en posesión de los habitantes del municipio de Obando. Así se obtiene al final un valor promedio total teniendo en cuenta la depreciación de \$ 3.237.632 pesos por vivienda.

Tabla 9.10. 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.

9.5.1.2.5. Estimación del costo total aproximado por daños de contenido en edificaciones residenciales

Se procedió a multiplicar el valor total aproximado con depreciación de cada artículo por el número de edificaciones residenciales en afectación. El costo total aproximado asociado a la pérdida de contenido en edificaciones residenciales afectadas por movimiento en masa corresponde a **ciento cincuenta y dos millones ciento sesenta y ocho mil setecientos cuatro pesos (\$152.168.704)** (Tabla 9.11).

Tabla 9.11 Costo total aproximado por daños de contenido en edificaciones residenciales en afectación ante movimiento en masa

NIVEL DE AFECTACION	NÚMERO DE EDIFICACIONES	COSTO TOTAL APROXIMADO EN DAÑOS DEL CONTENIDO POR NIVEL DE AFECTACIÓN (\$)
ALTO	47	\$ 152.168.704
COSTO TOTAL APROXIMADO (\$)		\$ 152.168.704

Fuente: elaboración propia.

9.5.1.2.6. Resumen de costos aproximados de daño en la infraestructura social

El resumen de costos aproximados de daño en la infraestructura social en afectación por movimiento en masa. Se tendrá en cuenta solamente las edificaciones no residenciales (estructura) y edificaciones residenciales (estructura y contenido), debido a que en el municipio de Obando no hay ninguna edificación esencial (instituciones educativas y hospitales) en riesgo por movimiento en masa, tal como se observa en la Tabla 9.12.

Tabla 9.12 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	COSTO APROXIMADO DE DAÑO (\$)
Costo aproximado de daño en edificaciones no residenciales en afectación ante movimiento en masa.	\$ 341.361.063
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 (\$)	\$ 3.526.335.331
COSTO TOTAL APROXIMADO (USD) (1 USD = \$ 3.586 COP)	983.362 US\$

Fuente: elaboración propia.

9.5.1.3. 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.

9.5.1.3.1. 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 9.13 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 Obando, con un valor aproximado de asistencia por alimento y aseo de **veintidós millones doscientos sesenta y seis mil setecientos veinte pesos (\$ 22.266.720)**; y un valor aproximado asistencia a viviendas por **ciento cincuenta y dos millones seiscientos ochenta y seis mil ochenta pesos (\$ 152.686.080)** valores que se resumen en la Tabla 9.14.

Tabla 9.13. 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 9.14. Costos aproximados por asistencia a familias posiblemente afectadas ante escenario de movimiento en masa (Precios 2019)

NIVEL AFECTACION	NÚMERO DE FAMILIAS	ASISTENCIA ALIMENTO Y ASEO POR FAMILIA (\$)	ASISTENCIA A VIVIENDAS POR FAMILIA (\$)	VALOR APROXIMADO DE ASISTENCIA ALIMENTO Y ASEO (\$)	VALOR APROXIMADO ASISTENCIA VIVIENDA (\$)
ALTO	47	\$ 473.760	\$ 3.248.640	\$ 22.266.720	\$ 152.686.080
COSTO TOTAL APROXIMADO (\$)				\$ 22.266.720	\$ 152.686.080

Fuente: elaboración propia con datos de Colombia Humanitaria (2011), sobre la base de la “Ola Invernal” de 2010-2011. Viviendas

9.5.1.4. Resumen de costos aproximados derivados de la asistencia gubernamental

Finalmente, en la Tabla 9.15, se encuentra el resumen del costo total aproximado derivado de la asistencia gubernamental, serán solamente los costos probables en asistencia de vivienda, alimentario y aseo brindada por el Gobierno cuando se presentan este tipo de situaciones en el contexto del municipio de Obando, por un valor de **ciento setenta y cuatro millones novecientos cincuenta y dos mil ochocientos pesos (\$174.952.800)**.

Tabla 9.15 Resumen de los costos aproximados derivados de la asistencia del gobierno para edificaciones residenciales en afectación por movimiento en masa

RESUMEN DE COSTOS APROXIMADOS DERIVADOS DE LA ASISTENCIA DEL GOBIERNO	COSTO APROXIMADO DE ASISTENCIA DEL GOBIERNO (\$)
Costo aproximado en asistencia alimentaria y aseo.	\$ 22.266.720
Costo aproximado en asistencia a vivienda.	\$ 152.686.080
COSTO TOTAL APROXIMADO DE ASISTENCIA DEL GOBIERNO (\$)	\$ 174.952.800
COSTO TOTAL APROXIMADO (USD) (1 USD = \$ 3.586 COP)	48.788 US\$

Fuente: elaboración propia.

9.6. CÁLCULO DE POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURA SOCIAL LOCALIZADAS EN ZONA DE AFECTACIÓN POR MOVIMIENTO EN MASA

Con base a la metodología para el cálculo del riesgo realizada por González (2002) es posible calcularse a partir de la siguiente expresión:

$$R = P \times V \times C$$

Donde, P representa la probabilidad de ocurrencia de un proceso de un nivel de intensidad o severidad determinado, dentro de un periodo de tiempo dado y dentro de un área específica, el valor de P se representa:

$$P = 1 - \left(1 - \frac{1}{T}\right)^t$$

De acuerdo a la formula planteada anteriormente, T hace referencia al periodo de retorno, en este caso, T tomara el valor de 100 el cual indica que cada 100 años existe la probabilidad que ocurra el evento en estudio, es decir, 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, 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.

Seguidamente en la ecuación, se encuentra la vulnerabilidad representada por la V , es de vital importancia tenerla en cuenta debido a que nos indica la vulnerabilidad de los elementos expuestos a la acción en proceso. Por último, se encuentra los costos representado por la C , el cual indica los costes o el valor de las pérdidas generadas por el desastre natural, tanto en la infraestructura como los gastos gubernamentales.

El producto de la probabilidad de ocurrencia, de la vulnerabilidad y el costo de los elementos y asistencia expuestos por cada edificación (contenido, estructura, ayudas gubernamentales) aproximan a las posibles pérdidas económicas en edificaciones residenciales y no residenciales, las cuales se resumen en un valor de **mil doscientos setenta y ocho millones veinticuatro mil trescientos setenta y cinco pesos (\$ 1.278.024.375)** (Tabla 9.16).

Finalmente, las posibles pérdidas económicas en infraestructura social se obtuvieron de la aproximación de posibles pérdidas económicas en edificaciones residenciales y no residenciales tal como se observa en la Tabla 9.16.

Tabla 9.16 Aproximación de posibles pérdidas económicas en infraestructura social afectada por movimiento en masa

POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN EDIFICACIONES RESIDENCIALES Y NO RESIDENCIALES (\$)	POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURA SOCIAL (\$)
\$ 1.278.024.375	\$ 1.278.024.375

Fuente: elaboración propia.

9.6.1. 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.

9.6.1.1. 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.

De la información levantada para el presente estudio se determinó la infraestructura vial expuesta en el municipio de Obando, siendo en total aproximado de 188 metros de vía en riesgo por el escenario de movimiento en masa, de las cuales 74,37 metros de vía corresponde a material destapado y 114,02 metro de vía corresponde a material de concreto, debido a la dificultad en el

estudio para calcular pérdidas en vía con material destapado, solo se tendrán 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 movimiento en masa, 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 documento APUS Valle 2019-2 establecido por el Instituto Nacional de Vías, el cual se desarrolla en la Tabla 9.17.

Tabla 9.17. 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 9.18 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, con un costo total aproximado de **ciento cuarenta y cuatro millones seiscientos veintinueve mil ochocientos sesenta y dos pesos (\$ 144.629.862)**.

Tabla 9.18. 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 (\$)
MEDIO	114m	\$ 1.268.683	\$ 144.629.862
COSTO TOTAL APROXIMADO (\$)			\$ 144.629.862
COSTO TOTAL APROXIMADO (USD) (1USD = 3.586COP)			40.332 US\$

Fuente: elaboración propia a partir de información de APUS Valle

9.6.2. 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.

9.6.2.1. 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 6 postes de energía en el escenario de afectación 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 9.19 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 9.20 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 9.19. Costo promedio aproximado 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).

Tabla 9.20 Costo total aproximado de reposición de postes de energía por posibles daños ante escenarios de afectación por movimiento en masa

NIVEL DE AFECTACIÓN	CANTIDAD	COSTO/UNIDAD	COSTO POR NIVEL DE AFECTACIÓN (\$)
ALTO	6	\$ 893.933	\$ 5.363.598
COSTO TOTAL APROXIMADO (\$)			\$ 5.363.598
COSTO TOTAL APROXIMADO (\$USD) (1USD = 3.586 COP)			1496 US\$

Fuente: elaboración propia, a partir de la lista de precios unitarios de la Gobernación del Valle (2019).

9.6.2.1.1. Resumen de costos aproximados de afectación e infraestructura vial y líneas vitales

En la Tabla 9.21 se encuentra el resumen de los costos aproximados derivados de la afectación en la infraestructura vial y líneas vitales en afectación ante el escenario de movimiento en masa.

Tabla 9.21 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.	\$ 144.629.862
Costo aproximado de afectación en líneas vitales (postes de energía eléctrica).	\$ 5.363.598
COSTO TOTAL APROXIMADO DE AFECTACIÓN (\$)	\$ 149.993.460
COSTO TOTAL APROXIMADO (USD) (1 USD = \$ 3.586 COP)	41.828 US\$

Fuente: elaboración propia.

9.6.2.1.2. Posibles pérdidas económicas en infraestructura vial y líneas vitales localizadas en zona de riesgo

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 en la resolución No. 144 del 2001 expedida por la Comisión de Regulación de Energía y Gas, (CREG, 2001) 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.

Con base a la metodología para el cálculo del riesgo realizada por González (2002), en la Tabla 9.22 se muestra la especificación que se realizará para cada vía y poste de energía eléctrica permitiendo establecer la probabilidad teniendo en cuenta la vida útil y los rangos de vulnerabilidad el cual posee cada uno, 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), las cuales se presentan en la Tabla 9.23 y Tabla 9.24 respectivamente.

Tabla 9.22. Especificación de los cálculos de vulnerabilidad y probabilidad en infraestructura de redes vitales para la estimación de las posibles pérdidas económicas

CÁLCULO DE LAS POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS		
INFRAESTRUCTURA LINEAS VITALES	VIDA ÚTIL	PROBABILIDAD POR VIDA ÚTIL EN INFRAESTRUCTURA DE REDES VITALES
Infraestructura vial	20	0.18
Line Red de energía eléctrica)	25	0.22
NIVEL DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL		RANGO DE VULNERABILIDAD
ALTA		0,60 – 1,00
MEDIA		0,30 - 0,60
BAJA		0,00 - 0,30

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9.23. Aproximación de posibles pérdidas económicas en infraestructura vial afectada por movimiento en masa

INFRAESTRUCTURA VIAL EN AFECTACIÓN		
NIVEL DE AFECTACION	LONGITUD/METRO	POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURAL VIAL (\$)
MEDIO	114m	\$ 9.139.145
POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS TOTALES (\$)		\$ 9.139.145

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9.24 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 AFECTACION	CANTIDAD DE POSTES	POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN RED DE ENERGÍA ELÉCTRICA (\$)
ALTO	6	\$ 1.191.677
POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS TOTALES (\$)		\$ 1.191.677

Fuente: elaboración propia.

Las posibles pérdidas económicas en infraestructura de redes vitales se obtuvieron de la suma entre la aproximación de posibles pérdidas económicas en infraestructura vial y en la red de energía eléctrica (postes) en todos los niveles de afectación ante movimiento en masa, con un valor total de **diez millones trescientos treinta mil ochocientos veintidós pesos** (\$ 10.330.822) como se observa en la Tabla 9.25.

Tabla 9.25 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 (\$)
\$ 9.139.145	\$ 1.191.677	\$ 10.330.822

Fuente: elaboración propia.

9.7. POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS TOTALES EN INFRAESTRUCTURA EN ZONAS DE AFECTACIÓN

En la Tabla 9.26 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 movimiento en masa, con un valor total de **mil doscientos ochenta y ocho millones trescientos cincuenta y cinco mil ciento noventa y siete pesos** (\$ 1.278.024.375).

Tabla 9.26 Resumen de las posibles pérdidas económicas en infraestructuras en afectación ante un movimiento en masa

RESUMEN LAS POSIBLES PERDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURAS	POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN INFRAESTRUCTURA (\$)
Posibles pérdidas económicas en infraestructura social.	\$ 1.278.024.375
Posibles pérdidas económicas en infraestructura de redes vitales.	\$ 10.330.822
POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS TOTALES EN INFRAESTRUCTURA (\$)	\$ 1.288.355.197
POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS (USD) (1 USD = \$ 3.586 COP)	359.274 US\$

Fuente: elaboración propia.

9.7.1. Clasificación de edificaciones en afectación alto mitigable y no mitigable

A continuación, con las 53 edificaciones ubicadas en zonas de afectación alta ante un evento de movimiento en masa en el municipio de Obando, 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 establecerá las posibles pérdidas económicas en infraestructura.

9.7.1.1. Clasificación de elementos estructurales y funcionales expuestos en edificaciones con afectación alta mitigable y no mitigable

De acuerdo al censo que se realizó para la parte estructural y funcional del municipio y presentado en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** y **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, se realiza la clasificación de elementos estructurales y funcionales expuestos en afectación alto mitigable y no mitigable ante movimiento en masa en el municipio de Obando, se encontró que las edificaciones expuestas en afectación alto mitigable están en su mayoría construidas en mampostería no reforzada, y en menor cantidad de mampostería confinada, madera, tapia, bahareque y de otros materiales. Además, en su mayoría el uso de suelo en edificación con afectación alto mitigable en el municipio de Obando ha sido destinado para la construcción de vivienda. Por otro lado, no hay ninguna edificación en afectación alta no mitigable ante un escenario de movimiento en masa.

Tabla 9.27 Clasificación de elementos estructurales expuestos en afectación alto mitigable y no mitigable ante movimiento en masa en el municipio de Obando.

TIPO DE MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	TIPOS DE ESTRUCTURAS NÚMERO DE EDIFICACIONES	
	AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE	AFECTACIÓN ALTA NO MITIGABLE
Mampostería confinada	9	0
Mampostería no reforzada	29	0
Madera, tapia y bahareque	9	0
Otro	6	0
TOTAL	53	0

Fuente: elaboración propia.

Tabla 9.28 Clasificación de elementos funcionales expuestos en afectación alto mitigable y no mitigable ante movimiento en masa en el municipio de Obando.

USO DEL SUELO	FUNCIONALIDAD DE LOS ELEMENTOS NÚMERO DE EDIFICACIONES	
	ALTO MITIGABLE	ALTO NO MITIGABLE
Residencial	47	0
Comercial	3	0
Mixto	2	0
Institucional	1	0
TOTAL	53	0

Fuente: elaboración propia.

9.7.1.2. Estimación del costo de la estructura de las edificaciones en afectación alto mitigable y no mitigable

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, el precio de las edificaciones 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 5 inmuebles básicos en venta para un valor de \$ 486.963 por cada m²; En el contexto del municipio

de Obando se encuentran ubicadas 53 edificaciones en afectación alto mitigable y 0 edificaciones en afectación alta no mitigable ante un escenario de movimiento en masa. Se estimo un área total construida en nivel de afectación alta mitigable de 6.928 m² con un costo total aproximado de **tres mil trescientos setenta y tres millones seiscientos setenta y nueve mil seiscientos sesenta y cuatro pesos \$ 3.373.679.664** millones de pesos representado en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

Tabla 9.29. 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 ALTA	CANTIDAD DE EDIFICACIONES	ÁREA (m ²) TOTAL CONSTRUIDA	COSTO TOTAL (\$)
MITIGABLE	53	6.928 m ²	\$ 3.373.679.664
COSTO TOTAL (\$)			\$ 3.373.679.664

Fuente: elaboración propia a partir del censo estructural y avalúo comercial por m² del municipio de Obando.

9.7.2. Posibles pérdidas económicas en edificaciones localizadas en zona de afectación alta mitigable y no mitigable

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 afectación alto mitigable y no mitigable, por un valor de **mil doscientos dieciséis millones cuatrocientos noventa y tres mil novecientos diez pesos (\$ 1.216.493.910)** se resumen en la Tabla 9.30.

Tabla 9.30 Aproximación de posibles pérdidas económicas en edificaciones con afectación alta mitigable y no mitigable por movimiento en masa

EDIFICACIONES EN AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE		
AFECTACIÓN ALTA	CANTIDAD DE EDIFICACIONES	POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS EN EDIFICACIONES EN AFECTACIÓN ALTA MITIGABLE Y NO MITIGABLE (\$)
MITIGABLE	53	\$ 1.216.493.910
POSIBLES PÉRDIDAS ECONÓMICAS TOTALES (\$)		\$ 1.216.493.910

Fuente: elaboración propia.

CONCLUSIONES

El estudio de historicidad realizado para el municipio de Obando desde el periodo de 1980 a febrero 2019, en relación con el fenómeno de inundación, permitió construir el catálogo y la cartografía correspondiente, 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 es el de inundaciones, con mayor representación por 10 eventos de tipo pluvial y 2 de tipo fluvial (Quebradas que circundan la cabecera).

Los barrios Centro, Villa Europa, Brisas y Los Almendros, son los barrios con mayor frecuencia histórica de inundaciones. En condición media están los barrios El Llano, La Virgen, San Jorge. Y con baja frecuencia a inundaciones según reportes fueron San Rafael, San Fernando y Ciudadela Obando.

En lo que corresponde a reportes históricos puntuales de inundaciones, teniendo mayores reportes en las Carreras 5 y 6, y Calle 5 con Carrera 2. Siguiendo las evidencias la mayoría de los reportes son por encharcamiento, escorrentía y por falla en el servicio de alcantarillado, y sumado a que el municipio se construyó sobre depósitos aluviales (zonas de inundación, terrazas y abanicos aluviales) de las Quebradas El Naranjo, Quebrada las Jaguas y de los drenajes que dirigen las aguas de las colinas ubicadas al Este hacia el valle aluvial.

La susceptibilidad histórica de inundación por barrios se realizó debido a la existencia de reportes históricos que no eran puntuales, es decir no se encontró una dirección específica, para espacializarlos, se hizo un análisis de acuerdo con su topografía con el propósito de determinar posibles áreas susceptible a inundarse.

Las zonas con alta susceptibilidad son hacia al norte del área urbana del municipio, en esta área están localizados barrios con reportes, San Jorge, La Virgen, Villa Europa, El Llano, Los Almendros, Ciudadela Obando, Bello Horizonte, Centro (norte y occidente del barrio).

Con nivel medio de susceptibilidad, están la parte media los barrios Centro (sur y oriente del barrio), El Prado y San Fernando. Por último, los barrios con baja susceptibilidad histórica a inundarse son Las Brisas y San Rafael.

Para el fenómeno en movimiento en masa, en la cabecera municipal, no es un evento tan representativo, en cuanto a su recurrencia, pero no deja de ser importante para su análisis. Un evento dejó como resultado grandes afectaciones, 100 familias fueron reubicadas en el barrio San Rafael, etapa II.

No obstante, el trabajo de campo del equipo de geología evidenció que el barrio Las Brisas, localizado al oriente del área urbana, en su parte alta, donde está ubicado Acuavalle, hay presencia

de movimiento en masa del tipo reptación. Se detalla una fisura sobre el pavimento, se nota la inclinación de la portada de ingreso a las instalaciones y árboles que se encuentran inclinados en dirección hacia la parte baja del talud, luminarias inclinadas por el movimiento del terreno, muros fracturados, tanques de agua fisurados, etc., también la afectación se da sobre las viviendas alrededor de Acuavalle.

El Taller de Socialización y Validación, permitió evidenciar que la mayoría de las inundaciones están ligadas a lo pluvial. También se conoció de parte de los asistentes al taller, un asentamiento geológico en el barrio San Rafael, que con la búsqueda histórica es el único que ha reportado un deslizamiento, por lo que es importante que las autoridades competentes investiguen más sobre este tipo de movimiento en la zona.

Al igual que, la importante información obtenida sobre las filtraciones producidas por la planta de Acuavalle en el barrio Las Brisas, y que, sumado a esta problemática, es un barrio susceptible a deslizamientos, lo que es necesario tener estudios técnicos sobre dichas filtraciones que indicaron los participantes.

De acuerdo con 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 Obando, 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 simulación de caudales de caudales a través de un modelo de tipo determinístico SCS implementado mediante la herramienta HEC-HMS, el cual sirvió para estimar los caudales a diferentes periodos de retorno (2, 5, 10, 25, 50 y 100 años). Considerando que no se cuenta con datos hidrométricos de estaciones de caudales sobre el cauce estudiado que permita realizar una calibración técnica, se determinaron los parámetros físicos a partir de información secundaria biofísica de suelos y clima para ejecutar el modelo, que es desde la técnica lo mejor que puede realizarse para definir este parámetro de diseño.

La modelación hidráulica realizada a través del software HEC RAS, empleó la información disponible para los tramos de las quebradas Las Jaguas y El Naranjo, que discurren por el área urbana del municipio de Obando, a partir de lo cual se evidenció que no se presenta inundación por desbordamiento dadas las condiciones morfológicas y climáticas actuales del municipio de Obando, así como las características morfométricas de los cauces y la disponibilidad de áreas de amortiguación.

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 Las Brisas, 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 Las Brisas posee aproximadamente el 7% 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. Lo mismo se debe aplicar al barrio San Rafael, dado que algunos predios colindan con un deslizamiento presente al costado occidental del barrio.

La amenaza por movimientos en masa en el municipio de Obando 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 (98 %), media en un porcentaje notoriamente inferior (1,8 %), y alta es del (0,12 %), lo cual es el resultado de la poca incidencia de los detonantes sobre el terreno.

El análisis realizado a los elementos expuestos en la zona urbana del municipio de Obando, se obtuvo un alto porcentaje de población expuesta con un 95,5% localizada en amenaza media y un 4,5% en amenaza alta.

Existen 53 edificaciones en exposición al fenómeno, 3 en exposición alta y 50 en exposición media. El barrio Las Brisas, es quien tiene mayor número de edificaciones en expuestas, con 48 edificaciones. Seguido de los barrios La Esperanza con 3 edificaciones y San Rafael con 2 edificaciones.

En estas edificaciones, se pudo constatar su tipología constructiva, su estado de conservación, la edad de la estructura y su altura respectiva. Con lo anterior, se obtuvo que la mayoría de las edificaciones han sido construidas en mampostería no reforzada, con edades principalmente <20 años, sus estados de conservación se catalogaron principalmente con estados buenos a daños moderados y, se encontró que la mayoría de las casas son de 1 piso.

La mayoría de las edificaciones localizadas en el barrio Las Brisas, están en una zona donde las densidades y las profundidades del volumen son altas. Los cuales tendrían mayores afectaciones a nivel estructural y de la población que reside en ellas.

En lo que respecta a la exposición de líneas vitales frente al fenómeno, se obtuvo que la red de vial y la red de alcantarillado tienen mayores metros lineales expuestos comparadas con los metros lineales de la red acueducto y la cantidad de postes de energía.

En lo que compete al análisis de fragilidad, se encontró que, en el factor de resistencia corporal, el 83,02% a población analizada ante el fenómeno tiene un factor de resistencia baja. El 5,66 % resistencia media y el 11,32% de la población tiene factor resistencia alta.

Para el factor de resistencia estructural, se obtuvo que las 53 edificaciones presentan un factor de resistencia baja.

Los resultados de vulnerabilidad demostraron que la población analizada presenta principalmente una vulnerabilidad corporal alta, con un porcentaje de 92,27%. Y todas las edificaciones presentaron vulnerabilidad alta.

Los resultados de análisis de afectación, fenómeno de inundación, de los elementos en afectación en la zona urbana del municipio de Obando, se presentan a continuación:

El escenario de afectación corporal, estrechamente ligado con el escenario de afectación estructural, arrojó un nivel de afectación alto, con 109 habitantes con poca o nula resistencia al fenómeno de inundación, representando el 100% de la población analizada.

Para el escenario de afectación estructural, se obtuvo que las 53 edificaciones presentan afectación alta.

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 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 movimiento en masa, con un valor total de **mil doscientos ochenta y ocho millones trescientos cincuenta y cinco mil ciento noventa y siete pesos (\$ 1.278.024.375).**

Para las zonas de alta afectación mitigable y no mitigable, las 53 edificaciones arrojaron resultados de alto mitigable, con posibles pérdidas económica de un valor de **mil doscientos dieciséis millones cuatrocientos noventa y tres mil novecientos diez pesos (\$ 1.216.493.910).**

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.

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.

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 T, 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 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 alledañas 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 de amenaza, vulnerabilidad y afectación de movimiento en masa e inundación en la zona rural del municipio de Obando así como 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 Obando

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 Obando (2000). Esquema de Ordenamiento Territorial Municipal - Valle del Cauca.
- Alcaldía del Municipio de Obando (2002). Esquema de Ordenamiento Territorial.
- 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>
- Aranzazu, JM.; Ríos. (1989). Análisis Litofacial del intervalo oligoceno mioceno en el sector Noreste de la cuenca del Valle del Cauca. Tesis. Universidad de Caldas. Manizales.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), (2009). Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia. Bogotá. 226 p. Recuperado de: http://www.rcrisis.com/Content/files/EstudioGeneraldeAmenazaSismicadeColombia2009_AIS_lowres.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.
- 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.
- 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 los establecido en el Artículo 13 de la Ley 680 de 2001. Bogotá DC. Colombia.
- Consejo Municipal de Obando (2000). Esquema de Ordenamiento Territorial del municipio de Obando, Valle del Cauca.
- Consejo Municipal de Obando (2016). Acuerdo 005 del 31 de mayo de 2016, por el cual se adopta el Plan de Desarrollo Municipal de Obando, 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
- 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
- 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). (2007). Vuelo CVC_ FAL 461_F30 fotos 163, 164 y 165 del año 2007.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC). (2007). Vuelo CVC_ FAL 407_F43 fotos 1213, 1214 y 1215 del año 1999.
- Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca -CVC- y Universidad del Valle - Univalle (2010). Zonificación de Amenazas y Escenarios de Riesgo por Movimientos en Masa, Inundaciones y Crecientes Torrenciales del Área Urbana y de Expansión de los Municipios de Buga, Riofrío, Dagua, El Cairo y La Unión. Proyecto Midas, Contrato Interadministrativo CVC – Univalle 188 de 2008
- Cooper, M. A., Addison, F. T., Álvarez. R., Coral. M., Graham, R. H., Hayward, A. B., Howe, S., Martínez, J., Naar, J., Penas, R., Pulham, A. J., Taboada, A., (1995). Basin development and tectonic history of the Llanos Basin, Eastern Cordillera, and middle Magdalena Valley, Colombia. American Association of Petroleum Geologist. Bulletin, 79, 1421 – 1443.
- Corominas, J. (1996). The angle of reach as a mobility index for small and large landslides. Canadian Geotechnical Journal, 33, 260-271

- Cowan, W.L. (1956). Estimación del Coeficiente de Rugosidad Hidráulica.
- Cruden, D. M. (1991). A simple definition of a landslide. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 43(1), 27-29.
- Cruden D. M. y Varnes D.J. (1996). Landslide types and processes. <http://onlinepubs.trb.org/Onlinepubs/sr/sr29/29-003.pdf>
- Cuerpo de Bomberos Voluntarios de Obando (1980-2018). Archivo, Minuta de Guardia, Obando, Valle del Cauca, Colombia.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) (2005) Resultados y proyecciones (2005-2020). Consultado el 12 de febrero de 2019.
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística-DANE-(2016). Encuesta de calidad de vida. Recuperado de: <https://www.dane.gov.co/index.php/estadisticas-por-tema/salud/calidad-de-vida-ecv/encuesta-nacional-de-calidad-de-vida-ecv-2016>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística (DANE) (2018). Censo nacional de población y vivienda. Tabla de datos - Viviendas, Personas y Hogares - Total de unidades de vivienda con personas presentes. Bogotá DC. Colombia. Recuperado de: <http://geoportal.dane.gov.co/geovisores/sociedad/cnpv-2018/?lt=4.5961855279822394&lg=-75.94949380899999&z=12>
- Departamento Administrativo Nacional de Estadística DANE (2019) Resultados y proyecciones (2005-2020) del censo 2005. Consultado el 15 de junio de 2019.
- De Porta, J. (1966). Geología del extremo sur del Valle Medio del Magdalena entre Honda y Guataquí (Colombia). *Boletín de Geología*, N° 22 – 23, 347 pp, Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga.
- De Smith, M. J. (2009). *Geospatial Analysis: A comprehensive Guide to Principles, Techniques and Software Tools*. Leicester, Inglaterra: Troubador Publishing Ltd.
- Di Pásquale, E., y Cakmak, A. S. (1989). *On the relation between local and global damage indices*. National Center for Earthquake Engineering Research.
- Dirección General de Programación Multianual del Ministerio de Economía y Finanzas DGPM-MEF (2007). Conceptos asociados a la gestión del riesgo de desastres en la planificación e inversión para el desarrollo. Documento 1, Serie Sistema Nacional de Inversión Pública y la Gestión del Riesgo de Desastres. Lima: (DGPM-MEF y PDRS-GIZ).
- Domaas, U. 1994. Geometrical methods of calculating rockfall range Oslo. NGI, 585910-1. 21 pp
- Du, J., Yin, K., Nadim, F., y Lacasse, S. (2013). Quantitative vulnerability estimation for individual landslides. In *Proceedings of the 18th international conference on soil mechanics and geotechnical engineering, Paris* (pp. 2181-2184).
- Du, J., Yin, K., Lacasse, S., y Nadim, F. (2014). Quantitative vulnerability estimation of structures for individual landslide: application to the Metropolitan Area of San Salvador, El Salvador. *Electron J Geotech Eng*, 19, 1251-1264.
- Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (EPM) (2009). Normas de Diseño de Sistemas de Acueducto de EPM. Medellín, Antioquia
- Empresas Públicas de Medellín E.S.P. (EPM) (2015). Especificaciones técnicas de postes de concreto. <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>

- 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 Iguaçu, 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 (Hungar, 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 gravitativen 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) (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 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) (2016). Especificaciones Técnicas Cartografía Básica Digital.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (1984). Vuelo del IGAC C2141_fotos 10,11 y 12 del año 1984.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). (1999). Vuelo del IGAC C1514_fotos 163,164 y 165 del año 1999.
- 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. (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 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.
- Linsley, Kohler, Paulhus (1965). Hidrología para Ingenieros. Segunda Edición. Mc Graw Hill.
- López, M. (2006). Análisis de deformación tectónica en los piedemontes de las cordilleras.
- 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.
- 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.
- Ministro de Ambiente y Desarrollo Sostenible (2018). Resolución 0957 del 01 de junio de 2018 “Por la cual se adopta la Guía Técnica de criterios para el acotamiento de las rondas hídricas en Colombia y se dictan otras disposiciones”. Bogotá DC. Colombia.

- Ministerio de Economía y Finanzas -MEF- y Cooperación Técnica Alemana – GTZ (2006). Conceptos asociados a la gestión del riesgo de desastres en la planificación e inversión para el desarrollo. Recuperado de: <http://www.eird.org/esp/cdcapra/pdf/spa/doc16603/doc16603-a.pdf>.
- Ministerio de Medio Ambiente y Desarrollo Sostenible y Universidad Nacional de Colombia (2013). Implementación de la guía para el acotamiento de rondas hídricas en tres corrientes prioritizadas y proponer metodologías de amenaza, vulnerabilidad y riesgo en cuencas. Informe Final: Metodología para la evaluación del riesgo en los POMCAs. Bogotá, 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_hum anitaria.pdf](https://www.minsalud.gov.co/comunicadosPrensa/Documents/instructivo_colombia_hum_anitaria.pdf)
- Ministerio de Transporte. Instituto Nacional de Vías – INVIAS (2009). Manual de Drenajes. Bogotá DC. Colombia.
- 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>
- 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.10:95-104.1957 aparece en el contenido
- 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.
- 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.
- 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.
- Royo y Gomez, J. (1949). Estudio Paleontológico de una diatomita del Depto del Cauca. Ministerio de Minas y Petroleos. Servicio Geológico Nacional.
- Ruiz, G., et al (2015). Mapa geomorfológico aplicado a movimientos en masa. Plancha 243- Armenia. Escala 1:100.000. Memoria explicativa, INGEOMINAS. Bogotá.
- 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.
- Secretaria de Planeación del Municipio de Obando (2000). Información cartográfica del municipio de Obando, departamento del Valle del Cauca.
- Secretaría Jurídica Distrital de la Alcaldía Mayor de Bogotá D.C (13 de julio de 2006). Resolución 227 de 2006. "Por la cual se adoptan los términos de referencia para la ejecución de estudios detallados de amenaza y riesgo por fenómenos de remoción en masa para proyectos urbanísticos y de construcción de edificaciones en Bogotá D.C. (Consulta 12 de marzo de 2019) Recuperado de:
<https://www.alcaldiabogota.gov.co/sisjurMantenimiento/normas/Norma1.jsp?i=20845>
- Secretaria de Estado de Interior de España. (1995). Directriz Básica de Planificación de Protección Civil ante el Riesgo de Inundaciones. España.
- Servicio Geológico Colombiano -SGC. (1984). Geología de la Plancha 243- Armenia– Colombia. INGEOMINAS, Versión 2009, Transformada a datum MAGNA SIRGAS 2013.
- 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 (2019). 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.
- Tarbut, E. J., Lutgens, F. K. y Tasa, D. (2005). Ciencias de la Tierra. Madrid: Pearson Educación
- 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.
- 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.
- 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
- 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 Proceses. In Scuster & Krizek, Landslides: Analysis and Control. Special report 176. Transportation Comisión on Sociotechnical Systems, National Research Council. Washington. D.C: National Academy of Sciences.
- Vélez, F. (1983). Curvas de Intensidad Duración y Frecuencia en regiones climatológicas de Colombia, Facultad de Ingeniería Civil Universidad Santo tomas de Aquino
- Villalta A y González M (2011). Zonificación de Amenazas Geológicas por Movimientos en Masa que permita el Ordenamiento Territorial en la Urbanización Ciudad Victoria de Loja (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador. Recuperado de: <http://dspace.unl.edu.ec/jspui/bitstream/123456789/16301/1/Gonz%C3%A1lez%20Capa%20Mar%C3%ADa%20Paola%20Villalta%20Castillo%20Azucena%20ndina.pdf>
- Villota, Hugo (2005). Geomorfología aplicada a levantamientos edafológicos y zonificación física de tierras. Bogotá D.C.: 2d. Instituto Geográfico Agustín Codazzi. p. 32.

- Yue, Z. Q. (2014). Dynamics of large and rapid landslides with long travel distance underdense gas expanding power. *Landslide Science for a Safer Geoenvironment*, 3. Springer, pp. 233-240.
- Zuñiga. O. Padilla, L. E. (1993). Exploración Geofísica en el Corregimiento de Vallejuelo del Municipio de Zarzal (Valle). *Revista de Ciencias*. Universidad del Valle.

Bases de datos

- Corporación OSSO- Colombia, LA RED y UNIDR (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 Obando
 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