



ESTUDIOS BÁSICOS DE GESTIÓN DEL RIESGO POT TENJO

Contrato Interadministrativo
CD-CI-ADM-215-2021

ACTUALIZAR LOS ESTUDIOS BÁSICOS DE ZONIFICACIÓN DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR PROCESOS DE REMOCIÓN EN MASA, INUNDACIÓN, AVENIDA TORRENCIAL E INCENDIOS FORESTALES DEL MUNICIPIO DE TENJO; Y REALIZAR LA ARMONIZACIÓN DEL POMCA DEL RÍO BOGOTÁ CON EL PLAN DE ORDENAMIENTO TERRITORIAL (POT) DEL MUNICIPIO, EN LOS COMPONENTES DE GESTIÓN DEL RIESGO, LA ZONIFICACIÓN AMBIENTAL Y DEL COMPONENTE PROGRAMÁTICO.

Noviembre 26 de 2021



CRÉDITOS INSTITUCIONALES

Sonia Patricia González Bernal
Alcaldesa

Secretaría de Planeación y Desarrollo Territorial

Fernando León Rivera
Secretario

Néstor Fabián Romero Braga
John Edisson Sandoval
Camila Hernández
Profesionales
Secretaría de Planeación y Desarrollo Territorial

EQUIPO del Proyecto

Yency Contreras Ortiz
Directora

Andrés Leonardo Molina Portuguez
Coordinador Gestión del Riesgo y Componente Rural

Oscar Eduardo Pérez Moreno
Coordinador Componente Urbano

Diego Isaías Peña Porras
Coordinador Jurídico

David Gerardo Bravo Esquinas
Coordinador Componente de Participación

Daniela Medina Sandoval
Julio César vega Angarita
Equipo Cartografía

Yurley Rincón
Laritza Páez Martínez
Bárbara Jaimes
Luis Alfredo Márquez
Equipo Técnico de Gestión del Riesgo



EQUIPO TÉCNICO Apoyo

Ana María González Bastidas

Jennifer Hernández Puentes

José Antonio González Guzmán

Martin Emiliano García

Maira Blanco

Milton Medina



CONCEJO MUNICIPAL

William Javier Vega Duarte
Presidente

William Oswaldo Chacón Cruz

Cantalicio Martínez Algecira

Jorge Andrés Zuluaga López

Juan Carlos Bermúdez Montenegro

Miguel Ángel Luque Lamprea

Néstor Muñoz Arias

Juan David Useche Betrán

Dago Antonio Alarcón Alonso

José Francisco Orozco Nemocón

Carlos José González Fonque



CONSEJO TERRITORIAL de PLANEACIÓN

José Del Carmen Pulido Cabrera
Presidente

Luis Ernesto Ramírez Rojas

Jefrey Alejandro Castro Moreno

Elías José Forero Gutiérrez

German Eduardo Forero Cabrera

Angelica María Pineda Romero

María Clara López Ruiz

Luis Alfonso Tibaquirá Morales

Gerardo Peláez Carvajal

María Del Carmen González

German Alfonso González Campos

Darío Alberto Jiménez Sánchez

María Paulina Rojas Triana

Rodrigo Yazo Castañeda

Hilda Leonor Camacho Correa

Gloria Cecilia Perilla Aza

Carmen Cecilia Nemocón

Claudia Torres

María Idalid Yazo

Cecilia María Parra Ibáñez

Lucia Domínguez Coronado

CONTENIDO

PRESENTACIÓN	21
1 ALCANCES.....	22
2 GENERALIDADES.....	22
2.1 Marco legal.....	22
2.2 Marco conceptual	23
2.3 Eventos históricos identificados en el municipio de Tenjo	26
2.3.1 Información secundaria	26
2.3.2 Talleres participativos y mesas de trabajo en el municipio de Tenjo	29
2.3.3 Verificación en campo y fotointerpretación	32
2.4 Insumos para la identificación de amenazas.....	33
3 ARMONIZACIÓN E INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES DE LA ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO BOGOTÁ Y LA MODIFICACIÓN DEL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE TENJO.....	35
4 ANÁLISIS DE AMENAZAS PARA EL MUNICIPIO DE TENJO (CUNDINAMARCA)	35
4.1 Estudio básico de la amenaza por movimientos en masa en suelo rural	36
4.1.1 Zonificación de la amenaza por movimientos en masa del POMCA Río Bogotá.....	36
4.1.2 Metodología.....	37
4.1.3 Zonificación de la amenaza por movimientos en masa en suelo rural	51
4.1.4 Áreas con condición de amenaza en el suelo suburbano del municipio de Tenjo.....	54
4.1.5 Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en el suelo rural	55
4.1.6 Comparación entre la zonificación de amenaza por movimientos en masa para el suelo rural de los estudios básicos de riesgo para la modificación del POT de Tenjo con la zonificación de amenaza por MM del POMCA río Bogotá.....	58
4.1.7 Análisis de la problemática de la cantera Salónica por las condiciones de riesgo que puede generar en áreas de la vereda Carrasquilla (Institución Educativa Departamental Carrasquilla Tenjo – Sede 1) 60	60
4.1.8 Áreas de amenaza media por movimientos en masa ocupada en suelo rural	67
4.2 Estudio básico de la amenaza por movimientos en masa en suelo urbano, de expansión urbana y centros poblados rurales.....	69
4.2.1 Metodología.....	69
4.2.2 Zonificación de la amenaza por movimientos en masa para el suelo urbano, de expansión urbana y centros poblados a escala 1:5.000.....	115
4.2.3 Áreas con condición de amenaza y riesgo por movimientos en masa.....	123
4.2.4 Áreas de amenaza media ocupadas en suelo urbano y centros poblados	134
4.3 Estudio básico de la amenaza por inundaciones en suelo rural a escala 1:25.000.....	137
4.3.1 Antecedentes	139
4.3.2 Zonificación de la amenaza por inundaciones del POMCA del Río Bogotá.....	141
4.3.3 Insumos generales	143
4.3.4 Descripción metodológica	147
4.3.5 Precipitaciones.....	148
4.3.6 Hidrología.....	149

4.3.7	Zonificación de la susceptibilidad a inundaciones	150
4.3.8	Zonificación de la amenaza por inundaciones en suelo rural	153
4.3.9	Áreas con condición de amenaza por inundaciones en el suelo suburbano y de vivienda campestre del municipio de Tenjo.....	158
4.3.10	Áreas con condición de riesgo por inundaciones en el suelo rural.....	159
4.3.11	Áreas ocupadas de amenaza media por inundación suelo rural	160
4.4	Estudio básico de la amenaza por inundaciones en suelo urbano, expansión urbana y centros poblados	162
4.4.1	Metodología.....	162
4.4.2	Insumos	163
4.4.3	Zonificación de la susceptibilidad a inundaciones	177
4.4.4	Zonificación de la amenaza por inundación	183
4.4.5	Complemento - Análisis hidrológico.....	189
4.4.6	Complemento – Análisis hidráulico	225
4.5	Estudio básico de amenaza por avenidas torrenciales	238
4.5.1	Clasificación de las avenidas torrenciales	238
4.5.2	Mecanismos detonantes de avenidas torrenciales	245
4.5.3	Propagación de avenidas torrenciales (flujos detríticos)	246
4.5.4	Esquema metodológico para la caracterización de la amenaza por avenidas torrenciales	249
4.5.5	Revisión de antecedentes históricos	249
4.5.6	Susceptibilidad y amenaza por avenidas torrenciales en el municipio de Tenjo escala 1:25000	258
4.5.7	Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en suelo rural	289
4.5.8	Delimitación del área de estudio para análisis a escala 1:2000	289
4.5.9	Comparativo del modelo de amenaza por avenidas torrenciales escala 1:25.000 del POMCA del Río Bogotá, con el modelo propuesto	312
4.5.10	Zonificación de amenaza por avenidas torrenciales escala 1:2000	314
4.5.11	Delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza y riesgo por avenidas torrenciales	344
4.5.12	Áreas ocupadas de amenaza media por avenidas torrenciales.....	348
4.6	Estudio básico de la amenaza por incendios forestales	350
4.6.1	Análisis de la zonificación de la amenaza por incendios forestales de la Actualización del Plan de Ordenación de la Cuenca Hidrográfica del Río Bogotá	351
4.6.2	Insumos	352
4.6.3	Metodología.....	353
4.6.4	Susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal en el suelo rural del municipio de Tenjo	355
4.6.5	Amenaza por incendios de la cobertura vegetal	363
4.6.6	Áreas con condición de amenaza por incendios de la cobertura vegetal en el suelo suburbano y de vivienda campestre del municipio de Tenjo.....	383
4.6.7	Áreas con condición de riesgo por incendios de la cobertura vegetal.....	384
4.7	Amenazas de origen tecnológico.....	385
4.7.1	Metodología.....	385
4.7.2	Marco conceptual de los riesgos tecnológicos	386
4.7.3	Marco legal.....	392
4.7.4	Análisis de documentos disponibles.....	394
4.7.5	Análisis de información recopilada	394
4.7.6	Riesgo Tecnológico Municipal.....	395



4.8	Medidas de intervención	401
4.8.1	Medidas de intervención no estructurales.	402
4.8.2	Priorización de zonas para estudios de detalle y definición de las condiciones técnicas para su elaboración.....	409
4.8.3	Condiciones técnicas para la realización de estudios de detalle.....	415
4.8.4	Componente programático de gestión del riesgo	416
4.8.5	Medidas de intervención no estructurales para incendios forestales	418
4.8.6	Medidas de intervención para amenazas antrópicas tipo riesgo tecnológico	419
5	Bibliografía	420

Listado de Gráficas

Gráfica 1 Evento históricos reportados en el municipio por tipo de evento.....	29
Gráfica 2 Eventos históricos reportados en el municipio por tipo de evento y fuente consultada	29
Gráfica 3 Ejemplo de resultado Cartografía social para la identificación de eventos amenazantes en el municipio de Tenjo.....	30
Gráfica 4 Ejemplo Matrices diligenciadas con la comunidad para la identificación de eventos amenazantes	31
Gráfica 5 Zonificación de la amenaza por movimientos en masa del POMCA río Bogotá para el municipio de Tenjo.....	37
Gráfica 6 Pendientes para el municipio de Tenjo.....	39
Gráfica 7 Inventario de Procesos morfodinámicos	41
Gráfica 8 Unidades geológicas presentes en el municipio de Tenjo	42
Gráfica 9 Subunidades geomorfológicas presentes en el municipio de Tenjo	43
Gráfica 10 Unidades Geológicas Superficiales en el suelo rural del municipio de Tenjo	45
Gráfica 11 Número de Curva (C) para el municipio de Tenjo	48
Gráfica 12 Retención Potencial máxima (S) para el municipio de Tenjo	49
Gráfica 13 Profundidad de la tabla de agua (HW)	50
Gráfica 14 Aceleración sísmica en el municipio de Tenjo.....	51
Gráfica 15 Amenaza por movimientos en masa para el suelo rural del municipio de Tenjo	52
Gráfica 16 Distribución en área por veredas para la amenaza por movimientos en masa en el municipio de Tenjo.....	54
Gráfica 17 Áreas con condición de amenaza en el suelo suburbano del municipio de Tenjo.....	55
Gráfica 18 Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en el suelo rural del municipio de Tenjo	57
Gráfica 19 Cuadro comparativo zonificaciones de la amenaza por movimientos en masa POT Tenjo – POMCA río Bogotá.....	58
Gráfica 20 Zonificaciones de la amenaza por movimientos en masa del POT de Tenjo (izquierda) y el POMCA del río Bogotá (derecha) para el suelo rural	59
Gráfica 21 Zonificación de la amenaza por movimientos en masa en cercanías a la Institución Educativa Departamental Carrasquilla Tenjo – Sede 1	60
Gráfica 22 Localización de la cantera Salónica en el límite de los municipios de Tenjo y Madrid.....	61
Gráfica 23 Evidencia de procesos erosivos en la cantera Salónica en el límite de los municipios de Tenjo y Madrid	62
Gráfica 24 Área de influencia de la cantera Salónica.....	62
Gráfica 25 Evaluación de la caída de rocas en el perfil 4-4 costado sur, en condición con obras de perfilado y reforestación en las bermas.	63
Gráfica 26 Evaluación de la caída de rocas en el perfil 3- zona centro de la cantera, en condición con obras de perfilado y reforestación en las bermas	64
Gráfica 27 Modelo Slide sección 3-3 condición actual.....	65
Gráfica 28 Modelo Slide sección 3-3 condición actual con sismo.....	65
Gráfica 29 Estado de la obra 2021. Muro de Contención vereda Carrasquilla. Tenjo	67
Gráfica 30 Áreas de amenaza media por movimientos en masa ocupadas	68
Gráfica 31 Pendientes en el suelo urbano y de expansión urbana en el municipio de Tenjo.....	70
Gráfica 32 Pendientes en el suelo urbano y de expansión urbana de la Punta	71
Gráfica 33 Pendientes en el centro poblado Cascajera.....	71

Gráfica 34 Pendientes en el centro poblado El Palmar	72
Gráfica 35 Pendientes en el centro poblado Gratamira	72
Gráfica 36 Pendientes en el centro poblado Jacalito	73
Gráfica 37 Pendientes en el centro poblado Juaica	73
Gráfica 38 Pendientes en el centro poblado Los Pinos	74
Gráfica 39 Pendientes en el centro poblado Pan de Azúcar	74
Gráfica 40 Pendientes en el centro poblado Zoque	75
Gráfica 41 Elementos geomorfológicos en el suelo urbano y de expansión urbana del municipio de Tenjo	76
Gráfica 42 Elementos geomorfológicos en el suelo urbano y de expansión urbana de la Punta.....	77
Gráfica 43 Elementos geomorfológicos en el centro poblado Cascajera	77
Gráfica 44 Elementos geomorfológicos en el centro poblado El Palmar	78
Gráfica 45 Elementos geomorfológicos en el centro poblado Gratamira	78
Gráfica 46 Elementos geomorfológicos en el centro poblado Jacalito	79
Gráfica 47 Elementos geomorfológicos en el centro poblado Juaica.....	79
Gráfica 48 Elementos geomorfológicos en el centro poblado Los Pinos.....	80
Gráfica 49 Elementos geomorfológicos en el centro poblado Pan de Azúcar	80
Gráfica 50 Elementos geomorfológicos en el centro poblado Zoque	81
Gráfica 51 Unidades geológicas para Ingeniería (UGI) en el suelo urbano y de expansión urbana del municipio de Tenjo.....	83
Gráfica 52 Unidades geológicas para Ingeniería (UGI) en el suelo urbano y de expansión urbana de la Punta	84
Gráfica 53 Unidades geológicas para Ingeniería (UGI) en el centro poblado Cascajera	85
Gráfica 54 Unidades geológicas para Ingeniería (UGI) en el centro poblado El Palmar	86
Gráfica 55 Unidades geológicas para Ingeniería (UGI) en el centro poblado Gratamira.....	87
Gráfica 56 Unidades geológicas para Ingeniería (UGI) en el centro poblado Jacalito.....	88
Gráfica 57 Unidades geológicas para Ingeniería (UGI) en el centro poblado Juaica.....	89
Gráfica 58 Unidades geológicas para Ingeniería (UGI) en el centro poblado Los Pinos.....	90
Gráfica 59 Unidades geológicas para Ingeniería (UGI) en el centro poblado Pan de Azúcar	91
Gráfica 60 Unidades geológicas para Ingeniería (UGI) en el centro poblado Zoque	92
Gráfica 61 Número de Curva (CN) en el suelo urbano y de expansión urbana del municipio de Tenjo	95
Gráfica 62 Número de Curva (CN) en el suelo urbano y de expansión urbana de la Punta.....	95
Gráfica 63 Número de Curva (CN) en el centro poblado Cascajera	96
Gráfica 64 Número de Curva (CN) en el centro poblado El Palmar	96
Gráfica 65 Número de Curva (CN) en el centro poblado Gratamira.....	97
Gráfica 66 Número de Curva (CN) en el centro poblado Jacalito.....	97
Gráfica 67 Número de Curva (CN) en el centro poblado Juaica.....	98
Gráfica 68 Número de Curva (CN) en el centro poblado Los Pinos.....	98
Gráfica 69 Número de Curva (CN) en el centro poblado Pan de Azúcar	99
Gráfica 70 Número de Curva (CN) en el centro poblado Zoque.....	99
Gráfica 71 Retención Potencial máxima (S) en el suelo urbano y de expansión urbana del municipio de Tenjo.....	100
Gráfica 72 Retención Potencial máxima (S) en el suelo urbano y de expansión urbana de la Punta.....	100
Gráfica 73 Retención Potencial máxima (S) en el centro poblado Cascajera	101
Gráfica 74 Retención Potencial máxima (S) en el centro poblado El Palmar	101
Gráfica 75 Retención Potencial máxima (S) en el centro poblado Gratamira.....	102
Gráfica 76 Retención Potencial máxima (S) en el centro poblado Jacalito.....	102
Gráfica 77 Retención Potencial máxima (S) en el centro poblado Juaica.....	103

Gráfica 78 Retención Potencial máxima (S) en el centro poblado Los Pinos	103
Gráfica 79 Retención Potencial máxima (S) en el centro poblado Pan de Azúcar.....	104
Gráfica 80 Retención Potencial máxima (S) en el centro poblado Zoque.....	104
Gráfica 81 Profundidad de la tabla de agua (HW) en el suelo urbano y de expansión urbana	105
Gráfica 82 Profundidad de la tabla de agua (HW) en el suelo urbano y de expansión urbana de la Punta	105
Gráfica 83 Profundidad de la tabla de agua (HW) en el centro poblado Cascajera	106
Gráfica 84 Profundidad de la tabla de agua (HW) en el centro poblado El Palmar	106
Gráfica 85 Profundidad de la tabla de agua (HW) en el centro poblado Gratamira.....	107
Gráfica 86 Profundidad de la tabla de agua (HW) en el centro poblado Jacalito.....	107
Gráfica 87 Profundidad de la tabla de agua (HW) en el centro poblado Juaica.....	108
Gráfica 88 Profundidad de la tabla de agua (HW) en el centro poblado Los Pinos	108
Gráfica 89 Profundidad de la tabla de agua (HW) en el centro poblado Pan de Azúcar.....	109
Gráfica 90 Profundidad de la tabla de agua (HW) en el centro poblado Zoque.....	109
Gráfica 91 Aceleración sísmica en el suelo urbano y de expansión urbana en el municipio de Tenjo	110
Gráfica 92 Aceleración sísmica en el suelo urbano y de expansión urbana de la Punta	111
Gráfica 93 Aceleración sísmica en el centro poblado Cascajera.....	111
Gráfica 94 Aceleración sísmica en el centro poblado El Palmar	112
Gráfica 95 Aceleración sísmica en el centro poblado Gratamira	112
Gráfica 96 Aceleración sísmica en el centro poblado Jacalito	113
Gráfica 97 Aceleración sísmica en el centro poblado Juaica	113
Gráfica 98 Aceleración sísmica en el centro poblado Los Pinos	114
Gráfica 99 Aceleración sísmica en el centro poblado Pan de Azúcar.....	114
Gráfica 100 Aceleración sísmica en el centro poblado Zoque	115
Gráfica 101 Amenaza por movimientos en masa en el suelo urbano y de expansión urbana.....	116
Gráfica 102 Amenaza por movimientos en masa en el suelo urbano y de expansión urbana de la Punta	117
Gráfica 103 Amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Cascajera.....	118
Gráfica 104 Amenaza por movimientos en masa en el centro poblado El Palmar.....	119
Gráfica 105 Amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Gratamira	119
Gráfica 106 Amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Jacalito	120
Gráfica 107 Amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Juaica	121
Gráfica 108 Amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Los Pinos.....	122
Gráfica 109 Amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Pan de Azúcar	123
Gráfica 110 Amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Zoque	123
Gráfica 111 Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en el suelo urbano y de expansión urbana del municipio de Tenjo.....	125
Gráfica 112 Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en el suelo urbano y de expansión urbana de La Punta.....	126
Gráfica 113 Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Cascajera	127
Gráfica 114 Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en el centro poblado El Palmar	127
Gráfica 115 Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Juaica	128
Gráfica 116 Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Los Pinos	129
Gráfica 117 Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Pan de Azúcar	129
Gráfica 118 Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en el suelo urbano y de expansión urbana en el municipio de Tenjo	130

Gráfica 119 Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en el suelo urbano y de expansión urbana de La Punta.....	131
Gráfica 120 Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en el centro poblado Cascajera...	132
Gráfica 121 Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en el centro poblado El Palmar ..	132
Gráfica 122 Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en el centro poblado Juaica	133
Gráfica 123 Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en el centro poblado Pan de Azúcar	134
Gráfica 124 Mapa de susceptibilidad a inundación a escala 1:500.000	140
Gráfica 125 Mapas de manchas de inundación del Fenómeno de La Niña.....	141
Gráfica 126 Amenaza por inundaciones para suelo rural de Tenjo – POMCA Río Bogotá	142
Gráfica 127 Modelo Digital del Terreno para el municipio de Tenjo	144
Gráfica 128 Modelo de sombras para el municipio de Tenjo.....	145
Gráfica 129 Imagen Satelital para el municipio de Tenjo	146
Gráfica 130 Vallados presentes en el municipio de Tenjo	147
Gráfica 131 Esquema metodológico para la zonificación de la amenaza por inundaciones en suelo rural del municipio de Tenjo.....	148
Gráfica 132 Subunidades geomorfológicas identificadas en el municipio de Tenjo.....	151
Gráfica 133 Susceptibilidad a inundaciones para el municipio de Tenjo.....	153
Gráfica 134 Eventos históricos asociados a inundaciones para el municipio de Tenjo	156
Gráfica 135 Amenaza por inundaciones para suelo rural del municipio de Tenjo.....	157
Gráfica 136 Áreas con condición de amenaza por inundaciones en el suelo suburbano del municipio de Tenjo.....	158
Gráfica 137 Áreas con condición de riesgo por inundaciones en el suelo rural del municipio de Tenjo..	160
Gráfica 138 Áreas ocupadas de amenaza media por inundación	161
Gráfica 139 Metodología para el análisis de la amenaza por inundación en suelo urbano, expansión urbana y centros poblados	163
Gráfica 140 Estaciones meteorológicas presentes en el municipio de Tenjo.....	190
Gráfica 141 Microcuencas analizadas en suelo urbano y de expansión.....	199
Gráfica 142 Microcuenca analizada en el centro poblado Cascajera	200
Gráfica 143 Microcuenca analizada en el centro poblado Gratamira.....	200
Gráfica 144 Microcuencas analizadas en el centro poblado Juaica.....	201
Gráfica 145 Curva hipsométrica y ciclo de erosión	204
Gráfica 146 Diagrama esquemático del método escorrentía directa	205
Gráfica 147 Curvas IDF para la estación El Hato	208
Gráfica 148 Curvas IDF para la estación Providencia	208
Gráfica 149 Hidrograma de crecida para microcuenca 1 del área urbana centro.....	215
Gráfica 150 Hidrograma de crecida para microcuenca 2 del área urbana centro.....	215
Gráfica 151 Hidrograma de crecida para microcuenca 3 del área urbana centro.....	215
Gráfica 152 Hidrograma de crecida para microcuenca 4 del área urbana centro.....	216
Gráfica 153 Hidrograma de crecida para microcuenca 5 del área urbana centro.....	216
Gráfica 154 Hidrograma de crecida para microcuenca 6 del área urbana centro.....	216
Gráfica 155 Hidrograma de crecida para microcuenca del centro poblado Cascajera	217
Gráfica 156 Hidrograma de crecida para microcuenca del centro poblado Gratamira	217
Gráfica 157 Hidrograma caudal pico.	219
Gráfica 158 Representación Gráfica de la energía del agua entre dos secciones.....	220
Gráfica 159 Esfuerzos cortantes y velocidades cerca del fondo en flujo turbulento.....	220
Gráfica 160 . Metodología general del procesamiento hidráulico mediante el software IBER.	222
Gráfica 161 Condiciones iniciales Software IBER.	224

Gráfica 162 Profundidad (metros) y velocidad (m ² /s) de la lámina de agua en el análisis de inundaciones para el suelo urbano centro y suelo de expansión	226
Gráfica 163 Profundidad de la lámina de agua generada por encharcamientos en suelo urbano y de expansión urbana	227
Gráfica 164 Profundidad de la lámina de agua generada por encharcamientos en suelo urbano La Punta y de expansión urbana	228
Gráfica 165 Profundidad (metros) y velocidad (m ² /s) de la lámina de agua en el análisis de inundaciones para el centro poblado Cascajera	229
Gráfica 166 Profundidad de la lámina de agua generada por encharcamientos en el centro poblado Cascajera	230
Gráfica 167 Profundidad de la lámina de agua generada por encharcamientos en el centro poblado El Palmar	231
Gráfica 168 Profundidad (metros) y velocidad (m ² /s) de la lámina de agua en el análisis de inundaciones para el centro poblado Gratamira	232
Gráfica 169 Profundidad de la lámina de agua generada por encharcamientos en el centro poblado Gratamira	233
Gráfica 170 Modelamiento de encharcamientos para el centro poblado Jacalito	234
Gráfica 171 Profundidad de la lámina de agua generada por encharcamientos en el centro poblado Juaiaca	235
Gráfica 172 Profundidad de la lámina de agua generada por encharcamientos en el centro poblado Los Pinos	236
Gráfica 173 Profundidad de la lámina de agua generada por encharcamientos en el centro poblado Pan de Azúcar	237
Gráfica 174. Clasificación reológica de los flujos acorde con Coussot y Meunier (1996).	239
Gráfica 175. Clasificación de los flujos según la distancia recorrida.....	240
Gráfica 176. Configuración de una avenida torrencial.....	242
Gráfica 177 . Perfil esquemático que define H y L del transporte de la avenida torrencial. H y L están definidos por las líneas que conectan la zona de inicio y el depósito.	243
Gráfica 178. Pendientes de las zonas de canales de flujo de detritos en grados y porcentaje.	244
Gráfica 179 . Representación idealizada de una secuencia de facies que puede ser producto de un evento flujo de detritos-inundación de flujos hiperconcentrados - creciente súbita.	245
Gráfica 180. Modelo conceptual de flujos de detritos detonados por lluvias y los tres mecanismos de iniciación típicos de estos: erosión del lecho, transformación desde un deslizamiento (enjambre de deslizamientos) y rotura de presas.....	246
Gráfica 181 . Clasificación simplificada basada en la curva reológica del fluido.....	247
Gráfica 182 . Esquema metodológico para la zonificación de amenaza por avenidas torrenciales en el municipio de Tenjo, Cundinamarca.	249
Gráfica 183. Mapa de susceptibilidad a avenidas torrenciales escala 1:500.000 para Colombia.....	250
Gráfica 184. Numero de avenidas torrenciales reportada por municipio.	252
Gráfica 185. Ocurrencia de avenidas torrenciales en la cuenca del Río Bogotá.	253
Gráfica 186. mapa de susceptibilidad a avenidas torrenciales del POMCA del Río Bogotá en el municipio de Tenjo.....	254
Gráfica 187. Mapa de amenaza por avenidas torrenciales del POMCA Río Bogotá para el municipio de Tenjo.....	255
Gráfica 188. Mapa de eventos históricos reportado en talleres participativos y mesas de trabajo del municipio de Tenjo.....	258
Gráfica 189. Microcuencas con injerencia el municipio de Tenjo.	259
Gráfica 190. mapa de índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales.	263

Gráfica 191. Esquema de a) hillslope debris Flow (flujos de detrito en laderas) y b) channalised debris flow (flujos de detritos canalizados).....	264
Gráfica 192. Afloramiento de areniscas cuarzosas meteorizadas de la Formación Plaeners en el municipio de Tenjo (P19).....	265
Gráfica 193. Mapa de localización de puntos de muestreo de suelo utilizado para la elaboración del modelo de inicio de avenidas torrenciales.....	267
Gráfica 194. Identificación en campo del espesor promedio del suelo.	268
Gráfica 195. Mapa de amenaza a inicio de flujos de detritos para el municipio de Tenjo.....	270
Gráfica 196. Distribución porcentual de las categorías de zonas de inicio para el municipio de Tenjo. ...	271
Gráfica 197. Diagrama de proceso de identificación del ángulo de alcance (Reach angle).....	272
Gráfica 198. Mapa de susceptibilidad a transporte de avenidas torrenciales (flujo de detritos en laderas o flujo de detritos canalizados).....	276
Gráfica 199. Distribución porcentual de la susceptibilidad a transporte de avenidas torrenciales en el municipio de Tenjo.....	277
Gráfica 200. Zonificación de susceptibilidad por transporte de avenidas torrenciales en el casco urbano del municipio de Tenjo, zona de expansión y el centro poblado de Pan de Azúcar.	278
Gráfica 201. Mapa de subunidades geomorfológicas del municipio de Tenjo.....	280
Gráfica 202. Mapa de zonas de depósito de flujos torrenciales en el municipio de Tenjo.	281
Gráfica 203. Fotografía de afloramiento de depósito fluviotorrencial en el punto P43 en el Centro Poblado de Los Pinos.....	282
Gráfica 204. Metodología para construir el mapa de amenaza por avenidas torrenciales.....	283
Gráfica 205. Mapa de amenaza por avenidas torrenciales escala 1:25.000 para el municipio de Tenjo...	285
Gráfica 206. Distribución porcentual de la amenaza por avenidas torrenciales escala 1:25000.....	286
Gráfica 207. Mapa de elementos expuesto a amenaza alta por avenidas torrenciales escala 1:25.000.....	287
Gráfica 208. Modelo de espesor máximo del flujo para el área urbana, expansión urbana y centro poblado de Pan de Azúcar.....	288
Gráfica 209 Modelo Zonas en condición de riesgo por avenidas torrenciales en suelo rural.....	289
Gráfica 210. Mapa de áreas de estudio para análisis a escala 1:2000.....	291
Gráfica 211. Comparativo de armonización del mapa de amenaza por avenidas torrenciales del POMCA Río Bogotá (Izquierda) y el modelo de amenaza por avenidas torrenciales propuesto (derecha).....	313
Gráfica 212. Estaciones IDEAM en el municipio de Tenjo.	316
Gráfica 213. Cuencas incluidas en el análisis morfométrico.....	318
Gráfica 214. Esquema de datos para construir la curva hipsométrica.....	322
Gráfica 215. Curvas hipsométricas de las cuencas objeto de estudio.	322
Gráfica 216. Curvas IDF para las estaciones con influencia en el municipio de Tenjo.....	323
Gráfica 217. Ciclos sedimentarios en una cuenca hidrográfica.....	324
Gráfica 218. A. Hidrograma y sedimentograma, b. Relación lineal entre caudal sólido y líquido.	325
Gráfica 219. Clasificación de flujos realizada por varios autores.	326
Gráfica 220 Clasificación de flujos por concentración de sedimentos.....	327
Gráfica 221. Perfiles topográficos del canal modelado en el centro poblado de Pan de Azúcar.	328
Gráfica 222. Perfiles topográficos de los canales modelados en la zona urbana y de expansión urbana.	329
Gráfica 223. Hidrogramas de la cuenca 1 para periodos de retorno de 2, 20 y 100 años.....	330
Gráfica 224. Hidrogramas de la cuenca 2 para periodos de retorno de 2, 20 y 100 años.....	331
Gráfica 225. Hidrogramas de la cuenca 3 para periodos de retorno de 2, 20 y 100 años.....	331
Gráfica 226. Metodología simplificada para el modelamiento hidráulico usando IBER 2D.	333
Gráfica 227. Mapas de profundidad (m/s) de la modelación de avenida torrencial para el centro poblado de Pan de Azúcar para tiempos de retorno de 2, 20 y 100 años.....	334

Gráfica 228. Mapas de velocidad (m/s) de la modelación de avenida torrencial para el centro poblado de Pan de Azúcar para tiempos de retorno de 2, 20 y 100 años.....	335
Gráfica 229. Mapas de profundidad (m) de la modelación de avenida torrencial para el área urbana de Tenjo y expansión urbana para periodos de retorno de 2, 20 y 100 años.....	336
Gráfica 230. Mapas de velocidad (m/s) de la modelación de avenida torrencial para el suelo urbano de Tenjo y expansión urbana para periodos de retorno de 2, 20 y 100 años.....	337
Gráfica 231. Plano de amenaza por avenidas torrenciales escala 1:2000 para el centro poblado de Pan de Azúcar (Cuenca 1).....	339
Gráfica 232. Plano de amenaza por avenidas torrenciales escala 1:2000 para el área urbana de Tenjo y zona de expansión urbana (Cuenca 2, 3 y 4).....	340
Gráfica 233. Elementos geomorfológicos para los centros poblados no priorizados para el estudio 1:2000.	342
Gráfica 234. Zonificación de amenaza por avenidas torrenciales para los centros poblados rurales no priorizados para estudios 1:2000.....	343
Gráfica 235. Mapa de elementos geomorfológicos (izquierda) y Zonificación de amenaza por avenidas torrenciales (derecha) en el suelo urbano de La Punta y suelo de expansión urbana.....	344
Gráfica 236. Áreas en condición de amenaza por avenidas torrenciales para el centro poblado de Pan de Azúcar.....	345
Gráfica 237. Mapa de condición de riesgo por avenidas torrenciales para el centro poblado de Pan de Azúcar.....	346
Gráfica 238. Áreas en condición de amenaza por avenidas torrenciales para suelo urbano de Tenjo y suelos de expansión urbana.....	347
Gráfica 239. Mapa de condición de riesgo por avenidas torrenciales para el suelo urbano de Tenjo y zonas de expansión.....	348
Gráfica 240 Áreas ocupadas de amenaza media por avenidas torrenciales en suelo urbano.....	349
Gráfica 241 Áreas ocupadas de amenaza media por avenidas torrenciales en el centro poblado Pan de Azúcar.....	349
Gráfica 242 Amenaza por incendios forestales del POMCA rio Bogotá para el municipio de Tenjo.....	352
Gráfica 243 Susceptibilidad por tipo de combustible.....	357
Gráfica 244 Susceptibilidad por carga de combustible.....	359
Gráfica 245 Susceptibilidad por duración de combustible.....	361
Gráfica 246 Susceptibilidad total de la vegetación a presentar incendios de la cobertura vegetal.....	362
Gráfica 247 Amenaza por precipitación.....	364
Gráfica 248 Amenaza por temperatura.....	365
Gráfica 249 Localización de las estaciones implementas para el cálculo de la velocidad media multianual del viento.....	367
Gráfica 250 Amenaza por velocidad del viento en el municipio de Tenjo.....	368
Gráfica 251 Amenaza por velocidad de radiación solar en el municipio de Tenjo.....	370
Gráfica 252 Amenaza por pendientes topográficas.....	372
Gráfica 253 Amenaza por accesibilidad.....	374
Gráfica 254 Distribución de los eventos históricos de incendios forestales en el municipio de Tenjo.....	377
Gráfica 255 Amenaza por frecuencia.....	379
Gráfica 256 Amenaza por incendios forestales para el municipio de Tenjo.....	381
Gráfica 257 Distribución veredal en área y porcentual de la amenaza por incendios forestales.....	382
Gráfica 258 Áreas con condición de amenaza por incendios forestales en el suelo suburbano y áreas para vivienda campestre del municipio de Tenjo.....	383
Gráfica 259 Áreas con condición de riesgo por incendios de la cobertura vegetal.....	385
Gráfica 260 Estaciones de servicio con probabilidad de derrames en suelo urbano.....	396



Gráfica 261 Estaciones de servicio con probabilidad de derrames en suelo rural.....	397
Gráfica 262 Red de alta tensión y subestaciones eléctricas identificadas	398
Gráfica 263. Proyectos licenciados y en evaluación del ANLA	400
Gráfica 264. Proyectos de energía a nivel nacional, que tienen relación directa con el municipio de Tenjo	400

Listado de Tablas

Tabla 1 Escala de trabajo para estudios básicos y detallados de gestión del riesgo y su incorporación en el Plan de Ordenamiento Territorial.....	23
Tabla 2 Eventos históricos recopilados por fuentes secundarias para el municipio de Tenjo.....	27
Tabla 3 Registro de eventos históricos amenazantes reportados en los talleres participativos y mesas de trabajo en el municipio de Tenjo.....	31
Tabla 4 Procesos morfodinámicos identificados mediante fotointerpretación y jornadas de campo	33
Tabla 5 Amenazas identificadas en el municipio de Tenjo	34
Tabla 6 Distribución en área y porcentual de la zonificación de la amenaza por movimientos en masa del POMCA río Bogotá para el municipio de Tenjo.....	36
Tabla 7 Inventario (tipo punto) de procesos morfodinámicos para el municipio de Tenjo.....	39
Tabla 8 Inventario (tipo polígono) de procesos morfodinámicos para el municipio de Tenjo.....	40
Tabla 9 Unidades geológicas presentes en el municipio de Tenjo	41
Tabla 10 Subunidades geomorfológicas para el municipio de Tenjo.....	42
Tabla 11 Unidades geológicas Superficiales en el suelo rural del municipio de Tenjo	44
Tabla 12 CN aparte de las coberturas y el suelo hidrológico	47
Tabla 13 Grados de estabilidad según los resultados del factor de seguridad.....	51
Tabla 14 Categorización de la amenaza por movimientos en masa en el suelo rural del municipio de Tenjo	52
Tabla 15 Distribución en área y porcentual de la amenaza por movimientos en masa para cada una de las veredas del municipio de Tenjo.....	52
Tabla 16 Parámetros geotécnicos para el cálculo del factor de seguridad en el suelo urbano y de expansión urbana de la Punta	81
Tabla 17 Parámetros geotécnicos para el cálculo del factor de seguridad en el suelo urbano y de expansión urbana del municipio de Tenjo.....	82
Tabla 18 Parámetros geotécnicos para el cálculo del factor de seguridad en el suelo urbano y de expansión urbana de La Punta.....	84
Tabla 19 Parámetros geotécnicos para el cálculo del factor de seguridad en el centro poblado Cascajera	85
Tabla 20 Parámetros geotécnicos para el cálculo del factor de seguridad en el centro poblado El Palmar	86
Tabla 21 Parámetros geotécnicos para el cálculo del factor de seguridad en el centro poblado Gratamira	86
Tabla 22 Parámetros geotécnicos para el cálculo del factor de seguridad en el centro poblado Jacalito....	87
Tabla 23 Parámetros geotécnicos para el cálculo del factor de seguridad en el centro poblado Juaica.....	88
Tabla 24 Parámetros geotécnicos para el cálculo del factor de seguridad en el centro poblado Los Pinos	89
Tabla 25 Parámetros geotécnicos para el cálculo del factor de seguridad en el centro poblado Pan de Azúcar	90
Tabla 26 Parámetros geotécnicos para el cálculo del factor de seguridad en el centro poblado Zoque.....	91
Tabla 27 CN aparte de las coberturas y el suelo hidrológico	94
Tabla 28 Categorización de la amenaza por movimientos en masa en el suelo urbano y de expansión urbana	115
Tabla 29 Categorización de la amenaza por movimientos en masa en el suelo urbano y de expansión urbana de La Punta.....	116
Tabla 30 Categorización de la amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Cascajera	117
Tabla 31 Categorización de la amenaza por movimientos en masa en el centro poblado El Palmar.....	118
Tabla 32 Categorización de la amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Juaica.....	120
Tabla 33 Categorización de la amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Los Pinos.....	121
Tabla 34 Categorización de la amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Pan de Azúcar	122

Tabla 35 Áreas de amenaza media ocupadas por movimientos en masa en suelo urbano y centros poblados	134
Tabla 36 Tipos de inundación	138
Tabla 37 Caudales ambientales por microcuenca	149
Tabla 38 Caudales ambientales por subcuenca	149
Tabla 39 Evaluación de la susceptibilidad a inundaciones en el municipio de Tenjo.....	152
Tabla 40 Rangos de susceptibilidad para el municipio de Tenjo	152
Tabla 41 Matriz de decisión para la categorización de la amenaza por inundaciones	154
Tabla 42 Eventos históricos asociados a inundaciones en el municipio de Tenjo	154
Tabla 43 Ortofotomosaico empleado en la caracterización del suelo urbano, suelo de expansión urbana y centros poblados	164
Tabla 44 Modelo Digital del Terreno para suelo urbano, expansión urbana y centros poblados.....	168
Tabla 45 Elementos geomorfológicos identificados en suelo urbano, expansión urbana y centros poblados	172
Tabla 46 Susceptibilidad a eventos de inundación en casco urbano, área de expansión y centros poblados	178
Tabla 47 Matriz de decisión para la categorización de la amenaza por inundaciones	183
Tabla 48 Amenaza por inundación para área urbana, suelo de expansión urbana y centros poblados	184
Tabla 49 CN aparte de las coberturas y el suelo hidrológico	191
Tabla 50 Coberturas de al tierra identificadas para suelo urbano, expansión urbana y centros poblados – Valor de CN	193
Tabla 51 Parámetros geométricos de las microcuencas estudiadas en amenaza por inundaciones.....	201
Tabla 52 Índice de compacidad para la evaluación de la forma.....	202
Tabla 53 Índices de compacidad para las microcuencas analizadas en la amenaza por inundaciones.....	202
Tabla 54 Parámetros relativos al relieve de las microcuencas analizadas en la amenaza por inundaciones	203
Tabla 55 Estaciones meteorológicas encontradas en el área de estudio.....	204
Tabla 56 Estaciones representativas para la zona de estudio.	206
Tabla 57 Tiempo de concentración de las microcuencas analizadas.....	209
Tabla 58 Hietograma para periodos de retorno 100 años – Estación El Hato.....	210
Tabla 59 Hietogramas para periodos de retorno 100 años – Estación Providencia.....	213
Tabla 60. Parámetros de tiempo del modelo hidráulico.	224
Tabla 61. Comparativa entre flujos denominados como avenidas torrenciales.....	241
Tabla 62. Descripción de los insumos antecedentes para la evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales en el municipio de Tenjo.	251
Tabla 63. Distribución porcentual de los datos disponibles por evento en las bases de datos consultadas por el POMCA Río Bogotá.....	251
Tabla 64. Eventos históricos de avenidas torrenciales reportados en la plataforma DESINVENTAR.....	255
Tabla 65. Catálogo de Eventos históricos reportados por la comunidad del municipio de Tenjo en los espacios de socialización del proyecto.	256
Tabla 66 . Índices de compacidad para la evaluación de la forma.	260
Tabla 67. categorización del alineamiento de cuencas hidrográficas.....	260
Tabla 68. Categorías de clasificación de densidad de drenaje de cuencas hidrográficas	261
Tabla 69. Parámetros morfométricos de la cuenca Río Chicú	261
Tabla 70 Categorización del IVET de acuerdo con el índice de variabilidad y el índice morfométrico de torrencialidad.....	262
Tabla 71. Categorización de la susceptibilidad a iniciación de flujos de detritos.	266

Tabla 72. Combinación de categorías de amenaza por movimientos en masa y susceptibilidad de inicio por el modelo Shalstab.	266
Tabla 73. Laboratorios de suelos utilizados como información de entrada para el modelo Shalstab.	267
Tabla 74. cálculo de ángulo de alcance para el modelamiento realizado en el municipio de Tenjo.	273
Tabla 75. Valores máximos de velocidad (m/s) y probabilidad de trayectoria (invadir una celda).	274
Tabla 76. categorización de la intensidad de eventos de flujos de detritos.	274
Tabla 77. Categorización de susceptibilidad a transporte de avenidas torrenciales en el municipio de Tenjo.	275
Tabla 78. Categorías de susceptibilidad por movimientos en masa tipo flujo del SGC 2017.	279
Tabla 79. Leyenda del mapa de amenaza por avenidas torrenciales del municipio de Tenjo.	282
Tabla 80. Leyenda del mapa de amenaza por avenidas torrenciales del municipio de Tenjo.	283
Tabla 81 Amenaza por avenidas torrenciales escala 1:25000 para suelo urbano, expansión urbana y centros poblados	292
Tabla 82 IVET para suelo urbano, expansión urbana y centros poblados	295
Tabla 83 Pendientes en el suelo urbano, expansión urbana y centros poblados.	298
Tabla 84 Drenajes en el suelo urbano, expansión urbana y centros poblados.	301
Tabla 85 Modelo Digital del Terreno para suelo urbano, expansión urbana y centros poblados.	304
Tabla 86 Elementos geomorfológicos identificados en suelo urbano, expansión urbana y centros poblados	307
Tabla 87. Parámetros geométricos de las cuencas estudiadas.	318
Tabla 88. Parámetros morfométricos de la cuenca objeto de estudio.	320
Tabla 89 Clasificación de pendientes	320
Tabla 90. Parámetros relativos al relieve de las cuencas de estudio.	321
Tabla 91. Parámetros relativos al drenaje.	321
Tabla 92 Categorización de la amenaza por avenidas torrenciales para el centro poblado de Pan de Azúcar.	338
Tabla 93 Distribución en área y porcentual de la amenaza por incendios forestales del POMCA rio Bogotá para el municipio de Tenjo.	351
Tabla 94 Estandarización de datos según metodología IDEAM.	354
Tabla 95 Estandarización de datos según metodología CAR.	354
Tabla 96 Estandarización de datos	355
Tabla 97 Calificación y categorización de las coberturas por tipo de combustible.	356
Tabla 98 Definición de categorías y puntajes para la susceptibilidad por tipo de combustible	356
Tabla 99 Calificación y categorización de las coberturas por carga de combustible	358
Tabla 100 Definición de categorías y puntajes para la susceptibilidad por carga de combustible.	358
Tabla 101 Calificación y categorización de las coberturas por duración de combustible.	360
Tabla 102 Definición de categorías y puntajes para la susceptibilidad por duración de combustible	360
Tabla 103 Distribución en área y porcentaje de la susceptibilidad total de la vegetación a presentar incendios de la cobertura vegetal.	362
Tabla 104 Definición de rangos y puntajes para determinar la amenaza por precipitación	363
Tabla 105 Definición de rangos y puntajes para determinar la amenaza por temperatura	365
Tabla 106 Estaciones implementas para el cálculo de la velocidad media multianual del viento	366
Tabla 107 Definición de rangos y puntajes para determinar la amenaza por velocidad del viento.	367
Tabla 108 Definición de rangos y puntajes para determinar la amenaza por radiación solar	369
Tabla 109 Definición de rangos y puntajes para determinar la amenaza por pendientes topográficas	371
Tabla 110 Definición de rangos y puntajes para la amenaza por accesibilidad de vías	373
Tabla 111 Eventos históricos de incendios forestales en el municipio de Tenjo	375
Tabla 112 Definición de rangos y puntajes para la amenaza por frecuencia de incendios	378



Tabla 113 Definición de rangos y puntajes para la amenaza por frecuencia de incendios	380
Tabla 114 Zonificación de la amenaza por incendios de la cobertura vegetal	380
Tabla 115 Distribución veredal en área y porcentual de la amenaza por incendios forestales.....	381
Tabla 116. Identificación pictográfica de peligros físicos, químicos, para la salud y el medio ambiente	387
Tabla 117. Tipo de eventos tecnológicos	392
Tabla 118. Identificación de eventos tecnológicos en talleres	395
Tabla 119. Proyectos licenciados y en evaluación de ANLA para el municipio de Tenjo asociados a riesgo tecnológico.	398
Tabla 120. Norma urbanística para las áreas de amenaza alta rural.....	402
Tabla 121. Norma urbanística para las áreas con condición de amenaza en suelo rural suburbano corredor vial y suelo industrial	403
Tabla 122. Norma urbanística para las áreas con condición de amenaza en centros poblados rurales.	404
Tabla 123. Norma urbanística para las áreas con condición de amenaza.....	405
Tabla 124. Norma urbanística para las áreas con condición de riesgo en centros poblados rurales.	407
Tabla 125. Norma urbanística para las áreas con condición de riesgo.....	408
Tabla 126. Priorización de estudio detallados de amenaza vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa.	410
Tabla 127 Escala de trabajo para estudios detallados	415
Tabla 128. Componente programático de gestión de riesgo	417



PRESENTACIÓN

En el marco del Contrato Interadministrativo CD-CI-ADM-215-2021 suscrito entre el municipio de Tenjo y la Universidad Nacional de Colombia-Instituto de Estudios Urbanos se presentan los ESTUDIOS BÁSICOS DE GESTIÓN DEL RIESGO¹, en cumplimiento de lo establecido en el Decreto 1077 de 2015 y las demás normas que regulan la materia en el país.

Los Estudios básicos de gestión del riesgo para la modificación del POT establecidos en dicha norma incorporan los estudios básicos de amenaza por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales en la zona rural, así como en la zona urbana, de expansión y centros poblados. Estos estudios además incorporan los estudios básicos por incendios forestales y amenazas de tipo tecnológico.

Se presenta en este documento técnico para cada estudio, la metodología empleada y los resultados obtenidos; los insumos y los alcances y escalas establecidas en la norma nacional; así como la delimitación y zonificación de áreas en condición de amenaza y riesgo; y las medidas de intervención no estructurales orientadas a establecer el modelo de ocupación del territorio y las restricciones o condicionamientos para el uso del suelo cuando sea viable, mediante la determinación de normas urbanísticas. Cada estudio tiene su documento técnico de soporte, que se unificó en este único documento con fines de integración del conjunto de análisis y zonificaciones.

Adicionalmente, en el marco de lo establecido en el POMCA del río Bogotá, adoptado mediante Resolución 957 de 2019 por parte de la comisión conjunta, conformada por las tres autoridades ambientales regionales en su jurisdicción, CAR, Corpoguavio y Corporinoquia. El presente documento, además incorpora la revisión de las determinantes allí establecidas en materia de gestión del riesgo.

Este documento y sus soportes correspondientes fueron revisados en conjunto con la Corporación Autónoma Regional (CAR) a través de mesas de asistencia técnica, e incorpora la respuesta a las observaciones realizadas por dicha entidad, en el marco de sus actividades de verificación de las metodologías utilizadas para los estudios básicos aquí presentados.

Estos estudios serán el sustento técnico del proceso de modificación del POT de Tenjo, en el marco del cumplimiento de lo ordenado en la Sentencia del Consejo de Estado dentro del proceso con radicación 2001-90479-01 de marzo de 2014.

¹ Estos productos corresponden a los numerales 1.2 y 1.3 de la Cláusula tercera del Contrato Interadministrativo, y a los productos 4 al 10 de la propuesta presentada y aprobada por la Universidad Nacional de Colombia; así como las actividades y productos acordados en el Plan de Trabajo del CI para los Estudios Básicos de Riesgo.

1 ALCANCES

El presente documento contempla la elaboración de los Estudios Básicos de Gestión del Riesgo para el municipio de Tenjo (Cundinamarca), acorde a lo establecido en el Decreto 1077 de 2015, el cual establece los requerimientos técnicos mínimos para su elaboración. Se presentaran los siguientes ítems :

- Delimitación y zonificación de las áreas de amenaza por movimientos en masa, inundaciones e incendios forestales en suelo rural a escala 1:25.000
- Delimitación y zonificación de las áreas de amenaza por movimientos en masa e inundaciones en suelo urbano, de expansión urbana y centros poblados a escala 1:5.000
- Delimitación y zonificación de las áreas de amenaza por avenidas torrenciales en los cauces torrenciales en función de la “magnitud de la amenaza, su intensidad, consecuencias y disponibilidad de información” a escala 1:2.000
- Análisis de amenazas antrópicas presentes en el municipio de Tenjo
- Delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza
- Delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo
- Determinación de las medidas de intervención, orientadas a establecer restricciones y condicionamientos mediante la determinación de normas urbanísticas

2 GENERALIDADES

2.1 Marco legal

La Ley 388 de 1997 en su artículo décimo, establece como determinantes de superior jerarquía, que los municipios y distritos deben tener en cuenta en la elaboración y adopción de los planes de ordenamiento territorial, y las determinantes relacionadas con la conservación y protección del medio ambiente considerando en particular los recursos naturales y las políticas, directrices, estrategias y regulaciones sobre prevención de amenazas y riesgos naturales; de tal forma que la adopción de políticas de gestión del riesgo se constituyen en temática indispensable para asegurar un desarrollo sostenible en temas de seguridad territorial, mejorar la calidad de vida, protección del medio ambiente y comunidades en riesgo.

Posteriormente, con el Decreto Ley 19 de 2012, se requiere la delimitación y zonificación de las áreas de amenaza.

En el Decreto 1077 de 2015, sección 3. “Incorporación de la gestión del riesgo en los planes de ordenamiento territorial”, se establece que, para la revisión de los contenidos de mediano y largo plazo de los planes de ordenamiento territorial o la expedición de nuevos planes, se deben elaborar estudios en los suelos urbanos, de expansión urbana y rural para los fenómenos de inundación, avenidas torrenciales y movimientos en masa, que contengan:

- a) La delimitación y zonificación de las áreas de amenaza;
- b) La delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza en las que se requiere adelantar los estudios detallados a que se refiere el siguiente artículo;
- c) La delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo en las que se requiere adelantar los estudios detallados a que se refiere el siguiente artículo;
- d) La determinación de las medidas de intervención, orientadas a establecer restricciones y condicionamientos mediante la determinación de normas urbanísticas.

Adicionalmente, los municipios deberán acatar lo establecido en el Decreto 1076 de 2015, en el cual establece que el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica se constituye en norma de superior jerarquía y determinante ambiental para la elaboración y adopción de los planes de ordenamiento territorial, de conformidad con lo dispuesto en el artículo 10 de la Ley 388 de 1997.

Una vez aprobado el Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica en el que se localice uno o varios municipios, estos deberán tener en cuenta en sus propios ámbitos de competencia lo definido por el Plan, como norma de superior jerarquía, al momento de formular, revisar y/o adoptar el respectivo Plan de Ordenamiento Territorial, en relación con:

- a) La zonificación ambiental.
- b) El componente programático.
- c) El componente de gestión del riesgo.

Por lo tanto, la incorporación de la gestión del riesgo del municipio de Tenjo tendrá en cuenta las determinantes ambientales contenidas en el POMCA del Río Bogotá, aprobado por Resolución 0957 de 2019.

Con el presente documento técnico que contiene los Estudios básicos de gestión del riesgo del municipio, se presenta el desarrollo de los literales de insumos, alcance, metodologías y resultados del Decreto 1077 de 2015, teniendo en cuenta la información oficial de entidades como el Servicio Geológico Colombiano en las temáticas de movimientos en masa; sismicidad del IDEAM en las temáticas de inundaciones y avenidas torrenciales; la metodología propuesta por la CAR para la temática de incendios forestales; así como la información suministrada por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca - CAR en relación al POMCA del Río Bogotá.

Las escalas de trabajo de estos estudios básicos cumplen con la clasificación del suelo establecidas en la Ley 388 de 1997, y lo determinado en el artículo 2.2.2.1.3.1.5. del Decreto 1077 de 2015; en el cual se establecen las escalas para los estudios básicos y detallados así:

Tabla 1 Escala de trabajo para estudios básicos y detallados de gestión del riesgo y su incorporación en el Plan de Ordenamiento Territorial

Categoría del suelo	Subcategoría	Nombre
Estudios básicos	Urbano	1:5.000
	Expansión urbana	1:5.000
	Rural	1:25.000
Estudios detallados	Urbano	1:2.000
	Expansión urbana	1:2.000
	Sub urbano	1:5.000

Fuente: (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2015)

2.2 Marco conceptual

La Gestión del Riesgo de Desastres busca cambiar la forma de enfrentar la problemática asociada a los desastres. Para ello, a la gestión de riesgos se le da un planteamiento por procesos lo cual permite

implementar competencias y actividades que se articulan entre sí, partiendo desde el conocimiento del riesgo de desastres para tomar las medidas correctivas y prospectivas pertinentes de reducción del riesgo. Así mismo, busca fortalecer el proceso de manejo de desastres que incluye, no solo la atención y la respuesta, sino también la recuperación mediante la transformación del escenario de riesgo a un territorio seguro y ambientalmente sostenible.

El proceso general de gestión de riesgo de desastres “se constituye en una política de desarrollo indispensable para asegurar la sostenibilidad, la seguridad territorial, los derechos e intereses colectivos, mejorar la calidad de vida de las poblaciones y las comunidades en riesgo y, por lo tanto, está intrínsecamente asociada con la planificación del desarrollo seguro, con la gestión ambiental territorial sostenible, en todos los niveles de gobierno y la efectiva participación de la población”. Por ello, las responsabilidades de la gestión de riesgo de desastres se resumen en un objetivo general que establece como obligación “llevar a cabo el proceso social de la gestión del riesgo con el propósito de ofrecer protección a la población en el territorio colombiano, mejorar la seguridad, el bienestar y la calidad de vida y contribuir al desarrollo sostenible”.

A continuación, se presentan algunas de las definiciones relacionadas con el marco conceptual de la gestión del riesgo en el marco de la Ley 1523 de 2012.

Adaptación: comprende el ajuste de los sistemas naturales o humanos a los estímulos climáticos actuales o esperados o a sus efectos, con el fin de moderar perjuicios o explotar oportunidades beneficiosas. En el caso de los eventos hidrometeorológicos la Adaptación al Cambio Climático corresponde a la gestión del riesgo de desastres en la medida en que está encaminada a la reducción de la vulnerabilidad o al mejoramiento de la resiliencia en respuesta a los cambios observados o esperados del clima y su variabilidad.

Alerta: estado que se declara con anterioridad a la manifestación de un evento peligroso, con base en el monitoreo del comportamiento del respectivo fenómeno, con el fin de que las entidades y la población involucrada activen procedimientos de acción previamente establecidos.

Amenaza: se define en la Ley 1523 de 2012 como: “peligro latente de que un evento físico de origen natural, o causado, o inducido por la acción humana de manera accidental, se presente con una severidad suficiente para causar pérdida 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” (artículo 4, numeral 3).

Análisis de riesgo: se basa en la conciencia de que el riesgo es el resultado de la concurrencia de una amenaza y de la vulnerabilidad de elementos amenazados (elementos expuestos). Por consiguiente, tomando en cuenta esta combinación de factores, el análisis de riesgos apunta a estimar y evaluar las posibles consecuencias de fenómenos naturales en un determinado grupo poblacional y en sus bases de vida. Se trata tanto de efectos o consecuencias a nivel social, como también económico y ambiental. La evaluación de la amenaza y el análisis de la vulnerabilidad forman parte del análisis de riesgos y deben entenderse como acciones inseparables. De esta manera, partiendo del conocimiento de que las personas y las bases de vida potencialmente afectadas por un determinado fenómeno natural son vulnerables a éste y sabiendo que, por lo tanto, dicho fenómeno se convierte en una amenaza, el análisis de riesgos estudia los posibles daños.

Componente de gestión del riesgo: está constituido por los programas, acciones y prioridades de la gestión del riesgo en el territorio en proceso de ordenación que permitan a las autoridades ambientales realizar un proceso de planeación, ejecución y seguimiento a la gestión del riesgo.

Conocimiento del riesgo: proceso de la gestión del riesgo que está compuesto por la identificación de escenarios de riesgo, el análisis y evaluación del riesgo, el monitoreo y seguimiento del riesgo y sus componentes y la comunicación para promover una mayor conciencia del mismo y que alimenta los procesos de reducción del riesgo y de manejo de desastre (Ley 1523 de 2012 artículo 4, numeral 7).

Desastre: es el resultado que se desencadena de la manifestación de uno o varios eventos naturales o antropogénicos no intencionales que al encontrar condiciones propicias de vulnerabilidad en las personas, los bienes, la infraestructura, los medios de subsistencia, la prestación de servicios o los recursos ambientales, causa daños o pérdidas humanas, materiales, económicas o ambientales, generando una alteración intensa, grave y extendida en las condiciones normales de funcionamiento de la sociedad, que exige del Estado y del sistema nacional ejecutar acciones de respuesta a la emergencia, rehabilitación y reconstrucción.

Emergencia: situación caracterizada por la alteración o interrupción intensa y grave de las condiciones normales de funcionamiento u operación de una comunidad, causada por un evento adverso o por la inminencia del mismo, que obliga a una reacción inmediata y que requiere la respuesta de las instituciones del Estado, los medios de comunicación y de la comunidad en general.

Elementos expuestos: de acuerdo con la Ley 1523 de 2012 exposición se refiere a la presencia de personas, medios de subsistencia, servicios ambientales y recursos económicos y sociales, bienes culturales e infraestructura que por su localización pueden ser afectados por la manifestación de una amenaza (artículo 4, numeral 10).

Gestión del riesgo: es el proceso social de formulación, ejecución, seguimiento y evaluación de políticas, estrategias, planes, programas, regulaciones, instrumentos, medidas y acciones permanentes para el conocimiento y la reducción del riesgo y para el manejo de desastres, con el propósito explícito de contribuir a la seguridad, el bienestar, la calidad de vida de las personas y al desarrollo sostenible. (Ley 1523 de 2012 artículo 4, numeral 11). La gestión del riesgo constituye una política de desarrollo indispensable para asegurar la sostenibilidad, la seguridad territorial, los derechos e intereses colectivos, mejorar la calidad de vida de las poblaciones y las comunidades en riesgo y, por lo tanto, está intrínsecamente asociada con la planificación del desarrollo seguro, con la gestión ambiental territorial sostenible, en todos los niveles de gobierno y la efectiva participación de la población.

Fragilidad: nivel de daño que un elemento dado puede sufrir luego de estar sometido a la acción de un movimiento en masa. Para bienes materiales, este nivel de daño está relacionado con el valor de las pérdidas relativo al valor de la propiedad; para personas, el nivel de daño se relaciona con la pérdida de vidas humanas y las lesiones físicas sufridas producto de un evento.

Manejo de desastres: se define como el proceso de la gestión del riesgo que se compone de la preparación para la respuesta a emergencias y la preparación para la recuperación, la cual comprende: rehabilitación y reconstrucción

Mitigación del riesgo: aplicación selectiva de medidas apropiadas y principios de manejo para reducir la posibilidad de la ocurrencia de un evento o de sus consecuencias desfavorables. Dichas medidas de intervención prospectiva o correctiva están dirigidas a reducir o disminuir los daños y pérdidas que se puedan presentar a través de reglamentos de seguridad y proyectos de inversión pública o privada, cuyo objetivo es reducir las condiciones de amenaza cuando sea posible y la vulnerabilidad existente.

Reducción del riesgo: proceso de la gestión del riesgo que está compuesto por la intervención dirigida a modificar o disminuir las condiciones de riesgo existentes, entiéndase: mitigación del riesgo, y a evitar nuevo riesgo en el territorio, entiéndase: prevención del riesgo. Son medidas de mitigación y prevención que se adoptan con antelación para reducir la amenaza, la exposición y disminuir la vulnerabilidad de las personas, los medios de subsistencia, los bienes, la infraestructura y los recursos ambientales, para evitar o minimizar los daños y pérdidas en caso de producirse los eventos físicos peligrosos. La reducción del riesgo la componen la intervención correctiva del riesgo existente, la intervención prospectiva de nuevo riesgo y la protección financiera. (Ley 1523 de 2012 artículo 4, numeral 21).

Riesgo de desastres: corresponde a los daños o pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos físicos peligrosos de origen natural, en un período de tiempo específico, que son determinados por la vulnerabilidad de los elementos expuestos. (Ley 1523 de 2012 artículo 4, numeral 25).

Susceptibilidad: en los estudios de análisis y evaluación de amenazas, constituye la base inicial, el primer paso para el análisis y zonificación de amenazas. Se entiende como la predisposición de un territorio a presentar determinados fenómenos amenazantes. De acuerdo con la naturaleza de los eventos amenazantes, cada uno de ellos tiene una fuente y una forma como se materializa en un espacio geográfico. Por lo tanto, se plantea que no se puede configurar un evento de origen natural si no existen determinadas condiciones ya sean geológicas, geográficas, meteorológicas, atmosféricas, ambientales y sociales para que se puedan materializar. Los mapas de susceptibilidad para cada evento deben delimitar áreas de acuerdo con unas características específicas que dan lugar a uno de los tipos de eventos determinados.

Vulnerabilidad: susceptibilidad o fragilidad física, económica, social, ambiental o institucional que tiene una comunidad a 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 de sus sistemas físicos, sociales, económicos y de apoyo que pueden ser afectados por eventos físicos peligrosos.

2.3 Eventos históricos identificados en el municipio de Tenjo

La recopilación de eventos históricos para la elaboración de los estudios básicos de gestión del riesgo se realizó a partir de la consulta de información en bases de datos de fuentes secundarias (eventos registrados por la alcaldía municipal, Corporación Autónoma Regional -CAR de Cundinamarca, el POMCA del Río Bogotá, entre otros); y se complementó con los procesos de participación ciudadana y las campañas de campo realizadas en el municipio. La integración de la información mencionada anteriormente permitió ajustar y validar el modelamiento y zonificación de las amenazas identificadas en el municipio.

2.3.1 Información secundaria

Se recopiló un total de 61 registros de eventos históricos de los siguientes eventos amenazantes: deslizamientos, avenidas torrenciales, inundaciones, encharcamientos, incendios forestales, incendios estructurales y tormentas eléctricas (Tabla 2). Los incendios forestales fueron el evento más recurrente en el municipio con un total de 20 registros (Gráfica 1) reportados desde el año 2010 hasta el año 2017; seguido por los deslizamientos y las inundaciones como eventos con mayor recurrencia. La mayoría de eventos se reportan por la CAR para movimientos en masa, y por el POMCA en el caso de inundaciones.

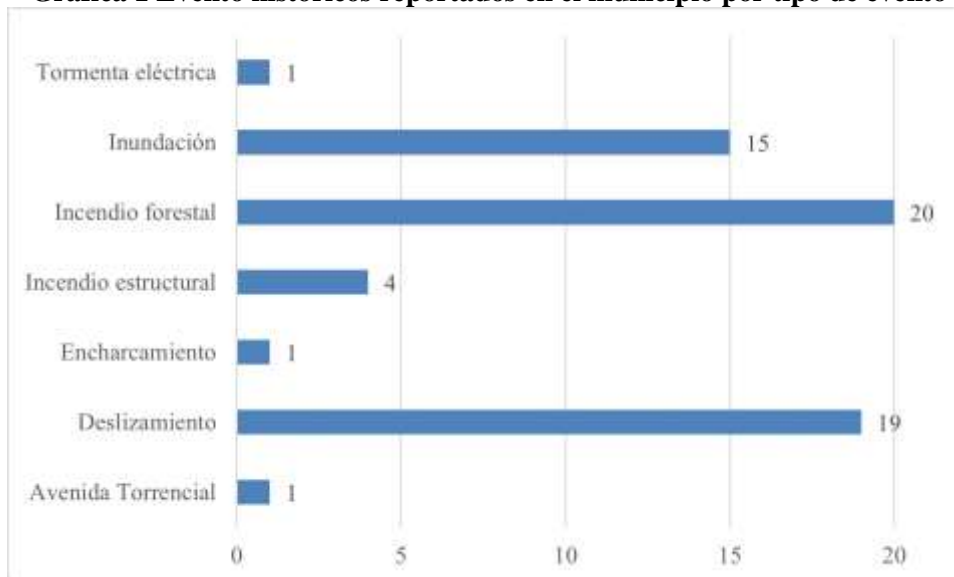
Tabla 2 Eventos históricos recopilados por fuentes secundarias para el municipio de Tenjo

Coordenada X	Coordenada Y	Codigo	Tipo de evento	Fecha	Localización	Fuente
991927	1030635	CAR-01	Deslizamiento	2017	Cascajal	CAR
992812	1031034	CAR-02	Deslizamiento	2016	Chince - Churuguaco Alto	CAR
992812	1031034	CAR-03	Deslizamiento	2017	Chince - Churuguaco Alto	CAR
992824	1031039	CAR-04	Deslizamiento	2013	El Cementerio	CAR
992824	1031039	CAR-05	Deslizamiento	2019	El Cementerio	CAR
998700	1029451	CAR-06	Deslizamiento	2019	LA ARBOLEDA	CAR
992625	1031078	CAR-07	Deslizamiento	2016	Marco Tulio Cortes	CAR
993778	1029685	CAR-08	Deslizamiento	2017	Olga Zoque	CAR
1008677	1047345	CAR-09	Deslizamiento	2016	Sandra Teresa Yazo	CAR
992812	1031034	CAR-10	Deslizamiento	2020	Chince - Churuguaco Alto	CAR
992824	1031039	CAR-11	Deslizamiento	2020	El Cementerio	CAR
993265	1031327	CAR-12	Deslizamiento	2020	Edelmira Campos	CAR
994762	1032084	CAR-13	Deslizamiento	2020	María Ofelia	CAR
993537	1031582	CAR-14	Deslizamiento	2021	predio Villa Nueva	CAR
992606.21	1030431.21	POMCA-01	Deslizamiento	2015	Tenjo	POMCA
992824	1031039	POMCA-02	Deslizamiento	2015	Churuguaco	POMCA
-	-	<u>UNGRD-2016-0196</u>	Incendio forestal	12/06/2016	Vereda Carrasquilla - Hacienda Jardín Scretto	UNGRD
-	-	<u>UNGRD-2016-0029</u>	Incendio forestal	28/01/2016	VEREDA CHITASUGA ZONA DE LOS RANCHOS	UNGRD
-	-	<u>UNGRD-2016-0009</u>	Incendio forestal	03/01/2016	Vereda Camellón	UNGRD
-	-	<u>UNGRD-2017-0153</u>	Incendio estructural	22/05/2017	Fabrica de Tejas Exiipilas	UNGRD
-	-	<u>UNGRD-2017-0099</u>	Tormenta eléctrica	25/03/2017	VEREDA SANTA CRUZ SECTOR LOS COLEGIOS	UNGRD
-	-	<u>UNGRD-2017-0053</u>	Incendio forestal	07/02/2017	Vereda Chince	UNGRD
-	-	<u>UNGRD-2017-0038</u>	Incendio forestal	21/01/2017	VEREDA CHITASUGA ZONA DE LOS RANCHOS	UNGRD
-	-	<u>UNGRD-2017-0032</u>	Inundación	18/01/2017	Vereda La Punta	UNGRD
-	-	<u>UNGRD-2015-0366</u>	Incendio forestal	29/12/2015	El Chacal	UNGRD
-	-	<u>UNGRD-2015-0363</u>	Incendio forestal	26/12/2015	Vereda Guandata	UNGRD
-	-	<u>UNGRD-2015-0065</u>	Incendio forestal	01/03/2015	SECTOR LA BALVANERA	UNGRD
-	-	<u>UNGRD-2014-0298</u>	Inundación	27/10/2014	VIA LA PUNTA	UNGRD
-	-	<u>UNGRD-03278</u>	Incendio estructural	31/10/2013	Suelo urbano	UNGRD
-	-	<u>UNGRD-02968</u>	Incendio estructural	27/09/2013	FABRICA DE POLVORA HOFMAN KM 8 SECTOR LA PUNTA	UNGRD
-	-	<u>UNGRD-01086</u>	Encharcamiento	17/03/2013	Barrios centros y Churuguaco	UNGRD
-	-	<u>UNGRD-2012-0106</u>	Inundación	17/11/2011	Vereda Churuguaco	UNGRD
-	-	<u>DGR-2011-02430</u>	Avenida Torrencial	13/04/2012	Vereda Juaiaca	UNGRD
-	-	<u>DGR - 2011-00659</u>	Deslizamiento	19/04/2011	Sector Cementerio	UNGRD
-	-	<u>DGR-2010-00304</u>	Inundación	07/04/2010	Veredas Chince, Juatica y Pan de Azucar	UNGRD

Coordenada X	Coordenada Y	Codigo	Tipo de evento	Fecha	Localización	Fuente
-	-	1972-0606	Incendio estructural	25/12/1972	Vereda Chince	UNGRD
996096	1033165	POMCA-03	Inundación	2016	-	POMCA
996096	1033165	POMCA-04	Inundación	2016	-	POMCA
995145	1029218	POMCA-05	Inundación	2016	-	POMCA
995145	1029218	POMCA-06	Inundación	2016	-	POMCA
996096	1033165	POMCA-07	Inundación	2016	-	POMCA
993154	1024297	POMCA-08	Inundación	2016	-	POMCA
990679	1018437	POMCA-09	Inundación	2016	-	POMCA
993154	1024297	POMCA-10	Inundación	2016	-	POMCA
993154	1024297	POMCA-11	Inundación	2016	-	POMCA
995145	1029218	POMCA-12	Inundación	2016	-	POMCA
995145	1029218	POMCA-13	Inundación	2016	-	POMCA
993752.835	1032104.6	EH-ALC-01	Incendio forestal	2010	En los Cerros vereda Chince-Pan de azúcar del Municipio	Alcaldía Municipal
990907.104	1030124.19	EH-ALC-02	Incendio forestal	2010	Vereda Chitasugá	Alcaldía Municipal
989470.413	1028631.94	EH-ALC-03	Incendio forestal	2012	Vereda El Estanco	Alcaldía Municipal
993272.483	1023813.87	EH-ALC-04	Incendio forestal	2013	Vereda Chacal-Cerro Majui en con límites con el municipio de Cota	Alcaldía Municipal
999447.871	1031783.13	EH-ALC-05	Incendio forestal	2013	Vereda Poveda II en límites con el municipio de Chía	Alcaldía Municipal
991228.573	1031370.38	EH-ALC-06	Incendio forestal	2016	Cerros de la vereda Chitasugá del municipio de Tenjo.	Alcaldía Municipal
993182.79	1032346.7	EH-ALC-07	Incendio forestal	2016	Vereda Chince	Alcaldía Municipal
991660.374	1031727.57	EH-ALC-08	Incendio forestal	2020	Pan De Azúcar, Churuguaco y Chitasugá	Alcaldía Municipal
989993	1030669	EH-CAR-01	Incendio forestal	2016	Chitasugá	CAR
989993	1030669	EH-CAR-02	Incendio forestal	2016	Chitasugá	CAR
991012	1028368	EH-CAR-03	Incendio forestal	2017	Quema Chitasugá	CAR
993032	1031702	EH-CAR-04	Incendio forestal	2020	Cerro de Juaica	CAR

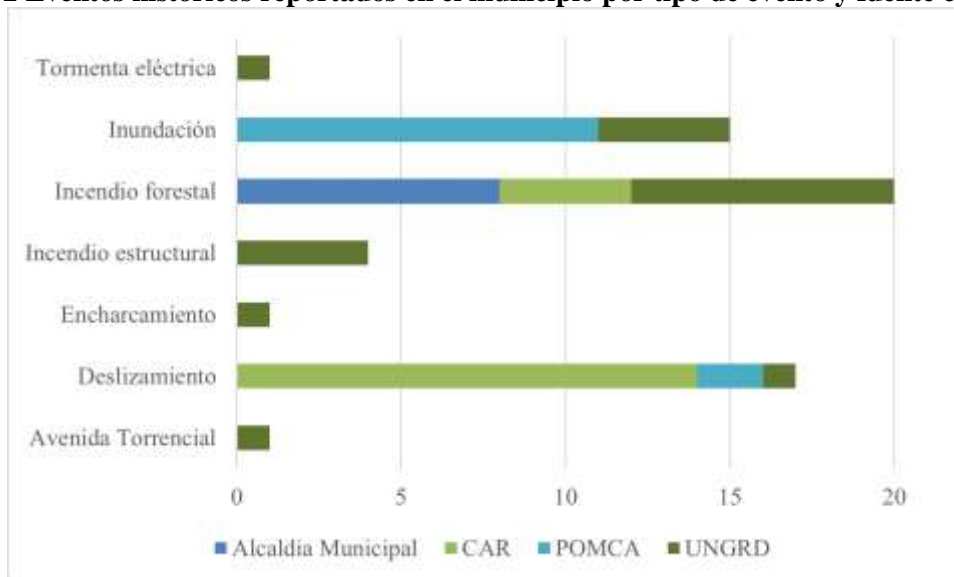
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021, con base en información POMCA, 2019; CAR; UNGRD

Gráfica 1 Evento históricos reportados en el municipio por tipo de evento



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021, con base en información POMCA, 2019; CAR; UNGRD

Gráfica 2 Eventos históricos reportados en el municipio por tipo de evento y fuente consultada



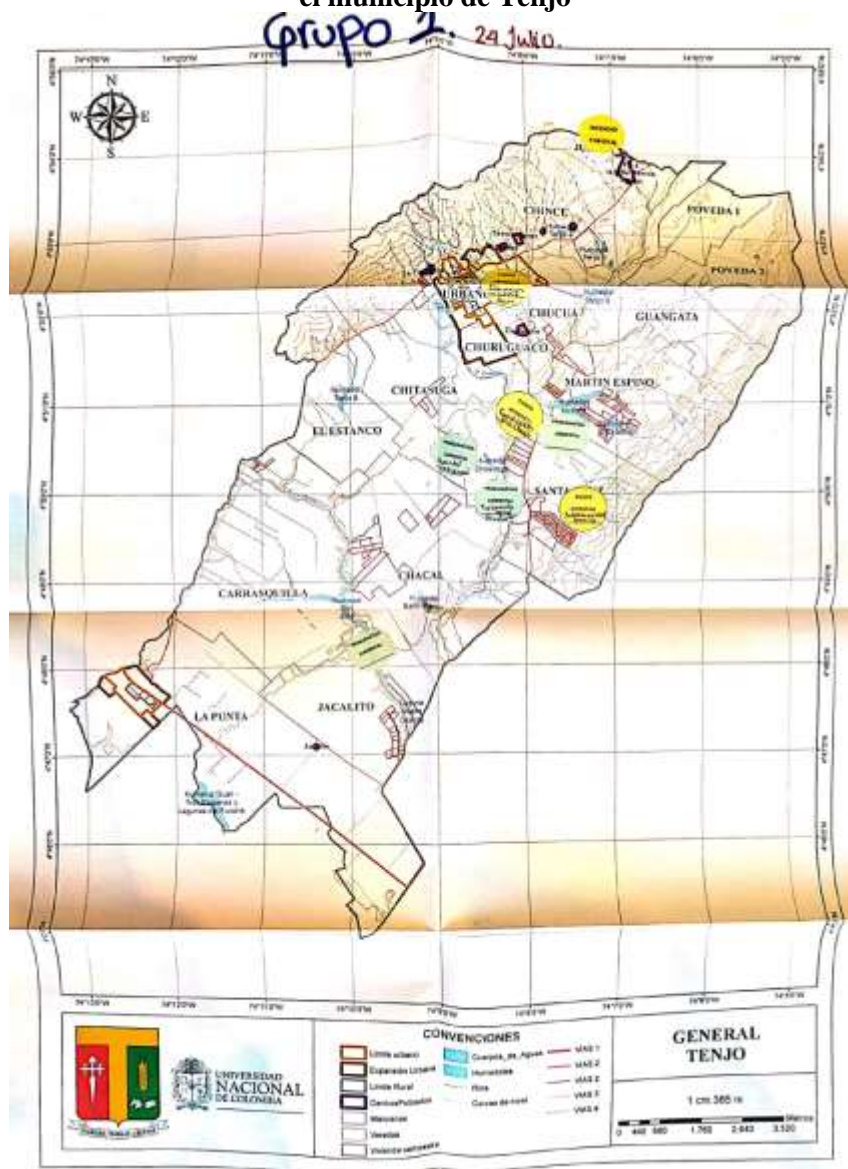
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021, con base en información POMCA, 2019; CAR; UNGRD

2.3.2 Talleres participativos y mesas de trabajo en el municipio de Tenjo

A través de los talleres desarrollados con la comunidad del municipio de Tenjo se recolectó información referente a los eventos históricos reportados, los cuales aportan a la identificación y al modelamiento de las diferentes amenazas analizadas. Esta recopilación de eventos se realizó a partir de:

- I) Cartografía social, la cual logró recoger toda la información de la comunidad sobre el territorio y sus diferentes afectaciones, a través de la espacialización en mapas de los sitios críticos o de amenazas materializadas y;
- II) Diligenciamiento de la matriz de eventos, en la cual se registra año del evento, detonante, daños causados y posibles soluciones. La información en conjunto es clave para el análisis de los modelos resultantes de los Estudios Básicos de Gestión del Riesgo. Para la consulta de todos los mapas y matrices diligenciadas, se puede consultar el anexo de participación ciudadana vinculante a esta modificación del POT.

Gráfica 3 Ejemplo de resultado Cartografía social para la identificación de eventos amenazantes en el municipio de Tenjo



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 4 Ejemplo Matrices diligenciadas con la comunidad para la identificación de eventos amenazantes

RECOLECCIÓN DE EVENTOS HISTÓRICOS CON ACTORES CALVES Y COMUNIDAD

Fecha: 27 Julio Lugar: Centro Cultural
2021

TIPO DE EVENTO	FECHA	LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	DETONANTES	DAÑOS Y/O AFECTACIONES	POSIBLE SOLUCIÓN	OBSERVACIONES
Inundaciones		Rio Chus desde Tebo	• Usurarios sin desde finca • Inundamiento de la zona del río Chus.			• Mejoramiento físico de la zona.
Contaminación ambiental		Rio Chus	Mesas de los reves.	• Daños a la comunidad. • Contaminación de la zona agrícola.		• Derechos o permisos no se tienen.
Fundación	2010 2011	Quebrado Esay		• Se rompió la vía • Río Páez hace exoneración de la zona agrícola. • Mes de 1 y 2 m de inundación		
Deslizam.		Cementerio	• construcciones ilegales.	Caida de la tierra		Existe un convenio de la CAR.

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Tabla 3 Registro de eventos históricos amenazantes reportados en los talleres participativos y mesas de trabajo en el municipio de Tenjo

Coordenada X	Coordenada Y	Código	Tipo de evento	Fecha	Localización
994946.34	1033312.03	EH-2	Deslizamiento	2013	CHINCE - JUAICA
992752.93	1031116.69	EH-4	Deslizamiento	2011	SECTOR CEMENTERIO
992897.07	1031143.59	EH-12 Y ALCALDIA TENJO	Deslizamiento	2011	CHINCE LA PAVERA
992195.46	1032036.53	EH-8	Incendio forestal	2012	Vereda Chince y se extendió a Churiguaco Alto
990544.33	1031262.05	EH-9	Incendio forestal	2010	Chitasugá parte alta
997394.9	1027512.07	EH-10	Incendio forestal	2019	Cerro el Majui
994586.56	1033552.31	EH-16	Incendio forestal	2017	Vereda Chince - Juaiica

Coordenada X	Coordenada Y	Código	Tipo de evento	Fecha	Localización
990534.4436	1017106.805	EH-1	INUNDACIÓN	2011	JACALITO EN CERCANÍAS A SIBERIA
995553.965	1033392.216	EH-3	AVENIDA TORRENCIAL	2011	CERRO DE JUAICA
-	-	EH-5	INUNDACIÓN	-	QUEBRADA TIGUACE - SECTOR URBANO - EXPANSIÓN URBANA ALFONSO MORENO
994855.769	1033692.977	EH-6	INCENDIO FORESTAL	-	CERRO DE JUAICA
992195.456	1032036.529	EH-8	INCENDIO FORESTAL	2012	VEREDA CHINCE Y SE EXTENDIÓ A CHURUGUACOA ALTO
990544.335	1031262.055	EH-9	INCENDIO FORESTAL	2010	CHITASUGA PARTE ALTA
997394.9023	1027512.071	EH-10	INCENDIO FORESTAL	2017-2018-2019	CERRO EL MAJUI
992914.8112	1030933.254	EH - 11	INUNDACIÓN	2019	SECTOR CEMENTERIO URBANIZACIÓN JUAICA
997132.052	1033142.207	EH-13	INUNDACIÓN	-	RÍO CHICU DESDE TABIO
-	-	EH-14	INUNDACIÓN	2010 - 2011	QUEBRADA GARAY
992618.259	1031110.277	EH-15	AVENIDA TORRENCIAL	2012	VEREDA CHINCE Y SE EXTENDIÓ A CHURUGUACOA ALTO
994586.556	1033552.315	EH-16	INCENDIO FORESTAL	2012 - 2016 - 2017	VEREDA CHINCE - JUAICA
996138.0671	1033058.286	EH-17	INUNDACIÓN	2017	JUAICA - QUEBRADA DE JUAICA
984813.78	1021824.531	EH-18	AVENIDA TORRENCIAL	2021	
991214.3926	1021187.441	EH-19	INUNDACIÓN	DESDE HACE 26 AÑOS	LIMITES CON SIBERIA
985520.8519	1021918.126	EH-20	VENDABAL	2018	LA PUNTA
985676.9977	1022152.438	EH-21	SEQUIAS	2017	LA PUNTA

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

2.3.3 Verificación en campo y fotointerpretación

La información de eventos históricos de fuentes secundarias fue verificada y complementada mediante jornadas de campo y fotointerpretación de imágenes satelitales. Este paso fue fundamental para la actualización de los eventos históricos del municipio y su posterior empleo en el modelamiento de las amenazas. A partir de ello, se identificaron 27 eventos puntuales de deslizamientos, los cuales no estaban reportados por otras fuentes. Dichos procesos morfodinámicos fueron empleados en la zonificación de la amenaza por movimientos en masa rural y urbana de acuerdo con su localización.

Tabla 4 Procesos morfodinámicos identificados mediante fotointerpretación y jornadas de campo

Tipo de movimiento en masa	Área (ha)	Estado	X	Y
Deslizamiento	0.110409	Activo	991867.712	1030687.3
Deslizamiento	0.116266	Activo	991923.886	1030653.46
Flujo	0.761365	Activo	992618.825	1032349.79
Flujo	1.575344	Activo	992605.854	1032144.08
Flujo	0.58863	Activo	992629.285	1031925.2
Flujo	0.642025	Activo	992715.754	1031835.63
Flujo	0.197899	Activo	992752.662	1031666.54
Flujo	0.188984	Activo	991546.988	1031232.33
Flujo	0.205763	Activo	992702.568	1031129.33
Flujo	0.266294	Activo	993915.56	1032390.28
Flujo	0.159266	Activo	994321.855	1033825.06
Flujo	0.075805	Activo	991648.785	1031354.83
Flujo	0.064426	Activo	990222.603	1030481.15
Flujo	0.035072	Activo	990281.495	1030558.5
Flujo	0.095499	Activo	990210.583	1030705.15
Flujo	0.033093	Activo	990808.189	1030280.33
Flujo	0.048176	Activo	991305.294	1031521.25
Flujo	0.010432	Activo	993160.666	1032799.28
Flujo	0.014416	Activo	993163.067	1032897
Flujo	0.070914	Activo	994973.537	1033710.93
Flujo	0.016028	Activo	993552.1	1033649.64
Flujo	0.052489	Activo	993593.385	1033585.73
Flujo	0.009049	Activo	993581.521	1033579.41
Flujo	0.039713	Activo	995391.986	1033682.5
Flujo	0.018627	Activo	993132.363	1032671.68
Flujo	0.163906	Activo	993621.755	1032028.82
Flujo	0.239776	Activo	994111.627	1032990.23

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

2.4 Insumos para la identificación de amenazas

Para la identificación de amenazas en el municipio de Tenjo (Cundinamarca), se revisó la siguiente información:

- Mapa Nacional de susceptibilidad por movimientos en masa integrado, escala 1:100.000 (2015)
- Mapa Nacional de amenaza relativa por movimientos en masa integrado, escala 1:100.000
- Mapa de Amenaza por Sismicidad. Escala 1:500.000, SGC, 2015.
- Evaluación, análisis y seguimiento a las afectaciones por Inundaciones asociadas al fenómeno de la Niña 2010 – 2011. IDEAM.
- Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal - Escala 1:100.000 Bogotá, D. C., IDEAM, 2011
- Zonificación de la degradación de suelos por erosión, área continental de Colombia, escala 1:100.000, Base 2010-2011
- Inventarios de campo propios del estudio básico de gestión del riesgo.
- Actualización del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Bogotá, CAR, 2019.
- EOT Municipio y Modificaciones realizadas, 2014 y 2018.
- Plan municipal de Gestión del Riesgo y Desastres 2019.
- Información de eventos amenazantes páginas web. Observatorio CAR

A partir de dicha información se establece que en el municipio se presentan las amenazas de origen natural de sismicidad, movimientos en masa, inundaciones, avenidas torrenciales y, otras amenazas, adicionales a las indicadas por los decretos normativos vigentes, cómo las amenazas antrópicas. En el desarrollo de cada amenaza se analizarán en detalle cada uno de los estudios consultados. En la siguiente tabla se muestran las amenazas de origen natural y antrópico a evaluar, las cuales partirán de la información obtenida de fuentes oficiales y que fue articulado con la realidad del municipio de Tenjo y su ordenamiento territorial.

Tabla 5 Amenazas identificadas en el municipio de Tenjo

Amenaza de origen	Tipo
Natural	Movimientos en masa
	Inundaciones
	Avenidas torrenciales
Socio-natural	Encharcamiento
	Incendios forestales
Antrópico	Por localización de infraestructura industrial, de servicios y equipamientos

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

A continuación, se desarrollará cada una de las amenazas anteriormente identificadas, haciendo un análisis de la información consultada respecto a su pertinencia y la articulación de estos insumos con las realidades presentes y encontradas en el municipio.

3 ARMONIZACIÓN E INCORPORACIÓN DE LA GESTIÓN DEL RIESGO DE DESASTRES DE LA ACTUALIZACIÓN DEL PLAN DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO BOGOTÁ Y LA MODIFICACIÓN DEL ORDENAMIENTO TERRITORIAL DEL MUNICIPIO DE TENJO

Para la incorporación de la gestión del riesgo en el municipio de Tenjo se consultó y empleó la información contenida en la Actualización del Plan y Ordenación de Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Bogotá (CAR, 2019) para la zonificación de las amenazas rurales por movimientos en masa, inundaciones, e incendios forestales a escala 1:25.000. Lo anterior teniendo en cuenta que fueron modeladas y cumplen con los parámetros mínimos de análisis de los lineamientos establecidos en el Decreto 1077 de 2015, en el cual se menciona que: Si al momento de revisión de los planes de ordenamiento se cuenta con un Plan de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas aprobado y el mismo incluye los análisis de amenazas, estos sirven de insumo para la elaboración de los estudios básicos en suelo rural.

El artículo 8 de la Resolución 957 de 2019, establece que una vez adoptado el POMCA, los municipios dentro de la cuenca hidrográfica, y dentro de los siguientes doce (12) meses, deberán modificar y actualizar los Planes de Ordenamiento Territorial Municipal, para la armonización de los resultados. Así mismo, esta modificación se da en el marco del cumplimiento de lo ordenado en la Sentencia del Consejo de Estado dentro del proceso con radicación 2001-90479-01 de marzo de 2014.

Teniendo en cuenta LO anterior se tomaron como punto de partida las zonificaciones de la amenaza por inundaciones, avenidas torrenciales e incendios forestales, consignadas en el Plan y Ordenación de Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Bogotá (CAR, 2019) para la incorporación y análisis en el suelo rural de Tenjo a escala 1:25.000, por lo tanto, este estudio realizó un análisis de la armonización de los resultados del POMCA respecto a la gestión del riesgo. Sin embargo, es necesario tener en cuenta los siguientes aspectos, que estarán descritos en cada capítulo de análisis de amenazas desarrollado:

Para la zonificación de la amenaza por movimientos en masa se realizó de nuevo el modelamiento, considerando la metodología establecida por el Servicio Geológico Colombiano (2017) para estudios de movimientos en masa a escala 1:25.000; la actualización de los procesos morfodinámicos tipo deslizamiento, flujos y reptaciones identificados en campo y la fotointerpretación; así como la actualización de la cobertura de la tierra, así como otros factores.

La zonificación de amenazas por incendios forestales se modificó frente a los establecido en el POMCA, 2019; acorde con la metodología propuesta por la CAR en el año 2018.

Finalmente, la zonificación de inundaciones se actualizó, teniendo en cuenta un mayor detalle en la definición de geformas en el municipio y la actualización de eventos históricos, lo cual permitió lograr un modelo más detallado para el municipio.

4 ANÁLISIS DE AMENAZAS PARA EL MUNICIPIO DE TENJO (CUNDINAMARCA)

Las unidades de análisis para determinar las amenazas en el municipio de Tenjo se tomaron teniendo en cuenta las escalas exigidas por el Decreto 1077 de 2015 y corresponden a las escala 1:25.000 para el suelo rural para las amenazas de movimientos en masa, inundaciones e incendios forestales; la escala 1:5.000 para el suelo urbano, de expansión urbana y centros poblados para las amenazas de movimientos en masa e

inundaciones y la escala 1:2.000 para los cauces con comportamiento torrencial para determinar la amenaza por avenidas torrenciales.

La priorización para la elaboración de los estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo a escala detallada será para las áreas catalogadas con condición de amenaza y riesgo por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales para el suelo rural, urbano, expansión y centros poblados. A continuación, una vez es categorizada la amenaza para cada uno de los fenómenos naturales se presentan las áreas con esta condición, las cuales deben ser priorizadas por parte de la administración municipal de Tenjo para sus respectivos estudios detallados, en los cuales se determine el nivel del riesgo y mitigabilidad del mismo.

4.1 Estudio básico de la amenaza por movimientos en masa en suelo rural

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

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

4.1.1 Zonificación de la amenaza por movimientos en masa del POMCA Río Bogotá

Los análisis de los contenidos del POMCA del Río Bogotá para el componente de gestión del riesgo incluyen la zonificación de susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa a escala 1:25.000.

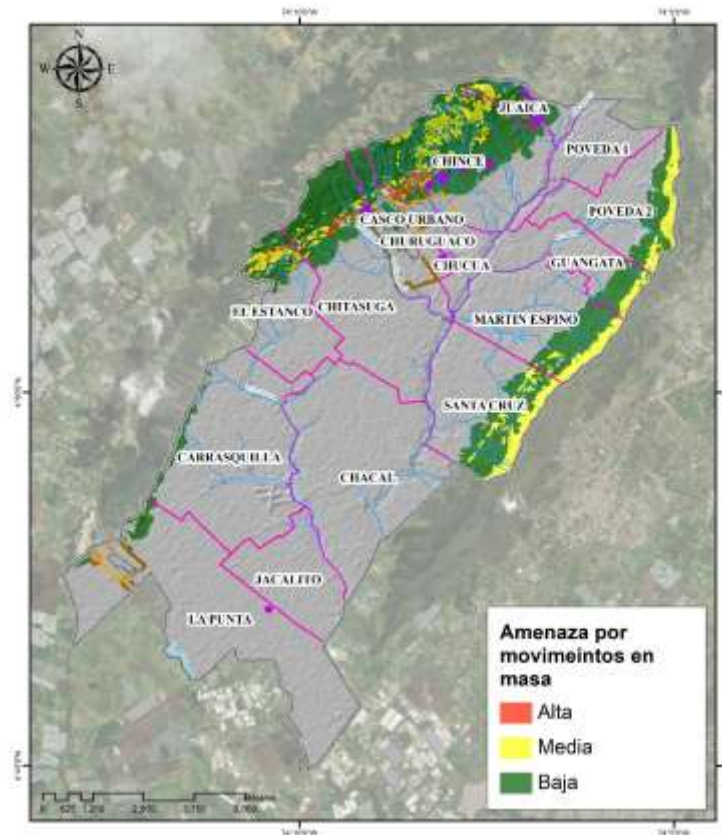
A continuación, se presenta la zonificación de la amenaza por movimientos en masa para el suelo rural del municipio de Tenjo.

Tabla 6 Distribución en área y porcentual de la zonificación de la amenaza por movimientos en masa del POMCA río Bogotá para el municipio de Tenjo

Amenaza	Alta		Media		Baja		Total zonificación Área (ha) y Porcentaje (%) Municipio de Tenjo	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Movimientos en masa	39,15	0,34	551,60	4,85	1864,10	16,38	2454,86	21,57
Total área municipio de Tenjo: 11378,74 ha								

Fuente: (CAR, 2019)

Gráfica 5 Zonificación de la amenaza por movimientos en masa del POMCA río Bogotá para el municipio de Tenjo



Fuente (CAR, 2019)

4.1.2 Metodología

4.1.2.1 Factor de Seguridad (Fs).

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

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

Este método es un sistema para calcular el factor de seguridad de un talud, suponiendo un talud infinitamente extenso con una capa delgada de suelo, en el cual, cualquier tamaño de columna de suelo es representativo

de todo el talud. Este asume que el suelo es isotrópico y homogéneo, el talud es infinitamente largo y la superficie de falla es paralela al talud.

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

$$FS = \frac{(c' \sec \alpha + (ybh \cos \alpha - kybh \sin \alpha - y_w h_w \cos^2 \alpha) \tan \phi')}{ybh \sin \alpha + kybh \cos \alpha}$$

Donde:

c' = intercepto de cohesión

ϕ' = ángulo de fricción

y = peso unitario de la capa de suelo

α = inclinación del terreno (superficie de falla)

k = coeficiente de aceleración horizontal

h = espesor de la capa de suelo

h_w = altura de la lámina de agua

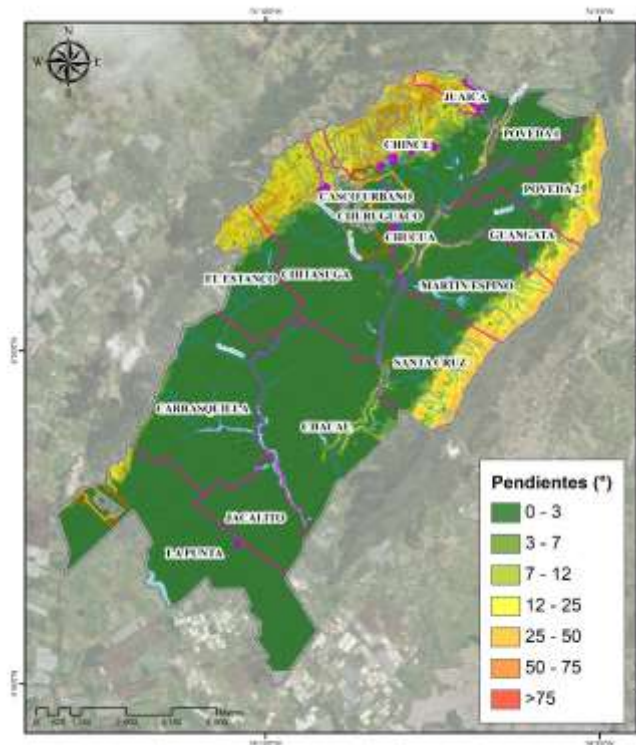
y_w = peso unitario del agua

4.1.2.2 Insumos

4.1.2.2.1 Pendientes

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

Gráfica 6 Pendientes para el municipio de Tenjo



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.1.2.2.2 Inventario de Procesos Morfodinámicos en suelo rural

El inventario de procesos morfodinámicos es una herramienta que permite identificar en el área de estudio aquellas áreas que por sus características físicas y por procesos erosivos presentan un alto grado de susceptibilidad a presentar movimientos en masa. A continuación, se presenta el inventario de eventos morfodinámicos compilado para el municipio de Tenjo, a partir de la información levantada en campo, los eventos señalados por los actores claves del municipio de Tenjo, la Administración municipal, los integrantes del Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo (CMGRD), la comunidad en general, el POMCA del río Bogotá, los procesos fotointerpretación realizada para este estudio y la información de eventos históricos suministrada por la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR.

Tabla 7 Inventario (tipo punto) de procesos morfodinámicos para el municipio de Tenjo

X	Y	CODIGO	TIPO DE EVENTO	FECHA	LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	DETONANTES	DAÑOS Y/O AFECTACIONES
994946.34	1033312.03	EH-2	Deslizamiento	2013	CHINCE - JUAICA	Precipitaciones	Viviendas
992752.93	1031116.69	EH-4	Deslizamiento	2011	SECTOR CEMENTERIO	Precipitaciones	Viviendas y vías
992897.07	1031143.59	EH-12 Y ALCALDIA TENJO	Deslizamiento	2011	CHINCE LA PAVERA	Taponamiento del cauce	Vías y construcciones futuras
991927	1030635	CAR-01	Deslizamiento	2017	Casajal	-	-

X	Y	CODIGO	TIPO DE EVENTO	FECHA	LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	DETONANTES	DAÑOS Y/O AFECTACIONES
992812	1031034	CAR-02	Deslizamiento	2016	Chince - Churuguaco Alto	-	-
992812	1031034	CAR-03	Deslizamiento	2017	Chince - Churuguaco Alto	-	-
992824	1031039	CAR-04	Deslizamiento	2013	El Cementerio	-	-
992824	1031039	CAR-05	Deslizamiento	2019	El Cementerio	-	-
998700	1029451	CAR-06	Deslizamiento	2019	LA ARBOLEDA	-	-
992625	1031078	CAR-07	Deslizamiento	2016	Marco Tulio Cortes	-	-
993778	1029685	CAR-08	Deslizamiento	2017	Olga Zoque	-	-
1008677	1047345	CAR-09	Deslizamiento	2016	Sandra Teresa Yazo	-	-
992812	1031034	CAR-10	Deslizamiento	2020	Chince - Churuguaco Alto	-	-
992824	1031039	CAR-11	Deslizamiento	2020	El Cementerio	-	-
993265	1031327	CAR-12	Deslizamiento	2020	Edelmira Campos	-	-
994762	1032084	CAR-13	Deslizamiento	2020	María Ofelia	-	-
993537	1031582	CAR-14	Deslizamiento	2021	predio Villa Nueva	-	-
992606.21	1030431.21	POMCA-01	Deslizamiento	2015	Tenjo	-	-
992824	1031039	POMCA-02	Deslizamiento	2015	Churuguaco	-	-
992274.39	1030982.01	IDU-UNAL-01	Deslizamiento	2021	-	-	-
991863.97	1030693.04	IDU-UNAL-02	Deslizamiento	2021	-	-	-

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

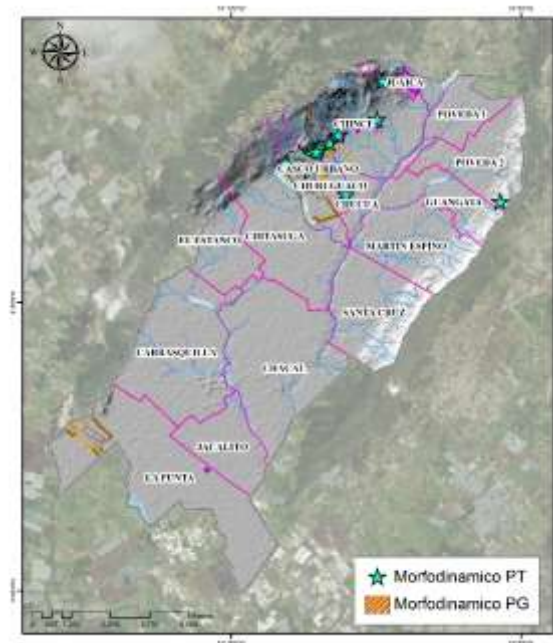
Tabla 8 Inventario (tipo polígono) de procesos morfodinámicos para el municipio de Tenjo

Tipo de movimiento en masa	Área (ha)	Estado	X	Y
Deslizamiento	0.110409	Activo	991867.712	1030687.3
Deslizamiento	0.116266	Activo	991923.886	1030653.46
Flujo	0.761365	Activo	992618.825	1032349.79
Flujo	1.575344	Activo	992605.854	1032144.08
Flujo	0.58863	Activo	992629.285	1031925.2
Flujo	0.642025	Activo	992715.754	1031835.63
Flujo	0.197899	Activo	992752.662	1031666.54
Flujo	0.188984	Activo	991546.988	1031232.33
Flujo	0.205763	Activo	992702.568	1031129.33
Flujo	0.266294	Activo	993915.56	1032390.28
Flujo	0.159266	Activo	994321.855	1033825.06
Flujo	0.075805	Activo	991648.785	1031354.83
Flujo	0.064426	Activo	990222.603	1030481.15
Flujo	0.035072	Activo	990281.495	1030558.5
Flujo	0.095499	Activo	990210.583	1030705.15
Flujo	0.033093	Activo	990808.189	1030280.33
Flujo	0.048176	Activo	991305.294	1031521.25
Flujo	0.010432	Activo	993160.666	1032799.28
Flujo	0.014416	Activo	993163.067	1032897
Flujo	0.070914	Activo	994973.537	1033710.93

Tipo de movimiento en masa	Área (ha)	Estado	X	Y
Flujo	0.016028	Activo	993552.1	1033649.64
Flujo	0.052489	Activo	993593.385	1033585.73
Flujo	0.009049	Activo	993581.521	1033579.41
Flujo	0.039713	Activo	995391.986	1033682.5
Flujo	0.018627	Activo	993132.363	1032671.68
Flujo	0.163906	Activo	993621.755	1032028.82
Flujo	0.239776	Activo	994111.627	1032990.23

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 7 Inventario de Procesos morfodinámicos



PT: Punto y PG polígono.

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.1.2.2.3 Geología

En el suelo rural del municipio de Tenjo se identificaron un total de siete (7) unidades geológicas. A continuación, se presenta su distribución en área y espacial en el área de estudio.

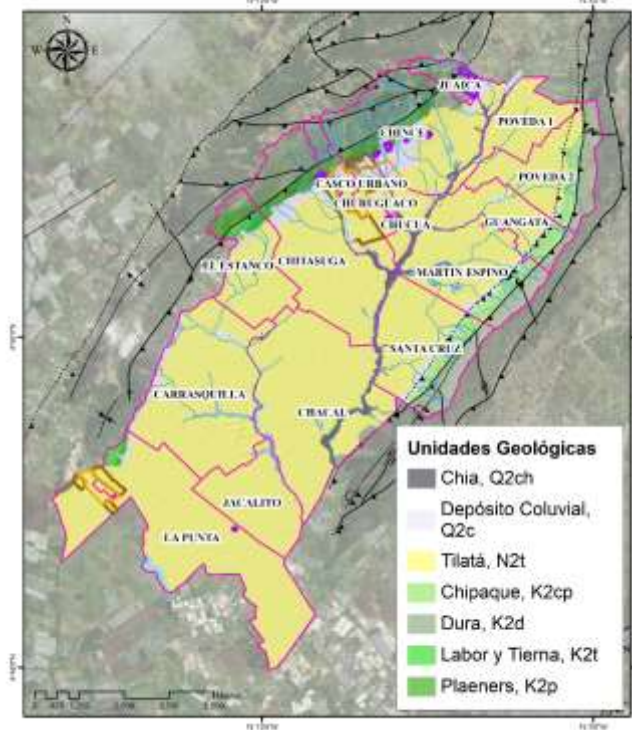
Tabla 9 Unidades geológicas presentes en el municipio de Tenjo

Formación Geológica	Nomenclatura	Área (ha)
Chía	Q2ch	207.26
Chipaque	K2cp	334.24
Depósito Coluvial	Q2c	459.97
Dura	K2d	1339.47
Labor y Tierna	K2t	110.49

Plaeners	K2p	271.85
Tilatá	N2t	8655.46

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 8 Unidades geológicas presentes en el municipio de Tenjo



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.1.2.2.4 Geomorfología

En el suelo rural del municipio de Tenjo se identificaron un total de 21 subunidades geomorfológicas en los ambientes antrópico, denudacional, fluvial y lagunar y estructural a continuación. A continuación se presenta su distribución en área y espacial en el área de estudio.

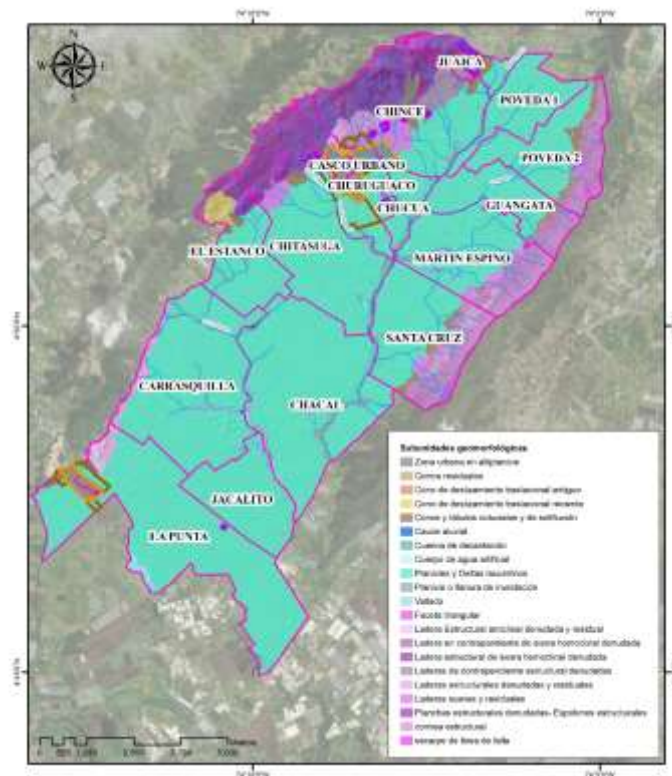
Tabla 10 Subunidades geomorfológicas para el municipio de Tenjo

Subunidad Geomorfológica	Ambiente	Área (ha)
Zona urbana en altiplanicie	Antrópico	200.09
Vallado	Antrópico	58.11
Cono de deslizamiento traslacional antiguo	Denudacional	0.43
Cono de deslizamiento traslacional reciente	Denudacional	57.98
Laderas suaves y residuales	Denudacional	177.97
Cerros residuales	Denudacional	1.33
Conos y lóbulos coluviales y de soliflucción	Denudacional	266.20

Subunidad Geomorfológica	Ambiente	Área (ha)
Laderas de contrapendiente estructural denudadas	Estructural	130.63
Planchas estructurales denudadas- Espolones estructurales	Estructural	104.09
Faceta triangular	Estructural	9.78
Escarpe de línea de falla	Estructural	23.87
Ladera Estructural anticlinal denudada y residual	Estructural	37.64
Ladera en contrapendiente de sierra homoclinal denudada	Estructural	657.39
Ladera estructural de sierra homoclinal denudada	Estructural	806.00
Laderas estructurales denudadas y residuales	Estructural	171.68
cornisa estructural	Estructural	61.09
Planicie o llanura de inundación	Fluvial y lagunar	287.86
Planicies y Deltas lacustrinos	Fluvial y lagunar	8200.41
Cuerpo de agua artificial	Fluvial y lagunar	0.74
Cauce aluvial	Fluvial y lagunar	13.69
Cuenca de decantación	Fluvial y lagunar	111.76

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 9 Subunidades geomorfológicas presentes en el municipio de Tenjo



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.1.2.2.5 Unidades Geológicas Superficiales - Espesor del Suelo y Parámetros Geotécnicos

Tomando como referencia las unidades geológicas y subunidades geomorfológicas, se realizó la determinación de unidades geológicas superficiales para el suelo rural, que junto con la disponibilidad de información secundaria, permitieron definir los puntos más convenientes para la elaboración de apiques. Del mismo modo, se obtuvo el rango de espesor de cada unidad de suelo, pues de acuerdo con el método del talud infinito, se asume que la ocurrencia de una falla se materializa en función del espesor total del suelo.

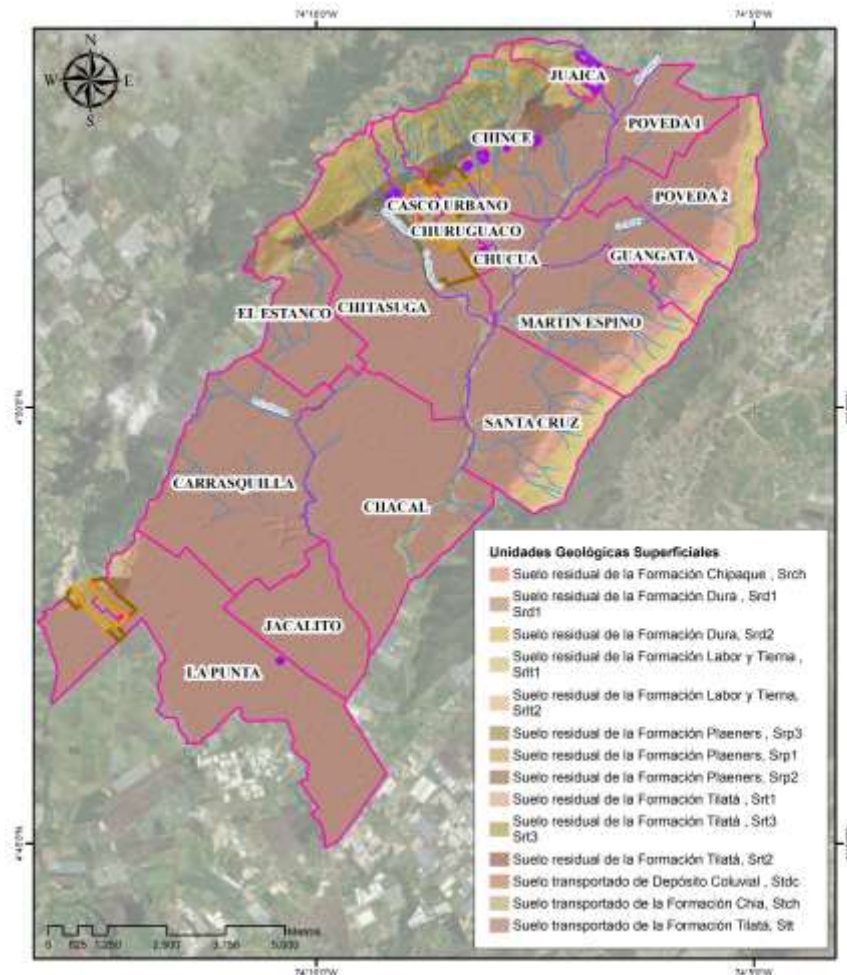
Para el desarrollo del estudio básico de amenaza por movimientos en masa en suelo rural, se realizaron 50 apiques para determinar algunas propiedades geomecánicas de los suelos. Mediante ensayos de corte directo, se obtuvieron criterios y respuestas de los suelos frente a los esfuerzos como el ángulo de fricción, la cohesión y el peso unitario. Dichos parámetros se incorporaron al modelo de factor de seguridad, para calcular la estabilidad del talud. La variación de estos parámetros condiciona la capacidad de desprendimiento y falta de adhesión interna de los suelos.

Tabla 11 Unidades geológicas Superficiales en el suelo rural del municipio de Tenjo

Unidad Geológica Superficial	Código	Densidad (g/cm ³)	Cohesión (Kg/cm ²)	Fricción (°)	Profundidad (m)	Área (ha)
Suelo residual de la Formación Chipaque	Srch	1520	0.58	29	1.23	334.24
Suelo residual de la Formación Dura	Srd1	1640	0.37	30	0.9	70.38
Suelo residual de la Formación Dura	Srd2	1533	0.42	24	1.04	1269.09
Suelo residual de la Formación Labor y Tierna	Srlt1	1358	0.44	27	1.206	36.96
Suelo residual de la Formación Labor y Tierna	Srlt2	1270	0.37	29	1.14	73.53
Suelo residual de la Formación Plaeners	Srp1	1391	0.50	30	1.17	69.32
Suelo residual de la Formación Plaeners	Srp2	1503	0.37	31	1.18	201.96
Suelo residual de la Formación Plaeners	Srp3	1479	0.44	26	1.25	0.58
Suelo residual de la Formación Tilatá	Srt1	883	0.29	24	1.43	22.12
Suelo residual de la Formación Tilatá	Srt2	1459	0.55	31	1.18	76.20
Suelo residual de la Formación Tilatá	Srt3	956	0.24	32	1.16	133.37
Suelo transportado de la Formación Chía	Stch	842	0.51	25	1.3	207.26
Suelo transportado de Depósito Coluvial	Stdc	1202	0.29	29	1.8	459.97
Suelo transportado de la Formación Tilatá	Stt	1015	0.39	28	1.2	8423.77

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 10 Unidades Geológicas Superficiales en el suelo rural del municipio de Tenjo



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.1.2.3 Detonantes de la amenaza por movimientos en masa en el suelo rural

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

4.1.2.3.1 Profundidad de la tabla de agua

Para el detonante de las lluvias, se debe tener en cuenta la profundidad de la tabla de agua y su incidencia en el desprendimiento de la masa deslizante. Para el caso de estudio se evaluaron los escenarios más críticos en cuanto a saturación de agua en las unidades de suelo, a partir de la evaluación de las características propias de cada unidad edafológica y la estimación cualitativa de la retención de agua para diferentes periodos de retorno de lluvia. Para el presente estudio el periodo de retorno a evaluar fue de 20 años, tal

como lo indica la Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (SGC, 2015).

De acuerdo con la metodología propuesta por el Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2015), se puede determinar el nivel de la tabla de agua a partir del número de curva (CN) que a su vez depende del tipo de cobertura.

A su vez, el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de Estados Unidos establece una metodología para la estimación del denominado número de curva (CN, por su sigla en inglés), del método lluvia- escurrentía, el cual se incorporó a este estudio, para estimar el aporte de la lluvia en términos de nivel freático, lámina o altura de agua, al considerar la lluvia como un detonante de movimientos en masa. Para tal fin se ha tenido en cuenta el efecto del componente de las abstracciones.

El cálculo de la tabla de agua se establece de acuerdo con los mapas de cobertura y uso del terreno, que se elaboraron con la metodología Corine Land Cover, adaptada para Colombia por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM I. d., (2010)).

El valor de CN depende de la cobertura y uso del terreno, al igual que de la clasificación hidrológica del suelo superficial (A, B, C y D), la cual tiene en cuenta la textura, espesor y origen de los suelos.

El Departamento Agrícola de Estados Unidos (2005) determinó cuatro grupos a partir de sus propiedades hidrológicas. Los suelos hidrológicos se clasifican de acuerdo con los cálculos de su potencial de escurrentía definido por el índice de infiltración; dicho índice varía cuando el suelo no está protegido por vegetación, está completamente húmedo o recibe precipitaciones de tormentas de larga duración.

Los suelos hidrológicos se dividen en cuatro grupos (A, B, C y D) divididos de la siguiente manera (U.S Department of Agriculture, 2005):

- Grupo A: suelos que tienen un alto índice de infiltración (bajo potencial de escurrentía) cuando están completamente húmedos. Están formados principalmente por arenas profundas, bien drenadas o excesivamente drenadas, o arenas de textura gruesa. Estos suelos presentan una tasa elevada de transmisión de agua.
- Grupo B: suelos que tienen un índice de infiltración moderado cuando están completamente húmedos. Son principalmente suelos moderadamente profundos o profundos, moderadamente bien drenados o bien drenados con una textura de moderadamente fina a moderadamente gruesa. Estos suelos tienen una tasa moderada de transmisión de agua.
- Grupo C: suelos que tienen un índice de infiltración lento cuando están completamente húmedos. Son principalmente suelos con una capa que impide el movimiento descendente del agua o suelos de textura moderadamente fina o fina. Estos suelos tienen una tasa de transmisión de agua lenta.
- Grupo D: suelos que tienen un índice de infiltración muy lento (alto potencial de escurrentía) cuando están completamente húmedos. Se trata fundamentalmente de arcillas con alta capacidad para expandirse y contraerse, suelos con un elevado nivel freático, suelos que presentan una capa de arcilla o claypan en la superficie o cerca de la superficie, y suelos poco profundos sobre material casi impermeable. Estos suelos tienen una tasa de transmisión de agua muy lenta.

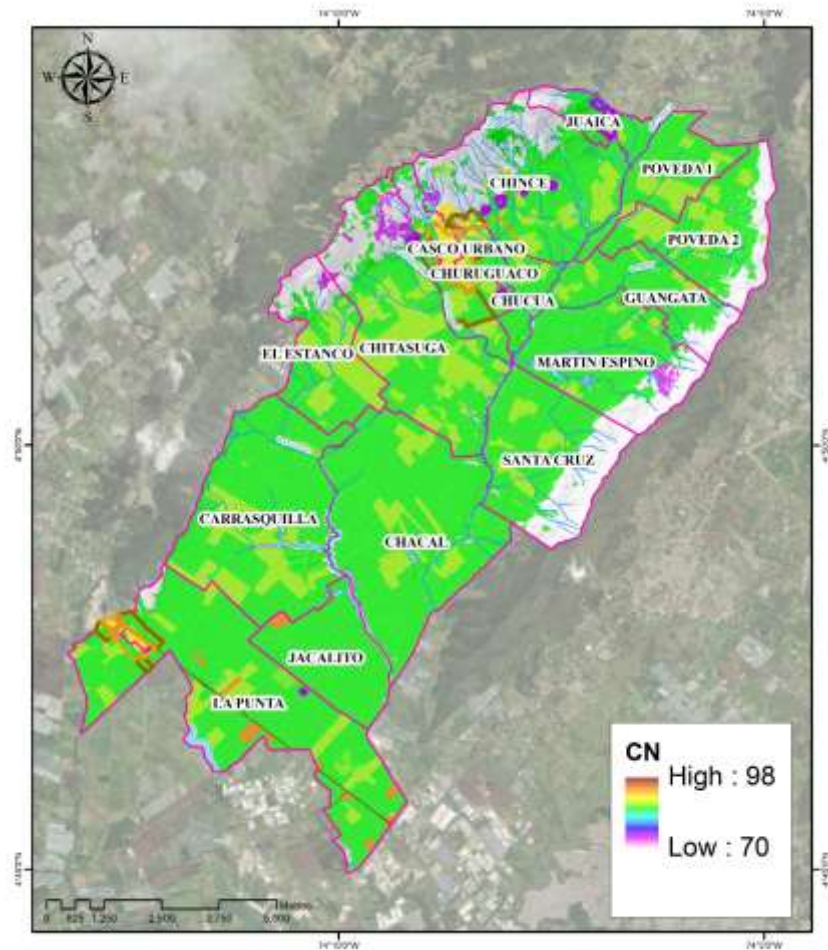
Para obtener el valor de CN es necesario tomar como referencia el valor que indica la tabla propuesta por Chow (1994) donde se establece un valor de CN a partir de la cobertura y el grupo de suelo hidrológico.

Tabla 12 CN aparte de las coberturas y el suelo hidrológico

USO DEL SUELO		GRUPO HIDROLÓGICO DE SUELO			
		A	B	C	D
Tierra cultivada	Sin tratamiento de conservación	72	81	88	91
	Con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales	Condiciones pobres	68	79	86	89
	Condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos		30	58	71	78
Bosques	Troncos delgados, cubierta pobre sin hierbas	45	66	77	83
	Cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, etc.	Óptimas condiciones: cubierta en pasto (75% o más)	39	61	74	80
	Condiciones aceptables: cubierta en pasto (50-75%)	49	69	79	84
Áreas de negocios comerciales de negocios (85% impermeables)		89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)		81	88	91	93
Residencial	1/8 de acre 68	77	85	90	92
	1/4 de acre 38	61	75	83	87
	1/3 de acre 30	57	72	81	86
	1/2 de acre 25	54	70	80	85
	1 acre de 20	51	68	79	84
Parqueadero, pavimentado, techos, accesos, etc.		98	98	98	98
Calles y carretera	Pavimentados con cuentas y alcantarillados	98	98	98	98
	Grava	76	85	89	97
	Tierra	72	82	87	89

Fuente: (Chow, 1994)

Gráfica 11 Número de Curva (C) para el municipio de Tenjo



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

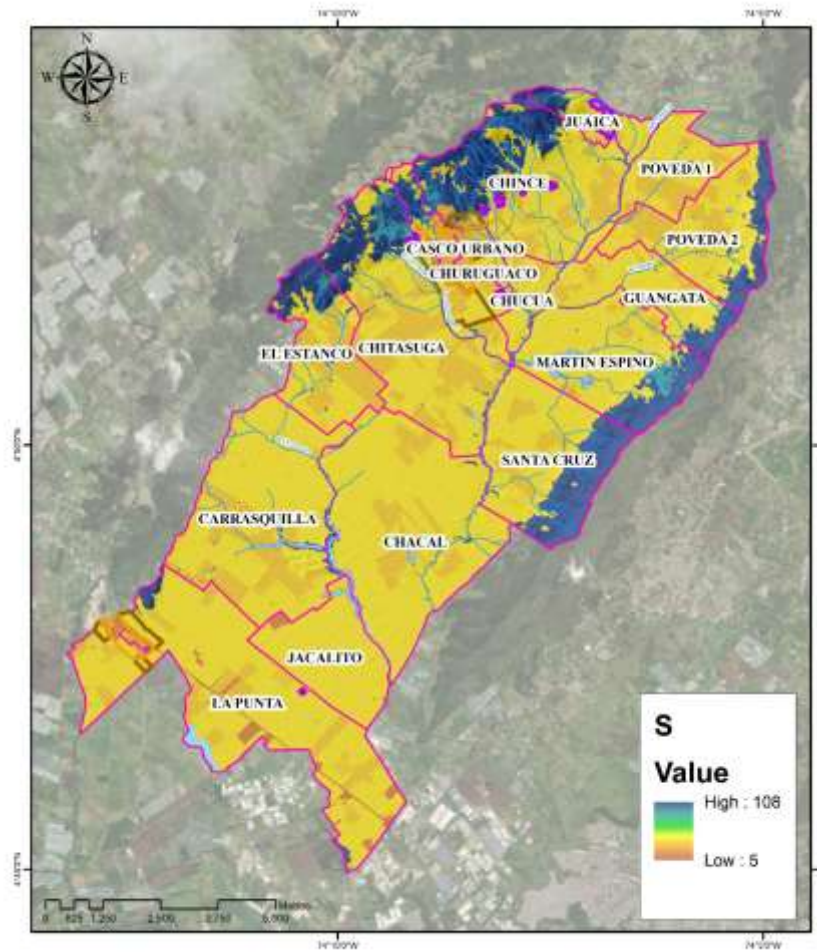
Con los valores del número de curva se procede a determinar la retención potencial máxima S así:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Donde

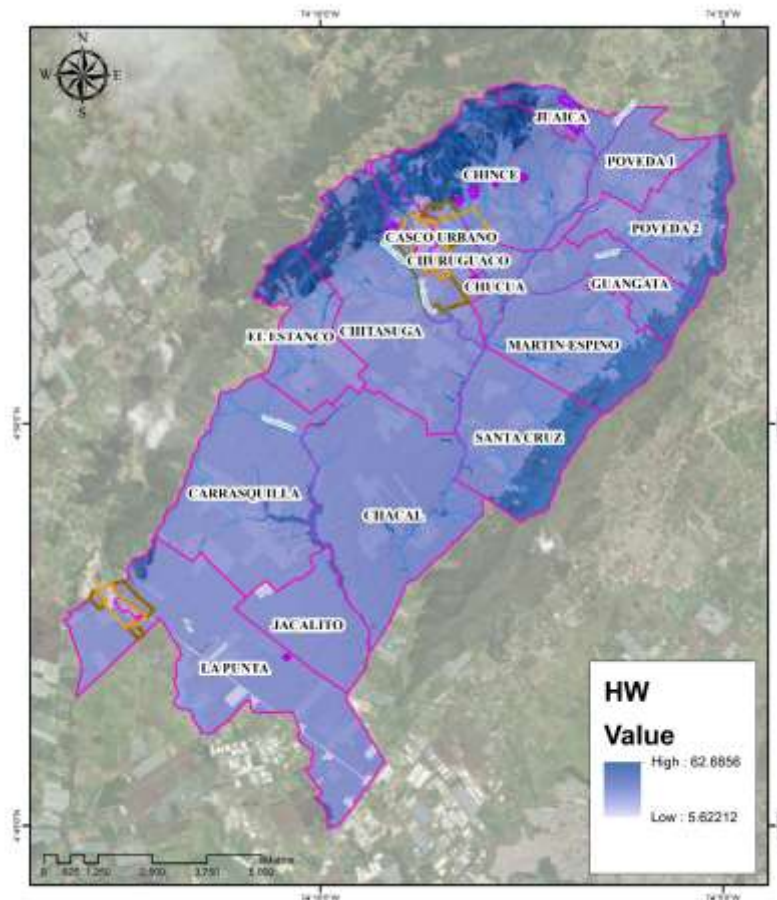
S está en milímetros y CN corresponde al número de curva

Gráfica 12 Retención Potencial máxima (S) para el municipio de Tenjo



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 13 Profundidad de la tabla de agua (HW)



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

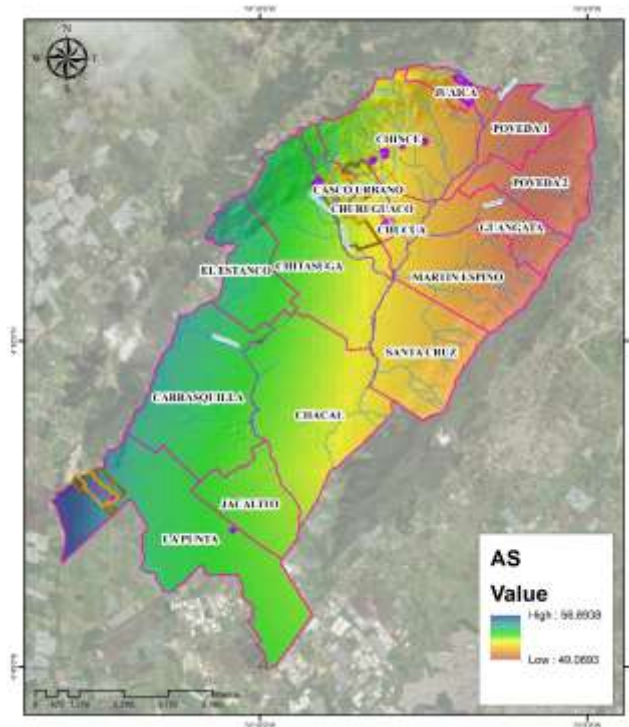
4.1.2.3.2 Aceleración sísmica

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

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

El coeficiente de aceleración sísmica fue generado a partir del mapa de amplificación sísmica de Colombia y corroborada con los coeficientes de amplificación sísmica publicados por la Asociación Ingeniería Sísmica en el 2009 en el documento metodológico del Servicio Geológico.

Gráfica 14 Aceleración sísmica en el municipio de Tenjo



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.1.3 Zonificación de la amenaza por movimientos en masa en suelo rural

Una vez recopilada la totalidad de insumos anteriormente mencionados, se utilizó la herramienta SIG para generar el cálculo del factor de seguridad para cada una de las celdas establecidas en el área de trabajo.

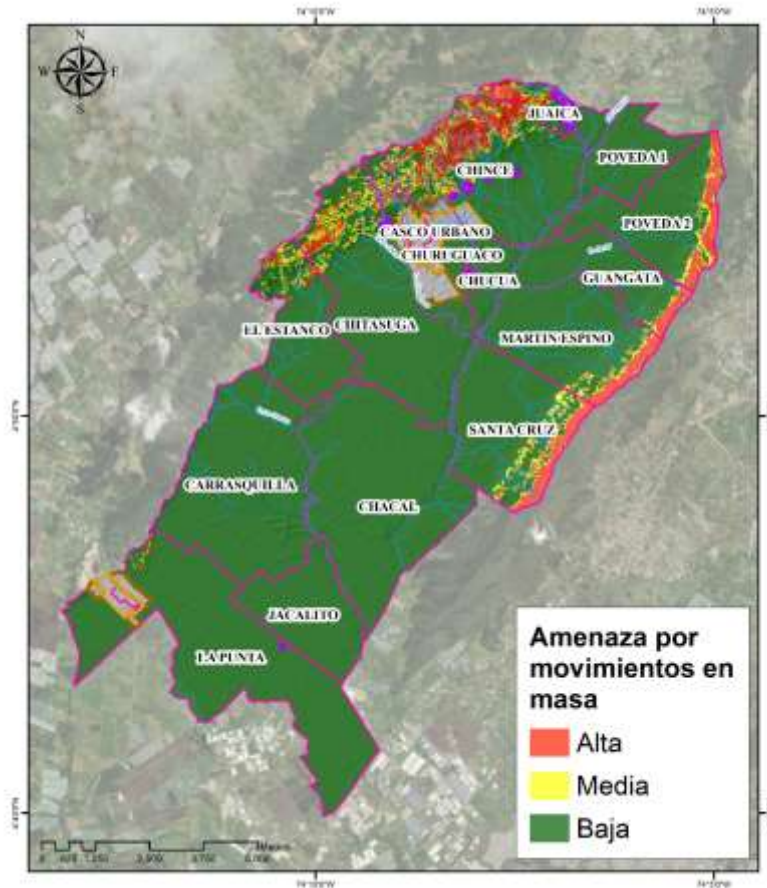
Los rangos de factor de seguridad fueron agrupados en tres (3) categorías diferentes en función del grado de amenaza, tal como se observa en la siguiente tabla.

Tabla 13 Grados de estabilidad según los resultados del factor de seguridad

RANGO FACTOR DE SEGURIDAD	CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA	CALIFICACIÓN
>1.5	Baja	1
1.1 – 1.5	Media	2
<1.1	Alta	3

Fuente: (SGC, 2015)

Gráfica 15 Amenaza por movimientos en masa para el suelo rural del municipio de Tenjo



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Tabla 14 Categorización de la amenaza por movimientos en masa en el suelo rural del municipio de Tenjo

RANGO FACTOR DE SEGURIDAD	CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA	Área (ha) Suelo rural	(%) Suelo rural
>1.5	Baja	9979.14	90.88
1.1 – 1.5	Media	588.65	5.36
<1.1	Alta	413.17	3.76
TOTAL		10980.97	100.00

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Tabla 15 Distribución en área y porcentual de la amenaza por movimientos en masa para cada una de las veredas del municipio de Tenjo

Vereda	Alta		Media		Baja		Total	
	Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)
CARRASQUILLA	0.00	0.00	0.00	0.00	1234.76	100.00	1234.76	11.24

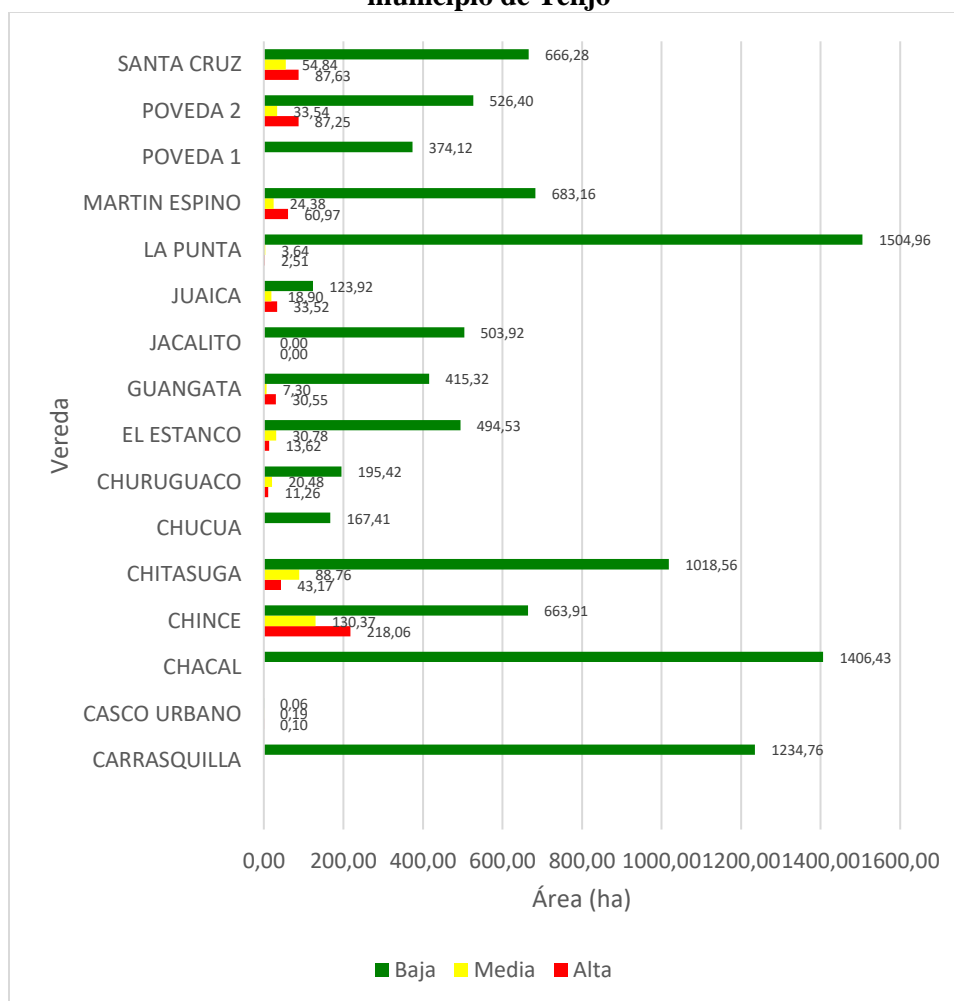
Vereda	Alta		Media		Baja		Total	
	Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)
CASCO URBANO	0.10	28.38	0.19	55.47	0.06	16.15	0.35	0.00
CHACAL	0.00	0.00	0.00	0.00	1406.43	100.00	1406.43	12.81
CHINCE	218.06	21.54	130.37	12.88	663.91	65.58	1012.33	9.22
CHITASUGA	43.17	3.75	88.76	7.71	1018.56	88.53	1150.49	10.48
CHUCUA	0.00	0.00	0.00	0.00	167.41	100.00	167.41	1.52
CHURUGUACO	11.26	4.96	20.48	9.02	195.42	86.02	227.17	2.07
EL ESTANCO	13.62	2.53	30.78	5.71	494.53	91.76	538.93	4.91
GUANGATA	30.55	6.74	7.30	1.61	415.32	91.65	453.17	4.13
JACALITO	0.00	0.00	0.00	0.00	503.92	100.00	503.92	4.59
JUAICA	33.52	19.01	18.90	10.72	123.92	70.27	176.34	1.61
LA PUNTA	2.51	0.17	3.64	0.24	1504.96	99.59	1511.11	13.76
MARTIN ESPINO	60.97	7.93	24.38	3.17	683.16	88.89	768.51	7.00
POVEDA 1	0.00	0.00	0.00	0.00	374.12	100.00	374.12	3.41
POVEDA 2	87.25	13.48	33.54	5.18	526.40	81.34	647.19	5.89
SANTA CRUZ	87.63	10.84	54.84	6.78	666.28	82.38	808.75	7.36
Total (veredas)							10980.97	100

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Las veredas que más área en amenaza alta por movimientos en masa reportan son Chince, Santa Cruz, Poveda 2 y Martín Espino, seguidas por Chitasugá, Juaica y Guangata. También, aunque en menor área, se identificaron zonas de amenaza alta en las veredas de El Estanco, Churuguaco y la Punta.

Entre las veredas que más área tienen en zona en amenaza media por movimientos en masa, se encuentran en orden de mayor a menor Chince, Chitasugá, Santa Cruz, Poveda 2, El estanco, Martín Espino, Churuguaco y Juaica. También, aunque en menor área, se identificaron zonas de amenaza media en las veredas de Guangata y la Punta.

Gráfica 16 Distribución en área por veredas para la amenaza por movimientos en masa en el municipio de Tenjo



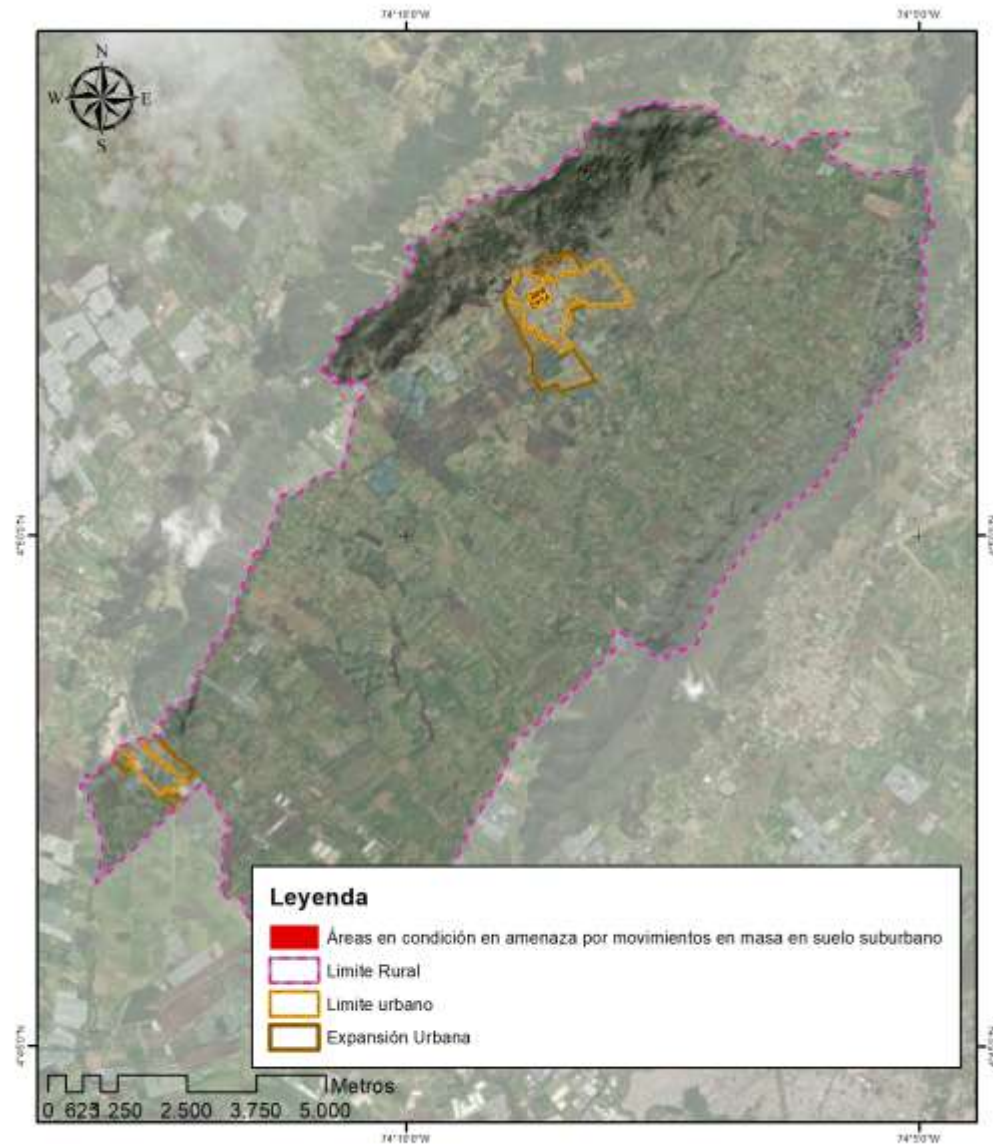
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.1.4 Áreas con condición de amenaza en el suelo suburbano del municipio de Tenjo

El Decreto 1077 de 5015 indica en su Artículo 2.2.2.1.3.1.3. Estudios básicos para la revisión o expedición de Planes de Ordenamiento Territorial (POT) que las **áreas con condición de amenaza**, son las zonas o áreas del territorio municipal zonificadas como de amenaza alta y media en las que se establezca en la revisión o expedición de un nuevo POT la necesidad de clasificarlas como suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales para permitir su desarrollo.

Dicho lo anterior, el municipio de Tenjo ya cuenta con suelos rurales suburbanos, por lo tanto, a continuación, se presenta la distribución espacial de las 0.256 ha de áreas con condición de amenaza por movimientos en masa para el suelo en mención.

Gráfica 17 Áreas con condición de amenaza en el suelo suburbano del municipio de Tenjo



Fuente: IEU-UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.1.5 Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en el suelo rural

Según lo establecido en el Artículo 2.2.2.1.3.1.3 del Decreto 1077 de 2015 para la revisión de Planes de Ordenamiento Territorial (POT), se deben elaborar estudios básicos en los suelos urbanos, de expansión urbana y rural para los fenómenos de inundación, avenidas torrenciales y movimientos en masa, los cuales deberán contener:

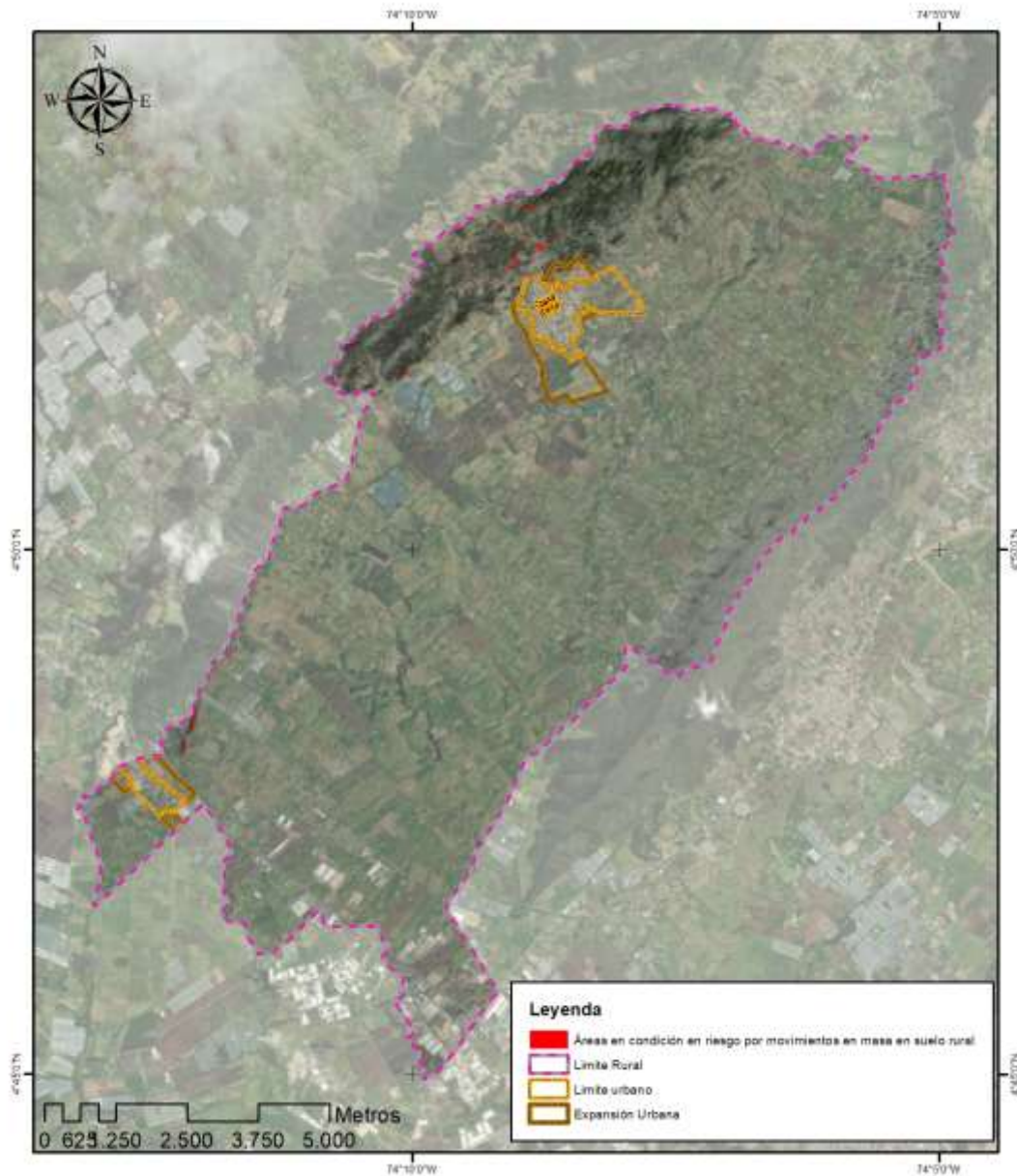
- La delimitación y zonificación de las áreas de amenaza.
- La delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza en las que se requiere adelantar los estudios detallados a que se refiere el siguiente artículo.

- La delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo en las que se requiere adelantar los estudios detallados a que se refiere el siguiente artículo.
- La determinación de las medidas de intervención, orientadas a establecer restricciones y condicionamientos mediante la determinación de normas urbanísticas.

La identificación de las áreas con condición de riesgo se realizó a partir del análisis de las áreas zonificadas como de amenaza alta en los estudios básicos, con la información cartográfica (predial o catastral, entre otras) disponible la cual permitió identificar la existencia de elementos expuestos, de áreas urbanizadas, ocupadas o edificadas; así como de aquellas en las que se encuentren edificaciones indispensables y líneas vitales (vías e infraestructura principal de servicios públicos).

Dadas las condiciones técnicas, a continuación, se presentan las 8.11 hectáreas de áreas con condición de riesgo por movimientos en masa identificadas para el suelo rural del municipio de Tenjo y que corresponden a vías de segundo orden adoquinadas en buen estado, vías de segundo orden pavimentadas en buen estado, vías de segundo orden pavimentadas en regular estado, vías de segundo orden sin pavimentar en buen estado, vías de tercer orden pavimentadas en mal estado, vías de tercer orden sin pavimentar en buen estado, vías de cuarto orden sin pavimentar en buen estado y un equipamiento educativo rural.

Gráfica 18 Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en el suelo rural del municipio de Tenjo



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Las redes de servicios públicos y privados existentes y proyectadas; superficiales o subterráneas, en un área con potencial urbanizable o urbanizada, serán incluidas en el área con condición de amenaza o con condición de riesgo correspondiente a su entorno. Conforme al decreto 2157 de 2017 “por medio del cual se adoptan directrices generales para la elaboración del plan de gestión del riesgo de desastres de las entidades públicas y privadas en el marco del artículo 42 de la ley 1523 de 2012”, se deberá elaborar el Plan de Gestión del Riesgo de Desastres de las Entidades Públicas y Privadas (PGRDEPP), instrumento mediante el cual las entidades públicas y privadas, deberán: identificar, priorizar, formular, programar y hacer seguimiento a las

acciones necesarias para conocer y reducir las condiciones de riesgo (actual y futuro) de sus instalaciones y de aquellas derivadas de su propia actividad u operación que pueden generar daños y pérdidas a su entorno; así como dar respuesta a los desastres que puedan presentarse, permitiendo además su articulación con los sistemas de gestión de la entidad, los ámbitos territoriales, sectoriales e institucionales de la gestión del riesgo de desastres y los demás instrumentos de planeación estipulados en la Ley 1523 de 2012 para la gestión del riesgo de desastres.

4.1.6 Comparación entre la zonificación de amenaza por movimientos en masa para el suelo rural de los estudios básicos de riesgo para la modificación del POT de Tenjo con la zonificación de amenaza por MM del POMCA río Bogotá

La zonificación de la amenaza por movimientos en masa para el suelo rural, producto de los estudios básicos de gestión del riesgo realizados para la presente modificación del POT de Tenjo se presenta para las 10980.97 ha que conforman dicho suelo, mientras que la zonificación presentada en el POMCA del río Bogotá se elaboró para un total de 2454.86 hectáreas.

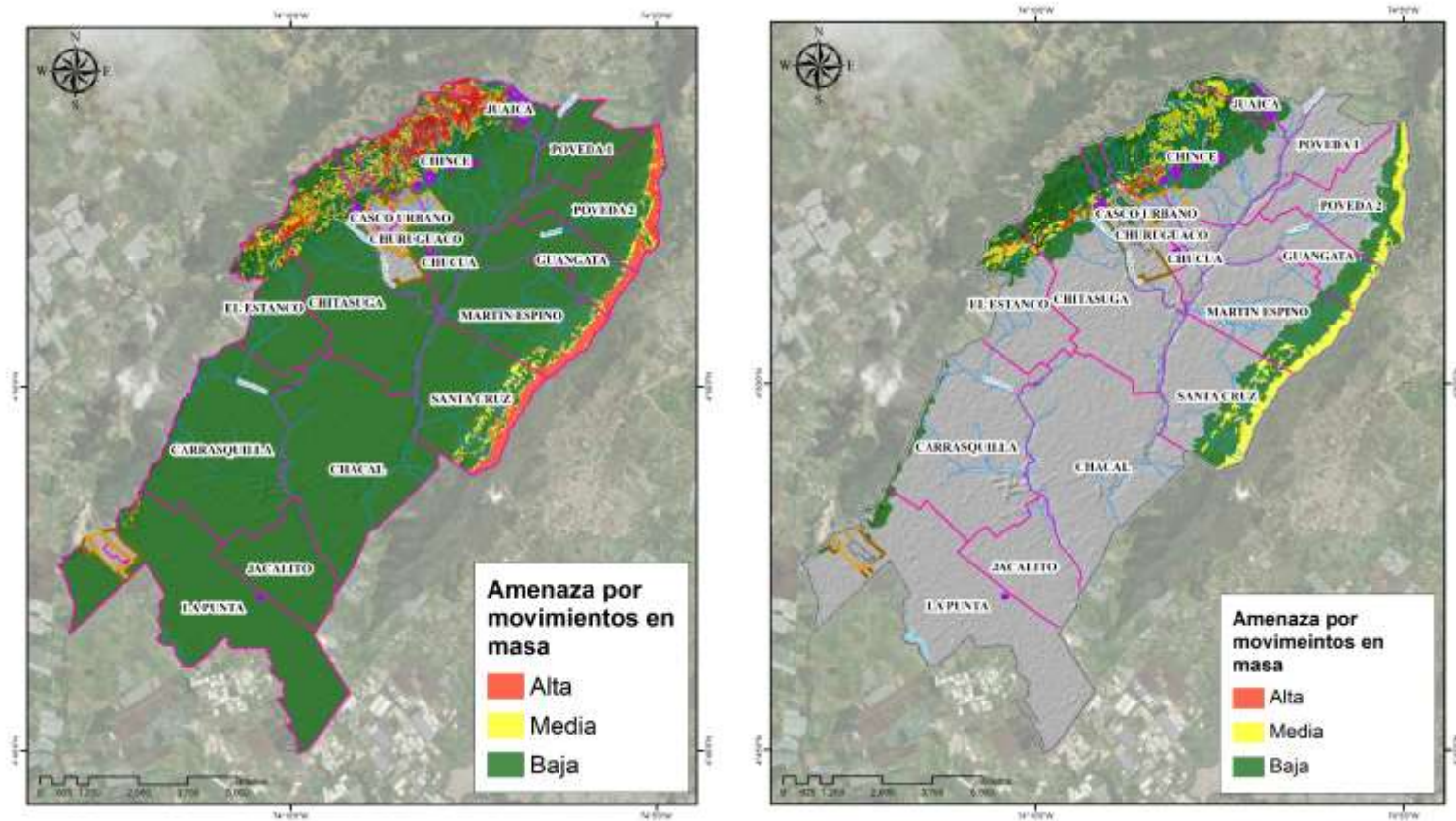
El modelo generado en el presente estudio básico de amenaza por movimientos en masa, muestra un aumento en las áreas con zonificación de tipo alta y media. Esto ocurre al aumentar el detalle de los insumos empleados como lo son las pendientes, las subunidades geomorfológicas, las unidades geológicas, las unidades geológicas superficiales, las coberturas y el registro de eventos históricos construido con la información suministrada por la comunidad, el CMGRD, la Administración Municipal y la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR).

Gráfica 19 Cuadro comparativo zonificaciones de la amenaza por movimientos en masa POT Tenjo – POMCA río Bogotá

CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA	EBGR POT Tenjo		POMCA río Bogotá	
	Área (ha) Suelo rural	(%) Suelo rural	Área (ha) Suelo rural	(%) Suelo rural
Baja	9979.14	90.88	1864,10	16,38
Media	588.65	5.36	551,60	4,85
Alta	413.17	3.76	39,15	0,34
TOTAL	10980.97	100.00	2454,86	21,57

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 20 Zonificaciones de la amenaza por movimientos en masa del POT de Tenjo (izquierda) y el POMCA del río Bogotá (derecha) para el suelo rural

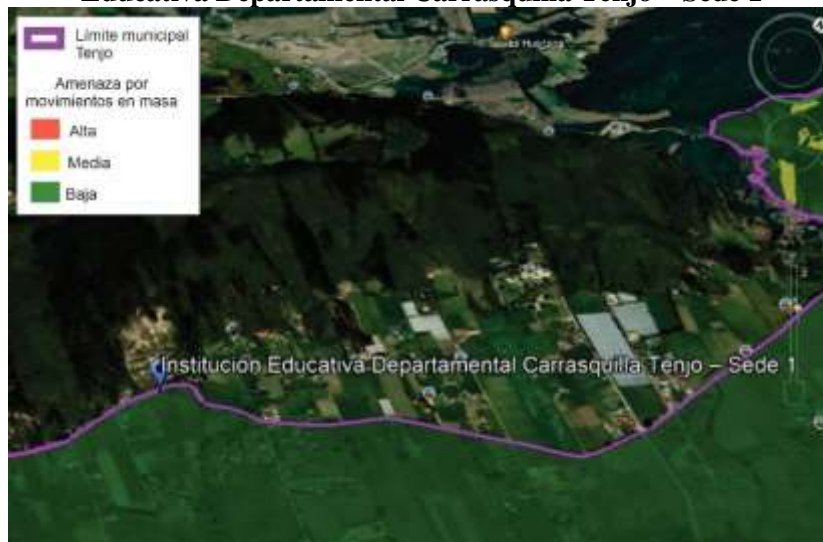


Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.1.7 Análisis de la problemática de la cantera Salónica por las condiciones de riesgo que puede generar en áreas de la vereda Carrasquilla (Institución Educativa Departamental Carrasquilla Tenjo – Sede 1)

La zonificación de la amenaza por movimientos en masa del presente estudio básico para el suelo rural del municipio de Tenjo en el área aledaña a la cantera Salónica en inmediaciones al límite con el municipio de Madrid es de tipo baja, pues no se presentan las condiciones físicas, morfológicas y geotécnicas para dar lugar a la ocurrencia de eventos asociados a este tipo de fenómeno natural. Sin embargo, se pueden presentar condiciones de riesgo debido a la caída y/o deslizamiento del material de dicha cantera en el área en mención a la Institución Educativa Departamental Carrasquilla Tenjo – Sede 1.

Gráfica 21 Zonificación de la amenaza por movimientos en masa en cercanías a la Institución Educativa Departamental Carrasquilla Tenjo – Sede 1



Fuente: Elaborado por IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021 con imagen de Google Earth

Es por ello que mediante el informe técnico No. DRSC 1397 de 2015 de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca se realiza el análisis del área de influencia de la cantera Salónica en predios del municipio de Tenjo. En el indica: “En aproximadamente 1300 metros colinda la Institución Educativa Departamental Carrasquilla Tenjo – Sede 1, con la vía y cantera Salónica desde las coordenadas E 987.763 N 1.026.723 hasta la cancha de futbol, ubicada en las coordenadas E 987.777 N 1.026.858. El predio siguiente corresponde al denominado La Palma, ubicado en colindancia con la Institución Educativa Departamental Carrasquilla Tenjo – Sede 1, en las coordenadas E 987.791 N 1.026.890 y en el cual se evidencian dos construcciones de viviendas de color amarillo una de un nivel y la otra de dos niveles. En total se aproxima 200 m de colindancia de la Institución Educativa Departamental Carrasquilla Tenjo – Sede 1 y las viviendas del predio La Palma con la cantera Salónica.

Gráfica 22 Localización de la cantera Salónica en el límite de los municipios de Tenjo y Madrid



Fuente: Elaborado por IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021 con imagen de Google Earth

El informe técnico CAR No. DRSC 1397 de 2015 también indica “*EL área de la cantera Salónica enclavada sobre la serranía La Punta - Tenjo, ha sido afectada seriamente por malas prácticas de explotación minera se manejaron los cortes con pendientes variables, en varios casos de altura excesiva, en las zonas en donde el macizo rocoso se encuentre altamente fracturado no se retiraron los bloques con riesgo de desprendimiento, adicionalmente se encontraron indicios del uso de explosivos, no se implementaron medidas de control contra la erosión y en general se explotaron materiales sin criterio técnico alguno. Esta situación ha traído como consecuencia y especialmente hacia el sur de la cantera, la presencia de un macizo rocoso fracturado, con una cantidad significativa de bloques en riesgo de caída, ubicados sobre una ladera de pendiente alta (Mayor al 100 %), susceptible de erosión que genera un alto riesgo a la población de la parte baja del talud. Si bien es cierto se han implementado medidas de mitigación de riesgo como la construcción de un terraplén en la pata del talud y la construcción de un sistema de cunetas que encausa las aguas de escorrentía, es necesaria la implementación de medidas adicionales que refuercen las inicialmente dispuestas pero que solucionen problemas latentes que son de suma importancia para la seguridad general del predio de la cantera Salónica*”

Gráfica 23 Evidencia de procesos erosivos en la cantera Salónica en el límite de los municipios de Tenjo y Madrid



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, a partir de Google Earth, 2021

Por otro lado, el Informe Técnico DGOAT No. 099 del 26 de abril de 2016 de la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR), relaciona el contrato de consultoría No. 910 de 2015 cuyo objeto es La consultoría para la elaboración de estudios y diseños para la generación de obras de mitigación del riesgo en el sector de la cantera Salónica, municipio de Madrid – Cundinamarca,. A continuación, se presentan los aspectos más relevantes del mismo.

Gráfica 24 Área de influencia de la cantera Salónica

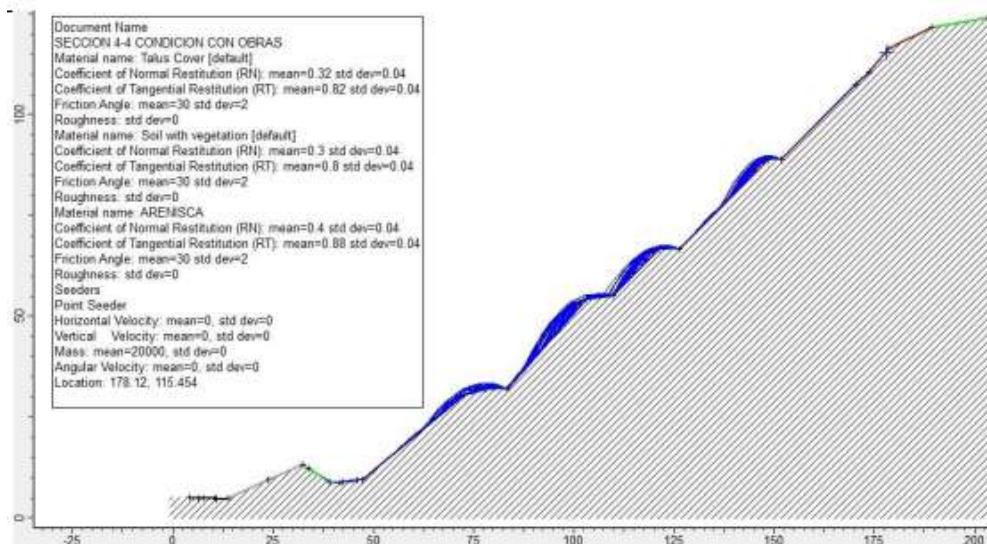


Fuente: Contrato de consultoría CAR No. 910 de 2015

Como factores detonantes de la problemática que afectan directamente a los predios localizados en el municipio de Tenjo se tiene:

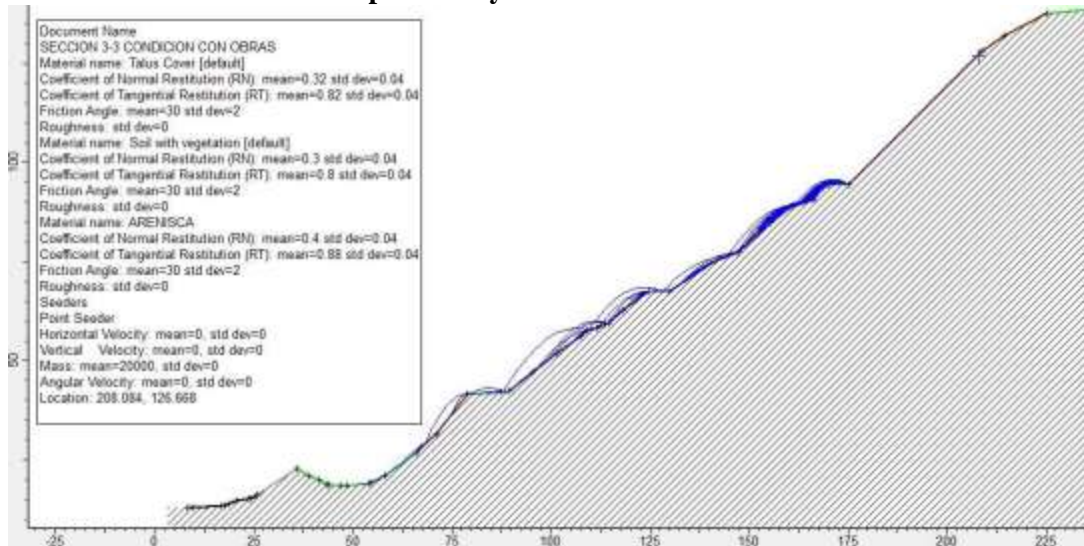
- Las areniscas de la formación Arenisca Dura en este sector presentan un buzamiento de 30° SE, es decir en el sentido de la pendiente, lo cual es desfavorable para la estabilidad de la ladera.
- El macizo rocoso, especialmente las areniscas de la formación Arenisca Dura, presentan un alto grado de fracturamiento, en parte debido a la aparente utilización de explosivos en las actividades de minería.
- Las malas prácticas de minería realizadas en el pasado han generado una morfología que ha incrementado las pendientes de la ladera en algunas áreas del predio, maximizando la posibilidad de desprendimientos de roca.
- La existencia de un sistema de drenaje precario que, aunque capta parte de las aguas de escorrentía permite la infiltración de las aguas captadas al interior del macizo rocoso y la erosión al interior de los canales existentes.
- El espacio comprendido entre el terraplén de contención construido en la pata de la ladera y la ladera misma, no permite una evacuación adecuada de las aguas de escorrentía, permitiéndose la infiltración de un caudal significativo a la base del terraplén y a la vía de acceso a la Cantera, la cual ha presentado hundimientos producto de la infiltración de estas aguas.
- La ausencia de cobertura vegetal en toda el área de explotación de la antigua cantera facilita los procesos erosivos y aumenta la posibilidad de desprendimiento y caída de rocas, al igual que las afectaciones por socavación e infiltración en los depósitos de la parte baja de la ladera.

Gráfica 25 Evaluación de la caída de rocas en el perfil 4-4 costado sur, en condición con obras de perfilado y reforestación en las bermas.



Fuente: Contrato de consultoría CAR No. 910 de 2015

Gráfica 26 Evaluación de la caída de rocas en el perfil 3- zona centro de la cantera, en condición con obras de perfilado y reforestación en las bermas



Fuente: Contrato de consultoría CAR No. 910 de 2015

Para los depósitos de la pata del talud se asumirán los siguientes valores:

Cohesión = 10 Kpa

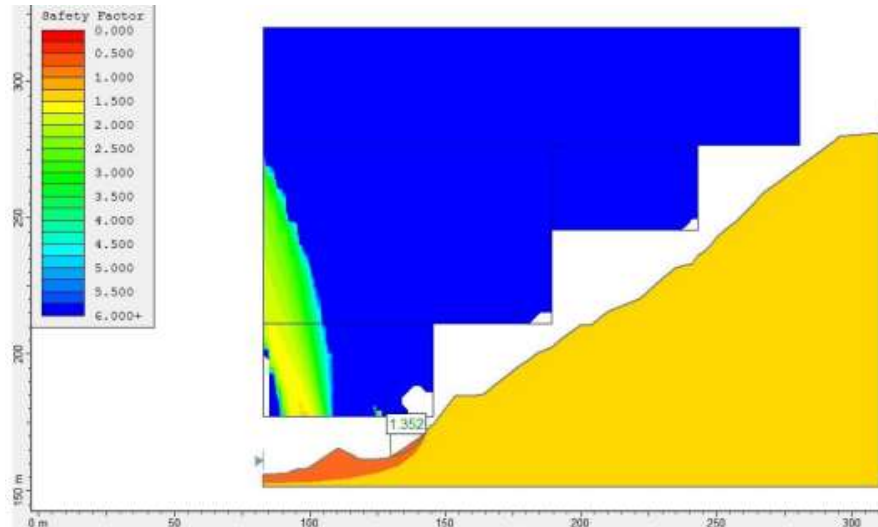
Fricción = 25°

Densidad = 20,1 KN/m³ (Valor de laboratorio)

Para el análisis de estabilidad del talud, se utilizó el programa de computador de Rocscience, Slide versión 5.027 y el perfil estratigráfico establecido en el numeral 2.4.1. del Contrato de consultoría CAR No. 910 de 2015.

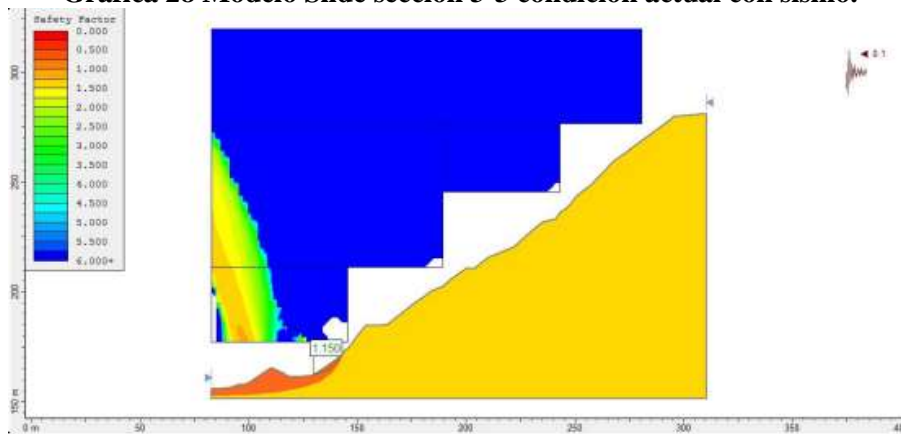
El método de análisis empleado fue Bishop Simplificado. Se tuvo en cuenta un coeficiente de aceleración sísmica de 0,15 que corresponde a la zona en estudio, de acuerdo con el Apéndice A-3 de las Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente NSR-10. Sin embargo, como la masa del suelo no es rígida y teniendo en cuenta que la aceleración máxima solo se presenta en periodos de tiempo muy pequeños, no suficientes para producir una falla, se recomienda por investigadores en Dinámica de Suelos como son: Dr. William F. Marcuson III, el Dr. Franklin A. G. y el Dr. Steve Lawrence Kramer, utilizar valores de 2/3 de la aceleración máxima ($A_a=0.10$).

Gráfica 27 Modelo Slide sección 3-3 condición actual.



Fuente: Contrato de consultoría CAR No. 910 de 2015

Gráfica 28 Modelo Slide sección 3-3 condición actual con sismo.



Fuente: Contrato de consultoría CAR No. 910 de 2015

Los resultados obtenidos indican que, en cuanto estabilidad general la ladera no presenta problemas, siempre y cuando se mantengan unas condiciones de drenaje adecuadas que eviten el apozamiento e infiltración de aguas en la parte baja de la ladera. La zona del macizo rocoso presenta factores de seguridad altos, lo que indica que las obras a proyectar deben ser evaluadas para solucionar aspectos como el de bloques sueltos o con riesgo de caída.

En el Contrato de consultoría CAR No. 910 de 2015 también se propone: “Teniendo en cuenta las recomendaciones del diagnóstico, los resultados de los diferentes análisis realizados, al igual que los aspectos observados en campo por el grupo de especialistas, se dimensionaron las actividades de obra a realizar plasmándolas en los respectivos planos de construcción, estas consisten principalmente en el retiro controlado de los bloques de roca que se encuentren en riesgo inminente de caída, simultáneamente la ampliación de las bermas existentes hacia el costado sur de la cantera, con el respectivo perfilado de algunas partes de la ladera a pendientes IV.1H aproximadamente, también en la construcción de un sistema

de drenaje basado en canales de sacos suelo cemento. y finalmente en la empedradización de las áreas expuestas principalmente de las bermas de la ladera”.

Si bien, la problemática se presenta en jurisdicción del municipio de Madrid en inmediaciones al límite con el municipio de Tenjo, la ocurrencia de eventos asociados a caídas de rocas y deslizamientos ladera debajo de material rocoso y suelo residual de la formación Arenisca Dura en la cantera Salónica puede generar condiciones de riesgo (perdidas) en áreas del municipio de Tenjo. Por tal motivo, y por principio de precaución de la Ley 1523 de 2012, artículo 3: numeral “8. Principio de precaución: Cuando exista la posibilidad de daños graves o irreversibles a las vidas, a los bienes y derechos de las personas, a las instituciones y a los ecosistemas como resultado de la materialización del riesgo en desastre, las autoridades y los particulares aplicarán el principio de precaución en virtud del cual la falta de certeza científica absoluta no será óbice para adoptar medidas encaminadas a prevenir, mitigar la situación de riesgo”.

En este sentido, la Alcaldía Municipal de Tenjo celebró el contrato LP-OBRA-290-2020 para la “Construcción de muro de contención para prevención de desastres en la Institución Educativa de la vereda Carrasquilla del municipio de Tenjo - Cundinamarca”, la cual estará relacionada como parte del componente programático de gestión del riesgo, específicamente en el programa reducción del riesgo.

Lo anterior, teniendo como base que el tres (03) de marzo de 2020, el Sr Juez 38 Administrativo Oral del Circuito Judicial de Bogotá Sección Tercera, mediante auto indica: autorizar, al Municipio de Tenjo para que ejecute la obra de mitigación del riesgo en la escuela Carrasquilla, disponiendo de los recursos que por ley les corresponda, como medida de intervención para impedir que las personas y los bienes lleguen a quedar expuestos ante posibles eventos de caída de rocas.

De acuerdo con las especificaciones del contrato, mediante Resolución No 058 del 02 de Septiembre de 2020 se concede permiso provisional de utilización de la vía departamental en zona de derecho de vía al Municipio de Tenjo, en la vía departamental Tenjo- La punta, K6+00 Sector escuela carrasquilla, vereda carrasquilla, en coordenadas 4°50,19.95-“N, 74°11` 14.78”O, para la construcción de un muro de contención escalonado en concreto armado, que permita la contención de cualquier deslizamiento que pudiese presentarse dentro de la cantera Salónica, mitigando el riesgo de la Institución Educativa Departamental Carrasquilla, y dando cumplimiento del fallo expedido por el Juzgado Treinta y ocho Administrativo Oral Circuito Judicial Bogotá D,C Sección Tercera.

Así mismo, para la construcción del muro de contención se cuenta con la Licencia de Construcción No 167 del 03 de Septiembre de 2020 expedida por la Secretaria de Desarrollo Territorial y Urbanismo; la cual indica que el predio donde se encuentra ubicada la I.E.D. Carrasquilla se identifica con el código catastral 2579900000020045000. De acuerdo con el contrato, el muro de contención se planea ubicar sobre el costado noroccidental con una longitud aproximada de 62 m paralelo a la vía que conduce del casco urbano del municipio de Tenjo a la vereda La Punta, vía que sobre esta ubicación sirve como división política con el vecino municipio de Madrid – Cundinamarca. Así mismo, se indica que las obras a desarrollar deberán tener en cuenta las especificaciones técnicas que se tengan para cada una de las áreas constructivas en la normatividad: NSR-10, RAS 2000, INVIAS, NTC, ICONTEC, ASTM - American Society for Testing and Materials (cuando no exista norma NTC para algunos materiales) y otras que la supervisión considere aplicable².

² Estudios previos para “CONSTRUCCIÓN DE MURO DE CONTENCIÓN PARA PREVENCIÓN DE DESASTRES EN LA INSTITUCIÓN EDUCATIVA DE LA VEREDA CARRASQUILLA DEL MUNICIPIO DE TENJO CUNDINAMARCA”. LP 31 de agosto 2020.

En la visita de campo realizada el 20 de octubre de 2021 el muro se encuentra en construcción con un nivel de avance que se evidencia en el siguiente registro fotográfico:

Gráfica 29 Estado de la obra 2021. Muro de Contención vereda Carrasquilla. Tenjo.



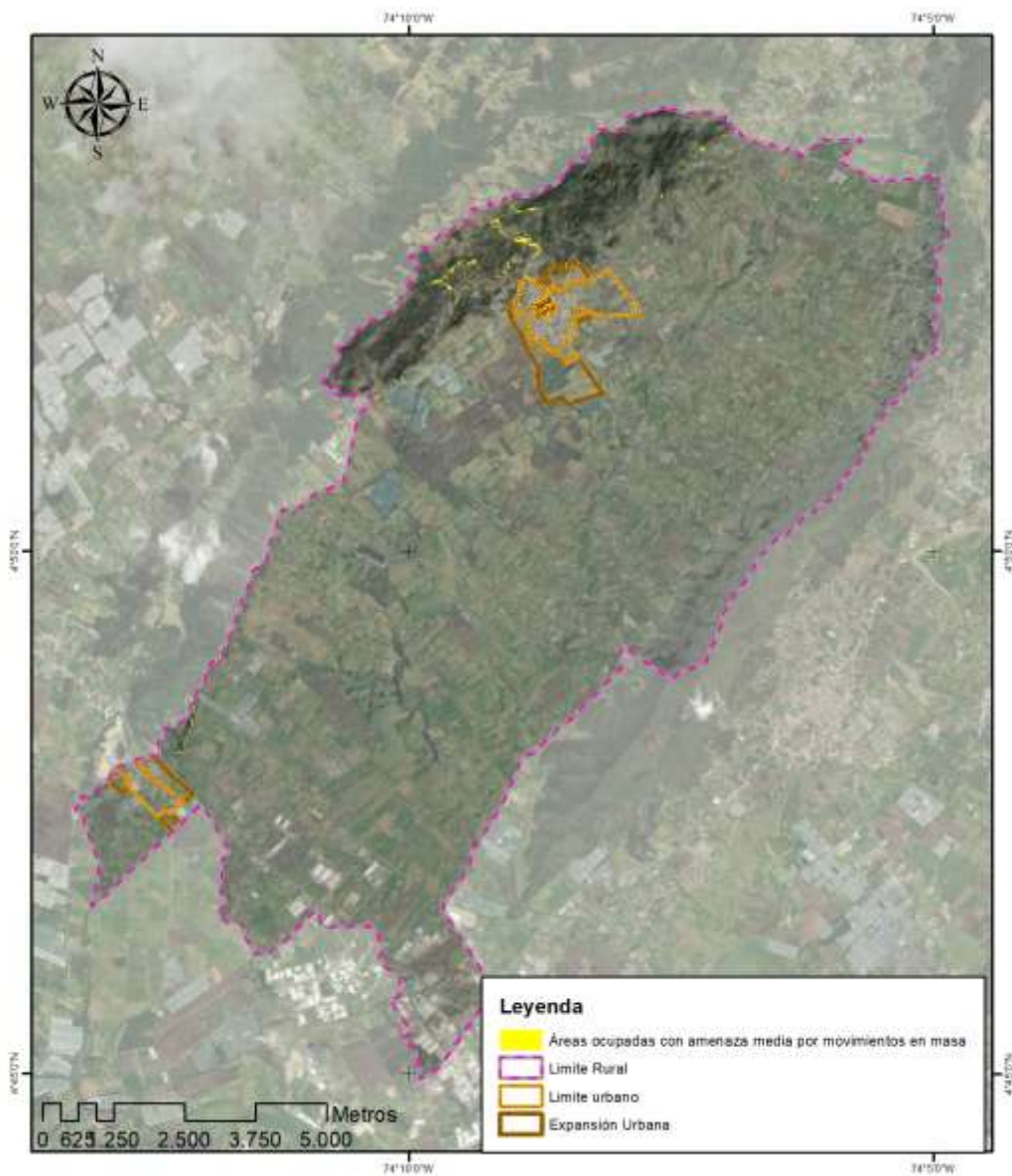
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.1.8 Áreas de amenaza media por movimientos en masa ocupada en suelo rural

A partir de la información cartográfica (predial o catastral, entre otras) disponible se pudo identificar en áreas de amenaza media la existencia de elementos expuestos, de áreas urbanizadas, ocupadas o edificadas; así como de aquellas en las que se encuentren edificaciones indispensables y líneas vitales. Adicionalmente a partir de la interpretación y actualización de las coberturas de la tierra, se identificaron áreas de tejido urbano discontinuo con presencia de viviendas, vías y demás infraestructura que puede llegar a encontrarse expuesta.

Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación se presentan las 16.31 ha de áreas de amenaza media con presencia de dicha infraestructura.

Gráfica 30 Áreas de amenaza media por movimientos en masa ocupadas



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.2 Estudio básico de la amenaza por movimientos en masa en suelo urbano, de expansión urbana y centros poblados rurales

4.2.1 Metodología

4.2.1.1 Factor de Seguridad (Fs).

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

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

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

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

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

Donde:

c' = intercepto de cohesión

ϕ' = ángulo de fricción

y = peso unitario de la capa de suelo

α = inclinación del terreno (superficie de falla)

k = coeficiente de aceleración horizontal

h = espesor de la capa de suelo

h_w = altura de la lámina de agua

γ_w = peso unitario del agua

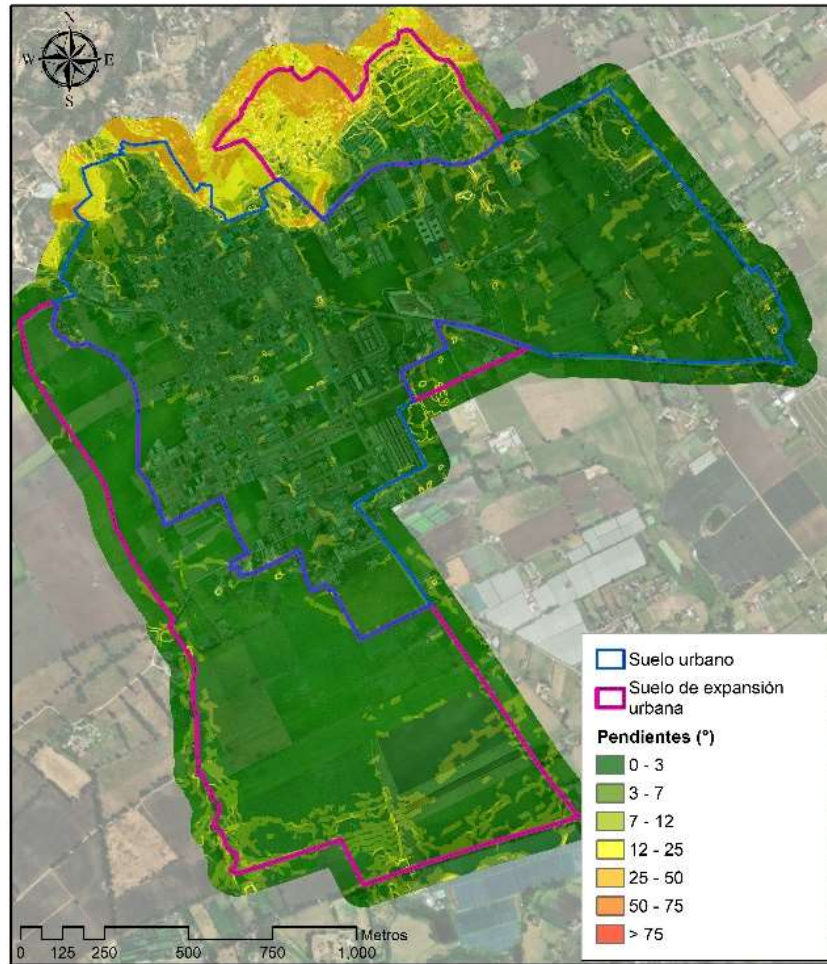
4.2.1.2 Insumos

4.2.1.2.1 Pendientes

A partir del modelo de elevación digital elaborado para el presente estudio se obtuvo la capa correspondiente al mapa de pendientes, del cual se logró el ángulo de inclinación para cada una de las celdas del área de estudio a escala 1:5.000 para el suelo urbano, de expansión urbana y centros poblados. Este insumo se empleó como indicador de la inclinación del área de estudio.

A continuación, se presentan las pendientes del suelo urbano, de expansión urbana y centros poblados del municipio de Tenjo.

Gráfica 31 Pendientes en el suelo urbano y de expansión urbana en el municipio de Tenjo



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 32 Pendientes en el suelo urbano y de expansión urbana de la Punta



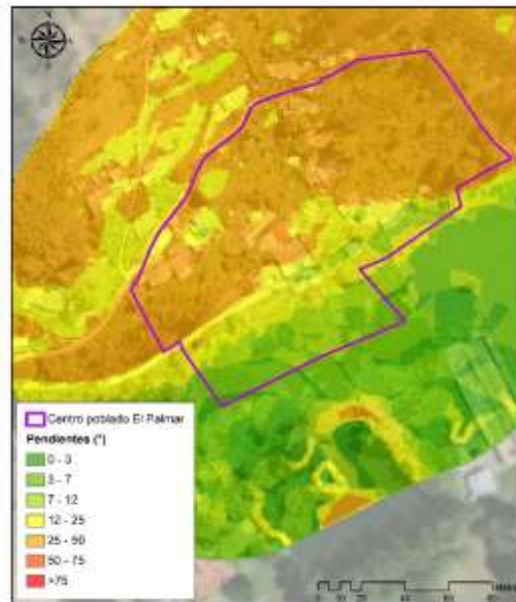
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 33 Pendientes en el centro poblado Cascajera



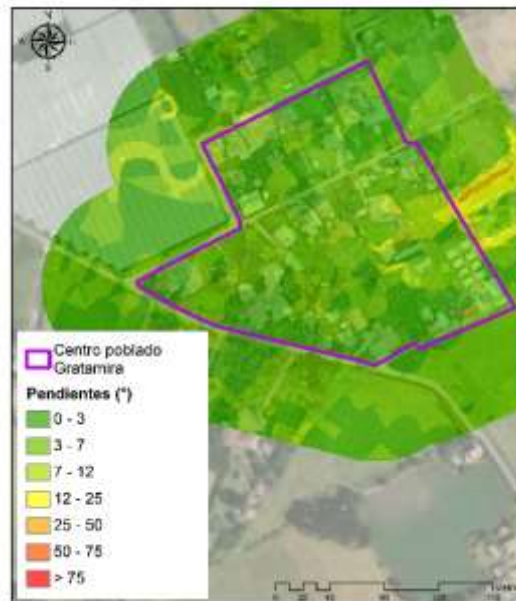
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 34 Pendientes en el centro poblado El Palmar



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 35 Pendientes en el centro poblado Gratamira



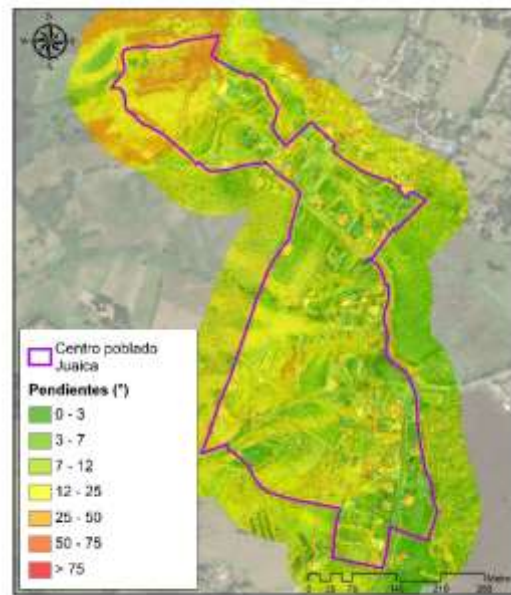
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 36 Pendientes en el centro poblado Jacalito



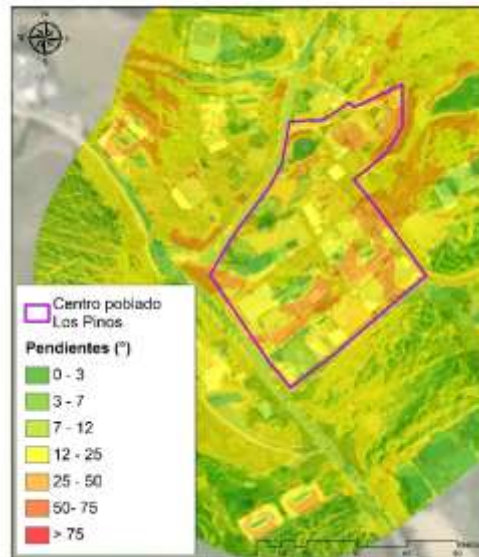
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 37 Pendientes en el centro poblado Juajica



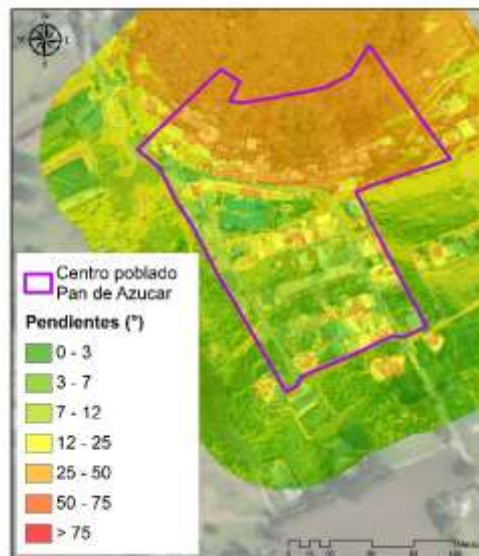
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 38 Pendientes en el centro poblado Los Pinos



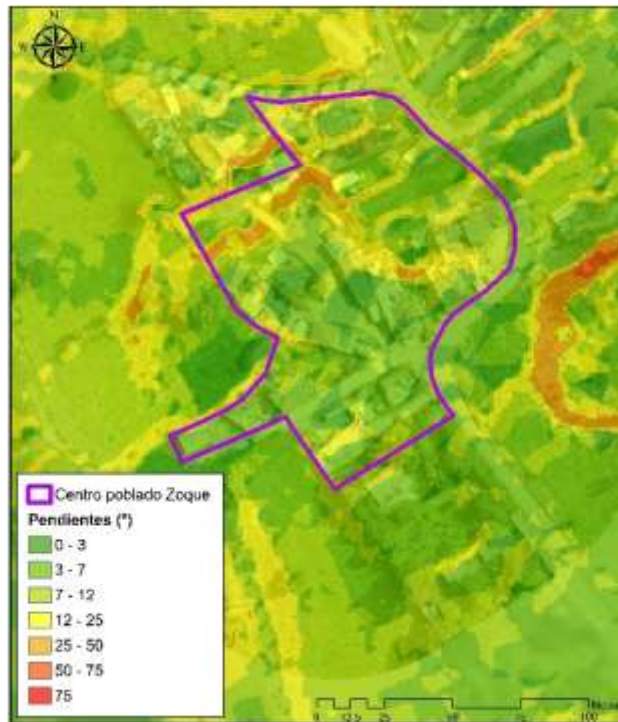
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 39 Pendientes en el centro poblado Pan de Azúcar



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 40 Pendientes en el centro poblado Zoque

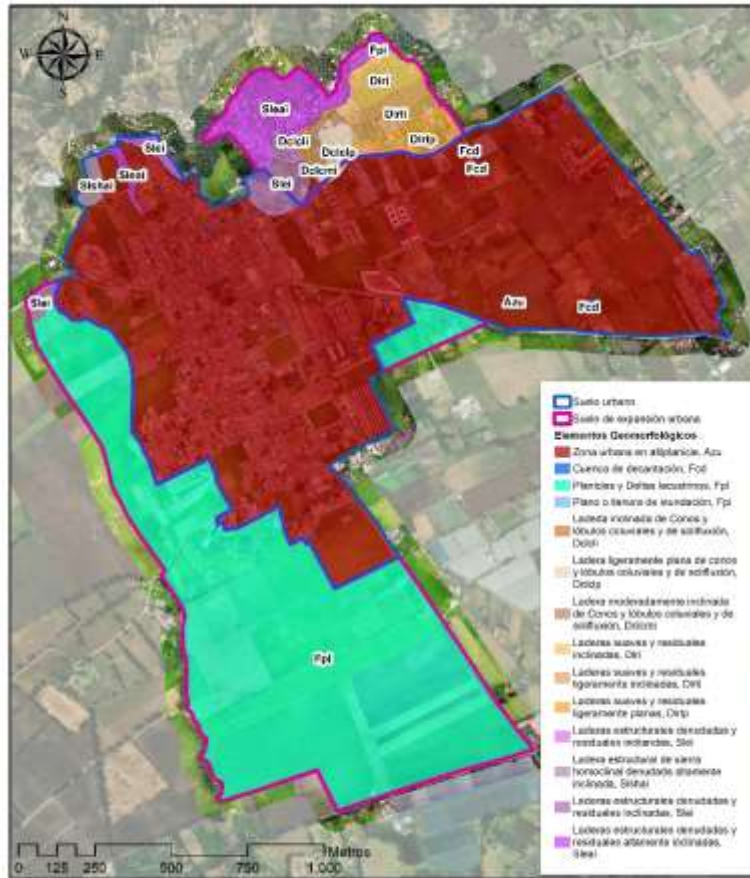


Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.2.1.2.2 Elementos Geomorfológicos

Los elementos geomorfológicos son el resultado análisis geomorfológico realizado a escala 1:5.000, corresponden al máximo nivel de detalle de jerarquía en la subdivisión propuesta para escalas mayores a 1:10.000. Esta categoría está establecida por los rangos del relieve definidos para áreas puntuales y determinados por la morfometría detalla del terreno en una subunidad geomorfológica (Carvajal, 2012). A continuación, se presentan los elementos geomorfológicos identificados en el suelo urbano, de expansión urbana y centros poblados del municipio de Tenjo.

Gráfica 41 Elementos geomorfológicos en el suelo urbano y de expansión urbana del municipio de Tenjo



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 42 Elementos geomorfológicos en el suelo urbano y de expansión urbana de la Punta



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 43 Elementos geomorfológicos en el centro poblado Cascajera



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 44 Elementos geomorfológicos en el centro poblado El Palmar



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 45 Elementos geomorfológicos en el centro poblado Gratamira



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 46 Elementos geomorfológicos en el centro poblado Jacalito



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 47 Elementos geomorfológicos en el centro poblado Juaiuca



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 48 Elementos geomorfológicos en el centro poblado Los Pinos



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 49 Elementos geomorfológicos en el centro poblado Pan de Azúcar



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 50 Elementos geomorfológicos en el centro poblado Zoque



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Tabla 16 Parámetros geotécnicos para el cálculo del factor de seguridad en el suelo urbano y de expansión urbana de la Punta

UGI	Punto de Muestreo	Densidad (Kg/m ³)	Cohesión (Kg/cm ²)	Fricción (°)	Profundidad (m)	Área (ha)
Suelo residual de la Formación Plaeners Srp1	1	1539	0.66	33	1.2	3.14
Suelo residual de la Formación Tilatá Srt1	4	1149	0.13	33	1.25	27.02
Suelo residual de la Formación Tilatá Srt2	5	769	0.43	22	1.15	15.01
Suelo residual de la Formación Tilatá Srt3	2	883	0.29	24	1.43	13.65
Suelo residual de la Formación Tilatá Srt4	3	773	0.12	31	1.03	28.92

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.2.1.2.3 Unidades Geológicas para Ingeniería – Espesor del suelo y parámetros geotécnicos

A partir de la información geológica y de elementos geomorfológicos se establecieron las zonas geotécnicamente homogéneas para determinar los puntos más convenientes de toma de muestras de suelos. Del mismo modo, se obtuvo el rango de espesor de cada unidad de suelo, pues la profundidad de suelo que exista en un talud, se convierte en factor fundamental dentro del modelo de talud infinito, ya que, en dicho método, se asume que la ocurrencia de una falla se materializa en función del espesor total del suelo.

Se realizaron un total de 49 apiques, los cuales se realizaron teniendo en cuenta los lineamientos técnicos de la norma ASTM D3080, con el fin de obtener una muestra de suelo no alterada. Posteriormente, las

muestras de suelo fueron sometidas a ensayos de corte directo, a partir de los cuales se obtuvieron parámetros geotécnicos de los suelos frente a los esfuerzos como lo son el ángulo de fricción, la cohesión y propiedades índice como el peso unitario.

Dichos parámetros se incorporaron al modelo de factor de seguridad, para calcular la estabilidad del talud. La variación de estos parámetros condiciona la capacidad de desprendimiento y falta de adhesión interna de los suelos. A continuación, se presentan las Unidades Geológicas para Ingeniería (UGI) definidas para el suelo urbano, de expansión urbana y centros poblados del municipio de Tenjo.

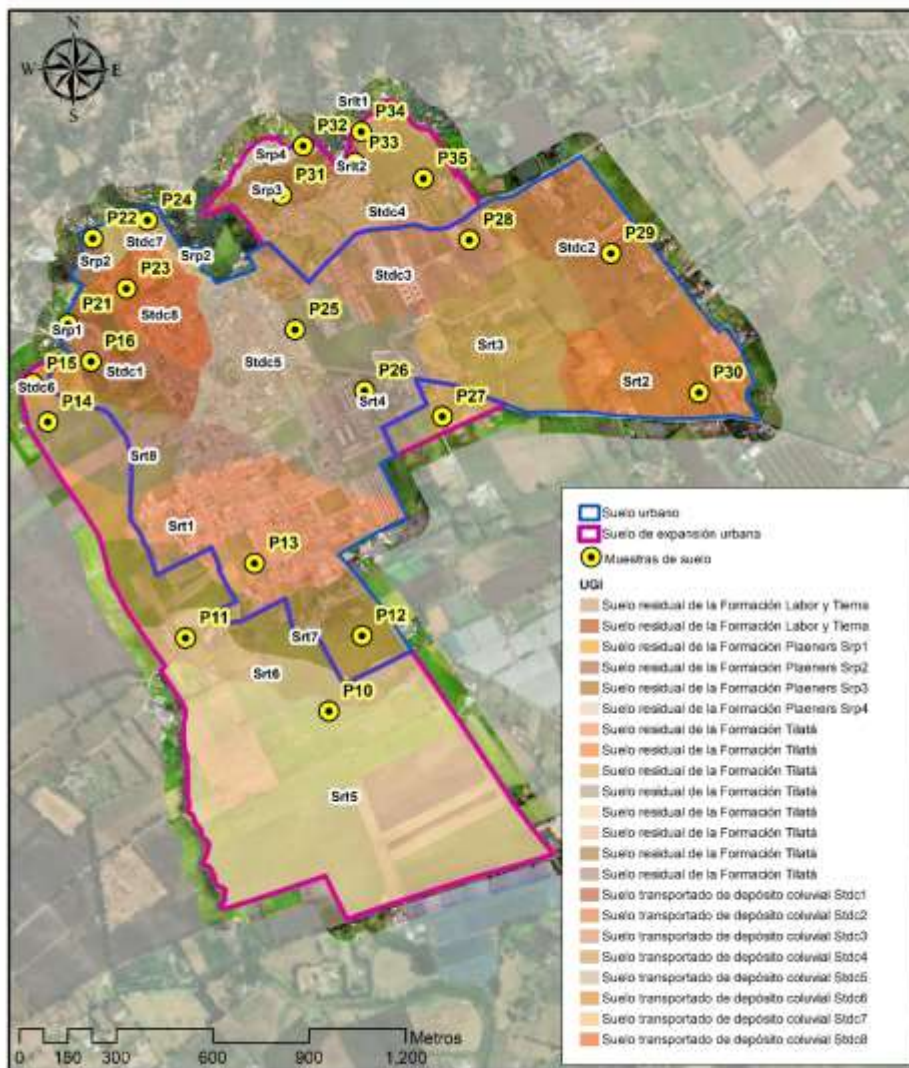
Tabla 17 Parámetros geotécnicos para el cálculo del factor de seguridad en el suelo urbano y de expansión urbana del municipio de Tenjo

UGI	Punto de Muestreo	Densidad (Kg/m ³)	Cohesión (Kg/cm ²)	Fricción (°)	Profundidad (m)	Área (ha)
Suelo residual de la Formación Tilatá Srt5	10	783	0.36	31	1.38	60.23
Suelo residual de la Formación Tilatá Srt6	11	808	0.12	37	1.22	10.40
Suelo residual de la Formación Tilatá Srt7	12	824	0.34	26	1.1	18.38
Suelo residual de la Formación Tilatá Srt1	13	1501	0.27	36	1.33	25.94
Suelo residual de la Formación Tilatá Srt8	14	1445	0.65	20	1.15	13.34
Suelo transportado de depósito coluvial Stdc6	15	1463	0.36	26	1.27	2.63
Suelo transportado de depósito coluvial Stdc1	16	926	0.15	24	1.15	8.84
Suelo residual de la Formación Plaeners Srp1	21	1479	0.44	26	1.25	0.23
Suelo residual de la Formación Plaeners Srp2	22	1540	0.69	31	1.31	1.56
Suelo transportado de depósito coluvial Stdc8	23	1516	0.27	36	1.22	8.82
Suelo transportado de depósito coluvial Stdc7	24	824	0.26	38	1.23	3.11
Suelo transportado de depósito coluvial Stdc5	25	889	0	43	1.08	14.64
Suelo residual de la Formación Tilatá Srt4	26	850	0	32	1.13	20.17
Suelo residual de la Formación Tilatá Srt3	27	1002	0.57	19	1.26	20.40
Suelo transportado de depósito coluvial Stdc3	28	967	0.49	31	1.43	12.02
Suelo transportado de depósito coluvial Stdc2	29	1496	0.41	30	1.17	17.91
Suelo residual de la Formación Tilatá Srt2	30	874	0.49	36	1.22	15.33
Suelo residual de la Formación Plaeners Srp3	31	1610	0.41	29	1.1	4.22
Suelo residual de la Formación Plaeners Srp4	32	1583	0.38	28	1.32	1.70

UGI	Punto de Muestreo	Densidad (Kg/m ³)	Cohesión (Kg/cm ²)	Fricción n (°)	Profundidad (m)	Área (ha)
Suelo residual de la Formación Labor y Tierna Srt2	33	1259	0.37	15	1.18	0.75
Suelo residual de la Formación Labor y Tierna Srt1	34	1303	0.34	35	1.16	0.81
Suelo transportado de depósito coluvial Stdc4	35	1391	0.25	32	1.21	18.29

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 51 Unidades geológicas para Ingeniería (UGI) en el suelo urbano y de expansión urbana del municipio de Tenjo



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Tabla 18 Parámetros geotécnicos para el cálculo del factor de seguridad en el suelo urbano y de expansión urbana de La Punta

UGI	Punto de Muestreo	Densidad (Kg/m ³)	Cohesión (Kg/cm ²)	Fricción (°)	Profundidad (m)	Área (ha)
Suelo residual de la Formación Plaeners Srp1	1	1539	0.66	33	1.2	3.14
Suelo residual de la Formación Tilatá Srt1	4	1149	0.13	33	1.25	27.02
Suelo residual de la Formación Tilatá Srt2	5	769	0.43	22	1.15	15.01
Suelo residual de la Formación Tilatá Srt3	2	883	0.29	24	1.43	13.65
Suelo residual de la Formación Tilatá Srt4	3	773	0.12	31	1.03	28.92

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 52 Unidades geológicas para Ingeniería (UGI) en el suelo urbano y de expansión urbana de la Punta



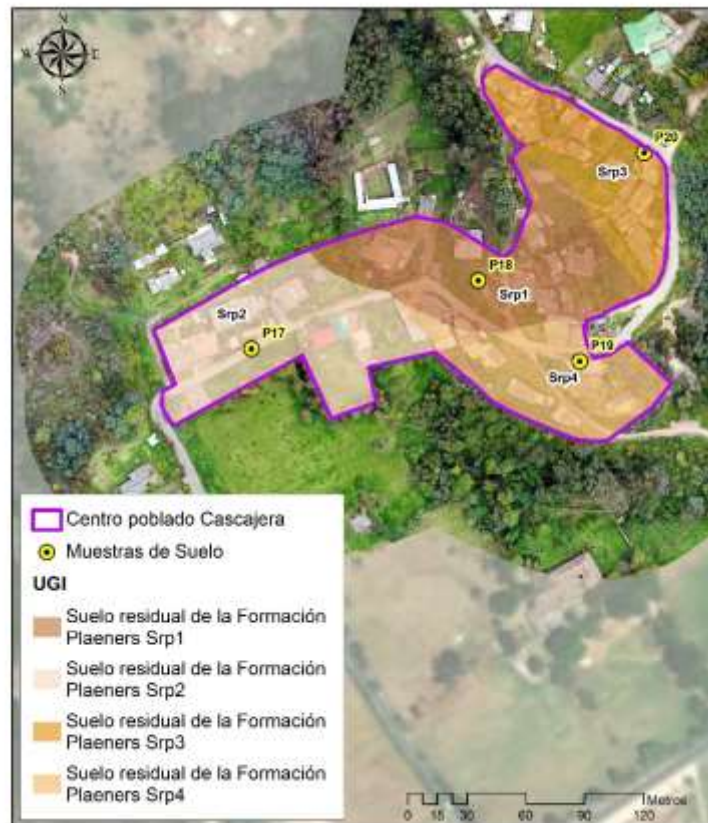
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Tabla 19 Parámetros geotécnicos para el cálculo del factor de seguridad en el centro poblado Cascajera

UGI	Punto de Muestreo	Densidad (Kg/m ³)	Cohesión (Kg/cm ²)	Fricción (°)	Profundidad (m)	Área (ha)
Suelo residual de la Formación Plaeners Srp1	18	1617	0.18	30	1.19	0.72
Suelo residual de la Formación Plaeners Srp2	17	1243	0.35	27	1.14	0.69
Suelo residual de la Formación Plaeners Srp3	20	1094	0.44	31	1.13	0.45
Suelo residual de la Formación Plaeners Srp4	19	1578	0.15	38	1.05	0.47

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 53 Unidades geológicas para Ingeniería (UGI) en el centro poblado Cascajera



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Tabla 20 Parámetros geotécnicos para el cálculo del factor de seguridad en el centro poblado El Palmar

UGI	Punto de Muestreo	Densidad (Kg/m ³)	Cohesión (Kg/cm ²)	Fricción n (°)	Profundidad (m)	Área (ha)
Suelo transportado de Depósito Coluvial Stdc	37	1420	0.46	31	1.09	0.30
Suelo residual de la Formación Labor y Tierna Srt1	36	1163	0.45	29	1.28	0.75
Suelo residual de la Formación Labor y Tierna Srt2	38	1566	0.52	24	1.31	0.49
Suelo transportado de Depósito Coluvial Stdc	37	1420	0.46	31	1.09	0.00

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 54 Unidades geológicas para Ingeniería (UGI) en el centro poblado El Palmar



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Tabla 21 Parámetros geotécnicos para el cálculo del factor de seguridad en el centro poblado Gratamira

UGI	Punto de Muestreo	Densidad (Kg/m ³)	Cohesión (Kg/cm ²)	Fricción (°)	Profundidad (m)	Área (ha)
Suelo residual de la Formación Chía Srch	9	842	0.51	25	1.3	0.12
Suelo residual de la Formación Tilatá Srt	8	938	0.15	23	1.27	3.26

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 55 Unidades geológicas para Ingeniería (UGI) en el centro poblado Gratamira



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Tabla 22 Parámetros geotécnicos para el cálculo del factor de seguridad en el centro poblado Jacalito

UGI	Punto de Muestreo	Densidad (Kg/m ³)	Cohesión (Kg/cm ²)	Fricción (°)	Profundidad (m)	Área (ha)
Suelo residual de la Formación Tilatá Srt1	6	866	0.40	35	1.18	0.416
Suelo residual de la Formación Tilatá Srt2	7	861	0.59	24	1.32	0.265

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 56 Unidades geológicas para Ingeniería (UGI) en el centro poblado Jacalito



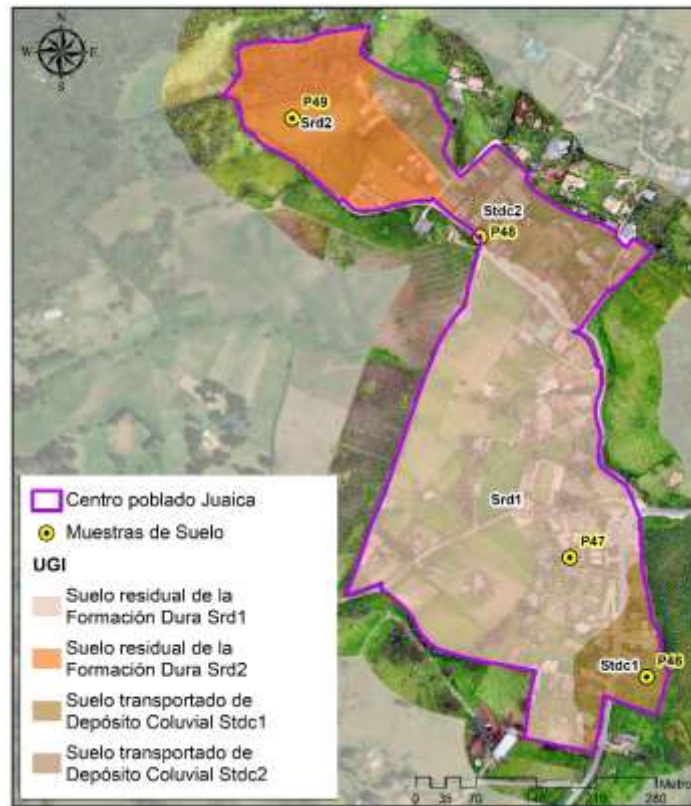
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Tabla 23 Parámetros geotécnicos para el cálculo del factor de seguridad en el centro poblado Juaiaca

UGI	Punto de Muestreo	Densidad (Kg/m ³)	Cohesión (Kg/cm ²)	Fricción (°)	Profundidad (m)	Área (ha)
Suelo residual de la Formación Dura Srd1	47	1475	0.20	25	1.16	10.92
Suelo residual de la Formación Dura Srd2	49	1591	0.83	23	0.92	3.13
Suelo transportado de Depósito Coluvial Stdc1	46	1131	0.16	7	1.11	1.19
Suelo transportado de Depósito Coluvial Stdc2	48	1640	0.37	30	0.9	2.63

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 57 Unidades geológicas para Ingeniería (UGI) en el centro poblado Juaica



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Tabla 24 Parámetros geotécnicos para el cálculo del factor de seguridad en el centro poblado Los Pinos

UGI	Punto de Muestreo	Densidad (Kg/m ³)	Cohesión (Kg/cm ²)	Fricción n (°)	Profundidad (m)	Área (ha)
Suelo residual de la Formación Labor y Tierna Srtl1	43	1361	0.56	31	1.04	0.28
Suelo residual de la Formación Labor y Tierna Srtl2	42	1684	0.35	16	1.18	0.26

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 58 Unidades geológicas para Ingeniería (UGI) en el centro poblado Los Pinos



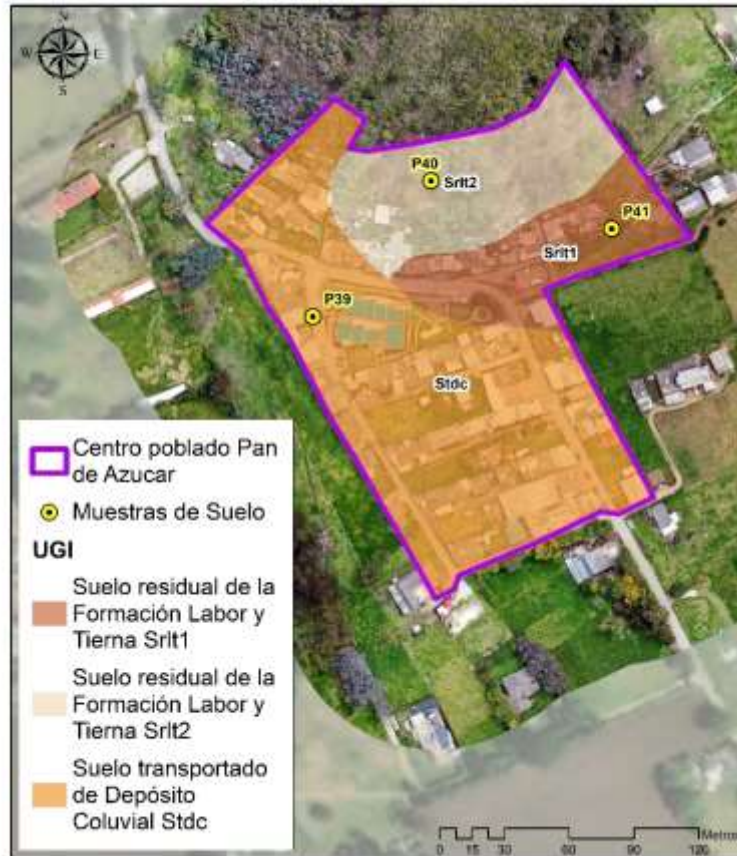
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Tabla 25 Parámetros geotécnicos para el cálculo del factor de seguridad en el centro poblado Pan de Azúcar

UGI	Punto de Muestreo	Densidad (Kg/m ³)	Cohesión (Kg/cm ²)	Fricción (°)	Profundidad (m)	Área (ha)
Suelo transportado de Depósito Coluvial Stdc	39	1204	0.43	31	1.04	1.78
Suelo residual de la Formación Labor y Tierra Srtt1	41	1016	0.35	39	1.22	0.48
Suelo residual de la Formación Labor y Tierra Srtt2	40	1248	0.41	37	1.09	0.66

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 59 Unidades geológicas para Ingeniería (UGI) en el centro poblado Pan de Azúcar



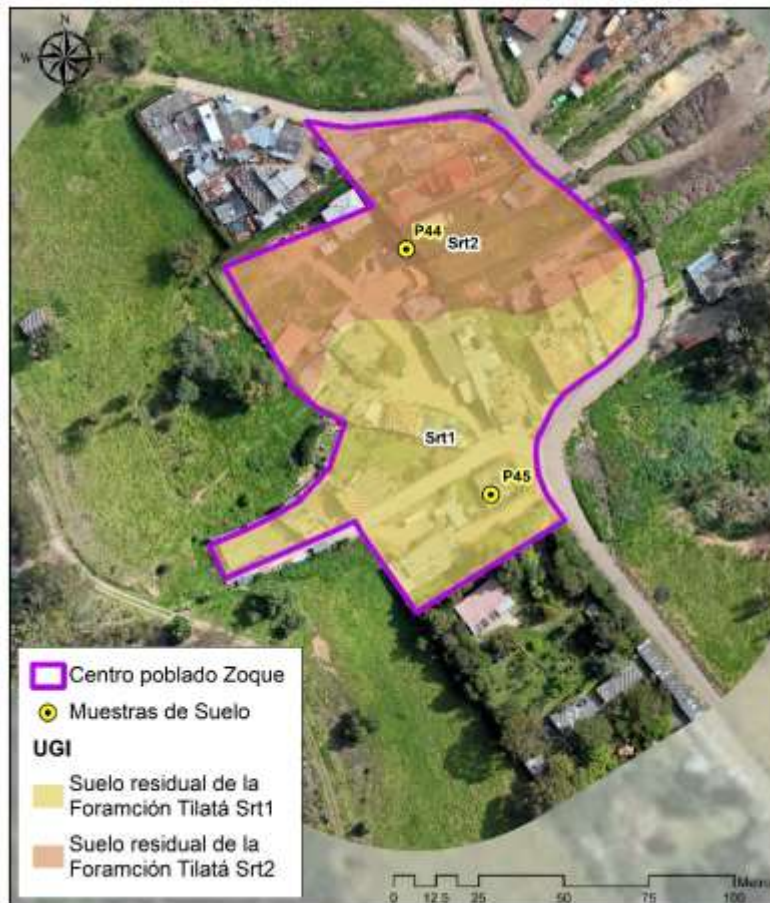
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Tabla 26 Parámetros geotécnicos para el cálculo del factor de seguridad en el centro poblado Zoque

UGI	Punto de Muestreo	Densidad (Kg/m ³)	Cohesión (Kg/cm ²)	Fricción (°)	Profundidad (m)	Área (ha)
Suelo residual de la Formación Tilatá Srt1	45	1529	0.50	37	1.27	0.58
Suelo residual de la Formación Tilatá Srt2	44	1459	0.55	31	1.18	0.49

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 60 Unidades geológicas para Ingeniería (UGI) en el centro poblado Zoque



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.2.1.3 Detonantes de la amenaza

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

4.2.1.3.1 Profundidad de la tabla de Agua

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

De acuerdo con la metodología propuesta por el Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2015), se puede determinar el nivel de la tabla de agua a partir del número de curva (CN) que a su vez depende del tipo de cobertura.

A su vez, el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de Estados Unidos establece una metodología para la estimación del denominado número de curva (CN, por su sigla en inglés), del método lluvia-escorrentía, el cual se ha incorporado para estimar el aporte de la lluvia en términos de nivel freático, lámina o altura de agua, al considerar la lluvia como un detonante de movimientos en masa; para tal fin se ha tenido en cuenta el efecto del componente de las abstracciones.

El cálculo de la tabla de agua se establece de acuerdo con los mapas de cobertura y uso del terreno, que se elaborarán con la metodología Corine Land Cover, adaptada para Colombia por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM I. d., (2010)).

El valor de CN depende de la cobertura y uso del terreno, al igual que de la clasificación hidrológica del suelo superficial (A, B, C y D), la cual tiene en cuenta la textura, espesor y origen de los suelos.

El Departamento Agrícola de Estados Unidos (2005) determinó cuatro grupos a partir de sus propiedades hidrológicas. Los suelos hidrológicos se clasifican de acuerdo con los cálculos de su potencial de escorrentía definido por el índice de infiltración; dicho índice varía cuando el suelo no está protegido por vegetación, está completamente húmedo o recibe precipitaciones de tormentas de larga duración.

Los suelos hidrológicos se dividen en cuatro grupos (A, B, C y D) divididos de la siguiente manera (U.S Department of Agriculture, 2005):

- Grupo A: suelos que tienen un alto índice de infiltración (bajo potencial de escorrentía) cuando están completamente húmedos. Están formados principalmente por arenas profundas, bien drenadas o excesivamente drenadas, o arenas de textura gruesa. Estos suelos presentan una tasa elevada de transmisión de agua.
- Grupo B: suelos que tienen un índice de infiltración moderado cuando están completamente húmedos. Son principalmente suelos moderadamente profundos o profundos, moderadamente bien drenados o bien drenados con una textura de moderadamente fina a moderadamente gruesa. Estos suelos tienen una tasa moderada de transmisión de agua.
- Grupo C: suelos que tienen un índice de infiltración lento cuando están completamente húmedos. Son principalmente suelos con una capa que impide el movimiento descendente del agua o suelos de textura moderadamente fina o fina. Estos suelos tienen una tasa de transmisión de agua lenta.
- Grupo D: suelos que tienen un índice de infiltración muy lento (alto potencial de escorrentía) cuando están completamente húmedos. Se trata fundamentalmente de arcillas con alta capacidad para expandirse y contraerse, suelos con un elevado nivel freático, suelos que presentan una capa de arcilla o claypan en la superficie o cerca de la superficie, y suelos poco profundos sobre material casi impermeable. Estos suelos tienen una tasa de transmisión de agua muy lenta.

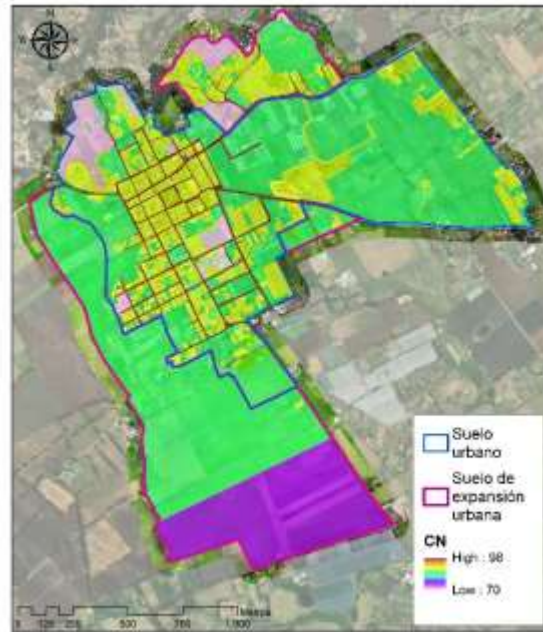
Para obtener el valor de CN es necesario tomar como referencia el valor que indica la tabla propuesta por Chow (1994) donde se establece un valor de CN a partir de la cobertura y el grupo de suelo hidrológico.

Tabla 27 CN aparte de las coberturas y el suelo hidrológico

USO DEL SUELO		GRUPO HIDROLÓGICO DE SUELO			
		A	B	C	D
Tierra cultivada	Sin tratamiento de conservación	72	81	88	91
	Con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales	Condiciones pobres	68	79	86	89
	Condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos		30	58	71	78
Bosques	Troncos delgados, cubierta pobre sin hierbas	45	66	77	83
	Cubierta buena	25	55	70	77
Áreas abiertas, césped, parques, etc.	Óptimas condiciones: cubierta en pasto (75% o más)	39	61	74	80
	Condiciones aceptables: cubierta en pasto (50-75%)	49	69	79	84
Áreas de negocios comerciales de negocios (85% impermeables)		89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)		81	88	91	93
Residencial	1/8 de acre 68	77	85	90	92
	¼ de acre 38	61	75	83	87
	1/3 de acre 30	57	72	81	86
	½ de acre 25	54	70	80	85
	1 acre de 20	51	68	79	84
Parqueadero, pavimentado, techos, accesos, etc.		98	98	98	98
Calles y carretera	Pavimentados con cuentas y alcantarillados	98	98	98	98
	Grava	76	85	89	97
	Tierra	72	82	87	89

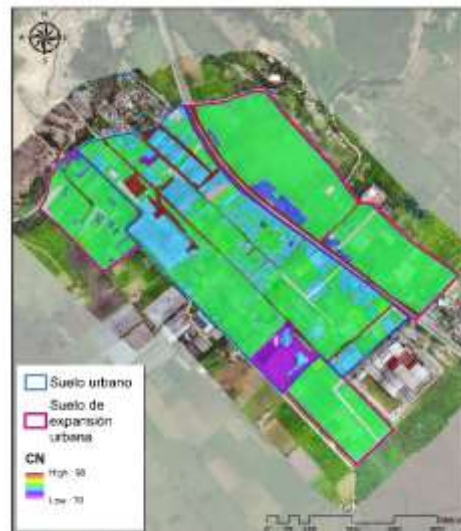
Fuente: (Chow, 1994)

Gráfica 61 Número de Curva (CN) en el suelo urbano y de expansión urbana del municipio de Tenjo



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 62 Número de Curva (CN) en el suelo urbano y de expansión urbana de la Punta



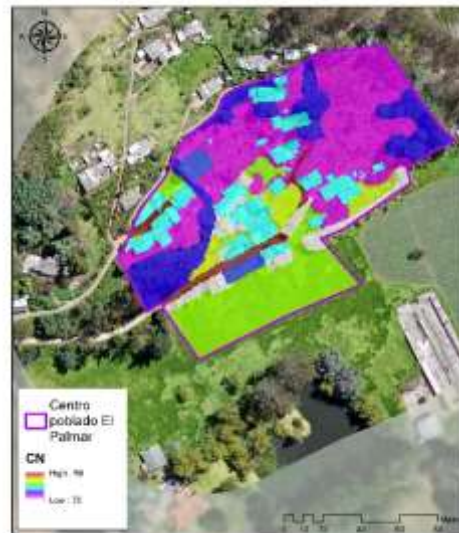
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 63 Número de Curva (CN) en el centro poblado Cascajera



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 64 Número de Curva (CN) en el centro poblado El Palmar



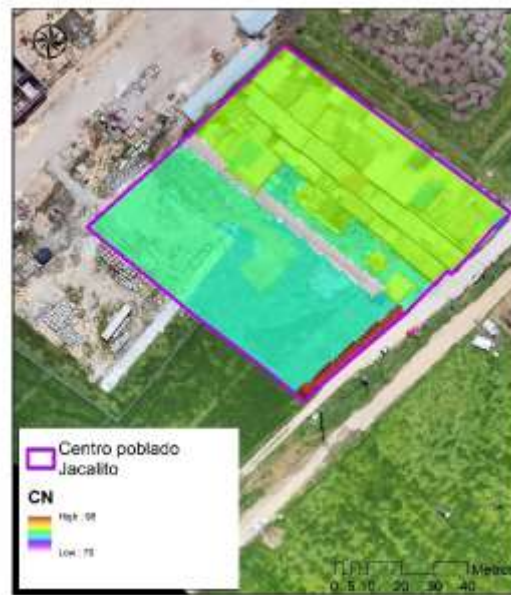
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 65 Número de Curva (CN) en el centro poblado Gratamira



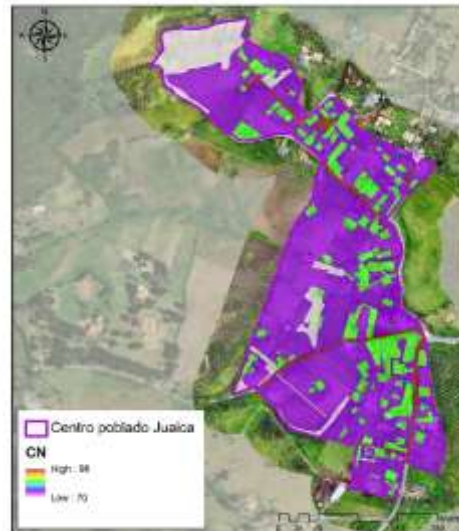
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 66 Número de Curva (CN) en el centro poblado Jacalito



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 67 Número de Curva (CN) en el centro poblado Juaica



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 68 Número de Curva (CN) en el centro poblado Los Pinos



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 69 Número de Curva (CN) en el centro poblado Pan de Azúcar



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 70 Número de Curva (CN) en el centro poblado Zoque



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Con los valores del número de curva se procedió a determinar la retención potencial máxima S así:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254$$

Donde
S está en milímetros y CN corresponde al número de curva

Gráfica 71 Retención Potencial máxima (S) en el suelo urbano y de expansión urbana del municipio de Tenjo



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 72 Retención Potencial máxima (S) en el suelo urbano y de expansión urbana de la Punta



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 73 Retención Potencial máxima (S) en el centro poblado Cascajera



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 74 Retención Potencial máxima (S) en el centro poblado El Palmar



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 75 Retención Potencial máxima (S) en el centro poblado Gratamira



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 76 Retención Potencial máxima (S) en el centro poblado Jacalito



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 77 Retención Potencial máxima (S) en el centro poblado Juaica



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 78 Retención Potencial máxima (S) en el centro poblado Los Pinos



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 79 Retención Potencial máxima (S) en el centro poblado Pan de Azúcar



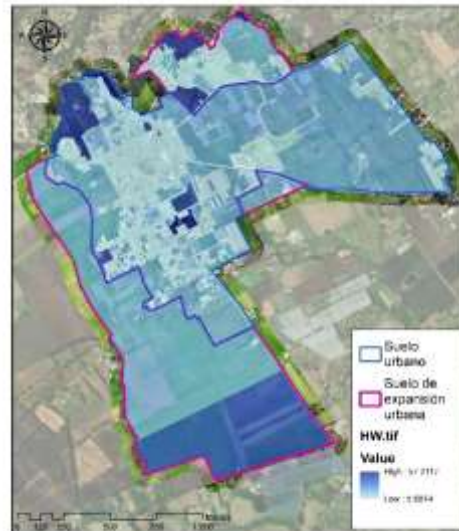
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 80 Retención Potencial máxima (S) en el centro poblado Zoque



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 81 Profundidad de la tabla de agua (HW) en el suelo urbano y de expansión urbana



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 82 Profundidad de la tabla de agua (HW) en el suelo urbano y de expansión urbana de la Punta



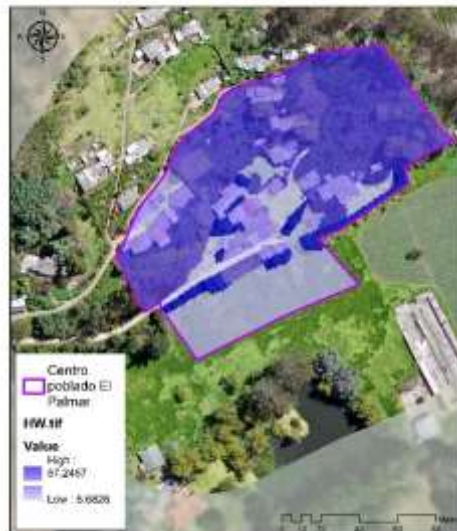
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 83 Profundidad de la tabla de agua (HW) en el centro poblado Cascajera



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 84 Profundidad de la tabla de agua (HW) en el centro poblado El Palmar



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 85 Profundidad de la tabla de agua (HW) en el centro poblado Gratamira



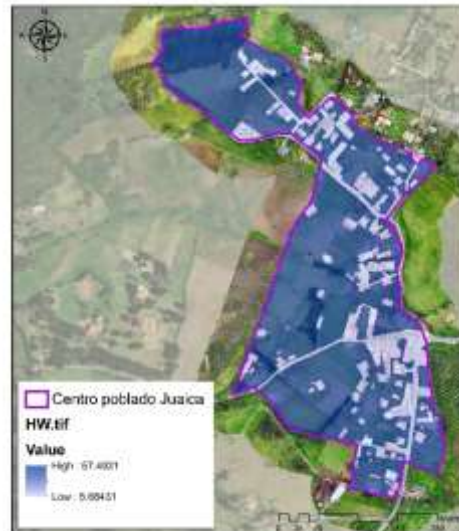
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 86 Profundidad de la tabla de agua (HW) en el centro poblado Jacalito



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 87 Profundidad de la tabla de agua (HW) en el centro poblado Juaica



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 88 Profundidad de la tabla de agua (HW) en el centro poblado Los Pinos



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 89 Profundidad de la tabla de agua (HW) en el centro poblado Pan de Azúcar



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 90 Profundidad de la tabla de agua (HW) en el centro poblado Zoque



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

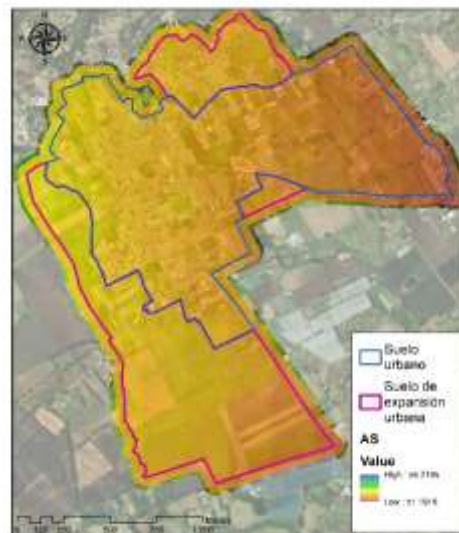
4.2.1.3.2 Aceleración sísmica

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

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

El coeficiente de aceleración sísmica fue generado a partir del mapa de amplificación sísmica de Colombia y corroborada con los coeficientes de amplificación sísmica publicados por la Asociación Ingeniería Sísmica en el 2009 en el documento metodológico del Servicio Geológico. A continuación, se presenta la aceleración sísmica para el suelo urbano, de expansión urbana y centros poblados del municipio de Tenjo.

Gráfica 91 Aceleración sísmica en el suelo urbano y de expansión urbana en el municipio de Tenjo



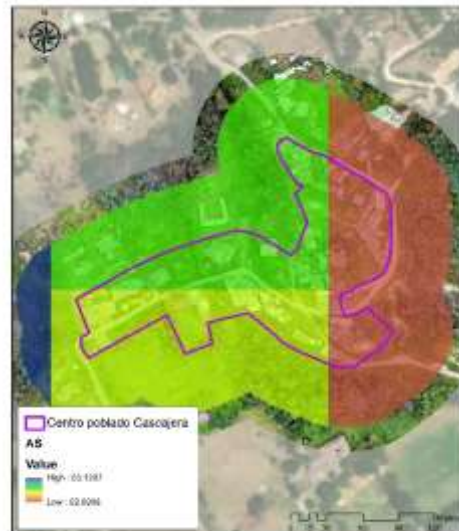
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 92 Aceleración sísmica en el suelo urbano y de expansión urbana de la Punta



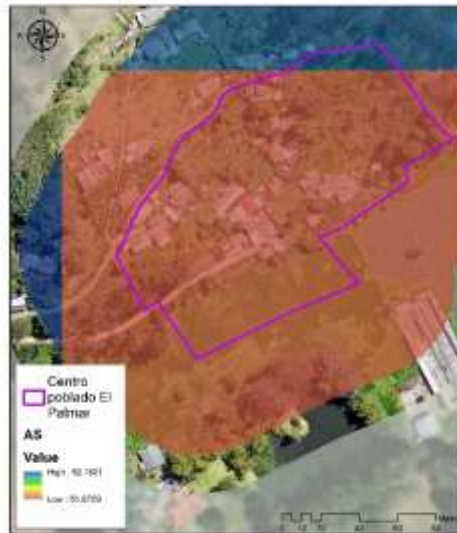
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 93 Aceleración sísmica en el centro poblado Cascajera



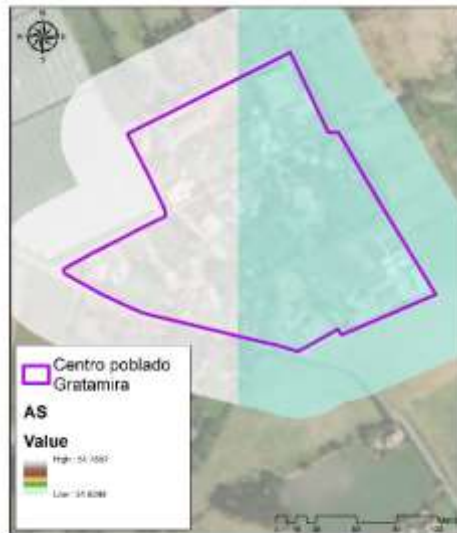
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 94 Aceleración sísmica en el centro poblado El Palmar



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 95 Aceleración sísmica en el centro poblado Gratamira



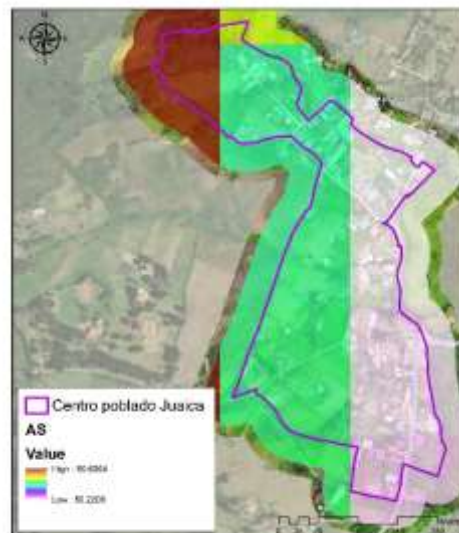
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 96 Aceleración sísmica en el centro poblado Jacalito



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 97 Aceleración sísmica en el centro poblado Juajica



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 98 Aceleración sísmica en el centro poblado Los Pinos



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 99 Aceleración sísmica en el centro poblado Pan de Azúcar



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 100 Aceleración sísmica en el centro poblado Zoque



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.2.2 Zonificación de la amenaza por movimientos en masa para el suelo urbano, de expansión urbana y centros poblados a escala 1:5.000

4.2.2.1 Zonificación de la amenaza por movimientos en masa en el suelo urbano y de expansión urbana

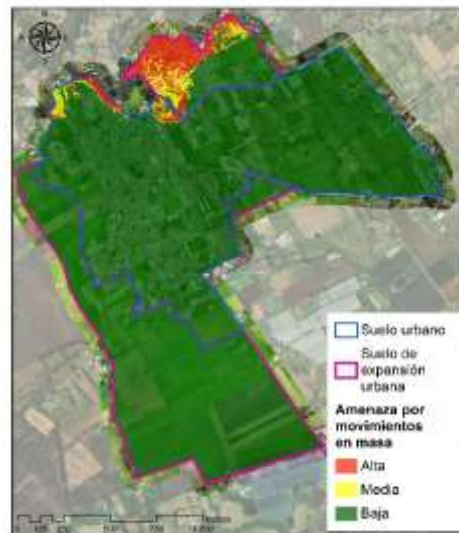
En el suelo urbano y de expansión urbana se presentan zonificaciones de amenaza alta, media y baja por movimientos en masa. A continuación, se presenta su distribución en área y espacial en el área de estudio.

Tabla 28 Categorización de la amenaza por movimientos en masa en el suelo urbano y de expansión urbana

RANGO FACTOR DE SEGURIDAD	CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA	Área (ha) Suelo urbano	(%) Suelo urbano	Área (ha) Expansión urbana	(%) Expansión urbana
>1.5	Baja	157.78	97.40	105.78	89.84
1.1 – 1.5	Media	2.00	1.23	3.87	3.29
<1.1	Alta	2.21	1.37	8.09	6.87
TOTAL		161.99	100	117.73	100

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 101 Amenaza por movimientos en masa en el suelo urbano y de expansión urbana



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.2.2.2 Zonificación de la amenaza por movimientos en masa en el suelo urbano y de expansión urbana de la Punta

En el suelo urbano y de expansión urbana de La Punta se presentan zonificaciones de amenaza alta, media y baja por movimientos en masa, Como se observa, la mayor área del sector con amenaza media y alta se encuentra en el área de expansión urbana de la Punta.

A continuación, se presenta su distribución en área y espacial en el área de estudio.

Tabla 29 Categorización de la amenaza por movimientos en masa en el suelo urbano y de expansión urbana de La Punta

RANGO FACTOR DE SEGURIDAD	CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA	Área (ha) Suelo urbano	(%) Suelo urbano	Área (ha) Expansión urbana	(%) Expansión urbana
>1.5	Baja	46.45	99.99	40.42	97.92
1.1 – 1.5	Media	0.00	0.00	0.30	0.72
<1.1	Alta	0.005	0.01	0.56	1.36
TOTAL		46.45	100	41.28	100.00

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 102 Amenaza por movimientos en masa en el suelo urbano y de expansión urbana de la Punta



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.2.2.3 Zonificación de la amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Cascajera

En el centro poblado Cascajera se presentan zonificaciones de amenaza alta, media y baja por movimientos en masa.

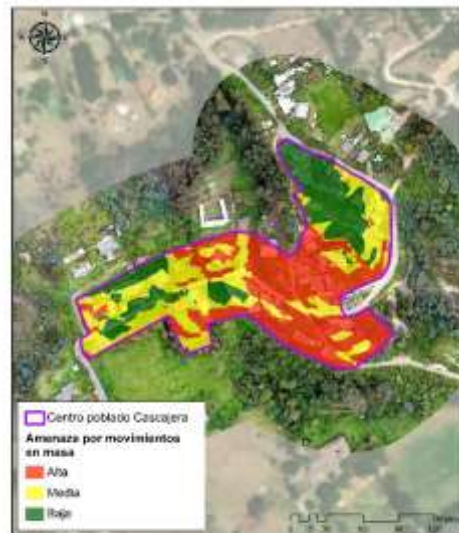
A continuación, se presenta su distribución en área y espacial en el área de estudio

Tabla 30 Categorización de la amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Cascajera

RANGO FACTOR DE SEGURIDAD	CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA	Área (ha)	(%)
>1.5	Baja	0.57	24.43
1.1 – 1.5	Media	0.78	33.32
<1.1	Alta	0.983	42.24
TOTAL		2.33	100

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 103 Amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Cascajera



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.2.2.4 Zonificación de la amenaza por movimientos en masa en el centro poblado El Palmar

En el centro poblado El Palmar se presentan zonificaciones de amenaza alta, media y baja por movimientos en masa. A continuación, se presenta su distribución en área y espacial en el área de estudio.

Tabla 31 Categorización de la amenaza por movimientos en masa en el centro poblado El Palmar

RANGO FACTOR DE SEGURIDAD	CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA	Área (ha)	(%)
>1.5	Baja	0.50	32.56
1.1 – 1.5	Media	0.60	38.58
<1.1	Alta	0.445	28.87
TOTAL		1.54	100

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 104 Amenaza por movimientos en masa en el centro poblado El Palmar



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.2.2.5 Zonificación de la amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Gratamira

Las 3.37 ha que conforman el centro poblado de Gratamira presentan una zonificación de amenaza baja por movimientos en masa. A continuación, se presenta su distribución espacial en el área de estudio.

Gráfica 105 Amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Gratamira



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.2.2.6 Zonificación de la amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Jacalito

Las 0.68 ha que conforman el centro poblado de Jacalito presentan una zonificación de amenaza baja por movimientos en masa. A a continuación, se presenta su distribución espacial en el área de estudio.

Gráfica 106 Amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Jacalito



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.2.2.7 Zonificación de la amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Juaica

En el centro poblado Juaica se presentan zonificaciones de amenaza alta, media y baja por movimientos en masa. A continuación, se presenta su distribución en área y espacial en el área de estudio.

Tabla 32 Categorización de la amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Juaica

RANGO FACTOR DE SEGURIDAD	CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA	Área (ha)	(%)
>1.5	Baja	15.93	89.16
1.1 – 1.5	Media	1.58	8.87
<1.1	Alta	0.352	1.97
TOTAL		17.87	100

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 107 Amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Juaica



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.2.2.8 Zonificación de la amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Los Pinos

En el centro poblado Los Pinos se presentan zonificaciones de amenaza alta, media y baja por movimientos en masa. A continuación, se presenta su distribución en área y espacial en el área de estudio.

Tabla 33 Categorización de la amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Los Pinos

RANGO FACTOR DE SEGURIDAD	CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA	Área (ha)	(%)
>1.5	Baja	0.38	70.49
1.1 – 1.5	Media	0.16	29.51
<1.1	Alta	0.00	0.00
TOTAL		0.54	100

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 108 Amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Los Pinos



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.2.2.9 Zonificación de la amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Pan de Azúcar

En el centro poblado Pan de Azúcar se presentan zonificaciones de amenaza alta, media y baja por movimientos en masa. A continuación, se presenta su distribución en área y espacial en el área de estudio.

Tabla 34 Categorización de la amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Pan de Azúcar

RANGO FACTOR DE SEGURIDAD	CATEGORIZACIÓN DE LA AMENAZA	Área (ha)	(%)
>1.5	Baja	1.55	52.87
1.1 – 1.5	Media	0.22	7.62
<1.1	Alta	1.155	39.51
TOTAL		2.92	100

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 109 Amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Pan de Azúcar



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.2.2.10 Zonificación de la amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Zoque

Las 1.06 hectáreas que conforman el centro poblado de Zoque presentan una zonificación de amenaza baja por movimientos en masa. A continuación, se presenta su distribución espacial en el área de estudio.

Gráfica 110 Amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Zoque



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.2.3 Áreas con condición de amenaza y riesgo por movimientos en masa

Según lo establecido en el Artículo 2.2.2.1.3.1.3 del Decreto 1077 de 2015, indica que para la revisión de los planes de ordenamiento territorial o la expedición de nuevos planes, se deben elaborar estudios básicos en los suelos urbanos, de expansión urbana para los fenómenos de inundación, avenidas torrenciales y movimientos en masa, los cuales deberán contener:

- La delimitación y zonificación de las áreas de amenaza.
- *La delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza en las que se requiere adelantar los estudios detallados a que se refiere el siguiente artículo.*
- *La delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo en las que se requiere adelantar los estudios detallados a que se refiere el siguiente artículo.*
- La determinación de las medidas de intervención, orientadas a establecer restricciones y condicionamientos mediante la determinación de normas urbanísticas.

4.2.3.1 Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa

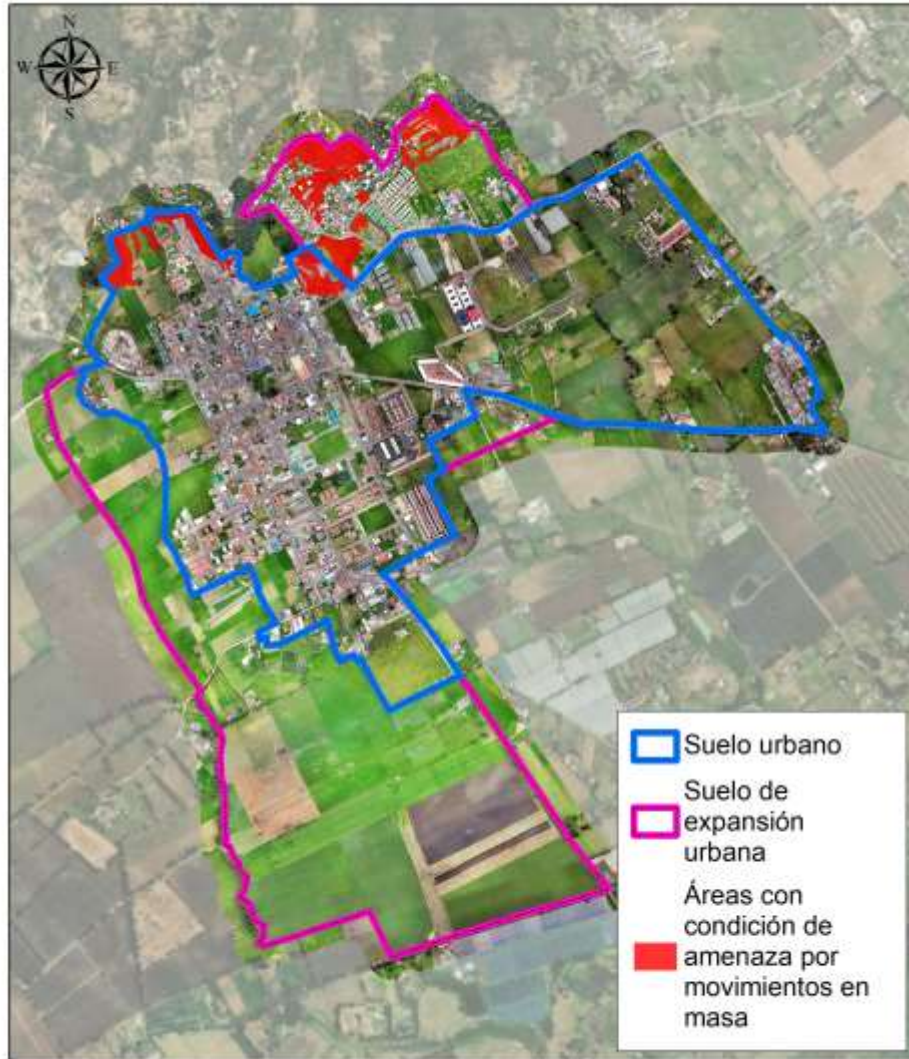
Con fundamento en la delimitación y zonificación de amenazas aquí presentadas, se delimitan y zonifican aquellas áreas sin ocupar del suelo urbano, de expansión urbana, o centros poblados rurales. La identificación de estas áreas se realizará a partir del análisis de las áreas zonificadas como de amenaza media y alta sin ocupar en los estudios básicos con aquellas que se consideren como objeto de desarrollo.

Dadas las condiciones técnicas, a continuación, se presentan las áreas con condición de amenaza por movimientos en masa identificadas para el suelo urbano, de expansión urbana y centros poblados del municipio de Tenjo.

4.2.3.1.1 Áreas con condición de amenaza en el suelo urbano y de expansión urbana

En el suelo urbano se tiene un total de 3.51 hectáreas y en el suelo de expansión urbana se tiene un total de 6.27 hectáreas con condición de amenaza por movimientos en masa. A continuación, se presenta su distribución espacial en el área de estudio.

Gráfica 111 Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en el suelo urbano y de expansión urbana del municipio de Tenjo



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.2.3.1.2 Áreas con condición de amenaza en el suelo urbano y de expansión urbana de La Punta

En el sector de la Punta el suelo urbano tiene un total de 0.00249 hectáreas y el suelo de expansión urbana se tiene un total de 0.75 hectáreas con condición de amenaza por movimientos en masa. A continuación, se presenta su distribución espacial en el área de estudio.

Gráfica 112 Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en el suelo urbano y de expansión urbana de La Punta

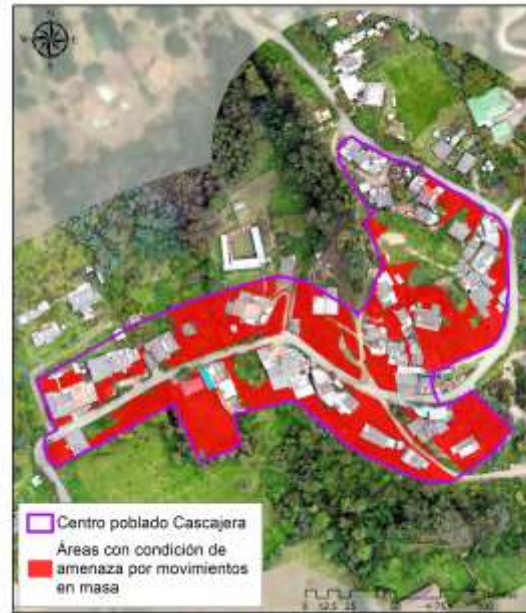


Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.2.3.1.3 Áreas con condición de amenaza en el centro poblado Cascajera

En el centro poblado Cascajera se tiene un total de 0.99 hectáreas con condición de amenaza por movimientos en masa. A continuación, se presenta su distribución espacial en el área de estudio.

Gráfica 113 Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Cascajera



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.2.3.1.4 Áreas con condición de amenaza en el centro poblado El Palmar

En el centro poblado El Palmar se tiene un total de 0.86 hectáreas con condición de amenaza por movimientos en masa. A continuación, se presenta su distribución espacial en el área de estudio.

Gráfica 114 Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en el centro poblado El Palmar

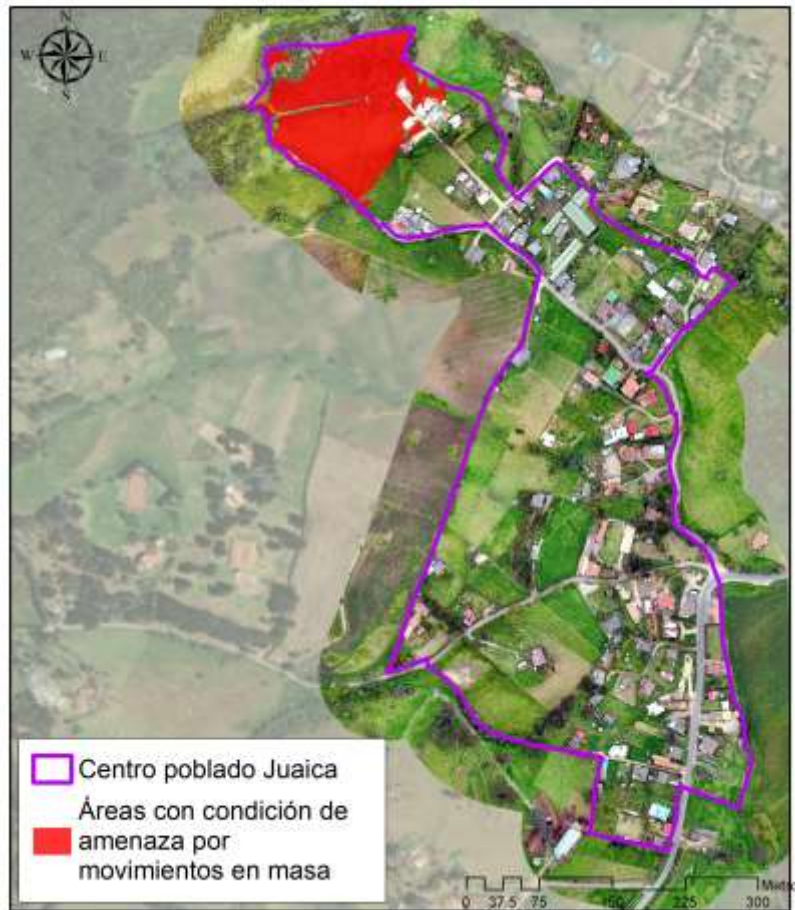


Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.2.3.1.5 Áreas con condición de amenaza en el centro poblado Juaica

En el centro poblado Juaica se tiene un total de 1.82 hectáreas con condición de amenaza por movimientos en masa. A continuación, se presenta su distribución espacial en el área de estudio.

Gráfica 115 Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Juaica



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.2.3.1.6 Áreas con condición de amenaza en el centro poblado Los Pinos

En el centro poblado Los Pinos se tiene un total de 0.074 hectáreas con condición de amenaza por movimientos en masa. A continuación, se presenta su distribución espacial en el área de estudio.

Gráfica 116 Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Los Pinos



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.2.3.1.7 Áreas con condición de amenaza en el centro poblado Pan de Azúcar

En el centro poblado Pan de Azúcar se tiene un total de 0.92 hectáreas con condición de amenaza por movimientos en masa. A continuación, se presenta su distribución espacial en el área de estudio.

Gráfica 117 Áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en el centro poblado Pan de Azúcar



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.2.3.2 Áreas con condición de riesgo

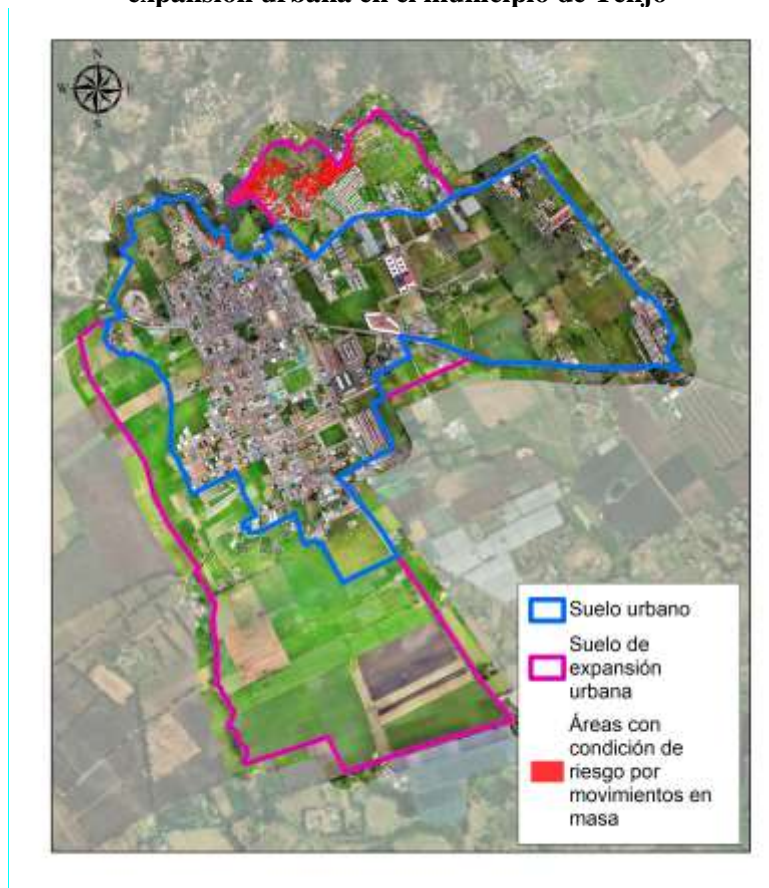
La identificación de las áreas con condición de riesgo se realizó a partir del análisis de las áreas zonificadas como de amenaza alta en los estudios básicos, con la información cartográfica (predial o catastral, entre otras) disponible que permitió identificar la existencia de elementos expuestos, de áreas urbanizadas, ocupadas o edificadas; así como de aquellas en las que se encuentren edificaciones indispensables y líneas vitales.

Dadas las condiciones técnicas, a continuación, se presentan las áreas con condición de riesgo identificadas para el suelo urbano, de expansión urbana y centros poblados del municipio de Tenjo.

4.2.3.2.1 Áreas con condición de riesgo en el suelo urbano y de expansión urbana

En el suelo urbano se tiene un total de 0.36 hectáreas y en el suelo de expansión urbana se tiene un total de 3.78 hectáreas con condición de riesgo por movimientos en masa. A continuación, se presenta su distribución espacial en el área de estudio.

Gráfica 118 Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en el suelo urbano y de expansión urbana en el municipio de Tenjo



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.2.3.2.2 Áreas con condición de riesgo en el suelo urbano y de expansión urbana de La Punta

En el suelo urbano se tiene un total de 0.0024 hectáreas y en el suelo de expansión urbana se tiene un total de 0.0263 hectáreas con condición de riesgo por movimientos en masa. A continuación, se presenta su distribución espacial en el área de estudio.

Gráfica 119 Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en el suelo urbano y de expansión urbana de La Punta

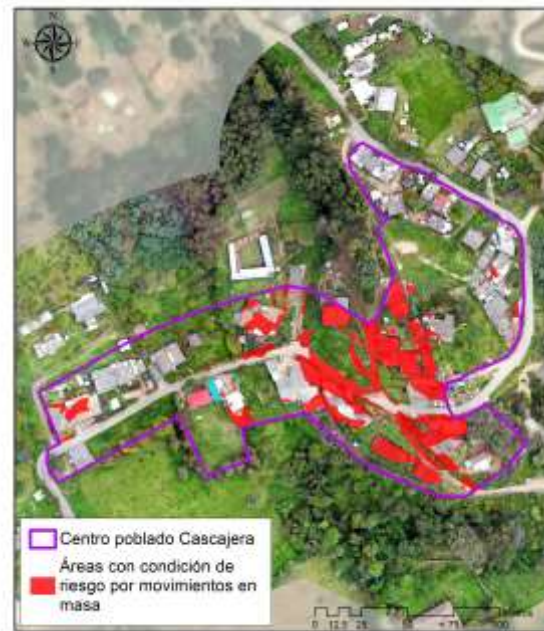


Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.2.3.2.3 Áreas con condición de riesgo en el centro poblado Cascajera

En el centro poblado Cascajera se tiene un total de 0.37 hectáreas con condición de riesgo por movimientos en masa. A continuación, se presenta su distribución espacial en el área de estudio.

Gráfica 120 Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en el centro poblado Cascajera



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.2.3.2.4 Áreas con condición de riesgo en el centro poblado El Palmar

En el centro poblado El Palmar se tiene un total de 0.027 hectáreas con condición de riesgo por movimientos en masa. A continuación, se presenta su distribución espacial en el área de estudio.

Gráfica 121 Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en el centro poblado El Palmar



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.2.3.2.5 Áreas con condición de riesgo en el centro poblado Juaica

En el centro poblado Juica se tiene un total de 0.014 hectáreas con condición de riesgo por movimientos en masa. A continuación, se presenta su distribución espacial en el área de estudio.

Gráfica 122 Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en el centro poblado Juaica



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.2.3.2.6 Áreas con condición de riesgo en el centro poblado Pan de Azúcar

En el centro poblado Pan de Azúcar se tiene un total de 0.31 hectáreas con condición de riesgo por movimientos en masa. A continuación, se presenta su distribución espacial en el área de estudio.

Gráfica 123 Áreas con condición de riesgo por movimientos en masa en el centro poblado Pan de Azúcar





Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021



4.2.4 Áreas de amenaza media ocupadas en suelo urbano y centros poblados

Las áreas de amenaza media en áreas urbanizadas se identificaron a partir de la foto interpretación de los ortofotomosaicos tomados en el área urbana, expansión urbana y centros poblados. Las áreas ocupadas corresponden a viviendas o infraestructura vial en el perímetro de dichos suelos.

Tabla 35 Áreas de amenaza media ocupadas por movimientos en masa en suelo urbano y centros poblados

Tipo de suelo	Mapa	Área (ha)
Suelo urbano y expansión urbano		2.22
Suelo urbano y expansión urbana (La Punta)		0,08

Tipo de suelo	Mapa	Área (ha)
CP Casajera	 <p>Mapa aéreo del centro poblado Casajera. El área de amenaza media está delimitada por una línea morada y las áreas ocupadas están sombreadas en amarillo. El mapa incluye una leyenda que indica: 'Centro poblado Casajera' (línea morada) y 'AMENAZAMEDIA_MM_OCUPADA' (área amarilla). También se muestra una escala y una brújula.</p>	0.38
CP El Palmar	 <p>Mapa aéreo del centro poblado El Palmar. El área de amenaza media está delimitada por una línea morada y las áreas ocupadas están sombreadas en amarillo. El mapa incluye una leyenda que indica: 'Centro poblado El Palmar' (línea morada) y 'AMENAZAMEDIA_MM_OCUPADA' (área amarilla). También se muestra una escala y una brújula.</p>	0.15
CP Los Pinos	 <p>Mapa aéreo del centro poblado Los Pinos. El área de amenaza media está delimitada por una línea morada y las áreas ocupadas están sombreadas en amarillo. El mapa incluye una leyenda que indica: 'Centro poblado Los Pinos' (línea morada) y 'AMENAZAMEDIA_MM_OCUPADA' (área amarilla). También se muestra una escala y una brújula.</p>	0.085

Tipo de suelo	Mapa	Área (ha)
CP Juaica	 <p>Mapa de CP Juaica. El mapa muestra un centro poblado delimitado por una línea morada y una zona amenazada por inundaciones (AMENAZAMEDIA_MM_OCUPADA) delimitada por una línea amarilla. Incluye una escala y una brújula.</p>	0.097
CP Pan de Azúcar	 <p>Mapa de CP Pan de Azúcar. El mapa muestra un centro poblado delimitado por una línea morada y una zona amenazada por inundaciones (AMENAZAMEDIA_MM_OCUPADA) delimitada por una línea amarilla. Incluye una escala y una brújula.</p>	0.13

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.3 Estudio básico de la amenaza por inundaciones en suelo rural a escala 1:25.000

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 2019).

Los procesos de inundación se manifiestan en extensas zonas del territorio colombiano. No obstante, la ocupación indiscriminada de las áreas ribereñas de los principales ríos y quebradas, con las intervenciones en las márgenes de estos drenajes; así como el crecimiento de las poblaciones con las actividades socioeconómicas asociadas han acentuado los efectos negativos que ocasionan los incrementos periódicos en los niveles de los ríos, siendo ésta una condición propia de la dinámica hidrológica correspondiente a épocas de aguas altas y aguas bajas así como la transición entre estos dos estados (IDEAM 2017).

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, en Colombia el ejemplo más claro es la región de la Mojana.

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.

De una forma más técnica, existen tres tipos de inundaciones: Naturales, Inducidas y Antrópicas. Las inundaciones naturales son básicamente de dos tipos: terrestres, las cuales se presentan cuando las aguas dulces anegan territorios del interior de los continentes; y litorales o costeras, en las que las aguas marinas o lacustre-palustres invaden los sectores limítrofes con el dominio terrestre.

Tabla 36 Tipos de inundación

TIPOS DE INUNDACIONES	NATURALES	TERRESTRES	Vinculadas a la red fluvial	Torrenciales	Crecientes súbitas
				Crecientes lentas	Aumento lento del nivel del agua
			Rotura de presas naturales	Lagos, represamientos naturales	
			Obstrucción de cauces	Movimientos del terreno	
		No vinculadas a la red fluvial	Endorreismo	Precipitación in situ, aportes a lagos	
			Hidrogeológicas	Surgencias, variaciones del nivel freático	
	LITORALES	Mareales			
		Olas y ondas			
	INDUCIDAS	Obstáculos al flujo, impermeabilizaciones del suelo, deforestación			
	ANTRÓPICAS	Gestión inadecuada de obras hidráulicas		Desembalses	
Roturas y fugas		Almacenamientos, conducciones			

Fuente: IDEAM, 2017

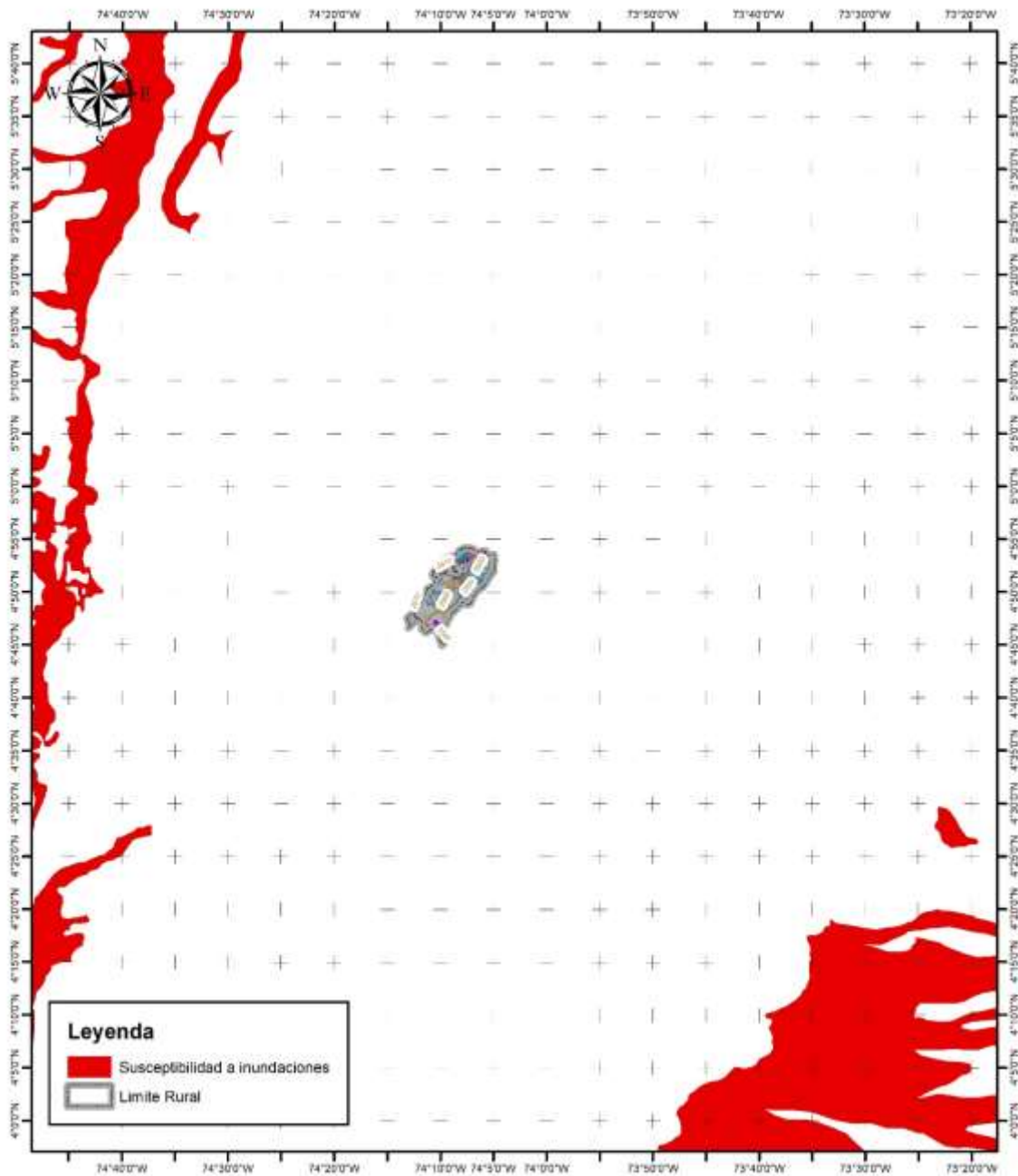
El origen de las inundaciones terrestres, las cuales son las más probables en el municipio de Tenjo puede ser debido al desbordamiento de corrientes fluviales o bien por el encharcamiento de zonas planas o endorreicas sin vinculación con la red fluvial, además se atribuye el origen de dichas inundaciones a intervenciones en el vallado del Distrito de Adecuación de Tierras del municipio de Tenjo, lo cual produce que en épocas de altas precipitaciones, se desborde el caudal, originando inundaciones o encharcamientos aledaños a dichos vallados.



4.3.1 Antecedentes

Para el municipio de Tenjo, como se expuso en el numeral 2.3 se tiene que existen diversas fuentes de información que exponen la problemática que posee el municipio en cuanto a la amenaza por inundación. A nivel nacional se tienen los mapas de Zonas Susceptibles a Inundaciones, el cual fue realizado a escala 1:500.000 en el año 2010. En este indica el tipo de inundación (lenta o súbita) y los límites externos para un evento extremo, elaborado por la superposición de áreas potencialmente inundables y los usos del suelo u otros parámetros que representen daño potencial. En este insumo, el municipio de Tenjo no presenta ninguna susceptibilidad a este tipo de evento, posiblemente por el uso de una escala menor .

Gráfica 124 Mapa de susceptibilidad a inundación a escala 1:500.000

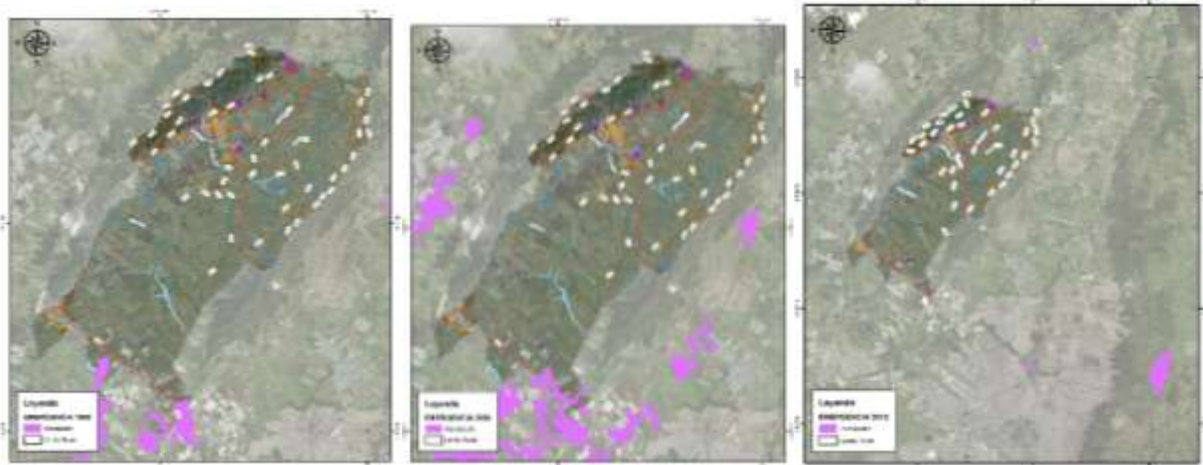


Fuente: IDEAM, 2010

También se obtuvo la información de Eventos de Inundación, los cuales están basados en eventos recientes o pasados, cuya información del evento puede ser obtenida de varios tipos de fuentes, tales como documentos históricos o imágenes de satélite debidamente interpretadas y verificadas. Dichos mapas incluyen límites de la inundación, nivel de inundación registrado, caudales, profundidades y secciones

transversales. Se utilizaron las Manchas de Inundación a escala 1:100.000 de fenómeno de la niña de los años 1988, 2000 y 2012 en los cuales se observa una afectación en el sector sur del municipio.

Gráfica 125 Mapas de manchas de inundación del Fenómeno de La Niña



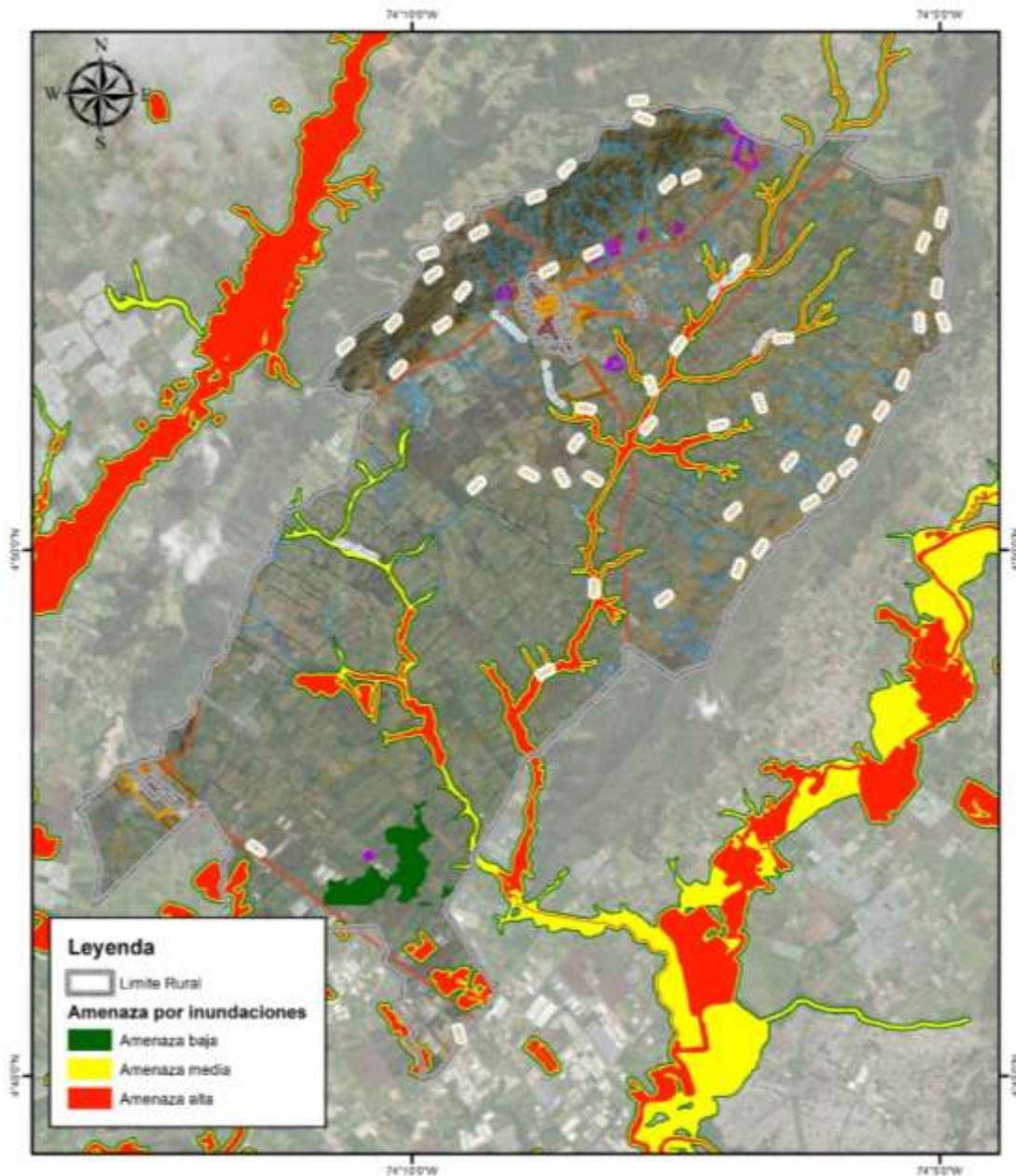
Fuente: IDEAM , 2012

4.3.2 Zonificación de la amenaza por inundaciones del POMCA del Río Bogotá

En la zonificación de la amenaza por inundaciones en el POMCA del Río Bogotá se empleó la metodología establecida en el Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los POMCA (Minambiente, Fondo Adaptación, 2014). Esta emplea un análisis de eventos históricos a partir de registro de bases de datos secundarias, un estudio evolutivo del medio fluvial mediante el uso de imágenes satelitales, el trabajo de campo con comunidades de la zona y un análisis geomorfológico para la zonificación de la susceptibilidad a inundaciones en tres categorías: alta, media y baja. Posteriormente en las zonas definidas con susceptibilidad media y baja, se zonificó la amenaza por inundaciones a partir del método geomorfológico-histórico, puesto que no se contaba con información topográfica, ni batimétrica detallada (CAR, 2019).

Las zonas definidas con amenaza alta, localizadas alrededor del Río Chicú, la Quebrada La Chucua y el Humedal San José, corresponden a geoformas asociadas a procesos activos con evidencias efímeras de inundaciones o de procesos erosivos; además de evidencias de inundaciones recientes o actividad fluvial reiterada, identificada en el análisis multitemporal y de eventos históricos con recurrencias menores o iguales a 15 años (CAR, 2019). Las zonas de amenaza media corresponden a geoformas asociadas a procesos intermitentes, principalmente terrazas, que además cuentan con eventos históricos con una recurrencia mayor de 15 años y hasta 100 años (CAR, 2019).

Gráfica 126 Amenaza por inundaciones para suelo rural de Tenjo – POMCA Río Bogotá



Fuente: (CAR, 2019)

Es importante mencionar que si bien la metodología empleada en la zonificación de la amenaza por inundaciones en el POMCA del Río Bogotá cumple con lo requerido en el Decreto 1077 de 2015, en el presente estudio se realizó una nueva delimitación geomorfológica, al contar con un Modelo Digital de Terreno a una escala más detalladas (1:10.000), un registro de humedales, cuerpos de agua artificiales y vallados presentes en el municipio. Lo anterior permitió dar un mejor detalle de las geformas presentes en el municipio de Tenjo. Sumado a lo anterior, se actualizó el registro de eventos históricos, por lo cual no se empleará esta zonificación para la definición de zonas de amenaza por inundaciones en el suelo rural del municipio de Tenjo. En todo caso, sí se empleará para validar el modelo generado en el presente estudio.



4.3.3 Insumos generales

En el análisis geomorfológico y de susceptibilidad a inundaciones para el municipio de Tenjo, se emplearon insumos a una escala de mayor detalle (1:10.000), los cuales permitieron tener un mayor acercamiento a la realidad del territorio. A continuación se describen dichos insumos generales:

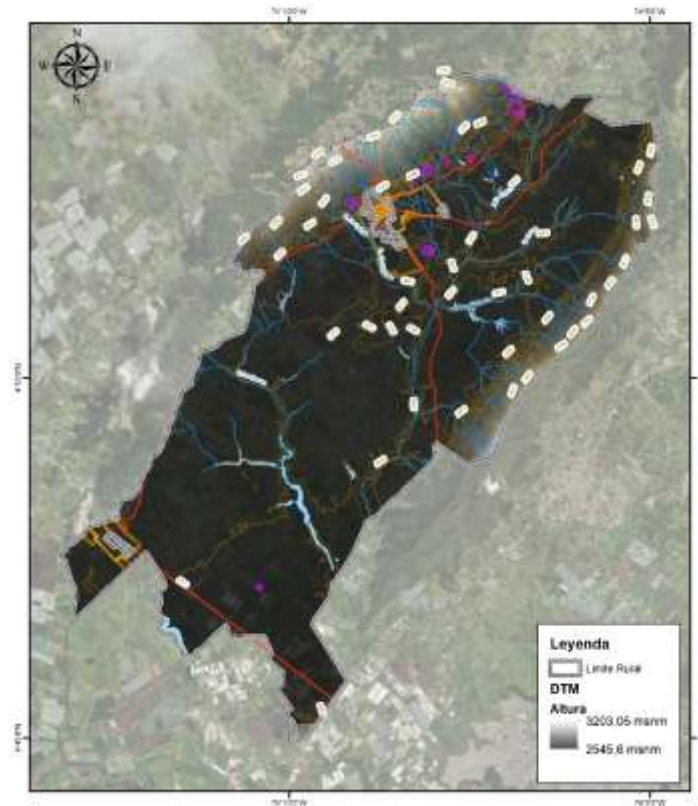
4.3.3.1 Modelo Digital del Terreno (DTM)

El Modelo Digital del Terreno (DTM) puede describirse como una representación tridimensional de una superficie del terreno consistente en coordenadas X, Y, Z almacenadas en forma digital. Incluye no sólo alturas y elevaciones, sino también otros elementos geográficos y características naturales como ríos, líneas de crestas, etc.

Estos archivos tipo raster son de gran importancia, ya que simbolizan matemática y visualmente los datos y valores de las alturas mediante un conjunto de cotas que toman como base el nivel medio del mar. Del procesamiento de la información contenida en este insumo, se obtuvieron diferentes parámetros morfométricos y geométricos como pendientes y orientaciones, los cuales permitieron realizar caracterizaciones y cuantificaciones del relieve más certeras.

Para el presente caso de estudio, se utilizó un DTM con resolución horizontal o detalle mínimo de pixel de 5 metros, el cual como se ha mencionado anteriormente permitió un mayor detalle de las geoformas del terreno. Este modelo fue generado a partir de la cartografía base entregada por el IGAC a escala 1:10.000 del año 2017.

Gráfica 127 Modelo Digital del Terreno para el municipio de Tenjo

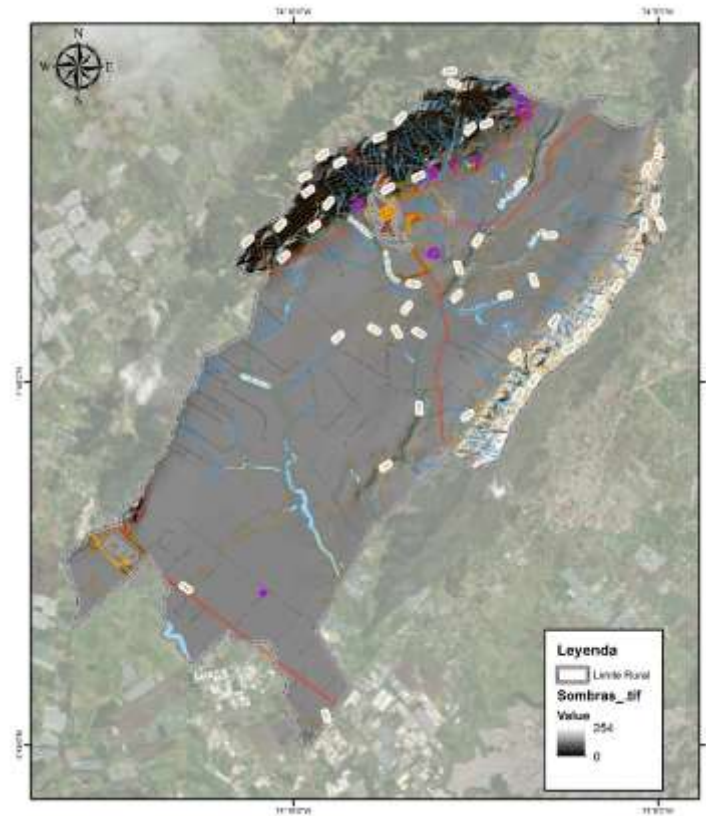


Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.3.3.2 Modelo de sombras

A partir del Modelo Digital del Terreno se obtuvo la capa correspondiente al mapa de pendientes, de donde se obtiene el ángulo de inclinación para cada una de las celdas del área de estudio, dicho insumo se usó como indicador de la inclinación de los taludes que conforman las áreas de interés. Este insumo se encuentra a escala 1:10.000.

Gráfica 128 Modelo de sombras para el municipio de Tenjo

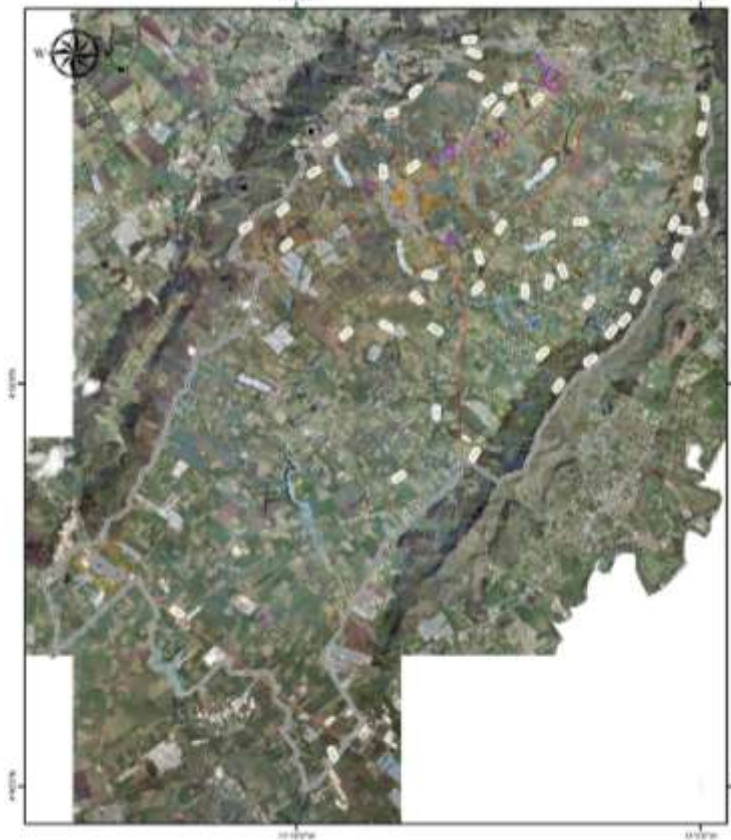


Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.3.3.3 Imagen satelital

En el presente estudio se empleó una imagen satelital entregada por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi en el año 2010, con una resolución de tamaño de pixel de 0,5 metros. Esta imagen ofreció un mayor detalle de las geoformas presentes en el municipio. Su temporalidad es técnicamente sustentable puesto que el proceso de cambio de una geoforma requiere un plazo temporal más amplio para observar una variación significativa. Igualmente, esta imagen fue contrastada con la imagen satelital del repositorio de ArcGis, permitiendo tener una temporalidad más reciente en algunos sectores.

Gráfica 129 Imagen Satelital para el municipio de Tenjo



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

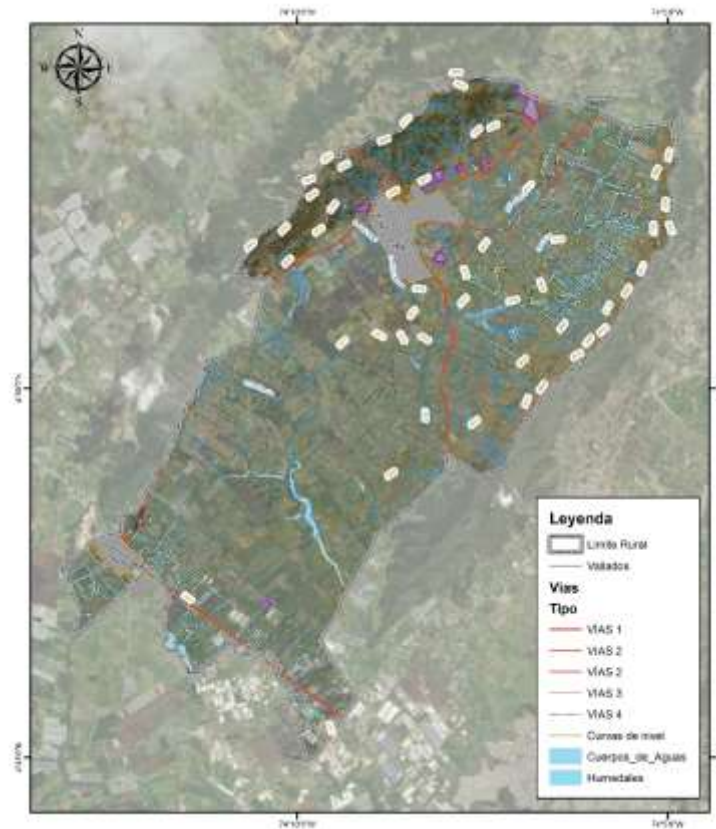
4.3.3.4 Cartografía base

La cartografía base empleada en este análisis fue la entregada por el IGAC en el año 2017 a escala 1:10.000, para las planchas 227IIB3, 227IIB4, 227IIC4, 227IID1, 227IID2, 227IID3, 227IID4 y 227IVB1, las cuales contienen la siguiente información de interés en el análisis de la amenaza por inundaciones:

- Canal sencillo
- Canal doble
- Drenaje doble
- Drenaje sencillo
- Humedal

Igualmente se contó con un inventario de los vallados que hacen parte del Distrito de Adecuación de Tierras ubicado en el municipio de Tenjo. Este inventario es de vital importancia, puesto que permitió definir las geoformas asociadas a dicha infraestructura, lo cual acorde a lo manifestado por la comunidad en jornadas de talleres, presenta encharcamientos o inundaciones en épocas de altas precipitaciones.

Gráfica 130 Vallados presentes en el municipio de Tenjo



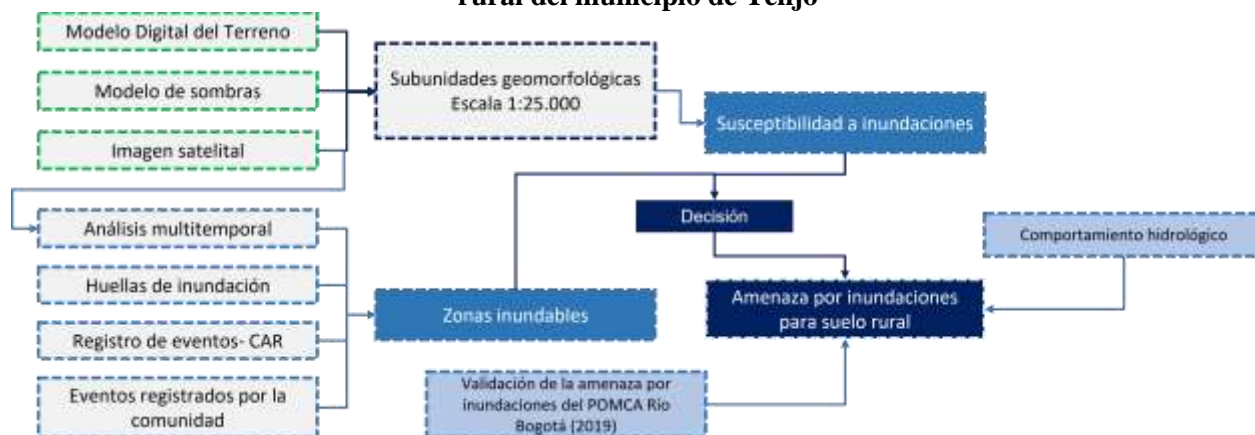
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.3.4 Descripción metodológica

Para la zonificación de la amenaza por inundaciones en el suelo rural se usó el método geomorfológico – histórico, el cual partió del análisis del Modelo Digital del Terreno y del modelo de sombras a escala 1:10.000 junto con imágenes satelitales del municipio (Google Earth y una imagen satelital con tamaño de pixel 0.5) para la definición de las geoformas presentes en el municipio de Tenjo. El análisis geomorfológico tuvo en cuenta principalmente el origen de las subunidades geomorfológicas para definir la susceptibilidad a inundaciones de dichas geoformas.

Posteriormente, se empleó un análisis multitemporal, a partir del registro de huellas de inundación del fenómenos de la Niña de los años 1988, 2000, 2011 y 2012, el registro de eventos históricos reportado por la CAR y las inundaciones manifestadas por la comunidad en el trabajo participativo con la misma, para la definición de las zonas o puntos críticos inundables en el municipio de Tenjo. A partir de la definición de dichas zonas y el mapa de susceptibilidad a inundaciones, se generó una matriz de decisión para así definir las zonas de amenaza alta, media y baja en el municipio. Dichas zonas fueron contrastadas y validadas con la zonificación de la amenaza generada en el POMCA del Río Bogotá. Finalmente, mediante un análisis de eventos máximos de precipitaciones y de picos de caudales se definió la temporalidad anual de la ocurrencia de dichas inundaciones.

Gráfica 131 Esquema metodológico para la zonificación de la amenaza por inundaciones en suelo rural del municipio de Tenjo



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.3.5 Precipitaciones

Las mayores concentraciones de precipitaciones se encuentran en los sectores de cerros orientales y en la cuenca del río Calandaima especialmente en el municipio El Colegio, donde se alcanzan valores máximos de 1500 mm al año. De allí hacía la desembocadura sobre el río Magdalena la precipitación disminuye gradualmente hasta alcanzar valores cercanos a 1150 mm/año. Valores de precipitación intermedia se presentan en el municipio de Facatativá donde la precipitación anual varía entre 1100 y 1200 mm por año. Las zonas con menor cantidad de lluvia se ubican en la zona plana de la cuenca del río Balsillas con valores de 600 mm a 700 mm, en la cuenca alta los municipios de Suesca, Nemocón, Tabio, Cajicá y Sopó tienen una precipitación total de aproximadamente 800 mm al año; y en los municipios de Madrid, Mosquera y Bojacá (CAR, 2019).

4.3.5.1 Distribución temporal

La distribución de la precipitación en la cuenca del río Bogotá varía a nivel mensual. El rango máximo de variabilidad encontrado es de 234 mm/mes y el mínimo 14 mm/mes. En los meses de diciembre a febrero se presenta la distribución más uniforme en la cuenca. La mayor parte de las cuencas media y alta presentan un rango de precipitación de 14 a 58 mm/mes, y en la cuenca baja la precipitación oscila entre 58 y 146 mm/mes. En el mes de marzo se presenta un incremento en la precipitación en toda la cuenca del río Bogotá, sin embargo, esta se mantiene en general bajo 146 mm/mes (CAR, 2019).

En los meses de abril y mayo se produce un incremento en la precipitación de forma sectorizada en los cerros orientales, la zona alta del río Tunjuelo y el extremo sur occidental de la cuenca. Las zonas de mayor precipitación fluctúan entre 146 y 190 mm/mes, excepto el municipio de Girardot en el mes de abril, donde alcanzan valores entre 190 y 234 mm/mes (CAR, 2019).

En los meses de junio a agosto se presenta un descenso generalizado en la magnitud de la precipitación. La mayor parte de la cuenca recibe menos de 58 mm/mes, el sector de los cerros orientales mantiene valores similares a la precipitación producida en los meses de abril y mayo. El mes de septiembre aumenta la precipitación en toda la cuenca (58-102 mm/mes), con mayor intensidad en el extremo suroccidente donde

alcanza valores entre 102 y 146 mm/mes; sin embargo, en el sector de los cerros occidentales la magnitud de la precipitación disminuye hasta alcanzar valores entre 58-102 mm/mes (CAR, 2019).

Los meses de octubre y noviembre presentan un aumento sectorizado de la precipitación en la cuenca media, especialmente en el sector oriental de la cuenca y la ciudad de Bogotá. En la cuenca baja el aumento fue especialmente importante en la cuenca del río Calandaima y el río Apulo (CAR, 2019).

Igualmente, se observan bajos valores de lluvia durante los meses de enero, febrero, junio, julio, agosto, septiembre y diciembre y valores altos de precipitación durante los meses de marzo, abril, mayo, octubre y noviembre. Esta tendencia representa claramente el régimen bimodal de precipitación que se presenta en la cuenca (CAR, 2019).

4.3.6 Hidrología

La caracterización hidrológica de la cuenca del río Bogotá se realizó a partir de la consulta de registros históricos de caudales en estaciones hidrológicas de la cuenca, de registros de concesiones de aguas superficiales otorgados por las Corporaciones Autónomas Regionales, que tienen jurisdicción en la cuenca, del análisis del censo de usuarios de la CAR y a partir de la consulta de fuentes de información secundaria, particularmente del análisis de los módulos de consumo de agua por diferentes sectores (CAR, 2019).

Los caudales ambientales suponen obtener un valor de caudal ambiental para cada microcuenca, representativo para todo el periodo de registro considerando, tanto año seco, como año húmedo. El resultado indica que para periodos lluviosos (año húmedo) la oferta hídrica aprovechable será mayor que para los periodos de verano (año seco), pero en ninguna de los dos estados en que se encuentre el régimen de caudal (debido al comportamiento climatológico) se deberá superar un consumo tal que disminuya los valores de caudal por debajo del aquí estimado en las corrientes principales de las microcuencas hidrográficas. Para este caso y debido a la incertidumbre que representa un registro histórico disponible tan corto, se decidió tomar el valor de Q₈₅ de la CDC en cada microcuenca hidrográfica. Los valores de Q₈₅ por microcuenca se determinaron por métodos simples de espacialización de la curva de duración (CAR, 2019).

Tabla 37 Caudales ambientales por microcuenca

No.	Código Microcuenca	Nombre Subcuenca	Caudal Ambiental (m ³ /s)	Área (ha)
95	21201901	Río Chicú	0,070	2725,46
96	21201902	Río Chicú	0,131	7328,78
97	21201903	Río Chicú	0,064	3969,17

Fuente: (CAR, 2019)

Tabla 38 Caudales ambientales por subcuenca

Nombre	Código	Caudal Ambiental (m ³ /s)	Área (ha)
Río Chicú	2120-19	0,265	14023,41

Fuente: (CAR, 2019)

4.3.7 Zonificación de la susceptibilidad a inundaciones

La zonificación de la susceptibilidad a inundaciones contempla la pre disposición del terreno a que se presente este tipo de evento amenazante, por lo cual se tiene en cuenta principalmente un análisis geomorfológico acorde con la metodología establecida por Carvajal (2012), la cual en la definición de las geoformas tiene en cuenta el material del depósito, su morfogénesis, pendientes y contrastes morfológicos (rugosidad, curvatura, etc.) (Carvajal, J, 2012).

La definición de las subunidades geomorfológicas partió de las definidas en el POMCA del Río Bogotá y se refinó con una cartografía base a mayor detalle (1:10.000). Igualmente se integraron las geoformas de origen antrópico generadas por los vallados del Distrito de Adecuación de Tierras presente en el municipio de Tenjo, teniendo en cuenta la importancia de dicho sistema en la ocurrencia de las inundaciones.

El análisis geomorfológico se centró en las geoformas generadas a lo largo de un sistema fluvial, resultado de los procesos erosivos y de acumulación que varían en función de su pendiente, caudal y carga de sedimentos. Estas geoformas permitieron caracterizar los procesos morfodinámicos dominantes en los fenómenos de inundación, de acuerdo con las características texturales y geométricas intrínsecas de las geoformas.

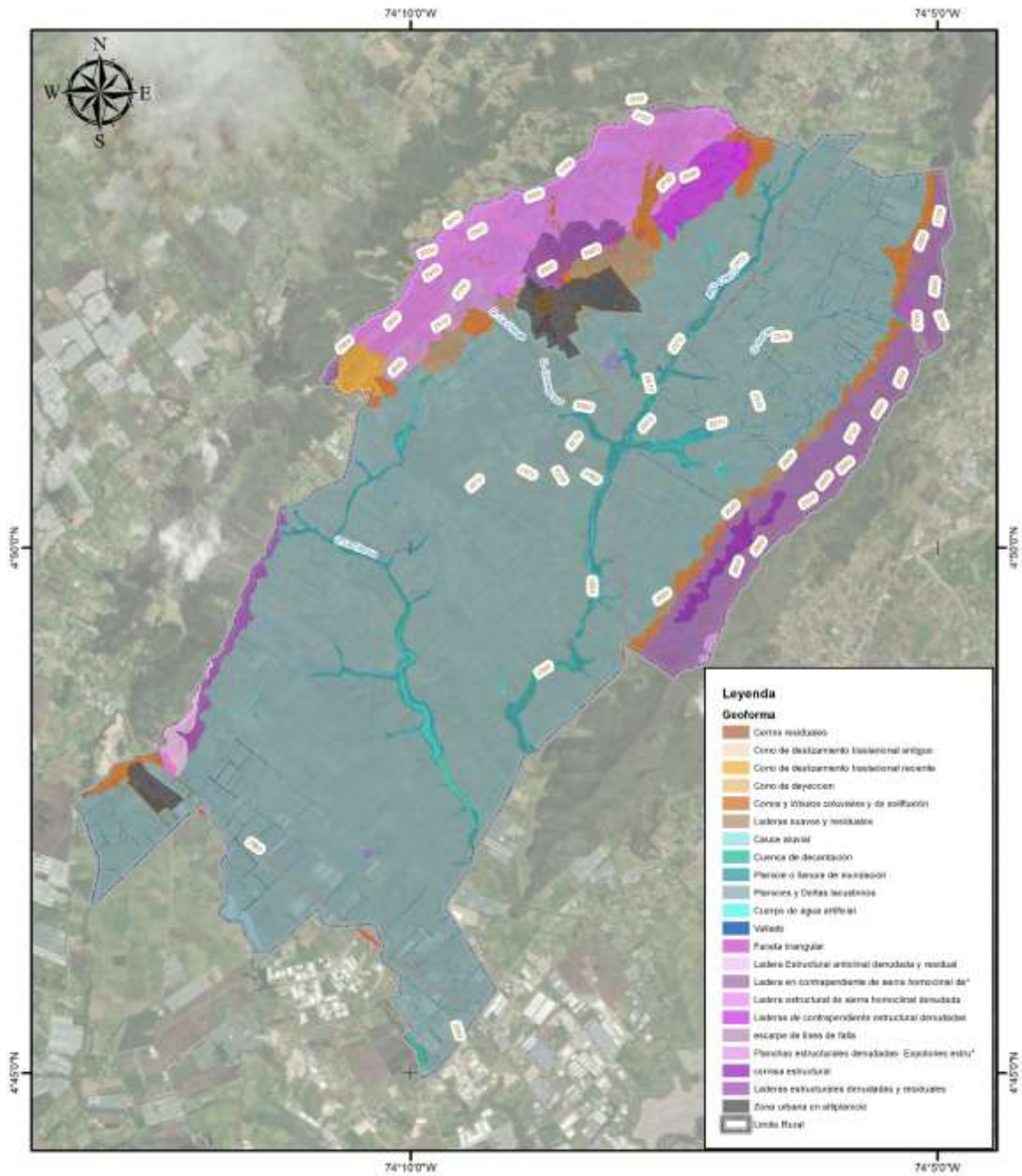
4.3.7.1 Análisis geomorfológico

La geomorfología de una región está constituida por el conjunto de unidades geomorfológicas o geoformas que han sido modeladas por los agentes geológicos imperantes en el área; entendiendo que estas son el producto de la interacción entre los materiales térreos y los procesos, donde intervienen fuerzas endógenas y exógenas, las cuales le imprimen características específicas en los diferentes ambientes y zonas geográficas del territorio.

Para la elaboración del mapa geomorfológico a nivel de “subunidades” del municipio de Tenjo, se empleó la metodología propuesta por Carvajal (2012); que propone retomar la jerarquización del Servicio Geológico Colombiano (Velásquez, 1999) y modificarla dándole una orientación más geomorfogenética. Lo anterior se logra mediante un análisis inicial del terreno regional, identificando geomorfoestructuras, provincias y regiones geomorfológicas, para posteriormente poder dar un enfoque local y definir subunidades geomorfológicas.

Esta metodología fue empleada en el POMCA del Río Bogotá, por lo cual se partió de dichas geoformas, refinando su trazo a partir de los insumos mencionados anteriormente. A continuación se muestra la distribución espacial de dichas subunidades geomorfológicas y su posterior evaluación de la susceptibilidad, teniendo en cuenta como se mencionó anteriormente, la morfogénesis de cada geoforma y su incurrencia en presentar o no procesos de inundación.

Gráfica 132 Subunidades geomorfológicas identificadas en el municipio de Tenjo



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Tabla 39 Evaluación de la susceptibilidad a inundaciones en el municipio de Tenjo

Ambiente	Código	Subunidad	Susceptibilidad
Denudacional	Dcr	Cerros residuales	Baja
	Dcdt	Cono de deslizamiento traslacional antiguo	Baja
	Dcdtr	Cono de deslizamiento traslacional reciente	Baja
	Dcd	Cono de deyección	Baja
	Delc	Conos y lóbulos coluviales y de solifluxión	Baja
	Dlr	Laderas suaves y residuales	Baja
Fluvial	Fca	Cauce aluvial	Alta
	Fcd	Cuenca de decantación	Alta
	Fpi	Planicie o llanura de inundación	Alta
	Fpl	Planicies y deltas lacustrinos	Media
Antropogénico	Aca	Cuerpo de agua artificial	Alta
	Av	Vallado	Media
Estructural	Sft	Faceta triangular	Baja
	Sle	Ladera estructural anticlinal residuada y denudada	Baja
	Slcp	Ladera en contrapendiente de sierra homoclinal	Baja
	Slsh	Ladera estructural de sierra homoclinal denudada	Baja
	Slced	Ladera de contrapendiente estructural denudada	Baja
	Sef	Escarpe de línea de falla	Baja
	Spe	Planchas estructurales denudadas	Baja
	Sce	Cornisa estructural	Baja
	Sled	Laderas estructurales denudadas y residuales	Baja

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

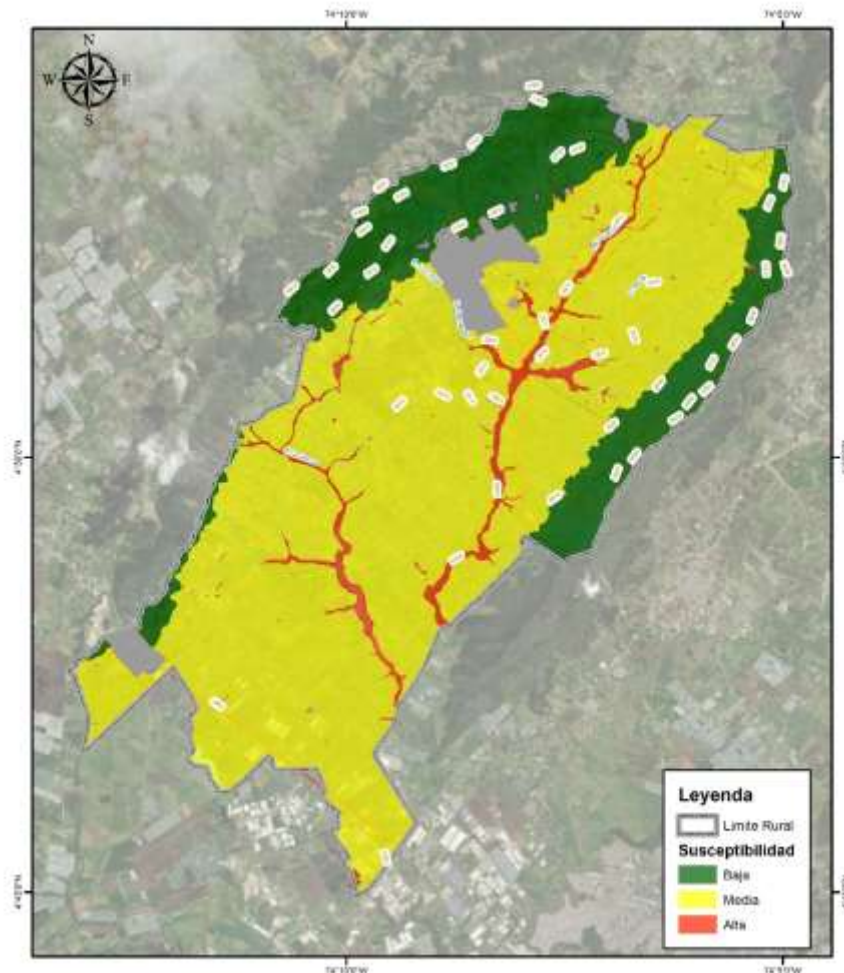
A partir de la matriz presentada anteriormente se definieron las categorías de amenaza por inundaciones, detalladas en la siguiente tabla.

Tabla 40 Rangos de susceptibilidad para el municipio de Tenjo

Zonificación de la susceptibilidad	Geoforma
Susceptibilidad alta	Geoformas que representan procesos activos o inundaciones periódicas
Susceptibilidad media	Geoformas que implican procesos intermitentes de inundaciones o morfodinámicos
Susceptibilidad baja	Geoformas que no implican procesos morfodinámicos o en su defecto estos son muy antiguos

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 133 Susceptibilidad a inundaciones para el municipio de Tenjo



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.3.8 Zonificación de la amenaza por inundaciones en suelo rural

Para la zonificación de la amenaza por inundaciones en suelo rural, tal como se mencionó en la Gráfica 131, se empleó la información referente a inundaciones históricas contenida en bases de datos secundarias, tales como los eventos registrados por la CAR, el POMCA del Río Bogotá,. Las huellas de inundaciones reportadas por el IDEAM y la información recopilada con la comunidad en espacios de participación.

Acorde a la metodología geomorfológica – histórica se tuvo en cuenta en el análisis la ocurrencia de inundaciones en las unidades geomorfológicas previamente definidas como susceptibles a sufrir fenómenos de este tipo. Esta categorización se realizó a partir de lo establecido por el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible en el año 2014, en la elaboración de la gestión del riesgo en POMCA, metodología aplicable a estudios a escala 1:25.000. A continuación se muestra dicha matriz de decisión, seguida de los procesos históricos de inundaciones presentes en el municipio de Tenjo, para así finalmente obtener el mapa de amenaza por inundaciones. Es importante mencionar que dicho mapa se contrastó con la zonificación

establecida en el POMCA del Río Bogotá para su respectiva validación, al ser este último un instrumento de superior jerarquía acorde al Decreto 1076 de 2015.

Tabla 41 Matriz de decisión para la categorización de la amenaza por inundaciones

Zonificación de la amenaza	Geomorfología	Eventos históricos
Amenaza alta	Geoformas que representan procesos activos o inundaciones periódicas	Ocurrencia menor o igual a 15 años
Susceptibilidad media	Geoformas que implican procesos intermitentes de inundaciones o morfodinámicos	Ocurrencia mayor a 15 años y hasta 100 años
Susceptibilidad baja	Geoformas que no implican procesos morfodinámicos o en su defecto estos son muy antiguos	Ocurrencia de eventos mayores a 100 años

Fuente: (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014)

4.3.8.1 Registro de eventos históricos asociados a inundaciones presentes en el municipio de Tenjo

La recopilación y tratamiento de la información histórica permitió realizar un análisis de los impactos producidos por fenómenos naturales en el pasado, es por esto que se desarrolló una base de datos de fenómenos históricos asociados a inundaciones, a partir de un estado del arte sobre los casos de estudio existentes para el Municipio. Con base en la recopilación de información se desarrolló un inventario de eventos que contempla las siguientes fuentes:

- POMCA del Río Bogotá
- Eventos registrados por la alcaldía municipal
- Eventos reportados por la comunidad, el Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo, entre otros, en los talleres participativos y mesas de trabajo.
- Eventos registrados por la CAR en visitas técnicas al municipio
- Huellas de inundación del fenómeno de la niña en los años 1988, 2000, 2010 y 2012

En esta recopilación se tienen en cuenta los eventos históricos de inundación en el periodo entre 1988-2012. Este mapa de huellas hídricas elaborado por el IDEAM y el IGAC a escala 1:100.000, en donde se observan aquellos sectores en los cuales existe una ocurrencia mayor de inundaciones. Estas huellas obedecen a zonas de inundación pluvial (encharcamiento), relacionadas con la ausencia de una red de drenaje efectiva, dadas las bajas pendientes en esta parte de la cuenca y a temporadas de lluvia, especialmente a eventos de gran magnitud. A continuación se presenta la consolidación de dicho inventario y su respectiva ubicación espacial.

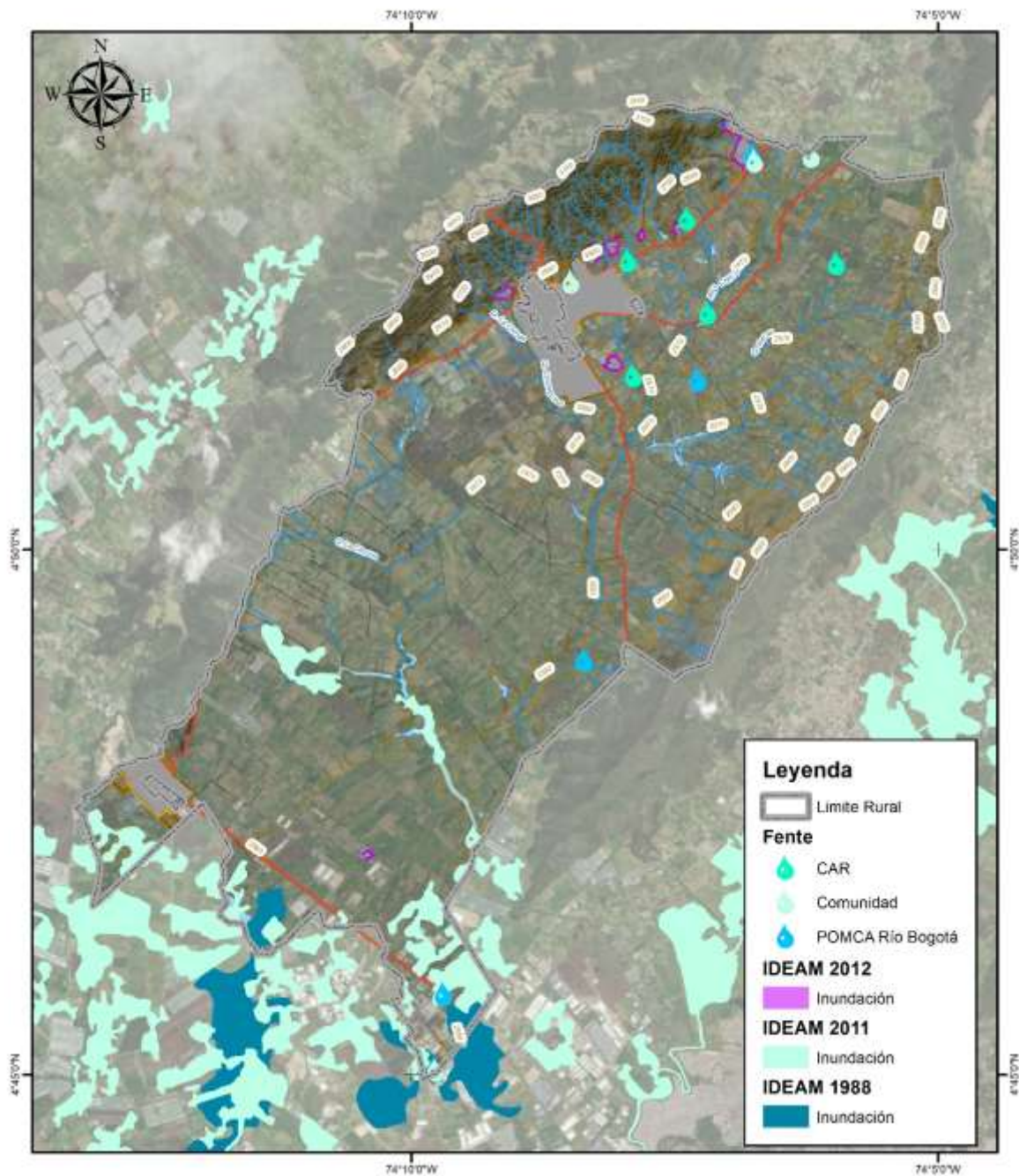
Tabla 42 Eventos históricos asociados a inundaciones en el municipio de Tenjo

Este	Norte	Año	Sector	Fuente
993920	1031310	2015	La paz - Chince	CAR
993154	1024297	2013	Meridor	CAR
997575	1031261	2016	Pozo Hondo	CAR
995145	1029218	2013	Quebrada La Chinga	CAR
996096	1033165	2013	Restaurante Porquis	CAR
995318	1030388	2015	Río Chicú Tenjo	CAR
993154	1024297	2013	Sector El gato	CAR
994956	1032037	2015	Villa Angélica	CAR

Este	Norte	Año	Sector	Fuente
994010	1029289	2020	Quebrada Chucua	CAR
996096	1033165	Menor a 5 años	JUAICA	POMCA Río Bogotá
996096	1033165	Menor a 5 años	JUAICA	POMCA Río Bogotá
995145	1029218	Menor a 5 años	LA PUNTA	POMCA Río Bogotá
995145	1029218	Menor a 5 años	LA PUNTA	POMCA Río Bogotá
996096	1033165	Menor a 5 años	JUAICA	POMCA Río Bogotá
993154	1024297	Menor a 5 años	SANTA CRUZ	POMCA Río Bogotá
990679	1018437	Menor a 5 años	LA PUNTA	POMCA Río Bogotá
993154	1024297	Menor a 5 años	LA PUNTA	POMCA Río Bogotá
993154	1024297	Menor a 5 años	CHACAL	POMCA Río Bogotá
995145	1029218	Menor a 5 años	GUANGATA	POMCA Río Bogotá
995145	1029218	Menor a 5 años	LA PUNTA	POMCA Río Bogotá
990534,44	1017106,81	2011	JACALITO EN CERCANÍAS A SIBERIA	Comunidad
-	-	-	QUEBRADA TIGUACE - SECTOR URBANO - EXPANSIÓN URBANA ALFONSO MORENO	Comunidad
992914,81	1030933,25	2019	SECTOR CEMENTERIO URBANIZACIÓN JUAICA	Comunidad
997132,05	1033142,21	-	RÍO CHICU DESDE TABIO	Comunidad
-	-	2010 - 2011	QUEBRADA GARAY	Comunidad
996138,07	1033058,29	2017	JUAICA - QUEBRADA DE JUAICA	Comunidad
991214,39	1021187,44	DESDE HACE 26 AÑOS	LIMITES CON SIBERIA	Comunidad
Polígono		1988	Huellas de inundación	IDEAM
Polígono		2000	Huellas de inundación	IDEAM
Polígono		2012	Huellas de inundación	IDEAM

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 134 Eventos históricos asociados a inundaciones para el municipio de Tenjo



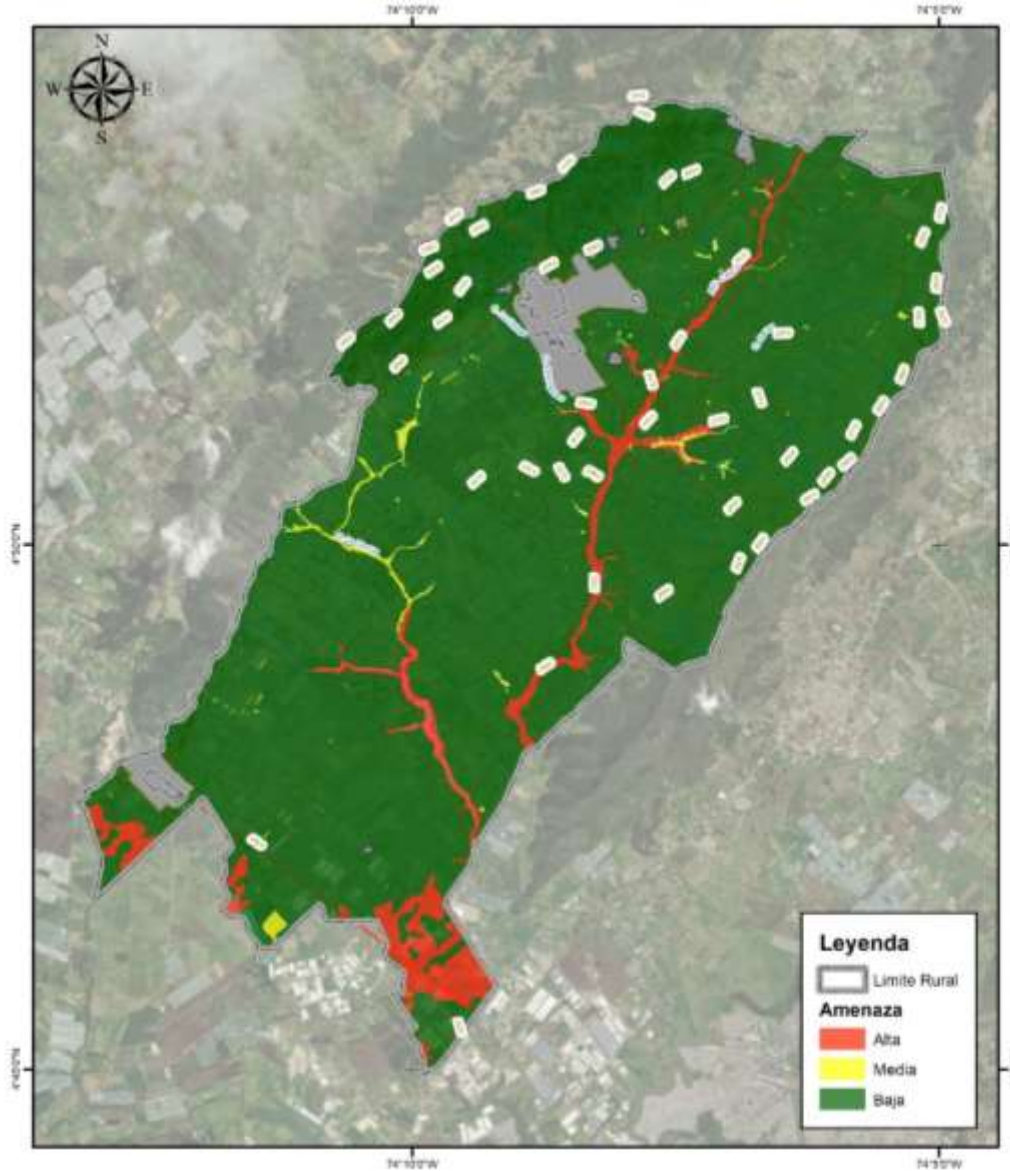
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.3.8.2 Zonificación de la amenaza por inundaciones en suelo rural

Con base en los eventos históricos presentados anteriormente se evaluó y categorizó la amenaza por inundaciones, teniendo en cuenta que acorde a lo manifestado por la comunidad en talleres, estos procesos

de inundación se asocian principalmente a intervención antrópica en los drenajes naturales o vallados, causando que en épocas de altas precipitaciones el caudal no pueda continuar su curso y se generen dichos eventos amenazantes.

Gráfica 135 Amenaza por inundaciones para suelo rural del municipio de Tenjo



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

La zonificación de amenaza alta se da en 828,063 hectáreas que representan el 7,28% del municipio. Esta amenaza se asocia principalmente al cauce aluvial del Río Chicú , el Humedal San José y parte de la Quebrada Checua, además de las áreas inundables registradas por el IDEAM. Este rango se da en geofomas por su cercanía a los cauces aluviales, como lo son las subunidades geomorfológicas como planos o llanuras de inundación (Fpi) y cauces aluviales (Fca). Las zonas de amenaza media representan el 0,97% del municipio correspondientes a 109,89 hectáreas, asociadas principalmente a la planicie de inundación de la Quebrada Checua, a las cuencas de decantación generadas por los cuerpos de agua artificiales y a los

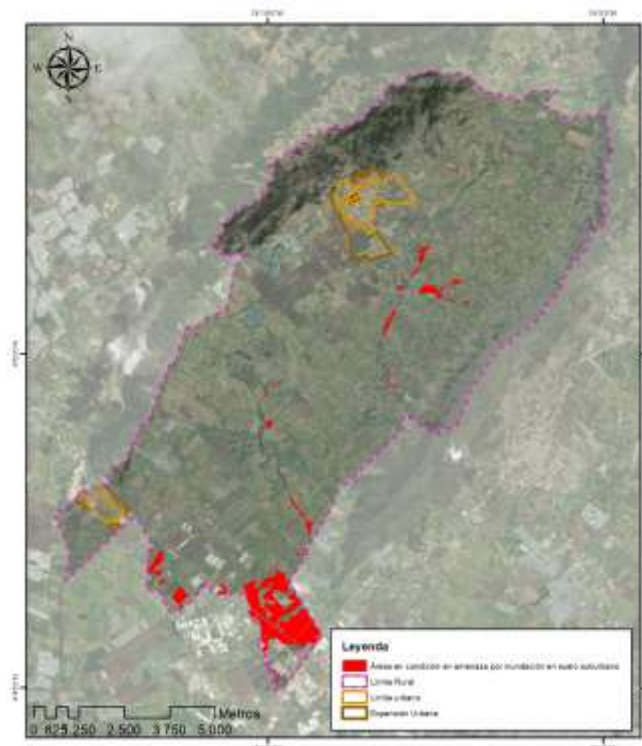
vallados categorizados con amenaza alta, los cuales al no registrar un evento histórico reciente de inundación, fueron categorizados con amenaza media.

Finalmente la zona más extensa del municipio (10441,597 hectáreas), la cual representa el 91,76% del municipio se categorizó con amenaza baja por inundaciones, y corresponde a subunidades geomorfológicas relacionadas a conos residuales (Dcr), Cono de deslizamiento traslacional antiguo (Dcdt), cono de deyección (Dcd), laderas suaves y residuales (Dlr), entre otras geoformas de origen denudacional, esta categoría también se asocia a geoformas de origen estructural, representada por facetas triangulares (Sft), laderas estructurales, laderas de contrapendiente, escarpe de línea de falla (Sef), cornisas estructurales (Sce) y laderas estructurales denudadas y residuales (Sled).

4.3.9 Áreas con condición de amenaza por inundaciones en el suelo suburbano y de vivienda campestre del municipio de Tenjo

El Decreto 1077 de 5015 indica en su Artículo 2.2.2.1.3.1.3. Estudios básicos para la revisión o expedición de Planes de Ordenamiento Territorial (POT) que las **áreas con condición de amenaza**, son las zonas o áreas del territorio municipal zonificadas como de amenaza alta y media en las que se establezca en la revisión o expedición de un nuevo POT la necesidad de clasificarlas como suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano, vivienda campestre o centros poblados rurales para permitir su desarrollo. El municipio de Tenjo ya cuenta con suelos rurales suburbanos y de vivienda campestre, por lo tanto, a continuación, se presenta la distribución espacial de las 286.55 hectáreas de áreas con condición de amenaza por inundaciones para el suelo en mención.

Gráfica 136 Áreas con condición de amenaza por inundaciones en el suelo suburbano del municipio de Tenjo



Fuente: IEU-UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo

4.3.10 Áreas con condición de riesgo por inundaciones en el suelo rural

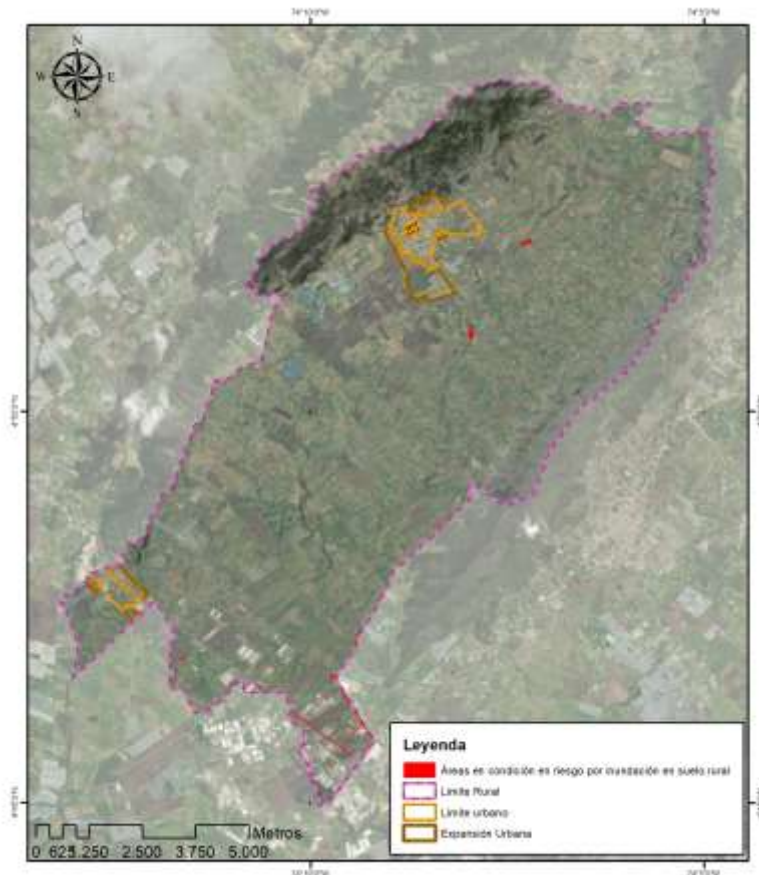
Según lo establecido en el Artículo 2.2.2.1.3.1.3 del Decreto 1077 de 2015 los Estudios básicos para la revisión o expedición de Planes de Ordenamiento Territorial (POT), se deben elaborar estudios en los suelos urbanos, de expansión urbana y rural para los fenómenos de inundación, avenidas torrenciales e inundaciones, que contienen:

- La delimitación y zonificación de las áreas de amenaza.
- La delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza en las que se requiere adelantar los estudios detallados a que se refiere el siguiente artículo.
- *La delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo en las que se requiere adelantar los estudios detallados a que se refiere el siguiente artículo.*
- La determinación de las medidas de intervención, orientadas a establecer restricciones y condicionamientos mediante la determinación de normas urbanísticas.

La identificación de las áreas con condición de riesgo se realizará a partir del análisis de las áreas zonificadas como de amenaza alta en los estudios básicos, con la información cartográfica (predial o catastral, entre otras) disponible que permita identificar la existencia de elementos expuestos, de áreas urbanizadas, ocupadas o edificadas, así como de aquellas en las que se encuentren edificaciones indispensables y líneas vitales (vías e infraestructura de servicios públicos).

Dadas las condiciones técnicas, a continuación, se presentan las 20.42 hectáreas de áreas con condición de riesgo por inundaciones identificadas para el suelo rural del municipio de Tenjo y que corresponden a zonas de vivienda campestre, Hacienda Remansos de Tenjo, Parajes de Meridor, Parcelación Puente Piedra Primera Etapa, Infraestructura de Servicios Públicos, vías de primer orden pavimentadas en buen estado, vías de segundo orden pavimentadas en buen estado, vías de segundo orden sin pavimentar en buen estado, vías de segundo orden pavimentadas en regular estado, vías de tercer orden sin pavimentar en buen estado, vías de tercer orden pavimentadas en buen estado, vías de tercer orden sin pavimentar en mal estado y vías de cuarto orden sin pavimentar en buen estado.

Gráfica 137 Áreas con condición de riesgo por inundaciones en el suelo rural del municipio de Tenjo



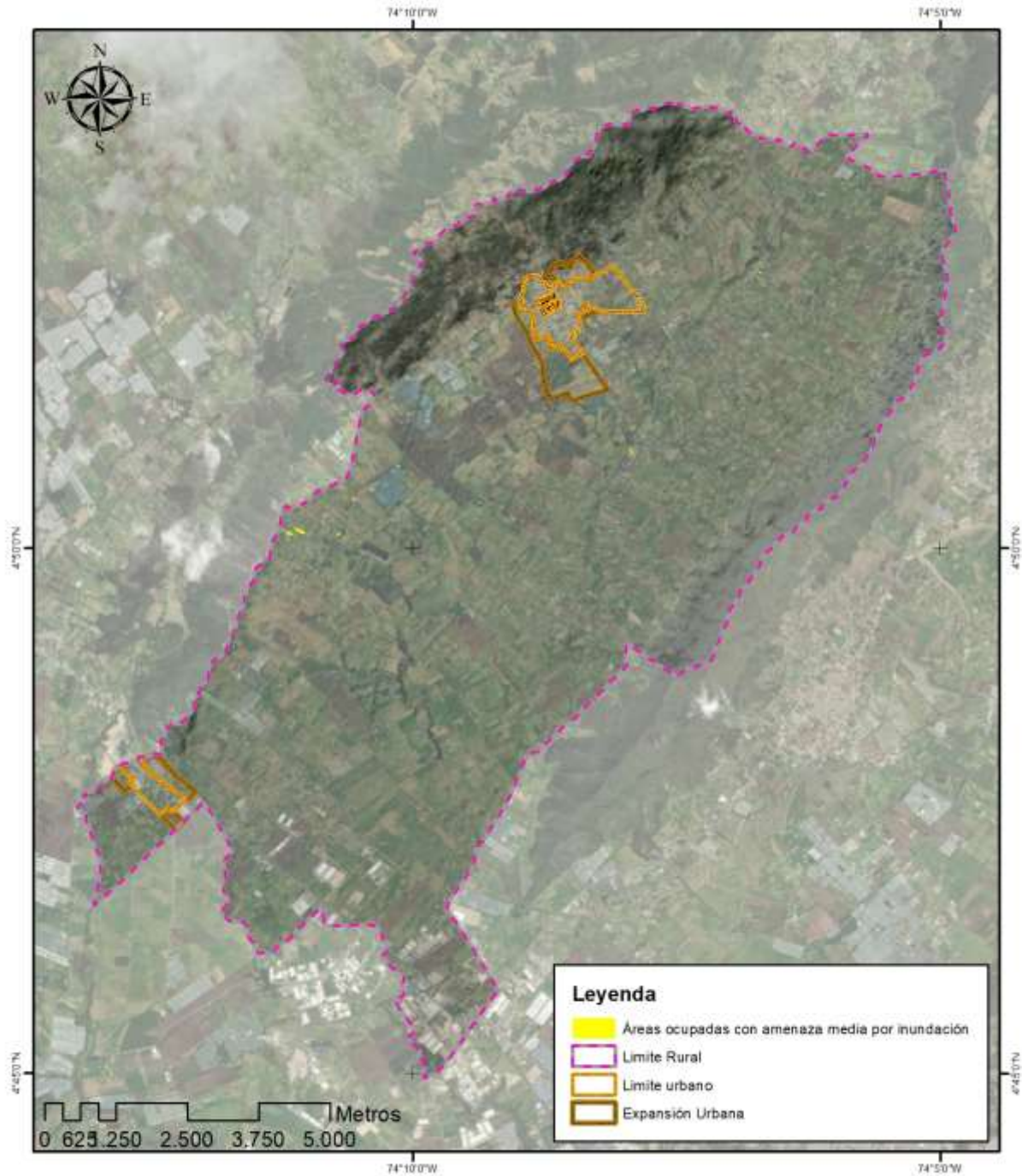
Fuente: IEU-UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.3.11 Áreas ocupadas de amenaza media por inundación suelo rural

A partir de la información cartográfica (predial o catastral, entre otras) disponible se pudo identificar en amenaza media la existencia de elementos expuestos, de áreas urbanizadas, ocupadas o edificadas; así como de aquellas en las que se encuentren edificaciones indispensables y líneas vitales. Adicionalmente a partir de la interpretación y actualización de las coberturas de la tierra, se identificaron áreas de tejido urbano discontinuo con presencia de viviendas, vías y demás infraestructura que puede llegar a encontrarse expuesta.

Teniendo en cuenta lo anterior, a continuación se presentan las 2,62 ha de áreas de amenaza media con presencia de dicha infraestructura.

Gráfica 138 Áreas ocupadas de amenaza media por inundación



Fuente: IEU-UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.4 Estudio básico de la amenaza por inundaciones en suelo urbano, expansión urbana y centros poblados

El análisis de la amenaza por inundación para suelo urbano, área de expansión urbana y centros poblados se realizó a una escala de trabajo 1:5.000 (Artículo 2.2.2.1.3.1.5. Decreto 1077 de 2015) y acorde con los insumos, metodología y análisis establecidos en el Decreto 1077 de 2015 – Artículo 2.2.2.1.3.2.1.2. para el estudio básico de la amenaza por inundaciones.

Se realizó un análisis de las inundaciones fluviales de tipo lento y de las inundaciones pluviales o encharcamientos, teniendo en cuenta que en algunos centros poblados existen reportes por parte de la comunidad de eventos de encharcamientos sobre las vías o alrededor de las viviendas por fallas en el alcantarillado o por el relieve de la zona. Estos eventos se presentan en el ítem 2.3.

4.4.1 Metodología

El método de análisis para la zonificación de la amenaza por inundaciones lentas corresponde a un método geomorfológico – histórico, el cual partió del análisis del Modelo Digital del Terreno y del modelo de sombras generado a partir de los Ortofotomosaicos generados para centros poblados, casco urbano y área de expansión urbana, estos ortofotomosaicos cuentan con un tamaño de pixel menor a 0,1 metros el cual permitió tener un mayor nivel de detalle en la definición de los elementos geomorfológicos presentes en estas áreas. El análisis geomorfológico se enfocó principalmente en el origen de los elementos, que define la susceptibilidad a inundaciones de estas geoformas.

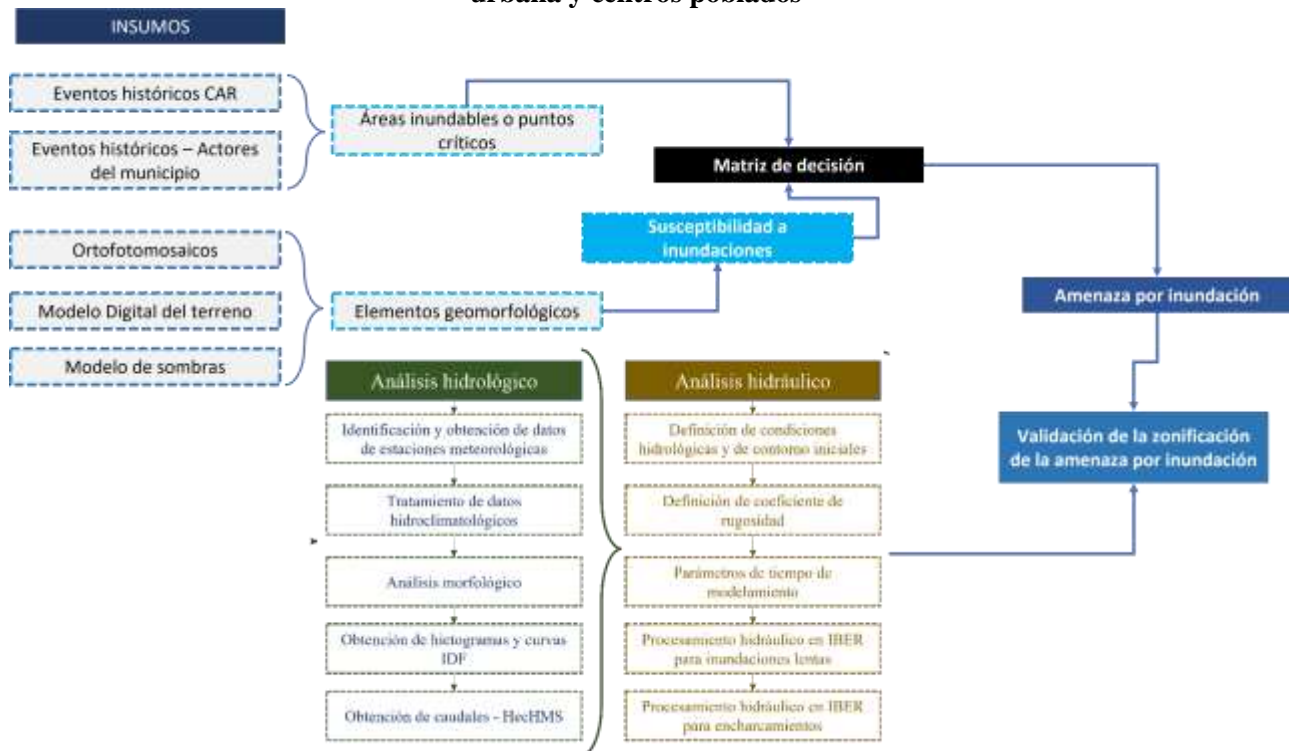
Posteriormente, se realizó una recopilación de eventos históricos reportados por la CAR o por actores del municipios en los talleres de trabajo participativos (Consejo Municipal de Gestión del Riesgo, Concejo Municipal, Alcaldía y comunidad en genera). Este análisis permitió definir la existencia de puntos críticos inundables, los cuales junto con el mapa de susceptibilidad permitieron construir la matriz de decisión para la zonificación final de la amenaza por inundaciones lentas en el casco urbano, área de expansión y centros poblados.

Cómo complemento y validación del mapa final de amenaza por inundaciones en dichas áreas, se realizó un análisis hidrológico e hidráulico, en los centros poblados donde se evidenciara la presencia de cuerpos de agua, para corroborar el comportamiento de los caudales en dichas geoformas. Este análisis corrobora la zonificación de la amenaza por inundación, más no es empleado en la definición de las categorías: baja, media y alta, teniendo en cuenta el nivel de detalle que otorga el ortofotomosaico y que no se cuenta con estudios batimétricos, los cuales son requeridos en estudios de detalle principalmente.

En el análisis hidrológico se trataron los datos climatológicos mediante ecuaciones estadísticas en Excel, para posteriormente ser integrados con las coberturas de la tierra y delimitación de microcuencas y drenajes en el software HecHMS, el cual permitió obtener una serie de caudales distribuidos en un hidrograma para diferentes periodos de retorno. Estos hidrogramas fueron el principal insumo para el modelamiento hidráulico en el software IBER, junto con el Modelo Digital del Terreno. Este software permite tener un modelamiento del comportamiento de los caudales en la geometría del terreno analizada para evidenciar posibles desbordamientos o encharcamientos en eventos de máximas precipitaciones. Es importante mencionar que el análisis hidráulico de los eventos por inundaciones lentas y por encharcamientos, se generaron con condiciones de entrada diferentes, las cuales se detallarán en los siguientes ítems.

Finalmente, es importante aclarar que se trabajó con un coeficiente de rugosidad teórico, el cual fue definido con ejemplos del USGS de cauces con condiciones similares, adicionalmente se pudo trabajar con el MDT generado a partir del ortofotomosaico puesto que los cauces analizados tienen un lecho seco (sin presencia de lámina de agua), lo cual permitió definir sin la necesidad de batimetría, la presencia de diques, puentes u obstrucciones que se pudiesen presentar y alterar el comportamiento del flujo analizado.

Gráfica 139 Metodología para el análisis de la amenaza por inundación en suelo urbano, expansión urbana y centros poblados



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.4.2 Insumos

4.4.2.1 Eventos históricos



Acorde a la recopilación de eventos históricos de eventos de inundaciones, presentada en el ítem 2.3 del presente documento, no se presenta un registro de inundaciones lentas por cuerpos de agua en centros poblados, área urbana o de expansión urbana. Sin embargo, sí existe un registro de procesos de encharcamientos en el casco urbano centro y en el sector La Punta, generados de acuerdo con los actores del municipio, por ausencia o falta de mantenimiento del alcantarillado pluvial o desniveles de la carretera principal y las viviendas alrededor de esta. Estos eventos de encharcamiento no se emplearan en la definición de la amenaza por inundación, puesto que corresponden a un evento originado por causas diferentes y que es analizado de manera individual en este mismo ítem.

4.4.2.2 Ortofotomosaicos

La ortofoto es una imagen fotográfica del terreno, cuya proyección central ha sido transformada en una proyección ortogonal, eliminando así las distorsiones planimétricas causadas por la inclinación de la cámara aérea y al desplazamiento debido al relieve. De este modo, se elimina la variación de escala existente en el fotograma no rectificado y se obtiene una escala única y exacta para toda la superficie de la ortofoto, la transformación de una proyección central a otra ortogonal se realiza mediante el procedimiento llamado rectificación.



A partir de la toma de las ortofotos se generó un ortofotomosaico con las debidas correcciones de las deformaciones en las formas del terreno. Este ortofotomosaico tiene un tamaño de pixel menor a 0,2 metros, lo cual permitió tener un nivel de detalle mejor, tanto en la definición de los elementos geomorfológicos como en la generación del Modelo Digital del Terreno.

Tabla 43 Ortofotomosaico empleado en la caracterización del suelo urbano, suelo de expansión urbana y centros poblados

Nombre	Ortofotomosaico
Suelo urbano centro y área de expansión	
Suelo urbano La Punta y área de expansión	

Nombre	Ortofotomosaico
Centro poblado Casajera	
Centro poblado El Palmar	
Centro poblado Gratamira	

Nombre	Ortofotomosaico
Centro poblado Jacalito	
Centro poblado Juaica	
Centro poblado Los Pinos	



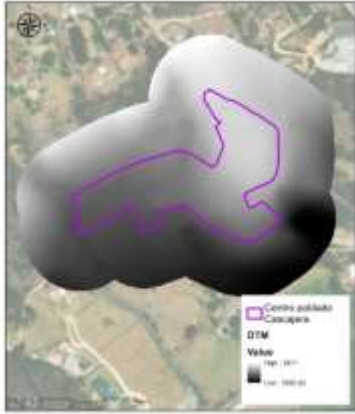
Nombre	Ortofotomosaico
Centro poblado Pan de Azúcar	
Centro poblado Zoque	

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

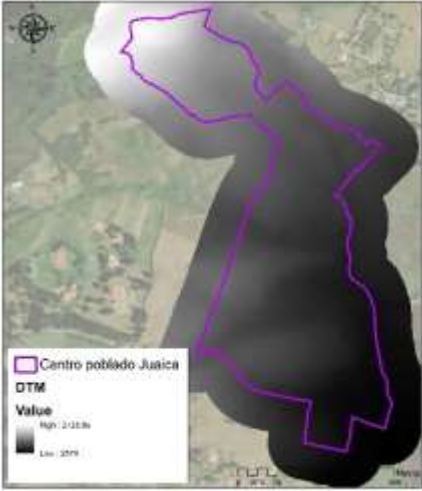
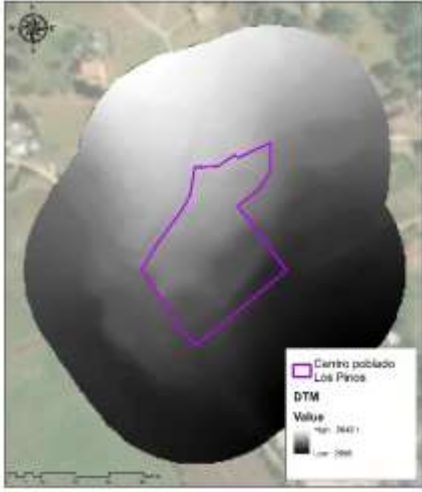

4.4.2.3 Modelo Digital del Terreno

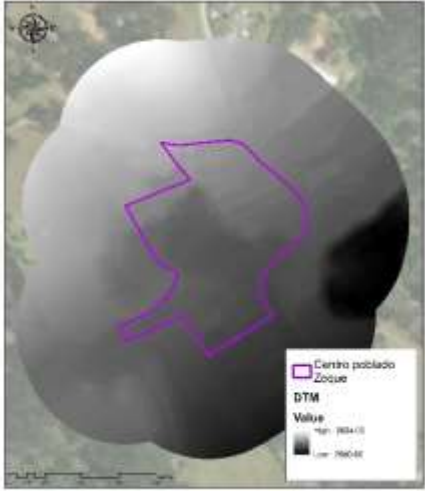
Para el presente caso de estudio, se utilizó un DTM con resolución horizontal o detalle mínimo de pixel de 1 metro, el cual fue generado a partir del procesamiento de la ortofoto tomada con un dispositivo no tripulado, en suelo urbano, expansión urbana y todos los centros poblados. Este MDT permitió tener un mayor detalle en la definición de los elementos geomorfológicos y en el análisis de la geometría del terreno y la delimitación de las microcuencas en el complemento hidrológico, realizado para los centros poblados en los cuales se evidenció la presencia de geformas relacionadas con cauces actuales o planicies de inundación. A continuación se presentan los MDT para cada suelo analizado.

Tabla 44 Modelo Digital del Terreno para suelo urbano, expansión urbana y centros poblados

Nombre	MDT
Suelo urbano centro y área de expansión	
Suelo urbano La Punta y área de expansión	
Centro poblado Cascajera	

Nombre	MDT
Centro poblado El Palmar	
Centro poblado Gratamira	
Centro poblado Jacalito	

Nombre	MDT
Centro poblado Juaica	
Centro poblado Los Pinos	
Centro poblado Pan de Azúcar	

Nombre	MDT
Centro poblado Zoque	

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

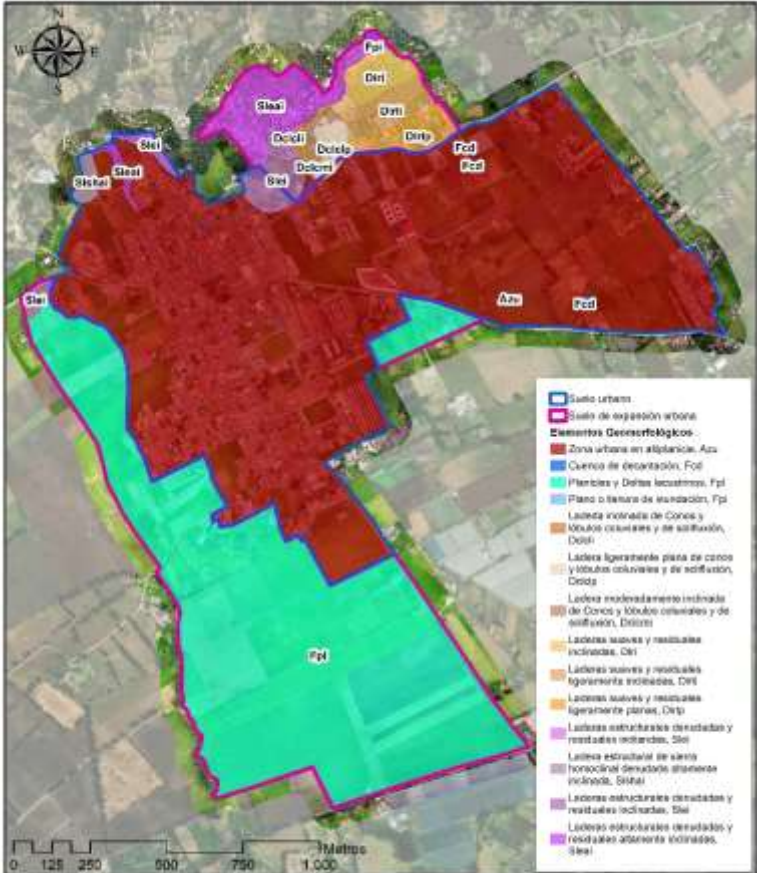
4.4.2.4 Elementos geomorfológicos


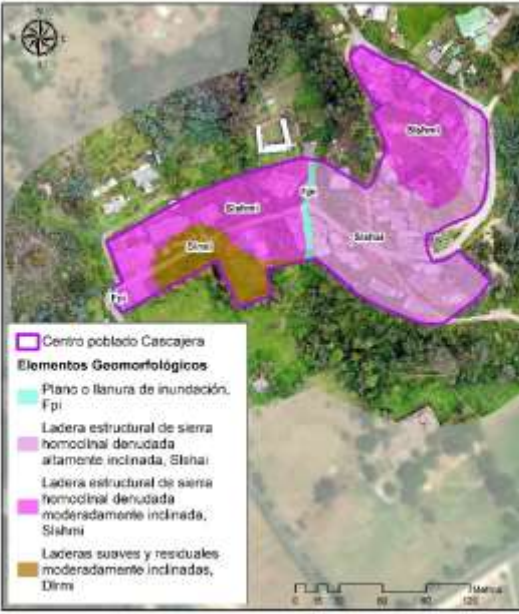
Los elementos geomorfológicos son el resultado análisis geomorfológico realizado a escala 1:5.000, y corresponden al máximo nivel de detalle de jerarquía en la subdivisión propuesta para escalas mayores a 1:10.000. Esta categoría está establecida por los rangos del relieve definidos para áreas puntuales y determinados por la morfometría detalla del terreno en una subunidad geomorfológica (Carvajal, 2012).



La definición y análisis de los elementos geomorfológicos permitió identificar el origen de las geoformas, el cual se asocia directamente con la predisposición del terreno a presentar inundaciones de tipo lento. A continuación, se presentan los elementos geomorfológicos identificados en el suelo urbano, de expansión urbana y centros poblados del municipio de Tenjo.

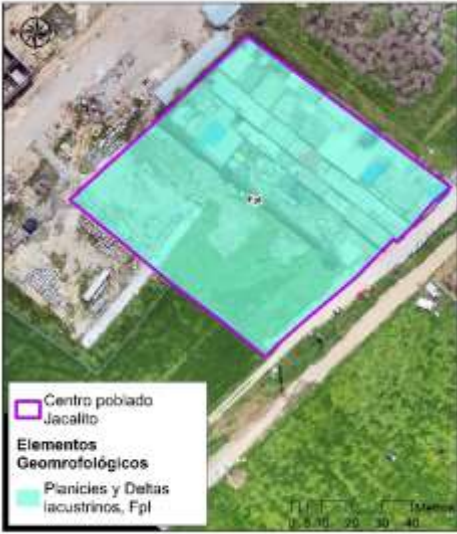

Estos elementos geomorfológicos contienen características intrínsecas como morfodinámica, morfogénesis, morfometría y morfocronología, a partir de las cuales se pueden determinar unidades que se encuentran relacionadas con procesos de paleo-inundaciones (reconocimiento de procesos de inundaciones antiguos), su intensidad y su cronología (procesos activos, intermitentes o antiguos). Todo esto, a través de la identificación y clasificación de diferentes tipos de depósitos y sus disposiciones, con el fin de delimitar y zonificar áreas geomorfológicamente activas dentro del cauce fluvial y sus riberas, y por tanto predisuestas a ser inundadas debido la dinámica natural de la corriente fluvial.



Tabla 45 Elementos geomorfológicos identificados en suelo urbano, expansión urbana y centros poblados


Nombre	Elementos geomorfológicos
<p>Suelo urbano centro y área de expansión</p>	 <p>El mapa muestra una zona urbana central en rojo y una zona de expansión urbana en verde. Se identifican varios elementos geomorfológicos como cerros, laderas y zonas de inundación, etiquetados con códigos como S1a1, D1a1, etc. Incluye una leyenda detallada, una brújula y una escala en metros.</p>

Nombre	Elementos geomorfológicos
<p>Suelo urbano La Punta y área de expansión</p>	
<p>Centro poblado Cascajera</p>	

Nombre	Elementos geomorfológicos
<p>Centro poblado El Palmar</p>	 <p>Centro poblado El Palmar</p> <p>Elementos Geomorfológicos</p> <ul style="list-style-type: none"> Laderas estructurales Senos y resacas abanico inclinadas, Dra Laderas suaves y resacas abanico inclinadas, Dra Laderas suaves y resacas inclinadas, Dra
<p>Centro poblado Gratamira</p>	 <p>Centro poblado Gratamira</p> <p>Elementos Geomorfológicos</p> <ul style="list-style-type: none"> Planicie o Seme de inundación, Fpl Planicies y Deltas lacustrinos, Fpl

Nombre	Elementos geomorfológicos
<p>Centro poblado Jacalito</p>	 <p>Centro poblado Jacalito</p> <p>Elementos Geomorfológicos</p> <p>Planicies y Deltas lacustrinas, Fpl</p>
<p>Centro poblado Juaiuca</p>	 <p>Centro poblado Juaiuca</p> <p>Elementos Geomorfológicos</p> <ul style="list-style-type: none"> Ladera estructural de sierra homoclinal denudada altamente inclinada, S1ahai Ladera estructural de sierra homoclinal denudada moderadamente inclinada, S1ahmi Laderas de contrapendiente estructural denudadas moderadamente inclinadas, S1awmi Ladera moderadamente inclinada de Conos y Ombúos coluviales y de soliflucción, D1omi Plano o llanura de inundación, Fpl

Nombre	Elementos geomorfológicos
Centro poblado Los Pinos	 <p> ■ Centro poblado Los Pinos Elementos Geomorfológicos Ladera moderadamente inclinada de ■ Conos y lóbulos coluviales y de solifluxión, Ddcmi </p>
Centro poblado Pan de Azúcar	 <p> ■ Centro poblado Pan de Azúcar Elementos Geomorfológicos Laderas estructurales denudadas y residuales altamente inclinadas, Slea Laderas suaves y residuales moderadamente inclinadas, Dirmi </p>

Nombre	Elementos geomorfológicos
Centro poblado Zoque	

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.4.3 Zonificación de la susceptibilidad a inundaciones

Para el análisis de la susceptibilidad a inundaciones del casco urbano, área de expansión y centros poblados se tuvieron en cuenta las morfologías principales aquellas asociadas a dinámicas fluviales, puesto que estas representan los procesos y geoformas con un mayor factor de susceptibilidad a presentar eventos de inundación por desborde de los cauces. Con el resultado de la interpretación geomorfológica se analizaron los elementos geomorfológicos que permitieron caracterizar los procesos morfodinámicos dominantes en los fenómenos de inundación, de acuerdo con el análisis histórico registrado y las características texturales y geométricas intrínsecas de las geoformas.

Teniendo en cuenta que las áreas con una mayor susceptibilidad a presentar eventos de inundación por desborde de los cauces son las geoformas asociadas a dinámicas fluviales; se analizan los aspectos morfológicos principales, que puedan estar asociados a inundaciones. Esto se realizó, a través del análisis geomorfológico, en el cual se extrajeron las geoformas fluviales que permiten, junto con los eventos históricos y las características texturales, geométricas intrínsecas de las geoformas, describir los procesos morfodinámicos dominantes en los fenómenos de inundación.


4.4.3.1.1 Identificación de geoformas susceptibles a inundación

Puesto que los procesos y geoformas asociadas a dinámicas fluviales son aquellas áreas con un mayor factor de susceptibilidad a presentar eventos de inundación, se tienen en cuenta como morfologías principales, asociadas a inundaciones. Con el resultado de la interpretación geomorfológica se extrajeron las geoformas fluviales que permitieron caracterizar los procesos morfodinámicos dominantes en los fenómenos de inundación, de acuerdo con las características texturales y geométricas intrínsecas de las geoformas. En este

orden de ideas se tomaron las unidades controladas predominantemente por agentes morfológicos fluviales como susceptibles a inundaciones.

Es importante mencionar que algunos centros poblados, no cuentan con geformas de origen fluvial, por lo cual no presentaran una susceptibilidad media o alta ante este evento amenazante, es decir que tendrán una categoría de susceptibilidad baja a inundaciones.

Tabla 46 Susceptibilidad a eventos de inundación en casco urbano, área de expansión y centros poblados

Nombre	Susceptibilidad a inundaciones
Suelo urbano centro y área de expansión	

Nombre	Susceptibilidad a inundaciones
<p>Suelo urbano La Punta y área de expansión</p>	<p>Legenda Susceptibilidad a inundaciones Baja Alta</p>
<p>Centro poblado Cascajera</p>	<p>Legenda Límite Centro Poblado Susceptibilidad a inundaciones Baja Alta</p>

Nombre	Susceptibilidad a inundaciones
<p>Centro poblado El Palmar</p>	
<p>Centro poblado Gratamira</p>	

Nombre	Susceptibilidad a inundaciones
Centro poblado Jacalito	<p>Legenda Susceptibilidad a inundaciones Alta Baja Límite Centro-Poblado</p>
Centro poblado Juaica	<p>Legenda Susceptibilidad a inundaciones Alta Baja Límite Centro-Poblado</p>

Nombre	Susceptibilidad a inundaciones
<p>Centro poblado Los Pinos</p>	
<p>Centro poblado Pan de Azúcar</p>	

Nombre	Susceptibilidad a inundaciones
Centro poblado Zoque	

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.4.4 Zonificación de la amenaza por inundación

De acuerdo con la metodología propuesta, la zonificación final de la amenaza por inundaciones tiene en cuenta criterios geomorfológicos, morfométricos y la integración de los registros históricos de eventos recopilados de diferentes fuentes. La matriz de decisión de la Tabla 47 muestra las categorías de amenaza final junto con los criterios establecidos para cada una de ellas.

Tabla 47 Matriz de decisión para la categorización de la amenaza por inundaciones


Zonificación de la amenaza	Geomorfología	Eventos históricos
Amenaza alta	Elementos geomorfológicos que representan procesos activos o inundaciones periódicas . Área mal drenada, de superficie plana y cóncava, con proximidad a cauces principales, cuya génesis está asociada a la dinámica fluvial reciente con ocurrencia de más de un evento o evidencias de inundación durante fenómenos de variabilidad climática	Ocurrencia menor o igual a 15 años
Susceptibilidad media	Elementos geomorfológicos que implican procesos intermitentes de inundaciones o morfodinámicos . Pobre drenaje, planas a levemente inclinadas, cuya génesis está asociada a la dinámica fluvial reciente con ocurrencia de al menos un evento de inundación validado.	Ocurrencia mayor a 15 años y hasta 100 años
Susceptibilidad baja	Elementos geomorfológicos que no implican procesos morfodinámicos o en su defecto estos son muy antiguos.	Ocurrencia de eventos mayores a 100 años

Zonificación de la amenaza	Geomorfología	Eventos históricos
	Drenaje moderado a bueno, cuya génesis no tiene relación con la dinámica fluvial reciente y que no cuentan con registro de eventos	

Fuente: (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014)

Teniendo en cuenta que no existen registros de eventos históricos de inundaciones recientes, en el casco urbano, área de expansión o centros poblados, se presenta la categorización de la amenaza por inundación en la siguiente tabla.

Tabla 48 Amenaza por inundación para área urbana, suelo de expansión urbana y centros poblados


Nombre	Amenaza por inundación
Suelo urbano centro y área de expansión	

Nombre	Amenaza por inundación
<p>Suelo urbano La Punta y área de expansión</p>	
<p>Centro poblado Cascajera</p>	

Nombre	Amenaza por inundación
Centro poblado El Palmar	
Centro poblado Gratamira	

Nombre	Amenaza por inundación
Centro poblado Jacalito	
Centro poblado Juaica	

Nombre	Amenaza por inundación
<p>Centro poblado Los Pinos</p>	
<p>Centro poblado Pan de Azúcar</p>	

Nombre	Amenaza por inundación
Centro poblado Zoque	

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

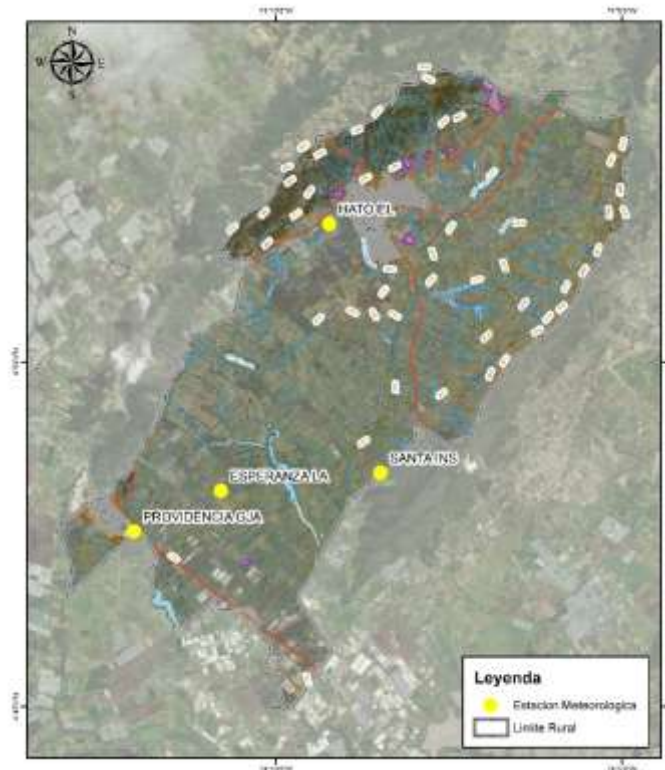
4.4.5 Complemento - Análisis hidrológico

4.4.5.1 Insumos

4.4.5.1.1 Datos climatológicos

Se identificaron las estaciones hidroclimatológicas presentes en el área de estudio ya sea principales, ordinarias, pluviográficas o pluviométricas. Para el municipio de Tenjo se identificaron cuatro estaciones: Hato (Cod 21201210), Santa Inés (Cod 2120136), La Esperanza (Cod 21201140) y Providencia Gja (Cod 21205980).

Gráfica 140 Estaciones meteorológicas presentes en el municipio de Tenjo



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.4.5.1.2 Coberturas de la tierra

La coberturas de la tierra hacen parte de los insumos empelados en el análisis hidrológico de las microcuencas en el área de estudio, teniendo en cuenta que dependiendo del tipo de cobertura se presenta una infiltración diferente del agua de origen pluviométrico.

De acuerdo con la metodología propuesta por el Servicio Geológico Colombiano (SGC, 2015), se puede determinar el nivel de la tabla de agua a partir del número de curva (CN) que a su vez depende del tipo de cobertura.

A su vez, el Servicio de Conservación de Suelos (SCS) de Estados Unidos establece una metodología para la estimación del denominado número de curva (CN, por su sigla en inglés). Para tal fin se ha tenido en cuenta el efecto del componente de las abstracciones.

El cálculo de la tabla de agua se establece de acuerdo con los mapas de cobertura y uso del terreno, que se elaboraron con la metodología Corine Land Cover, adaptada para Colombia por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (IDEAM I. d., (2010).).

El valor de CN depende de la cobertura y uso del terreno, al igual que de la clasificación hidrológica del suelo superficial (A, B, C y D), la cual tiene en cuenta la textura, espesor y origen de los suelos.

El Departamento Agrológico de Estados Unidos (2005) determinó cuatro grupos a partir de sus propiedades hidrológicas. Los suelos hidrológicos se clasifican de acuerdo con los cálculos de su potencial de escorrentía definido por el índice de infiltración; dicho índice varía cuando el suelo no está protegido por vegetación, está completamente húmedo o recibe precipitaciones de tormentas de larga duración.

Los suelos hidrológicos se dividen en cuatro grupos (A, B, C y D) divididos de la siguiente manera (U.S Department of Agriculture, 2005):

- Grupo A: suelos que tienen un alto índice de infiltración (bajo potencial de escorrentía) cuando están completamente húmedos. Están formados principalmente por arenas profundas, bien drenadas o excesivamente drenadas, o arenas de textura gruesa. Estos suelos presentan una tasa elevada de transmisión de agua.
- Grupo B: suelos que tienen un índice de infiltración moderado cuando están completamente húmedos. Son principalmente suelos moderadamente profundos o profundos, moderadamente bien drenados o bien drenados con una textura de moderadamente fina a moderadamente gruesa. Estos suelos tienen una tasa moderada de transmisión de agua.
- Grupo C: suelos que tienen un índice de infiltración lento cuando están completamente húmedos. Son principalmente suelos con una capa que impide el movimiento descendente del agua o suelos de textura moderadamente fina o fina. Estos suelos tienen una tasa de transmisión de agua lenta.
- Grupo D: suelos que tienen un índice de infiltración muy lento (alto potencial de escorrentía) cuando están completamente húmedos. Se trata fundamentalmente de arcillas con alta capacidad para expandirse y contraerse, suelos con un elevado nivel freático, suelos que presentan una capa de arcilla o claypan en la superficie o cerca de la superficie, y suelos poco profundos sobre material casi impermeable. Estos suelos tienen una tasa de transmisión de agua muy lenta.

Para obtener el valor de CN es necesario tomar como referencia el valor que indica la tabla propuesta por Chow (1994) donde se establece un valor de CN a partir de la cobertura y el grupo de suelo hidrológico.

Tabla 49 CN aparte de las coberturas y el suelo hidrológico

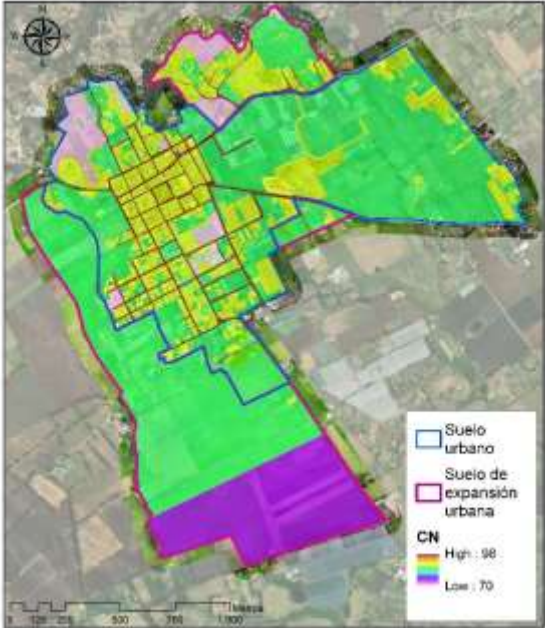

USO DEL SUELO		GRUPO HIDROLÓGICO DE SUELO			
		A	B	C	D
Tierra cultivada	Sin tratamiento de conservación	72	81	88	91
	Con tratamiento de conservación	62	71	78	81
Pastizales	Condiciones pobres	68	79	86	89
	Condiciones óptimas	39	61	74	80
Vegas de ríos		30	58	71	78
Bosques	Troncos delgados, cubierta pobre sin hierbas	45	66	77	83
	Cubierta buena	25	55	70	77


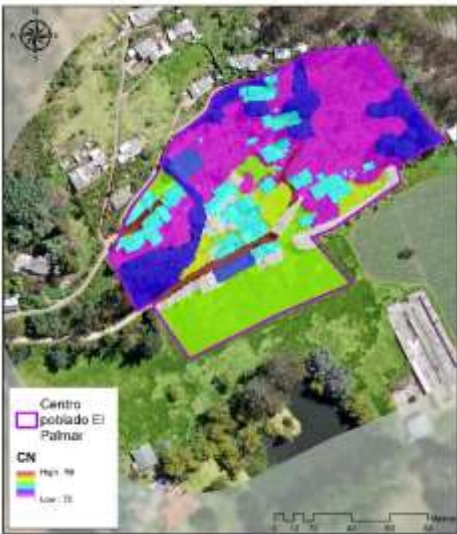
USO DEL SUELO		GRUPO HIDROLÓGICO DE SUELO			
		A	B	C	D
Áreas abiertas, césped, parques, etc.	Óptimas condiciones: cubierta en pasto (75% o más)	39	61	74	80
	Condiciones aceptables: cubierta en pasto (50-75%)	49	69	79	84
Áreas de negocios comerciales de negocios (85% impermeables)		89	92	94	95
Distritos industriales (72% impermeables)		81	88	91	93
Residencial	1/8 de acre 68	77	85	90	92
	¼ de acre 38	61	75	83	87
	1/3 de acre 30	57	72	81	86
	½ de acre 25	54	70	80	85
	1 acre de 20	51	68	79	84
Parqueadero, pavimentado, techos, accesos, etc.		98	98	98	98
Calles y carretera	Pavimentados con cuentas y alcantarillados	98	98	98	98
	Grava	76	85	89	97
	Tierra	72	82	87	89

Fuente: (Chow, 1994)

Teniendo en cuenta la información presentada anteriormente, se presenta a continuación el cálculo del CN para el área urbana, suelo de expansión y centros poblados.


Tabla 50 Coberturas de al tierra identificadas para suelo urbano, expansión urbana y centros poblados – Valor de CN

Nombre	Cobertura de la tierra – Valor CN
<p>Suelo urbano centro y área de expansión</p>	
<p>Suelo urbano La Punta y área de expansión</p>	

Nombre	Cobertura de la tierra – Valor CN
Centro poblado Cascajera	
Centro poblado El Palmar	

Nombre	Cobertura de la tierra – Valor CN
Centro poblado Gratamira	
Centro poblado Jacalito	

Nombre	Cobertura de la tierra – Valor CN
Centro poblado Juaica	
Centro poblado Los Pinos	

Nombre	Cobertura de la tierra – Valor CN
Centro poblado Pan de Azúcar	
Centro poblado Zoque	

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.4.5.1.3 Área de estudio

El análisis hidrológico se realizó en el área urbana centro y en los centros poblados Cascajera y Gratamira, puesto que en estas áreas se identificaron elementos geomorfológicos de origen fluvial asociados a un cauce intermitente.

Área urbana central y suelo de expansión

Para el área urbana centro y su suelo de expansión asociado, se identificaron cuerpos de agua superficial hacia el sector norte, al igual que algunos eventos reportados por la comunidad, por lo cual en este suelo se presentará un complemento de análisis hidrológico, adicional al análisis de encharcamientos.

Área urbana La Punta y suelo de expansión

En el sector urbano La Punta y su suelo de expansión asociado, no se identificaron cuerpos de agua superficial o elementos geomorfológicos asociados directamente a estos, por lo cual la zonificación de la amenaza por inundaciones lentas estará dada por el método geomorfológico histórico únicamente.

Centro poblado Cascajera

En la identificación de los elementos geomorfológicos del centro poblado Cascajera se identificó un plano o llanura de inundación asociado a un cuerpo de agua superficial que atraviesa dicho centro poblado, por lo cual se presentará un complemento de análisis hidrológico.

Centro poblado El Palmar

No se identificaron cuerpos de agua superficial con influencia en este centro poblado; adicionalmente las geoformas identificadas en el centro poblado El Palmar tienen un origen denudacional y estructural. Teniendo en cuenta lo anterior y sumado a la no ocurrencia de eventos de inundación, se analiza este evento únicamente mediante el método geomorfológico – histórico.

Centro poblado Gratamira

En el centro poblado Gratamira se identificaron geoformas asociadas a un cuerpo de agua superficial, la cual fue denominada plano o llanura de inundación (Fpi). A partir de la identificación de este elemento geomorfológico y del drenaje asociado a este, se complementó el análisis de la amenaza por inundaciones lentas con el análisis hidrológico.

Centro poblado Jacalito

En el análisis hidrológico y geomorfológico del centro poblado Jacalito, no se identificaron cuerpos de agua superficial o elementos geomorfológicos asociados a este, adicionalmente no se cuenta con eventos históricos en este centro poblado, por lo cual la amenaza por inundación se determinará únicamente mediante el método geomorfológico histórico.

Centro poblado Juaica

Se identificaron tres cuerpos de agua superficial con influencia en este centro poblado y un elementos geomorfológico asociado a estos (Planicie o llanura de inundación), por lo cual se presentará un complemento de análisis hidrológico.

Centro poblado Los Pinos

En este centro poblado no se identificaron elementos geomorfológicos de origen fluvial o cuerpos de agua superficiales, por lo cual se aplicará únicamente el método geomorfológico histórico en el análisis de amenaza por inundaciones.

Centro poblado Pan de Azúcar

No se identificaron cuerpos de agua superficial con influencia en este centro poblado; adicionalmente las geoformas identificadas tienen un origen denudacional y estructural. Teniendo en cuenta lo anterior y sumado a la no ocurrencia de eventos de inundación, se analizó este evento únicamente mediante el método geomorfológico – histórico.

Centro poblado Zoque

En este centro poblado no se identificaron elementos geomorfológicos de origen fluvial o cuerpos de agua superficiales, por lo cual se aplicará el método geomorfológico histórico en el análisis de amenaza por inundaciones.

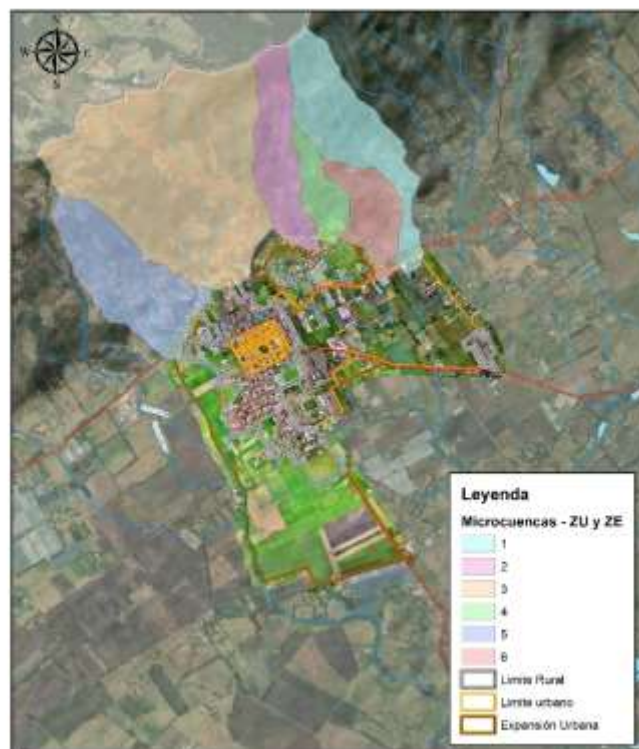
4.4.5.2 Análisis hidrológico

4.4.5.2.1 Delimitación de microcuencas

Para realizar el análisis hidrológico para inundaciones lentas de cada uno de los centros poblados, el área urbana y de expansión, se verificó la influencia de cuerpos de agua superficiales sobre la zona de estudio y la posterior delimitación de la microcuenca de dicho drenaje. En las áreas sobre las cuales no existía algún cuerpo de agua que pudiese llegar a generar una inundación, se analizó únicamente la afectación por encharcamientos.

A continuación se presenta dicha delimitación para el área urbana centro, de expansión y los centros poblados en los cuales se identificaron drenajes.

Gráfica 141 Microcuencas analizadas en suelo urbano y de expansión



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 142 Microcuenca analizada en el centro poblado Cascajera



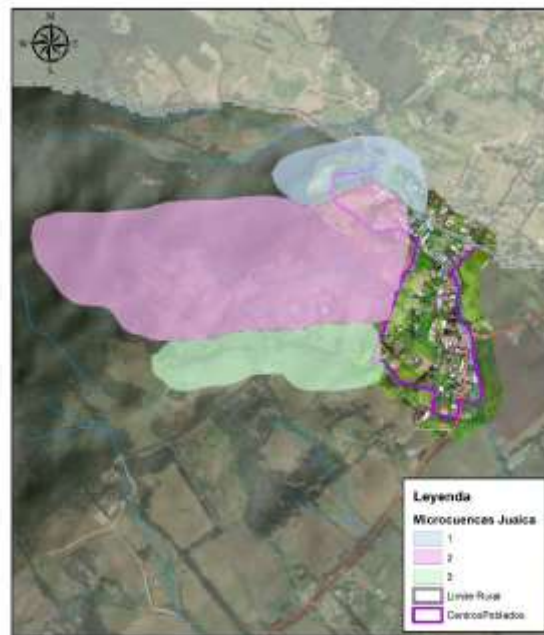
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 143 Microcuenca analizada en el centro poblado Gratamira



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 144 Microcuencas analizadas en el centro poblado Juaiuca



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.4.5.2.2 Análisis morfológico

Analizar los elementos morfométricos de la cuenca permitió estimar el comportamiento de la misma frente a la precipitación y transporte de agua. Estas variables físicas son importantes para explicar el comportamiento hidrológico de las zonas de estudio. Algunos índices se relacionan a la respuesta de la cuenca frente a cambios de caudal y fenómenos de crecidas; el tamaño, la forma y la pendiente determinan el comportamiento del flujo y la velocidad con la que discurre.

✓ *Parámetros geométricos*

A continuación se presentan los valores de los parámetros geométricos más importantes de las microcuencas analizadas. El área drenada desde la divisoria de aguas y el respectivo perímetro; la longitud axial, que responde a una línea recta que une la cota más alta con la más baja y el ancho promedio.

Tabla 51 Parámetros geométricos de las microcuencas estudiadas en amenaza por inundaciones

Microcuenca	Área Km ²	Perímetro Km	Lon Axial Km
Suelo urbano y de expansión urbana			
Microcuenca 1	0.56	4.67	1.95
Microcuenca 2	0.39	3.55	1.59
Microcuenca 3	1.71	5.93	1.69
Microcuenca 4	0.17	2.14	0.86
Microcuenca 5	0,60	0,60	1,488
Microcuenca 6		0,26	0,98
Centro poblado Cascajera			

Microcuenca	Área Km ²	Perímetro Km	Lon Axial Km
Microcuenca 1	0,36	2,91	1,14
Centro poblado Gratamira			
Microcuenca 1	0,01	0,44	0,13
Centro poblado Juaica			
Microcuenca 1	0,09	1,38	0,53
Microcuenca 2	0,51	3,19	1,25
Microcuenca 3	0,14	1,95	0,78

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

✓ Parámetros morfométricos

Los parámetros morfométricos son índices que relacionan la geometría de la cuenca con una respuesta general a fenómenos hidrológicos, además son un insumo para el cálculo de caudales de diseño.

Índice de compacidad

Es un parámetro que relaciona el perímetro de la cuenca con el perímetro de un círculo con igual área que la cuenta. Describe la geometría de la cuenca y está relacionado con el tiempo de concentración del sistema hidrológico.

$$K_c = \frac{P_{cuenca}}{2\pi\left(\frac{A_{cuenca}}{\pi}\right)^{1/2}}$$

Dónde:

P= Perímetro de la cuenca (Km)

A=Área de la cuenca (Km²)

El índice de compacidad tiene la siguiente descripción de acuerdo con el rango que se defina.

Tabla 52 Índice de compacidad para la evaluación de la forma

Clase	Rango	Descripción
Kc1	1 a 1.25	Forma casi redonda a oval – redonda
Kc2	1.25 a 1.5	Forma oval – oblonga
Kc3	>1.5	Forma oval – oblonga a rectangular - oblonga

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Para las microcuencas analizadas se obtuvieron los siguientes índices de compacidad, en los cuales se puede observar que la mayoría de las microcuencas tienen una forma oval – oblonga o rectangular – oblonga.

Tabla 53 Índices de compacidad para las microcuencas analizadas en la amenaza por inundaciones

Suelo	Microcuenca	Kc
Urbano y expansión urbana	Microcuenca 1	1.75
	Microcuenca 2	1.59
	Microcuenca 3	1.27
	Microcuenca 4	1.44
	Microcuenca 5	1.34
	Microcuenca 6	1.44
Centro poblado Casajera	Microcuenca 1	1.36
Centro poblado Gratamira	Microcuenca 1	1.03

Suelo	Microcuenca	Kc
Centro poblado Juaica	Microcuenca 1	1,30
	Microcuenca 2	1,26
	Microcuenca 3	1,48

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

✓ *Parámetros relativos al relieve*

La topografía, en general, ejerce un gran control sobre la dinámica de la escorrentía en la cuenca, siendo la inclinación del relieve directamente proporcional a su generación.

Tabla 54 Parámetros relativos al relieve de las microcuencas analizadas en la amenaza por inundaciones

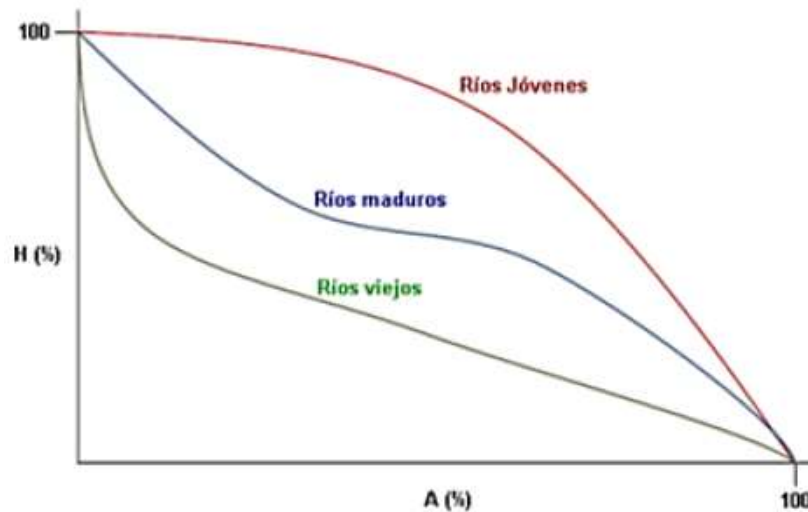
Microcuenca	Hmax	Hmin	Hmax-Hmin	Hprom	Pendiente promedio (%)
Suelo urbano y de expansión urbana					
Microcuenca 1	3177,31	2578,04	599,26	2877,67	8,1%
Microcuenca 2	3184,46	2612,71	571,75	2898,58	8,20%
Microcuenca 3	3164,30	2607,53	556,77	2885,91	8,20%
Microcuenca 4	2948,54	2612,81	335,72	2780,67	8,86%
Microcuenca 5	2977,52	2579,29	398,23	2778,40	8,66%
Microcuenca 6	2872,91	2574,73	193,77	2723,82	8,9%
Centro poblado Casajera					
Microcuenca 1	2977,52	2642,13	335,39	2809,82	8,87%
Centro poblado Gratamira					
Microcuenca 1	2569,97	268,99	0,97	1419,48	1,04%
Centro poblado Juaica					
Microcuenca 1	2763,48	2636,14	127,34	2699,81	9,54%
Microcuenca 2	3049,54	2617,85	431,68	2833,69	8,58%
Microcuenca 3	2761,35	2624,26	137,09	2692,80	9,50%

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Curva hipsométrica

La curva hipsométrica es la representación gráfica del relieve medio de la cuenca (Strahler, 1952), y se relaciona con el ciclo erosivo o la etapa evolutiva en la que se encuentra la cuenca, de acuerdo a la Gráfica 145. Además, esta curva se puede ser utilizada para comparar varias cuencas. Se construye al considerar el área acumulada en función de intervalos de altura, lo que representa la capacidad de almacenamiento, flujo y de generar erosión.

Gráfica 145 Curva hipsométrica y ciclo de erosión



Fuente: Tomado y modificado de (Strahler, 1952)

4.4.5.2.3 Análisis hidroclimatológico

La caracterización de cada una de las variables climatológicas que definen el clima se realiza a nivel regional. En este caso, basado en la información histórica a nivel mensual, registrada en las estaciones climatológicas, ya sea principales, ordinarias, pluviográficas o pluviométricas localizadas en el municipio.

Con las estaciones que poseen información importante, se genera un listado, donde se indican las características principales de cada una de ellas, teniendo en cuenta la simetría en la serie de datos y similitud en el periodo de años trabajados. Para el análisis del suelo urbano, expansión urbana y centros poblados se trabajó con información generada por tres estaciones, las cuales se enlistan a continuación:

Tabla 55 Estaciones meteorológicas encontradas en el área de estudio

Código	Nombre	Categoría	Este	Norte	Municipio	Departamento
21201140	La Esperanza	PM	988634	1022777	Tenjo	Cundinamarca
21201210	El Hato	PM	991531	1029909	Tenjo	Cundinamarca
21205980	Providencia Gja	CO	986310	1029909	Tenjo	Cundinamarca

Fuente: IDEAM, 2021

La información suministrada por el IDEAM para las tres estaciones seleccionadas fue analizada y tratada estadísticamente para así obtener precipitaciones máximas 24 horas, a través de un análisis IDF (Anexos amenaza por inundación).

4.4.5.2.4 Modelamiento hidrológico

A continuación se presenta el diagrama metodológico para el modelamiento y análisis hidrológico

✓ *Definición del método*

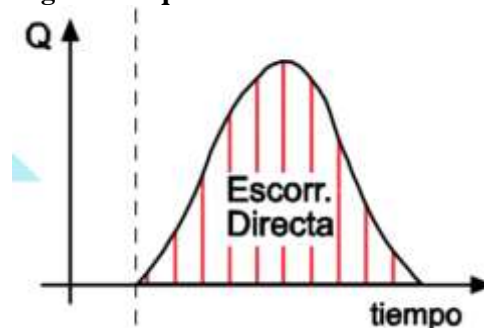
Se empleó el método lluvia – escorrentía en el software HecHMS, para calcular la escorrentía superficial. Utilizando los datos históricos puntuales de precipitación y los parámetros específicos de la geometría de la cuenca, suelos, vegetación, etc., se estimó el caudal máximo instantáneo de escorrentía superficial sobre las microcuencas analizadas.

✓ *Especificaciones metodológicas*

Método de transformación de lluvia escorrentía

En este método se calcula la escorrentía directa producida por la precipitación neta.

Gráfica 146 Diagrama esquemático del método escorrentía directa



Fuente: HEC-HMS Manual elemental

Fase A

En esta fase se escogió la etapa A3 Loss, la cual corresponde a realizar un modelamiento teniendo en cuenta la pérdida de precipitación que se infiltra en el subsuelo. Este cálculo se realiza mediante el ingreso de los parámetros de la curva CN explicado anteriormente, calculando la pérdida en el subsuelo, y dejando el resto como lluvia neta, la cual será la usada para la escorrentía generada.

✓ *Parámetros de entrada*

Área de drenaje

El área de drenaje o tributaria corresponde al área en proyección horizontal aferente al colector específico, y se expresará en metros cuadrados. El área de drenaje corresponde al área de las microcuencas presentadas en el ítem 4.4.5.2.1.

Curvas Intensidad Duración de Frecuencia - IDF

La intensidad es la tasa de lluvia en milímetros por intervalo de tiempo para una cuenca, la cual se selecciona con base en la duración de la lluvia de diseño INVIAS (2009). La Curva Intensidad Duración Frecuencia (IDF), representa la intensidad (I) o magnitud de una lluvia fuerte expresada en milímetros por hora, para una duración (D) y que se estima tiene una probabilidad de ocurrencia, o frecuencia (F) expresada en años, lo que también se conoce como periodo de retorno. (IDEAM, 2014)

Las curvas de Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF) se construyen por medio de puntos representativos de la intensidad media de precipitación para diferentes duraciones, correspondientes todos ellos a una misma frecuencia o período de retorno (Témez 1978). Mediante las curvas IDF es posible estimar la intensidad de tormentas para distintas duraciones y para diferentes periodos de retorno.

Las curvas Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF) permiten la estimación de volúmenes de drenaje superficial mediante modelos lluvia escorrentía en cuencas pequeñas para las cuales no existe registros de caudal.

La metodología utilizada fue la planteada por Rodrigo Vargas y Mario Díaz en su documento Curvas sintéticas Regionalizadas de Intensidad-Duración-Frecuencia para Colombia (Díaz Granados & Vargas M.), en la cual dividieron el país en 5 regiones y para cada una dedujeron una ecuación para el cálculo de la IDF en la cual se utiliza la siguiente formula:

$$I = a \frac{T^b}{t^c} M^d$$

Donde:

- I: Intensidad de precipitación, mm/h.
- T: Período de retorno, años.
- t: Duración de la lluvia, horas.
- M: Promedio de la precipitación máxima anual en 24 horas, mm.

Tabla 56 Estaciones representativas para la zona de estudio.

REGIÓN	a	b	c	d
Andina (R1)	0.94	0.18	0.66	0.83
Caribe (R2)	24.85	0.22	0.50	0.10
Pacífico (R3)	13.92	0.19	0.58	0.20
Orinoquía (R4)	5.53	0.17	0.63	0.42

Fuente. Manual de Drenaje para carreteras, INVIAS (2009)

La zona de proyecto se encuentra en la Región Andina definida por metodología de curvas IDF regionalizadas para Colombia cuyos parámetros a, b, c y d son iguales respectivamente a 0.94, 0.18, 0.66, 0.83.

Adicionalmente, teniendo en consideración los datos históricos a nivel promedio anual multianual de la precipitación en 24 h en las estaciones climatológicas identificadas, los cuales se presentan en los anexos de este evento amenazante. Teniendo en cuenta lo anterior, se calcularon las precipitaciones máximas probables, calculando inicialmente las siguientes variables probabilísticas para cada una de las estaciones analizadas.

$$\bar{X} = \frac{\sum Xi}{n}$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

$$a = \frac{\sqrt{6}}{\pi} * s$$

$$u = \bar{x} - 0.5772 * \alpha$$

A partir de la anterior tabla se calcularon las precipitaciones máximas para diferentes periodos de lluvia de acuerdo a su respectivo cociente, tal cómo se presenta en los anexos de la amenaza por inundación – Cálculo de curvas IDF. De acuerdo al Pd se pueden correlacionar y calcular a partir de las precipitaciones, la intensidad de lluvia para diferentes periodos de retorno.

$$I = \frac{Pmm}{t_{duración} hr}$$

Finalmente se presentan las regresiones I-D-T empleadas en el cálculo de las curvas IDF integradas en el modelo y sus respectivas fórmulas de cálculo:

$$I = \frac{KT^m}{t^n}$$

Donde:

I= intensidad (mm/hr)

t= Duración de lluvia (min)

T= periodo de retorno en años

K,m,n = parámetros de ajuste

Si se realiza un cambio de variable:

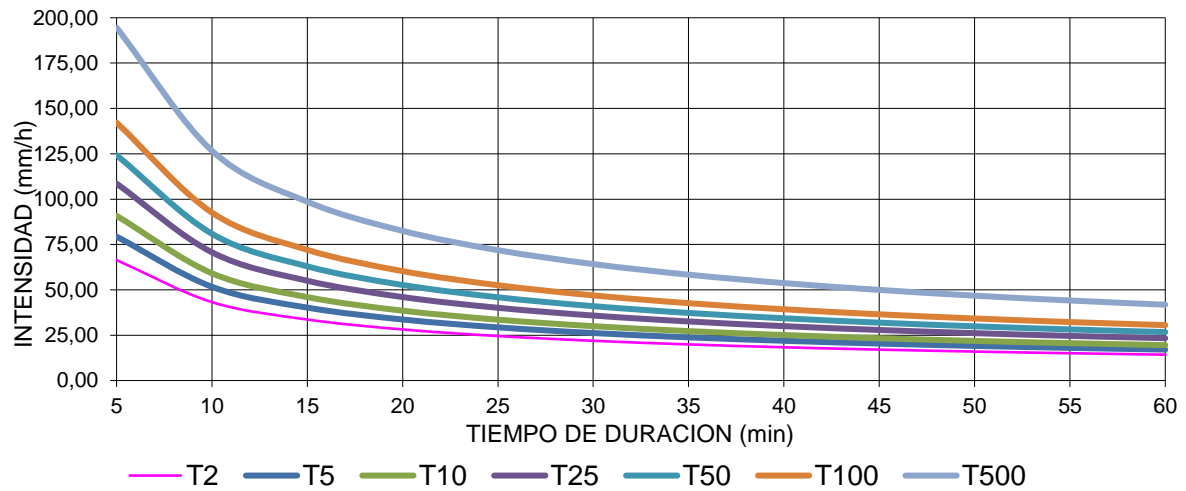
$$d = K T^m$$

Con lo que de la anterior expresión se obtiene:

$$I = \frac{d}{t^n} \rightarrow I = dt^{-n}$$

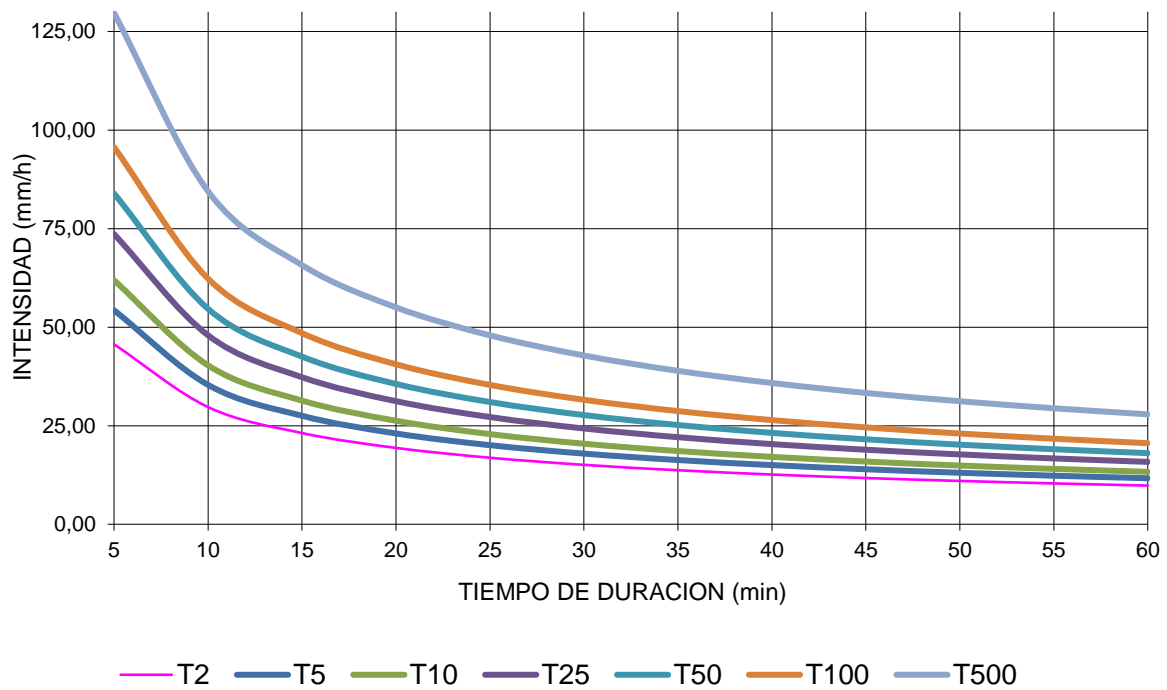
Las anteriores fórmulas y resultados se presentan para cada una de las estaciones en los anexos del presente capítulo. A continuación se presentan las curvas IDF para cada una de las estaciones analizadas para los diferentes periodos de retorno calculados.

Gráfica 147 Curvas IDF para la estación El Hato



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 148 Curvas IDF para la estación Providencia



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Tiempo de concentración

También conocido como tiempo de equilibrio, es el tiempo que tarda la partícula, hidráulicamente más lejana, en viajar hasta el punto de descarga o desembocadura del drenaje principal. Para su cálculo se tuvieron en cuenta los parámetros morfométricos de la cuenca. A continuación se muestra el tiempo de concentración para las microcuencas analizadas por diferentes métodos de análisis.

- ✓ California Culvert Practice (1942):

$$T_c = \left(0.87 \frac{L_c^3}{H} \right)$$

Dónde:

Tc = Tiempo de concentración (horas)

H = Diferencia entre la cota mayor y la cota menor de la cuenca (m)

Lc = Longitud del cauce principal (Km)

- ✓ Kirpich (1942)

$$T_c = 0.02L^{0.77}S^{-0.385} \quad \text{Ec Kripich}$$

Dónde:

Tc = Tiempo de concentración (horas)

L = Longitud del cauce principal (Km)

S = Pendiente de la cuenca en m/m

Tabla 57 Tiempo de concentración de las microcuencas analizadas

Microcuenca	Califormnia CP (1942)	Kirpich (1942)
Suelo urbano y de expansión urbana		
Microcuenca 1	0,09	0,20
Microcuenca 2	0,08	0,21
Microcuenca 3	0,08	0,26
Microcuenca 4	0,07	0,27
Microcuenca 5	0,04	0,17
Microcuenca 6	0,04	0,12
Centro poblado Casajera		
Microcuenca 1	0,02	0,10
Centro poblado Gratamira		
Microcuenca 1	0,02	0,11
Centro poblado Juaica		
Microcuenca 1	0,06	0,21
Microcuenca 2	0,08	0,27
Microcuenca 3	0,05	0,19

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Hietograma

Para el presente análisis se emplearon los hietogramas para periodos de retorno de 100 años, acorde con lo establecido en la guía metodológica para zonificación de la amenaza por inundaciones del IDEAM 2017.

Tabla 58 Hietograma para periodos de retorno 100 años – Estación El Hato

HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 100 AÑOS						
Duración de la tormenta (h)	24	1440 min				
Intensidad de lluvia (mm/h)	15.48					
Precipitación en 24 horas (mm)	371.55					
Intervalos de tiempo (min)	5					
Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
5	142.2080132	11.85	11.85	142.21	0.50	6.06
10	92.60448485	15.43	3.58	43.00	0.52	6.29
15	72.05401033	18.01	2.58	30.95	0.54	6.54
20	60.30314624	20.10	2.09	25.05	0.57	6.82
25	52.52515312	21.89	1.78	21.41	0.59	7.13
30	46.92087569	23.46	1.57	18.90	0.62	7.49
35	42.65168263	24.88	1.42	17.04	0.66	7.89
40	39.26882647	26.18	1.30	15.59	0.70	8.36
45	36.50835342	27.38	1.20	14.42	0.74	8.91
50	34.20387246	28.50	1.12	13.46	0.80	9.56
55	32.2447835	29.56	1.05	12.65	0.86	10.36
60	30.55442112	30.55	1.00	11.96	0.95	11.36
65	29.07780185	31.50	0.95	11.36	1.05	12.65
70	27.77436383	32.40	0.90	10.83	1.20	14.42
75	26.61346461	33.27	0.86	10.36	1.42	17.04
80	25.57148057	34.10	0.83	9.94	1.78	21.41
85	24.62987695	34.89	0.80	9.56	2.58	30.95
90	23.77388718	35.66	0.77	9.22	11.85	142.21
95	22.991587	36.40	0.74	8.91	3.58	43.00
100	22.27323143	37.12	0.72	8.62	2.09	25.05
105	21.61077081	37.82	0.70	8.36	1.57	18.90
110	20.99749162	38.50	0.68	8.12	1.30	15.59
115	20.42774579	39.15	0.66	7.89	1.12	13.46
120	19.89674396	39.79	0.64	7.68	1.00	11.96
125	19.40039558	40.42	0.62	7.49	0.90	10.83
130	18.93518375	41.03	0.61	7.30	0.83	9.94
135	18.49806643	41.62	0.59	7.13	0.77	9.22
140	18.0863975	42.20	0.58	6.97	0.72	8.62
145	17.69786332	42.77	0.57	6.82	0.68	8.12
150	17.33043114	43.33	0.56	6.67	0.64	7.68
155	16.98230703	43.87	0.54	6.54	0.61	7.30
160	16.6519012	44.41	0.53	6.41	0.58	6.97

HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 100 AÑOS						
Duración de la tormenta (h)		24		1440 min		
Intesidad de lluvia (mm/h)		15.48				
Precipitación en 24 horas (mm)		371.55				
Intervalos de tiempo (min)		5				
Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
165	16.33779919	44.93	0.52	6.29	0.56	6.67
170	16.03873801	45.44	0.51	6.17	0.53	6.41
175	15.75358597	45.95	0.50	6.06	0.51	6.17
180	15.48132574	46.44	0.50	5.95	0.50	5.95
185	15.22104005	46.93	0.49	5.85	0.49	5.85
190	14.97189942	47.41	0.48	5.75	0.48	5.75
195	14.73315172	47.88	0.47	5.66	0.47	5.66
200	14.50411321	48.35	0.46	5.57	0.46	5.57
205	14.28416078	48.80	0.46	5.49	0.46	5.49
210	14.07272525	49.25	0.45	5.40	0.45	5.40
215	13.86928559	49.70	0.44	5.32	0.44	5.32
220	13.67336376	50.14	0.44	5.25	0.44	5.25
225	13.48452039	50.57	0.43	5.18	0.43	5.18
230	13.30235078	50.99	0.43	5.10	0.43	5.10
235	13.12648153	51.41	0.42	5.04	0.42	5.04
240	12.95656752	51.83	0.41	4.97	0.41	4.97
245	12.7922892	52.24	0.41	4.91	0.41	4.91
250	12.63335025	52.64	0.40	4.85	0.40	4.85
255	12.47947544	53.04	0.40	4.79	0.40	4.79
260	12.3304088	53.43	0.39	4.73	0.39	4.73
265	12.18591186	53.82	0.39	4.67	0.39	4.67
270	12.04576222	54.21	0.38	4.62	0.38	4.62
275	11.90975215	54.59	0.38	4.57	0.38	4.57
280	11.77768739	54.96	0.38	4.51	0.38	4.51
285	11.64938607	55.33	0.37	4.46	0.37	4.46
290	11.52467768	55.70	0.37	4.42	0.37	4.42
295	11.40340223	56.07	0.36	4.37	0.36	4.37
300	11.28540939	56.43	0.36	4.32	0.36	4.32
305	11.1705578	56.78	0.36	4.28	0.36	4.28
310	11.05871434	57.14	0.35	4.24	0.35	4.24
315	10.94975359	57.49	0.35	4.19	0.35	4.19
320	10.84355725	57.83	0.35	4.15	0.35	4.15
325	10.74001359	58.18	0.34	4.11	0.34	4.11

HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 100 AÑOS						
Duración de la tormenta (h)		24		1440 min		
Intesidad de lluvia (mm/h)		15.48				
Precipitación en 24 horas (mm)		371.55				
Intervalos de tiempo (min)		5				
Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
330	10.63901706	58.51	0.34	4.07	0.34	4.07
335	10.5404678	58.85	0.34	4.04	0.34	4.04
340	10.44427131	59.18	0.33	4.00	0.33	4.00
345	10.35033802	59.51	0.33	3.96	0.33	3.96
350	10.25858305	59.84	0.33	3.93	0.33	3.93
355	10.16892581	60.17	0.32	3.89	0.32	3.89
360	10.08128982	60.49	0.32	3.86	0.32	3.86
365	9.995602354	60.81	0.32	3.83	0.32	3.83
370	9.911794289	61.12	0.32	3.79	0.32	3.79
375	9.829799827	61.44	0.31	3.76	0.31	3.76
380	9.749556316	61.75	0.31	3.73	0.31	3.73
385	9.671004055	62.06	0.31	3.70	0.31	3.70
390	9.594086121	62.36	0.31	3.67	0.31	3.67
395	9.518748203	62.67	0.30	3.64	0.30	3.64
400	9.444938454	62.97	0.30	3.61	0.30	3.61
405	9.37260735	63.27	0.30	3.59	0.30	3.59
410	9.301707554	63.56	0.30	3.56	0.30	3.56
415	9.232193802	63.86	0.29	3.53	0.29	3.53
420	9.164022782	64.15	0.29	3.51	0.29	3.51
425	9.097153031	64.44	0.29	3.48	0.29	3.48
430	9.031544834	64.73	0.29	3.45	0.29	3.45
435	8.967160133	65.01	0.29	3.43	0.29	3.43
440	8.903962436	65.30	0.28	3.41	0.28	3.41
445	8.841916742	65.58	0.28	3.38	0.28	3.38
450	8.780989456	65.86	0.28	3.36	0.28	3.36
455	8.721148324	66.14	0.28	3.34	0.28	3.34
460	8.662362365	66.41	0.28	3.31	0.28	3.31
465	8.604601802	66.69	0.27	3.29	0.27	3.29
470	8.54783801	66.96	0.27	3.27	0.27	3.27
475	8.492043456	67.23	0.27	3.25	0.27	3.25
480	8.437191646	67.50	0.27	3.23	0.27	3.23
485	8.383257077	67.76	0.27	3.21	0.27	3.21
490	8.330215189	68.03	0.27	3.19	0.27	3.19

HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 100 AÑOS						
Duración de la tormenta (h)	24	1440 min				
Intesidad de lluvia (mm/h)	15.48					
Precipitación en 24 horas (mm)	371.55					
Intervalos de tiempo (min)	5					
Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
495	8.278042324	68.29	0.26	3.17	0.26	3.17
500	8.226715677	68.56	0.26	3.15	0.26	3.15
505	8.176213267	68.82	0.26	3.13	0.26	3.13
510	8.126513891	69.08	0.26	3.11	0.26	3.11
515	8.077597094	69.33	0.26	3.09	0.26	3.09
520	8.029443131	69.59	0.26	3.07	0.26	3.07
525	7.982032943	69.84	0.25	3.05	0.25	3.05
530	7.935348121	70.10	0.25	3.03	0.25	3.03
535	7.889370879	70.35	0.25	3.02	0.25	3.02
540	7.844084028	70.60	0.25	3.00	0.25	3.00

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Tabla 59 Hietogramas para periodos de retorno 100 años – Estación Providencia

HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 100 AÑOS						
Duración de la tormenta (h)	24	1440 min				
Intesidad de lluvia (mm/h)	10.42					
Precipitación en 24 horas (mm)	250.00					
Intervalos de tiempo (min)	5					
Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
5	95.6852238	7.97	7.97	95.69	0.34	4.08
10	62.30929368	10.38	2.41	28.93	0.35	4.23
15	48.48182567	12.12	1.74	20.83	0.37	4.40
20	40.57521031	13.53	1.40	16.86	0.38	4.59
25	35.3417569	14.73	1.20	14.41	0.40	4.80
30	31.57089668	15.79	1.06	12.72	0.42	5.04
35	28.69835325	16.74	0.96	11.46	0.44	5.31
40	26.42218511	17.61	0.87	10.49	0.47	5.63
45	24.56478991	18.42	0.81	9.71	0.50	6.00
50	23.01421079	19.18	0.75	9.06	0.54	6.44
55	21.69603003	19.89	0.71	8.51	0.58	6.97
60	20.55866303	20.56	0.67	8.05	0.64	7.64
65	19.56511391	21.20	0.64	7.64	0.71	8.51

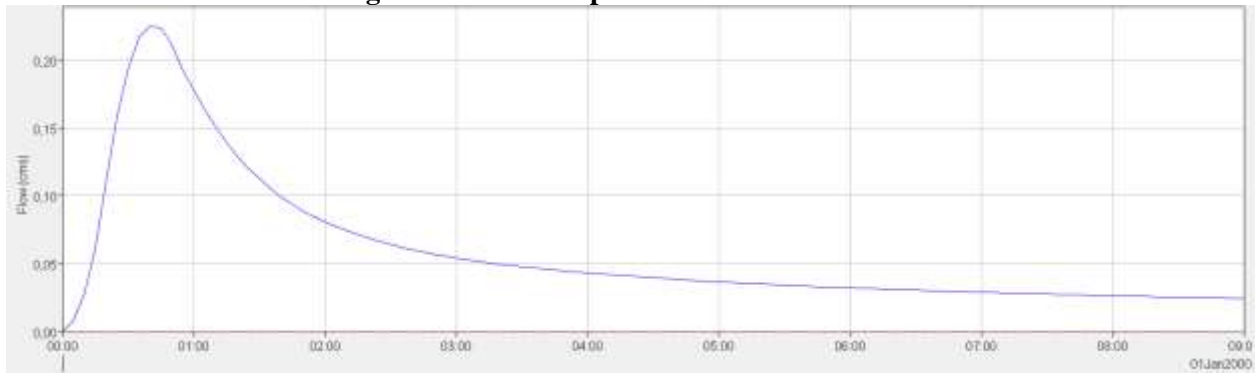
HIETOGRAMA PARA PERIODO RETORNO 100 AÑOS						
Duración de la tormenta (h)	24	1440 min				
Intesidad de lluvia (mm/h)	10.42					
Precipitación en 24 horas (mm)	250.00					
Intervalos de tiempo (min)	5					
Instante (min)	Intensidad (mm/h)	Precipitación acumulada (mm)	Precipitación (mm)	Intensidad parcial (mm/h)	Precipitación Alternada (mm)	Int. Parcial Alternada (mm)
70	18.68809049	21.80	0.61	7.29	0.81	9.71
75	17.90697486	22.38	0.58	6.97	0.96	11.46
80	17.20587178	22.94	0.56	6.69	1.20	14.41
85	16.57231006	23.48	0.54	6.44	1.74	20.83
90	15.99635396	23.99	0.52	6.21	7.97	95.69
95	15.4699802	24.49	0.50	6.00	2.41	28.93
100	14.98663181	24.98	0.48	5.80	1.40	16.86
105	14.54089257	25.45	0.47	5.63	1.06	12.72
110	14.12824523	25.90	0.46	5.46	0.87	10.49
115	13.7448895	26.34	0.44	5.31	0.75	9.06
120	13.38760282	26.78	0.43	5.17	0.67	8.05
125	13.05363285	27.20	0.42	5.04	0.61	7.29
130	12.74061323	27.60	0.41	4.92	0.56	6.69
135	12.44649712	28.00	0.40	4.80	0.52	6.21
140	12.16950405	28.40	0.39	4.69	0.48	5.80
145	11.90807729	28.78	0.38	4.59	0.46	5.46
150	11.6608491	29.15	0.37	4.49	0.43	5.17
155	11.42661242	29.52	0.37	4.40	0.41	4.92
160	11.20429754	29.88	0.36	4.31	0.39	4.69
165	10.99295277	30.23	0.35	4.23	0.37	4.49
170	10.79172827	30.58	0.35	4.15	0.36	4.31
175	10.59986259	30.92	0.34	4.08	0.35	4.15
180	10.41667122	31.25	0.33	4.00	0.33	4.00

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

✓ *Caudales máximos*

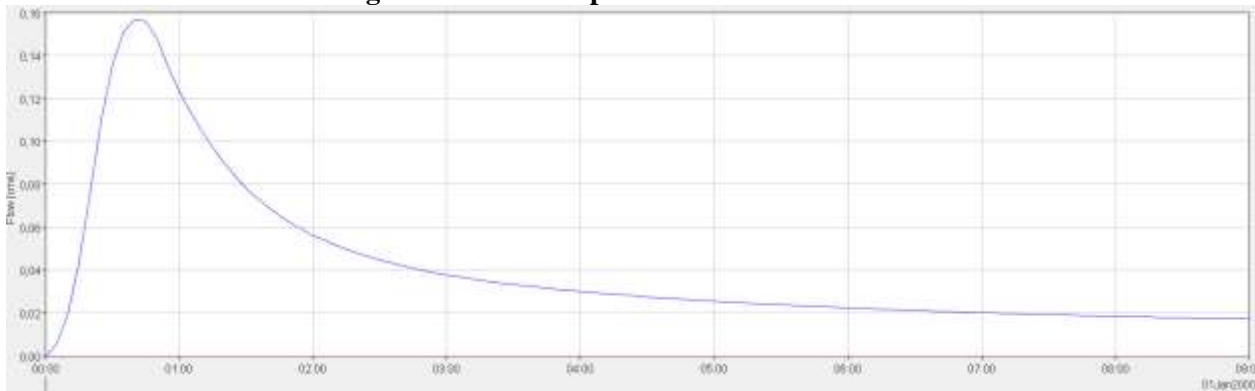
A través del procesamiento de los datos de entrada mencionados anteriormente en el software HecHMS, se obtuvieron los hidrogramas o series de caudales máximos presentados en el Anexo Hidrogramas de crecida del presente capítulo.

Gráfica 149 Hidrograma de crecida para microcuencia 1 del área urbana centro



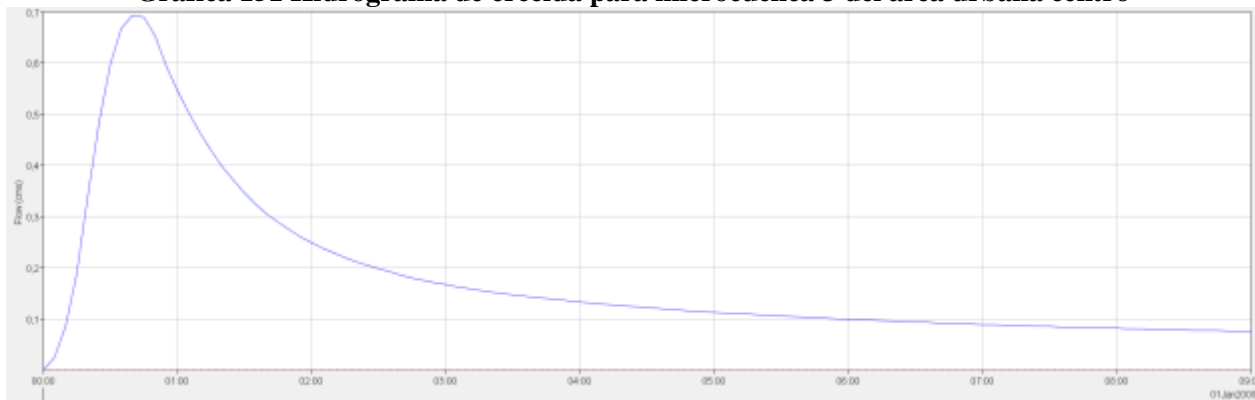
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 150 Hidrograma de crecida para microcuencia 2 del área urbana centro



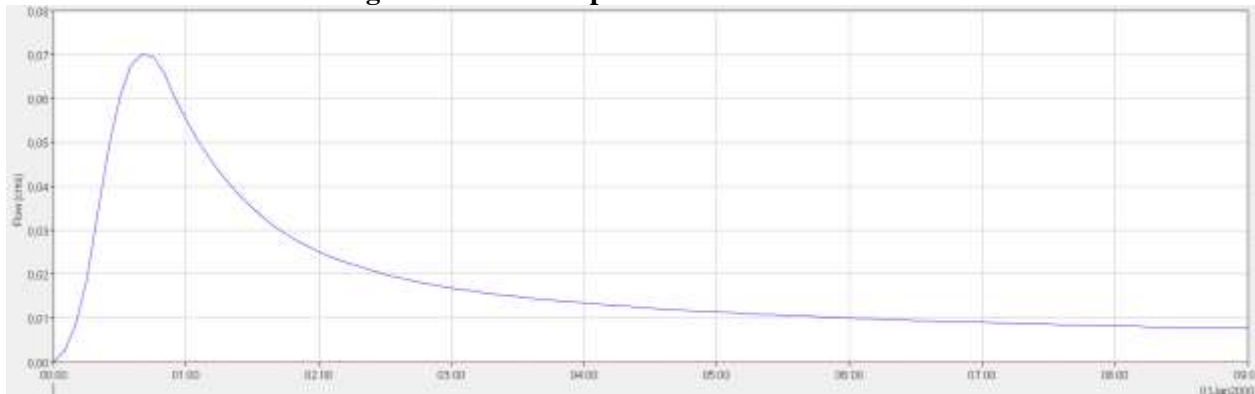
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 151 Hidrograma de crecida para microcuencia 3 del área urbana centro



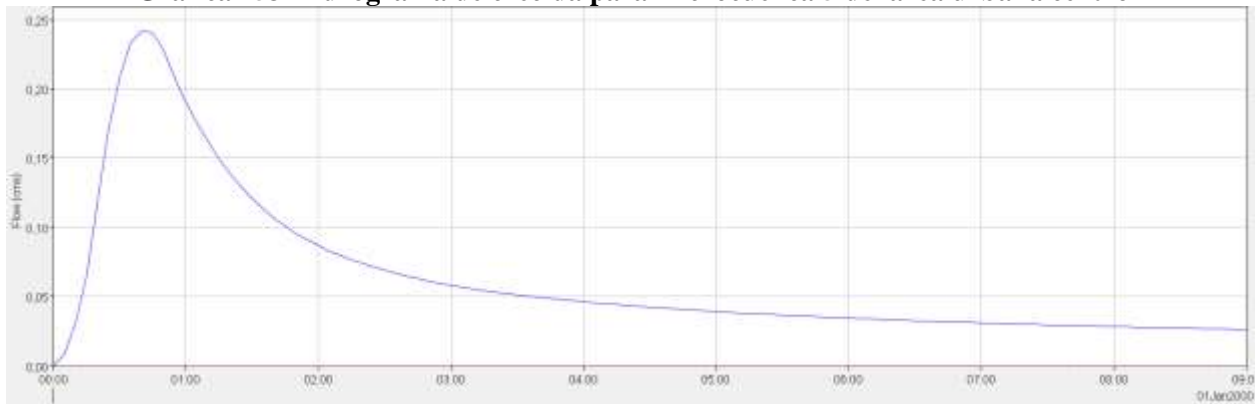
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 152 Hidrograma de crecida para microcuencia 4 del área urbana centro



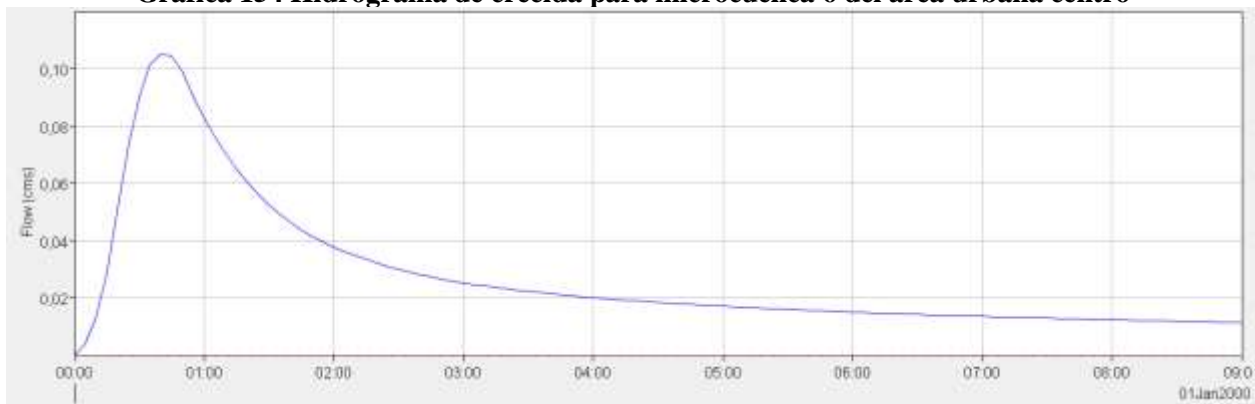
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 153 Hidrograma de crecida para microcuencia 5 del área urbana centro



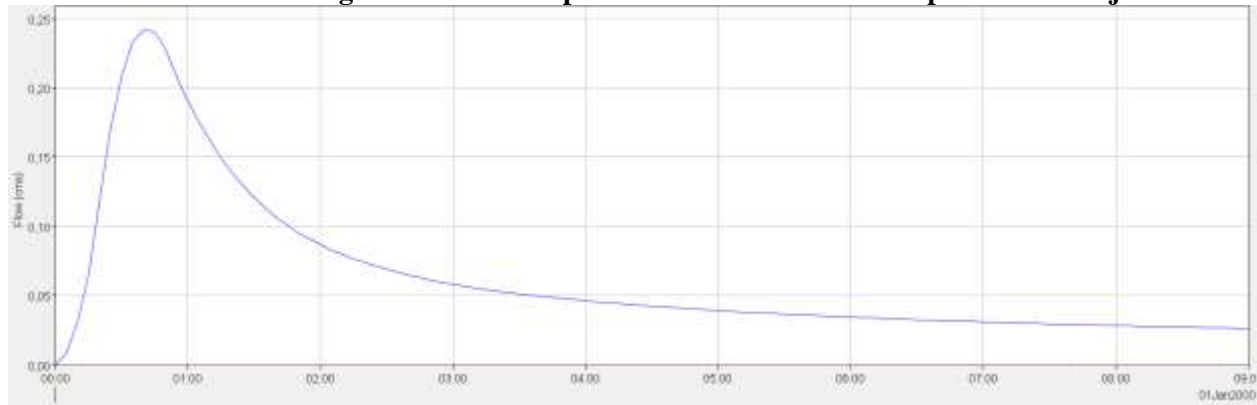
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 154 Hidrograma de crecida para microcuencia 6 del área urbana centro



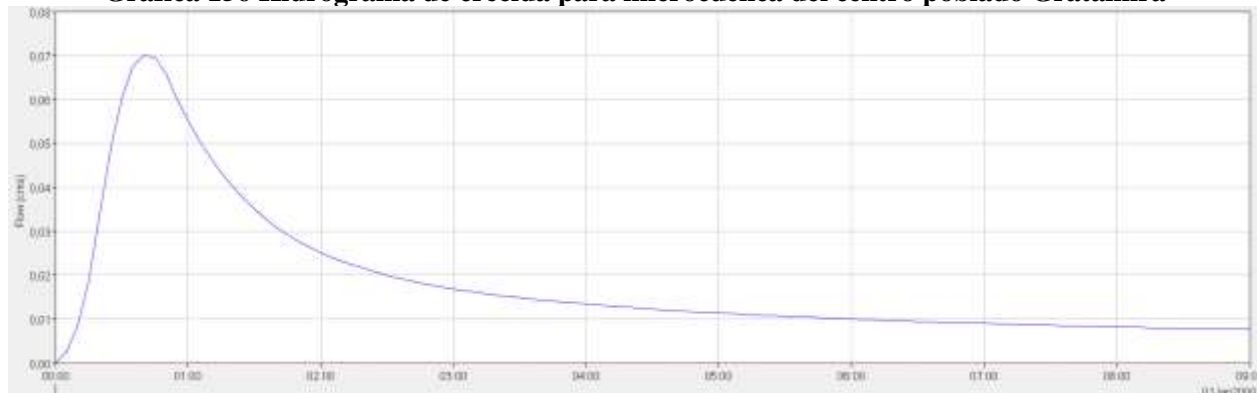
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 155 Hidrograma de crecida para microcuenca del centro poblado Cascajera



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 156 Hidrograma de crecida para microcuenca del centro poblado Gratamira



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.4.5.2.5 Análisis hidráulico

Con los resultados anteriores se tiene una idea de la relación precipitación-escorrentía, con la cual se pudo hacer el modelamiento hidráulico del cauce principal, con el objeto de delimitar áreas de inundación de acuerdo al periodo de retorno estudiado. En este caso se utilizaron modelos hidráulicos para canales abiertos.

✓ *Conceptos de la hidráulica de canales abiertos*

Para el estudio de los niveles y velocidades de agua en ríos, la aproximación que sin duda más utilizada es la de flujo bidimensional y régimen permanente gradualmente variado. Por sencillez de programación y de discretización del dominio, y a veces por falta de información en las condiciones de contorno en régimen no permanente (hidrogramas), esta es la metodología que más se utiliza, incluso hoy.

Las hipótesis fundamentales para este tipo de aproximación son movimiento unidimensional, régimen permanente y fondo fijo. La ecuación fundamental es la conservación de la energía entre dos secciones de río, aunque también se utiliza la ecuación de conservación de la cantidad de movimiento para fenómenos locales, como pueden ser cambios de régimen, y otras ecuaciones más o menos empíricas para otros efectos locales como puentes, azudes, etc.

En general estos esquemas de cálculo están del lado de la seguridad cuando el objetivo es conocer los niveles máximos en avenida, ya que la lámina de agua que se obtiene con ellos suele estar por encima de la envolvente de calados máximos que se obtendrían con un modelo en régimen variable y un hidrograma cuyo caudal pico fuera el caudal utilizado en el cálculo en régimen permanente. Los métodos para la resolución numérica de este tipo de flujo se pueden encontrar en libros generales de hidráulica de lámina libre, siendo el más utilizado entre ellos el conocido método paso a paso.

Los aspectos básicos a tener en cuenta en lo que respecta a la adecuación de estos modelos a la realidad son:

- Se considera un caudal de circulación constante en todo el tramo de estudio, sin posibilidad de variación temporal.
- El fondo es fijo y no erosionable. Esto sin duda tiene influencia en los niveles de agua.
- El movimiento del flujo es unidimensional
- La curvatura de la superficie libre es pequeña y por tanto la distribución de presiones en una vertical es la hidrostática.

En este orden de ideas, se establece la ecuación de conservación de la energía o ecuación de Bernoulli:

$$\frac{d}{dx} \left(z + y + \alpha \frac{v^2}{2g} \right) = -I$$

donde:

X: es la abscisa, positiva en la dirección del flujo.

Z: es la cota de la solera.

Y: es el calado.

V: es la velocidad media de la sección.

g: es la aceleración de la gravedad.

I: es la pendiente motriz, evaluada mediante la fórmula de Manning.

α : es el coeficiente de Coriolis.

Las pérdidas de energía por unidad de peso y por unidad de longitud (pendiente motriz (I)), pueden estimarse mediante una expresión propia del movimiento uniforme, como es la fórmula de Manning:

$$\frac{n^2 * V}{R_h^{4/3}} = I$$

donde:

n: es el coeficiente de rugosidad de Manning.

V: es la velocidad media en la sección considerada.

Rh: es el radio hidráulico de la sección (igual al cociente A/p, A: área del flujo, p: perímetro mojado).

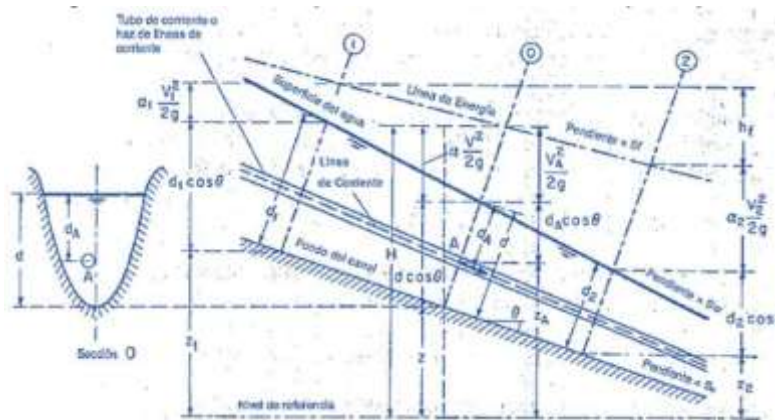
✓ *Esquema numérico de resolución*

En el análisis hidráulico se busca determinar el perfil de la superficie del agua para la creciente de diseño, información a partir de la cual se establece: la cota de inundación para determinar la altura de las estructuras necesarias; el impacto aguas arriba o remanso generado por la estructura; y las distribuciones del flujo y la

velocidad para la estimación de la socavación potencial y con ello la cota de cimentación de la infraestructura.

El cálculo del perfil de agua se realizó aplicando el método del paso estándar, considerando las pérdidas por expansión y contracción a través del punto de interés, las cuales se calculan para la condición de bajos caudales (lámina de agua por debajo del punto más alto del canto inferior de la altura de la estructura) y altos caudales (lámina de agua en contacto con el punto más alto del canto inferior de la altura de la estructura).

Gráfica 157 Hidrograma caudal pico.



Fuente. *Hidráulica de canales abiertos Ven Te Chow*

La ecuación de conservación de la energía discretizada para un tramo entre dos secciones (1 aguas arriba y 2 aguas abajo) separadas una distancia L se enuncia de la siguiente manera:

$$Z_1 + Y_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} = Z_2 + Y_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} + IL + \sum \lambda \frac{V_2^2}{2g} + \Delta H$$

donde:

Z: es la cota del fondo.

Y: es el calado.

V: es la velocidad media de la corriente.

G: es la aceleración de la gravedad.

α : es el coeficiente de distribución de velocidades de Coriolis que se estima en cada sección a partir de la distribución de velocidades.

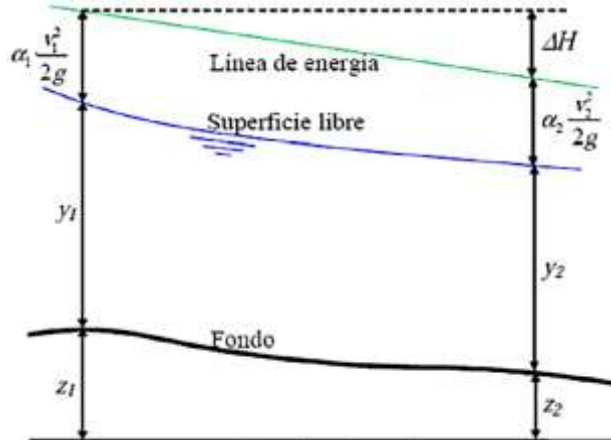
I: es la pendiente motriz en el tramo entre las secciones 1-2.

λ : es el coeficiente de pérdidas localizadas.

ΔH : representa las pérdidas por estrechamiento o ensanchamiento del cauce.

La ecuación anterior expresa la conservación de la energía (por unidad de peso) del flujo. De forma sintetizada, en esta ecuación la energía en la sección 1 es igual a la energía en la sección 2 más la energía perdida entre ambas. En la siguiente figura se muestra la energía entre dos secciones de cálculo.

Gráfica 158 Representación Gráfica de la energía del agua entre dos secciones.

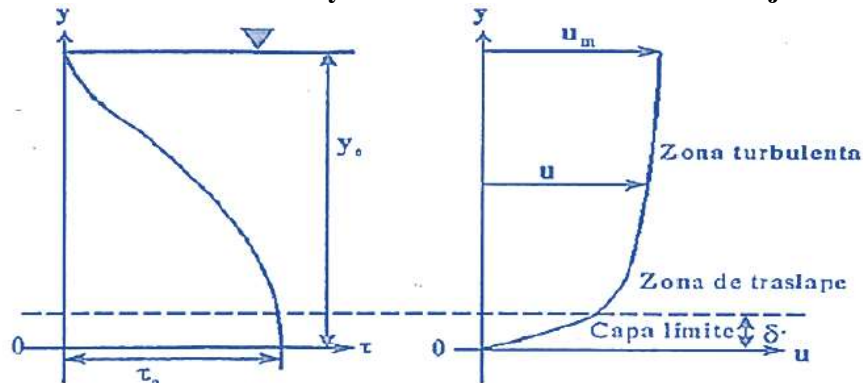


Fuente. Rodríguez Contreras (2014).

El cálculo de los niveles de agua utilizando la ecuación de conservación de la energía, en el supuesto más común de régimen subcrítico, consiste en calcular el nivel de agua en la sección 1 (z_1+y_1), a partir del nivel en la sección 2 (z_2+y_2) situadas aguas abajo. Las pérdidas de energía localizadas entre dos secciones se componen de pérdidas por fricción y pérdidas por contracción o expansión.

En el modelado con IBER, el régimen de flujo considerado en el presente estudio ha sido el régimen permanente gradualmente variado. En la determinación de niveles de inundación, se ha partido del concepto, que las velocidades de flujo a lo largo de una fuente es diferente en toda las partes de la sección transversal, significa que en el plano vertical, en un canal con rugosidad mínima y flujo subcrítico la velocidad es cero en las paredes y crece lentamente dentro de la capa límite donde el flujo es laminar, pasada la capa límite el flujo es turbulento y la distribución de las velocidades es diferente a la que tenía en la capa límite.

Gráfica 159 Esfuerzos cortantes y velocidades cerca del fondo en flujo turbulento.



Fuente. Modificado de Rodríguez Contreras (2014)

En la generación del modelo, desde un punto de vista hidráulico, deben ser tenidas en cuenta ciertas características del terreno, con base a los siguientes aspectos:

- ✓ Pendiente del cauce.
- ✓ Rugosidad del lecho y de sus márgenes a partir del tipo material predominante.
- ✓ Uniformidad de las secciones del cauce.
- ✓ Presencia de obstrucciones.
- ✓ Confluencias o desembocaduras cercanas.
- ✓ Altura, densidad y tamaño de la vegetación en el cauce y márgenes.
- ✓ Huellas de crecientes máximas en las laderas del cauce o zonas aledañas.
- ✓ Tipo de flujo predominante y existencia de una sección de control.
- ✓ Indicios de socavación si la estructura existe.
- ✓ Estabilidad de las márgenes.
- ✓ Existencia de estructuras o actividades sobre el río que puedan influir en su comportamiento.

✓ *Metodología de evaluación*

Debido a las características de la expresión morfológica del terreno en cada una de las zonas de estudio (unidades geomorfológicas asociadas al cauce activo, planicies de inundación, terrazas bajas y a la disposición de cauces meandriformes que cuentan con un bajo grado de inclinación o pendiente, entre otros), además de los parámetros derivados del análisis hidrológico y las características hidráulicas de los flujos y los canales presentes allí; se decidió llevar a cabo los modelamientos matemáticos o simulaciones concernientes al análisis del componente hidráulico empleando el software especializado IBER 2D, el cual se basa un modelo matemático bidimensional para la simulación del flujo y procesos de transporte de sólidos en ríos y estuarios, que es capaz de reproducir el flujo turbulento en lámina libre en régimen no permanente y aguas poco profundas. Este consta de tres módulos de cálculo principales: un módulo hidrodinámico que permite la simulación bidimensional de cauces (y en consecuencia posibilita la definición de zonas inundables, la delimitación de vías de intenso desagüe); un módulo de turbulencia y, un módulo de transporte sólido por arrastre de fondo y en suspensión para la cuantificación de procesos de erosión y sedimentación. Todos los módulos trabajan sobre una malla no estructurada de volúmenes finitos formada por elementos triangulares o cuadriláteros.

El modelamiento y análisis hidráulico mediante esta herramienta, fue generado a partir de dos etapas: Pre-proceso y Post-proceso. Para realizar el cálculo en el módulo hidrodinámico se deben seguir los siguientes pasos: crear o importar una geometría (topografía), generar la malla, asignar condiciones de contorno y caudales, asignar la rugosidad del terreno (n-manning), asignar las opciones del cálculo (tiempo de cálculo) y consulta de resultados (módulo post-proceso).

Gráfica 160 . Metodología general del procesamiento hidráulico mediante el software IBER.



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Localización de modelos hidráulicos

El modelamiento hidráulico en 2D realizado por medio del software libre IBER se generó en la zona específica de la microcuenca presentada en la fase hidrológica, en donde el modelamiento se realiza utilizando información topográfica detallada.

4.4.5.2.5.1.1.1 Curso intermitente definido

Tal como se dijo anteriormente en las zonas de estudio no se definió un cuerpo de agua propiamente dicho, sino que se trató de un curso intermitente favorecido por efectos de escorrentia, y cuyo trazo fue estimado suponiendo la ruta que sigue el agua según la configuración topográfica, con ayuda de la herramienta “Acumulación de Flujo” del software ArcGIS, lo cual facilitó el proceso de delimitación de la microcuenca, incluyendo todos sus afluentes.

Pre-proceso

En esta fase se construyó e ingresó la información necesaria para elaborar el modelo bidimensional de inundación mediante el software IBER. Sobre los cauces evaluados en cada zona de estudio en particular, se realizó la modelación hidráulica respectiva para los tramos de canal que se encuentran definidos e incluidos dentro del perímetro establecido, acorde con la cantidad de información requerida para generar cada una de las mallas de análisis.

4.4.5.2.5.1.1.2 Geometría de malla

Partiendo de un modelo digital del terreno (MDT) el cual fue creado a partir de la topografía elaborada para cada una de las zonas de estudio, fue posible obtener una representación matemática de los valores de altura y consecuentemente definir y caracterizar la expresión morfológica del relieve de cada zona analizada. Los MDT cuentan con una resolución espacial mínima de 0.1x0.1 m, detalle necesario para identificar las variaciones leves de algunos de los sectores analizados, en pro de una mejor representación en el modelo de las condiciones de la realidad del terreno.

Los MDT, originalmente en formato ráster, son convertidos en un archivo de texto (en formato ASCII) el cual representa un conjunto de datos provenientes del ráster a manera de matrices de valores numéricos para cada uno de los pixeles originales.

Al ser ingresado dentro del software IBER, su representación gráfica estará compuesta por una geometría formada por una red irregular de triángulos rectángulos. Al crearse, también se indica la longitud mínima y máxima de lado de los triángulos que se formarán, así como una tolerancia (máxima distancia en vertical entre el MDT y la geometría creada).

4.4.5.2.5.1.1.3 Coeficiente de rugosidad

La determinación del coeficiente de rugosidad de Manning es un paso fundamental durante el análisis hidráulico, pues a partir de su estimación se determinan las propiedades hidráulicas en las secciones de desarrollo del presente proyecto. El parámetro de rugosidad para cada una de las zonas de estudio fue considerado a partir del Coeficiente de Manning.

4.4.5.2.5.1.1.4 Condiciones de contorno

Dentro de la definición de las condiciones de contorno, se establecen dos tipos principales, las de entrada y las de salida. La entrada corresponde al inicio del drenaje analizado (aguas arriba) y la salida corresponde a la desembocadura del mismo (aguas abajo). En la asignación de estas condiciones de contorno se indican los elementos de la geometría que actuarán como entrada y salida del curso de agua identificado como intermitente, de esta forma se seleccionan los lados de los triángulos que formen una línea perpendicular al cauce del río (el software asume esa línea como el inicio o el final del curso de agua).

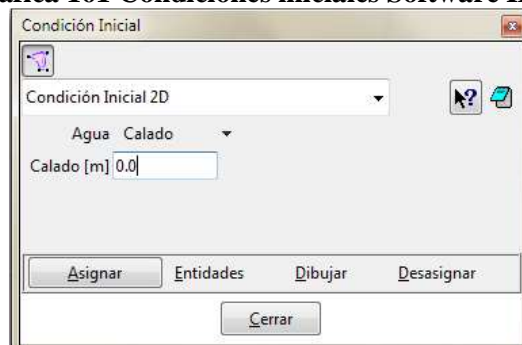
De forma adicional en esta fase del proceso, se introducen los datos de caudales para cada drenaje en la zona de estudio, los cuales fueron obtenidos tras el análisis hidrológico y su respectivo conjunto de hidrogramas procedentes de una fase previa, en donde se obtienen estos parámetros para los diferentes periodos de retorno.

Finalmente, se indica el tipo de régimen al que estará sometido el análisis (sub-crítico, crítico o supercrítico, que, para el modelamiento realizado para escenarios de inundación en las zonas de estudio, se define como un régimen de tipo sub-crítico.

4.4.5.2.5.1.1.5 Condiciones iniciales

Con el fin de llevar el modelo a la realidad se asume que los cursos intermitentes tienen un flujo constante, dado que el Software permite ingresar como condición inicial parámetros de calado (m) o cota (msnm), la cual se debe asignar a cada área que se encuentre en la malla; para el caso de los modelamientos en el presente estudio se asume que el área es seca, y el cauce intermitente tiene una profundidad media, ya que el Hidrograma a ingresar en las condiciones de frontera es un Hidrograma crítico con precipitaciones máximas en 24 horas.

Gráfica 161 Condiciones iniciales Software IBER.



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.4.5.2.5.1.1.6 Parámetros de tiempo

Para realizar el procesamiento se requirió ingresar los parámetros de tiempo los condicionan el momento inicial y final de la simulación, así como también cual va a ser el intervalo de tiempo que el software va a tener en cuenta para cada paso dentro de la simulación.

Los parámetros de tiempo utilizados en cada uno de los modelos dependen de la duración e intervalos de tiempo de cada uno de los hidrogramas utilizados, de manera que el instante inicial siempre corresponde a cero segundos (0 s) y el tiempo de simulación o tiempo final es el mismo que la duración total de cada hidrograma. El intervalo de resultados utilizado es el mismo que el intervalo de los hidrogramas, este corresponde a 5 segundos.

Tabla 60. Parámetros de tiempo del modelo hidráulico.

Instante Inicial (S)	Tiempo de simulación (s)	Intervalo de resultados (S)
----------------------	--------------------------	-----------------------------

0 S	33000 S	5 S
-----	---------	-----

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.4.5.2.5.1.1.7 Encharcamientos

Para el análisis de encharcamientos en suelo urbano, de expansión urbana y todos los centros poblados, se tomaron los datos de intensidad de la lluvia de los hietogramas generados, específicamente para un periodo de retorno de 100 años. Estos datos fueron ingresados siguiendo el mismo procedimiento descrito anteriormente, para así obtener las áreas en las cuales es más susceptible el terreno a sufrir encharcamientos.

4.4.6 Complemento – Análisis hidráulico

A continuación se muestran los resultados en cuanto a profundidad y velocidad de la lámina de agua para inundaciones lentas y para encharcamientos.

4.4.6.1 Suelo urbano centro y suelo de expansión

4.4.6.1.1 Inundaciones

Acorde con el modelamiento de las posibles inundaciones en el suelo urbano centro y su área de expansión, se identificaron algunas áreas inundables. Sin embargo, tal como se observa en la figura esta lámina de agua no alcanza la altura de 0,1 metro, por lo cual no se considera un desbordamiento del cauce o una inundación que pueda llegar a ocasionar fuertes daños. Sumado a lo anterior las velocidades no superan los 0,1 m/s, tal como se observa en la figura a continuación.

Gráfica 162 Profundidad (metros) y velocidad (m²/s) de la lámina de agua en el análisis de inundaciones para el suelo urbano centro y suelo de expansión

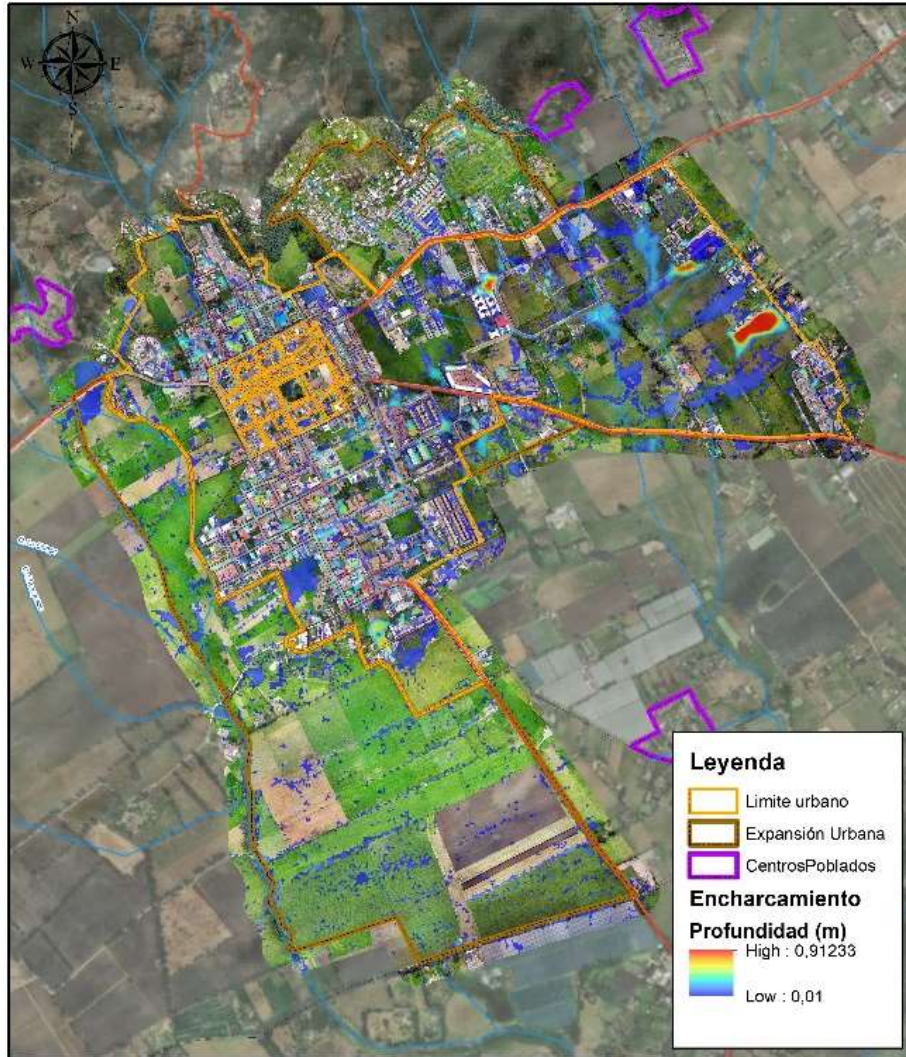


Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.4.6.1.2 Encharcamiento

Acorde al análisis de las precipitaciones sobre la topografía del suelo urbano y de expansión urbana del municipio de Tenjo, se pudo evidenciar que se producen encharcamientos de hasta 0,29 metros en algunas vías del centro urbano. Se identificaron algunos sectores críticos por este evento amenazante, debajo del sector cementerio y hacia el oeste del suelo urbano, en los cuales se pueden llegar a alcanzar una altura de la lámina de agua de hasta 0,9 metros. Lo anterior, evidencia las cunetas generadas por vías o por la geometría del terreno, las cuales ocasionan que en caso tal de presentarse una lluvia torrencial de periodo de retorno de 100 años, se pueden llegar a generar grandes encharcamientos en dichas áreas.

Gráfica 163 Profundidad de la lámina de agua generada por encharcamientos en suelo urbano y de expansión urbana



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.4.6.2 Suelo urbano La Punta

Acorde con la delimitación del área de estudio, se definió que en el suelo urbano La Punta no se realizaría la modelación hidráulica hidrológica para inundaciones. Por lo cual a continuación se presentan los resultados sólo para encharcamientos.

4.4.6.2.1 Encharcamientos

Teniendo en cuenta la topografía del suelo urbano La Punta y las afectaciones de las vías que limitan el suelo urbano y el área de expansión, las cuales hacen referencia principalmente a la diferencia topográfica entre estas y las construcciones o viviendas, se generan encharcamientos de hasta 0,5 metros en el sector central del suelo urbano y unos grandes sectores en el área de expansión oriental afectados por encharcamientos de hasta 0,3 metros.

Gráfica 164 Profundidad de la lámina de agua generada por encharcamientos en suelo urbano La Punta y de expansión urbana



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.4.6.3 Centro poblado Cascajera

4.4.6.3.1 Inundaciones

Acorde con el análisis hidrológico hidráulico en el centro poblado La Cascajera, el cuerpo de agua superficial con un periodo de retorno de 100 años en los caudales analizados, no alcanza una lámina de agua superior a 0,05 metros, por lo cual no ocasionará fuertes daños o generará inundaciones considerables en sus áreas aledañas, igualmente las velocidades de esta lámina de agua es muy inferior, por lo cual no se asocian eventos considerables.

Gráfica 165 Profundidad (metros) y velocidad (m2/s) de la lámina de agua en el análisis de inundaciones para el centro poblado Cascajera

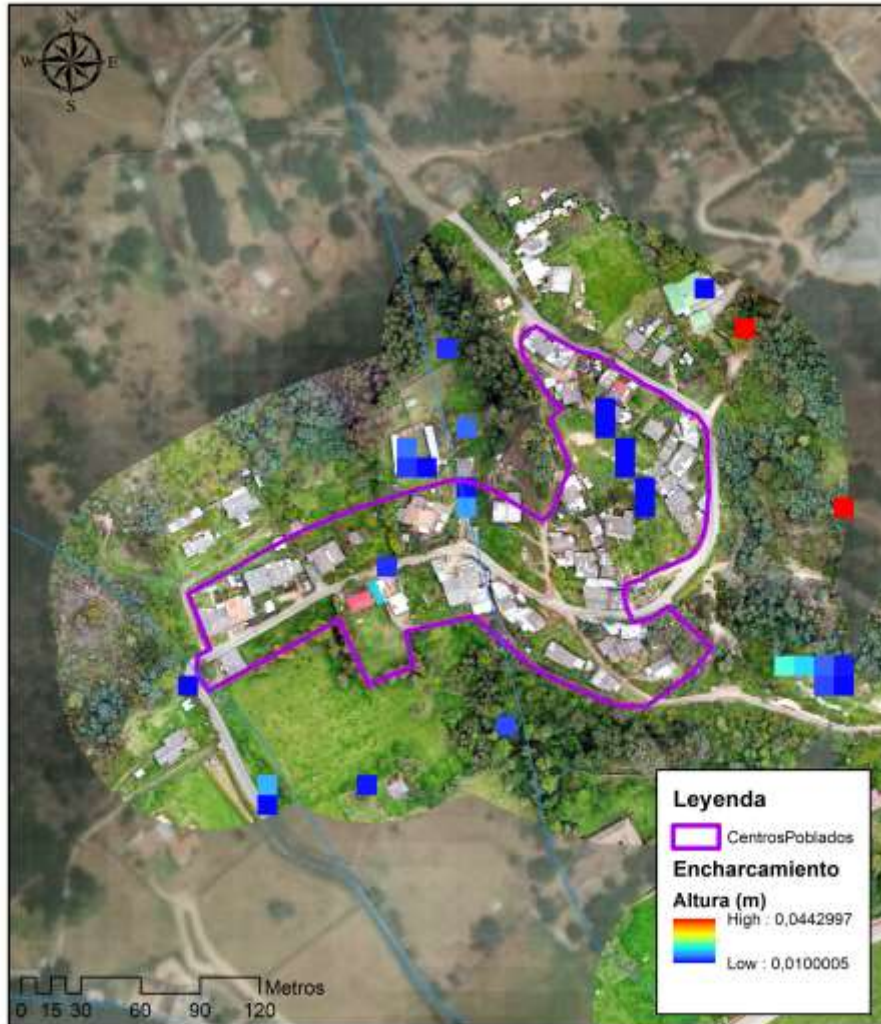


Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.4.6.3.2 Encharcamientos

En el centro poblado Cascajera no se evidencia hidráulicamente una afectación por encharcamientos, sólo en algunos sectores se pueden llegar a alcanzar alturas 0,02 metros, las cuales no generarían grandes afectaciones.

Gráfica 166 Profundidad de la lámina de agua generada por encharcamientos en el centro poblado Cascajera



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

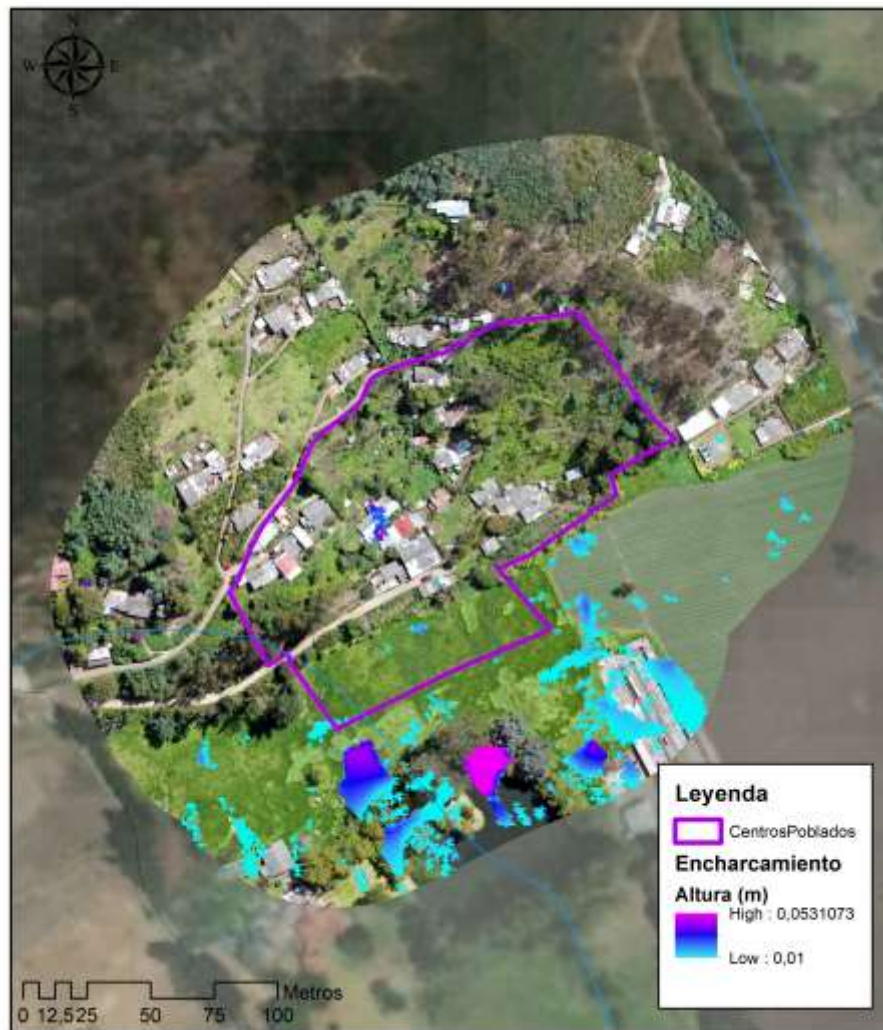
4.4.6.4 Centro poblado El Palmar

Acorde a la delimitación del área de estudio, se definió que en el centro poblado El Palmar no se realizaría la modelación hidráulica hidrológica para inundaciones. Por lo cual a continuación se presentan los resultados sólo para encharcamientos.

4.4.6.4.1 Encharcamientos

El centro poblado El Palmar se ve poco afectado por eventos de encharcamientos teniendo en cuenta su topografía. Sin embargo se identificaron algunos sectores con una altura de lámina de agua que varía entre 0,01 y 0,03 metros.

Gráfica 167 Profundidad de la lámina de agua generada por encharcamientos en el centro poblado El Palmar



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.4.6.5 Centro poblado Gratamira

4.4.6.5.1 Inundaciones

El centro poblado Gratamira tiene una alta influencia de un cuerpo de agua superficial que lo atraviesa, sin embargo los caudales asociados a dicho cuerpo de agua para un periodo de retorno de 100 años, sólo alcanzan una profundidad de lámina del agua menor a 0,08 metros, la cual no se asocia a fuertes daños. La velocidad del flujo del agua es un poco mayor que la determinada para otros centros poblados, sin embargo está generando grandes afectaciones puesto que la profundidad no alcanza los 0,2 metros.

Gráfica 168 Profundidad (metros) y velocidad (m2/s) de la lámina de agua en el análisis de inundaciones para el centro poblado Gratamira

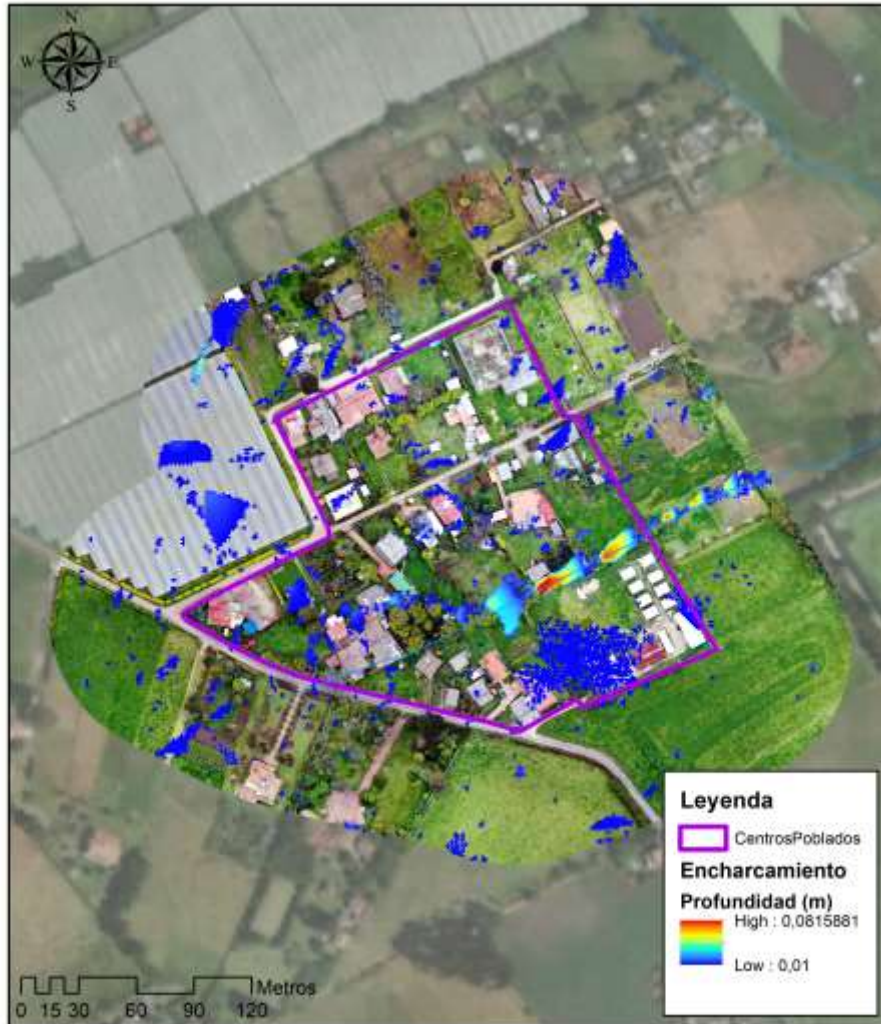


Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.4.6.5.2 Encharcamiento

La topografía o geometría del terreno en el centro poblado Gratamira, permite generar grandes zonas de encharcamientos, las cuales no alcanzan grandes profundidades puesto que el régimen climatológico de las precipitaciones no es lo suficientemente alto como para producir un encharcamiento mayor a 0,08 metros. Es importante mencionar que las mayores profundidades de encharcamiento se asocian a la forma del terreno del drenaje identificado en el centro poblado, sin embargo hacia el sector sur del centro poblado se identificó un sector afectado por este evento con una profundidad de hasta 0,01 metro.

Gráfica 169 Profundidad de la lámina de agua generada por encharcamientos en el centro poblado Gratamira



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.4.6.6 Centro poblado Jacalito

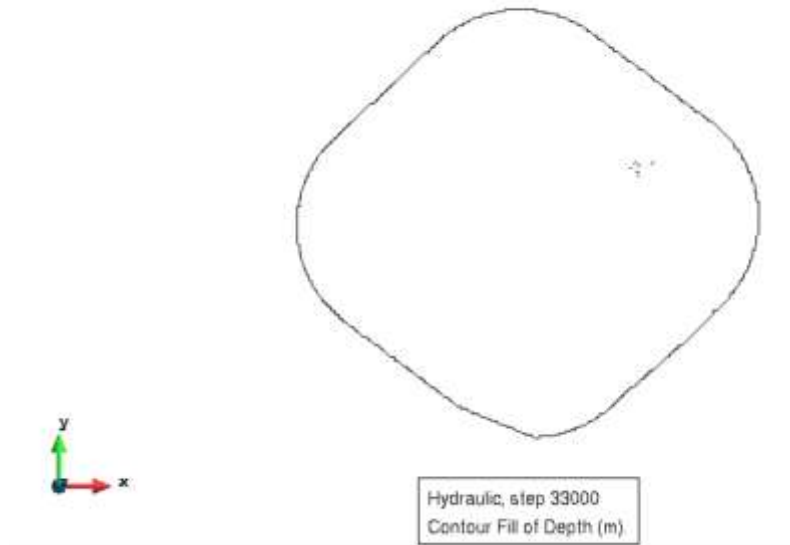
Acorde a la delimitación del área de estudio, se definió que en el centro poblado Jacalito no se realizaría la modelación hidráulica hidrológica para inundaciones. Por lo cual a continuación se presentan los resultados sólo para encharcamientos.

4.4.6.6.1 Encharcamientos

El análisis hidrológico hidráulico del centro poblado Jacalito permitió evidenciar que no se presentan encharcamientos dentro del límite de dicho centro poblado. Lo anterior se debe a la topografía y al tipo de

cobertura vegetal de este, la cual permite que el agua que queda por escorrentía discurra por todo el centro poblado y no se estanque formando encharcamientos. Teniendo en cuenta lo anterior, se presenta a continuación una imagen del modelamiento en IBER, el cual evidencia la no existencia de manchas por encharcamientos.

Gráfica 170 Modelamiento de encharcamientos para el centro poblado Jacalito



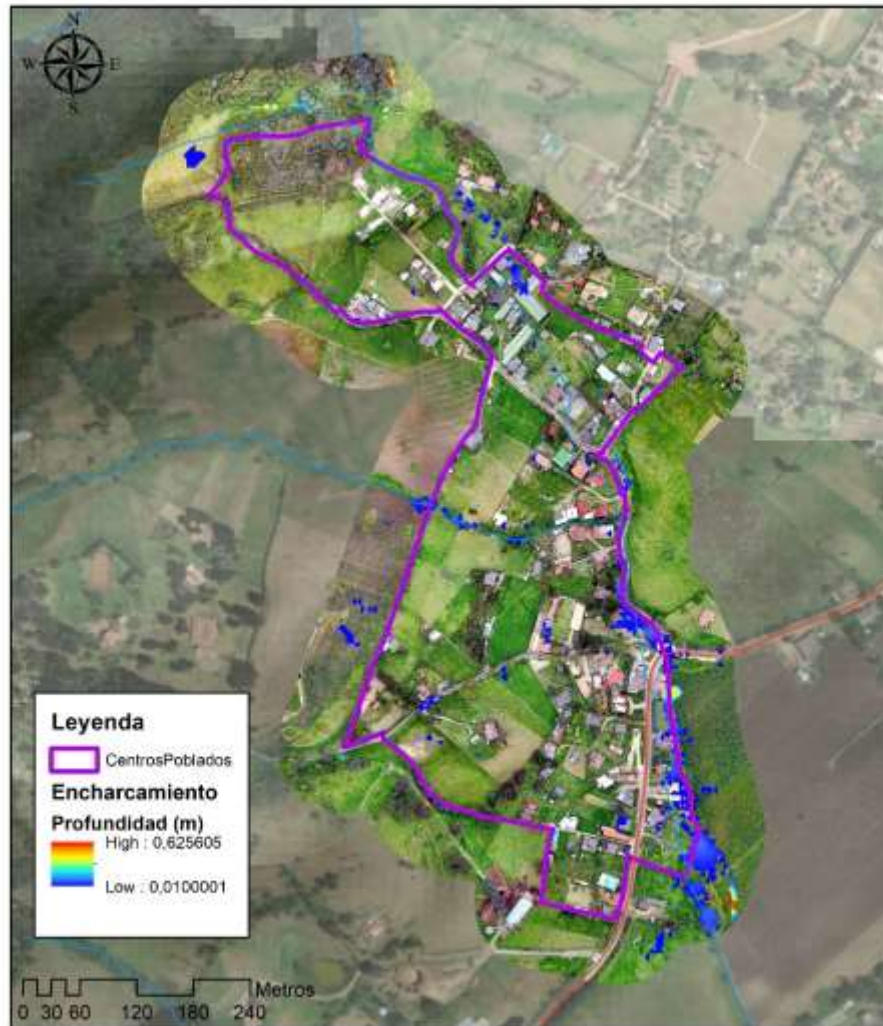
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.4.6.7 Centro poblado Juaica

4.4.6.7.1 Encharcamiento

Se identificaron algunos sectores del centro poblado Juaica afectados por encharcamientos, sin embargo dichos sectores no alcanzan una profundidad mayor a 0,1 metro, además se encuentran relacionados con las depresiones de los cuerpos de agua superficial identificados en este centro poblado. Teniendo en cuenta lo anterior, no se evidencian afectaciones por este evento.

Gráfica 171 Profundidad de la lámina de agua generada por encharcamientos en el centro poblado Juaica



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

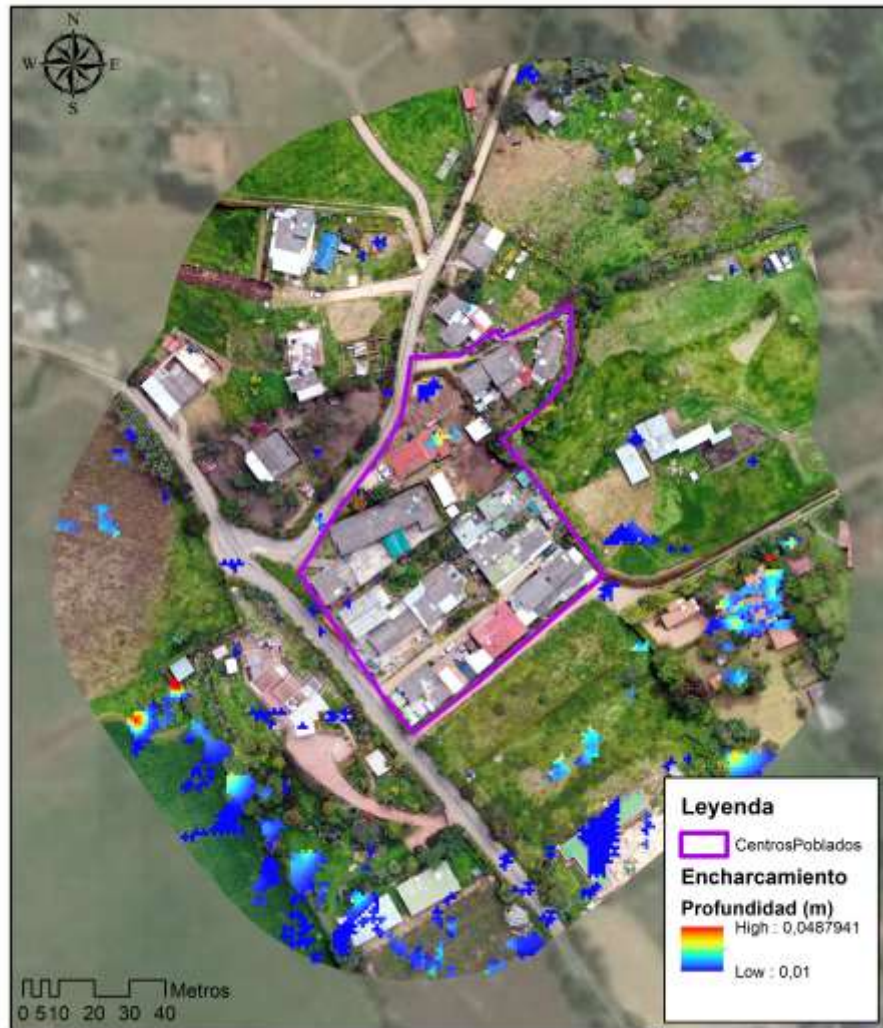
4.4.6.8 Centro poblado Los Pinos

Acorde a la delimitación del área de estudio, se definió que en el centro poblado Los Pinos no se realizaría la modelación hidráulica hidrológica para inundaciones. Por lo cual a continuación se presentan los resultados sólo para encharcamientos.

4.4.6.8.1 Encharcamientos

Este centro poblado se ve poco afectado por eventos de encharcamientos teniendo en cuenta su topografía. Sin embargo se identificaron algunos sectores con una altura de lámina de agua que varía entre 0,01 y 0,03 metros

Gráfica 172 Profundidad de la lámina de agua generada por encharcamientos en el centro poblado Los Pinos



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

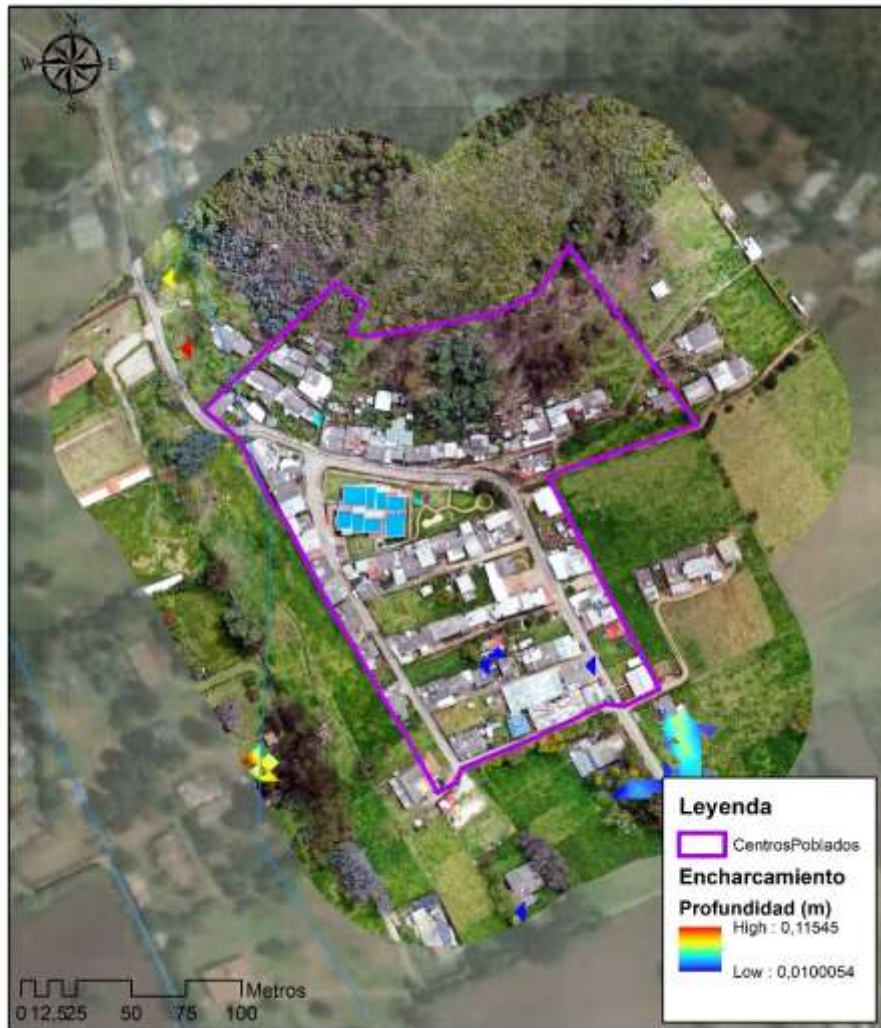
4.4.6.9 Centro poblado Pan de Azúcar

Acorde a la delimitación del área de estudio, se definió que en el centro poblado Pan de Azúcar no se realizaría la modelación hidráulica hidrológica para inundaciones. Por lo cual a continuación se presentan los resultados sólo para encharcamientos.

4.4.6.9.1 Encharcamientos

No se identificaron zonas de encharcamiento en el centro poblado Pan de Azúcar, sólo algunos polígonos evidencian concentraciones de agua que no superan 1 centímetro de altura, estas se ubican en el sector sur del centro poblado.

Gráfica 173 Profundidad de la lámina de agua generada por encharcamientos en el centro poblado Pan de Azúcar



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.4.6.10 Centro poblado Zoque

Acorde a la delimitación del área de estudio, se definió que en el centro poblado Zoque no se realizaría la modelación hidráulica hidrológica para inundaciones. Por lo cual a continuación se presentan los resultados sólo para encharcamientos.

4.4.6.10.1 Encharcamientos

El centro poblado Zoque tiene un comportamiento similar al centro poblado Jacalito, al no presentarse grandes variaciones en la topografía del terreno, el agua de escorrentía producida en un evento de

precipitación con periodo de retorno de 100 años, va a transportarse por todo el centro poblado de manera uniforme y no se generarán encharcamientos.

4.5 Estudio básico de amenaza por avenidas torrenciales

Los flujos torrenciales se describen como una mezcla de agua y sedimentos en diferentes proporciones, que se desplazan rápidamente a lo largo de cauces en cuencas pequeñas y de montaña, y que tienen como causas detonantes la presencia de uno o varios de los siguientes eventos: lluvias concentradas intensas o lluvias antecedentes; enjambre de movimientos en masa; sismos; rotura de presas naturales o artificiales; o aporte de grandes volúmenes de agua por deshielo generando tiempos de respuesta muy cortos para la toma de acciones por parte de la población localizada en las zonas bajas inundables. En Colombia las avenidas torrenciales son entendidas desde fenómenos gravitacionales tipo movimientos en masa, por parte de profesionales de la geología, hasta fenómenos hidrológicos tipo crecientes súbitas, por parte de profesionales en el campo de la hidrología. Ambas miradas corresponden a fenómenos aparentemente muy diferentes que implican el uso de métodos con enfoques diferenciados (Aristizábal, Arango Carmona, & García López, 2020).

El decreto 1077 de 2015, en su artículo 2.2.2.1.3.2.1.3 regula el contenido de los estudios básicos de amenaza por avenidas torrenciales, los cuales deben cumplir con las siguientes especificaciones técnicas. *“La evaluación de las avenidas torrenciales debe adelantarse en todos los cauces presentes o con influencia en el municipio o distrito, que por sus condiciones topográficas puedan tener un comportamiento torrencial. Se deben utilizar como insumos la geomorfología, estudios hidrológicos de la cuenca, orientado al flujo torrencial, considerando el ciclo de sedimentos, análisis hidráulico del área a zonificar, teniendo en cuenta factores detonantes como precipitación o movimientos en masa y la base cartográfica para la realización de la zonificación debe estar a escala 1:2.000”*.

Como alcance en estudios básicos, el decreto 1077 de 2015 para avenidas torrenciales define que la zonificación debe categorizarse en alta, media y baja, teniendo en cuenta la frecuencia de presentación de los eventos y sus características como la profundidad de la lámina de agua, los materiales de arrastre y la velocidad de flujo. El modelo a utilizar debe ser como mínimo estadístico, determinístico o probabilístico.

Este capítulo aborda el estudio de las amenazas por avenidas torrenciales para el municipio de Tenjo, utilizando la metodología propuesta por el SGC (2015) para el estudio de este tipo de fenómenos. Se define el evento amenazante, clasificación, su ocurrencia en Colombia y en la región y se define la pertinencia de su estudio como lo establece el Decreto 1077 de 2015.

4.5.1 Clasificación de las avenidas torrenciales

Un evento torrencial es un fenómeno que involucra corrientes de agua, lodo y fragmentos de roca en diferentes proporciones y tamaños, que ocurre en un periodo de tiempo muy corto comparado con otros fenómenos naturales. Los eventos hidrológicos torrenciales consisten en la ocurrencia súbita de caudales pico de corta duración y gran velocidad, que transitan a lo largo de los canales en cuencas hidrográficas de montaña, normalmente de tamaño reducido (Piedrahíta & Hermelin, 2005).

Debido al concepto amplio que abarca las avenidas torrenciales, estas deben ser estudiadas como fenómenos que no son totalmente hidrológicos o movimientos en masa, sino una combinación de ambos. De forma general, los flujos se definen como un fenómeno de transporte de sedimentos compuesto por una mezcla de material fino y grueso con una cantidad variable de agua, donde tanto las fuerzas sólidas como las fluidas

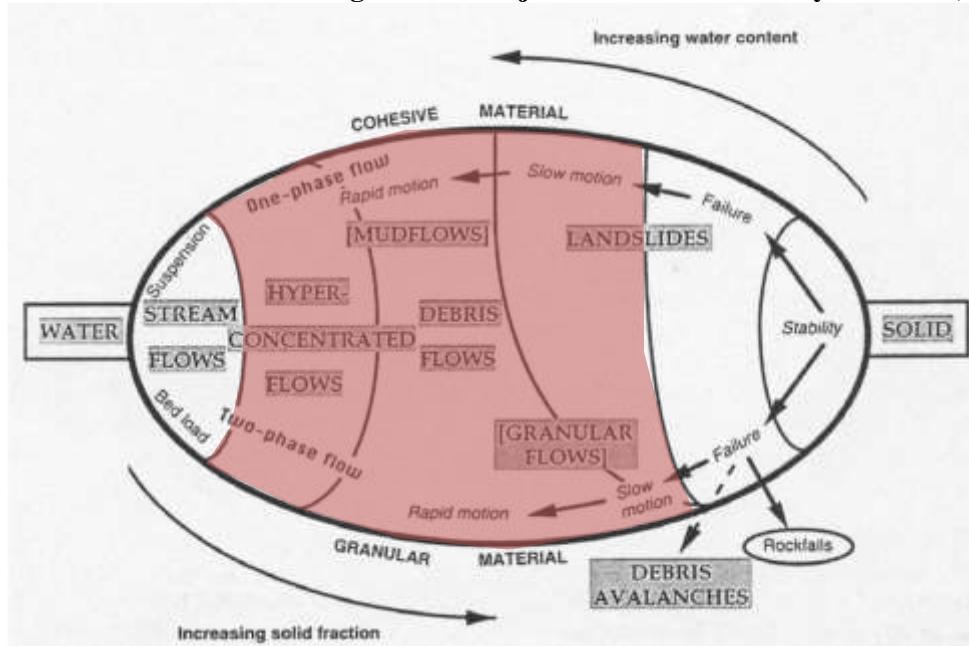
influyen fuertemente (Iverson 1997; Nettleton et ál. 2005 en (Aristizábal, Arango Carmona, & García López, 2020)). Según el tipo de proceso dominante y la relación sedimentos-agua, esta mezcla es considerada desde procesos gravitacionales tipo flujo (Cruden y Varnes 1996 en (Aristizábal, Arango Carmona, & García López, 2020)) hasta procesos hidrológicos tipo inundaciones súbitas (nws 2005 en (Aristizábal, Martínez, & Vélez, 2010)), donde en muchos casos el término flujo hiperconcentrado es utilizado para describir flujos intermedios entre estos dos fenómenos.

En la literatura se encuentran varias clasificaciones para los flujos, dado que el estudio de estos involucra varias disciplinas. Algunos autores clasifican los flujos según el mecanismo dominante en el suceso (Bagnold 1954, Iverson 1997, Bardou 2003), mientras que otros se basan en la caracterización de los materiales o en las características del flujo (Davies en 1988, Coussot Y Meunier 1996).

Davies (1988) propuso un esquema muy útil a partir del cual se puede determinar el comportamiento de un flujo. Se basa en los parámetros más relevantes que los caracterizan: la concentración de sedimentos y la distribución granulométrica. Davies simplifica los flujos de detritos en una mezcla compuesta por agua, material fino ($d < 0.1$ mm) y material grueso ($d < 60$ mm). La clasificación de Davies no es determinante pues las características del flujo pueden cambiar a lo largo de su desarrollo, tanto en la distribución granulométrica como en la concentración volumétrica, siendo variables entre el frente y la cola del flujo de detritos (Oto Mir, 2007).

Coussot y Meunier (1996) analizan el movimiento de masa basándose tanto en la composición del material como en el comportamiento del flujo. La clasificación puede establecerse entonces solamente en función de dos parámetros: la concentración volumétrica y la proporción de sedimentos arcillosos respecto la fracción sólida total. En la gráfica siguiente, se muestra una gráfica que facilita la clasificación. Basándose en ella, se distinguen dos tipologías de flujos detríticos: flujo granular o bien flujo fangoso y viscoso (muddy flow), además de otros movimientos de masas naturales como transporte en lechos, flujos hiperconcentrados, desprendimientos de roca o avalanchas y deslizamiento de rocas (Oto Mir, 2007).

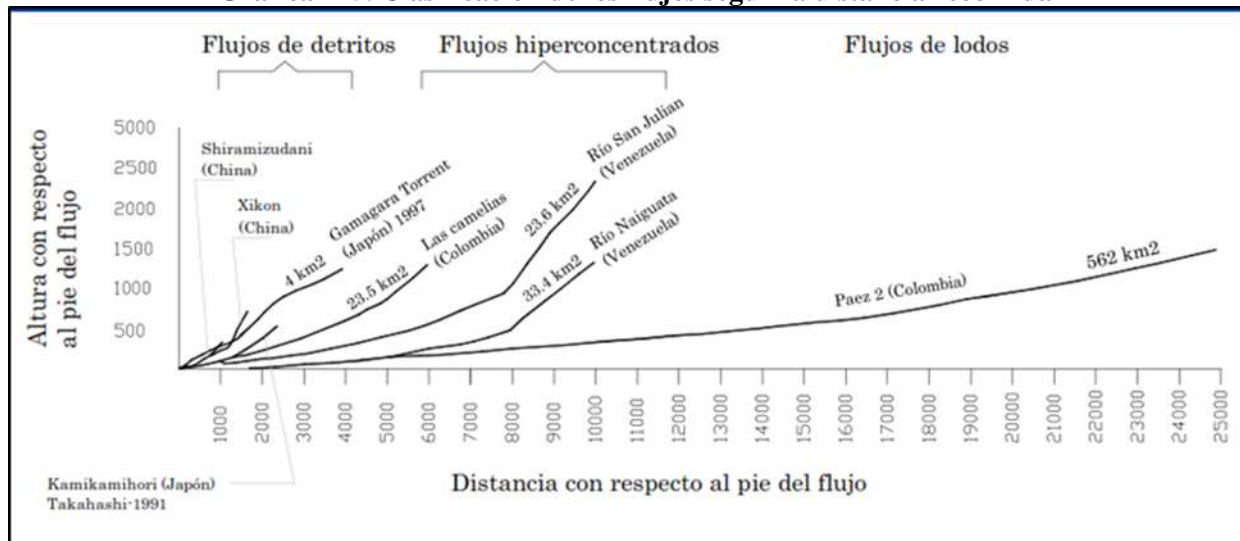
Gráfica 174. Clasificación reológica de los flujos acorde con Coussot y Meunier (1996).



La zona sombreada en rojo corresponde con los fenómenos asociados a flujo torrencial. Fuente: (Crosta, y otros, 2001)

Otra forma de clasificación de avenidas torrenciales corresponde con la planteada por Cruden y Varnes, la cual está asociada a la distancia recorrida del evento. En la siguiente gráfica se identifican diversos eventos históricos ocurridos en diferentes partes del mundo, especialmente en América latina (Colombia y Venezuela) graficados de acuerdo a la altura con respecto al pie del flujo y la distancia recorrida al pie del flujo. Estos eventos pueden ser agrupados en flujos de detritos, flujos hiperconcentrados y flujos de lodo.

Gráfica 175. Clasificación de los flujos según la distancia recorrida



Fuente: Cruden y Varnes.

Los flujos de lodos ocurren en las laderas en donde se absorben grandes cantidades de agua, produciéndose la saturación total de masas de suelo y, como consecuencia, la licuación de los mismos y su deslizamiento. Este material viscoso, fluye a través del cauce hacia las zonas bajas donde pierde fuerza y se deposita. Generalmente presentan altas concentraciones de partículas finas (limos y arcillas), aunque también grandes bloques o cantos de roca, comportándose como un “slurry” homogéneo con una onda frontal y una serie de pulsaciones, con una concentración de partículas finas de solamente 90 kg/m^3 . - Los flujos pueden alcanzar una concentración de sólidos superiores al 70%, mientras que las inundaciones presentan concentraciones de entre el 5% y el 20%.

Los flujos hiperconcentrados granulares, los cuales se encuentran identificados en la Gráfica 174, en el área izquierda. Estos flujos están conformados por una mezcla de partículas gruesas (arenas, gravas y bloques) y agua; por lo que la mezcla no tiene cohesión. Se considera este tipo de flujo si la concentración en volumen de sólidos se encuentra entre 20% y 60%, que corresponde a un peso específico de 2.0 ton/m^3 aproximadamente, en cuyo caso, el fluido se comporta como Newtoniano y se puede aplicar el modelo de Manning para su simulación, la cual se puede modelar a través de la metodología propuesta en el capítulo de amenazas por inundación.

En los flujos de detritos viscosos la alta concentración de finos conforma, junto con el agua intersticial, una matriz viscosa que envuelve y lubrica los sedimentos, desarrollando un comportamiento en el cual las tensiones viscosas dominan el movimiento del flujo. En contraste con un flujo detrítico granular, el viscoso

se comporta como una única fase homogénea, y la mezcla completa es predominantemente laminar (Oto Mir, 2007).

Para los Andes Colombianos, Aristizábal, Arango y García (2020) propone una clasificación simplificada de los eventos asociados a avenidas torrenciales, que permite entender mejor los tipos de eventos que se pueden generar en municipios como Tenjo. La Tabla 61 muestra un análisis comparativo entre los diferentes tipos de flujo que pueden ser clasificados como avenida torrencial. Esta tabla identifica algunos criterios para su diferenciación y clasificación, aun cuando dichos flujos presentan un amplio rango de características que hacen difícil de establecer sus límites (Aristizábal, Arango Carmona, & García López, 2020).

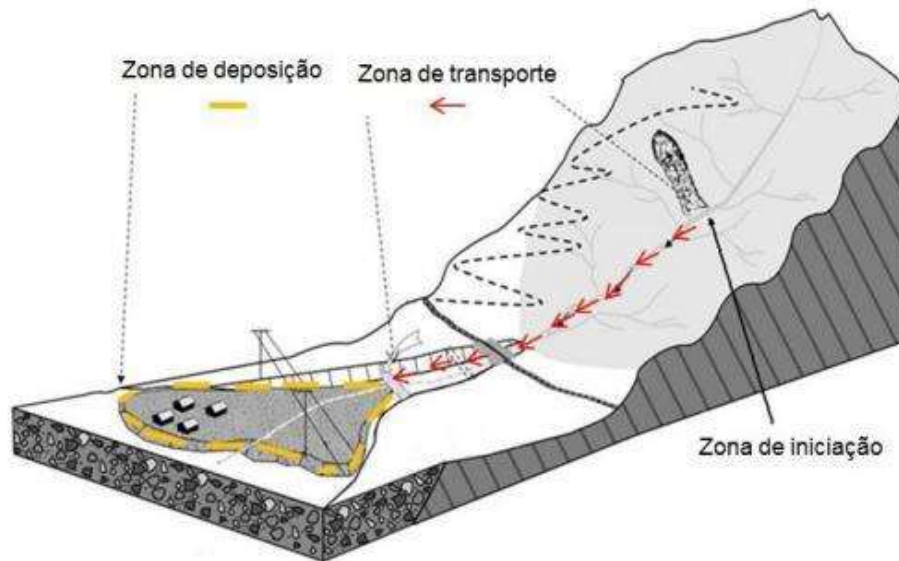
Tabla 61. Comparativa entre flujos denominados como avenidas torrenciales.

Característica Tipo de Evento	Creciente súbita	Flujo de escombros	Inundación de escombros
Velocidad	Alta	Muy alta	Alta
Descarga pico	Alta	Muy alta	Alta
% sedimentos vol.	0%-30%	>70%	30%-70%
Aporte de sedimentos	Cauce	Laderas y cauce	Cauce y laderas
Tamaño de sedimento	Hasta tamaños centimétricos	Muy heterogéneo en tamaños hasta bloques métricos	Hasta bloque métricos
Reología del flujo	Flujo newtoniano de dos fases	Flujo de una fase no newtoniano	Flujo de dos fases
Tipo de transporte	Turbulencia	Fuerzas dispersivas, matriz cohesiva y boyancia	Fuerzas dispersivas y boyancia
Alcance espacial	Mayor	Menor	Medio
Orden drenaje	>2	1 y 2	>2
Morfología de cuenca	Cuencas más grandes y de menores pendientes	Cuencas pequeñas, laderas de mayores pendiente y cauces confinados	Cuencas más grandes y de menores pendientes
Capacidad de destrucción	Medio	Muy alto	Alto

Fuente: (Aristizábal, Arango Carmona, & García López, 2020).

En un evento de avenida torrencial puede distinguirse tres partes como se observa en la Gráfica 176: la zona de inicio, la zona de transporte o transición y la zona de depósito. Después de su generación, en la zona de inicio el flujo se canaliza siguiendo la topografía que marcan los ríos y las gargantas. Se desarrolla en la zona de transición, según el terreno. Una vez la inclinación decrece y el confinamiento del flujo desaparece, este se expande en forma de abanico en la zona de deposición. La inclinación del terreno va desde 40° en la zona de inicio hasta 3° en la zona de deposición (Oto Mir, 2007).

Gráfica 176. Configuración de una avenida torrencial



Fuente: BGC Engineering (Jakob, 2005).

4.5.1.1 Zona de inicio del movimiento o ruptura

En la zona de inicio, se produce la rotura y suele localizarse en la alto desde la pendiente o en el lado de una pendiente o canal principal. VanDine (1996) reporta pendientes mayores a 25° para esta área. El flujo representa el proceso por el cual una masa aparentemente rígida del suelo, sedimento o roca pasa de un estado estático a un flujo de escombros. La movilización requiere el desplazamiento de la masa, suficiente agua para saturarla, y la conversión de energía potencial gravitacional en energía cinética capaz de cambiar el tipo de movimiento del desplazamiento al flujo (Costa, 1984; Takahashi, 1991; Shelby, 1993; Iverson, 1997).

El inicio del movimiento de un flujo detrítico puede explicarse básicamente con dos mecanismos: por licuefacción de una masa que se desliza o bien por erosión de la superficie (surface runoff). El primer mecanismo consiste en la rotura del suelo en una pendiente inclinada o el desprendimiento pendiente abajo de material sedimentado. En ambos casos un incremento de energía debido a un incremento en la pendiente del terreno y a la incorporación de agua puede propiciar la transformación en flujo de derrubios. En estos casos el inicio del movimiento depende del ángulo de inclinación de la pendiente, las propiedades mecánicas del suelo (cohesión, ángulo de fricción interna) y el grado de saturación (Oto Mir, 2007). El criterio que define este mecanismo es el de Mohr-Coulomb:

$$\tau_f = c + (\sigma - p)tg\phi$$

Donde τ_f es la tensión resistente a la profundidad considerada, c la cohesión, σ la tensión total normal debida al peso de los sedimentos y al agua subyacentes, p es la presión en los poros y ϕ es el ángulo de fricción interna.

El segundo mecanismo tiene lugar en el lecho de los ríos. El material saturado del lecho es erosionado y arrastrado, formando un flujo detrítico. Este proceso requiere una longitud importante de canal para erosionar y mezclar una gran cantidad de sólidos con agua.

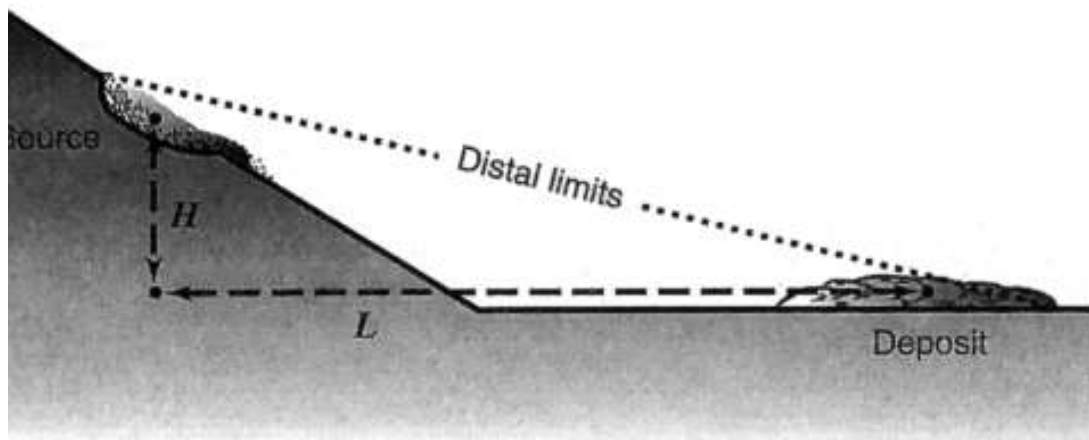
4.5.1.2 Zona de transporte

Corresponde al lugar por donde el flujo de escombros discurre. Durante este trayecto, el movimiento puede aumentar su volumen, erosionando el material en esta zona o cargando el material depositado en movimientos anteriores. La tasa de erosión dependerá de las características geológicas y condiciones materiales en la zona de la trayectoria del flujo (Hung, 2005). Normalmente esta zona de transporte tiene pendientes superiores a 10° (Bathurst et al., 1997; Hung, 2005). Según Iverson (1997), la conversión de energía durante el movimiento del flujo se puede demostrar mediante la transformación de la energía potencial, la cual se encuentra asociada a la altura a la que se genera el movimiento (H) en energía perdida a formas no recuperables por fuerzas de resistencia aplicado a la distancia máxima recorrida L , hasta que el movimiento se detenga. Esta energía perdida durante el movimiento puede calcularse de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$MgH = mGrL$$

Donde M representa la masa del flujo, g es la magnitud de la gravedad y R es un coeficiente de resistencia adimensional.

Gráfica 177 . Perfil esquemático que define H y L del transporte de la avenida torrencial. H y L están definidos por las líneas que conectan la zona de inicio y el depósito.



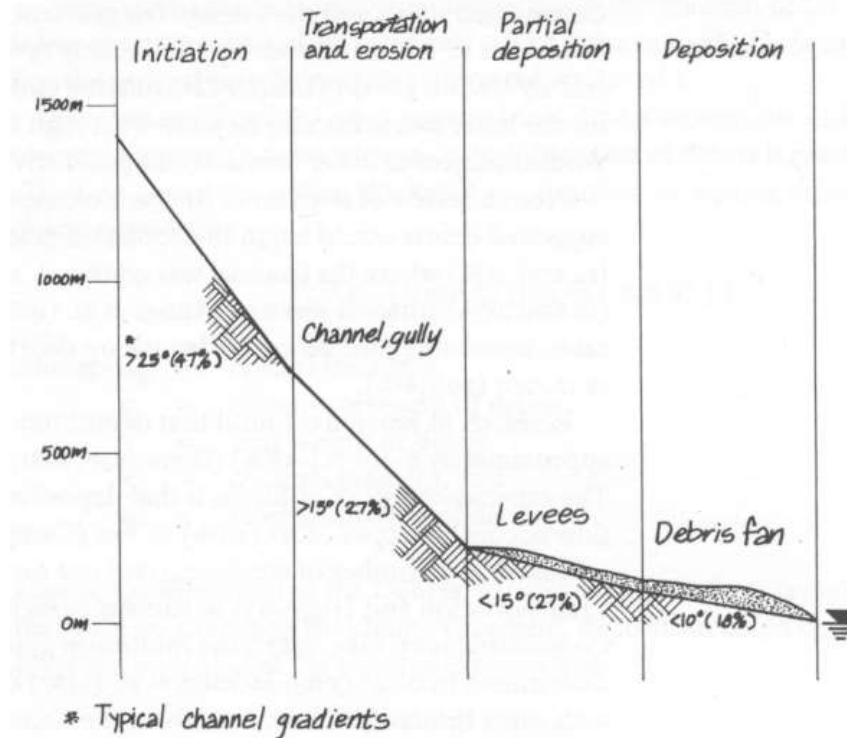
Fuente: (Iverson, 1997).

4.5.1.3 Zona de depósito

Corresponde a la zona donde la masa movilizada inicia su proceso de depositación. El área de depositación generalmente se presenta en forma de abanico, conocido como abanico de detritos. La depositación generalmente resulta de la combinación de pendiente reducida y la pérdida del confinamiento (Hung, 2005).

La depositación ocurre cuando toda la energía cinética se disipa, a través de calor generado durante el transporte de estos sedimentos (Iverson, 1997). En la mayoría de los eventos observados y estudiados se identifica que la pendiente donde comienza la depositación del flujo suele estar entre 10° y 15° . Según VanDine (1996), la zona de depositación se divide en una depositación parcial con pendientes inferiores a 15° y en la zona de depositación final con pendientes inferiores a 10° .

Gráfica 178. Pendientes de las zonas de canales de flujo de detritos en grados y porcentaje.

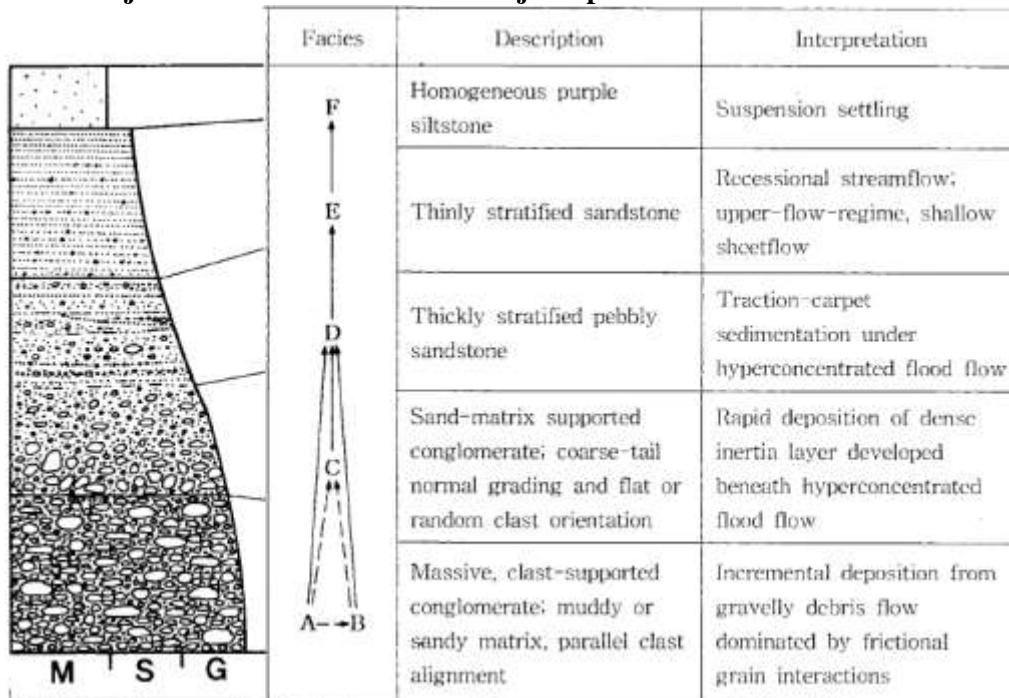


Fuente: (VanDine, 1996).

Generalmente, las áreas de depósitos están asociados a abanicos aluviales que presentan diversas características, dependiendo del tipo de fenómenos que lo han generado, Sohn et.al (1999) describe a partir de observaciones en campo una secuencia de facies idealizada de los depósitos relacionados a diversos tipos de flujo, desde flujos de detritos dominados por la interacción friccional de los granos, hasta eventos de crecientes súbitas, con un régimen de flujo alto. En la Gráfica 179 Gráfica 177 se muestra esta secuencia de facies. Esta secuencia es tripartita y consta de conglomerados masivos clasto soportados con matriz lodosa o arenosa en la parte inferior (facies A o B), conglomerados normalmente graduados y matriz arenosa y arenas o gravas estratificada en el parte media (facies C y D), y finalmente arenas laminadas o estratificadas en la parte superior (facies E) (Sohn, 1999). Esta secuencia de facies representa la relación de campo más común que puede darse en depósitos de este tipo.

En Colombia se han estudiado los depósitos de algunos eventos fluvio-torenciales del país, describiendo sus facies características. Un ejemplo de estos corresponde con los depósitos del evento del río Tapartó en el año 1993. Estos depósitos están compuestos de arena media a gruesa en disposición masiva con bloques de diversos tamaños, desde unos cuantos centímetros, hasta un par de metros, sin laminación u otras estructuras visibles (Piedrahíta & Hermelin, 2005). Estos depósitos pueden ser asociados a las facies tipo C y D propuesta por Sohn (1999).

Gráfica 179 . Representación idealizada de una secuencia de facies que puede ser producto de un evento flujo de detritos-inundación de flujos hiperconcentrados - creciente súbita.



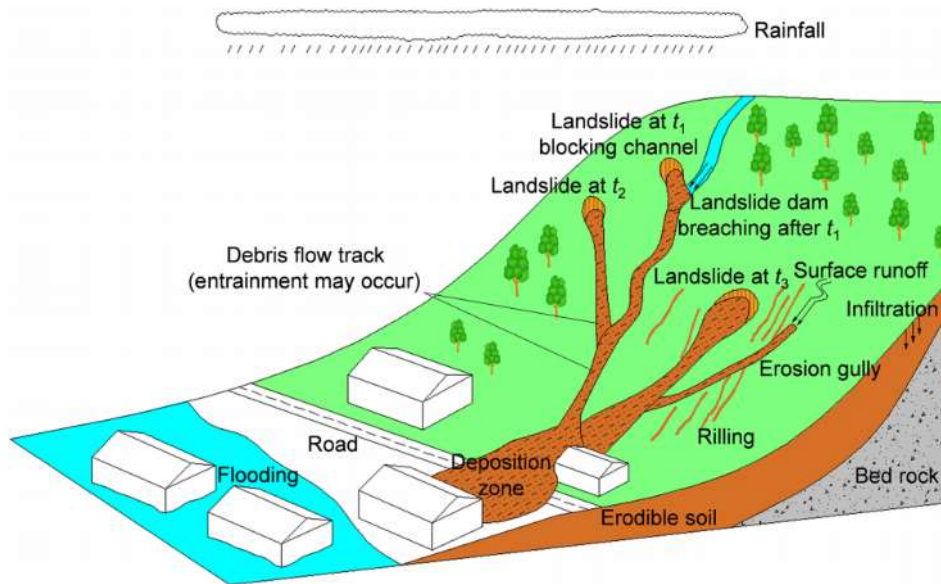
Fuente: (Sohn, 1999).

4.5.2 Mecanismos detonantes de avenidas torrenciales

Un modelo conceptual de los detonantes de avenidas torrenciales inducidos por la lluvia y sus mecanismos de iniciación se muestran en la figura siguiente. Las avenidas torrenciales pueden ser iniciadas por tres mecanismos: transformación de deslizamientos de tierra (enjambre de deslizamientos), erosión superficial y ruptura de presas. Debido a la infiltración de la lluvia, las laderas se saturan gradualmente, y el suelo pierde su fuerza, causando superficies de falla poco profundas en las laderas (Zhang et al., 2011 en). Durante una tormenta, los deslizamientos pueden ocurrir en diferentes momentos en el espacio dentro de una cuenca.

Parte del material desprendido puede moverse en canales y formar presas de deslizamientos de tierra, y algunas pueden transformarse directamente en flujos de escombros A medida que la escorrentía superficial se acumula, la presa formada por estos deslizamientos de tierra en el canal puede romperse, iniciando un flujo de escombros canalizado. Al mismo tiempo, la escorrentía superficial puede causar erosión del lecho e iniciar flujos de detritos en las laderas (Shen, Zhang, Chen, & Fan, 2018). Los mecanismos de iniciación no tienen un orden de ocurrencia específico. Dependiendo del evento, ubicación y tipo de material los mecanismos pueden ocurrir de forma individual o una combinación de ellos.

Gráfica 180. Modelo conceptual de flujos de detritos detonados por lluvias y los tres mecanismos de iniciación típicos de estos: erosión del lecho, transformación desde un deslizamiento (enjambre de deslizamientos) y rotura de presas.



Fuente: (Shen, Zhang, Chen, & Fan, 2018)

4.5.3 Propagación de avenidas torrenciales (flujos detríticos)

Uno de los problemas más relevantes a la hora de modelar este tipo de fenómenos es entender el comportamiento del flujo, así como aquellos parámetros importantes que lo caracterizan, como el volumen, velocidad, pico de descarga y la distancia recorrida, ya que las consecuencias que pueden generar estos eventos en los elementos expuestos son extremos, llegando incluso a la destrucción total. Las técnicas para modelar la propagación del volumen de sólidos desplazado por el flujo de detritos se dividen básicamente en dos categorías: modelos empíricos y modelos numéricos. Las relaciones empíricas proporcionan una herramienta práctica en la valoración de la ocurrencia del fenómeno, mientras que los modelos numéricos se aplican de forma limitada dada la complejidad de los flujos detríticos. (Oto Mir, 2007).

En general, el movimiento de los flujos detríticos se describe con una ecuación no uniforme para cada dimensión. Por motivos computacionales es necesario reducir el tamaño del problema, por lo que, basándose en el comportamiento cinético del agua, la aceleración vertical de las partículas se considera nula. Se reduce a un problema de dos dimensiones sobre toda la profundidad del flujo, o a una dimensión si se trata de una sección longitudinal en la dirección del movimiento. En el caso bidimensional las ecuaciones resultantes son conocidas en hidráulica como ecuaciones en aguas someras (shallow water equations) y su expresión es la siguiente:

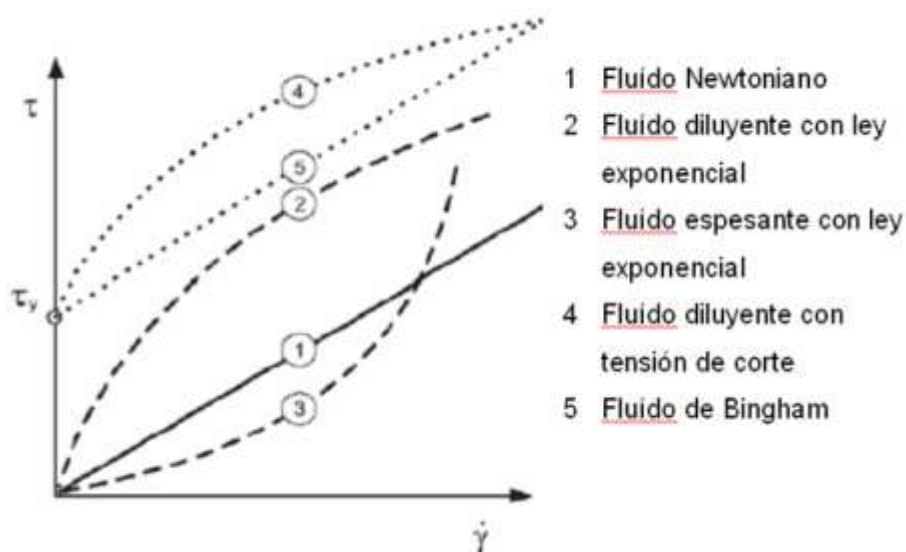
$$\begin{cases} \frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(hu) + \frac{\partial}{\partial y}(hv) = 0 \\ \frac{\partial}{\partial t}(hu) + \frac{\partial}{\partial x}(hu^2 + g \cdot \frac{\delta_x \cdot h^2}{2}) + \frac{\partial}{\partial y}(huv) = g \cdot h \cdot (S_0 - S_f)_x \\ \frac{\partial}{\partial t}(hv) + \frac{\partial}{\partial x}(huv) + \frac{\partial}{\partial y}(hv^2 + g \cdot \frac{\delta_y \cdot h^2}{2}) = g \cdot h \cdot (S_0 - S_f)_y \end{cases}$$

donde u y v son las velocidades en los ejes x e y , h es el calado del flujo, δ un coeficiente de compacidad debido a la presión lateral, S_0 es la inclinación del lecho y S_f el ángulo de fricción (Oto Mir, 2007).

Las diferencias entre los modelos propuestos en la bibliografía parten de las distintas expresiones de la presión lateral y de la fricción. Además, el modelo reológico escogido fija la resistencia en la base. Algunos modelos pueden introducir los efectos originados por la topografía, como el de Hungr (1995) o el de Wang (2004). Las condiciones de contorno en una corriente de derrubios vienen determinadas por la superficie libre del flujo y el lecho por el que circula. La complejidad de estas depende del modelo escogido y de los fenómenos físicos que se desean incorporar (Oto Mir, 2007).

El comportamiento de un material se ve reflejado en relaciones entre τ y $\dot{\gamma}$ y entre m y $g\&$, que proporcionan, respectivamente la curva característica del flujo y la curva de viscosidad. La curva característica permite establecer una primera clasificación entre flujos Newtonianos y no Newtonianos, dependiendo si la viscosidad h es constante o variable. En la siguiente grafica se propone una clasificación simplificada basada en las curvas reológicas.

Gráfica 181 . Clasificación simplificada basada en la curva reológica del fluido.



Fuente: Schatzmann, 2005 en (Oto Mir, 2007).

Las curvas con los números 2, 3, 4 y 5 corresponden a flujos no Newtonianos, y a su vez puede tratarse de aquellos que tienen una ley exponencial y aquellos que tienen una tensión umbral de corte. Estas dos características pueden darse simultáneamente.

En la bibliografía existen múltiples modelos para representar el comportamiento de los flujos de gravas y barro. Existen dos grandes grupos en lo que a clases de modelos se refiere: los de una sola fase continua y los de dos fases. Los primeros se basan en una parametrización de las tensiones, incluyendo modelos elasto-visco-plásticos. Las propuestas más reconocidas son las siguientes:

- Fluidos Newtonianos y no-Newtonianos
- Modelos convectivos de Maxwell
- Fluidos de Bingham
- Fluidos de Johnson-Segelmann
- Fluidos de Reiner-Rivlin
- Modelo de Herschel-Bulkley
- Modelo de Mohr-Coulomb
- **Modelo de Voellmy**
- Modelos hipoplásticos

Por otro lado, los modelos de dos fases se basan en el balance de momentum postulado para cada uno de los constituyentes, con relaciones constitutivas para las tensiones parciales y las fuerzas de interacción (en el caso de una mezcla entre sólido y fluido se trataría de la fuerza que ejerce el fluido sobre las partículas sólidas y la correspondiente reacción sobre el fluido). La parametrización de todo el conjunto se vuelve complicada, y los modelos existentes requieren detalles sutiles para cada caso. Los más reconocidos son los siguientes:

- Modelo de Iverson
- Modelo de Pitman-Le

4.5.3.1 Modelo de Voellmy

Para el desarrollo del presente estudio, se usarán las ecuaciones propuestas por Voellmy desarrollada inicialmente en 1955 para estudiar el flujo de avalanchas de nieve. Este modelo asume que las tensiones de corte en el cuerpo son pequeñas, y que la resistencia al flujo se concentra en la base del flujo. Voellmy propuso una ecuación para la tensión en la base integrada por dos términos, un término de fricción y un término turbulento (Oto Mir, 2007).

$$\tau_b = \rho * g * h * \mu * \cos\vartheta + \rho * g * \frac{U^2}{\xi}$$

Donde ρ es la densidad de los granos, g es la constante gravitacional, h es el calado, ϑ es el ángulo de inclinación, U es la velocidad promedio y ξ es el coeficiente de Chézy. La primera parte de la ecuación es el término friccional de Mohr-Coulomb y la segunda parte es el término turbulento de Chézy (Oto Mir, 2007).

4.5.4 Esquema metodológico para la caracterización de la amenaza por avenidas torrenciales

Teniendo en cuenta lo contenido en el decreto 1077 de 2015 con respecto a la evaluación de amenaza por avenidas torrenciales, el estudio se dividió en tres fases distintas. La primera, fue la revisión de los antecedentes del área de estudio, la cual incluyó la identificación de estudios similares realizados en el municipio y su relevancia al desarrollo de la evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales. Esto incluyó una evaluación de la susceptibilidad por avenidas torrenciales en el área rural del municipio, a través de distintos parámetros morfométricos asociados a determinar la torrencialidad en las cuencas con injerencia en el municipio.

Seguido a esto se hizo la evaluación de la susceptibilidad a flujos del área de estudio, en el municipio de Tenjo, haciendo una evaluación de las condiciones topográficas que presenta el área rural y los elementos expuestos que se puedan ver afectados por la ocurrencia de un evento. Finalmente se priorizaron las zonas para desarrollar el modelamiento a escala 1:2.000 requerido por el Decreto 1077 de 2015.

Gráfica 182 . Esquema metodológico para la zonificación de amenaza por avenidas torrenciales en el municipio de Tenjo, Cundinamarca.



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

4.5.5 Revisión de antecedentes históricos

4.5.5.1 Susceptibilidad a avenidas torrenciales en Colombia

En el país las zonas localizadas en piedemonte presentan una alta susceptibilidad a presentar avenidas torrenciales, por lo cual el IDEAM delimitó las zonas susceptibles a avenidas torrenciales en Colombia. Como se observa a continuación, gran parte del área nor-este de la sabana de Bogotá se encuentra en susceptibilidad media y alta por estos fenómenos. Por lo cual fue necesario evaluar a escala local la amenaza por avenidas torrenciales.

Gráfica 183. Mapa de susceptibilidad a avenidas torrenciales escala 1:500.000 para Colombia



El círculo rojo identifica la región en el departamento de Cundinamarca donde se ubica el municipio de Tenjo.
Fuente: (IDEAM I. d., 2017).

El municipio de Tenjo cuenta con estudios realizados en marco del POMCA del Río Bogotá, el cual abarco la totalidad de las cuencas con influencia en el municipio, y por ende el estudio tiene una cobertura del 100% de su zona rural. El estudio fue realizado a escala 1:25.000. En la siguiente tabla se hace la descripción detallada de este insumo.

Tabla 62. Descripción de los insumos antecedentes para la evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales en el municipio de Tenjo.

INSUMO	ORIGEN	DESCRIPCIÓN
Estudio de amenaza por avenidas torrenciales para la cunca del Río Bogotá	POMCA del Río Bogotá	Metodología siguiendo la “Guía Técnica para la formulación de los planes de ordenación y manejo de cuencas hidrográficas”, Anexo B. Gestión del riesgo

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

4.5.5.2 Análisis del estudio de amenaza por avenidas torrenciales escala 1:25000 del POMCA del Río Bogotá en el municipio de Tenjo

Con el fin de tener un panorama general de la zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales en las áreas del municipio de Tenjo, se hace un resumen de los contenidos del estudio de amenaza por avenidas torrenciales incluido en el POMCA.

La metodología establecida para la evaluación de la Amenaza por avenidas torrenciales se basa en el Protocolo para la incorporación de la Gestión del Riesgo en los POMCA, (MinAmbiente, Fondo Adaptación, 2014). En primer lugar, comprende la evaluación de la susceptibilidad a partir de la caracterización geomorfológica y el análisis de eventos históricos, con lo cual se determinan las zonas críticas para las cuales se debe realizar posteriormente la evaluación de amenaza.

La evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales se basa en la evaluación del índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales en las zonas identificadas con susceptibilidad madia, alta y muy alta, junto con la identificación y delimitación de zonas donde han ocurrido eventos de este tipo.

4.5.5.2.1 Identificación de eventos históricos de avenidas torrenciales en el POMCA del Río Bogotá sobre el municipio Tenjo

De acuerdo con la información revisada del documento diagnóstico del POMCA del Río Bogotá, los eventos históricos recopilados para todos las amenazas corresponden con 12.686 datos, de los cuales se tiene la siguiente distribución porcentual, teniendo en cuenta el tipo de amenaza estudiada.

Tabla 63. Distribución porcentual de los datos disponibles por evento en las bases de datos consultadas por el POMCA Río Bogotá.

No.	Evento	Número de eventos	Porcentaje
1	Inundación	3.578	28,20%
2	Avenida Torrencial	47	0,37%
3	Incendio forestal	3.161	24,92%
4	Deslizamiento	5.900	46,51%
	TOTAL	12.686	

Fuente: (CAR, 2019).

Como se puede observar en la tabla de eventos, de los 12.686 datos referenciados de eventos históricos del POMCA solo 47 corresponden con avenidas torrenciales, lo cual muestra un déficit en el registro de eventos

históricos en las bases de datos oficiales. Para el municipio de Tenjo no se reporta ningún evento de este tipo. El POMCA concluye a partir de la poca información referida que *“El reducido número de datos sobre este evento aparentemente evidencia un subregistro importante de información, ya que en Bogotá al existir el IDIGER los datos se registran de manera habitual por personal especializado, mientras que en los municipios la información es menos precisa y en muchos casos como ya se analizó se carece de coordenadas por lo que su ubicación en un mapa solo se puede realizar de manera aproximada, cuando se menciona la corriente y la vereda. Además, hay dificultades para diferenciar las inundaciones provocadas por las avenidas torrenciales, de las inundaciones provocadas por desbordamientos lentos de los cauces, ya que los detonantes en la mayoría de los casos suelen ser los mismos (altos niveles de precipitación)”* (CAR, 2019).

Un análisis a los municipios vecinos que comparten características geomorfológicas como Tabio, muestra un registro de dos eventos de avenidas torrenciales, lo cual podría indicar que en el municipio de Tenjo existe la probabilidad de que hayan ocurrido u ocurran eventos de este tipo.

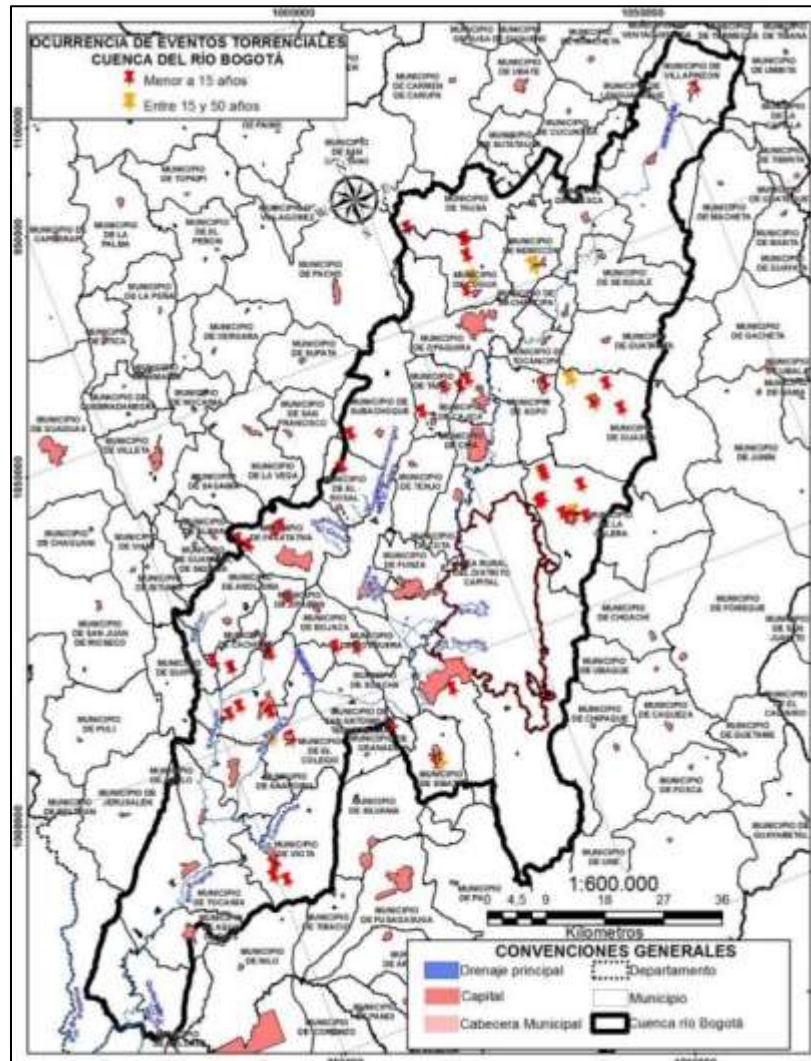
Gráfica 184. Numero de avenidas torrenciales reportada por municipio.



Fuente: (CAR, 2019).

En la gráfica siguiente, se observa el mapa de ocurrencia de avenidas torrenciales en la cuenca del Río Bogotá, en el cual se muestra con marcadores rojos los eventos ocurridos en los últimos 15 años y en marcador amarillo los ocurridos entre 15 años y 50 años. Para el municipio de Tenjo no se observan eventos reportados. Sin embargo para el vecino municipio de Tabio, se identifican dos eventos con una antigüedad menor a 15 años asociados a drenajes ubicados en las cadenas montañosas que limitan al este y al oeste a los municipios. Como las condiciones geológicas, geomorfológicas e hidrológicas son similares en los dos municipios, es factible asociar la ocurrencia de avenidas torrenciales en el municipio de Tenjo, observando lo ocurrido en el municipio de Tabio.

Gráfica 185. Ocurrencia de avenidas torrenciales en la cuenca del Río Bogotá.

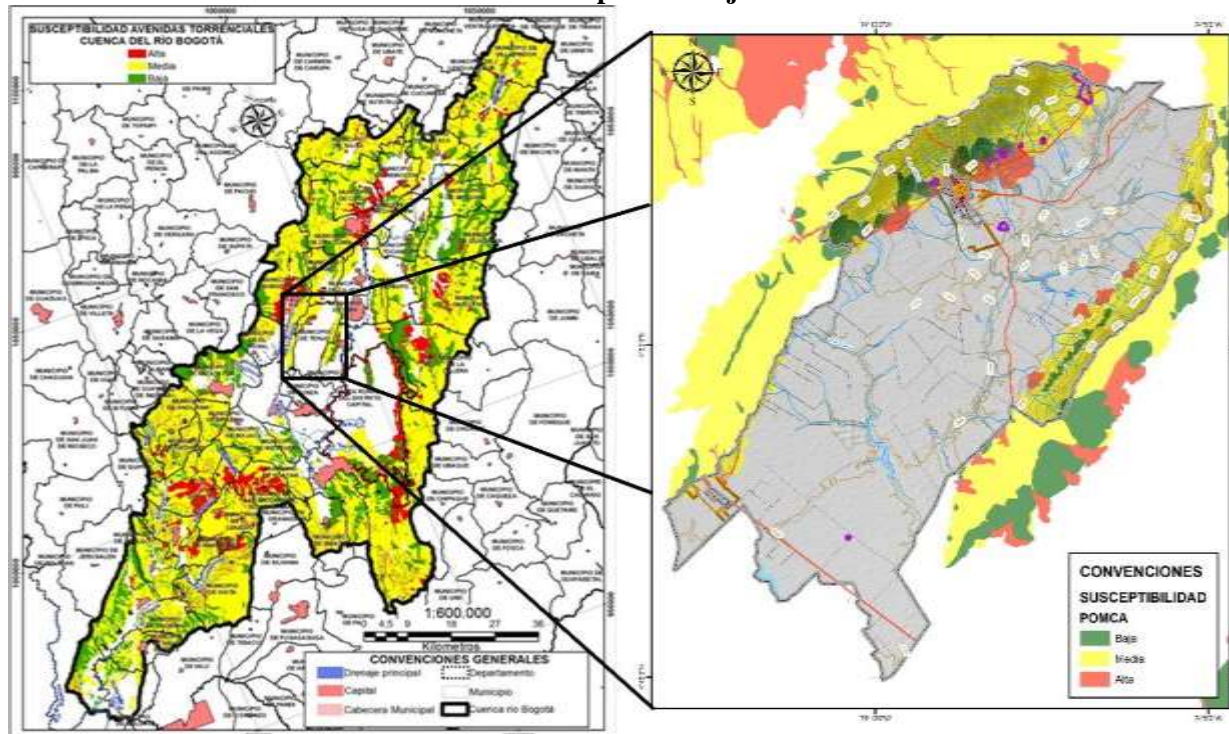


Fuente: (CAR, 2019).

4.5.5.2.2 Susceptibilidad y amenaza por avenidas torrenciales del POMCA del Río Bogotá para el municipio de Tenjo

El análisis de susceptibilidad por avenidas torrenciales para el POMCA del Río Bogotá se basa en la metodología propuesta en el Protocolo para la incorporación de la Gestión del Riesgo en los POMCA, (MinAmbiente, Fondo Adaptación, 2014). Este realiza una caracterización geomorfológica, identificando las geformas relacionadas con avenidas torrenciales, las cuales son flujos torrenciales (Dlfb), flujos terrosos (Dlft), Flujos de lodos (Dlfl), cauces activos (Fca), conos y lóbulos coluviales y de soliflucción (Dco), abanicos aluviales (Faa), Conos de deyección (Fcdy) y abanicos fluvioglaciares (Gafg). En la gráfica siguiente, se muestra el resultado de la susceptibilidad evaluada en el POMCA para el municipio de Tenjo.

Gráfica 186. mapa de susceptibilidad a avenidas torrenciales del POMCA del Río Bogotá en el municipio de Tenjo.

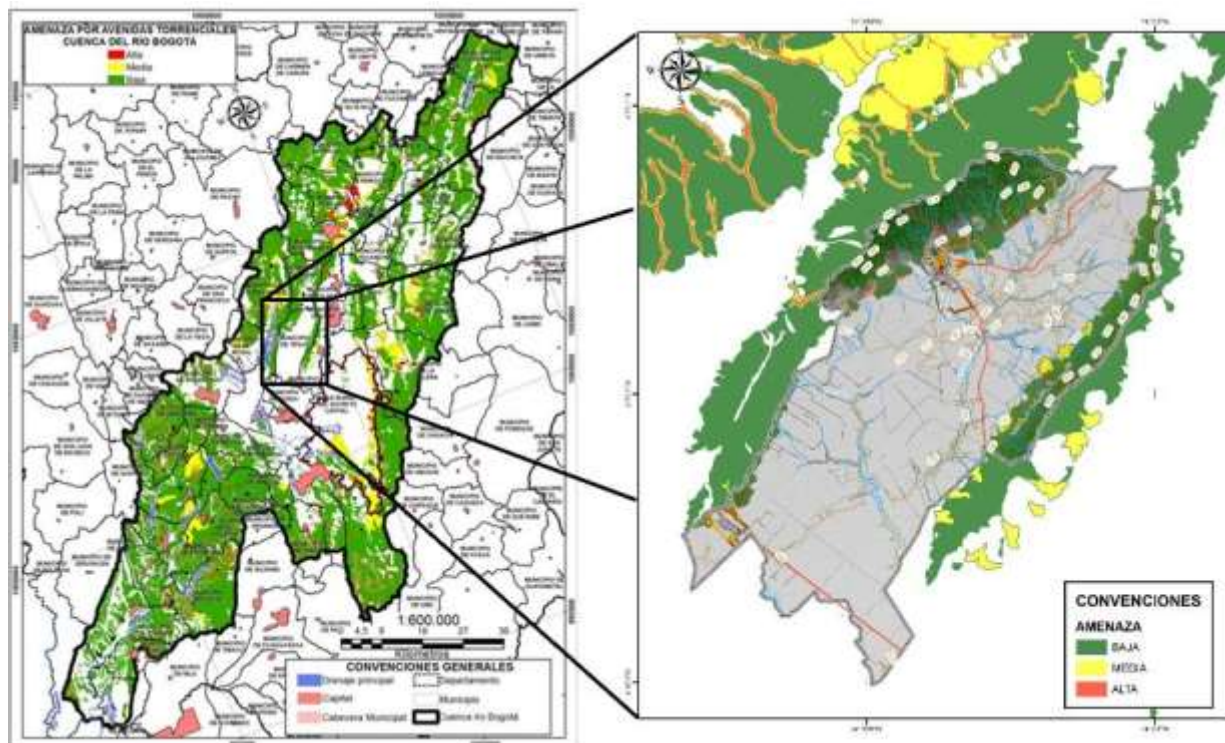


Fuente: Modificado de (CAR, 2019).

Gran parte de la zona noroeste del municipio se encuentra ubicada en susceptibilidad media o alta por avenidas torrenciales. El casco urbano del municipio se ubica sobre una zona de susceptibilidad alta, al igual que parte de los centros poblados de la Cascajera, Pan de Azúcar. Las veredas Chince, Juaica, Churuguaco, Chitasuga, el Estanco, Santa Cruz, Martín Espino, Poveda 1 y Poveda 2 presentan susceptibilidad media a la ocurrencia de estos eventos. Con estas observaciones se concluye que es necesario hacer una evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales para el área rural del municipio de Tenjo y avalar las zonas en susceptibilidad media y alta reportadas por el POMCA.

En cuanto al análisis de amenaza por avenidas torrenciales realizado por el POMCA del Río Bogotá, se incluye el IVET a las áreas identificadas en el análisis de susceptibilidad. El modelo muestra que la mayor parte del área rural del municipio se encuentra en amenaza baja y media.

Gráfica 187. Mapa de amenaza por avenidas torrenciales del POMCA Río Bogotá para el municipio de Tenjo.



Fuente: Modificado de (CAR, 2019).

4.5.5.3 Eventos históricos reportados (catálogo de ventos históricos)

Uno de los insumos más importantes para la evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales, de acuerdo con el Decreto 1077 de 2015 corresponde con el catálogo de eventos históricos, los cuales se consultaron en el SIMMA (Sistema de información de movimientos en masa), así como los eventos de tipo flujos registrados en el municipio de Tenjo y en la plataforma DESINVENTAR los relacionados a flood y landslides.

En el caso de la búsqueda en SIMMA no se encontró eventos de tipo flujo reportados para el municipio de Tenjo. Para el caso de la búsqueda en la plataforma DESINVENTAR (2010) se encontraron nueve eventos, ocho correspondientes a inundaciones y uno a deslizamientos. Entre los reportados como inundación resalta uno (1) que catalogan como avalancha, lo cual podría asociarse a eventos de avenidas torrenciales con flujos hiperconcentrados con un porcentaje inferior al 30% de sedimentos.

Tabla 64. Eventos históricos de avenidas torrenciales reportados en la plataforma DESINVENTAR.

Serial	Event	Municipio	Date	Location	Comments
UNGRD-2017-0032	FLOOD	Tenjo	18/01/2017	Vereda La Punta	CDGRD DE CUNDINAMARCA; INFORMA; TC ÁNGEL DE BOMBEROS TENJO INFORMA QUE EL DÍA 18/01/2017 A LAS 17:00 HORAS A CAUSA DE UN FUERTE AGUACERO SE [...]

Serial	Event	Municipio	Date	Location	Comments
UNGRD-2014-0298	FLOOD	Tenjo	27/10/2014		LOS VECINOS DE LA VEREDA LA PUNTA PIDEN EL ARREGLO DE LA VÍA QUE ESTÁ TOTALMENTE INUNDADA POR LAS LLUVIAS. ALREDEDOR DE DOSCIENTAS PERSONAS; VECINOS [...]
UNGRD-01086	FLOOD	Tenjo	17/03/2013		CDGRD DE CUNDINAMARCA; INFORMA; TE ÁNGEL ARTURO HERNÁNDEZ DE BOMBEROS TENJO; REPORTA LLUVIAS ENTRE LAS 18:00 Y 20:00 HORAS DEL 17/03/13 CON CAÍDA DE [...]
UNGRD-2012-0106	FLOOD	Tenjo	13/04/2012		AVALANCHA EN LA VEREDA JUAICA VIA TABIO - TENJO; LA CUAL PRESENTA TAPONAMIENTO E INUNDACIÓN EN LOS BARRIOS MARTÍN ESPINO Y POVEDA 2; CON AFECTACION [...]
DGR-2011-02430	FLOOD	Tenjo	17/11/2011	VEREDA CHURUGUACO	LLUVIAS QUE AFECTARON LA VEREDA CHURUGUACO ALTO- 7 FAMILIAS POR REUBICAR REPORTA CREPAD CUNDINAMARCA. 3 vias afectadas
DGR-2011-00659	LANDSLIDE	Tenjo	19/04/2011	BARRIO: CHURRACO ALTO SECTOR: CEMENTERIO.	
DGR-2010-00304	FLOOD	Tenjo	7/04/2010	VEREDAS CHINCE; JUATICA Y PAN DE AZUCAR.	INUNDACION POR MATERIAL DE ARRASTRE. UNA VIA AFECTADA

Fuente: Tomado de DESINVENTAR 2021.

La recopilación de eventos históricos para el municipio de Tenjo muestra al menos dos episodios asociados a avenidas torrenciales en algunos sectores rurales del municipio como las veredas Chince, Juatica, Juaiaca, Poveda 2 y Pan de Azúcar.

También se realizó cartografía social con la comunidad del municipio en los talleres participativos y mesas de trabajo, con el objetivo de identificar los eventos históricos reportados por ellos, lo cual dio como resultado la Tabla 65, donde se identificaron tres reportes.

Tabla 65. Catálogo de Eventos históricos reportados por la comunidad del municipio de Tenjo en los espacios de socialización del proyecto.

X	Y	CODIGO	TIPO DE EVENTO	FECHA	LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	DETONANTES	DAÑOS Y/O AFECTACIONES	POSIBLE SOLUCIÓN	OBSERVACIONES	CODIGO
995553.97	1033392.22	EH-3	AVENIDA TORRENCIAL	2011	CERRO DE JUAICA	PRECIPITACIONES	VIVIENDAS, GANADERÍA, VIAS Y AGRICULTURA	CONTROL URBANÍSTICO POR PARTE DE LA ADMINISTRACIÓN MUNICIPAL	APARENTEMENTE ES UNA QUEBRADA SECA PERO CUANDO LLUEVE PRESENTA UN COMPORTAMIENTO TORRENCIAL	EH-3
992618.26	1031110.28	EH-15	AVENIDA TORRENCIAL	2012	VEREDA CHINCE Y SE EXTENDIÓ A CHURUGUACOA ALTO	PRECIPITACIONES	SOBRE PASO LA CARRETERA TABIO - TENJO Y TUMBÓ MUROS	-	-	EH-15

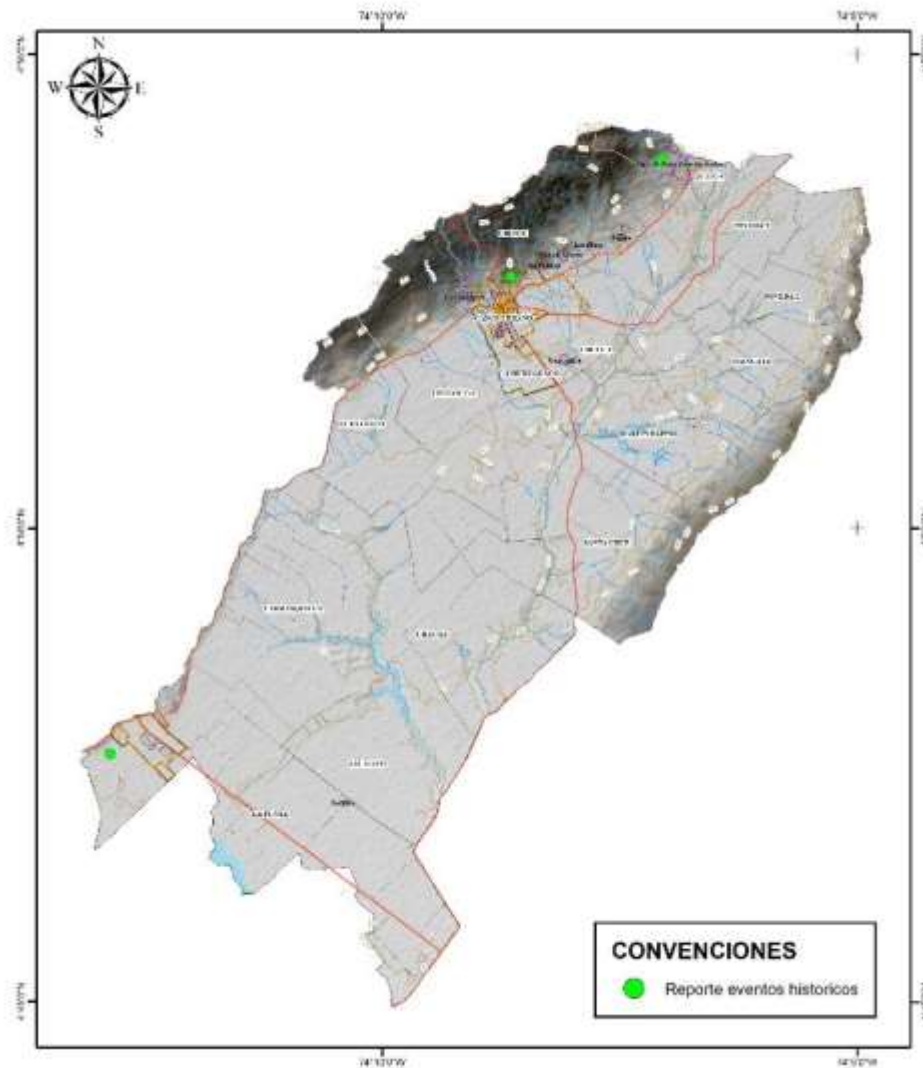
X	Y	CODIGO	TIPO DE EVENTO	FECHA	LOCALIZACIÓN GEOGRÁFICA	DETONANTES	DAÑOS Y/O AFECTACIONES	POSIBLE SOLUCIÓN	OBSERVACIONES	CODIGO
984813.78	1021824.53	EH-18	AVENIDA TORRENCIAL	2021		ACTIVIDAD DE EXTRACCIÓN DE MATERIALES EN EL MUNICIPIO DE MADRID	-	-	-	EH-18

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

Uno corresponde en la vereda Juaica, el cual afecta viviendas, ganadería, vías y agricultura, ocurrido en el año 2011. El segundo se dio en el año 2012 en el sector de Cementerio, en el cual el evento llegó a afectar la vía entre los municipios de Tenjo y Tabio y se presentaron daños en muros.

Finalmente, el tercer evento se asoció a la extracción de material de construcción que se dio en el municipio de Madrid y afectó indirectamente a parte del municipio asentada en el límite con el vecino municipio. En la gráfica siguiente, se muestra la localización de estos sobre el municipio (puntos verdes).

Gráfica 188. Mapa de eventos históricos reportado en talleres participativos y mesas de trabajo del municipio de Tenjo.



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

4.5.6 Susceptibilidad y amenaza por avenidas torrenciales en el municipio de Tenjo escala 1:25000

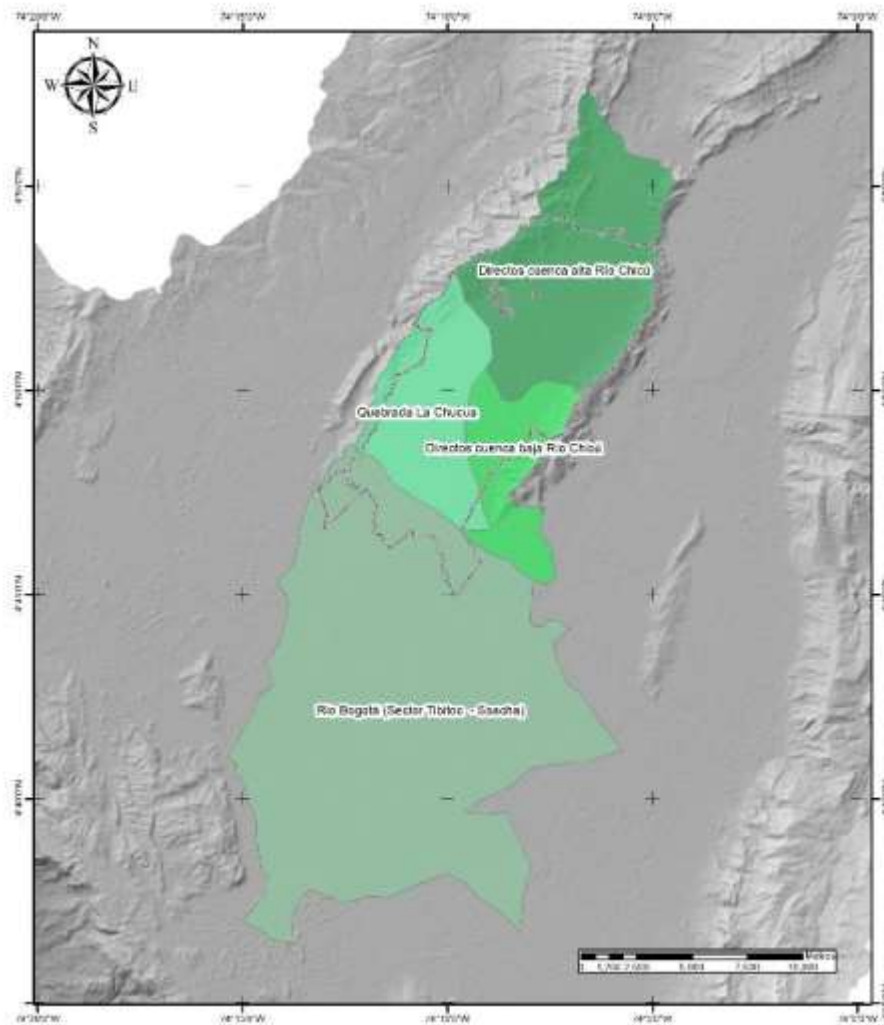
4.5.6.1 Evaluación de parámetros morfométricos en las microcuencas asociadas al municipio de Tenjo

Las características morfométricas corresponden a la aplicación de procedimientos que, a través del estudio de la morfología y geomorfología, caracterizan los rasgos propios de las cuencas hidrográficas en valores numéricos, los cuales permitan comparar en forma exacta una parte de la superficie terrestre con otra. Estos parámetros están relacionados con el régimen hidrológico de una cuenca o microcuenca, ya que es una función compleja de numerosos factores, entre los que predomina el clima y la forma del terreno el cual se desarrolla el fenómeno. Las formas de la superficie terrestre, y en particular su situación en altitud, tienen influencia decisiva sobre los factores condicionantes más importantes del régimen hidrológico como

precipitación, escorrentía, infiltración y formación de depósitos y sedimentos. Los valores morfométricos son fundamentales para documentar la analogía territorial y establecer relaciones hidrológicas de generalización y expresan en valores simples las características de paisajes complejos.

En el municipio de Tenjo se presentan cuatro microcuencas que tienen relevancia en el territorio y se encuentran identificadas en el POMCA del Río Bogotá. En la gráfica siguiente, se muestran las microcuencas que serán objeto de estudio.

Gráfica 189. Microcuencas con injerencia el municipio de Tenjo.



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

A continuación, se describe cada uno de los parámetros morfométricos utilizados para la evaluación de la torrencialidad de las cuencas.

4.5.6.1.1 Índice de compacidad (Kc)

Parámetro adimensional que relaciona el perímetro de la cuenca y el perímetro de un círculo de igual área que el de la cuenca. Este parámetro describe la geometría de la cuenca y está estrechamente relacionado con el tiempo de concentración del sistema hidrológico.

$$K_c = \frac{P_{cuenca}}{2\pi \left(\frac{A_{cuenca}}{\pi} \right)^{\frac{1}{2}}}$$

Donde:

P: Perímetro de la cuenca (km)

A: área de la cuenca.

Este valor adimensional, independiente del área estudiada, tiene por definición un valor de 1 para cuencas imaginarias de forma exactamente circular. Los valores de Kc nunca serán inferiores a 1. El grado de aproximación de este índice a la unidad indica la tendencia a concentrar fuertes volúmenes de agua de escurrimiento, siendo más acentuado cuanto más se acerca a la unidad. Entre más bajo sea Kc, mayor será la concentración de agua

Tabla 66 . Índices de compacidad para la evaluación de la forma.

Clase	Rango	Descripción
Kc1	1 a 1,25	Forma casi redonda a oval – redonda
Kc2	1,25 a 1,5	Forma oval – oblonga
Kc3	> 1,5	Forma oval – oblonga a rectangular - oblonga

Fuente:.

4.5.6.1.2 Alineamiento

Corresponde con la relación entre la longitud media de valle y la longitud del cauce principal. Schumm (1963) propuso cinco tipos de cauce asignándoles un índice de sinuosidad. Las cuencas Surata alto, Charta, Tona, El Aburrido, Hato y Oro Bajo presentan muy baja sinuosidad, asociándola a ambientes de montaña. Solamente Oro Medio presenta una sinuosidad media.

Tabla 67. categorización del alineamiento de cuencas hidrográficas.

TIPO DE CANAL	SINUOSIDAD	CARACTERIZACIÓN
Canal rectilíneo	1-1.2	Se caracterizan por desarrollarse en áreas de fuertes pendientes. Muy baja sinuosidad.
Canal transicional	1.2-1.5	Baja sinuosidad.
Canal regular	1.5-1.7	Cambios direccionales importantes. Sinuosidad media.
Canal irregular	1.7-2.1	Cambios direccionales importantes con bahías.
Canal tortuoso	>2.1	Tendiente atrenzamiento del canal.

Fuente:

4.5.6.1.3 Densidad de drenaje

La Densidad de drenaje puede definirse como la relación entre la longitud total de los cauces de una cuenca y el área de ésta.

$$Dd = \Sigma Lu / S$$

Donde Dd es la densidad de drenaje (en Km/Km²), ΣLu es la longitud total de cauces (en Km) y S es el área total de la cuenca en Km². Este parámetro representa la longitud de cauces por unidad de superficie. Su valor está controlado por las características litológicas (muy especialmente la permeabilidad, hasta el punto de aportar una impresión cualitativa sobre ésta) y estructurales de los materiales, por el tipo y densidad de vegetación y por factores climáticos. Las mayores densidades de drenaje se encuentran en rocas blandas de baja permeabilidad y en regiones con escasa cobertura vegetal, sobre todo allí donde la precipitación se distribuye en aguaceros intensos y espaciados.

Tabla 68. Categorías de clasificación de densidad de drenaje de cuencas hidrográficas

DENSIDAD DEDRENAJE KM/KM ²	CATEGORIA
menor de 1	Baja densidad de drenaje (Mal Drenada)
Entre 1 y 2	Media densidad de drenaje
Entre 2 y 3	Alta densidad de drenaje
Mayor a 3	Muy Alta densidad de drenaje (Bien Drenada)

Fuente:

Usando la información disponible en el POMCA del Río Bogotá, la cuenca del Río Chicú reúne los datos de las microcuencas de directos cuenca alta del Río Chicú, directos cuenca baja Río Chicú y quebrada la Chucúa.

Tabla 69. Parámetros morfométricos de la cuenca Río Chicú

MICRO CUENCA	NOMENCLATURA	INDICE DE COMPACIDAD	ALINEAMIENTO	DENSIDAD DRENAJE
Río Chicú	2120-19	1.49	1.17	2.18

Fuente: (CAR, 2019).

El índice de compacidad en la cuenca Río Chicú corresponde a 1.49 que la clasifica como una cuenca oval-oblonga, que se considera de susceptibilidad media a eventos torrenciales. El índice de alineamiento que mide la sinuosidad del cauce muestra un valor de 1.17 que lo relaciona con canales rectilíneos que se desarrollan en áreas con fuertes pendientes y presentan baja sinuosidad, características de cuencas torrenciales. Finalmente, la densidad de drenaje para la cuenca del Río Chicú es de 2.18, que lo cataloga como una cuenca de alta densidad de drenaje.

La cuenca del Río Bogotá por su ubicación y topografía se descarta como posible fuente de eventos torrenciales que afecten el municipio de Tenjo.

4.5.6.1.4 índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales

Hace referencia al grado de susceptibilidad de una cuenca, o en este caso microcuencas y subcuencas, a presentar eventos torrenciales. Este índice depende de dos variables: el índice de variabilidad (IV) y el índice

morfométrico (IM), por medio de los cuales se estima la influencia de la morfometría y de los caudales en la existencia de un evento torrencial

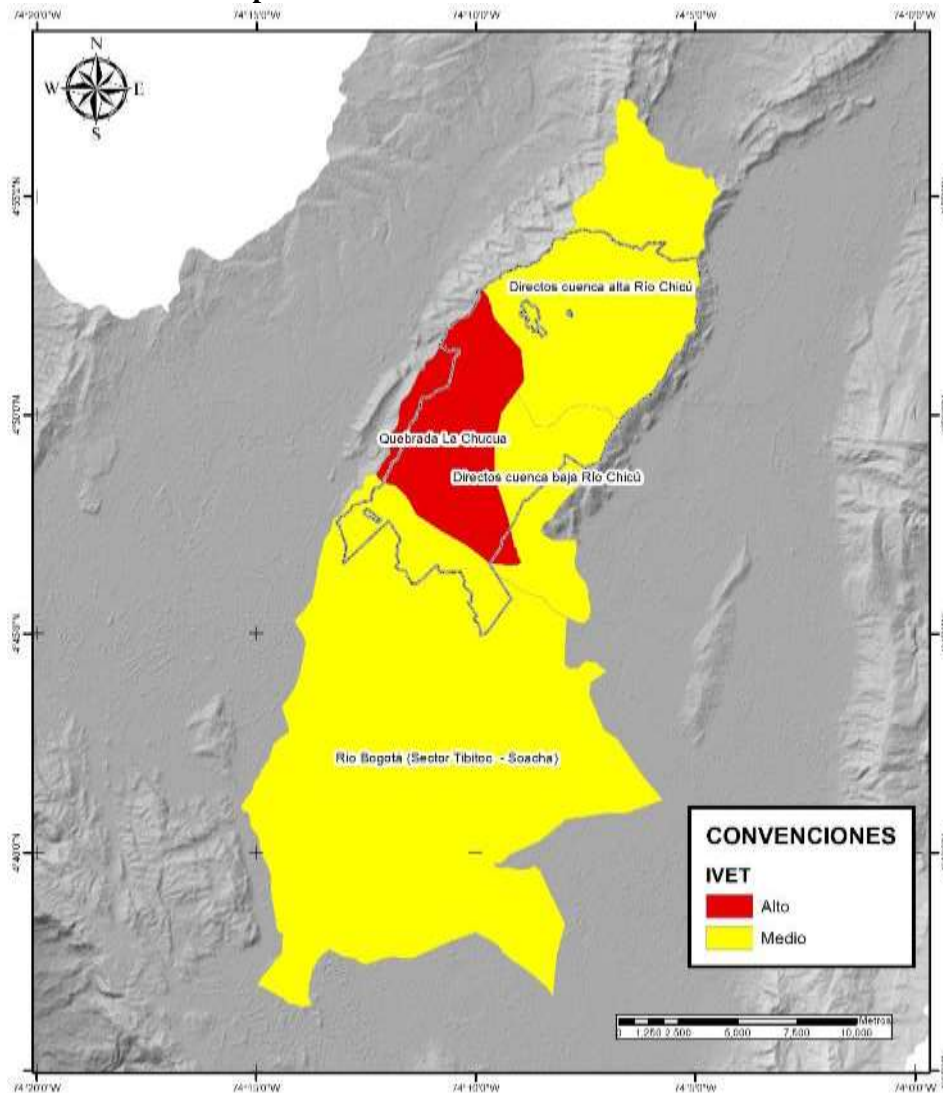
Tabla 70 Categorización del IVET de acuerdo con el índice de variabilidad y el índice morfométrico de torrencialidad.

Índice de variabilidad	Índice morfométrico de torrencialidad				
	Muy baja	Baja	Media	Alta	Muy alta
Muy baja	Baja	Baja	Media	Alta	Alta
Baja	Baja	Media	Media	Alta	Muy alta
Media	Baja	Media	Alta	Alta	Muy alta
Alta	Media	Media	Alta	Muy alta	Muy alta
Muy alta	Media	Alta	Alta	Muy alta	Muy alta

Fuente: (Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, 2014).

En este caso se tiene que todas las cuencas presentan un valor superior a media, que de acuerdo con el protocolo para la incorporación de gestión del riesgo debe ser estudiado. La microcuenca con mayor índice IVET corresponde con la cuenca de la Quebrada La Chucúa

Gráfica 190. mapa de índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales.

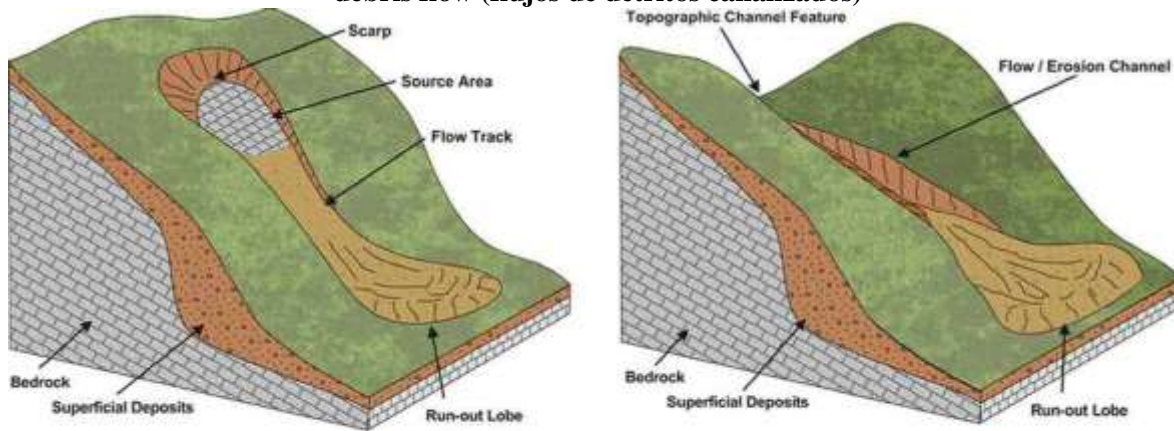


Fuente: (CAR, 2019).

4.5.6.1.5 Conclusiones del análisis de índices morfométricos

En su mayoría los índices morfométricos identifican la cuenca estudiada con algún grado de torrencialidad, especialmente la Quebrada La Chucua. Todas corresponden con cuencas jóvenes, con alto potencial de erosión que puede generar el transporte de sedimentos aguas abajo y producir una avenida torrencial. Lo anterior nos indica que puede configurar, teniendo en cuenta los demás factores para la generación de flujos de detritos, zonas de inicio y transporte eficientes. En la gráfica siguiente se identifican los flujos de detritos característicos del área rural del municipio de Tenjo, los cuales serán estudiados en el apartado de susceptibilidad y amenaza por avenidas torrenciales a escala básica rural 1:25.000.

Gráfica 191. Esquema de a) hillslope debris Flow (flujos de detrito en laderas) y b) channelised debris flow (flujos de detritos canalizados)



a) Hillslope Debris Flow

b) Channelised Debris Flow

Fuente: Modificado de Bee, Dashwood, Pennington, Ciurean, & Lee, 2019

Por las consideraciones anteriores, no se estudiará el fenómeno de avenida torrencial desde cuenca, que incluiría fenómenos de crecientes súbitas, siendo más relevante el componente de flujos de detritos provenientes de las laderas del cerro La Juaica y los cerros sur occidentales del municipio. El no estudiar las crecidas súbitas como escenario de avenidas torrenciales no indica que no sea posible que se genere este tipo de flujos. El área de estudio a escala 1:25.000 corresponde con toda el área urbana, expansión urbana y rural del municipio de Tenjo.

4.5.6.2 Evaluación de las condiciones torrenciales del área de estudio

4.5.6.2.1 Análisis de zonas de inicio

El análisis de zonas de inicio para fenómenos de avenidas torrenciales se realizó tomando como base el mapa de movimientos en masa resultado del modelamiento del fenómeno siguiendo la metodología sugerida por el SGC (2015), al cual se basa en el factor de seguridad para talud infinito con detonante lluvia y sismos. Esta define unas áreas en amenaza alta, media y baja asociadas a escenarios de lluvia antecedentes de un periodo de retorno de 20 años y acelareación pico vertical de 0.20g. El analisis realizado para determinar las zonas de inicio de flujos de detritos requiere identificar el detonante del flujo de detrito. Uno de estos es la ocurrencia de movimientos en masa someros, los cuales son detonados por lluvias intensas que elevan la presión de poro y producen al interior del material una pérdida de cohesión, reduciendo el factor de seguridad. El comportamiento de este fenómeno puede ser descrito con los modelos de estabilidad de ladera en talud infinito usando la aproximación típica de falla de Coulumb.

Las zonas de inicio del municipio de Tenjo, presentan geológicamente afloramientos de las formaciones Areniscad Dura (K2d) y Plaeners (K2p) sobre el cerro de Juaica y los cerros al suroriente, debido a la estructura sinclinal que limita el municipio. La formación Areniscas Dura (K2d) está constituida por areniscas cuarzosas, gris claras, de grano fino, en estratificación delgada a muy gruesa, lenticulares a plano paralelas, con intercalaciones esporádicas de arcillolitas y limolitas. Presenta un espesor variable, el cual oscila entre 308 y 460 m para el sector de los cerros surorientales y suroccidentales de la Sabana de Bogotá y entre 185 y 350 m para el área occidental de la sabana (Caro & García, 1988; Pérez & Salazar, 1973;

Martínez, 1990). Esta unidad se depositó en un ambiente litoral a sublitoral (Pérez & Salazar, 1973) y su edad es Campaniano-Santoniano.

La formación Plaeners (K2p) litológicamente está constituida: en la parte inferior, por paquetes de areniscas de grano fino, arcillolitas y limolitas silíceas, y liditas; la parte media, por una alternancia de limolitas, arcillolitas y areniscas de grano fino, y la parte superior, por limolitas y liditas. El espesor de la unidad es variable y oscila entre 156 y 212 m para la parte nororiental y suroccidental de Bogotá, y entre 60 y 300 m para la región occidental y noroccidental de la sabana. Su deposición ocurrió en un ambiente marino, de llanuras de lodo, durante el Maastrichtiano temprano (Pérez & Salazar, 1973).

Gráfica 192. Afloramiento de areniscas cuarzosas meteorizadas de la Formación Plaeners en el municipio de Tenjo (P19).



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

En la literatura existen más tipos de detoantes como la erosión del canal, terremotos, ruptura de diques, los cuales no se encuentran en el alcance de esta evaluación. Un modelo simple para estimar la susceptibilidad al inicio de flujos torrenciales a través de deslizamientos someros corresponde con el Shalstab, desarrollado por Montgomery y Dietrich en 1994. Este modelo simplificado, calcula la presión de poro asumiendo que las condiciones de estado estacionario se alcanzan después de una lluvia de intensidad constante y duración indefinida. Y también asume que el material se satura completamente (nivel freático coincide con la superficie del terreno). Estas situaciones permiten obtener una relación muy simple entre la precipitación q y la transmisividad del suelo T para cada celda del DEM (Montgomery & Dietrich, 1994).

$$\frac{q}{T} = \frac{\sin \theta}{(a/b)} \left(\left(\frac{c'}{\rho_w g z \cos^2 \alpha \tan \varphi} \right) + \left(\frac{\rho_s}{\rho_w} \right) \left(1 - \frac{\tan \alpha}{\tan \varphi} \right) \right)$$

Donde:

- Q es la precipitación (m/día) no conocida
- T es la transmisividad del suelo ($m^2/día$), no conocida.
- α es la pendiente (DEM)
- a/b es el área acumulada por el ancho del flujo (m)

- c' es la cohesión del suelo (Pa)
- φ es el ángulo de fricción interna del suelo.
- ρ_s es la densidad de bulk del suelo saturado (kg/m^3)
- g es la aceleración de la gravedad (m/s^2).
- z es el espesor de suelo (m)
- p_w es la densidad del agua (kg/m^3)

La categorización de susceptibilidad está dada en términos de $\text{Log}\left(\frac{Q}{t}\right)$ y se definen tres clases: alta, media y baja.

Tabla 71. Categorización de la susceptibilidad a iniciación de flujos de detritos.

SUSCEPTIBILIDAD	LOG(q/T)
ALTO	< -2.9
MEDIO	< 2.4 Y >-2.9
BAJO	>-2.4

Fuente: (Bregoli, Medina, & Bateman, 2018)

Con el objetivo de unificar las condiciones dadas por el mapa de movimientos en masa y la susceptibilidad resultante del modelo Shalstab se propone la siguiente combinación para hacer la categorización final de susceptibilidad a iniciación de avenidas.

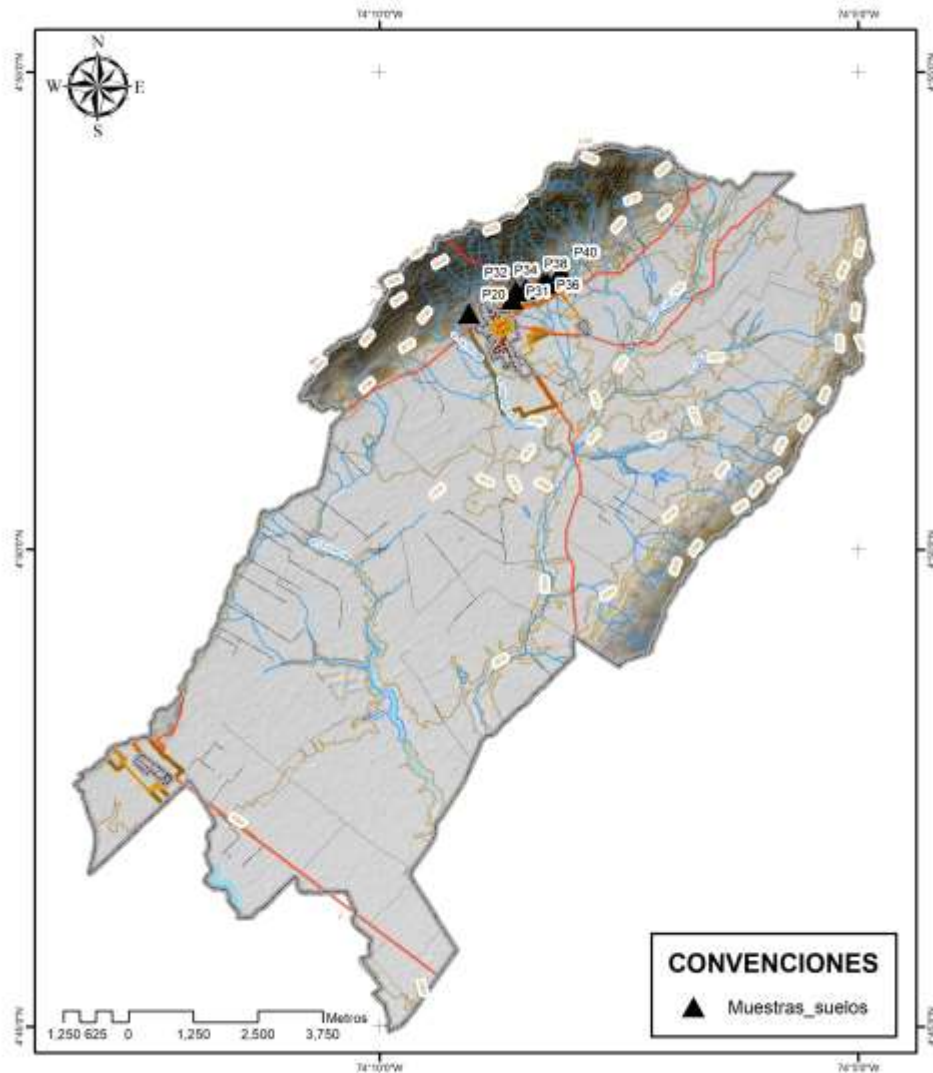
Tabla 72. Combinación de categorías de amenaza por movimientos en masa y susceptibilidad de inicio por el modelo Shalstab.

INICIACION	Log(q/T)	AMENAZA MM
ALTO	< -2.9	ALTO
MEDIO	< -2.4 y >-2.9	
BAJO	> -2.9	
MEDIO	< -2.4 y >-2.9	MEDIO
BAJO	> -2.9	
BAJO	> -2.9	BAJO

Fuente: (Bregoli, Medina, & Bateman, 2018)

Para construir el modelo de zonas de inicio por la metodología Shalstab, es necesario conocer los parámetros geotécnicos del suelo objeto de estudio. Para tal fin, se escogieron algunas muestras representativas recolectadas en inmediaciones del área urbana y zona de expansión en el cerro de Juaica, con el objetivo de promediar los valores obtenidos y generar el insumo necesario para el modelo. En la siguiente gráfica se observa la ubicación de cada uno de los muestreos utilizados y su nomenclatura.

Gráfica 193. Mapa de localización de puntos de muestreo de suelo utilizado para la elaboración del modelo de inicio de avenidas torrenciales.



En la siguiente tabla se resumen las propiedades geotécnicas en los suelos muestreados, los cuales fueron utilizados para identificar los valores promedio de cada una de estas propiedades y usarlo en el modelo propuesto.

Tabla 73. Laboratorios de suelos utilizados como información de entrada para el modelo Shalstab.

PUNTO CONTROL	FRICCION (°)	COHESION (kg/cm²)	DENSIDAD HUMEDA Kg/m³
P20	31	0.44	1410
P31	29	0.41	1920
P32	28	0.38	1866
P34	35	0.34	1619

PUNTO CONTROL	FRICCION (°)	COHESION (kg/cm ²)	DENSIDAD HUMEDA Kg/m ³
P36	29	0.45	1595
P38	24	0.52	1938
P40	37	0.41	1628
PROMEDIO	30.42857143	0.42142857	1710.857143

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

El modelo utilizó los valores promedio encontrados para ángulo de fricción, cohesión y densidad húmeda. El valor promedio del espesor del suelo, se identificó a través de la observación de campo. Los valores utilizados fueron:

- COHESION (Pa) = 41285
- DENSATURATED (kg/m³) = 1710.8
- FRICINTERN (tan(phi)) = 0.58
- ZSOILDEPTH (m) = 1.2

De esta manera en la gráfica siguiente, se muestra el mapa de susceptibilidad por inicio de flujo de detritos para el municipio de Tenjo. El mapa muestra zonas de susceptibilidad alta a lo largo del Cerro de Juaica en parte alta de las veredas El Estanco, Chince y Juaica (B). Muchas de las áreas en susceptibilidad alta se encuentran en la parte alta del casco urbano y de los centros poblados de La Casajera, El Palmar, Pan de Azúcar, Los Pinos y Zoque. Sobre esta zona también se observan áreas de susceptibilidad media. Estas áreas se encuentran acotadas a los valles de los drenajes de la parte alta del municipio. Los valores de espesor de suelo fueron promediados a partir de la identificación de campo, como la que se muestra en la Gráfica 194.

Gráfica 194. Identificación en campo del espesor promedio del suelo.



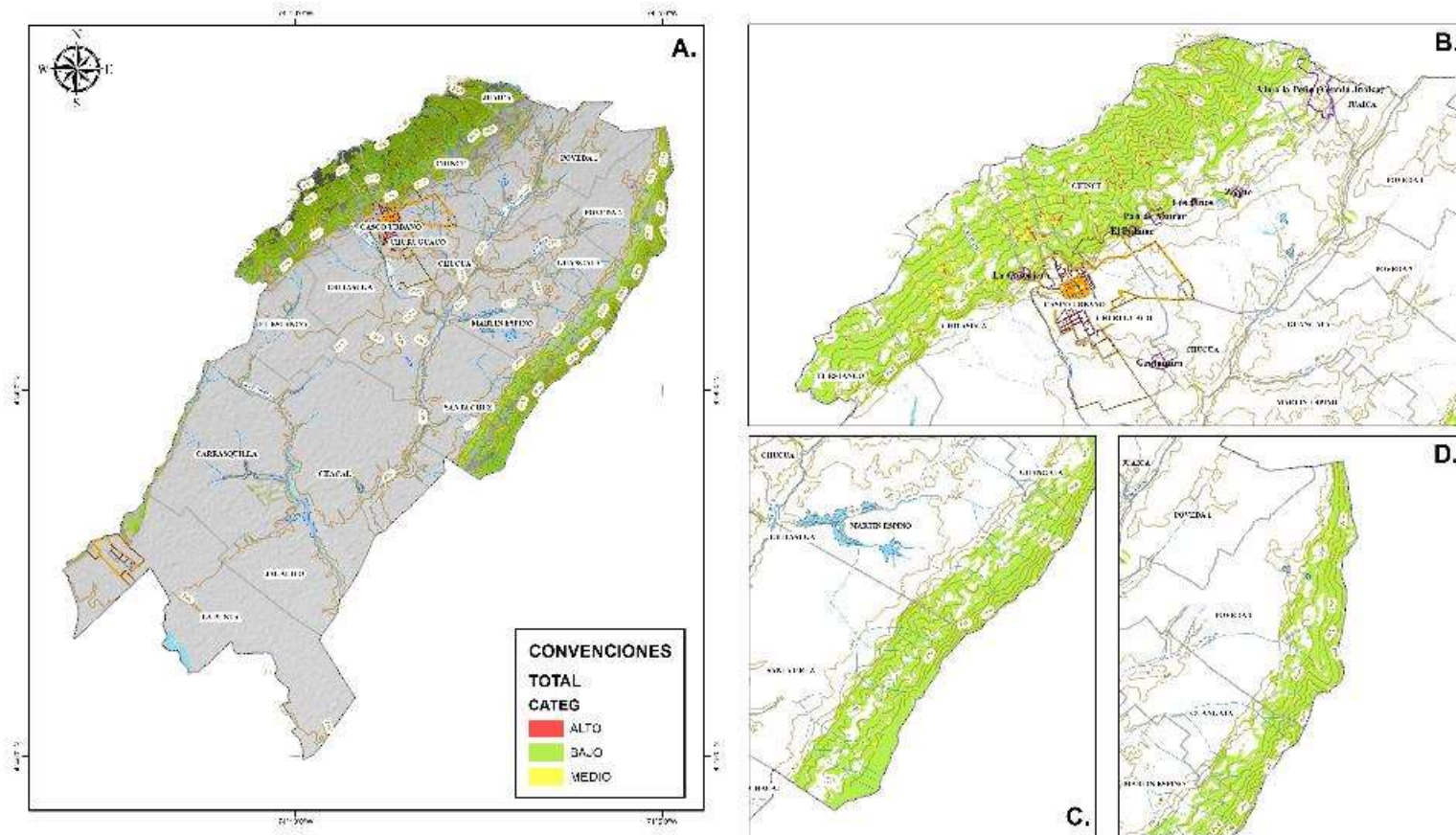
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Los cerros surorientales presentan una susceptibilidad baja (C. y D). El resto de zona montañosa del municipio se encuentra en susceptibilidad baja. Las zonas sin color son áreas sin categorizar debido a que



no se presentan las condiciones de falla de talud infinito y el factor de seguridad es alto. Los datos de entrada para este modelo fueron extraídos de los estudios de suelo y laboratorios realizados para la realización del modelo de amenaza por movimientos en masa urbano y rural, elaborados para los presentes estudios

Gráfica 195. Mapa de amenaza a inicio de flujos de detritos para el municipio de Tenjo.



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

Porcentualmente las áreas de susceptibilidad a inicio de avenidas torrenciales se muestra en la gráfica siguiente.

Gráfica 196. Distribución porcentual de las categorías de zonas de inicio para el municipio de Tenjo.



CATEGORÍA	ÁREA (ha)	PORCENTAJE
SIN CATEGORIA	9756.88015	86.057%
ALTO	9.691661	0.085%
MEDIO	48.562836	0.428%
BAJO	1522.52919	13.429%

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

Los resultados del modelamiento de zonas de inicio para el área rural del municipio de Tenjo, muestra un comportamiento estable. Los datos de cohesión reportados por los laboratorios realizados a las muestra seleccionadas definen un material con alta cohesión, que puede ser catalogado como un material estable. Adicional a esto su ángulo de fricción promedio de 30°, corresponde con un valor medio-alto que permite que este se encuentre estable en zonas con pendientes de importancia.

4.5.6.2.2 Análisis de zonas de transporte

El transporte de sedimentos en flujos de detritos implica, como se expuso en el capítulo 4.5.1.2. Zonas de transporte, un modelo que integre diversos parámetros reológicos del material que se transporta. Un método simplificado y rápido corresponde al modelo DebrisDice desarrollado por el grupo GITS-UPC.

El DebrisDice es un modelo estocástico para la propagación de flujos de detritos, basado en la morfología del terreno (DEM). Este modelo permite obtener resultados cualitativos en términos de áreas inundadas y velocidad de flujo. La herramienta es realmente útil por su relación tiempo de cálculo y calidad de los resultados. Con una buena calibración los resultados pueden ser comparables a modelos más complejos (modelos 1D y 2D). El modelo estocástico consiste en un algoritmo de enrutamiento de flujo incorporado a una ruta aleatoria para generar trayectorias de flujo de escombros. Gamma (1999) y Hürlimann et al. (2008) combinó un algoritmo de enrutamiento de flujo D8 (O’Callaghan y Mark 1984) con Montecarlo y la teoría de ruta aleatoria (Bregoli, Medina, & Bateman, 2018).

El modelo incorpora el cálculo de la velocidad del flujo local y dos mecanismos de parada diferentes. Una de las mejoras clave en el modelo es la posibilidad de flujo en contra pendiente, el cual asigna una pequeña probabilidad de inundación a las celdas con mayor elevación que la focalizada. Esta idea sigue el comportamiento del fluido donde las fuerzas de inercia permiten movimientos en contra pendiente. A partir de los puntos de iniciación evaluados con los modelos de susceptibilidad y datos de campo, es posible

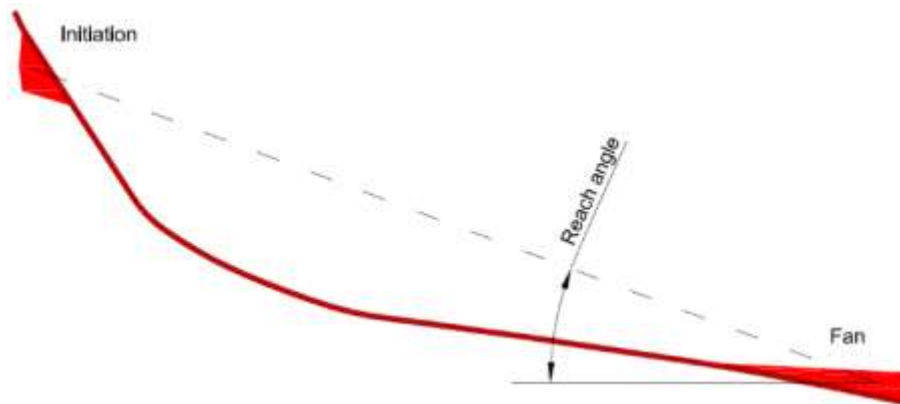
obtener una trayectoria de propagación de flujo para cada punto n_{afect} . Finalmente, la probabilidad de invadir una celda P_{xy} , se calcula para todo el DEM usando la siguiente ecuación (Bregoli, Medina, & Bateman, 2018).

$$P_{xy} = \frac{n_{afect}}{n_{iter}}$$

Donde n_{afect} es el número de trayectorias DF que pasan a través de una celda. El resultado de este método es un mapa que contiene información sobre la probabilidad de que cada celda del DEM se vea afectada por un flujo de detritos futuro. El resultado depende en gran medida de la resolución DEM y del número de iteraciones. En la práctica, el índice óptimo es aquel en el que, incluso para un valor más alto de índice, el resultado no cambia. Gamma (1999) y Hürlimann et al. (2008) recomiendan establecer $n_{iter} = 104$, pero los valores de 102 deberían ser suficientes para grandes áreas de estudio. Para el municipio de Tenjo se usó un número de iteraciones de 200.

El modelo DebrisDice utiliza dos métodos de detención de flujo y proporciona resultados separados para cada uno de los métodos de detención. El primer mecanismo de detención del enrutamiento se evalúa mediante la relación entre el ángulo de alcance (β) y el volumen total del flujo de escombros (V) Corominas et al (1996).

Gráfica 197. Diagrama de proceso de identificación del ángulo de alcance (Reach angle)



Fuente: (Bregoli, Medina, & Bateman, 2018).

Donde β es el ángulo de alcance, H es el gradiente entre el centro de masa del deslizamiento de tierra y el abanico, L max es la distancia de viaje y V es el volumen total de sedimento movilizado en m³. Para el modelamiento realizado en el municipio de Tenjo, se tiene que el ángulo de alcance para cada categoría de susceptibilidad de inicio es la consignada en la Tabla 74.

Cálculo de volumen removido en ladera susceptible al transporte de sedimentos.

El modelo de transporte de material en avenidas torrenciales utilizado, tiene en cuenta el volumen inicial susceptible a fallar y alimentar los flujos que puedan generarse, para esto Corominas 1996, presenta una

metodología sencilla para hacer el cálculo, el cual se basa en el área total susceptible a inicio multiplicado por el espesor de suelo promedio identificado en el análisis de zonas de inicio. El cálculo se realiza teniendo en cuenta el tamaño de pixel del estudio realizado, que para el caso del municipio de Tenjo en su zona rural corresponde con 12.5m.

Tabla 74. cálculo de ángulo de alcance para el modelamiento realizado en el municipio de Tenjo.

High probability				
cells	cells size	thickness	volume	Reach angle (Corominas 1996)
	(m)	(m)	(m3)	(rad)
9115	12.5	1.5	2.14E+06	0.20696316
Medium probability				
cells	cells size	thickness	volume	Reach angle (Corominas 1996)
	(m)	(m)	(m3)	(rad)
2224	12.5	1.5	5.21E+05	0.238842688
Low probability				
cells	cells size	thickness	volume	Reach angle (Corominas 1996)
	(m)	(m)	(m3)	(rad)
40366	12.5	1.5	9.46E+06	0.177702687

Fuente: Corominas 1996

Este volumen se puede estimar mediante el modelo de iniciación presentado anteriormente. Como se muestra en la tabla, el volumen que puede ser movilizado para la categoría alta, la cual es la de mayor probabilidad puede ser de **2'136.328 m³** de sedimento. Las estimaciones de estos volúmenes corresponde con el escenario extremo de falla de toda el área en categoría alta. La pertinencia de usar este modelo se sustenta en que el cerro Juaiuca presenta una alta composición de material arenoso granular de la formación Areniscas Dura (K2d), que está constituida por areniscas cuarzosas, gris claras, de grano fino, en estratificación delgada a muy gruesa, lenticulares a plano paralelas, con intercalaciones esporádicas de arcillolitas y limolitas. En la parte inferior del cerro aflora la formación Plaeners (K2p) que litológicamente está constituida: en la parte inferior, por paquetes de areniscas de grano fino, arcillolitas y limolitas silíceas, y liditas; la parte media, por una alternancia de limolitas, arcillolitas y areniscas de grano fino, y la parte superior, por limolitas y liditas (CAR, 2018).

Método de detención del flujo por velocidad

El segundo parámetro de parada consiste en evaluar la velocidad del flujo a través de su trayectoria, hasta que por conservación de energía, la velocidad del flujo llegue a cero. El cálculo de la velocidad del flujo se logra aplicando la Reología de Flujo Fluido de Voellmy para Flujo de Escombros Granulares (Voellmy 1955):

$$\frac{1}{2} \frac{dv^2}{dl} = g(\sin \alpha - \mu_m \cos \alpha) - \frac{v^2}{k}$$

Donde v es la velocidad de la mezcla, l es la línea de la trayectoria del flujo, μ_m es el coeficiente de fricción por deslizamiento, k es el coeficiente de turbulencia, también llamado “relación masa / arrastre”. μ_m y k deben definirse mediante análisis retrospectivo, pero se pueden establecer valores típicos. Cuando la velocidad es cero, el flujo se detiene (segundo método de detención). Adicionalmente se puede incluir el ángulo mínimo de parada del flujo (ángulo de alcance).

Para el municipio de Tenjo, los resultados de velocidad promedio del flujo (m/s) y probabilidad de trayectoria (probabilidad de que un flujo pase por un determinado pixel) se encuentra en la Tabla 75. Es de acotar que las velocidades promedio se asocian al cuerpo principal del flujo, sobre la zona alta de las laderas y la probabilidad media de trayectoria se asocia principalmente a la ruta de mayor pendiente que normalmente coincide con el canal aluvial principal de las corrientes de agua. Las áreas con una probabilidad baja corresponden con zonas por donde ya no es posible el tránsito de flujos como lo son los parteaguas y zonas de pendiente baja. Los resultados de velocidad se asocian exclusivamente a la solución de las ecuaciones de flujo usando la reología de Voelmy, a través de parámetros reológicos que por las condiciones del estudio no pudieron ser validados en campo, ya que no se cuenta con registros históricos que permitan una calibración adecuada del modelo. Por lo cual las velocidades identificadas deben ser tomadas como valores teóricos.

Tabla 75. Valores máximos de velocidad (m/s) y probabilidad de trayectoria (invadir una celda).

Zona de inicio del flujo	Velocidad promedio flujo (m/s)	Probabilidad promedio trayectoria
ALTA	9.245	0.028
MEDIA	9.146	0.012
BAJA	9.130	0.00551

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

La categorización de susceptibilidad al transporte de avenidas torrenciales (flujo de detritos en laderas o flujo de detritos canalizados) se deriva de la categorización propuesta por (Bregoli, Medina, & Bateman, 2018) basada en los trabajos de Buwal (1997) y Rickenmann (2005b). Esta identifica tres categorías alta, media y abaja de acuerdo con la velocidad y altura de lámina de agua en relación a la probabilidad de ocurrencia.

Tabla 76. categorización de la intensidad de eventos de flujos de detritos.

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

Fuente: (Bregoli, Medina, & Bateman, 2018).

Debido a la carencia de información necesaria para la categorización propuesta en Bregoli, Medina, & Bateman (2018), en la Tabla 77, se muestra la categorización construida para la zonificación de la susceptibilidad a transporte de flujo de detritos en laderas o flujo de detritos canalizados. Esta zonificación tiene como insumo la categorización definida en la Tabla 70, que define los escenarios de zonas de inicio en relación a las categorías de amenaza por movimientos en masa. La zonificación utiliza las manchas de velocidad obtenidas usando el modelo DebrisDice para cada escenario de zonas de inicio modelado; el cual se relaciona a la probabilidad de ocurrencia calculada para cada categoría de amenaza por movimientos en masa usando el método de talud infinito y factor de seguridad.

Como se observa en la Tabla 77, para cada categoría de amenaza por movimientos en masa usado en el modelo de zonas de inicio, se presenta un transporte desde cada zona de inicio calculado, el cual puede contener en la categoría alta por movimientos en masa, las categorías de susceptibilidad alta, media o baja a inicio y por consiguiente, cada categoría de susceptibilidad de inicio presenta un escenario de transporte, el cual se categoriza de la misma manera que el escenario de inicio, teniendo en cuenta valores de velocidad mayores a 1 m/s. Igualmente se tiene la categoría por movimientos en masa media, la cual presenta solamente categorías de susceptibilidad a inicio media y baja. Finalmente, la categoría de amenaza por movimientos en masa baja solo tiene la categoría de susceptibilidad a inicio baja.

Tabla 77. Categorización de susceptibilidad a transporte de avenidas torrenciales en el municipio de Tenjo.

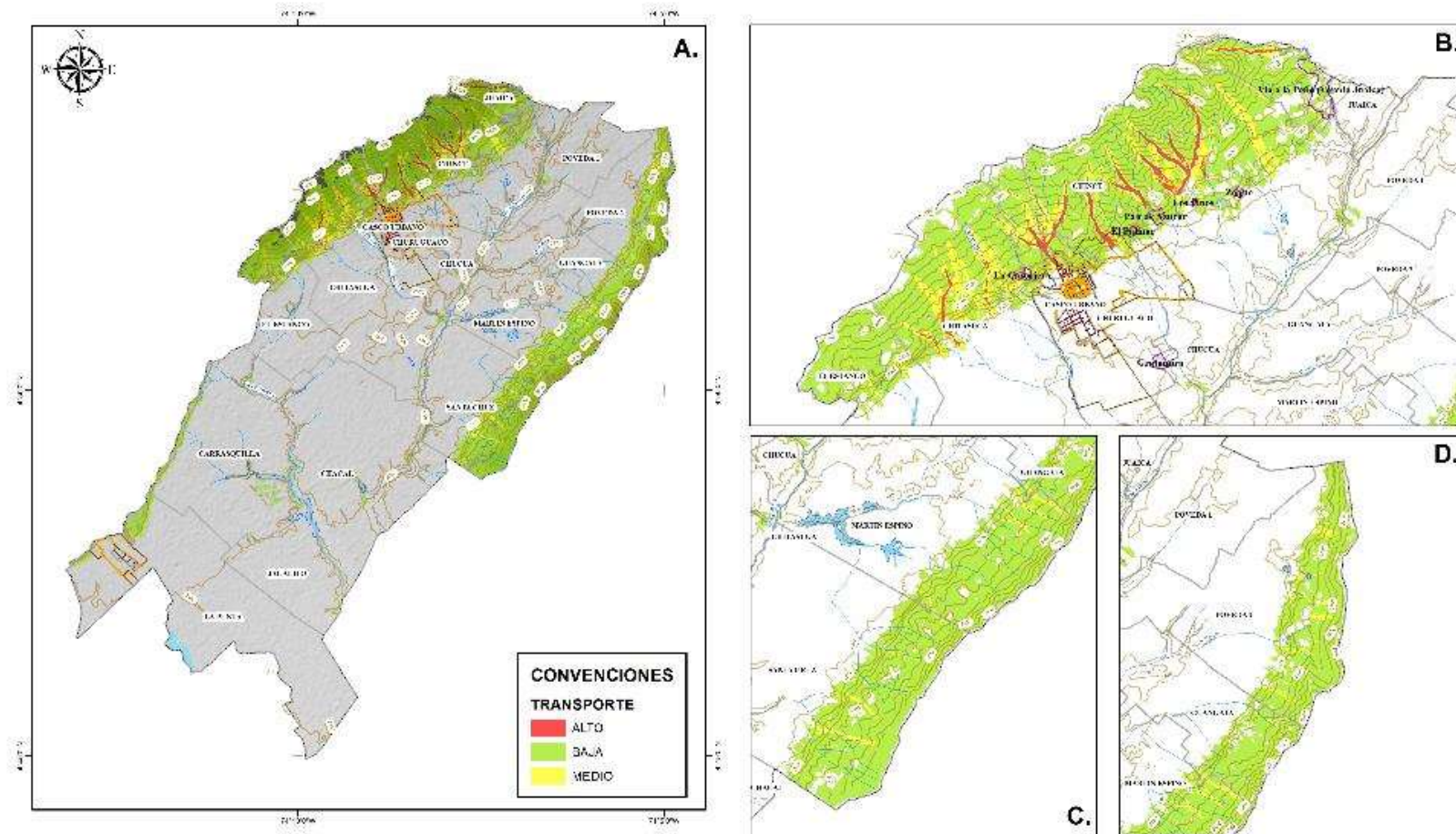
Categorización de susceptibilidad a transporte de avenidas torrenciales		Categorización de la amenaza por movimientos en masa del municipio de Tenjo		
Manchas de transporte para cada Escenarios de inicio	Trayectorias del modelo DebrisDice para cada escenario de inicio ($V > 1\text{m/s}$)	ALTO	MEDIO	BAJO
	ALTO (iniciación)			
	MEDIO (iniciación)			
	BAJO (iniciación)			

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

En la gráfica siguiente, (A) se muestra el mapa de susceptibilidad a transporte de flujo de detritos en laderas o flujo de detritos canalizados. Las zonas más afectadas por el transporte de sedimentos aguas abajo en forma de flujos corresponde con las laderas del Cerro Juaica, especialmente las zonas de drenaje de las quebradas Churuquaco, Chiga y cuerpos de agua innominados sobre las veredas El Estanco, Chitasuga, Chince y Juaica (C).

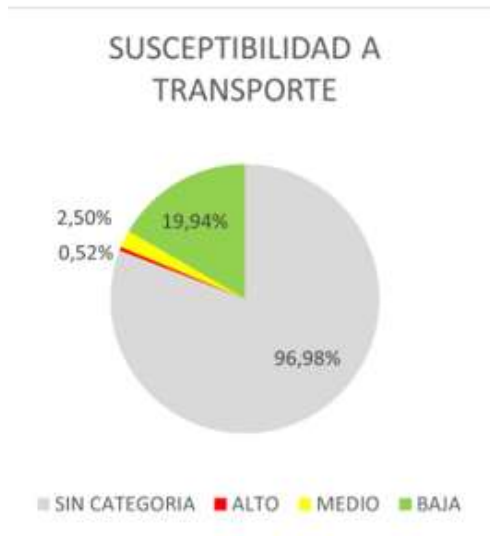
En el sector suroriente del municipio no se evidencian mayores áreas en susceptibilidad media o alta, lo que muestra un poco probabilidad de ocurrencia de transporte de flujos, debido posiblemente a que las laderas del sector son cortas y de pendiente inferior a las presentes en el Cerro Juaica. Las áreas sin color corresponde con zonas que por sus condiciones topográficas no permite el transporte de flujos como el área media del municipio que presenta una pendiente muy baja.

Gráfica 198. Mapa de susceptibilidad a transporte de avenidas torrenciales (flujo de detritos en laderas o flujo de detritos canalizados).



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

Gráfica 199. Distribución porcentual de la susceptibilidad a transporte de avenidas torrenciales en el municipio de Tenjo.

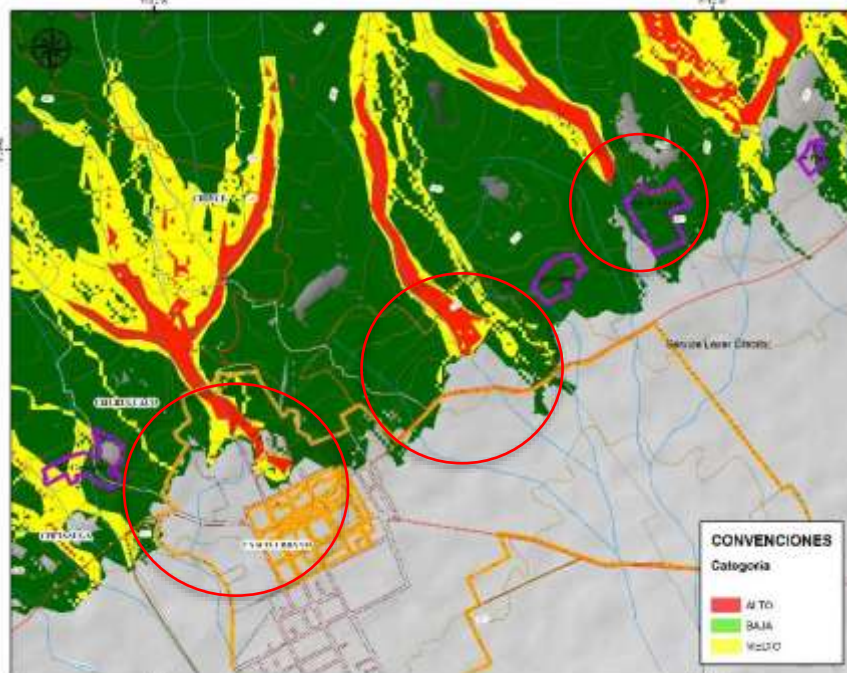


CATEGORÍA	ÁREA (m ²)	PORCENTAJE
SIN CATEGORIA	91944110.7	96.98%
ALTO	497642.773	0.52%
MEDIO	2370342.71	2.50%
BAJA	18910197.8	19.94%

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

El análisis realizado muestra que las trayectorias de los flujos modelados afectan el casco urbano del municipio y su zona de expansión (incluyendo parte del sector Cementerio) y los centros poblados de La Cascajera y Pan de Azúcar, por lo cual se priorizaron como zonas de estudio para el análisis escala 1:2.000 propuesto en el decreto 1077 de 2015. En la gráfica siguiente, se muestra un acercamiento del mapa de susceptibilidad por transporte de avenidas torrenciales.

Gráfica 200. Zonificación de susceptibilidad por transporte de avenidas torrenciales en el casco urbano del municipio de Tenjo, zona de expansión y el centro poblado de Pan de Azúcar.



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

4.5.6.2.3 Análisis de zonas de depósito

Las propuestas metodológicas para la evaluación de susceptibilidad y amenaza por flujos clasificados como avenida torrencial a escala 1:25.000 son frecuentemente geomorfológicas y de criterio experto. Especialmente las geoformas de depósito de estos fenómenos donde es probable que se generen los mayores daños, si el evento se materializa (SGC, 2017). Los movimientos en masa tipo flujo (de lodos y detritos) que han sido clasificados como avenida torrencial, se presentan en cuencas con características morfométricas y climáticas particulares como las siguientes:

- ✓ **Tamaño de la cuenca:** cuencas pequeñas entre 0,3 km² y 150 km², algunos autores refieren tamaños hasta de 300 km².
- ✓ **Forma de cuenca:** cuencas con formas circulares. Para la definición de la forma de la cuenca se pueden usar índices como el de Gravellius, que relaciona el perímetro de la cuenca y su área; o el factor de forma que además utiliza la longitud axial de la cuenca. Estos índices permiten tener una idea de la probabilidad de crecientes (Monsalve, 1999).
- ✓ **Pendiente:** cuencas con valores de pendiente media en sus laderas entre 27° y 38° (Chen & Yu, 2011), y pendientes longitudinales del cauce mayores a 12° (Horton, 2013). Geomorfología: los flujos se presentan especialmente en cuencas con cañones en V, relieves abruptos y cambios bruscos de pendiente del cauce y en general, se evidencian depósitos de material fluviotorrencial.
- ✓ **Precipitación:** cuencas localizadas en zonas con precipitaciones de alta intensidad.

Como se mencionó anteriormente, existen geoformas que pueden constituir posibles zonas de aporte de material durante el tránsito del flujo, las cuales a criterio del experto pueden también ser mapeadas como

zonas de susceptibilidad. El Servicio Geológico Colombiano (2015) define algunas geoformas indicativas de susceptibilidad por movimientos en masa tipo flujos, los cuales se tomaron como base para evaluar la susceptibilidad a depósitos de avenidas torrenciales del municipio.

Tabla 78. Categorías de susceptibilidad por movimientos en masa tipo flujo del SGC 2017.

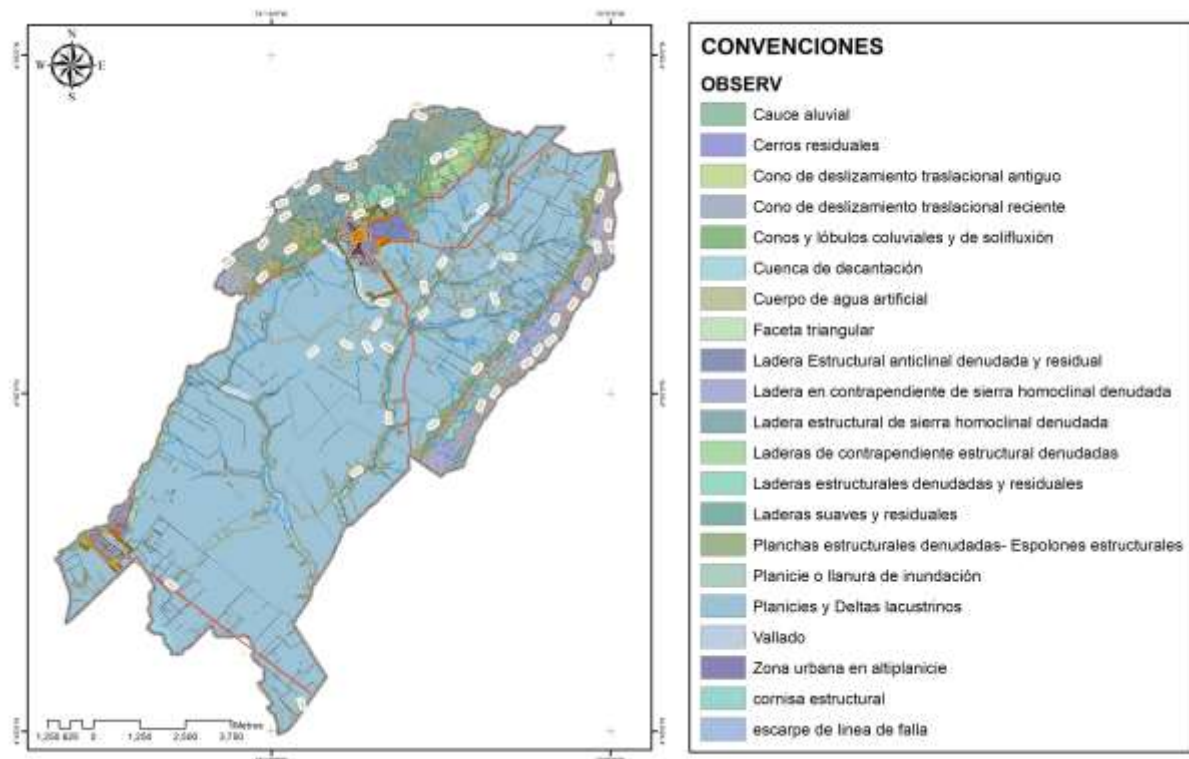
CLASE DE SUSCEPTIBILIDAD	CATEGORIA	UNIDAD / SUBUNIDAD GEOMORFOLOGICA
ALTA		Dlcad (Lóbulo y cono de avalancha de detritos), Dlcar (Lóbulo y cono de avalancha de rocas), Faaac (Abanico aluvial actual), Fcdy (Cono de deyección)
MEDIA		Faas (Abanico aluvial subreciente)
BAJA		Faaa (Abanico aluvial antiguo), Faai (Abanico aluvial incisado)

Fuente: (SGC, 2017)

En el municipio de Tenjo se tiene unidades geomorfológicas de origen fluvial, estructural y denudacional. Las geoformas de origen fluvial representan la mayor parte del área del municipio. El 76% del municipio está cubierta por estas geoformas, seguido de las de origen estructural con 17.96%, las geoformas de origen denudacional cubren 4.43% del área total del municipio y el restante corresponde con unidades antrópicas. En la Gráfica 201 se muestra el mapa de subunidades geomorfológicas rural del municipio.

Para estudiar las zonas de depósito existentes en el municipio de Tenjo se realizó una identificación de las geoformas y depósitos que pueden ser asociados a alguno de los tipos de fenómeno de avenidas torrenciales enunciados como inundaciones súbitas, flujos de detritos o inundaciones de detritos. Lo anterior, con el fin de localizar las áreas en las que una posible avenida torrencial pueda generar los mayores daños. Para el municipio se tiene que los Conos o lóbulos de coluviales y de soliflucción (Dco) son las geoformas que presentan susceptibilidad a ser formados por este fenómeno.

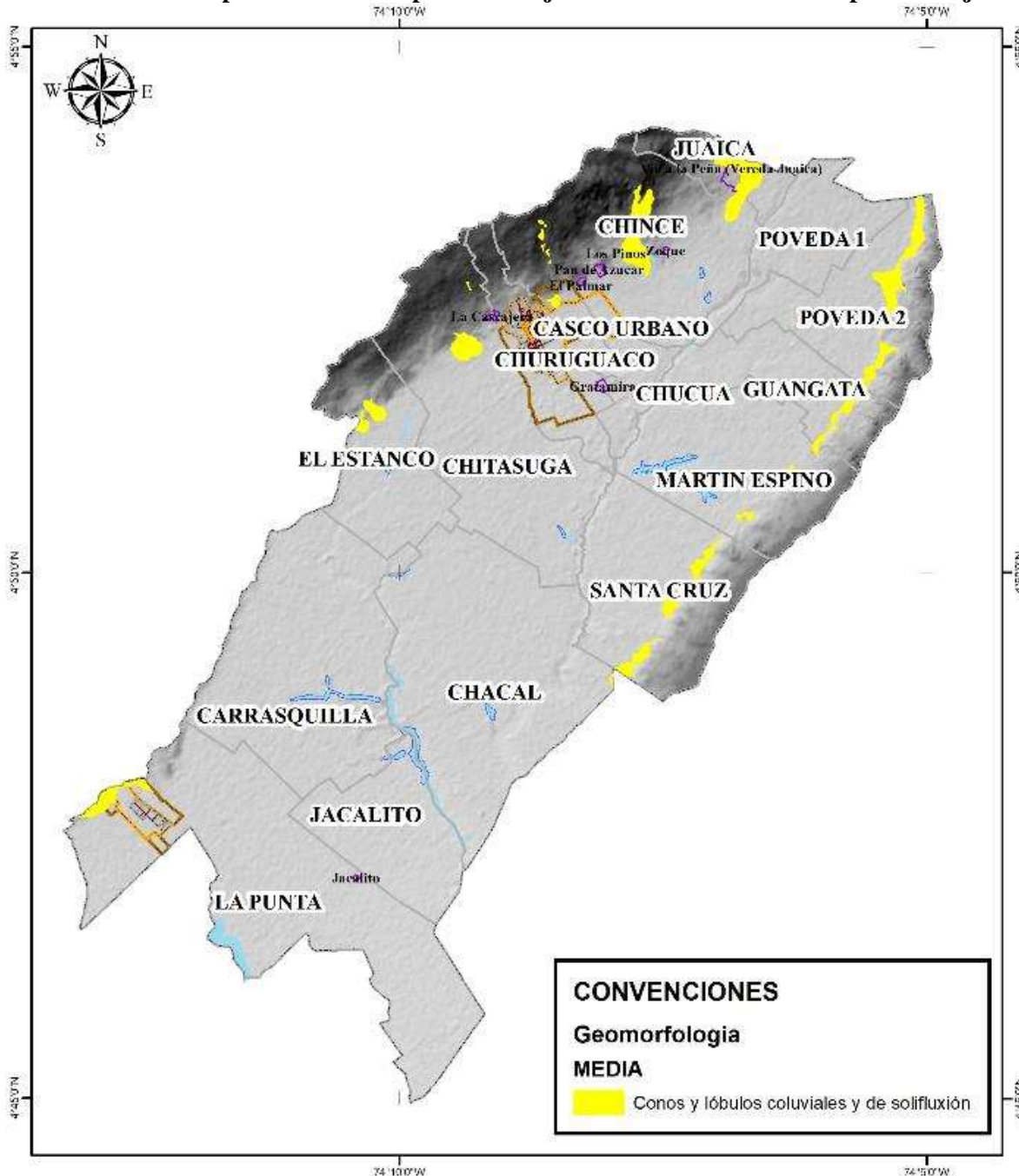
Gráfica 201. Mapa de subunidades geomorfológicas del municipio de Tenjo



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

Conos o lóbulos de coluviales y de soliflucción (Dco). Es una unidad geomorfológica que se presenta en forma de Lóbulo coluvial con morfología alomada baja, pendiente inclinada con un rango de 6° a 15° con índice de relieve muy bajo. Su origen se relaciona a procesos de transporte y depositación de materiales sobre las laderas adyacentes debido a procesos hidrogravitacionales en suelos saturados, este efecto se origina por el desprendimiento de las rocas competentes que se encuentran adyacentes a la geoforma. Para el caso del municipio de Tenjo el material corresponde con rocas de las formación Plaeners (K2p) y Areniscas Dura (K2d). esta geoforma no se relaciona directamente con procesos fluviotorrenciales por lo cual se le asigna una susceptibilidad media.

Gráfica 202. Mapa de zonas de depósito de flujos torrenciales en el municipio de Tenjo.



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

En observaciones de campo adelantadas, se evidenciaron depósitos asociados a avenidas torrenciales. El afloramiento identificado en la gráfica siguiente, muestra un depósito de origen fluvio-torrencial asociado a depósitos fluvio-torrenciales de conos de deyección en el Centro Poblado de Los Pinos. El depósito muestra una fábrica matriz-soportada con bloques de hasta 80 cm de diámetro embebido en una matriz gravo-arenoso. En su mayoría el depósito presenta bloques de arenisca de la Dura y de la Formación Plaeners. El

depósito muestra relación con las facies A y B propuestas por Sohn, 1999 que corresponde con flujos de detritos.

Gráfica 203. Fotografía de afloramiento de depósito fluvio-torrencial en el punto P43 en el Centro Poblado de Los Pinos



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

4.5.6.3 Mapa de susceptibilidad y amenaza por avenidas torrenciales escala 1:25000

Para construir el mapa de avenidas torrenciales del municipio de Tenjo, se cruzan los mapas de zonas de inicio, transporte y depósito descritos anteriormente, respetando la categoría más alta, como se muestra a continuación:

Tabla 79. Leyenda del mapa de amenaza por avenidas torrenciales del municipio de Tenjo.

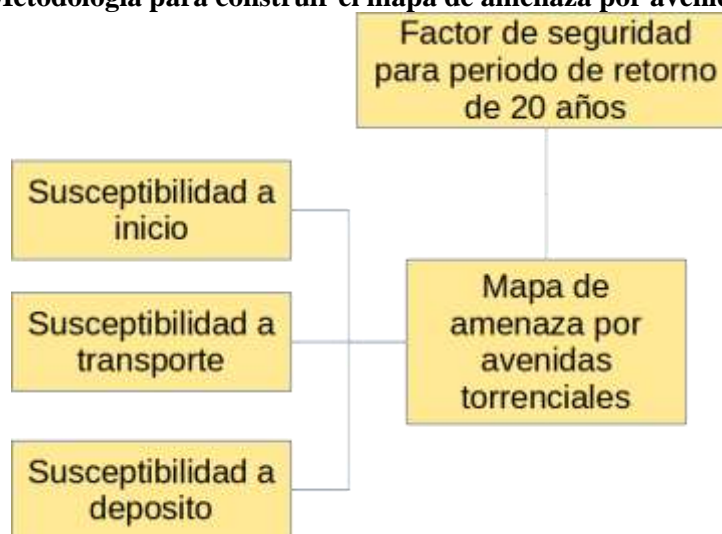
SUSCEPTIBILIDAD A AVENIDAS TORRENCIALES	
CATEGORÍA	SUSCEPTIBILIDAD POR ZONAS
ALTA	Alta por inicio
	Alta por transporte
	Alta por depósito
MEDIA	Media por inicio
	Media por transporte
	Media por depósito
BAJA	Baja por inicio
	Baja por transporte
	Baja por depósito

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021 con base en SGC 2015.

La amenaza es la probabilidad de ocurrencia de un suceso potencialmente desastroso durante cierto periodo de tiempo en un tiempo dado (UNDRO 1979). En escalas medias la amenaza puede ser abordada teniendo en cuenta la caracterización de los eventos torrenciales a través de la identificación de la susceptibilidad de cada uno de los momentos o partes de una avenida torrencial (inicio, transporte y depósito), junto con el análisis de la probabilidad temporal expresada normalmente en términos de la frecuencia periodo de retorno o probabilidad de excedencia.

La probabilidad para eventos de avenidas torrenciales en este documento fue incluida a partir del hecho de que la amenaza por movimientos en masa es el detonante de los flujos torrenciales y son los desencadenantes del proceso. Por lo cual, el periodo de retorno utilizado en el modelo de amenaza por movimientos en masa es de 20 años y por consiguiente es el mismo para los eventos por avenidas torrenciales. En la siguiente grafica se muestra la metodología utilizada para construir el mapa de amenaza por avenidas torrenciales.

Gráfica 204. Metodología para construir el mapa de amenaza por avenidas torrenciales.



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

En la Tabla 79 se describe cada categoría del mapa de amenaza por avenidas torrenciales, como lo establece el SGC 2015, en la Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1: 25.000.

Tabla 80. Leyenda del mapa de amenaza por avenidas torrenciales del municipio de Tenjo.

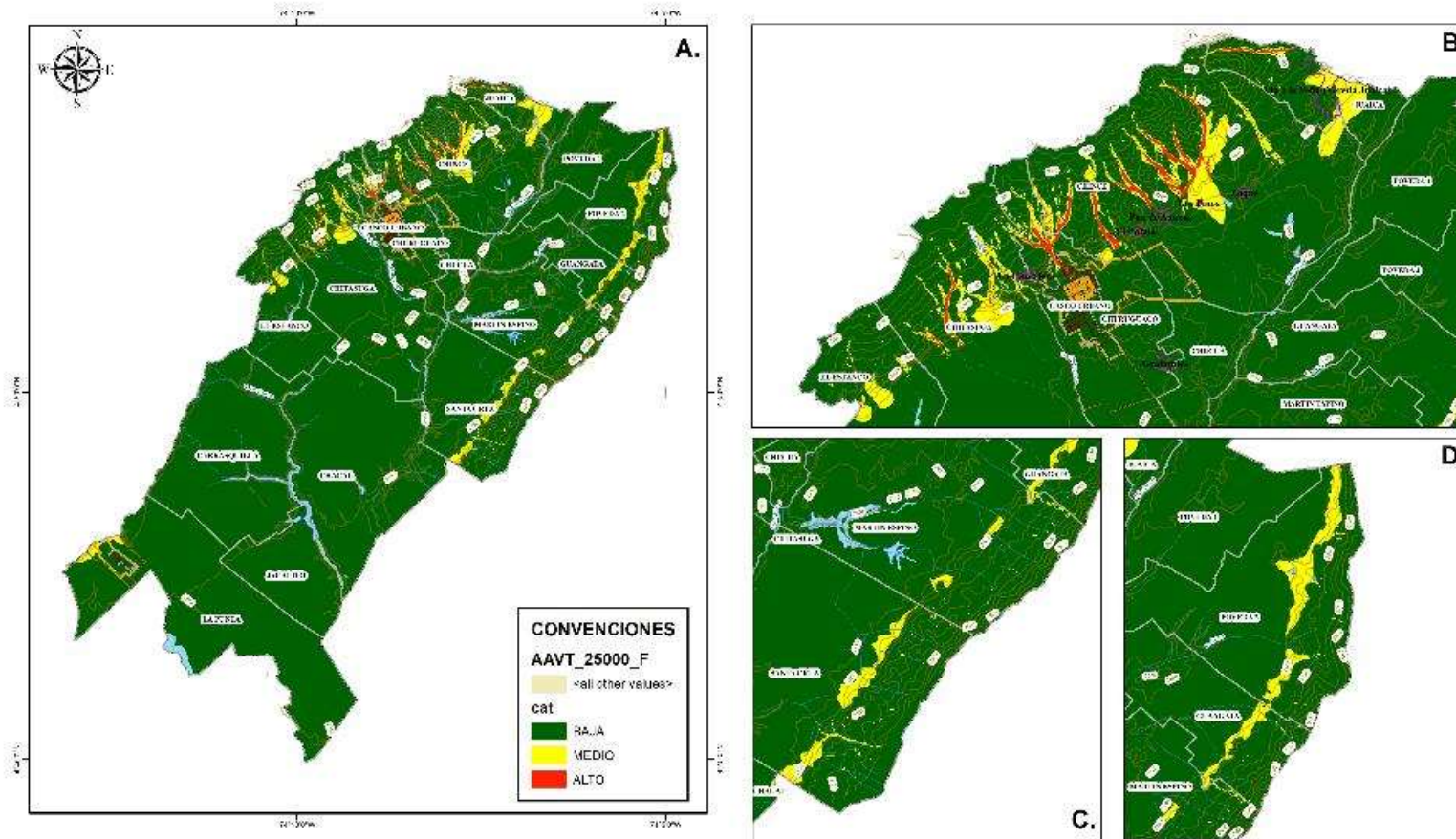
CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
ALTA	Corresponde con las zonas del municipio que presenta área de inicio de avenidas torrenciales con valores de q/T inferior a -2.9 y una alta probabilidad a fallar. zonas de transporte de flujos torrenciales de ladera o canalizados asociados a velocidades mayores a 1 m/s y una probabilidad máxima de acuerdo al modelamiento de trayectorias. La probabilidad de ocurrencia de estos fenómenos se asocia a lluvias con un tiempo de retorno de 20 años (modelo de amenaza por movimientos en masa). El material máximo disponible para su transporte sobre las áreas de inicio corresponde con $2.14E+06$ m ³ . No se encuentran zonas de depósito con categoría alta.
MEDIA	Las áreas en esta categoría corresponde con las zonas de inicio asociadas a valores $\log(q/T)$ entre -2.4 y -2.9 y una probabilidad media a fallar. Zonas de transporte asociadas a velocidades de flujo superiores a 1m/s y una probabilidad moderada de acuerdo al modelo de trayectorias. La probabilidad de ocurrencia de estos fenómenos se asocia a lluvias con un tiempo de retorno de 20 años (modelo de amenaza por movimientos en masa). Zonas de depósito asociadas a Conos o

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN
	lóbulos de coluviales y de soliflucción (Dco) en el piedemonte de los cerros que limitan el municipio. El material máximo disponible para su transporte sobre las áreas de inicio corresponde con 5.21E+05 m ³ .
BAJA	Son zonas que corresponden a áreas de inicio asociadas a valores $\log(q/T)$ superiores a -2.4 y una probabilidad baja de falla del talud. Zonas de transporte con velocidad de flujo superior a 1m/s y una posibilidad baja de acuerdo al modelamiento de trayectorias de flujo. La probabilidad de ocurrencia de estos fenómenos se asocia a lluvias con un tiempo de retorno de 20 años (modelo de amenaza por movimientos en masa). El material máximo disponible para su transporte sobre las áreas de inicio corresponde con 9.46E+06 m ³ . También se categorizan las áreas que no cumplen con los criterios establecidos para fallar en zonas de inicio, que no presentan probabilidad de transporte de flujos y que no existen geoformas indicativas de avenidas torrenciales.

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021 con base en SGC 2015.

Finalmente se zonificó cartográficamente el resultado de los mapas de inicio, transporte y depósito de avenidas torrenciales para obtener la amenaza por avenidas torrenciales para el municipio de Tenjo (A). El cerro Juaica concentra las zonas con amenaza media y alta por avenidas torrenciales. Las veredas con mayor afectación son El Estanco, Chitasuga, Chince y Juaica (B). Las veredas Poveda 2, Guangata, Martín Espino, Santa Cruz y Chacal al suroriente del municipio no presentan áreas relevantes de inicio y transporte de flujos de detritos. Los depósitos evidenciados corresponden en su mayoría a depósitos de ladera (C y D), como se muestra a continuación.

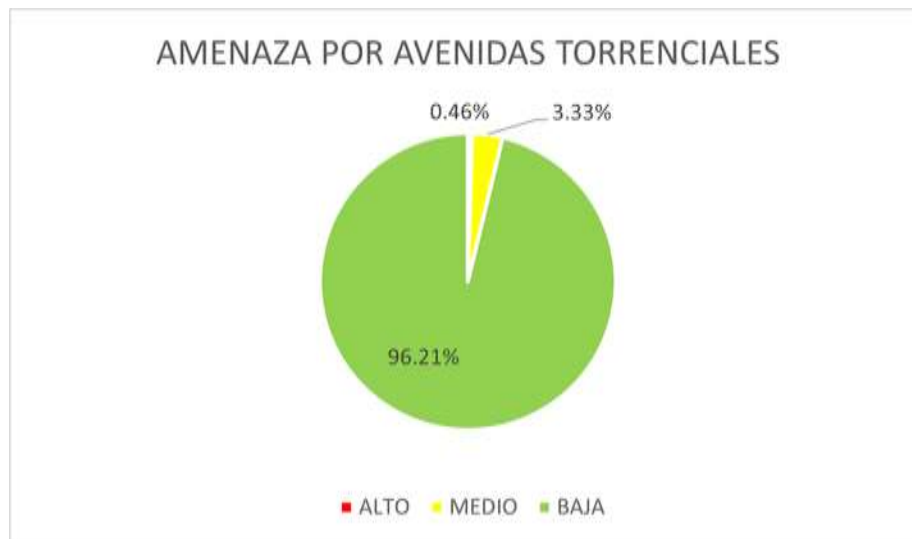
Gráfica 205. Mapa de amenaza por avenidas torrenciales escala 1:25.000 para el municipio de Tenjo.



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

La zonificación de la amenaza por avenidas torrenciales para el municipio de Tenjo, se distribuye como muestra a continuación, en donde predomina con un 96.21% la amenaza baja, seguido de 3.33% en amenaza media y solamente 0.46% del territorio se encuentra en amenaza alta.

Gráfica 206. Distribución porcentual de la amenaza por avenidas torrenciales escala 1:25000

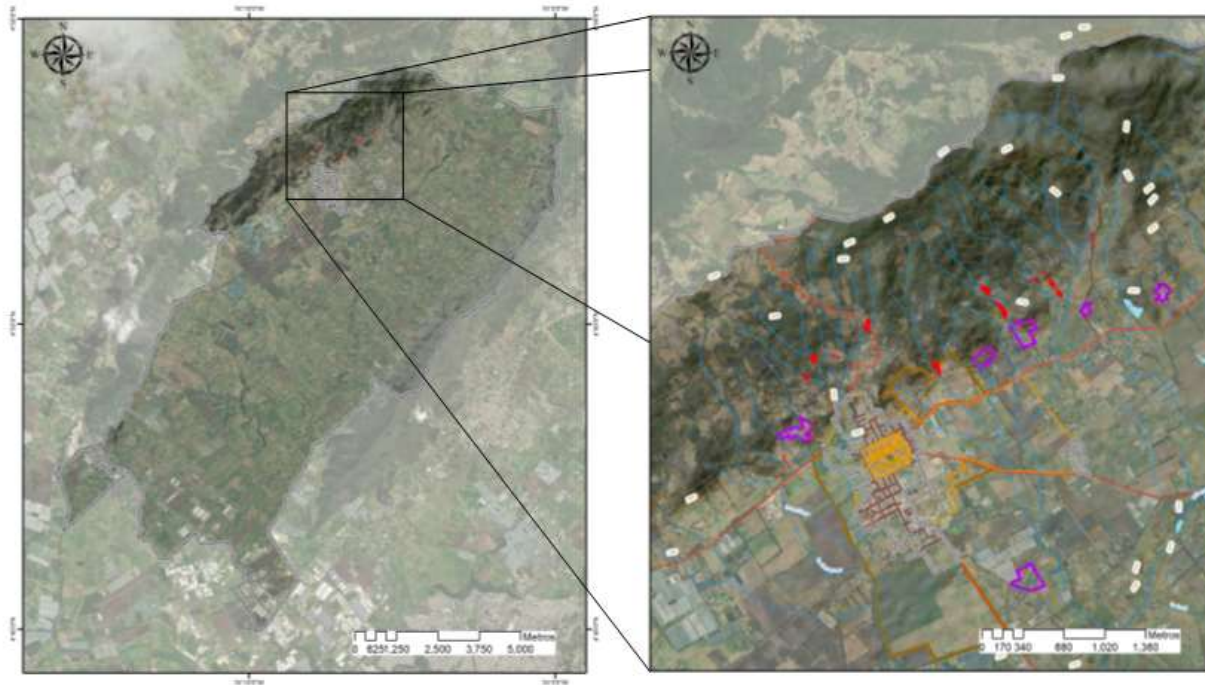


Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.5.6.3.1 Elementos expuestos a la amenaza por avenidas torrenciales escala 1:25.000

En el área rural del municipio de Tenjo existen algunos elementos rurales expuestos a amenaza alta por avenidas torrenciales escala 1:25000. En la gráfica siguiente, se identifican vías terciarias que se encuentran sobre el Cerro Juaica, el cual presenta la mayoría de las áreas en amenaza alta. También se encuentran expuestas algunas áreas catalogadas como vivienda campestre, especialmente el Condominio Tuala.

Gráfica 207. Mapa de elementos expuesto a amenaza alta por avenidas torrenciales escala 1:25.000.



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

4.5.6.3.2 Modelación flujo-dinámica basada en la física para las cuencas priorizadas para estudios escala 1:2000

Para cada una de las cuencas priorizadas para estudios escala 1:2000, se realizó un modelamiento de fluidos someros no-newtonianos bidimensionales que resuelve las ecuaciones de Saint-Venant, las cuales se conocen como Shallow Water Ecuations (2D-SWE). Estas provienen de las ecuaciones de Reynolds, pero promediadas en la profundidad para convertir el problema tridimensional en bidimensional (Sanz-Ramos, Bladé, Torralba, & Oller, 2020).

Las ecuaciones de Sain Venant son un sistema de tres ecuaciones diferenciales, en derivadas parciales, hiperbólico y no-lineal, que expresado en notación compacta resulta:

$$\frac{\delta}{\delta t} U + \nabla F = H$$

Donde U es el vector de variación temporal de variables de flujo de masa y cantidad de movimiento (h, calado; hv, caudal específico expresado como producto de velocidad, v, por calado, h), F es el tensor de flujo y H es el termino fuente. Cada uno se expresa de la siguiente manera:

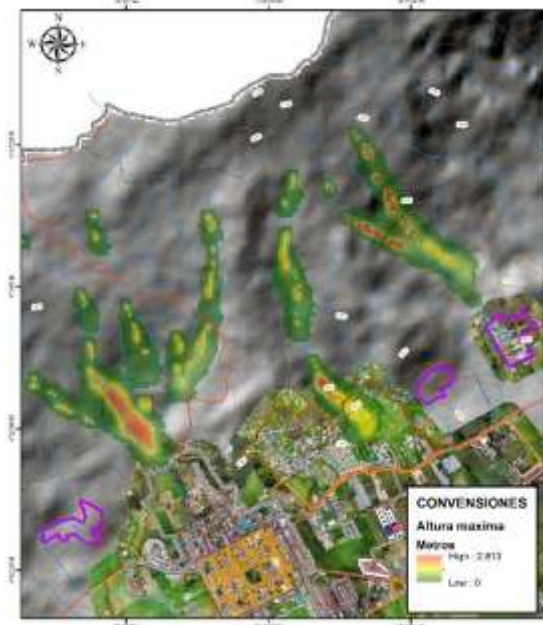
$$U = \begin{pmatrix} h \\ hv_x \\ hv_y \end{pmatrix} \quad F = \begin{bmatrix} hv_x & hv_y \\ hv_x^2 + g \frac{h^2}{2} & hv_x v_y \\ hv_x v_y & hv_y^2 + g \frac{h^2}{2} \end{bmatrix} \quad H = \begin{pmatrix} 0 \\ gh(S_{0,x} - S_{f,x}) \\ gh(S_{0,y} - S_{f,y}) \end{pmatrix}$$

El modelamiento fue realizado en el software R.avaflow, el cual es una herramienta de código abierto para emular flujos de masas rápidos, avalanchas. Las ecuaciones de Shallow Water pueden ser adaptadas a modelos de fricción-cohesión como modelo reológico Voelmy Salm, el cual asume que la resistencia del flujo se divide en una fricción de Coulomb en la fase sólida (μ) y una fricción turbulenta (ξ) en la fase en movimiento:

$$S_{rh} = \mu + \frac{v^2}{\xi h}$$

Donde h es el espesor y v es la velocidad. El modelo usó como insumo información del terreno a escala 1:25.000. En la gráfica siguiente se muestran los resultados del modelamiento del flujo de detritos para el área urbana, expansión urbana y el centro poblado de Pan de Azúcar. En esta figura se muestra el espesor máximo de flujo, que en el caso del sector urbano fue de 2.8 m., y la distancia máxima recorrida fue de 1.1 km. El drenaje modelado para la zona de expansión urbana muestra un espesor máximo de 2.5 m y un recorrido máximo de 1.27 km. El drenaje modelado para el Centro Poblado de Pan de Azúcar presenta un espesor máximo de 1.2m y un recorrido máximo de 925 m.

Gráfica 208. Modelo de espesor máximo del flujo para el área urbana, expansión urbana y centro poblado de Pan de Azúcar.



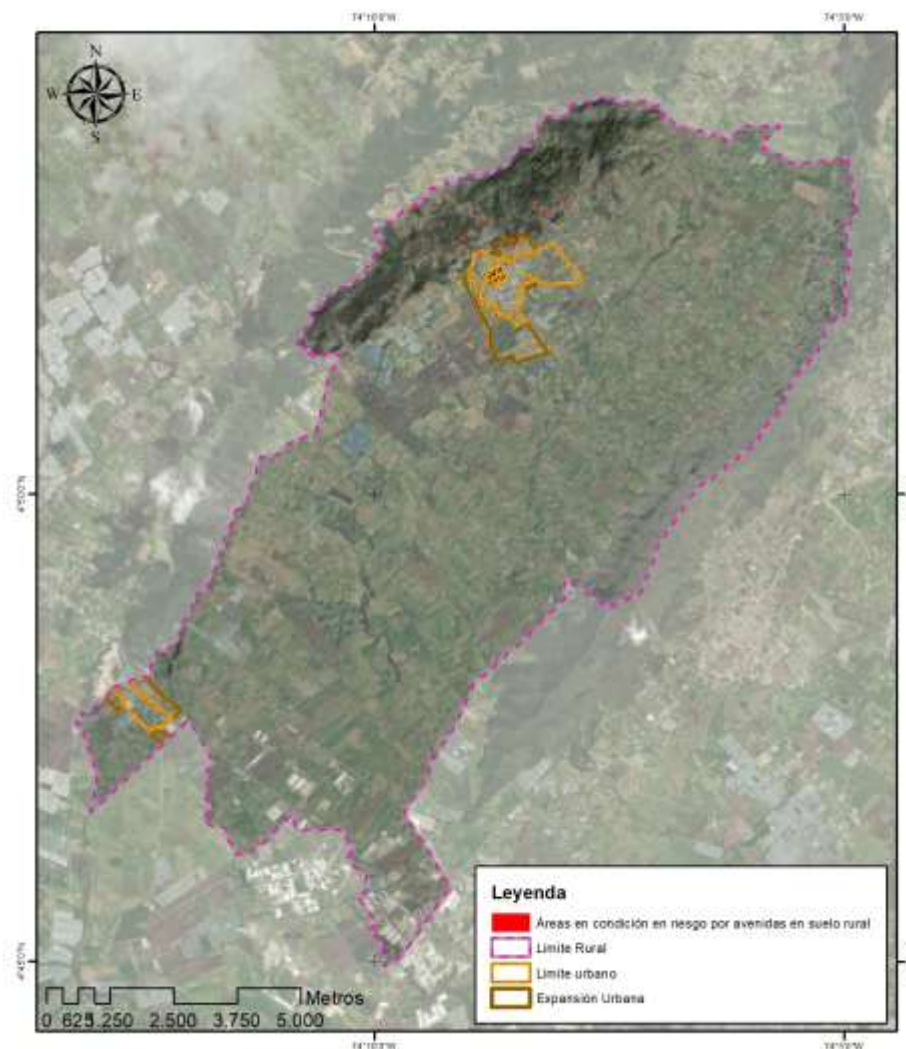
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

De acuerdo con el modelamiento se observa que el sector de la zona de expansión muestra que el depósito se localiza al interior de esta y afecta un área importante de alrededor de 35000 m². Estas áreas se encuentran en el sector conocido como Cementerio. Las zonas urbanas no presentan afectación al interior del perímetro, sin embargo si se observan elementos expuestos sobre el depósito simulado.

4.5.7 Áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en suelo rural

En el área rural del municipio de Tenjo se tiene un total de 4.56 hectáreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales, correspondientes a vías de segundo orden pavimentadas en buen estado, sin pavimentar en buen estado, vías de tercer orden sin pavimentar en buen estado y vías de cuarto orden pavimentadas en buen estado. Para una cuantificación perceptible se usó un área alrededor de los ejes viales de 50 metros. A continuación, se presenta su distribución espacial en el área de estudio.

Gráfica 209 Modelo Zonas en condición de riesgo por avenidas torrenciales en suelo rural



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

4.5.8 Delimitación del área de estudio para análisis a escala 1:2000

El Decreto 1077 de 2015 establece los contenidos mínimos del estudio básico de amenaza por avenidas torrenciales, entre estos el área de estudio la cual es “Todos los cauces presentes o con influencia en el municipio o distrito, que por sus condiciones topográficas puedan tener un comportamiento torrencial”.

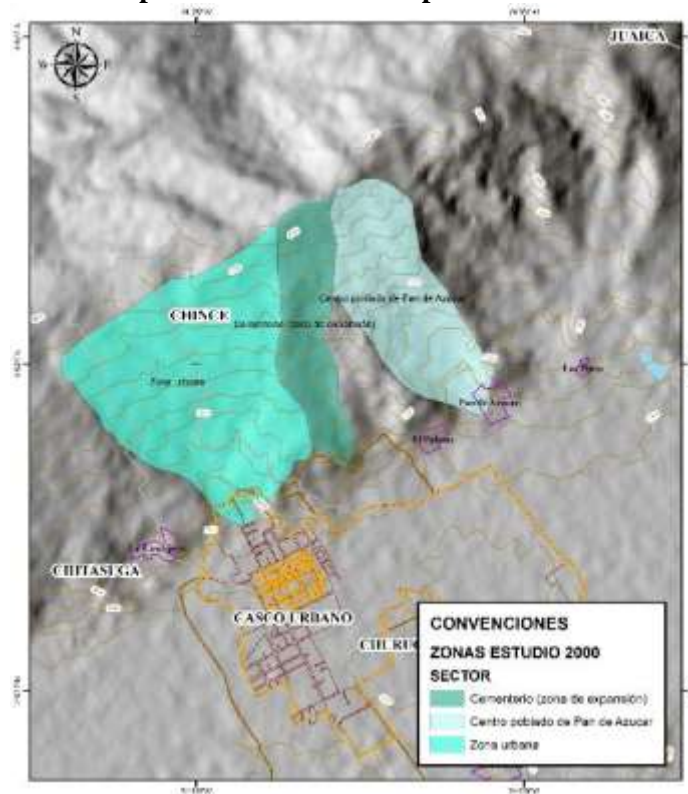
También es pertinente abordar lo contenido en la Respuesta a Radicado 2021ER0054124 del Ministerio de Vivienda y Ciudad y Territorio (2021), la cual establece que “Este análisis(amenaza por avenidas torrenciales escala 1:2000) de amenaza no requiere ser realizado en todas las cuencas hidrográficas del municipio, sin embargo, las entidades territoriales deben priorizar su ejecución en aquellas zonas donde se encuentren o pretendan establecer **elementos expuestos en suelo urbano y de expansión urbana, así como centros poblados y suelos suburbanos** en el suelo rural, que presenten como mínimo las siguientes características”:

- Exista registro de eventos antecedentes y/o históricos en fuentes de consulta o bases de datos municipales, regionales, nacionales.
- Cuencas de quebradas, ríos o drenajes que presenten características de torrencialidad con base en evaluación de susceptibilidad mediante análisis morfométricos (relacionados con la red de drenaje, la geometría, forma y textura de la cuenca, así como parámetros asociados a su relieve).
- Cuencas donde existan indicios o evidencias geológicas y/o geomorfológicas sobre la generación u ocurrencia de flujos con características torrenciales en el pasado reciente.

Como se relacionó en el numeral 4.5.5.3 se reportan eventos históricos en el área urbana y centro poblado de Pan de Azúcar. Estos fueron suministrados por la comunidad, durante los talleres de socialización y en las mesas de trabajo con actores del municipio. Lo que relaciona la primera característica para la identificación de las áreas de estudio.

De acuerdo con el análisis presentado de las zonas de inicio, transporte y depósito de avenidas torrenciales del municipio de Tenjo, fue necesario realizar estudios básicos por esta amenaza en las microcuencas asociadas a los drenajes innominados en el área urbana, zona de expansión urbana y Centro Poblado de Pan de Azúcar. Lo anterior, ya que agrupan las tres condiciones de generación de avenidas torrenciales de acuerdo con la bibliografía consultada (VanDine, 1996) y muestran áreas de amenaza media y alta por avenidas torrenciales a escala 1:25.000, lo que se asocia a las características que menciona el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, como se muestra a continuación:

Gráfica 210. Mapa de áreas de estudio para análisis a escala 1:2000



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

4.5.8.1 Análisis de torrencialidad en el suelo urbano de La Punta y los centros poblados rurales de Jacalito, Gratamira, La Cascajera, El Palmar, Los Pinos, Zoque y Juaica

Teniendo en cuenta que la evaluación de la amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:2000 debe realizarse únicamente en las cuencas con condiciones morfométricas de torrencialidad y con eventos históricos reportados, donde se presenten elementos expuestos en zonas urbanas, zonas de expansión urbana, centros poblados y zonas suburbanas rurales, en el ítem anterior se delimitan las áreas que presentan un comportamiento torrencial, en las cuales se realizó el modelamiento a escala 1:2000.

Para el suelo urbano de La Punta y los centros poblados rurales de Jacalito, Gratamira, La Cascajera, El Palmar, Los Pinos, Zoque y Juaica, se presenta a continuación un análisis morfométrico, morfodinámico y morfogenético y torrencial para sustentar el comportamiento de estas áreas.




4.5.8.1.1 Análisis torrencial




✓ *Resultado de amenaza por avenidas torrenciales escala 1:25.000.*

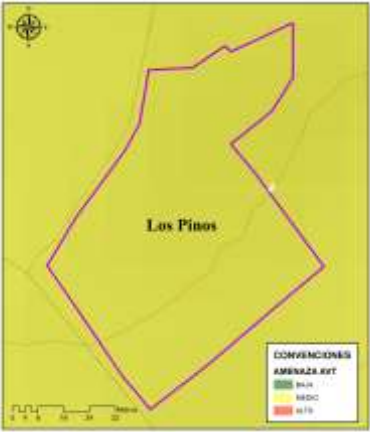

Para la priorización de los estudios de amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:2000 se utilizó los resultados del análisis realizado a escala 1:25000 en todo el municipio de Tenjo. Este insumo evalúa las condiciones de inicio (cual se evaluó con respecto a la amenaza por movimientos en masa), transporte y depósito asociado a eventos torrenciales de tipo flujo de detritos y flujo de detritos canalizados. En la

siguiente tabla se describe los resultados de este modelo para el suelo urbano de La Punta y los centros poblados rurales de Jacalito, Gratamira, La Cascajera, El Palmar, Los Pinos, Zoque y Juaica.

Tabla 81 Amenaza por avenidas torrenciales escala 1:25000 para suelo urbano, expansión urbana y centros poblados

Nombre	Amenaza por avenida torrencial escala 1:25000	Observaciones
<p>Suelo urbano La Punta y área de expansión</p>		<p>El suelo urbano de La Punta junto con su suelo de expansión muestran un resultado en su mayoría de amenaza baja por avenidas torrenciales. Solo presenta amenaza media sobre las laderas al noroeste del perímetro urbano en límites con el municipio de Madrid</p>
<p>Centro poblado Cascajera</p>		<p>En este centro poblado predomina la amenaza baja por avenidas torrenciales, exceptuando la zona oeste, la cual puede generarse zonas de transporte.</p>
<p>Centro poblado El Palmar</p>		<p>El centro poblado de El Palmar muestra amenaza baja por avenidas torrenciales.</p>

Nombre	Amenaza por avenida torrencial escala 1:25000	Observaciones
Centro poblado Gratamira		El centro poblado de Gratamira muestra amenaza baja por avenidas torrenciales.
Centro poblado Jacalito		El centro poblado de Jacalito muestra amenaza baja por avenidas torrenciales.
Centro poblado Juaica		Este centro poblado presenta en su mayoría zonas de amenaza baja por avenidas torrenciales. Se observa algunas áreas, especialmente en el área central del centro poblado en el que predomina la categoría media, debido a que se presentan drenajes que pueden servir como zonas de transporte.




Nombre	Amenaza por avenida torrencial escala 1:25000	Observaciones
Centro poblado Los Pinos		El centro poblado de Los Pinos muestra en su totalidad áreas en amenaza media por avenidas torrenciales, debido principalmente a que se encuentra sobre depósitos de conos y lobulos coluviales y de solifluxion asociados a susceptibilidad por deposito medio.
Centro poblado Zoque		El centro poblado de Zoque muestra amenaza baja por avenidas torrenciales.




Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

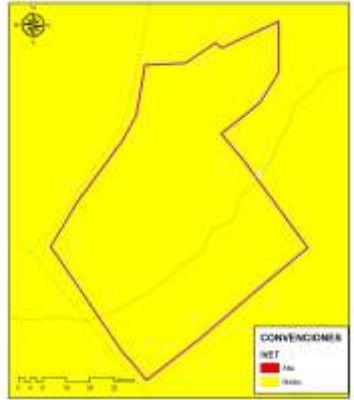

✓ *Índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales escala 1:25.000.*

Para la priorización de los estudios de amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:2000 se utilizó el índice de vulnerabilidad a eventos torrenciales (IVET), el cual fue desarrollado con el fin de delimitar áreas que pueden verse afectadas por eventos de origen torrencial, identificando cuencas con alta susceptibilidad (IDEAM, 2013). Este índice se utiliza en la formulación de POMCAS (Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas) para la evaluación del riesgo por avenidas torrenciales. A continuación se muestra los resultados del IVET para cada uno de los centros poblados rurales y suelo urbano y expansión urbana estudiados.

Tabla 82 IVET para suelo urbano, expansión urbana y centros poblados

Nombre	IVET	Observaciones
<p>Suelo urbano La Punta y área de expansión</p>		<p>El centro poblado muestra un IVET que lo categoriza en categoría media</p>
<p>Centro poblado Cascajera</p>		<p>El centro poblado muestra un IVET que lo categoriza en categoría media</p>
<p>Centro poblado El Palmar</p>		<p>El centro poblado muestra un IVET que lo categoriza en categoría media</p>

Nombre	IVET	Observaciones
Centro poblado Gratamira		El centro poblado muestra un IVET que lo categoriza en categoría media
Centro poblado Jacalito		El centro poblado muestra un IVET que lo categoriza en categoría media
Centro poblado Juaica		El centro poblado muestra un IVET que lo categoriza en categoría media

Nombre	IVET	Observaciones
Centro poblado Los Pinos		El centro poblado muestra un IVET que lo categoriza en categoría media
Centro poblado Zoque		El centro poblado muestra un IVET que lo categoriza en categoría media

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021



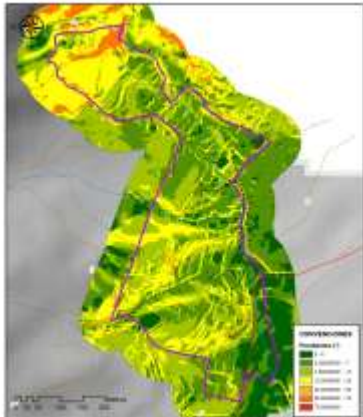
4.5.8.1.2 Análisis morfométrico

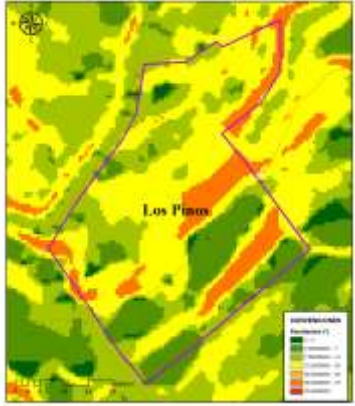

✓ *Pendientes del terreno*

Para identificar las áreas con potencial de torrencialidad se usó el mapa de pendientes del terreno, que permite evaluar la susceptibilidad a inicio, transporte o depósito de avenidas torrenciales, de acuerdo a la energía potencial que puede aplicarle a las masas desplazadas. A continuación se muestra el análisis realizado para este parámetro.

Tabla 83 Pendientes en el suelo urbano, expansión urbana y centros poblados

Nombre	Pendientes	Observaciones
<p>Suelo urbano La Punta y área de expansión</p>		<p>El suelo urbano de la punta y su área de expansión muestra pendientes de 7° a 12°, las cuales no son indicativas de procesos de torrencialidad de inicio o transporte.</p>
<p>Centro poblado Cascajera</p>		<p>El centro poblado de Cascajera muestra pendientes de hasta 75°, predominando las áreas con pendiente de 25°, las cuales pueden ser indicativas de torrencialidad por inicio o transporte, sin embargo el análisis realizado de amenaza por avenidas torrenciales muestra que la zona se clasifica como amenaza media y baja.</p>
<p>Centro poblado El Palmar</p>		<p>El centro poblado de El Palmar muestra pendientes de hasta 75°, predominando las áreas con pendiente de 25°, las cuales pueden ser indicativas de torrencialidad por inicio o transporte, sin embargo el análisis realizado de amenaza por avenidas torrenciales muestra que la zona se clasifica como amenaza baja.</p>

Nombre	Pendientes	Observaciones
Centro poblado Gratamira		<p>El centro poblado de Gratamira muestra pendientes de 3° a 25°, predominando las áreas de pendiente de 7°, las cuales no son indicativas de procesos de torrencialidad de inicio o transporte. Por su ubicación alejado del piedemonte no constituye zona de depósito.</p>
Centro poblado Jacalito		<p>El centro poblado de Jacalito muestra pendientes de 7° a 12°, las cuales no son indicativas de procesos de torrencialidad de inicio o transporte. Por su ubicación alejado del piedemonte no constituye zona de depósito.</p>
Centro poblado Juaica		<p>En el centro poblado de Juaica se identifican pendientes de hasta 50° de pendiente, predominando la categoría de hasta 12°. Estas pendientes no constituyen una característica de torrencialidad por inicio o transporte. En parte alta del centro poblado se observan pendientes de 25° y 50° indicativas de torrencialidad, sin embargo el análisis de torrencialidad realizado a escala 1:25.000 muestra zonas de amenaza media y baja.</p>




Nombre	Pendientes	Observaciones
Centro poblado Los Pinos		<p>El centro poblado de Los Pinos presenta pendientes de hasta 50°, predominando las pendientes de hasta 25°. Estas pendientes pueden asociarse a zonas de transporte, sin embargo no se encuentran drenajes al interior del centro poblado o cercano.</p>
Centro poblado Zoque		<p>El centro poblado de Zoque muestra pendientes inferiores a 50°, predominando pendientes de hasta 12°, las cuales no constituyen indicio de torrencialidad por inicio o transporte.</p>




Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021



✓ *Áreas de Drenaje*

Para identificar las áreas con potencial de torrencialidad se determinó la existencia de drenajes y su relevancia dentro de las áreas urbanas, expansión urbana y centros poblados rurales. En la siguiente tabla se muestra los principales cuerpos de agua identificados.

Tabla 84 Drenajes en el suelo urbano, expansión urbana y centros poblados

Nombre	Drenajes	Observaciones
<p>Suelo urbano La Punta y área de expansión</p>		<p>El suelo urbano de La Punta junto con su suelo de expansión no presenta drenajes dentro de su perímetro o cercano.</p>
<p>Centro poblado Cascajera</p>		<p>El centro poblado de La Cascajera presenta dos drenajes innominados que comunican con la quebrada Churuguaco. Presenta una zona de drenaje sobre el cerro de Juaica y pasa sobre el borde oeste y por el centro del centro poblado. Estos drenajes podrían asociarse a zonas de transporte, sin embargo el análisis de amenaza por avenidas torrenciales escala 1:25000 muestra toda el área en categoría baja y media.</p>
<p>Centro poblado El Palmar</p>		<p>El centro poblado de El Palmar presenta un drenaje innominado que desemboca en el Río Chicú. Presenta una zona de drenaje sobre el cerro de Juaica y pasa sobre el borde suroeste del centro poblado. Este drenaje podría asociarse a zonas de transporte, sin embargo el análisis de amenaza por avenidas torrenciales escala 1:25000 muestra toda el área en categoría baja.</p>

Nombre	Drenajes	Observaciones
Centro poblado Gratamira		<p>El centro poblado de Gratamira presenta un drenaje innominado que desemboca en el Río Chicú. Presenta una zona de drenaje sobre el valle del Río Chicú que por su ubicación lejano al piedemonte no presenta potencial de torrencialidad.</p>
Centro poblado Jacalito		<p>El centro poblado de Jacalito no presenta drenajes dentro de su perímetro o cercano.</p>
Centro poblado Juaica		<p>El centro poblado de Juaica presenta dos drenajes innominados que desembocan en el Río Chicú. Los dos presentan un área de drenaje sobre el cerro de Juaica y pasan por la zona media del perímetro del centro poblado.</p>

Nombre	Drenajes	Observaciones
Centro poblado Los Pinos		El centro poblado de Los Pinos no presenta drenajes dentro de su perímetro o cercano.
Centro poblado Zoque		El centro poblado de Zoque no presenta drenajes dentro de su perímetro o cercano.

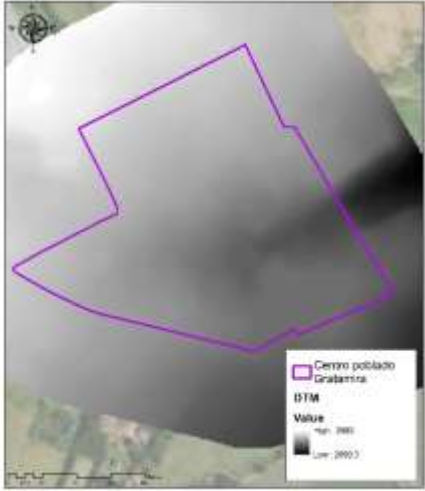

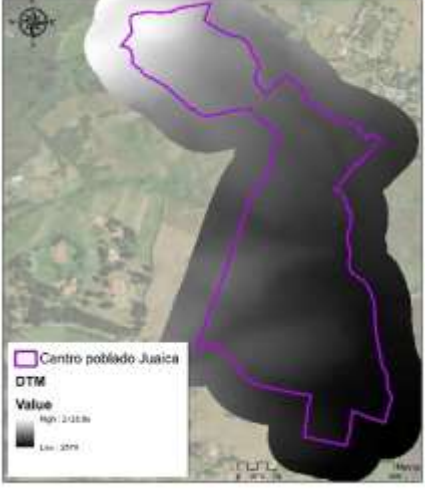
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

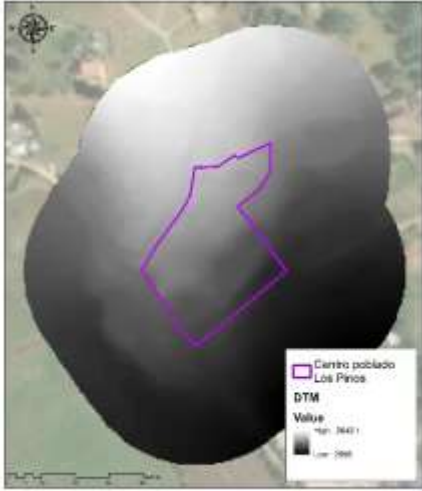
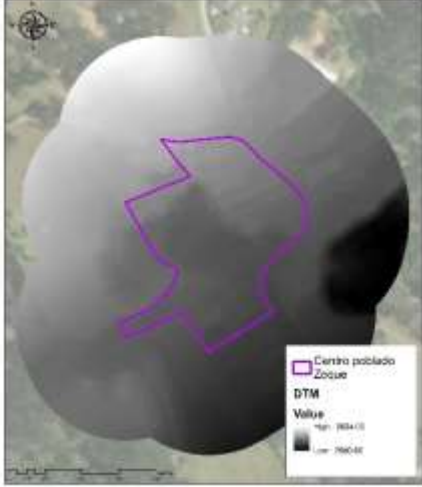
✓ *Modelo Digital del Terreno*

Para el presente caso de estudio, se utilizó un DTM con resolución horizontal o detalle mínimo de pixel de 1 metro, el cual fue generado a partir del procesamiento de la ortofoto tomada con un dispositivo no tripulado, en suelo urbano, expansión urbana y todos los centros poblados. Este MDT permitió tener un mayor detalle de la geometría del terreno y la delimitación de las microcuencas en el área de estudio. A continuación se presentan los MDT para cada suelo analizado.

Tabla 85 Modelo Digital del Terreno para suelo urbano, expansión urbana y centros poblados

Nombre	MDT	Observaciones
<p>Suelo urbano La Punta y área de expansión</p>		<p>El suelo urbano de La Punta junto con su suelo de expansión muestran una topografía plana contigua a zonas de laderas, las cuales pueden ser susceptibles a depósito de flujos de detritos, flujos de tierras, deslizamientos, etc. Sin embargo, el análisis de amenaza por avenidas torrenciales escala 1:25.000 no muestra zonas de inicio o transporte asociado a zonas de drenaje sobre estas laderas.</p>
<p>Centro poblado Casajera</p>		<p>En este centro poblado se muestra una topografía de ladera que se mantiene en toda su extensión, lo que lo configura como una posible zona de tránsito, sin llegar a generar depósitos.</p>
<p>Centro poblado El Palmar</p>		<p>El centro poblado rural El Palmar muestra un sistema de piedemonte, la que al noroeste e presenta una ladera inclinada donde se pueden presentar zonas de inicio y transporte y al sureste una zona plana que puede generar zonas de depósito, sin embargo no se encuentran drenajes cercanos.</p>

Nombre	MDT	Observaciones
<p>Centro poblado Gratamira</p>		<p>Este centro poblado se encuentra sobre una topografía plana, que no configura características torrenciales.</p>
<p>Centro poblado Jacalito</p>		<p>Este centro poblado se encuentra sobre una topografía plana, que no configura características torrenciales.</p>
<p>Centro poblado Juaica</p>		<p>El centro poblado de Juaica se encuentra sobre una ladera inclinada que puede asociarse a zonas de inicio o transporte.</p>

Nombre	MDT	Observaciones
Centro poblado Los Pinos		El centro poblado Los Pinos se encuentra sobre una ladera inclinada sobre la cresta del sistema montañoso, alejado de valles y drenajes indicativos de torrencialidad.
Centro poblado Zoque		Este centro poblado se encuentra sobre una topografía plana, que no configura características torrenciales.

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.5.8.1.3 Análisis morfogenético



✓ Elementos geomorfológicos



Los elementos geomorfológicos (morfogénesis) son el resultado análisis geomorfológico realizado a escala 1:5.000, y corresponden al máximo nivel de detalle de jerarquía en la subdivisión propuesta para escalas mayores a 1:10.000. Esta categoría está establecida por los rangos del relieve definidos para áreas puntuales y determinados por la morfometría detalla del terreno en una subunidad geomorfológica (Carvajal, 2012).



La definición y análisis de los elementos geomorfológicos permitió identificar las posibles geoformas indicativas de torrencialidad, asociadas principalmente a depósitos recientes. A continuación, se presentan los elementos geomorfológicos identificados en el suelo urbano, de expansión urbana y centros poblados del municipio de Tenjo.

Tabla 86 Elementos geomorfológicos identificados en suelo urbano, expansión urbana y centros poblados

Nombre	Elementos geomorfológicos	Observaciones
<p>Suelo urbano La Punta y área de expansión</p>		<p>El suelo urbano de La Punta y su zona de expansión presenta principalmente planicies y deltas lacustrinos Fpl, los cuales no son geoformas indicativas de torrencialidad. Se observan algunos lóbulos coluviales y de soliflucción que son asociados a procesos de movimiento en masa.</p>
<p>Centro poblado Cascajera</p>		<p>El centro poblado muestra solamente geoformas de tipo estructural y denudacional, las cuales no son indicativas de torrencialidad.</p>

Nombre	Elementos geomorfológicos	Observaciones
<p>Centro poblado El Palmar</p>		<p>El centro poblado muestra solamente geoformas de tipo estructural y denudacional, las cuales no son indicativas de torrencialidad.</p>
<p>Centro poblado Gratamira</p>		<p>El centro poblado de Gratamira presenta geoformas fluviales de planicie y deltas lacustrinos, que no son indicativos de procesos torrenciales.</p>

Nombre	Elementos geomorfológicos	Observaciones
<p>Centro poblado Jacalito</p>	 <p>Centro poblado Jacalito</p> <p>Elementos Geomorfológicos</p> <ul style="list-style-type: none"> Planicies y Deltas lacustrinos, Fpl 	<p>El centro poblado de Jacalito presenta geoformas fluviales de planicie y deltas lacustrinos, que no son indicativos de procesos torrenciales.</p>
<p>Centro poblado Juaiica</p>	 <p>Centro poblado Juaiica</p> <p>Elementos Geomorfológicos</p> <ul style="list-style-type: none"> Ladera estructural de sierra homoclinal denudada altamente inclinada, Sishai Ladera estructural de sierra homoclinal denudada moderadamente inclinada, Sishai Laderas de contrapendiente estructural denudadas moderadamente inclinadas, Sicochi Ladera moderadamente inclinada de Conos y lóbulos coluviales y de solifluxión, Dolomi Plano o llanura de inundación, Fpl 	<p>El centro poblado muestra solamente geoformas de tipo estructural y denudacional, las cuales no son indicativas de torrencialidad. Se observan conos y lóbulos coluviales y de solifluxión asociados a movimientos en masa.</p>

Nombre	Elementos geomorfológicos	Observaciones
Centro poblado Los Pinos		<p>El centro poblado de los pinos se encuentra sobre conos y lobullos coluviales y de solifluxión asociados a procesos de movimientos en masa.</p>
Centro poblado Zoque		<p>El centro poblado se encuentra sobre geoformas de tipo estructural y fluvial que no son indicativas de procesos torrenciales.</p>

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.5.8.1.4 Análisis morfodinámico

En la consulta realizada en las bases de datos históricas disponibles de eventos torrenciales como desinventar, SIMMA y datos suministrados por la comunidad no se encuentran eventos reportados de avenidas torrenciales al interior de los perímetros del suelo urbano de La Punta y los centros poblados rurales de Jacalito, Gratamira, La Cascajera, El Palmar, Los Pinos, Zoque y Vía a la Peña (Vereda Juaica). Por lo cual no se tiene registro de actividad torrencial en estas áreas no estudiadas.

4.5.8.1.5 Conclusiones sobre los procesos de avenida torrencial en el suelo urbano de La Punta y los centros poblados rurales de Jacalito, Gratamira, La Cascajera, El Palmar, Los Pinos, Zoque y Vía a la Peña (Vereda Juaica).

De acuerdo con el análisis realizado a cada uno de los insumos descritos anteriormente se pueden generar las siguientes conclusiones.

Área urbana La Punta y suelo de expansión

En el sector urbano La Punta y su suelo de expansión asociado, no se identificaron zonas de amenaza alta por avenidas torrenciales que generen la necesidad de hacer estudios a la escala exigida por el decreto 1077 de 2015. El IVET que predomina en la cuenca de estudio es medio. En el centro poblado no se evidencian drenajes ni topografía de laderas que puedan generar zonas de inicio, transporte o depósito. Las geoformas presentes son en su mayoría aluviales asociadas a procesos fluviales y no a avenidas torrenciales, existen laderas con pendientes importantes que pueden generar procesos de movimientos en masa y depositarse sobre parte del área urbana. Por lo anterior el centro poblado no debe ser objeto de estudios escala 1:2000.

Centro poblado Cascajera

En el análisis realizado en el centro poblado Cascajera se identificó en su mayoría amenaza baja por avenidas torrenciales. Se presentan dos drenajes innominados que discurren al interior del perímetro del centro poblado, que por sus características topográficas pueden configurar una zona de tránsito, ya que las pendientes predominantes son de hasta 75°, sin embargo, solo se presenta zonas de categoría media por avenidas torrenciales sobre estos drenajes. El IVET que predomina en la cuenca de estudio es medio. Las geoformas no son indicativas de procesos torrenciales por lo cual no es necesario realizar estudios a escala 1:2000.

Centro poblado El Palmar

No se identificaron cuerpos de agua superficial con influencia en este centro poblado; adicionalmente las geoformas identificadas en el centro poblado El Palmar tienen un origen denudacional y estructural, que no son indicativas de procesos torrenciales. El IVET que predomina en la cuenca de estudio es medio. Presenta amenaza baja por avenidas torrenciales y su pendiente es una ladera moderadamente inclinada por lo que no debe ser objeto de estudios escala 1:2000.

Centro poblado Gratamira

En el centro poblado Gratamira se identificaron geoformas asociadas a un cuerpo de agua superficial, la cual fue denominada plano o llanura de inundación (Fpi). La topografía del área es plana con pendientes inferiores a 7°, existen cuerpos de agua asociados a un área de drenaje con ninguna característica torrencial, la amenaza por avenida torrencial es baja. El IVET que predomina en la cuenca de estudio es medio, por lo cual no es necesario realizar estudios a escala 1:2000.

Centro poblado Jacalito

En el análisis del centro poblado Jacalito, no se identificaron cuerpos de agua superficial o elementos geomorfológicos asociados a este, adicionalmente no presenta amenaza por avenidas torrenciales, y la



topografía es plana. El IVET que predomina en la cuenca de estudio es medio, por lo cual no es necesario realizar estudios a escala 1:2000.

Centro poblado Juaica

Se identificaron tres cuerpos de agua superficial con influencia en este centro poblado y elementos geomorfológicos de Planicie o llanura de inundación, predomina las zonas de amenaza baja y media por avenidas torrenciales y topografía de laderas y zonas de piedemonte que puede generar zonas de transporte y deposito, El IVET que predomina en la cuenca de estudio es medio. Se identificaron pendientes promedio de 12°, las cuales no generan un potencial importante de inicio o transporte de avenidas torrenciales. Por lo tanto, no cuenta con todas las características para ser estudiado a escala 1:2000.

Centro poblado Los Pinos

En este centro poblado no se identificaron elementos geomorfológicos de origen fluvial o cuerpos de agua superficiales. El IVET que predomina en la cuenca de estudio es medio, presenta amenaza por avenidas torrenciales en categoría media, debido a que presenta geoformas asociadas a conos y lóbulos de solifluxión, la topografía del terreno corresponde con laderas inclinadas, por lo cual no cuenta con las características para ser estudiado a escala 1:2000.

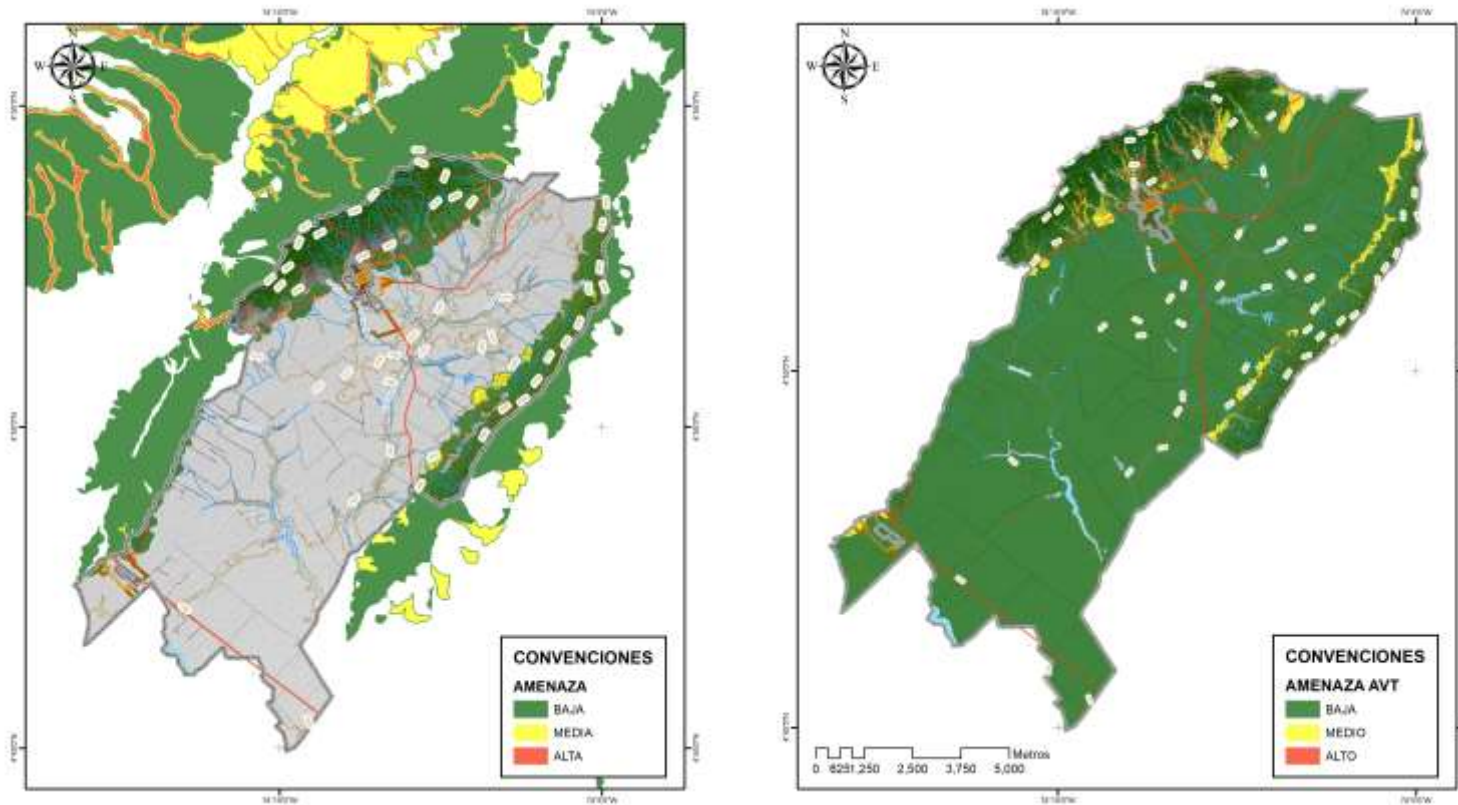
Centro poblado Zoque

En este centro poblado no se identificaron elementos geomorfológicos de origen fluvial o cuerpos de agua superficiales. El IVET que predomina en la cuenca de estudio es medio. El centro poblado cuenta con amenaza baja por avenidas torrenciales y una topografía plana, que no corresponde con las características necesarias para ser estudiado a escala 1:2000.

4.5.9 Comparativo del modelo de amenaza por avenidas torrenciales escala 1:25.000 del POMCA del Río Bogotá, con el modelo propuesto

Como ejercicio de armonización del POT del municipio de Tenjo con el POMCA del Río Bogotá, se realizó un comparativo de las metodologías y resultados obtenidos en los modelos de amenaza por avenidas torrenciales del POMCA y el propuesto en este documento. En la gráfica siguiente, se muestran los dos modelos de amenaza.

Gráfica 211. Comparativo de armonización del mapa de amenaza por avenidas torrenciales del POMCA Río Bogotá (Izquierda) y el modelo de amenaza por avenidas torrenciales propuesto (derecha).



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

Como se evidencia, las diferencias entre los dos modelos inician desde la forma de categorización. El mapa del POMCA del Río Bogotá presenta una zonificación que deja zonas sin categorizar, en las cuales los análisis no muestran las condiciones para la generación de avenidas torrenciales. En comparación, el modelo propuesto zonifica en su totalidad el territorio rural del municipio de Tenjo en las tres categorías estándar de baja, media y alta.

A nivel metodológico, el mapa de amenaza por avenidas torrenciales del POMCA del Río Bogotá fue realizado a través de las directrices establecidas por el Anexo B de la GUÍA TÉCNICA PARA LA FORMULACIÓN DE LOS PLANES DE ORDENACIÓN Y MANEJO DE CUENCAS HIDROGRÁFICAS, que zonifica a partir de las condiciones geomorfológicas de la cuenca. El POMCA genera dos resultados. El primero, una susceptibilidad, la cual se evalúa teniendo en cuenta el índice de vulnerabilidad frente a eventos torrenciales (IVET), y define las cuencas que serán estudiadas en la amenaza. El mapa de amenaza delimita las zonas de tránsito y contiguas que puedan ser afectadas por procesos de avalanchas. También se identifican las áreas de denostación o de impacto por cercanía. Como detonante se usan las precipitaciones pico en las microcuencas analizadas y la localización de obras e infraestructura en la sección de cauces que pueda convertirse en elementos generadores de avalanchas por obstrucción de los cauces.

El modelo propuesto para el presente estudio incluye una metodología de modelamiento basada en la física de los flujos torrenciales. Esta analiza e identifica el área de estudio a través de una mirada regional con los eventos históricos reportados en la región, desde cuencas hidrográficas y el cálculo del IVET y parámetros morfométricos indicadores de torrencialidad. Lo anterior para definir las áreas para realizar los análisis de zonas de inicio, a través de los resultados de amenaza por movimientos en masa y métodos de factor de seguridad. Integra además, los análisis de zonas de transporte a través de modelamientos estocásticos por Montecarlo de la trayectoria de los flujos usando las ecuaciones de Voellmy para hallar velocidad del flujo y un análisis geomorfológico de zonas de depósito y estratigráfico de los flujos torrenciales identificados en campo.

La comparativa muestra una importante mejora en cuanto a metodologías usadas en el modelo planteado con respecto al planteado por el POMCA, por lo cual los resultados no son equiparables y explican las diferencias en las áreas zonificadas como alta, media y baja.

4.5.10 Zonificación de amenaza por avenidas torrenciales escala 1:2000

Para evaluar la amenaza por avenida torrencial en suelos urbanos, de expansión urbana y centros poblados, se cumplieron con las siguientes especificaciones mínimas:

- Área de estudio: Todos los cauces presentes o con influencia en el municipio o distrito, que por sus condiciones topográficas puedan tener un comportamiento torrencial (resultado de la evaluación de amenaza por avenidas torrenciales escala 1:25.000 y la modelación flujo dinámica basada en la física para las cuencas priorizadas).
- Insumos: Se debe utilizar como mínimo los siguientes insumos: Geomorfología, Estudio hidrológico de la cuenca, orientado al flujo torrencial, considerando el ciclo de sedimentos; Análisis hidráulico del área a zonificar, teniendo en cuenta factores detonantes como precipitación o movimientos en masa;
- La base cartográfica que se emplee en la zonificación corresponderá a una escala 1:2.000.

- Alcance: Para la zonificación de la amenaza, esta se categorizará en alta, media y baja, dependiendo de la frecuencia de presentación de los eventos y sus características: la profundidad de la lámina de agua, los materiales de arrastre y la velocidad del flujo. Se utiliza, como mínimo, alguno de los siguientes análisis: estadísticos, determinísticos o probabilísticos. En todo caso, los análisis se realizan en función de la magnitud de la amenaza, su intensidad, consecuencias y la disponibilidad de información.
- Productos: Mapa de amenaza por avenidas torrenciales, en el cual se delimitan y zonifican los diferentes niveles de amenaza que presenta el territorio estudiado, según lo dispuesto en el presente artículo. Se deberá elaborar un documento técnico que contenga la metodología empleada y los resultados obtenidos.

Lo anterior teniendo en cuenta lo relacionado en el decreto 1077 de 2015, artículo 2.2.2.1.3.2.1.3 en relación a estudios básicos de amenaza por avenidas torrenciales.

Objetivo general

Zonificar la amenaza por avenidas torrenciales a escala básica, 1:2000, teniendo en cuenta los lineamientos técnicos identificados en el decreto 1077 de 2015, artículo 2.2.2.1.3.2.1.3.

Objetivos específicos

- Realizar un análisis Climatológico del área de estudio a partir de la información disponible y reportado por las estaciones meteorológicas del IDEAM 2021.
- Calcular los caudales máximos iniciales en diferentes tiempos de retorno para el drenaje objeto de estudio.
- Realizar el modelo hidráulico usando las condiciones morfométricas y morfodinámicas del área de estudio.
- Zonificar la amenaza por avenidas torrenciales en el área de estudio.
- Identificar áreas en condición de amenaza y condición de riesgo para el área estudiada.

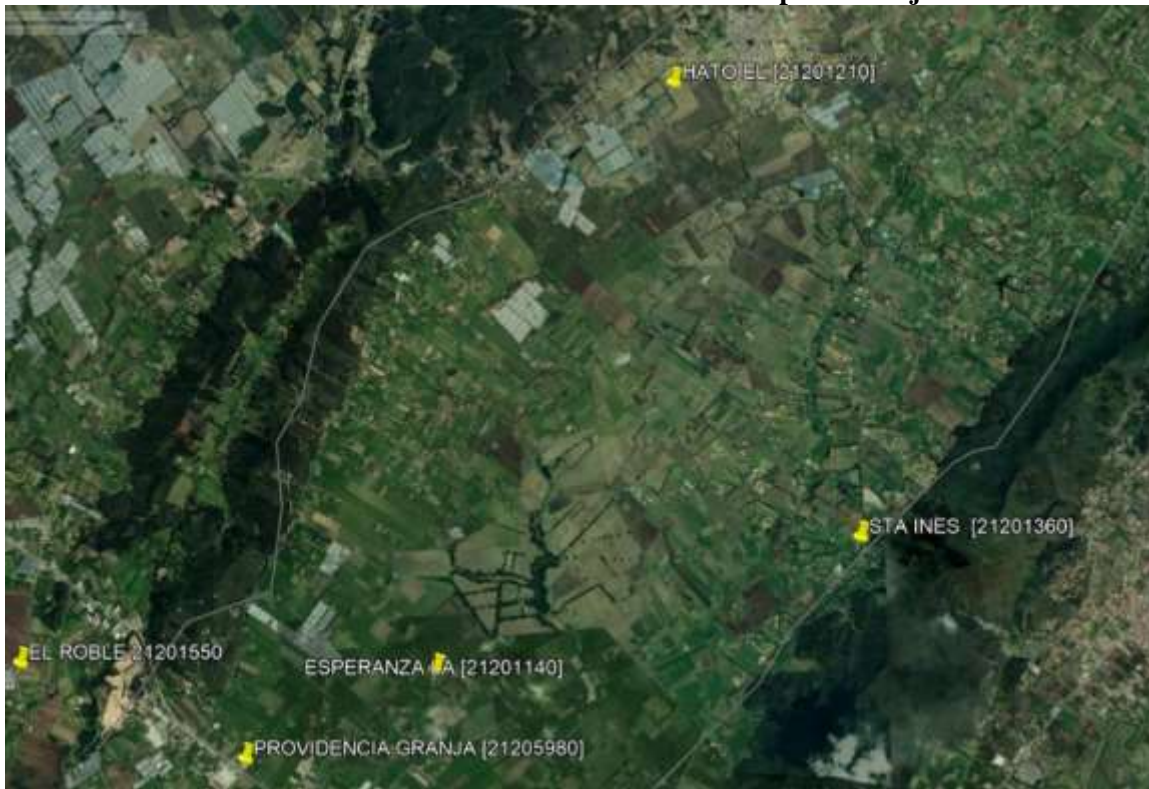
4.5.10.1 Análisis climatológico

El análisis climatológico de la zona de estudio fue realizado teniendo en cuenta los datos meteorológicos reportados por el IDEAM, el cual para el municipio de Tenjo se pudo consultar cuatro estaciones pluviométricas. Las estaciones son LA ESPERANZA 21201140, EL HATO 21201210, EL ROBLE 21201550 y SANTA INES 2120136 (IDEAM I. d., 2021). Estas estaciones meteorológica cuenta con diversos tipos de datos, como precipitaciones máximas 24 horas, a través de un análisis IDF realizado por el mismo IDEAM, para algunas de sus estaciones.

La estación más cercana a las cuencas objeto de estudio corresponde con la estación EL HATO 21201210, que se localiza en la vereda Chitasuga, por lo cual, fue la que brindo la información necesaria para construir el modelo hidrológico e hidráulico para la zonificación del estudio 1:2000 de amenaza por avenidas torrenciales. Las demás estaciones no se incluyeron en el modelo hidrológico para avenidas torrenciales. Sin embargo, si fueron usadas para los análisis de las demás amenazas.

El clima de Tenjo se clasifica como cálido y templado. Hay precipitaciones durante todo el año y hasta el mes más seco aún tiene mucha lluvia. El clima aquí se clasifica como Cfb por el sistema Köppen-Geiger. La temperatura promedio en Tenjo es 13.3 °C. En un año, la precipitación es 2695 mm.

Gráfica 212. Estaciones IDEAM en el municipio de Tenjo.



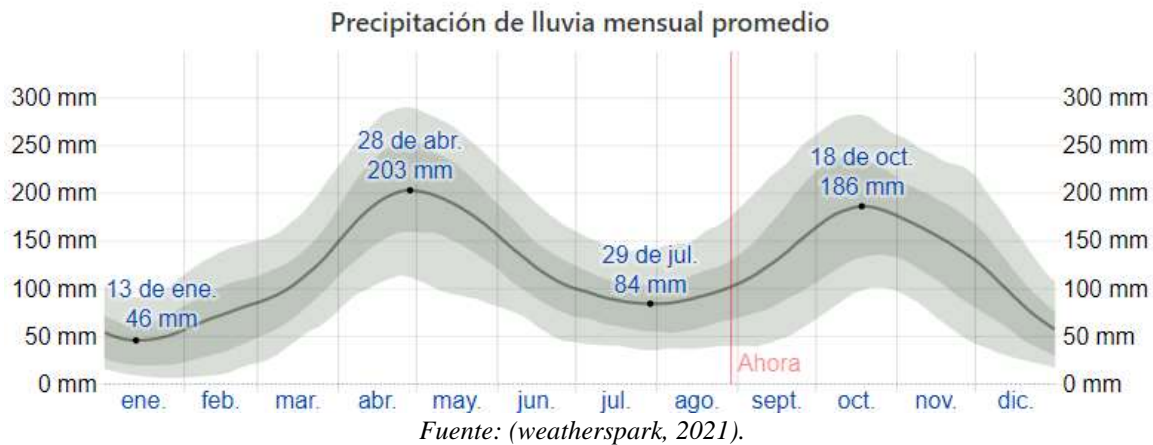
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

4.5.10.1.1 Precipitación mensual

La precipitación mensual en el área de estudio se basó en los datos extraídos de la estación EL HATO, la cual se encuentra en la vereda Chitasuga del municipio de Tenjo, en el departamento de Cundinamarca. En la gráfica siguiente, se identifica la precipitación mensual promedio del municipio.

Este análisis muestra en forma general dos periodos de lluvias, los cuales se localizan entre los meses de marzo y mayo, seguido finalmente del otro, en los meses de septiembre y noviembre, identificándose el comportamiento bimodal característico del país. El municipio presenta un promedio mensual de 203 mm, un mínimo de 46mm y un máximo de 288 mm (IDEAM I. d., 2021).

Figura 1. Precipitación de lluvia mensual promedio para el municipio de Tenjo.



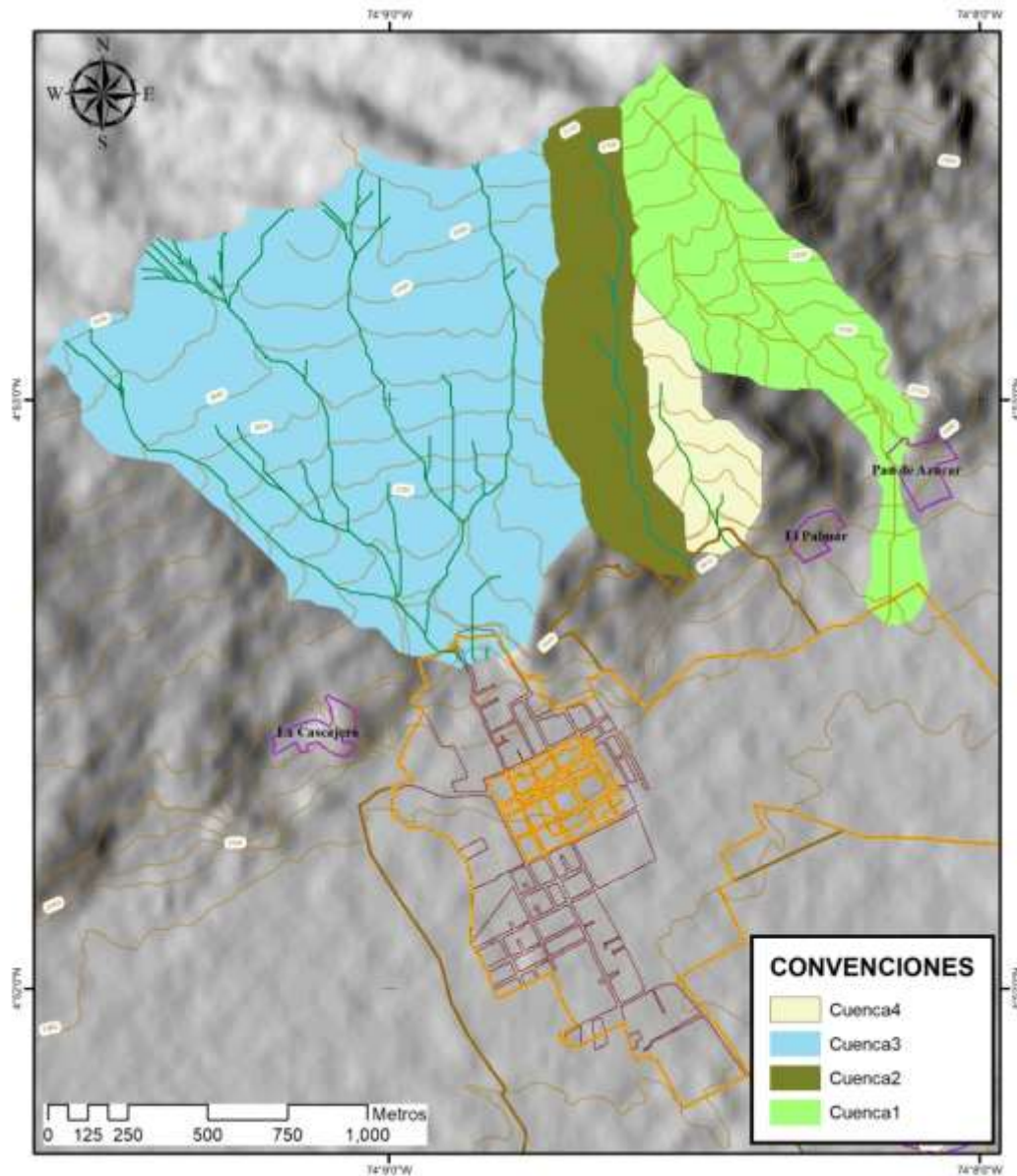
4.5.10.1.2 Análisis morfométrico de la cuenca

Las cuencas analizadas corresponden con las identificadas en la gráfica siguiente. En este análisis se identificaron distintas variables de tipo morfométrico. Las características morfométricas corresponden a la aplicación de procedimientos que caracterizan los rasgos propios de las cuencas hidrográficas en valores numéricos, los cuales permiten comparar cada cuenca estudiada.

Estos parámetros se encuentran relacionados con el régimen hidrológico, por lo cual cada cuenca puede dar como resultado parámetros distintos. Las condiciones geomorfológicas en las que se encuentra la zona de estudio, en particular su altitud tiene influencia de relevancia sobre los factores condicionantes del régimen hidrológico, como precipitación, escorrentía, infiltración y formación de depósitos y sedimentos. Estos parámetros son fundamentales para establecer relaciones hidrológicas de generalización y expresar en valores simples las características de paisajes complejos.

En el siguiente análisis se identifican parámetros de tipo geométrico, parámetros morfométricos, parámetros del relieve y parámetros del drenaje. A partir de los insumos disponibles como el modelo digital del terreno y la red de drenajes se calcularon los parámetros morfométricos y tiempo de concentración de las cuencas objeto de estudio.

Gráfica 213. Cuencas incluidas en el análisis morfométrico.



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

4.5.10.1.3 Parámetros geométricos

En la Tabla 87 se identifican los parámetros geométricos de mayor relevancia como lo son el área de la cuenca, perímetro, longitud axial y centroide para cada una de las cuencas estudiadas en el área urbana, expansión y el centro poblado de Pan de Azúcar.

Tabla 87. Parámetros geométricos de las cuencas estudiadas.

PARÁMETROS GEOMÉTRICOS					
Microcuenca	Área	Perímetro	Long Axial	Coord X	Coord Y

	km ²	km	km	m	m
CUENCA 1	0.5591	4.67	1.9500	993024.03	1032149.07
CUENCA 2	0.388383	3.55002	1.5900	992592.23	10311895.07
CUENCA 3	1.7117	5.9311	1.6900	991957.22	10317223.62
CUENCA 4	0.173	2.141	0.8620	992882.88	1031542.22

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

4.5.10.1.4 Parámetros morfométricos

Los factores geológicos principalmente son los encargados de modelar la fisiografía de una región y particularmente la forma que tienen las cuencas hidrográficas. Los parámetros morfométricos de la cuenca identifican el comportamiento de la cuenca a eventos de precipitación, por lo cual es necesario definir cada uno de los índices calculados, los cuales posteriormente se usaron para la estimación de los caudales modelados.

- Factor de forma K_f es la relación entre el ancho medio de la cuenca el cual se obtiene de dividir el área por la longitud axial. Cuando el factor de forma es mayor que 1 la forma del área de drenaje tiende a ser alargada, mientras que cuando es menor que 1 el área de drenaje tiende a ser de forma achatada, siendo los valores cercanos a la unidad una cuenca de forma cuadrada.

$$K_f = A/L^2$$

Donde

A = Área de la unidad hidrográfica (km²)

L = longitud axial de la unidad hidrográfica (km)

- Índice de compacidad K_c es la relación entre el perímetro de la cuenca y la longitud de un círculo. El índice de compacidad de un área de drenaje indica si una cuenca tiende a ser forma redondeada u ovalada, categorizándose el área de la zona de estudio en una cuenca Oval oblonga a rectangular oblonga. Siendo acorde con el resultado de índice de forma, describiendo así una cuenca de con buena capacidad de distribución de la precipitación.

$$K_c = \frac{0.28 P}{\sqrt{A}}$$

Donde:

P: Perímetro de la unidad hidrográfica (km)

A: Área de la unidad hidrográfica (km²)

- Índice de alargamiento L_a : Es la relación entre la longitud máxima de la cuenca el ancho máximo de la unidad hidrográfica. A partir del índice de alargamiento, se puede confirmar la forma de la cuenca indicando si tiende a ser alargada o achatada y así comprender como transporta el agua por escorrentía superficial en su área.

$$L_a = L/B$$

Donde:

L: Longitud axial

B: Ancho máximo

- índice de circularidad I_c : Cociente entre el área de la cueca y la superficie de un círculo que posee igual perímetro que la unidad de estudio.

$$C = \frac{4\pi A}{P^2}$$

Donde:

A: Área de la cuenca

P: Perímetro de la cuenca

- Relación de elongación Re : Cociente entre el diámetro de un círculo de la misma área de la cuenca y la mayor longitud de ella.

$$Re = \frac{1.128\sqrt{A}}{L}$$

Donde

A: Área de la cuenca

L: Longitud axial

Tabla 88. Parámetros morfométricos de la cuenca objeto de estudio.

PARÁMETROS DE MORFOMÉTRICOS						
Hoya	Ancho medio	índice de compacidad	índice de forma	índice de circularidad	relación de elongación	índice de alargamiento
CUENCA 1	0.29	1.75	0.15	0.32	0.43	6.80
CUENCA 2	0.24	1.59	0.15	0.39	0.44	6.51
CUENCA 3	1.01	1.27	0.60	0.61	0.87	1.67
CUENCA 4	0.20	1.44	0.23	0.47	0.54	4.30

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

4.5.10.1.5 Parámetros relativos al relieve

La altura y elevación es uno de los parámetros más determinantes de la oferta hídrica y del movimiento del agua a lo largo de la un área de drenaje. De ella dependen en gran medida la cobertura vegetal, la biota, el clima, el tipo y uso del suelo y otras características fisiográficas de un territorio. Como uno de los insumos principales para realizar los cálculos y obtener pendiente de cada una de las cuencas se usaron los Modelos de elevación digital para cada una de la unidad hidrográfica en estudio.

- Pendiente promedio: Referencia a la pendiente en porcentaje de la superficie de la cuenca de estudio. Conforme a la cuenca se presenta un predominio de pendientes bajas (tonos verdes) hacia la parte inferior de la cuenca donde confluye el drenaje. Las pendientes más altas (tonos naranja y rojo) se concentran en la zona este de la cuenca, debido a que en esta zona es donde están las áreas elevadas.

Tabla 89 Clasificación de pendientes

Pendiente	clasificación
0-3	Plano
3-7	Ligeramente Inclinada
7-12	Inclinada
12-25	Fuertemente inclinada
25-50	Fuertemente quebrada
50-75	Escarpado
>75	Muy escarpado

Fuente: Valero 2017.

Tabla 90. Parámetros relativos al relieve de las cuencas de estudio.

PARAMETROS DEL RELIEVE					
Microcuencas por Zonas	Hmax	Hmin	Hmax-Hmin	Hpromedio	Pendiente promedio (°)
CUENCA 1	3197	2647	550.00	2922.00	17.94
CUENCA 2	3232.00	2687.00	545.00	2959.50	22.57
CUENCA 3	3167.00	2676.00	491.00	2921.50	17.94
CUENCA 4	2994.00	2694.00	300.00	2844.00	22.47

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

4.5.10.1.6 Parámetros asociados al drenaje

El drenaje principal y tributarios aguas arriba de la cuenca de estudio presentan los siguientes parámetros, los cuales son necesarios para el cálculo de tiempos de concentración y caudales máximos.

Tabla 91. Parámetros relativos al drenaje

PARAMETROS DEL DRENAJE							
Hoya	Long del cauce principal	Orden	Long de drenajes	Densidad de drenaje	Pendiente media del drenaje Principal	Coeficiente de estabilidad	Vmf
	km	-	km	Km/km ²	m/m		km/h
CUENCA 1	1.92100	2	2.353979	4.21	0.286	0.237512786	14.67742526
CUENCA 2	1.49400	2	1.926979	4.96	0.365	0.201550247	14.69985301
CUENCA 3	1.70000	4	2.132979	1.25	0.289	0.802492837	12.83571639
CUENCA 4	0.58200	2	1.014979	5.87	0.515	0.170446954	11.37964443

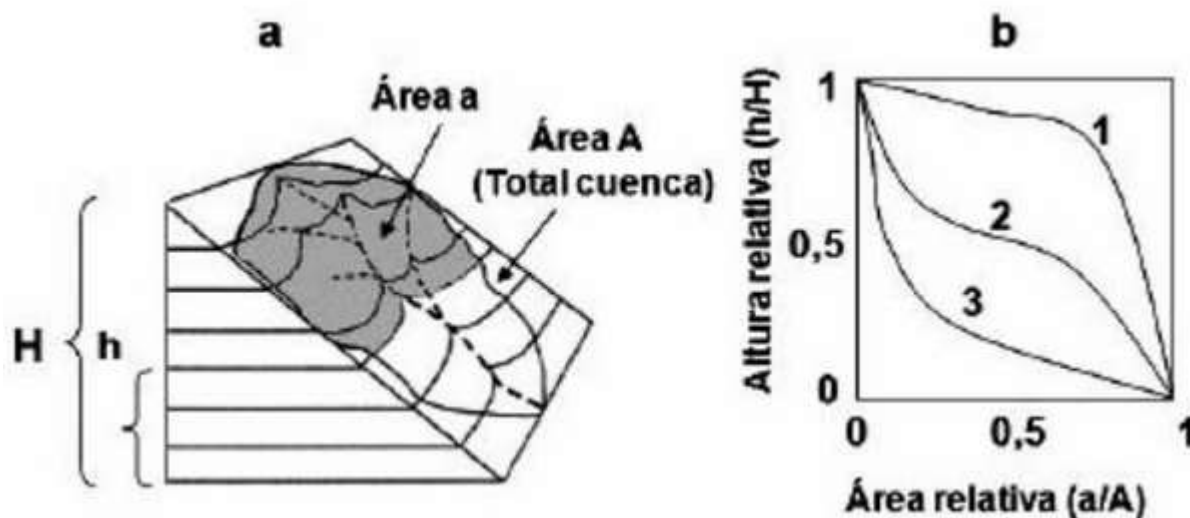
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

- *Análisis hipsométrico*

El análisis hipsométrico es el estudio de la distribución del área de superficie del terreno, o la sección transversal del área, de una masa de tierra respecto de la elevación (Strahler, 1952). También se puede entender como la representación gráfica de las elevaciones del terreno en función de las superficies correspondientes (Campos, 1992). El gráfico obtenido representa en el eje X las superficies relativas y en el eje Y las alturas relativas. El área relativa es la fracción del área (a) sobre esa cota (h) respecto del área total (A); mientras que la altura relativa es la correspondiente a la cota (h), dividida por la altura de la cuenca (H) (Quezada et al., 2010).

La gráfica siguiente, corresponde a la representación gráfica de los datos obtenidos, donde aparecen tres curvas que significan el ciclo de erosión de la cuenca. La curva 1 corresponde a una etapa de desequilibrio erosivo y representa una cuenca geológicamente joven. La curva 2 corresponde a una etapa de equilibrio erosivo y representa una cuenca geológicamente madura. La curva 3 representa una cuenca erosionada y en estado de senectud (Campos, 1992).

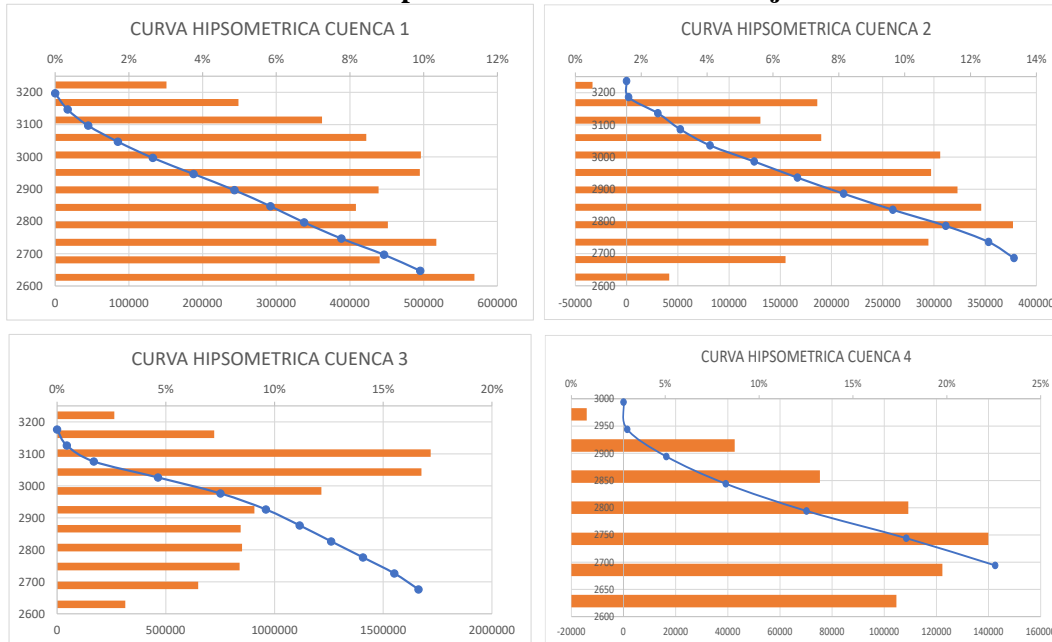
Gráfica 214. Esquema de datos para construir la curva hipsométrica.



Fuente: modificado de Quezada, 2010.

El resultado del análisis hipsométrico para las cuencas objeto de estudio se muestra a continuación, se observa que las cuatro cuencas presentan una gráfica del tipo dos relacionada a una cuenca madura.

Gráfica 215. Curvas hipsométricas de las cuencas objeto de estudio.



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

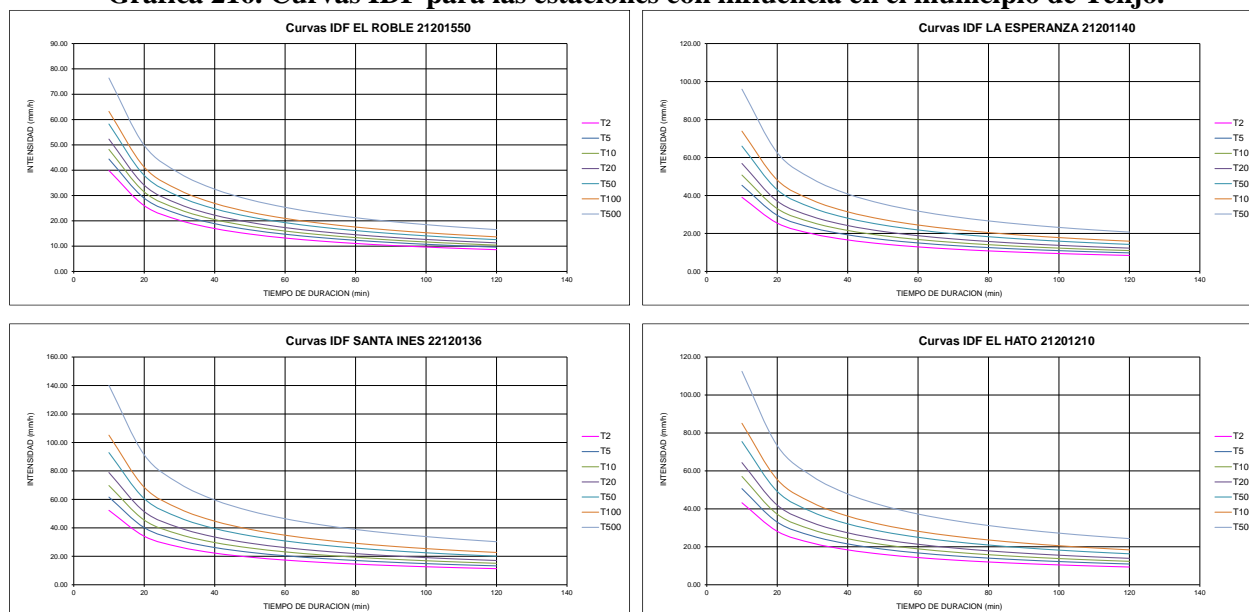
Las cuencas asociadas a este tipo de curvas hipsométricas no resultan ser inestables, ya que las pendientes medias en las cuencas son moderadas, y no favorecen la formación de flujos de detritos. Sin embargo, se adelantaran los estudios hidrológicos e hidráulicos para determinar las posibles áreas afectadas por un proceso de flujo en las cuencas.

4.5.10.2 Curvas intensidad, duración, frecuencia

La Curva Intensidad Duración Frecuencia, representa la intensidad (I) o magnitud de una lluvia fuerte expresada en milímetros por hora, para una duración (D) determinada que usualmente puede ser 30, 60, 90, 120 o 360 minutos y que se estima tiene una probabilidad de ocurrencia, o frecuencia (F) expresada en años, lo que también se conoce como periodo de retorno (IDEAM, 2014). Estas curvas permiten la estimación de volúmenes de drenaje superficial mediante modelos lluvia-escorrentía en cuencas pequeñas para las cuales no existe registros de caudal, como es el caso de este estudio.

Para las estaciones objeto de estudio se realizó el análisis de intensidad, duración, frecuencia a partir de la información recopilada de cada estación desde su instalación y puesta en funcionamiento hasta la actualidad. La información utilizada corresponde con el registro de lluvias diarias de la estación que fue procesada para su conversión a lluvias máximas 24 horas. A continuación, se muestra la representación gráfica de las curvas intensidad-duración-frecuencia para la estación objeto de estudio. La información de precipitación y los procesos a realizar para la construcción de las curvas IDF se presentan como anexo a este documento.

Gráfica 216. Curvas IDF para las estaciones con influencia en el municipio de Tenjo.



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

Como se mencionó anteriormente, para el cálculo de caudales en el modelo hidráulico de amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:2000 se usó la información de la estación EL HATO 21201210, por encontrarse más cercana al área de estudio.

4.5.10.3 Cálculo de caudales fase líquida

Los caudales de fase líquida calculados corresponden a los identificados en el capítulo de amenaza por inundación escala 1:5000, por lo cual la descripción y desarrollo metodológico se encuentra consignado en ese apartado del documento.

4.5.10.4 Ciclo de sedimentos

El ciclo de sedimentación hace referencia a un ciclo que comprende la meteorización de una roca existente seguida de su erosión, transporte y sedimentación. Los sedimentos del primer ciclo se caracterizan por la presencia de minerales y fragmentos de roca menos resistentes. Si este material es reabajado durante un segundo ciclo, los minerales o fragmentos de roca menos resistentes serán eliminados. Cuantos más ciclos sedimentarios sufre un sedimento, éste se hace más maduro y estará dominado por minerales resistentes, bien redondeados.

Gráfica 217. Ciclos sedimentarios en una cuenca hidrográfica.



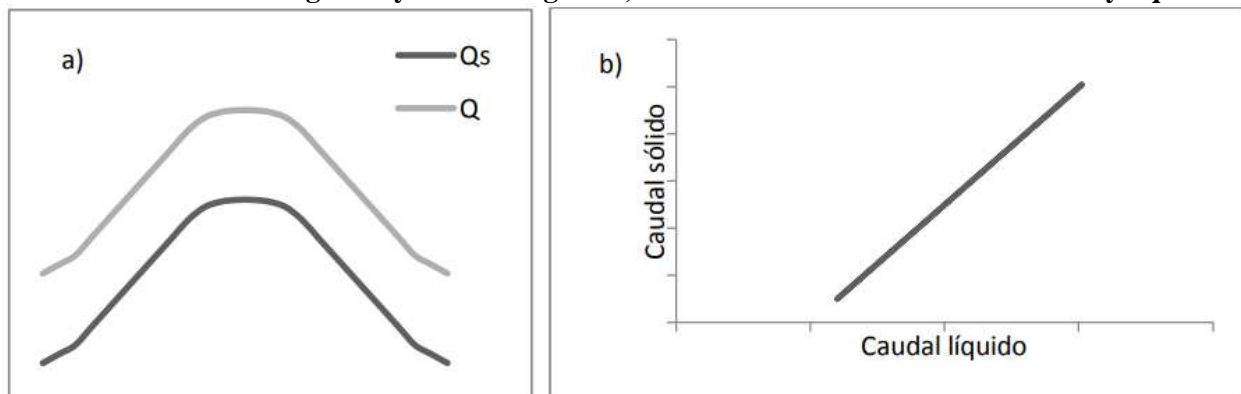
Fuente: Tomado de <https://prezi.com/rlrtoq9mbwzl/ciclo-biogequimico/> Biología y geología 4to. SANTILLANA.

4.5.10.4.1 Sedimentos / flujos y aumento de volumen

El transporte de sedimentos en suspensión se compone principalmente de limos y arenas finas que son de fácil movilidad a través del flujo de agua. La concentración de sedimentos en suspensión cambia durante periodos estacionales y eventos de lluvia, pero también considerando las concentraciones antes y después del caudal máximo durante una crecida (Iroumé y Uyttendaele, 2006). Williams (1989) señala que la mayor cantidad de sedimentos se trasladan durante crecidas individuales, y eventualmente existe un atraso entre la máxima concentración de sedimentos y el máximo caudal líquido.

Durante una crecida, la relación entre el aumento de la concentración sólida con el caudal líquido se puede representar gráficamente, estas se llaman relaciones de histéresis. La relación más común y simple corresponde con la lineal. Esta se obtiene cuando el pico de la relación entre la concentración de sedimentos en suspensión y el caudal líquido es simultáneo. Este tipo de histéresis corresponde a la relación más simple ya que evidencia una proporcionalidad directa entre las dos variables.

Gráfica 218. A. Hidrograma y sedimentograma, b. Relación lineal entre caudal sólido y líquido.



Fuente: Modificado de (Gusman, 2009).

El aumento de volumen en corrientes de agua (Bulking en inglés) se ha definido como el aumento de la descarga de agua teniendo en cuenta las altas concentraciones de sedimento en el flujo, flujos de lodo y escombros, que pueden aumentar el volumen de flujo transportado desde una cuenca, ocurre con mayor frecuencia en áreas montañosas sujetas a erosión del suelo, y en regiones áridas cerca de abanicos aluviales y otras zonas de actividad geomorfológica y geológica (Gusman, 2009).

El termino bulking es el incremento en la tasa de flujo al incluir el sedimento y detritos al flujo. Para cuantificar este aumento existe el facto de Bulking (BF) que generalmente es aplicado al flujo pico obtenido en la modelación del flujo. El flujo pico, cuando toda la cuenca contribuye con sedimentos puede expresarse con la siguiente ecuación:

$$Q_B = Q_W + Q_S$$

QB = Descarga máxima acumulada

QW= Descarga máxima de agua

QS= Descarga Volumétrica de sedimentos

Por lo cual el factor de Bulking (BF) es la relación entre la descarga teniendo en cuenta el aumento volumétrico del sedimento y la descarga con agua sin sedimentos

$$BF = (Q_W + Q_S)/Q_W$$

4.5.10.4.2 Clasificación de sedimento/ flujo de agua

Dentro de los diversos flujos donde se tiene un porcentaje volumétrico de concentración de sedimentos, se pueden encontrar, Flujos de Detritos, Flujos Hiperconcentrados y Flujos de Lodos, cada uno diferenciado por el porcentaje de sólidos y sedimentos transportados, una recopilación de estos tipos de flujo se encuentra en la gráfica 212.

Los flujos con caudal normal o Normal Streamflow contienen entre un 0% y 40% en peso de sedimentos Es importante entonces señalar la definición de flujo con caudal normal, como una mezcla de agua y sedimentos, en donde prima el transporte fluvial, en comparación con el transporte de detritos. Estos fluidos tienen un porcentaje volumétrico de sedimentos que oscila entre el 0 y 20%, y la mayoría de estos sedimentos se transportan en suspensión, manteniendo esta capacidad de transporte, dependiendo de la

velocidad de flujo y las características de la turbulencia en la sección. Suceden en su mayoría en cauces con pendientes bajas o cauces de zonas levemente onduladas.

Los flujos hiperconcentrados generalmente tienen una concentración de sedimentos entre 20 y 40 % por volumen. Esta cantidad de sedimentos suspendidos es lo suficientemente grande para afectar las propiedades de los fluidos y su comportamiento. Estos flujos hiperconcentrados son turbulentos y presentan una resistencia al flujo dependiendo de la rugosidad de los bordes por donde discurre, este comportamiento es similar a los flujos tipo stramflow.

Gráfica 219. Clasificación de flujos realizada por varios autores.

Source	Concentration percent by weight (100% by WT = 1,000,000 ppm)									
	23	40	52	63	72	80	87	93	97	100
	Concentration percent by volume (G. = 2.65)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
Beverage and Culbertson (1964)	High	Extreme	Hyperconcentrated				Mud Flow			
Costa (1984)	Water Flood		Hyperconcentrated			Debris Flow				
O'Brien and Julien (1985) using National Research Council (1982)	Water Flood		Mud Flood	Mud Flow		Landslide				
Takahashi (1981)	Fluid Flow		Debris or Grain Flow			Fall, Landslide, Creep, Sturzstrom, Pyroclastic Flow				
Chinese Investigators (Fan And Dou, 1980)	←-----Hyperconcentrated Flow-----→		←-----Debris or Mud Flow-----→							
Pierson and Costa (1984)	STREAMFLOW Normal: Hyperconcentrated				SLURRY FLOW (Debris Torrent), Debris Mud Flow, Solifluction			GRANULAR FLOW Sturzstrom, Debris Avalanche, Earthflow, Soil Creep		

Fuente: Modificado de Bradley & McCutcheon, 1986 en (Gusman, 2009)

Los flujos de detritos contienen una gran cantidad de material grueso, su concentración de sedimentos esta entre 40% y 55% del volumen. Algunos autores incluso identifican el límite en 65%. Los flujos de detritos pueden presentar una alta velocidad en cañones con pendiente alta, transportando grandes bloques y causando daños catastróficos a su paso (Gusman, 2009).

Gráfica 220 Clasificación de flujos por concentración de sedimentos.

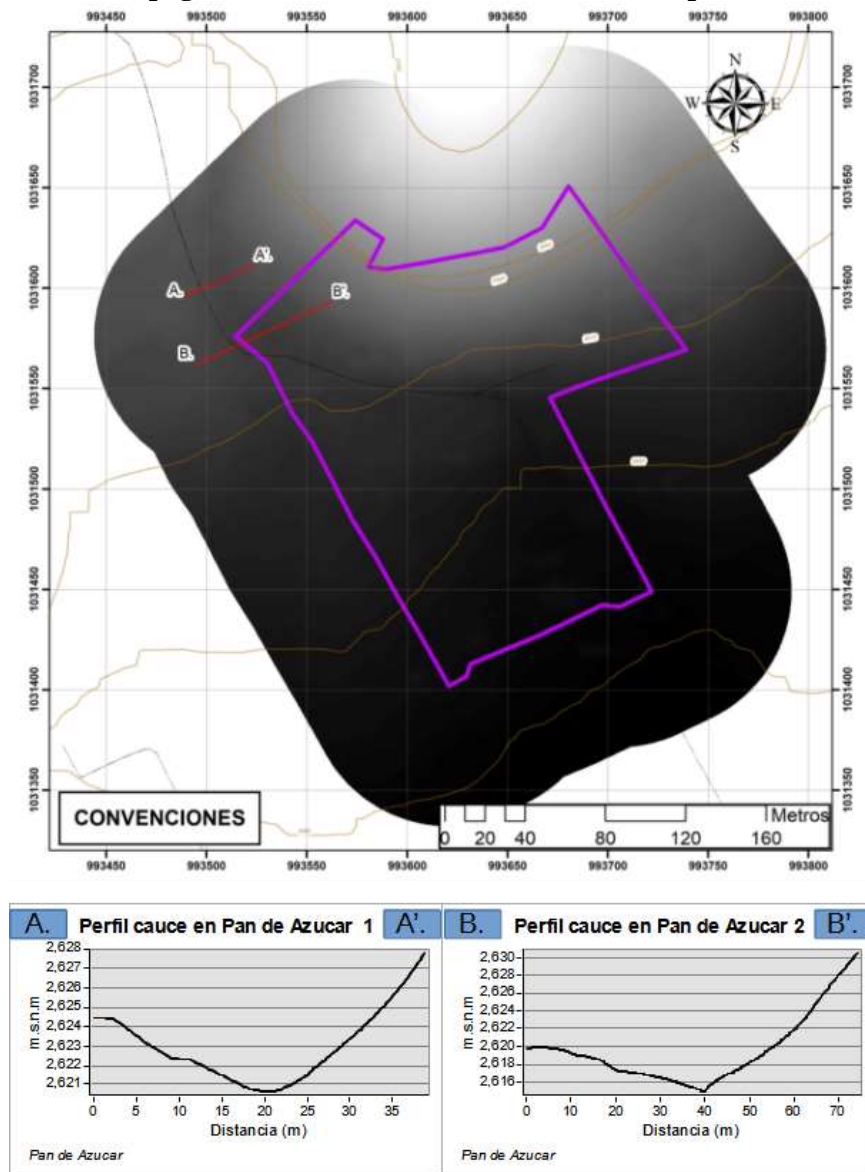
Bulking Factor							
0	1.11	1.25	1.43	1.67	2.00	2.50	> 3.33
Sediment Concentration, % by Weight (100% by WT = 1×10^6 ppm)							
0	23	40	52	63	72	80	87 to 100
Sediment Concentration, % by Volume (specific gravity = 2.65)							
0	10	20	30	40	50	60	70 to 100
Normal Streamflow		Hyperconcentrated Flow		Debris Flow/ Mud Flow		Landslide	

Fuente: Modificado de (Gusman, 2009)

A partir de la visita de campo y el análisis de zonas de inicio, transporte y denostación, analizado en 4.5.6.2 se puede apreciar que el área de estudio presenta un comportamiento torrencial, el cual de acuerdo con estas clasificaciones se asocia a una concentración de sedimentos de 20% a 50%. Por esta razón se determina que, ante un evento de lluvias intensas, el flujo se comporta como hiperconcentrado a flujo de detritos lo que le asigna un factor bulking de hasta 1.67, de acuerdo a la clasificación de flujos por concentración de sedimentos presentada en O'Brien, 1986 (Gusman, 2009).

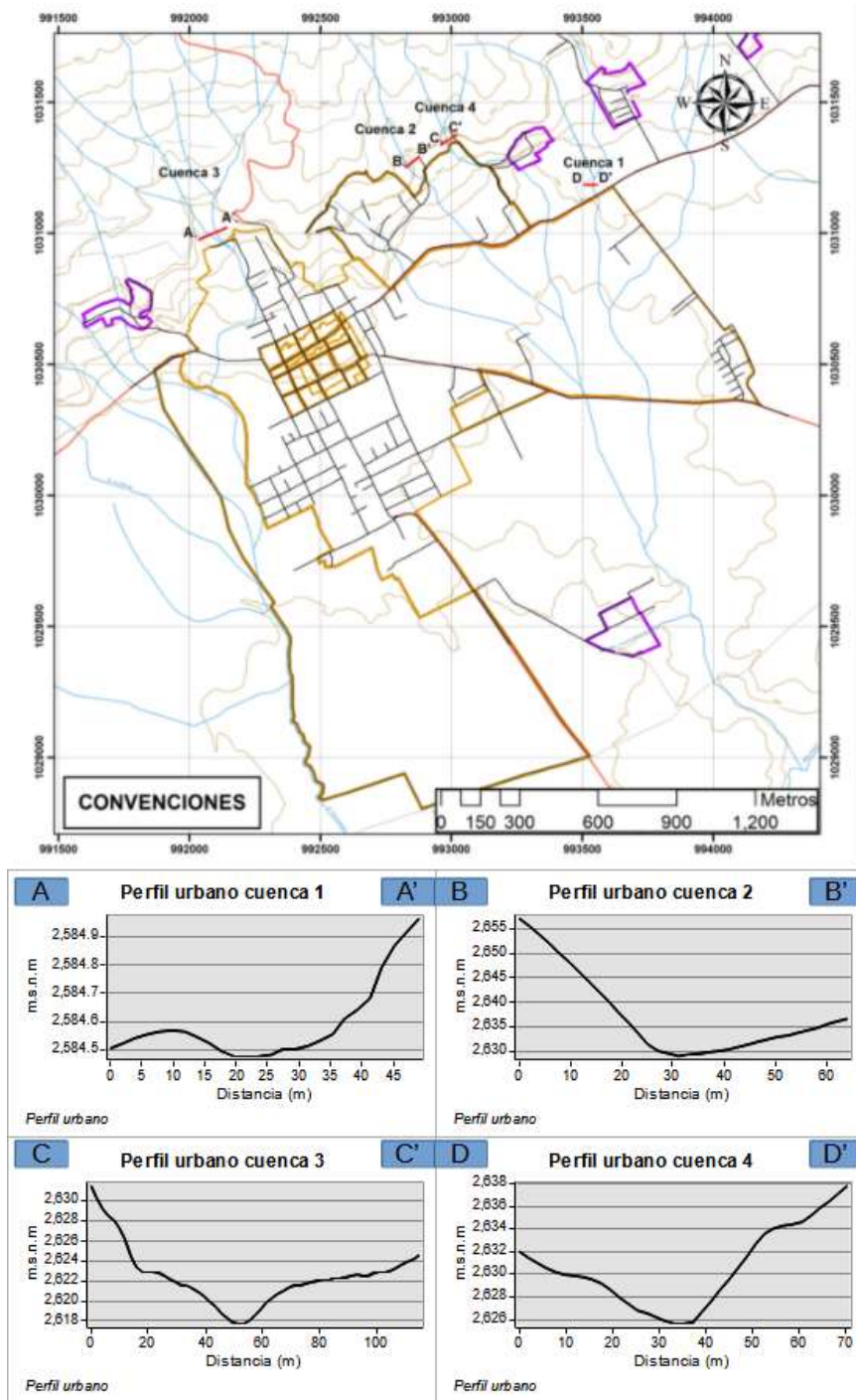
Se realizó un control de la calidad del modelo de elevación digital de los sitios modelados con el software Iber a través de perfiles del cauce principal. En las siguientes figuras se muestra los perfiles topográficos de control de cada drenaje identificado.

Gráfica 221. Perfiles topográficos del canal modelado en el centro poblado de Pan de Azúcar.



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

Gráfica 222. Perfiles topográficos de los canales modelados en la zona urbana y de expansión urbana.



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

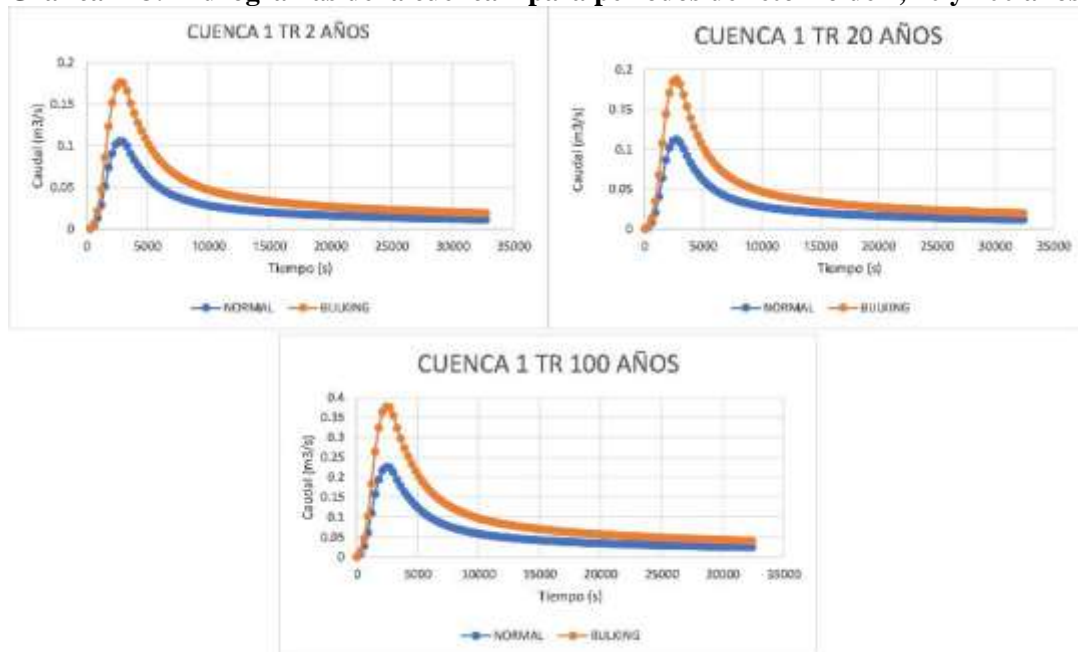
Los perfiles muestran que el canal modelado se marca con claridad, ya que en su mayoría, los canales se encuentran descubiertos de vegetación y corresponden con drenajes intermitentes que permite, con la

información topográfica adquirida con el dron delinear la forma del canal sin la necesidad de realizar batimetrías adicionales.

A continuación se muestran los hidrogramas con factor de Bulking para cada una de las cuencas modeladas, para periodos de retorno de 2, 20 y 100 años.

En la cuenca 1 correspondiente a la que se localiza sobre el centro poblado de Pan de Azúcar, en el municipio de Tenjo muestra caudales pico de hasta 0.4 m³/s para periodo de retorno de 100 años. En la gráfica siguiente, se muestran los hidrogramas de esta cuenca.

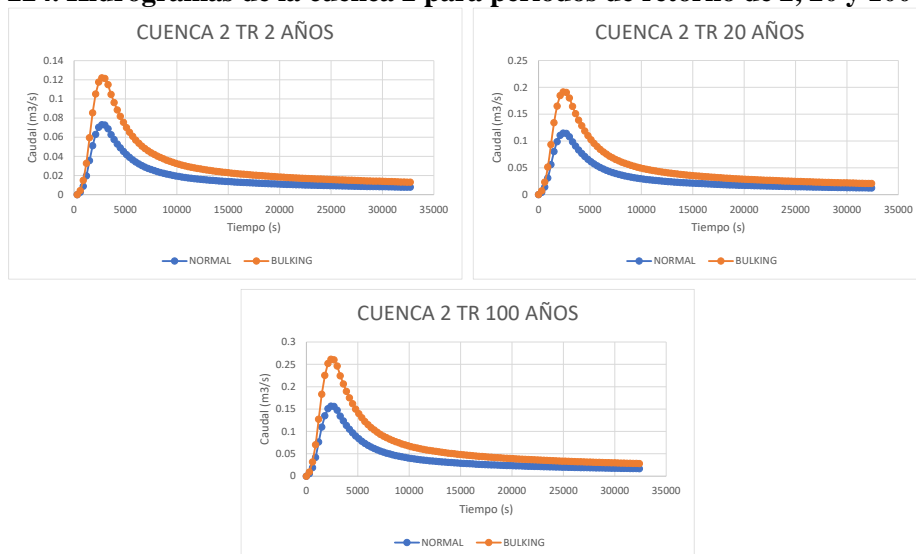
Gráfica 223. Hidrogramas de la cuenca 1 para periodos de retorno de 2, 20 y 100 años.



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

Para la cuenca 2, la cual se relaciona al drenaje sobre el sector del Cementerio, se identifican caudales de hasta 0.30 m³/s para periodo de retorno de 100 años.

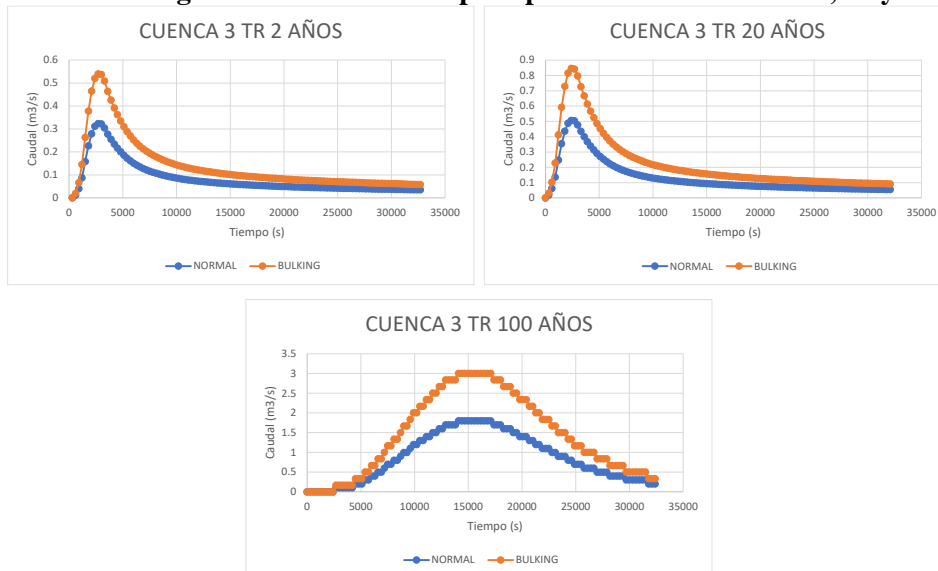
Gráfica 224. Hidrogramas de la cuenca 2 para periodos de retorno de 2, 20 y 100 años.



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

La cuenca tres corresponde con la cuenca sobre el área urbana del municipio, la cual presenta caudales de hasta 3m³/s para tiempo de retorno de 100 años, siendo la cuenca con mayores valores de caudal.

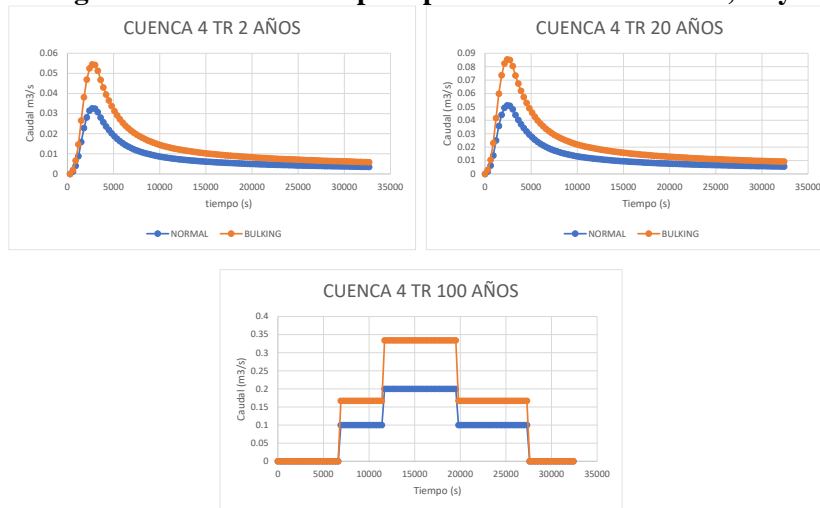
Gráfica 225. Hidrogramas de la cuenca 3 para periodos de retorno de 2, 20 y 100 años.



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

La cuenca cuatro corresponde con la cuenca sobre el área urbana del municipio, la cual presenta caudales de hasta 0.35 m³/s para tiempo de retorno de 100 años, siendo la cuenca con mayores valores de caudal.

Figura 2. Hidrogramas de la cuenca 4 para periodos de retorno de 2, 20 y 100 años.



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

4.5.10.5 Modelamiento hidráulico

La modelación matemática del flujo de agua en un río consiste en predecir los valores que toman las variables hidráulicas (calado, velocidades, caudal, etc.) a partir de la resolución mediante métodos numéricos de unas ecuaciones obtenidas con una serie de hipótesis. Para el modelamiento se usó el software IBER, el cual resuelve las ecuaciones de St. Venant bidimensionales, incorporando los efectos de la turbulencia y rozamiento superficial.

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial h U_x}{\partial x} + \frac{\partial h U_y}{\partial y} = 0$$

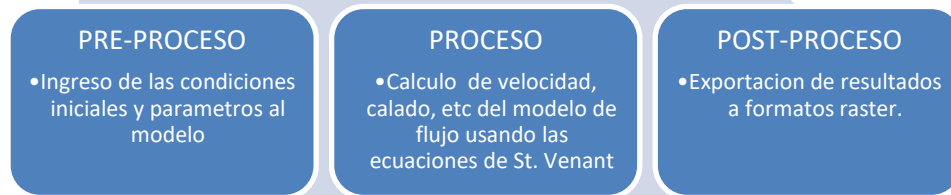
$$\frac{\partial}{\partial t} (h U_x) + \frac{\partial}{\partial x} \left(h U_x^2 + g \frac{h^3}{2} \right) + \frac{\partial}{\partial y} (h U_x U_y) = -g h \frac{\partial Z_b}{\partial x} + \frac{\tau_{s,x}}{\rho} - \frac{\tau_{b,x}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_t h \frac{\partial U_x}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_t h \frac{\partial U_x}{\partial y} \right)$$

$$\frac{\partial}{\partial t} (h U_y) + \frac{\partial}{\partial x} (h U_x U_y) + \frac{\partial}{\partial y} \left(h U_y^2 + g \frac{h^3}{2} \right) = -g h \frac{\partial Z_b}{\partial y} + \frac{\tau_{s,y}}{\rho} - \frac{\tau_{b,y}}{\rho} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\nu_t h \frac{\partial U_y}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\nu_t h \frac{\partial U_y}{\partial y} \right)$$

4.5.10.5.1 Metodología

Para el modelamiento usando el software Iber se requiere hacer un procesamiento que se divide en tres fases importantes. Uno corresponde con el Preproceso, en el cual se ingresan las condiciones iniciales del programa, condiciones de contorno, etc. Un siguiente paso de Proceso en el cual se realizan los cálculos solicitados y finalmente un postproceso donde se exportan los resultados del proceso en archivos ráster para usar en otros programas SIG.

Gráfica 226. Metodología simplificada para el modelamiento hidráulico usando IBER 2D.



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

4.5.10.6 Resultados del modelamiento hidráulico centro poblado de Pan de azúcar

4.5.10.6.1 Profundidad de la lámina de agua

Como resultados del modelamiento hidráulico adelantado se determinó la posición y la profundidad de la lámina de agua en cada punto de la trayectoria del flujo torrencial a su paso por el centro poblado de Pan de Azúcar. En la Gráfica 218 se muestra la el ráster de la profundidad de la lámina en metros desde la superficie del DEM. El modelo identifica las profundidades más importantes al inicio del modelamiento, y por fuera del perímetro del centro poblado, donde el drenaje es más marcado, alcanzando una profundidad máxima de 25 cm, lo cual configura de acuerdo con las categorizaciones propuestas por (IDEAM I. d., 2017) como eventos de poco calado que tienen poco impacto sobre los elementos expuestos identificados como viviendas y vías.

Gráfica 227. Mapas de profundidad (m/s) de la modelación de avenida torrencial para el centro poblado de Pan de Azúcar para tiempos de retorno de 2, 20 y 100 años

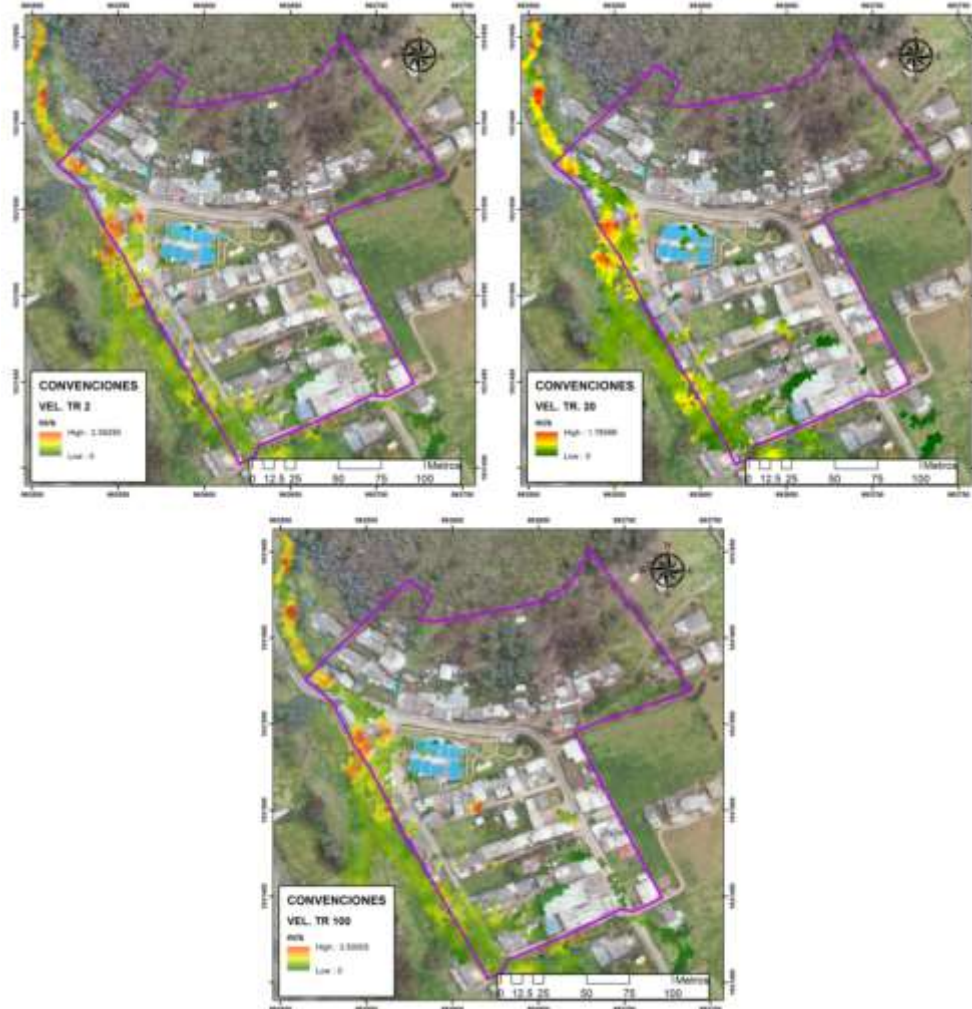


Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

4.5.10.6.2 Velocidad de la lámina de agua

El resultado de velocidad para el modelo hidráulico adelantado en el centro poblado de Pan de Azúcar muestra un comportamiento similar al asociado a la profundidad de la lámina de agua. Las velocidades más altas en los tres periodos de retorno muestran que las velocidades más altas, que sobrepasan 1 m/s se encuentra sobre la parte alta del análisis realizado, sobre la porción de drenaje que se encuentra más encañonado y que además presenta una mayor pendiente, en relación con la zona baja donde se encuentra el perímetro del centro poblado. Las velocidades pico son 2.59 m/s, 1.76 m/s y 3.5 m/s para cada periodo de retorno (2,20 y 100 años).

Gráfica 228. Mapas de velocidad (m/s) de la modelación de avenida torrencial para el centro poblado de Pan de Azúcar para tiempos de retorno de 2, 20 y 100 años



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

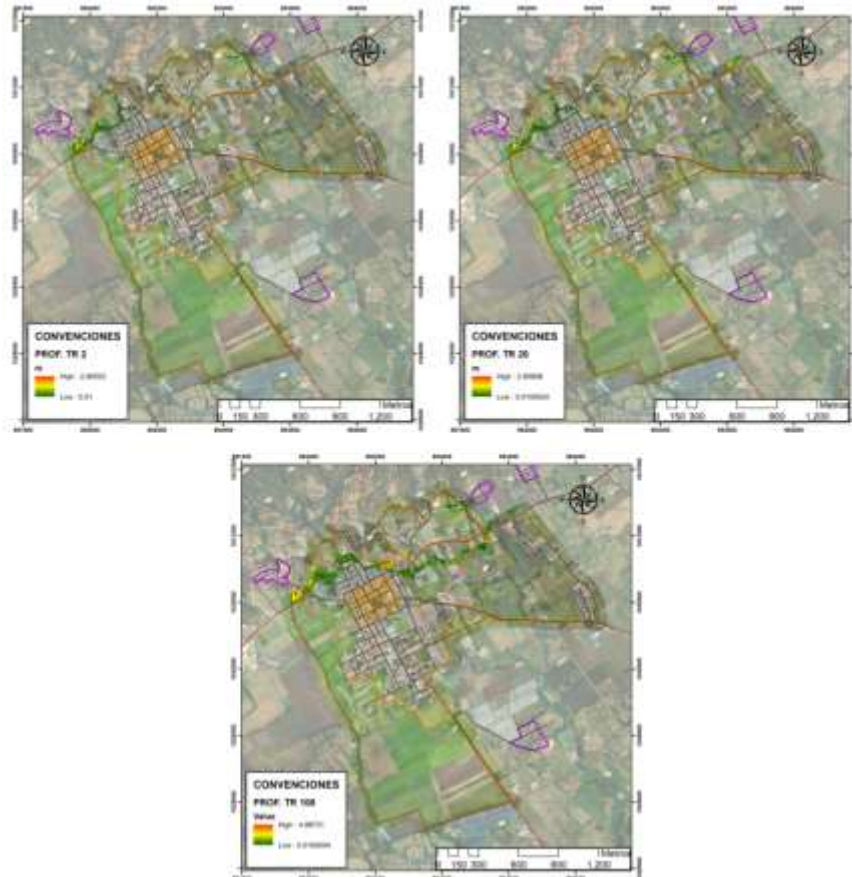
4.5.10.7 Resultados del modelamiento hidráulico suelo urbano de Tenjo y zona de expansión urbana

4.5.10.7.1 Profundidad de la lámina de agua

Como resultados del modelamiento hidráulico adelantado en las cuencas 2, 3 y 4, se determinó la posición y la profundidad de la lámina de agua en cada punto de la trayectoria del flujo torrencial a su paso por el área urbana del municipio de Tenjo y su zona de expansión urbana. En la gráfica siguiente, se muestra la el ráster de la profundidad de la lámina en metros desde la superficie del DEM. El modelo identifica las profundidades más importantes al inicio del modelamiento, cercano a la PTAP del municipio, donde el drenaje es más marcado, alcanzando una profundidad máxima de 2.5 m, en el sector e identificando hasta 4.9m en algunos sectores de la modelación, para el escenario de periodo de retorno de 100 años, lo cual

configura de acuerdo con las categorizaciones propuestas por (IDEAM I. d., 2017) como eventos relevantes en calado, que pueden generar daños en los elementos expuestos.

Gráfica 229. Mapas de profundidad (m) de la modelación de avenida torrencial para el área urbana de Tenjo y expansión urbana para periodos de retorno de 2, 20 y 100 años



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

4.5.10.7.2 Velocidad de la lámina de agua

El resultado de velocidad para el modelo hidráulico adelantado en el área urbana y expansión urbana muestra un comportamiento similar al asociado a la profundidad de la lámina de agua. Las velocidades más altas en los tres periodos de identifican las áreas críticas, que sobrepasan 1 m/s se encuentra sobre la parte alta del análisis realizado, en el sector de la PTAP del municipio, sobre la porción de drenaje que se encuentra más encausado y que además presenta una mayor pendiente, en relación con la zona baja donde se encuentra el área urbana consolidada. Las velocidades pico son 0.87 m/s, 1.77 m/s y 2.56 m/s para cada periodo de retorno (2,20 y 100 años).

Gráfica 230. Mapas de velocidad (m/s) de la modelación de avenida torrencial para el suelo urbano de Tenjo y expansión urbana para periodos de retorno de 2, 20 y 100 años



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

4.5.10.8 Zonificación de amenaza por avenidas torrenciales escala 1:2000

Para la zonificación de amenaza por avenidas torrenciales en inmediaciones del centro poblado de Pan de Azúcar se utilizó la categorización alta, media y baja consignada en la Tabla 92. La cual se construyó a partir de la metodología propuesta por (IDEAM I. d., 2017) se modificó y ajustarla de acuerdo a la zona de estudio e información disponible para los eventos de avenidas torrenciales.

Tabla 92 Categorización de la amenaza por avenidas torrenciales para el centro poblado de Pan de Azúcar.

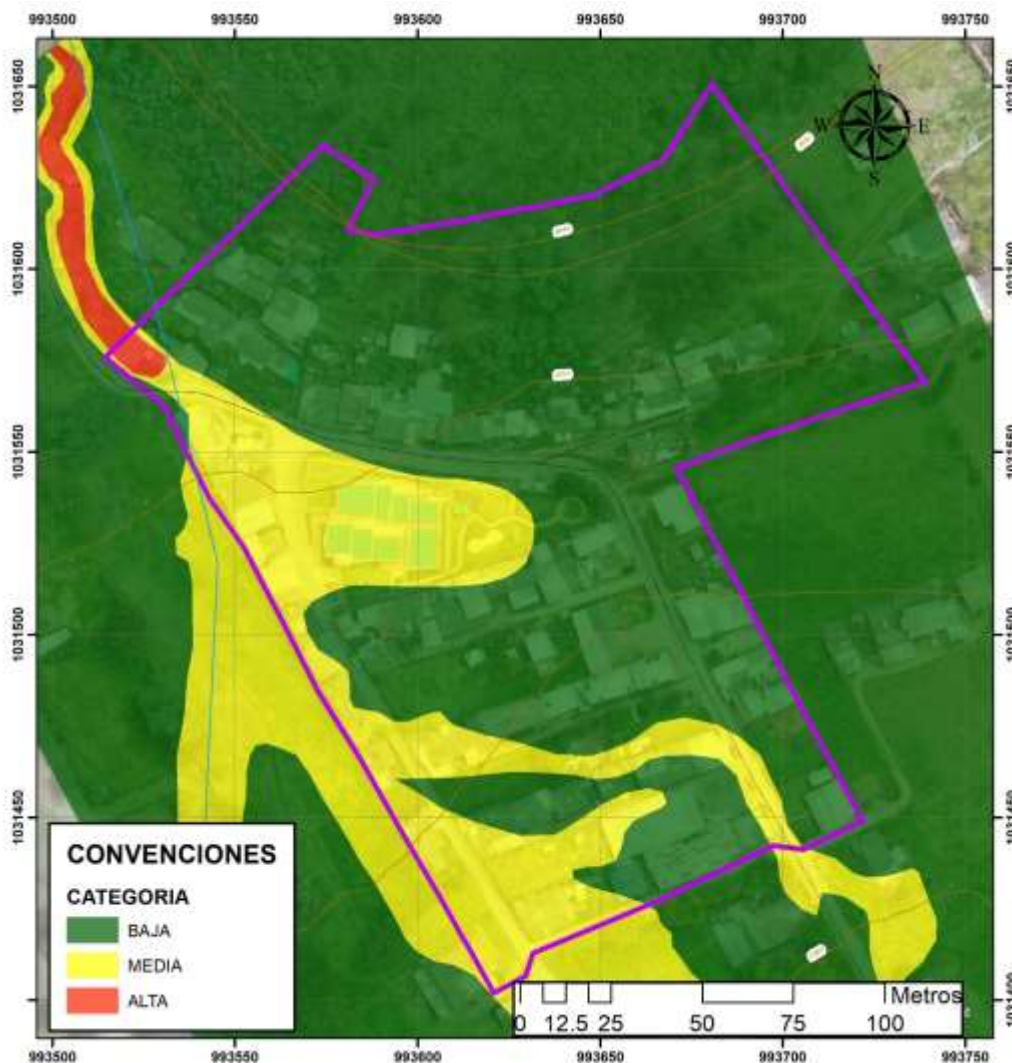
Categorización de la amenaza	Descripción
Amenaza alta	Zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del cauce calculado para el caudal de creciente de la avenida torrencial para un periodo de retorno menor o igual a 10 años, con profundidad de lámina de agua igual o superior a 0.50, duración, caudal y velocidad con efectos potencialmente dañinos graves.
Amenaza media	Zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del cauce calculado para el caudal de creciente entre los periodos de retorno de 10 y 100 años, con una profundidad de lámina de agua, duración, caudal y velocidad con efectos potencialmente dañinos moderados.
Amenaza baja	Zona delimitada por la línea de inundación producida por el desborde del cauce calculado para el caudal de creciente de un periodo de retorno mayor o igual a 100 años y con un a profundidad de lámina de agua con efectos potencialmente dañinos leves.

Fuente: Modificado de (IDEAM I. d., 2017; Bregoli, Medina, & Bateman, 2018)

4.5.10.8.1 Zonificación de amenaza por avenidas torrenciales del Centro Poblado de Pan de Azúcar

El plano final de amenaza por avenidas torrenciales para el centro poblado de Pan de Azúcar se muestra en la gráfica siguiente. Se identifica amenaza alta sobre el valle confinado del drenaje 1, en la parte alta del centro poblado. La sombra de amenaza alta se extiende hasta adentrarse al perímetro del centro poblado donde por las pendientes y el inicio de geoformas de depósito aluvial se extiende la mancha, bajando su calado y convirtiéndose en amenaza media. En la zona distal del depósito se identifican áreas con las condiciones de amenaza baja, donde ya el evento modelado genera una mínima o nula afectación.

Gráfica 231. Plano de amenaza por avenidas torrenciales escala 1:2000 para el centro poblado de Pan de Azúcar (Cuenca 1).

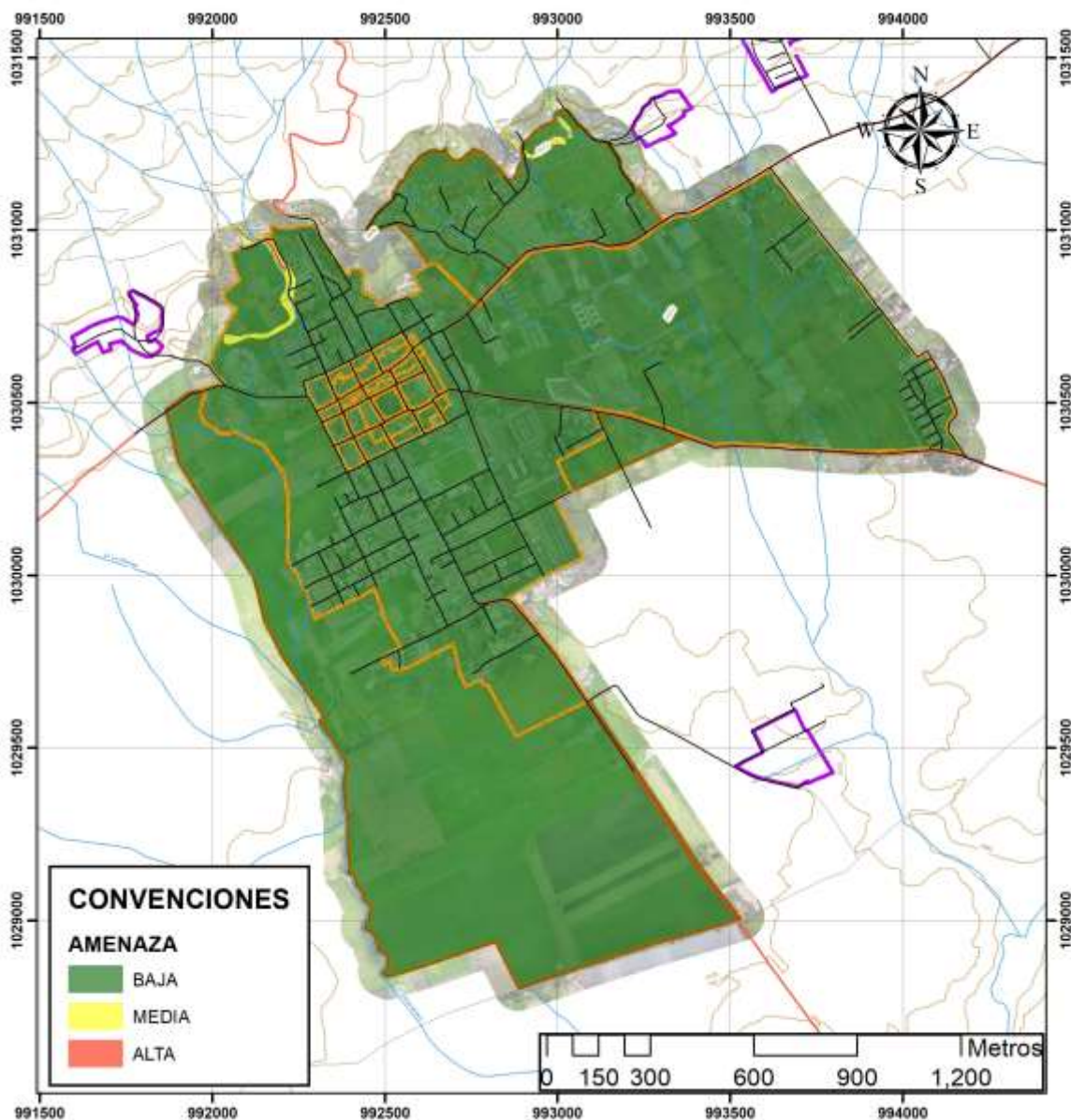


Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

4.5.10.8.2 Zonificación de amenaza por avenidas torrenciales del área urbana y expansión urbana del municipio de Tenjo

El plano final de amenaza por avenidas torrenciales para el centro poblado de Pan de Azúcar se muestra en la gráfica siguiente. Se identifica amenaza alta sobre el valle confinado del drenaje 1, en la parte alta del centro poblado. La sombra de amenaza alta se extiende hasta adentrarse al perímetro del centro poblado donde por las pendientes y el inicio de geformas de depósito aluvial se extiende la mancha, bajando su calado y convirtiéndose en amenaza media. En la zona distal del depósito se identifican áreas con las condiciones de amenaza baja, donde ya el evento modelado genera una mínima o nula afectación.

Gráfica 232. Plano de amenaza por avenidas torrenciales escala 1:2000 para el área urbana de Tenjo y zona de expansión urbana (Cuenca 2, 3 y 4).



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

4.5.10.8.3 Zonificación de amenaza por avenidas torrenciales en los sitios no priorizados para estudios escala 1:2000

Teniendo en cuenta que los modelos hidráulicos no se realizaron a los centros poblados que no presentaron elementos expuestos por el fenómeno de avenidas torrenciales, y que tampoco muestran condiciones de inicio, transporte o depósito de avenidas torrenciales, se identifica una zonificación de la amenaza por este fenómeno en categoría baja. En la siguiente gráfica, se muestran la zonificación de amenaza por avenidas

torrenciales en el área urbana de La Punta y en los centros poblados rurales de Jacalito, Gratamira, La Cascajera, El Palmar, Los Pinos, Zoque y Vía a la Peña (Vereda Juaica). La información geomorfológica de cada uno de estos se anexa en la geodatabase del fenómeno.

La revisión realizada para cada uno de los centros poblados rurales muestra que en su mayoría se encuentra en geformas de origen fluvial asociada a la geforma de Planicie y depósitos lacustrinos (Fpi), la cual se encuentra en los centros poblados rurales de Zoque, Jacalito, Gratamira y Cascajera. Las geformas de origen estructural, asociadas a las laderas del Cerro de Juaica se encuentran en los centros poblados de Zoque, El Palmar, Juaica, y Cascajera, donde se evidencian laderas de contrapendiente estructural ligeramente inclinada (Slcedi), laderas de contrapendiente estructural moderadamente inclinada (Slcedli) y laderas de contrapendiente estructural ligeramente inclinada (Slcedmi) y laderas de contrapendiente estructural altamente inclinada (Slcedai).

También se observan laderas de sierra homoclinal denudada altamente inclinada en el centro poblado de Cascajera. Los centros poblados del Palmar y Cascajera también evidencian geformas de origen denudacional de tipo. Todas estas, no presentan características de tipo torrencial, asociado a zonas de inicio, transporte o depósito, lo cual las posiciona en áreas poco susceptibles a eventos de este fenómeno desde un análisis de tipo geomorfológico. El centro poblado rural de Los Pinos se encuentra sobre lóbulos coluviales y de soliflucción que, de acuerdo con las observaciones de campo y el análisis rural realizado para el modelamiento de amenaza por avenidas torrenciales a escala 1:25.000 no categoriza este centro poblado como susceptible a presentar fenómenos de avenidas torrenciales de tipo flujo, sin embargo si evidencia procesos morfodinámicos de movimientos en masa.

Gráfica 233. Elementos geomorfológicos para los centros poblados no prioritizados para el estudio 1:2000.

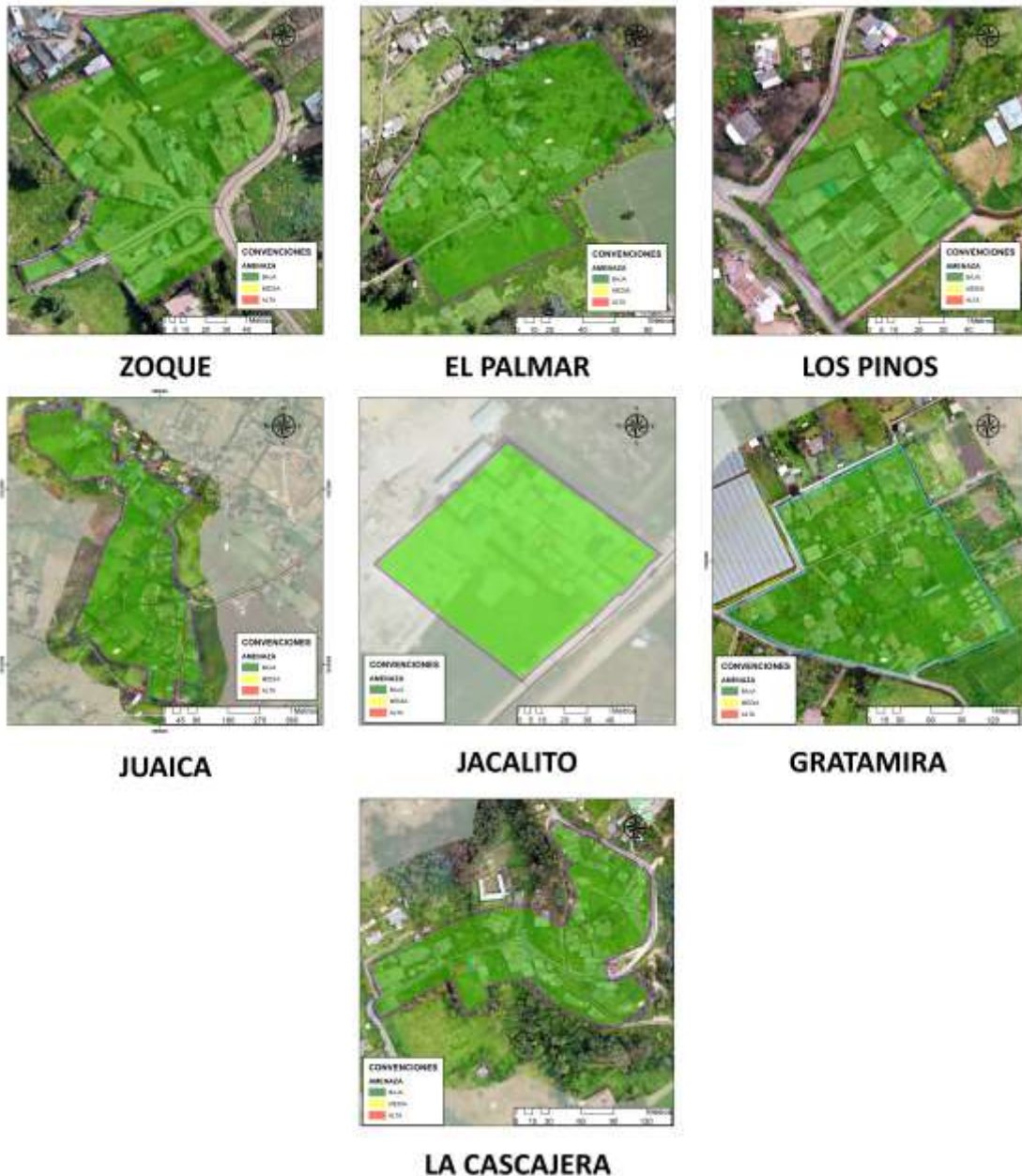


Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

Teniendo en cuenta el análisis geomorfológico realizado a cada uno de los centros poblados y el análisis rural a escala 1:25.000, se concluye que la amenaza para los centros poblados por fuera del área de estudio

1:2000 presentan amenaza baja por avenidas torrenciales, en la siguiente gráfica se muestra los planos de amenaza para cada centro poblado.

Gráfica 234. Zonificación de amenaza por avenidas torrenciales para los centros poblados rurales no priorizados para estudios 1:2000



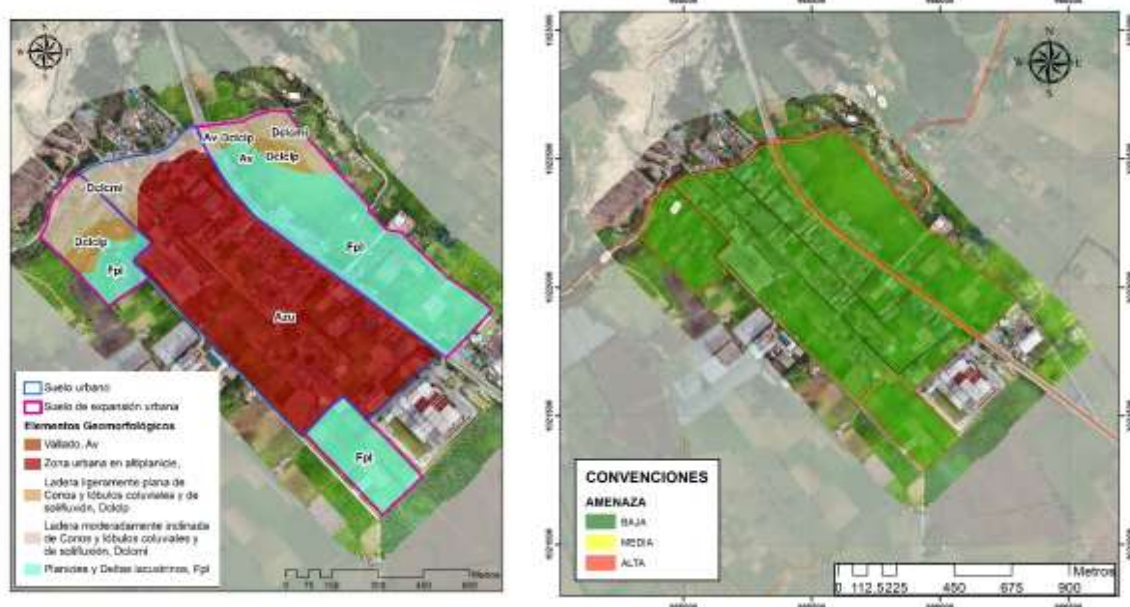
Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

Finalmente, se tiene que el suelo urbano de La Punta y sus suelos de expansión urbana presentan geformas de tipo fluvial principalmente, ya que se ubica en la zona de planicie y delta lacustrino (Fpi). En su borde noroeste se identifican zonas asociadas a laderas de origen denundacional de Conos y lóbulos coluviales y de solifluxión en laderas ligeramente y moderadamente inclinadas. Estas zonas reportan eventos asociados

a flujo de sedimentos desde explotaciones mineras (material de construcción) en el vecino municipio de Madrid.

El fenómeno presentado corresponde con inundaciones por manejo inadecuado del drenaje en el frente minero y no a fenómenos de avenidas torrenciales como tal. El estudio de este fenómeno detonado por acción antrópica (Explotación de arena para construcción) no es posible modelarlo como se aborda en el estudio del fenómeno de avenida torrencial del municipio, ya que influyen factores de los que no se tiene información asociada a la forma de extracción del material, cambio de las geoformas naturales del terreno y su drenaje, por lo cual es necesario hacer su evaluación puntual a través de metodologías de modelamiento hidráulico con carga de sedimentos en suspensión con información actual del terreno asociado al vecino municipio de Madrid. Por lo tanto la zonificación de amenaza por avenidas torrenciales para la zona urbana y de expansión urbana de La Punta se muestra en la siguiente grafica.

Gráfica 235. Mapa de elementos geomorfológicos (izquierda) y Zonificación de amenaza por avenidas torrenciales (derecha) en el suelo urbano de La Punta y suelo de expansión urbana



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.5.11 Delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza y riesgo por avenidas torrenciales

4.5.11.1 Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales para el centro poblado de Pan de Azúcar

Teniendo en cuenta lo establecido en el Decreto 1807 de 2014 compilado en el Decreto 1077 de 2015 para establecer las áreas con condición de amenaza presenta el Artículo 11. Delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza: "...se delimitan y zonifican aquellas áreas sin ocupar del suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales en las que en la revisión o en la expedición de un nuevo POT proponga su desarrollo. La identificación de estas áreas se realizó a partir del análisis de

las áreas zonificadas como de amenaza alta y media sin ocupar en los estudios básicos con aquellas que se consideren como objeto de desarrollo...”, dicho lo anterior, se presentan las 0.22 hectáreas que conforman las áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales para el centro poblado Pan de Azúcar para las cuales se deberán realizar estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo a escala 1:2.000.

Gráfica 236. Áreas en condición de amenaza por avenidas torrenciales para el centro poblado de Pan de Azúcar

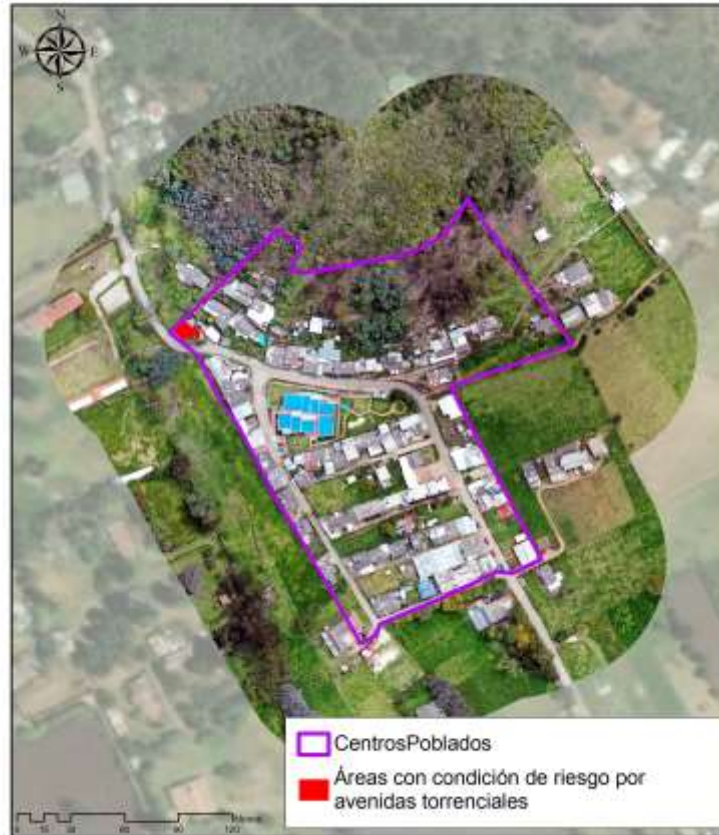


Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

4.5.11.2 Delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales para el centro poblado Pan de azúcar

Teniendo en cuenta lo establecido en el Decreto 1807 de 2014 compilado en el Decreto 1077 de 2015 para establecer las áreas con condición “...se delimitan y zonifican las áreas con condición de riesgo, a fin de priorizar las áreas en las cuales se deben realizar estudios detallados. La identificación de las áreas con condición de riesgo se realizará a partir del análisis de las áreas zonificadas como de amenaza alta en los estudios básicos, con la información cartográfica (predial o catastral entre otras) dispone que permita identificar la existencia de elementos expuestos, de áreas urbanizadas, ocupadas o edificadas, así como de aquellas en las que se encuentren edificaciones indispensables y líneas vitales.”, ...”, 0.009334 hectáreas de áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales para el centro poblado Pan de Azúcar para las cuales se deberán realizar estudios detallados de vulnerabilidad y riesgo a escala 1:2.000.

Gráfica 237. Mapa de condición de riesgo por avenidas torrenciales para el centro poblado de Pan de Azúcar

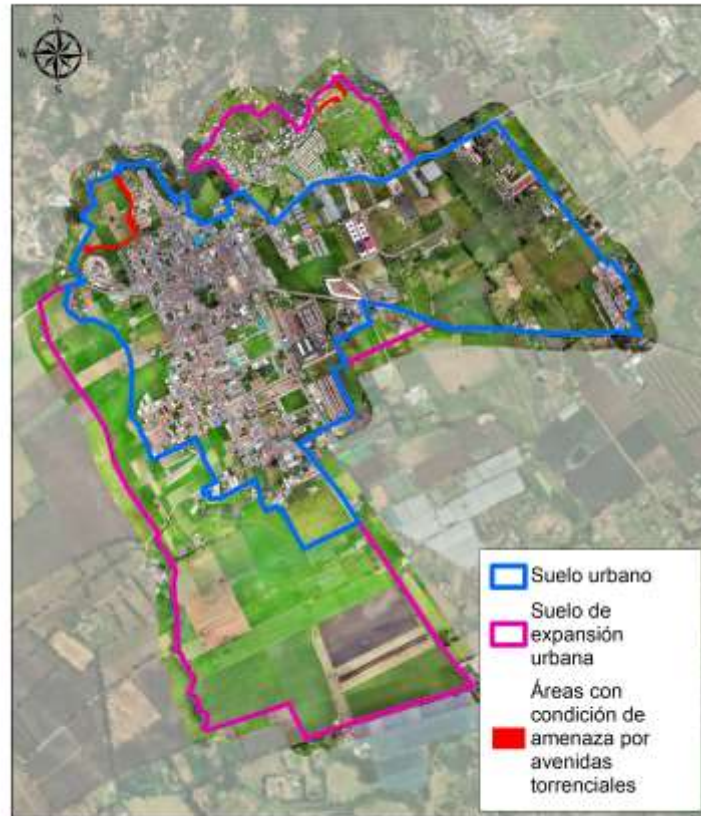


Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

4.5.11.3 Áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales para el suelo urbano de Tenjo y expansión urbana.

Teniendo en cuenta lo establecido en el Decreto 1807 de 2014 compilado en el Decreto 1077 de 2015 para establecer las áreas con condición de amenaza presenta el Artículo 11. Delimitación y zonificación de las áreas con condición de amenaza: “...se delimitan y zonifican aquellas áreas sin ocupar del suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales en las que en la revisión o en la expedición de un nuevo POT proponga su desarrollo. La identificación de estas áreas se realizará a partir del análisis de las áreas zonificadas como de amenaza alta y media sin ocupar en los estudios básicos con aquellas que se consideren como objeto de desarrollo...”, teniendo en cuenta la premisa descrita se presentan las 1.13 hectáreas que conforman las áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales para el suelo urbano de Tenjo y el suelo de expansión al noreste del área urbana, en el sector de Cementerio para las cuales se deberán realizar estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo a escala 1:2.000.

Gráfica 238. Áreas en condición de amenaza por avenidas torrenciales para suelo urbano de Tenjo y suelos de expansión urbana



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

4.5.11.4 Delimitación y zonificación de las áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales para el suelo urbano de Tenjo y zonas de expansión

Teniendo en cuenta lo establecido en el Decreto 1807 de 2014 compilado en el Decreto 1077 de 2015 para establecer las áreas con condición “...se delimitan y zonifican las áreas con condición de riesgo, a fin de priorizar las áreas en las cuales se deben realizar estudios detallados. La identificación de las áreas con condición de riesgo se realizará a partir del análisis de las áreas zonificadas como de amenaza alta en los estudios básicos, con la información cartográfica (predial o catastral entre otras) dispone que permita identificar la existencia de elementos expuestos, de áreas urbanizadas, ocupadas o edificadas, así como de aquellas en las que se encuentren edificaciones indispensables y líneas vitales.”, ...”, 0.011031 hectáreas de áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales para el suelo urbano de Tenjo, la cual se presentan en la parte alta del área urbana sobre red vial. En estas se deberán realizar estudios detallados de vulnerabilidad y riesgo a escala 1:2.000.

Gráfica 239. Mapa de condición de riesgo por avenidas torrenciales para el suelo urbano de Tenjo y zonas de expansión.



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

4.5.12 Áreas ocupadas de amenaza media por avenidas torrenciales

Las áreas de amenaza media en áreas urbanizadas se identificaron a partir de la foto interpretación de los ortofotomosaicos tomados en el área urbana, expansión urbana y en el centro poblado Pan de Azúcar, teniendo en cuenta que en dichos suelos fue donde se realizó la zonificación de la amenaza a escala 1:2.000 acorde a lo estipulado en el Decreto 1077 de 2015. Las áreas ocupadas corresponden a viviendas o infraestructura vial en el perímetro de dichos suelos.

Para el suelo urbano se tienen 0.23 ha, ubicadas hacia el norte del perímetro. Mientras que en el centro poblado Pan de Azúcar estas se ubican en todo el sector oriental de este y corresponden a 0.468401 ha.

Gráfica 240 Áreas ocupadas de amenaza media por avenidas torrenciales en suelo urbano



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

Gráfica 241 Áreas ocupadas de amenaza media por avenidas torrenciales en el centro poblado Pan de Azúcar



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021.

4.6 Estudio básico de la amenaza por incendios forestales

En el año 2009, el IDEAM generó el “Mapa Nacional de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal a escala 1:500.000”, ejercicio que acogió los desarrollos conceptuales, metodológicos y técnicos de los últimos años relacionados con la teoría de gestión del riesgo e incorporó un componente informático para permitir su actualización, en la medida que se dispusiera de nueva y/o mejor información temática, con procesos y análisis estandarizados y con posibilidades de implementar esta metodología a diferentes escalas y en zonas piloto, con el fin de validar los procesos y contar con un producto actual, oportuno, veraz y confiable.

A partir de la necesidad de proporcionar insumos de mayor detalle a nivel regional, en el año 2010, el IDEAM desarrolló un Protocolo para la elaboración de mapas de zonificación de riesgos a incendios, a escala 1:100.000, y a manera de fichas secuenciales, con el fin de brindarlo como insumo a las autoridades regionales y locales encargadas de la gestión del riesgo (CAR’s, gobernaciones, municipios y áreas del Sistema Nacional de Parques Nacionales Naturales –UAESPNN). Lo anterior para que, a partir de este, pudieran desarrollar sus mapas de riesgo regional, con el beneficio de contar con una metodología estandarizada, pero que permitiera incluir las particularidades locales.

Es así como, entre los años 2013 y 2014 el IDEAM a través del proyecto de vulnerabilidad fiscal realizó los “Mapas de zonificación de riesgo a incendios de la cobertura vegetal para tres corporaciones”: CAR Cundinamarca, CDMB y CORMACARENA, con el fin de propender por la articulación institucional de las entidades competentes en la temática de incendios. “Protocolo para la Realización de Mapas de Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal. Escala 1:100.000 / Ajustado.

Teniendo en cuenta lo anterior, se tomó este documento como guía para aplicar la metodología a una escala 1:25.000 en el Municipio de Tenjo y la temática de coberturas se trabajó bajo la metodología Corine Land Cover. Este estudio básico facilita las actividades de planificación, la prevención y la mitigación para reducir los impactos de la ocurrencia de los incendios forestales.

La gestión y actividades orientadas a la Prevención y Control de los Incendios Forestales tienen su fundamento en la Constitución Política de Colombia de 1991, que establece el deber de emprender acciones tendientes a lograr el desarrollo humano sostenible, entendido como aquel que satisface las necesidades de las generaciones del presente sin comprometer las opciones de bienestar de aquellas que poblarán el territorio en el futuro. Lo anterior se fundamenta en la Ley 46 de 1988 que creó el “Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres (SNPAD)” y el Decreto 919 de 1989 que organizó dicho sistema.

Esta norma considera que los Planes de Desarrollo de todas las entidades territoriales deben incorporar el componente de prevención de desastres y los Comités para la Prevención y Atención de Desastres, tanto el nacional, como los regionales y locales (CDGRD y CMGRD), deben elaborar los respectivos Planes de Contingencia para la atención adecuada y oportuna de las emergencias y desastres.

Así mismo, la Ley 99 de 1993 que creó el Sistema Nacional Ambiental (SINA), asignó funciones específicas a las autoridades ambientales en materia de atención y prevención de desastres con el propósito de proteger el medio ambiente y mediante el Decreto 2340 de 1997 se crearon las Comisiones Asesoras para la prevención y mitigación de Incendios Forestales en el nivel nacional, regional y local, asignándoles funciones y responsabilidades. En 1996, mediante la Ley 322 se creó el Sistema Nacional de Bomberos con el propósito de fortalecer su organización, funcionamiento y especificando que todos los incendios deben ser atendidos por el cuerpo de bomberos. Mediante el Decreto 93 de 1998 se adoptó el Plan Nacional para

la Prevención y Atención de Desastres con el objeto de “Orientar las acciones del Estado y de la sociedad civil para la prevención y mitigación de riesgos, los preparativos para la atención y recuperación en caso de desastre, contribuyendo a reducir el riesgo y al desarrollo sostenible de las comunidades vulnerables ante los eventos naturales y antrópicos.”

El Código Penal (Ley 599 de 2000), considera los incendios como delito de peligro común, que pueden ocasionar grave perjuicio para la comunidad. Específicamente, en el artículo 3502, establece sanciones cuando este tipo de eventos se suceden “... en bosque, recurso florístico o en área de especial importancia ecológica”

Por otro lado, el documento CONPES 2834 de 1996 “Política de Bosques” estableció la necesidad de formular y poner en marcha el “Programa Nacional para la Prevención, Control y Extinción de Incendios Forestales y rehabilitación de áreas afectadas”, el cual debe articularse al Plan Nacional para la Prevención y Atención de Desastres y operar dentro del Sistema Nacional Ambiental y el Sistema Nacional para la Prevención y Atención de Desastres. Posteriormente el CONPES 2948 de 1997 recomendó acciones para prevenir y mitigar los posibles efectos del Fenómeno del Niño 1997-1998. De otra parte, el Plan Nacional de Desarrollo Forestal aprobado por el Consejo Nacional Ambiental en el 2000 (CONPES 3125/01), estableció el Subprograma “Protección en Incendios Forestales”, determinando que deben formularse planes de contingencia regionales y municipales contra incendios forestales; la consolidación de la Red Nacional de los Centros Regionales de Respuesta Inmediata; y el Desarrollo e implementación de mecanismos y sistemas de detección y monitoreo de Incendios Forestales.

4.6.1 Análisis de la zonificación de la amenaza por incendios forestales de la Actualización del Plan de Ordenación de la Cuenca Hidrográfica del Río Bogotá

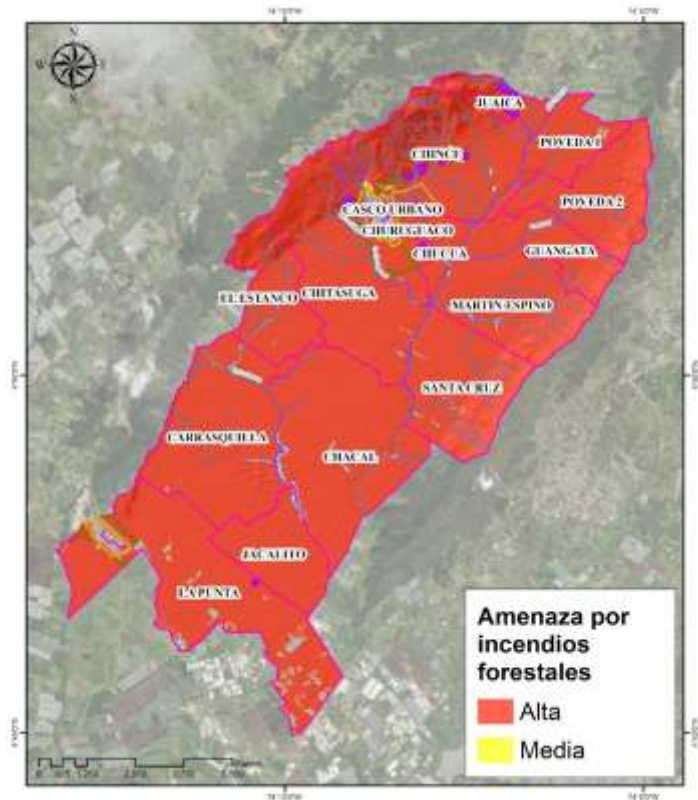
Los análisis de los contenidos del POMCA del Río Bogotá para el componente de gestión del riesgo incluyen la zonificación de susceptibilidad, amenaza, vulnerabilidad y riesgo por incendios forestales a escala 1:25.000.

Tabla 93 Distribución en área y porcentual de la amenaza por incendios forestales del POMCA río Bogotá para el municipio de Tenjo

Amenaza	Alto		Medio		Bajo		Total zonificación Área (ha) y Porcentaje (%) Municipio de Tenjo	
	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%	Área (ha)	%
Incendios forestales	11036,16	96,99	42,32	0,37	0,00	0,00	11078,48	97,36
Total área municipio de Tenjo: 11378,74 ha								

Fuente: (CAR, 2019)

Gráfica 242 Amenaza por incendios forestales del POMCA rio Bogotá para el municipio de Tenjo



Fuente: (CAR, 2019)

Sin embargo, zonificación de la amenaza por incendios forestales se volvió a calcular para los presentes estudios, según lo consignado en el Protocolo para la Realización de Mapas de Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal, Escala 1:100.000 / Ajustado; con el fin de incluir el análisis de dos variables adicionales (radiación solar y vientos), lo cual permitió determinar con mayor precisión dicha amenaza en el municipio de Tenjo.

4.6.2 Insumos

Los insumos empleados para la zonificación de la amenaza por incendios de la cobertura vegetal para el suelo rural del municipio de Tenjo corresponden a los señalados en el “Protocolo para la Realización de Mapas de Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal. Escala 1:100.000 / Ajustado”, así:

- Coberturas
- Precipitación
- Temperatura
- Vientos
- Radiación solar
- Frecuencia
- Pendientes
- Accesibilidad

4.6.3 Metodología

En este ítem se presenta el paso a paso de la aplicación de la metodología establecida en el “*Protocolo para la Realización de Mapas de Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal. Escala 1:100.000 / Ajustado*”. Esta consiste en primero, determinar la susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal a partir del análisis y evaluación las coberturas de la tierra; y a partir de ello calcular la amenaza incorporando factores de tipo climático como la precipitación, temperatura, vientos y radiación solar, así como el factor físico como es el caso de las pendientes del terreno, factor de accesibilidad y factor histórico que corresponde a la frecuencia de ocurrencia de incendios forestales en el área de estudio.

4.6.3.1 Normalización, clasificación, calificación y categorización de la susceptibilidad y amenaza por incendios de la cobertura vegetal

Se definió un criterio coherente para integrar las variables con las cuales serán obtenidos los mapas de susceptibilidad y amenaza, por lo tanto, se estableció una ponderación para cada una de las variables en función de su importancia como factor detonante para la ocurrencia de incendios forestales.

El “*Protocolo para la Realización de Mapas de Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal. Escala 1:100.000 / Ajustado*”, se basa en el “*Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal*” del IDEAM; por tanto, la definición de puntajes, categorías y rangos, así como la normalización de los datos, se realizó siguiendo las especificaciones establecidas en esta metodología.

4.6.3.2 Normalización de variables y factores

La normalización de las variables y factores fue de suma importancia para la obtención de los resultados finales del presente estudio básico para la amenaza por incendios forestales, pues tal como lo establece la guía metodológica, los insumos intermedios presentan diferencias entre las escalas sobre las cuales se miden las variables y factores. Por lo anterior, fue necesario definir un procedimiento que permitiera integrarlas, de manera que al momento de realizar el procedimiento denominado álgebra de mapas, los datos estuvieran correlacionados y arrojaran resultados que pudieran ser agrupados adecuadamente. Para la normalización de los datos, se hizo uso de la lógica difusa (Fuzzy), utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Factor Normalizado} = \frac{(X - \text{Min})}{(\text{Max} - \text{Min})}$$

Donde:

X: Valor que adquiere el factor en un lugar específico del área de estudio

Min: Valor mínimo del factor en toda el área de estudio

Max: Valor máximo presentado por el factor en toda el área de estudio

4.6.3.3 Estandarización de datos

Una vez fueron normalizadas las variables y los factores se procedió a realizar una agrupación de los mismos bajo una distribución de frecuencias. El “*Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos*”

a incendios de la cobertura vegetal. Escala 1:100.000” establece que los datos normalizados deben ser agrupados en 5 rangos, generando el tamaño de cada rango a partir de la amplitud de los valores generados mediante la siguiente ecuación:

$$\text{Amplitud del rango} = \frac{(\text{Max1} - \text{Min1})}{N}$$

Donde:

N: Número total de datos de cada factor

Min: Valor mínimo normalizado del factor en toda el área de estudio

Max: Valor máximo normalizado del factor en toda el área de estudio

De esta manera se establecieron los criterios de calificación necesarios para realizar la integración de variables, generando cinco (5) rangos que corresponden a seis (6) categorías de amenaza y una categoría denominada “sin información”, tal como se presenta a continuación:

Tabla 94 Estandarización de datos según metodología IDEAM

Calificación	Categoría susceptibilidad total
0	Sin riesgo
1	Muy Baja
2	Baja
3	Moderada
4	Alta
5	Muy Alta
6	Sin información

(CAR, 2014)

Sin embargo, el “Protocolo para la Realización de Mapas de Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal. Escala 1:100.000 / Ajustado”, que es el marco metodológico seguido para la elaboración del presente estudio, ya define los valores de asignación para categorizar las variables en determinado grupo o categoría. A continuación, se presentan las categorías definidas por la guía metodológica para la agrupación de datos:

Tabla 95 Estandarización de datos según metodología CAR

Ponderación susceptibilidad total	Calificación susceptibilidad total	Categoría susceptibilidad total
0	0	Sin riesgo
0.01-0.20	1	Muy Baja
0.21-0.40	2	Baja
0.41-0.60	3	Moderada
0.61-0.80	4	Alta
0.81-1.00	5	Muy Alta
Sin información	Sin información	Sin información

Fuente: (CAR, 2014)

La guía metodológica establece que los rangos de frecuencia deben categorizarse tal como se presentan en la tabla anterior. Sin embargo, fue necesario realizar un ajuste en los rangos de frecuencia, de manera que los datos al ser agrupados, den alcance a lo establecido en el Decreto 1807 de 2014, compilado en el Decreto 1077 de 2015, en cuanto a que la zonificación de los estudios básicos de amenaza debe ser agrupados en

tres (3) categorías denominadas Baja, Media y Alta. Por lo tanto, dando alcance a la guía metodológica y a lo señalado en el Decreto 1077 de 2015, se realizó la siguiente categorización de las variables:

Tabla 96 Estandarización de datos

Ponderación susceptibilidad total	Fuente especificada no válida.		Decreto 1077 de 2015	
	Calificación susceptibilidad total	Categoría susceptibilidad total	Calificación susceptibilidad total	Categoría susceptibilidad total
0	0	Sin riesgo	0	Sin riesgo
0.01-0.20	1	Muy Baja	1	Baja
0.21-0.40	2	Baja		
0.41-0.60	3	Moderada	2	Media
0.61-0.80	4	Alta		
0.81-1.00	5	Muy Alta	3	Alta
Sin información	Sin información	Sin información		
			Sin información	Sin información

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021 basados en (CAR, 2014)

4.6.3.4 Ponderación de variables

Además de la normalización y estandarización de datos fue necesario definir pesos a cada una de las variables, según su grado de importancia en la ocurrencia de un incendio de la cobertura vegetal. Al respecto, la guía metodológica, a partir de procedimientos cualitativos basados en ponderaciones realizadas por expertos, define las siguientes ecuaciones y ponderaciones para el cálculo de la susceptibilidad y amenaza. La manera en cómo se efectuaron las ecuaciones presentadas a continuación, fue mediante el uso de herramientas de geoprocésamiento aplicando álgebra de mapas.

$$Susc_{Total} = Susc_{Tipo} * 0.35 + Susc_{Duración} * 0.35 + Susc_{Carga} * 0.30$$

$$Amenaza_{Total} = A_{PP} * 0.20 + A_{TP} * 0.20 + A_{VT} * 0.10 + A_{BS} * 0.07 + A_{PT} * 0.07 + A_{FR} * 0.10 + A_{AC} * 0.09 + Susc_{TOTAL} * 0.17$$

4.6.4 Susceptibilidad a incendios de la cobertura vegetal en el suelo rural del municipio de Tenjo

Conforme lo establece el Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno del Niño – CIIFEN, la susceptibilidad hace referencia al grado de fragilidad interna de un sujeto, objeto o sistema para enfrentar una amenaza y recibir un posible impacto debido a la ocurrencia de un evento adverso (CIIFEN, 2020); El análisis de la susceptibilidad para el fenómeno de incendios forestales del municipio de Tenjo, busca identificar las características pirogénicas de los tipos de combustibles presentes en las coberturas que tienen jurisdicción en su territorio, permitiendo identificar las zonas del Municipio que pueden llegar a ser más o menos susceptibles ante la incidencia de factores externos que puedan desencadenar un fuego, bien sea este producto de una acción natural o antrópica

La identificación de la susceptibilidad de la vegetación a un incendio de la cobertura vegetal se obtiene al evaluar los factores de Tipo de Combustible, Carga del Combustible y Duración del Combustible.

4.6.4.1 Susceptibilidad por tipo de combustible

La susceptibilidad por tipo de combustible busca determinar la facilidad con que un combustible, entendiéndose para el caso de esta metodología la cobertura vegetal, puede comenzar su ignición ante la influencia de un agente externo. A continuación, en las siguientes tabla y figura se presenta la categorización de susceptibilidad y la distribución espacial del tipo de combustible por cobertura.

Tabla 97 Calificación y categorización de las coberturas por tipo de combustible

N3 CLC	Cobertura	Calificación - Tipo de combustible	Categoría CAR - IDEAM	Área (ha)
111	Tejido urbano continuo	0	Sin Riesgo	12.73
112	Tejido urbano discontinuo	0	Sin Riesgo	30.41
121	Zonas industriales o comerciales	0	Sin Riesgo	62.63
122	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	0	Sin Riesgo	16.72
211	Otros cultivos transitorios	4	Alta	1544.88
224	Cultivos agroforestales	3	Media	7.92
225	Cultivos confinados	4	Alta	263.84
231	Pastos limpios	5	Alta	7365.44
232	Pastos arbolados	5	Alta	71.71
233	Pastos enmalezados	5	Alta	40.46
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	3	Media	5.97
314	Bosque de galería y/o ripario	1	Baja	132.59
315	Plantación forestal	1	Baja	5.28
322	Arbustal	3	Media	1244.19
323	Vegetación secundaria o en transición	2	Baja	15.68
333	Tierras desnudas y degradadas	0	Sin Riesgo	47.20
512	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	0	Sin Riesgo	63.31
513	Canales	0	Sin Riesgo	13.78
514	Cuerpos de agua artificiales	0	Sin Riesgo	45.92

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021 basados en (CAR, 2014)

Definidos los puntajes para la generación del mapa por tipo de combustible conforme lo establece la metodología, y realizada la respectiva normalización de los datos, se efectuó una recategorización de los rangos para dar alcance a lo establecido en el Decreto 1807 de 2014, compilado en el Decreto 1077 de 2015, en lo que respecta a la definición de tres rangos (Alto, Medio y Bajo). A continuación, se presenta la definición de los rangos:

Tabla 98 Definición de categorías y puntajes para la susceptibilidad por tipo de combustible

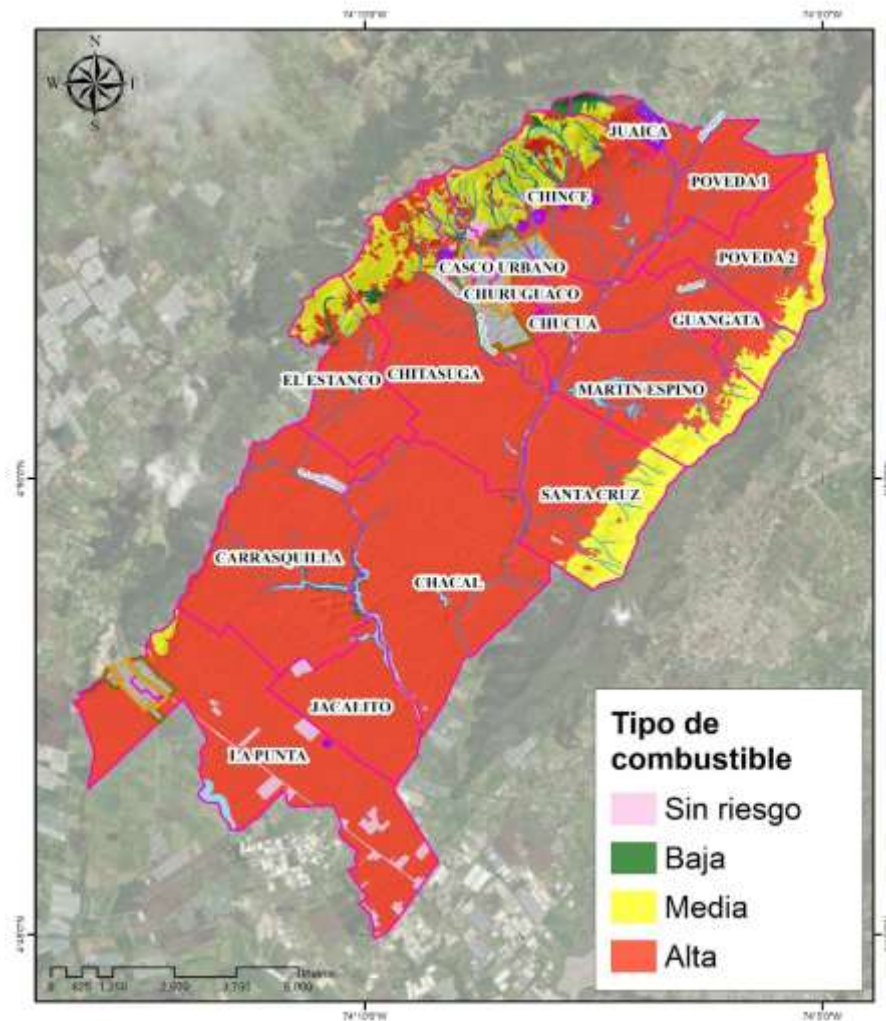
Rangos de Ponderación	Categorización Fuente especificada no válida.		Categorización Decreto 1077 de 2015	
	Calificación	Categoría	Calificación	Categoría
0	0	Sin riesgo	0	Sin riesgo
0.01-0.20	1	Muy Baja	1	Baja

Rangos de Ponderación	Categorización Fuente especificada no válida.		Categorización Decreto 1077 de 2015	
	Calificación	Categoría	Calificación	Categoría
0.21-0.40	2	Baja		
0.41-0.60	3	Moderada	2	Media
0.61-0.80	4	Alta		
0.81-1.00	5	Muy Alta	3	Alta

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021 basados en (CAR, 2014)

La susceptibilidad alta por tipo de combustible es predominante en toda la jurisdicción del municipio de Tenjo, sin embargo, se presentan áreas con susceptibilidad media y baja para el atributo en mención en las veredas de Juaiuca, Chince, Churuguaco, Chitasugá, El Estanco, La Punta, Santa Cruz, Martín Espino, Guangata y Poveda 2.

Gráfica 243 Susceptibilidad por tipo de combustible



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.6.4.2 Susceptibilidad por carga de combustible

El análisis de susceptibilidad por carga de combustible busca establecer la cantidad de biomasa disponible en el territorio para ser consumida por el fuego en caso de presentarse un incendio de la cobertura vegetal. A continuación, en las siguientes tabla y figura se presenta la categorización de susceptibilidad y la distribución espacial de carga de combustible por cobertura.

Tabla 99 Calificación y categorización de las coberturas por carga de combustible

N3 CLC	Cobertura	Calificación - Carga de combustible	Categoría CAR - IDEAM	Área (ha)
111	Tejido urbano continuo	0	Sin Riesgo	12.73
112	Tejido urbano discontinuo	0	Sin Riesgo	30.41
121	Zonas industriales o comerciales	0	Sin Riesgo	62.63
122	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	0	Sin Riesgo	16.72
211	Otros cultivos transitorios	2	Baja	1544.88
224	Cultivos agroforestales	3	Media	7.92
225	Cultivos confinados	2	Baja	263.84
231	Pastos limpios	2	Baja	7365.44
232	Pastos arbolados	2	Baja	71.71
233	Pastos enmalezados	2	Baja	40.46
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	3	Media	5.97
314	Bosque de galería y/o ripario	4	Alta	132.59
315	Plantación forestal	4	Alta	5.28
322	Arbustal	3	Media	1244.19
323	Vegetación secundaria o en transición	3	Media	15.68
333	Tierras desnudas y degradadas	0	Sin Riesgo	47.20
512	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	0	Sin Riesgo	63.31
513	Canales	0	Sin Riesgo	13.78
514	Cuerpos de agua artificiales	0	Sin Riesgo	45.92

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021 basados en (CAR, 2014)

Definidos los puntajes para la generación del mapa por carga de combustible conforme lo establece la metodología, y realizada la respectiva normalización de los datos, se efectuó una recategorización de los rangos para dar alcance a lo establecido en el Decreto 1807 de 2014, compilado en el Decreto 1077 de 2015, en lo que respecta a la definición de tres rangos (Alto, Medio y Bajo). A continuación, se presenta la definición de los rangos:

Tabla 100 Definición de categorías y puntajes para la susceptibilidad por carga de combustible

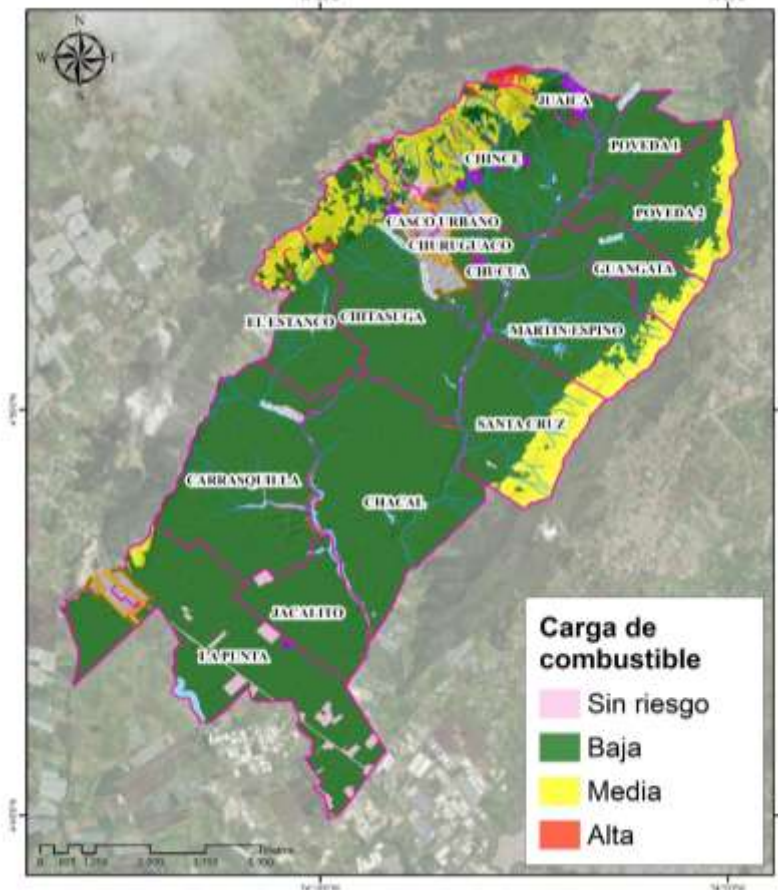
Rangos de Ponderación	Categorización Fuente especificada no válida.		Categorización Decreto 1077 de 2015	
	Calificación	Categoría	Calificación	Categoría
0	0	Sin riesgo	0	Sin riesgo

Rangos de Ponderación	Categorización Fuente especificada no válida.		Categorización Decreto 1077 de 2015	
	Calificación	Categoría	Calificación	Categoría
0.01-0.20	1	Muy Baja	1	Baja
0.21-0.40	2	Baja		Baja
0.41-0.60	3	Moderada		2
0.61-0.80	4	Alta	3	Alta
0.81-1.00	5	Muy Alta		

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021 basados en (CAR, 2014)

La susceptibilidad baja por carga de combustible es predominante en toda la jurisdicción del municipio de Tenjo, sin embargo, se presentan áreas con susceptibilidad media y alta para el atributo en mención en las veredas de Juaica, Chince, Churuguaco, Chitasugá, El Estanco, La Punta, Santa Cruz, Martín Espino, Guangata y Poveda 2.

Gráfica 244 Susceptibilidad por carga de combustible



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.6.4.3 Susceptibilidad por duración de combustible

La susceptibilidad por duración del combustible analiza el tiempo que puede durar un combustible en ignición como consecuencia de un incendio de la cobertura vegetal. A continuación, en las siguientes tabla

y figura se presenta la categorización de susceptibilidad y la distribución espacial de duración de combustible por cobertura.

Tabla 101 Calificación y categorización de las coberturas por duración de combustible

N3 CLC	Cobertura	Calificación - Duración de combustible	Categoría CAR - IDEAM	Área (ha)
111	Tejido urbano continuo	0	Sin Riesgo	12.73
112	Tejido urbano discontinuo	0	Sin Riesgo	30.41
121	Zonas industriales o comerciales	0	Sin Riesgo	62.63
122	Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	0	Sin Riesgo	16.72
211	Otros cultivos transitorios	2	Baja	1544.88
224	Cultivos agroforestales	2	Baja	7.92
225	Cultivos confinados	1	Baja	263.84
231	Pastos limpios	1	Baja	7365.44
232	Pastos arbolados	1	Baja	71.71
233	Pastos enmalezados	1	Baja	40.46
244	Mosaico de pastos con espacios naturales	2	Baja	5.97
314	Bosque de galería y/o ripario	3	Media	132.59
315	Plantación forestal	3	Media	5.28
322	Arbustal	2	Baja	1244.19
323	Vegetación secundaria o en transición	2	Baja	15.68
333	Tierras desnudas y degradadas	0	Sin Riesgo	47.20
512	Lagunas, lagos y ciénagas naturales	0	Sin Riesgo	63.31
513	Canales	0	Sin Riesgo	13.78
514	Cuerpos de agua artificiales	0	Sin Riesgo	45.92

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021 basados en (CAR, 2014)

Definidos los puntajes para la generación del mapa por duración de combustible conforme lo establece la metodología, y realizada la respectiva normalización de los datos, se efectuó una recategorización de los rangos para dar alcance a lo establecido en el Decreto 1807 de 2014, compilado en el Decreto 1077 de 2015, en lo que respecta a la definición de tres rangos (Alto, Medio y Bajo). A continuación, se presenta la definición de los rangos:

Tabla 102 Definición de categorías y puntajes para la susceptibilidad por duración de combustible

Rangos de Ponderación	Categorización Fuente especificada no válida.		Categorización Decreto 1077 de 2015	
	Calificación	Categoría	Calificación	Categoría
0	0	Sin riesgo	0	Sin riesgo
0.01-0.20	1	Muy Baja	1	Baja
0.21-0.40	2	Baja		
0.41-0.60	3	Moderada	2	Media
0.61-0.80	4	Alta		
0.81-1.00	5	Muy Alta	3	Alta

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021 basados en (CAR, 2014)

La susceptibilidad baja por duración de combustible es predominante en toda la jurisdicción del municipio de Tenjo, sin embargo, se presentan áreas con susceptibilidad media para el atributo en mención en las veredas de Juaica, Chince, Churuguaco, Chitasugá, Carrasquilla y Chacal.

Gráfica 245 Susceptibilidad por duración de combustible



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.6.4.4 Susceptibilidad total de la cobertura a presentar incendios de la cobertura vegetal

La susceptibilidad total de la vegetación busca analizar mediante la identificación y valoración de la condición pirogénica de la cobertura vegetal, cuál sería su comportamiento en caso de presentarse un incendio de la cobertura vegetal. Para ello y mediante el uso de herramientas de geoprocésamiento, se realizó una superposición espacial de los insumos temáticos presentados anteriormente (tipo, carga y duración de combustible).

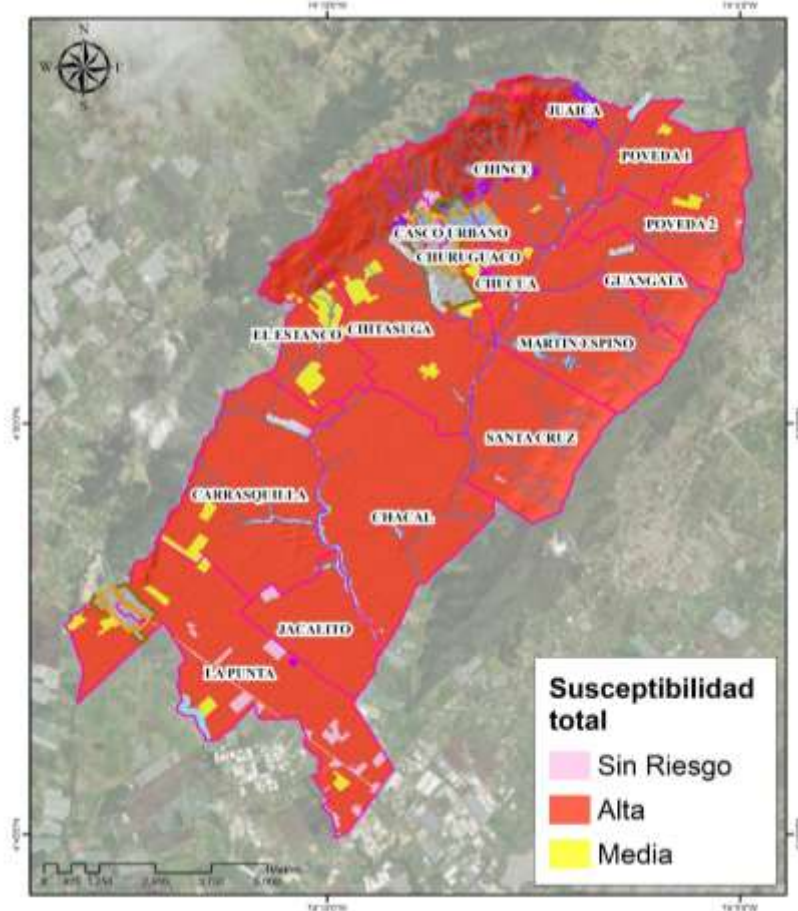
Para la obtención de la susceptibilidad total se hizo uso de la herramienta álgebra de mapas implementando la ecuación que para tal fin se define en la guía metodológica, así:

$$Susc_{Total} = Susc_{Tipo} * 0.35 + Susc_{Duración} * 0.35 + Susc_{Carga} * 0.30$$

A continuación, se presenta la distribución espacial y en área para la zonificación de la susceptibilidad total de la vegetación a presentar incendios de la cobertura vegetal en el suelo rural del municipio de Tenjo.

La susceptibilidad total de la vegetación a presentar incendios de la cobertura vegetal en la mayoría del territorio (94.88%) es de tipo alta y media. También, a lo largo de la jurisdicción se presentan áreas sin riesgo. Estas son zonas cuya cobertura identificada corresponden a tejidos urbanos continuos y discontinuos, zonas industriales o comerciales, red vial, ferroviaria y terrenos asociados, tierras desnudas y degradadas, lagunas, lagos y ciénagas naturales, canales y cuerpos de agua artificiales

Gráfica 246 Susceptibilidad total de la vegetación a presentar incendios de la cobertura vegetal



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Tabla 103 Distribución en área y porcentaje de la susceptibilidad total de la vegetación a presentar incendios de la cobertura vegetal

Susceptibilidad Total	Área (ha)	(%)
Sin Riesgo	279.52	2.55
Media	283.00	2.58
Alta	10418.44	94.88
Total	10980.97	100.00

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.6.5 Amenaza por incendios de la cobertura vegetal

En Colombia se estima que la casi totalidad de los incendios forestales son de origen antrópico, bien sean generados intencionalmente para la ampliación de la frontera agropecuaria, o por negligencia al no tomar las precauciones adecuadas, sobre todo en las quemadas agrícolas; por descuido (fumadores, fogatas, pólvora y cacería de animales, entre otros.); accidentales (caída de líneas eléctricas sobre la vegetación o roce de las mismas con los árboles) y por atentados terroristas.

Con la identificación de las amenazas presentes en el municipio de Tenjo que puedan potenciar el fenómeno de incendios forestales, se busca determinar cuáles son los factores presentes en el territorio que de alguna manera pueden contribuir en el origen, intensificación y durabilidad de un incendio forestal, así como las consecuencias que podría tener en el territorio.

Para la determinación de la amenaza por incendios de la cobertura vegetal en el suelo rural del municipio de Tenjo se tuvieron en cuenta los siguientes factores según lo establecido

- Factores climáticos: Precipitación, temperatura, brillo solar y vientos
- Factor físico: Pendientes
- Factor Accesibilidad: Accesibilidad
- Factor Histórico: Frecuencia
- Factor susceptibilidad total

4.6.5.1 Factores climáticos

El clima es uno de los factores de fundamental importancia en la generación y propagación de los incendios forestales, pues determina la duración y la severidad de las estaciones secas y calurosas en un área geográfica determinada, lo cual influye directamente sobre la humedad y la cantidad de combustible disponible de fácil ignición y con mayor probabilidad de ser afectado por el fuego.

4.6.5.1.1 Amenaza por precipitación

La amenaza por precipitación fue determinada al evaluar la el rango de precipitación media anual para el municipio de Tenjo determinado en el Ajuste del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Bogotá, 2019. Para la clasificación de las categorías y la asignación de puntajes se implementaron los rangos establecidos en el “Protocolo para la Realización de Mapas de Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal. Escala 1:100.000 / Ajustado“ (CAR, 2014)”; dichos rangos fueron ajustados para dar alcance a lo establecido en el Decreto 1807 de 2014, compilado por el Decreto 1077 de 2015, tal como se presenta a continuación.

Tabla 104 Definición de rangos y puntajes para determinar la amenaza por precipitación

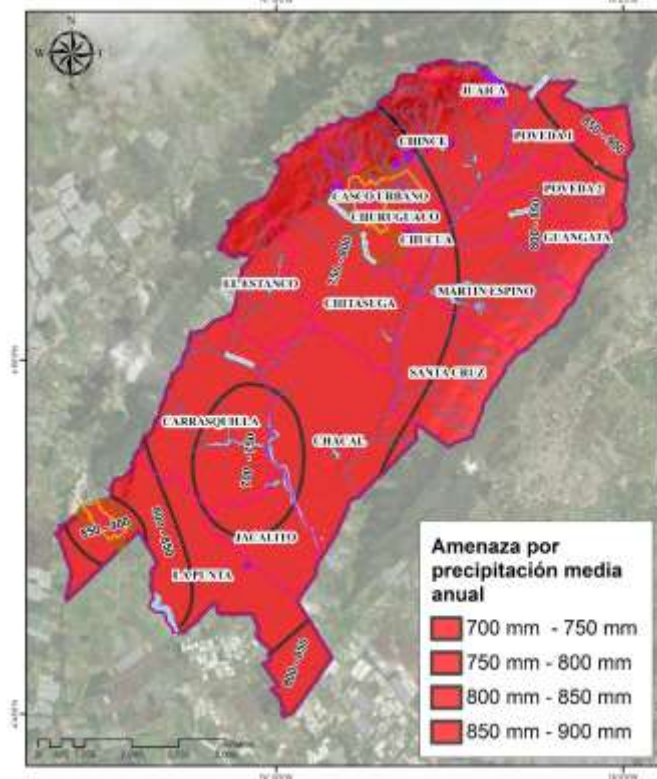
Precipitación Media Anual (mm)	Categorización Fuente especificada no válida.		Categorización Decreto 1077 de 2015	
	Calificación	Categoría	Calificación	Categoría
> 7.000	1	Muy Baja	1	Baja
3.000 - 7.000	2	Baja		
2.000 - 3.000	3	Moderada	2	Media
1.000 – 2.000	4	Alta	3	Alta

Precipitación Media Anual (mm)	Categorización Fuente especificada no válida.		Categorización Decreto 1077 de 2015	
	Calificación	Categoría	Calificación	Categoría
< 1.000	5	Muy Alta		

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021 basados en (CAR, 2014)

La amenaza por precipitación en toda la jurisdicción del municipio de Tenjo es de tipo alta, pues presentan valores < 1.000 mm en rangos de 700 mm – 750 mm, 750 mm - 800 mm, 800 mm – 850 mm y 850 mm – 900 mm, como se presenta en la siguiente gráfica.

Gráfica 247 Amenaza por precipitación



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021 basados en (CAR, 2014)

4.6.5.1.2 Amenaza por temperatura

La amenaza por temperatura influye en el contenido de humedad de la vegetación y la aparición de corrientes de aire que se elevan desde los suelos calientes. Estas ocurren en los meses de mínimas precipitaciones, especialmente al mediodía y a primeras horas de la tarde.

La amenaza por precipitación fue determinada al evaluar la el rango de temperatura media anual para el municipio de Tenjo determinado en el Ajuste del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Bogotá, 2019. Para la clasificación de las categorías y la asignación de puntajes se implementaron los rangos establecidos en el “Protocolo para la Realización de Mapas de Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal. Escala 1:100.000 / Ajustado“ (CAR-IDEAM, 2014)”. Dichos rangos

fueron ajustados para dar alcance a lo establecido en el Decreto 1807 de 2014, compilado por el Decreto 1077 de 2015, tal como se presenta a continuación.

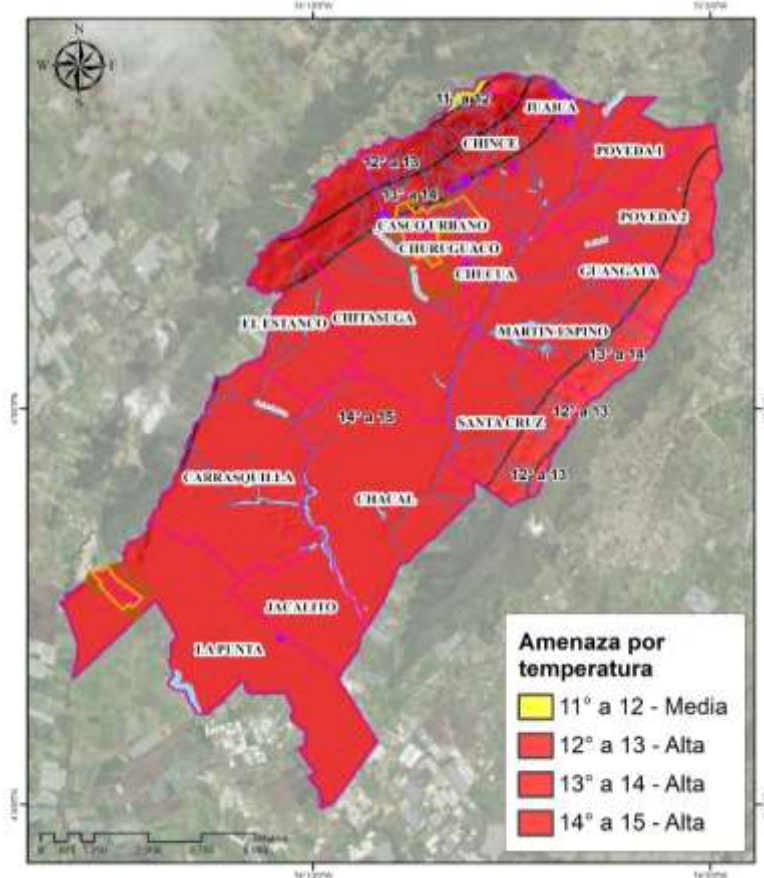
Tabla 105 Definición de rangos y puntajes para determinar la amenaza por temperatura

Temperatura Media Anual (°C)	Categorización Fuente especificada no válida.		Categorización Decreto 1077 de 2015	
	Calificación	Categoría	Calificación	Categoría
< 6°	1	Muy Baja		
6° - 12°	2	Baja	1	Baja
12° - 18°	3	Moderada	2	Media
18° - 24°	4	Alta		
> 24°	5	Muy Alta	3	Alta

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021 basados en (CAR, 2014)

La amenaza por temperatura en el municipio es de tipo media (11° - 12°) en la parte norte de la vereda de Chince y alta (12° - 13°, 13° -14° y 14° - 15°) en el resto del territorio, es decir, en las veredas de Carrasquilla, Casco Urbano, Chacal, Chince, Chitasugá, Chucua, Churuguaco, El Estanco, Guangatá, Jacalito, Juaiuca, La Punta, Martín Espino, Poveda 1, Poveda 2 Santa Cruz, tal y como se presenta en la siguiente figura.

Gráfica 248 Amenaza por temperatura



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021 basados en (CAR, 2014)

4.6.5.1.3 Amenaza por velocidad del viento

Los vientos contribuyen en el proceso de evaporación del agua contenida en la estructura vegetal del combustible por lo que ocasiona que se aumente su capacidad pirogénica. Adicionalmente el viento acelera la propagación del fuego al proporcionar oxígeno, y provoca nuevos focos de incendios forestales al transportar chispas que inician conflagraciones en zonas con combustibles que no están ardiendo por delante del fuego principal.

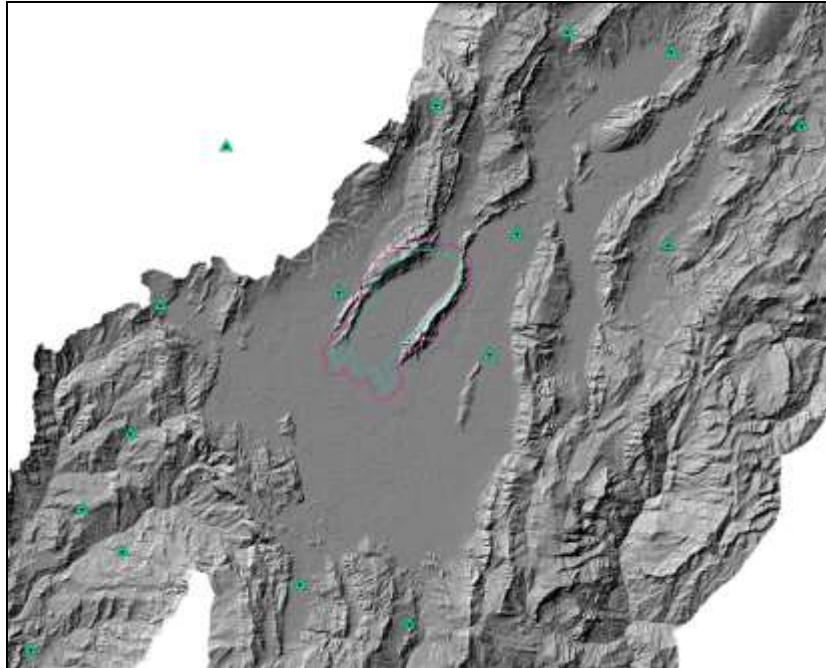
El mapa de vientos para el municipio de Tenjo fue construido a partir de la consulta y procesamiento de la información obtenida de 16 estaciones hidroclimatológicas operadas por la CAR y el IDEAM (*ver Anexo: Vientos*), las cuales se localizan en municipios aledaños a Tenjo y en las que se han registrado datos históricos de más de diez años en relación con la dirección y velocidad de los vientos. La información de las estaciones consultadas se presenta en la siguientes tabla y figura.

Tabla 106 Estaciones implementas para el cálculo de la velocidad media multianual del viento

Id	Código Estación	Nombre Estación	Entidad Territorial	Altitud	Velocidad (m/s)	Coordenada Este	Coordenada Norte
1	2120629	Venecia	Facatativá	2565	2,53902838	964283	1027435
2	2120565	Tabio	Tabio	2620	1,8056995	1005965	1035936
3	2120541	Represa Del Neusa	Cogua	3100	2,35412698	1011803	1059936
4	2120557	Primavera La	Subachoque	2590	1,86486744	985094	1028936
5	2120691	Planadas	Subachoque	3373	4,51218254	996446	1051242
6	2120561	Muñía El	Sibaté	2565	2,56702815	980525	994230
7	21200646	Mesitas	El Colegio	1100	2,02386574	959883	998087
8	2120639	Mesa La	La Mesa	1300	1,49642915	955142	1003154
9	2120548	Iberia La	Chocontá	2760	2,08442467	1039168	1048752
10	2120562	Guatavita	Guatavita	2625	1,93485177	1023555	1034545
11	2120647	Esperanza La	La Mesa	1240	1,85232936	960750	1012164
12	2120641	ESC Samper Madrid	Apulo	550	0,97491256	949146	986411
13	2120630	Doña Juana	Bogotá	2700	4,23341191	993364	989454
14	2120559	Checua	Nemocón	2580	2,08893175	1023960	1057589
15	2120559	Apto Guaymaral	Bogotá	2560	1,75786765	1002666	1021541
16	2306516	Acomodo El	La Vega	1150	1,21080447	971945	1046310

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 249 Localización de las estaciones implementadas para el cálculo de la velocidad media multianual del viento



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Esta información fue procesada y analizada mediante el uso de herramientas de geoprocésamiento a partir de las cuales se realizó interpolación de los datos mediante el método Spline, obteniendo de esta manera la capa raster que describe la velocidad media multianual de los vientos en el municipio de Tenjo. A partir de los datos obtenidos fue posible establecer que, en el área de estudio, el viento presenta velocidades mínimas de 1,74 m/s y máximas de 2,42 m/s.

A continuación, se presenta la definición de los rangos y porcentajes para determinar la amenaza por velocidad del viento según lo consignado en el “Protocolo para la Realización de Mapas de Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal. Escala 1:100.000 / Ajustado” (CAR-IDEAM, 2014)”. Dichos rangos fueron ajustados para dar alcance a lo establecido en el Decreto 1807 de 2014, compilado por el Decreto 1077 de 2015.

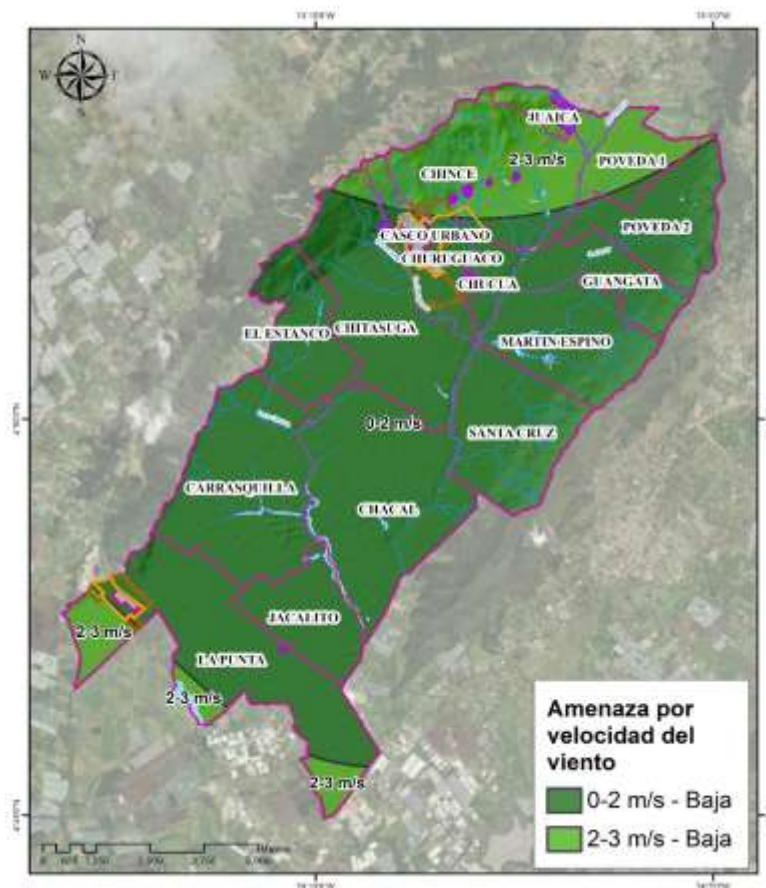
Tabla 107 Definición de rangos y puntajes para determinar la amenaza por velocidad del viento

Velocidad media multianual del viento (m/s)	Categorización CAR IDEAM 2014		Categorización Decreto 1077 de 2015	
	Calificación	Categoría	Calificación	Categoría
< 2.0	1	Muy Baja	1	Baja
2.0 – 3.0	2	Baja		Baja
3.0 – 4.0	3	Moderada	2	Media
4.0 – 5.0	4	Alta	3	Alta
> 5.0	5	Muy Alta		

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021 basados en Fuente especificada no válida.

Aplicando la distribución de rangos según lo establece la guía metodológica, se encuentra que la amenaza por velocidad del viento en el municipio de Tenjo es de tipo baja. La velocidades en el rango de 0-2 m/s se localiza al sur de la vereda La Punta y al norte de las veredas de Chince, Poveda 1 y en toda el área de la vereda Juaica. Por otro lado, las velocidades comprendidas en el rango de 2-3 m/s se localiza en las veredas de La Punta, Jacalito, Carrasquilla, Chacal, Santa Cruz, Chitasugá, El Estanco, chucua, Churuquaco, Casco Urbano, Martin Espino, Guangata, Poveda 2, al sur de Poveda y Chince. A continuación, se presenta la distribución espacial de la velocidad del viento en el municipio de Tenjo .

Gráfica 250 Amenaza por velocidad del viento en el municipio de Tenjo



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.6.5.1.4 Amenaza por brillo solar (radiación solar)

Tal como lo establece el IDEAM (IDEAM & MADS, 2020), la radiación solar hace referencia a la energía que emite el Sol, la cual tiene la propiedad de propagarse en todas las direcciones a través del espacio mediante ondas electromagnéticas.

Para la elaboración del mapa de brillo solar (*ver Anexo: Radiación Solar*), fue necesario consultar información secundaria, toda vez que la información de las estaciones hidroclimáticas consultadas no contenía datos suficientes en relación con esta variable; lo datos fueron obtenidos de la plataforma web Para

la elaboración del mapa de brillo solar (*ver Anexo: Radiación Solar*), fue necesario consultar información secundaria, toda vez que la información de las estaciones hidroclimáticas consultadas no contenía datos suficientes en relación con esta variable. Los datos fueron obtenidos de la plataforma web World Clim, en la que se presentan datos climáticos históricos para toda la superficie terrestre con una temporalidad de treinta años. Para este estudio caso fue descargada la información relativa a la capa ráster de radiación solar, y posteriormente se aplicaron técnicas de geoprocésamiento para realizar el recorte de la zona de análisis correspondiente al municipio de Tenjo.

A continuación, se presenta la definición de los rangos y porcentajes para determinar la amenaza por radiación solar, según lo consignado en el “Protocolo para la Realización de Mapas de Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal. Escala 1:100.000 / Ajustado” (CAR-IDEAM, 2014)”. Dichos rangos fueron ajustados para dar alcance a lo establecido en el Decreto 1807 de 2014, compilado por el Decreto 1077 de 2015.

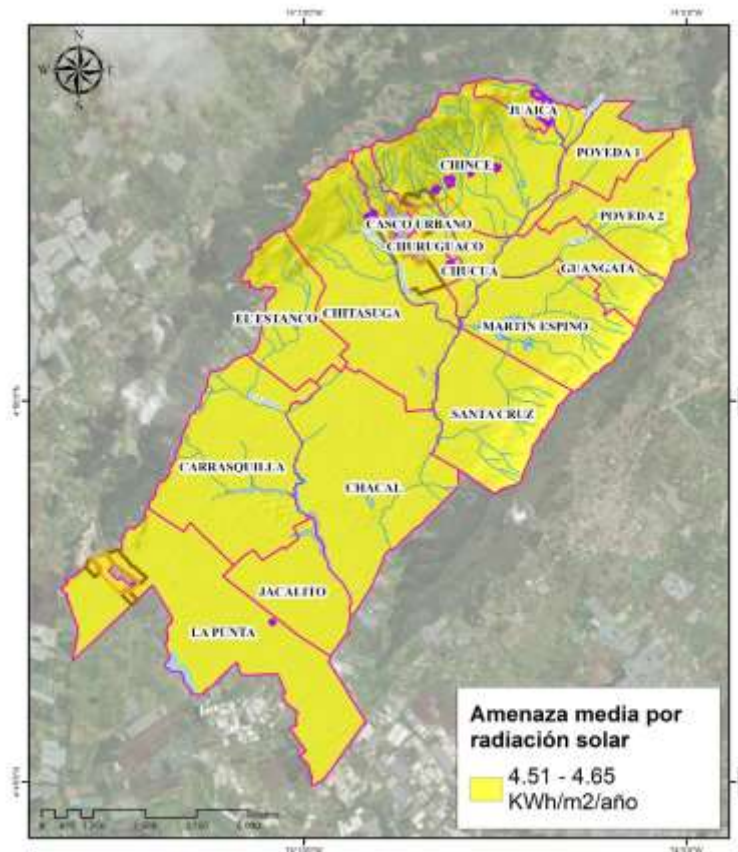
Tabla 108 Definición de rangos y puntajes para determinar la amenaza por radiación solar

Radiación media anual (KWh/m ² /año)	Categorización Fuente especificada no válida.		Categorización Decreto 1077 de 2015	
	Calificación	Categoría	Calificación	Categoría
< 3.0	1	Muy Baja	1	Baja
3.0 – 4.0	2	Baja		
4.0 – 5.0	3	Moderada	2	Media
5.0 – 6.0	4	Alta	3	Alta
> 6.0	5	Muy Alta		

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021 basados en (CAR, 2014)

Aplicando la distribución de rangos según lo establece la guía metodológica (CAR, 2014), se estableció que toda la jurisdicción del municipio de Tenjo se presenta la radiación solar en el rango comprendido entre los 4,51 KWh/m²/año (mínimo) y los 4,65 KWh/m²/año, por lo que, la amenaza de esta variable es de tipo media.

Gráfica 251 Amenaza por velocidad del radiación solar en el municipio de Tenjo



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.6.5.2 Factores físicos

Entender la importancia de los factores físicos es de gran ayuda para comprender el comportamiento que puede tener un incendio de la cobertura vegetal, no solo porque a mayor pendiente topográfica se reducen de manera importante las intervenciones que se pueden realizar en el territorio y que por tanto, derivan en una mayor carga de combustible vegetal; sino también porque el tipo de relieve asociado con las pendientes topográficas puede influir en la velocidad del viento o en la manera en que unas coberturas reciben mayor radiación solar por su ubicación sobre el relieve, factor que potencia este tipo de fenómenos.

Un claro ejemplo de la influencia de las pendientes en los incendios forestales se da cuando un fenómeno de este tipo se forma en zonas montañosas con pendientes escarpadas, pues allí los picos de las montañas pueden formar remolinos de fuego que pueden poner en peligro la vida del personal encargado de controlar la conflagración o aumentar la intensidad del fenómeno. De manera similar pasa cuando partes de los combustibles que están ardiendo descienden por acción de la gravedad por zonas con pendientes escarpadas, iniciando conflagraciones en las zonas bajas de la ladera.

4.6.5.2.1 Amenaza por pendientes topográficas

Las zonas de orografía muy complicada con pendientes elevadas y presentan una gran influencia en el comportamiento del fuego, no sólo por sus efectos directos, sino también porque esta configuración del terreno condiciona las características de factores como la vegetación y el clima.

A continuación, se presenta la definición de los rangos y porcentajes para determinar la amenaza por pendientes topográfica según lo consignado en el “Protocolo para la Realización de Mapas de Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal. Escala 1:100.000 / Ajustado” (CAR-IDEAM, 2014)”. Dichos rangos fueron ajustados para dar alcance a lo establecido en el Decreto 1807 de 2014, compilado por el Decreto 1077 de 2015.

Tabla 109 Definición de rangos y puntajes para determinar la amenaza por pendientes topográficas

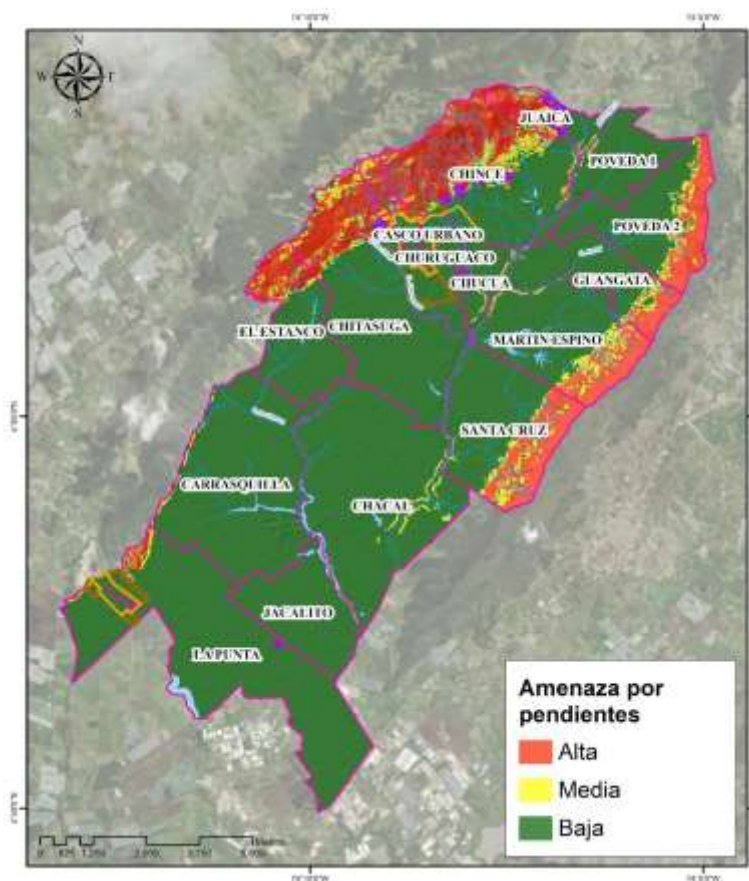
Clasificación Porcentaje (%)	Clasificación Grados (°)	Categorización Fuente especificada no válida.		Categorización Decreto 1077 de 2015	
		Calificación	Categoría	Calificación	Categoría
0% - 7%	0° - 3.15°	1	Muy Baja	1	Baja
7% - 12%	3.16° - 5.40°	2	Baja		
12% - 25%	5.41° - 11.25°	3	Moderada	2	Media
25% - 75%	11.26° - 33.75°	4	Alta		
> 75%	> 33.76°	5	Muy Alta	3	Alta

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021 basados en (CAR, 2014)

Aplicando la distribución de rangos según lo establece la guía metodológica (CAR, 2014) se establece que en el municipio de Tenjo se presenta amenaza de tipo alta, media y baja por la variable pendientes topográficas tal y como se presenta en la siguiente gráfica.

La amenaza por el factor pendiente de tipo alta y media se localiza principalmente en áreas de los cerros Juaica y Majui al occidente y oriente del municipio de Tenjo respectivamente, en las veredas de El Estanco, Chitasugá, Churuguaco, Chince, Juaica, Poveda 2, Guangata, Martin Espino, Santa Cruz y en algunos sectores de Carrasquilla y La Punta. Sin embargo, se tiene que en la mayoría del territorio la amenaza por pendientes es de tipo baja teniendo en cuenta las características morfométricas del área de estudio.

Gráfica 252 Amenaza por pendientes topográficas



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.6.5.3 Factor accesibilidad

Conforme lo establece el Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal, este factor se considera parte de la amenaza, debido a que es fundamental en la generación de la probabilidad de que la población pueda acceder a zonas con presencia de coberturas vegetales susceptibles a este fenómeno y generar focos de incendio.

4.6.5.3.1 Amenaza por accesibilidad

El Protocolo para la realización de mapas de zonificación de riesgos a incendios de la cobertura vegetal indica que la amenaza por accesibilidad para el municipio de Tenjo se puede determinar de dos (2) maneras, una que se realiza mediante análisis y evaluación de la accesibilidad por cercanía a las vías y que se expresa como la cercanía de las vías a coberturas vegetales susceptibles de ser incendiadas; y otra que se realiza mediante análisis y evaluación de la accesibilidad por densidad vial, la cual corresponde a los kilómetros de vía por unidad de superficie en un área determinada.

Para la obtención de la amenaza por accesibilidad hizo uso del análisis y evaluación de la accesibilidad por cercanía a las vías. Para este análisis se tuvieron en cuenta las vías que según la Ley 1228 de 2008 y la

Resolución 1240 de 2013 están categorizadas como de Primer Orden (Nacionales), Segundo Orden (Departamentales) y Tercer Orden (Veredales), asignando las calificaciones y los puntajes que se presentan a continuación, los cuales, han sido ajustados en tres rangos de frecuencia para dar alcance a lo establecido en el Decreto 1077 de 2015.

Tabla 110 Definición de rangos y puntajes para la amenaza por accesibilidad de vías

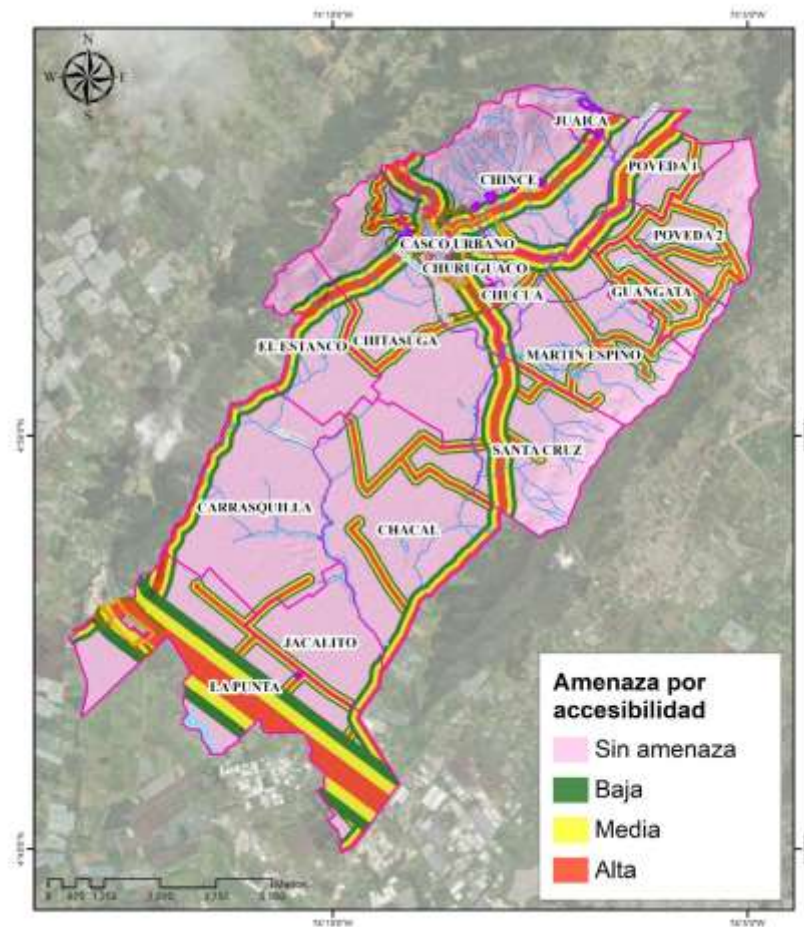
Tipo vía	Distancia a la vía (m)	Calificación	Categoría de amenaza
Orden vía 1	750	1	Baja
	500	2	Media
	250	3	Alta
Orden vía 2	300	1	Baja
	200	2	Media
	100	3	Alta
Orden vía 3	150	1	Baja
	100	2	Media
	50	3	Alta
Sin amenaza por accesibilidad	0	0	Sin amenaza

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021 basados en (CAR, 2014)

Uno de los factores que incide en la ocurrencia de un incendio de la cobertura vegetal está relacionado con las actividades antrópicas y con la probabilidad de que la población pueda acceder a sitios, en donde de manera directa o indirecta se pueda generar un fenómeno de este tipo. Por esta razón, la guía metodológica (CAR, 2014), asigna mayores calificaciones en tanto más asequible sea una zona y cuanto más próxima se encuentre de alguna de las vías mencionadas anteriormente.

Los resultados de la amenaza por accesibilidad para la jurisdicción del municipio de Tenjo es de tipo alto, medio, bajo y sin amenaza a lo largo de las veredas de Carrasquilla, Casco Urbano, Chacal, Chince, Chitasugá, Chucua, Churuquaco, El Estanco, Guangata, Jacalito, Juaica, La Punta, Martín Espino, Poveda 1, Poveda 2 y Santa Cruz.

Gráfica 253 Amenaza por accesibilidad



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.6.5.4 Factor histórico (Frecuencia)

A partir de la información contenida en los reportes acaecidos durante un determinado periodo de tiempo, que se recomienda sea de por lo menos 10 años, se realizó el análisis de amenaza por frecuencia de incendios forestales. La identificación de las zonas en donde se presentaron incendios de la cobertura vegetal permitió establecer si existe una correlación en la temporalidad de estos eventos, si se han presentado en zonas específicas del territorio, e incluso, si se cuenta con el reporte realizado, y si estos han sido ocasionados por factores naturales o antrópicos.

4.6.5.4.1 Amenaza por frecuencia de incendios forestales

La elaboración de la amenaza por frecuencia o por factores históricos fue realizada teniendo en cuenta los fenómenos asociados a incendios de la cobertura vegetal acontecidos en jurisdicción del municipio de Tenjo. El inventario de incendios forestales fue obtenido a partir de la consulta en entidades como la Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca – CAR, la Alcaldía Municipal de Tenjo y la información brindada por la comunidad, actores clave y el Consejo Municipal de Gestión del Riesgo del municipio de Tenjo en los talleres participativos y mesas de trabajo realizados en el mes de julio del año 2021. También, se consultó

la base de eventos históricos asociados a incendios forestales del Ajuste del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Bogotá (CAR, 2019). Sin embargo, para el área que conforma el municipio de Tenjo en dicho POMCA no se presentan eventos históricos de este tipo.

Tabla 111 Eventos históricos de incendios forestales en el municipio de Tenjo

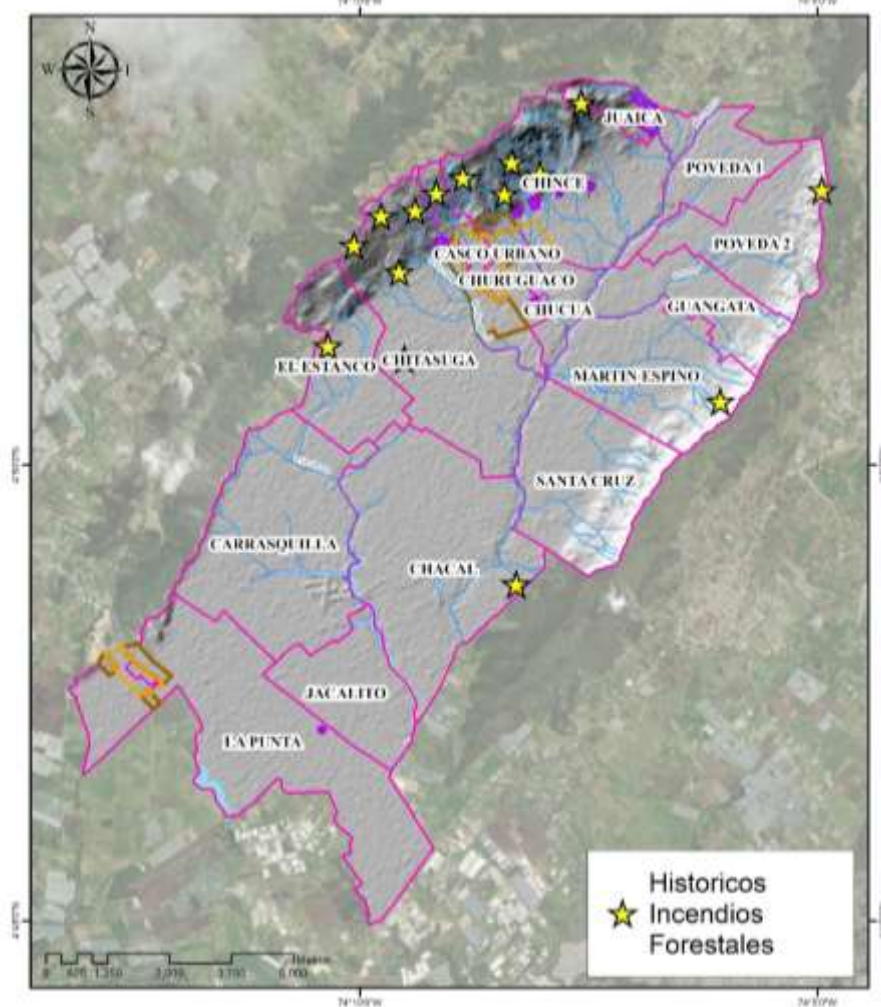
X	Y	CODIGO	FECHA	LOCALIZACIÓN	FUENTE	DETONANTES	DAÑOS Y/O AFECTACIONES	OBSERVACIONES
992195.46	1032036.53	EH-8	2012	Vereda Chince y se extendió a Churuguaco Alto	Comunidad municipio de Tenjo	Quemas de basuras clima (remolinos y vientos)	Mas de 18 hectáreas con afectaciones árbol nativo animales flora y fauna	Duro 26 días
990544.33	1031262.05	EH-9	2010	Chitasugá parte alta	Comunidad municipio de Tenjo	Cuerdas de luz no encaucehtadas	-	-
997394.9	1027512.07	EH-10	2019	Cerro el Majui	Comunidad municipio de Tenjo	-	Población con bajos ingresos	-
994586.56	1033552.31	EH-16	2017	Vereda Chince - Juaica	Comunidad municipio de Tenjo	Quema de hojarasca	Cerro de Juaica y áreas del municipio de Subachoque	2 semanas de intervención para combatir el incendio forestal
993752.835	1032104.6	EH-ALC-01	2010	En los Cerros vereda Chince-Pan de azúcar del Municipio	ALCALDÍA MUNICIPAL DE TENJO	Prender hogueras intencionales, fogatas en paseos ecológicos, abandonar residuos, botar colillas de cigarrillos, actividades de agricultura y sequías prolongadas	64 Fanegadas	-
990907.104	1030124.19	EH-ALC-02	2010	Vereda Chitasugá	ALCALDÍA MUNICIPAL DE TENJO	Hogueras, botar cigarrillos encendidos y abandono residuos	40 Fanegadas	-
989470.413	1028631.94	EH-ALC-03	2012	Vereda El Estanco	ALCALDÍA MUNICIPAL DE TENJO	Quema de basuras	1 Fanegada	-

X	Y	CODIGO	FECHA	LOCALIZACIÓN	FUENTE	DETONANTES	DAÑOS Y/O AFECTACIONES	OBSERVACIONES
993272.483	1023813.87	EH-ALC-04	2013	Vereda Chacal-Cerro Majui en con límites con el municipio de Cota	ALCALDÍA MUNICIPAL DE TENJO	Caminatas ecológicas y abandono de residuos	400 m ²	-
999447.871	1031783.13	EH-ALC-05	2013	Vereda Poveda II en límites con el municipio de Chía	ALCALDÍA MUNICIPAL DE TENJO	Botar basuras y caminatas ecológicas que dejan material inflamable	100 m ²	-
991228.573	1031370.38	EH-ALC-06	2016	Cerros de la vereda Chitasugá del municipio de Tenjo.	ALCALDÍA MUNICIPAL DE TENJO	Emergencia presentada en desarrollo del Fenómeno del Niño 2016; al parecer el incendio se produjo por quema no controlada, pero no existe fuente oficial	Alrededor de 65 hectáreas de bosque nativo quemadas (según informe técnico de la Secretaria de Desarrollo Económico y Ambiente de marzo 7 de 2016) y postes de energía existentes aún en madera, situación informada a CODENSA.	-
993182.79	1032346.7	EH-ALC-07	2016	Vereda Chince	ALCALDÍA MUNICIPAL DE TENJO	Incendios en vereda Chince	10 ha aproximadamente	-
991660.374	1031727.57	EH-ALC-08	2020	Pan De Azúcar, Churuquaco y Chitasugá	ALCALDÍA MUNICIPAL DE TENJO	Incendios forestales en los cerros occidentales de posible origen criminal	8 ha aproximadamente	-
989993	1030669	EH-CAR-01	2016	Chitasugá	CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA - CAR	-	-	-
989993	1030669	EH-CAR-02	2016	Chitasugá	CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA - CAR	-	-	-
991012	1028368	EH-CAR-03	2017	Quema Chitasugá	CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA - CAR	-	-	-

X	Y	CODIGO	FECHA	LOCALIZACIÓN	FUENTE	DETONANTES	DAÑOS Y/O AFECTACIONES	OBSERVACIONES
993032	1031702	EH-CAR-04	2020	Cerro de Juaica	CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DE CUNDINAMARCA - CAR	-	-	-

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 254 Distribución de los eventos históricos de incendios forestales en el municipio de Tenjo



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Conocida la distribución espacial de los fenómenos históricos acontecidos en el Municipio de Tenjo relacionados con incendios de la cobertura vegetal, se procedió a realizar la modelación de la amenaza por frecuencia. Para ello se implementó la función núcleo o Kernel que es una función de densidad bivariante y simétrica, empleada en la estimación de funciones de densidad de probabilidad de variables aleatorias. Esta

función calcula la magnitud de determinada variable por unidad de área a partir de una nube de puntos, que para el caso corresponde a los eventos registrados en el área de estudio.

Obtenida la capa ráster que describe la frecuencia de incendios, se procedió a realizar la categorización y calificación de la información, teniendo en cuenta los rangos establecidos en el “*Protocolo para la Realización de Mapas de Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal. Escala 1:100.000 / Ajustado*” (CAR, 2014)”. Estos rangos fueron ajustados para dar alcance a lo establecido en el Decreto 1807 de 2014, compilado por el Decreto 1077 de 2015, tal como se presenta a continuación.

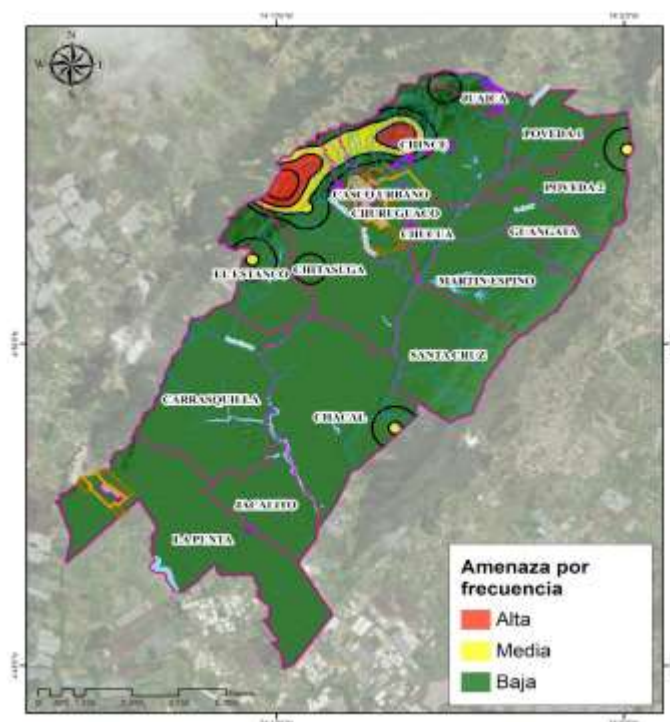
Tabla 112 Definición de rangos y puntajes para la amenaza por frecuencia de incendios

Clasificación (Incendios por periodos de 10 años)	Categorización Fuente especificada no válida.		Categorización Decreto 1077 de 2015	
	Calificación	Categoría	Calificación	Categoría
< 1	1	Muy Baja	1	Baja
1.1 – 2.0	2	Baja		
2.1 – 4.0	3	Moderada	2	Media
4.1 – 6.0	4	Alta		
> 6.1	5	Muy Alta	3	Alta

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021 basados en (CAR, 2014)

El resultado de la amenaza por frecuencia de incendios de la cobertura vegetal en el municipio de Tenjo presenta zonificación de tipo alta, media y baja. La amenaza de tipo alta por frecuencia se presenta en las veredas de Chitasugá y Chince y la de tipo media en las veredas de Chacal, Poveda 2, Chitasugá, Churuguaco y Chince. Finalmente, el resto del territorio presenta una zonificación de amenaza baja por el factor histórico tal y como se presenta a continuación.

Gráfica 255 Amenaza por frecuencia



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.6.5.5 Cálculo de la amenaza total de las vegetación a incendios de la cobertura vegetal

La amenaza total de la vegetación busca identificar las zonas del territorio que presentan un peligro latente debido a la posible ocurrencia de un incendio de la cobertura vegetal, produciendo efectos adversos en las personas, la producción, la infraestructura, los bienes y servicios, y en el medio ambiente.

Para la generación de mapa de amenaza total se hizo uso de herramientas de geoprocésamiento a partir de las cuales se realizó superposición espacial entre los de amenazas por precipitación, temperatura, velocidad del viento, brillo solar, pendientes topográficas, accesibilidad, frecuencia y susceptibilidad total de la vegetación, lo anterior empleando la siguiente fórmula:

$$Amenaza_{Total} = A_{PP} * 0.20 + A_{TP} * 0.20 + A_{VT} * 0.10 + A_{BS} * 0.07 + A_{PT} * 0.07 + A_{FR} * 0.10 + A_{AC} * 0.09 + S_{USC}_{TOTAL} * 0.17$$

Una vez realizada la operación de álgebra de mapas, la guía metodológica establece que el resultado obtenido se debe distribuir en cinco niveles o frecuencias (Muy bajo, Bajo, Moderado, Alto y Muy Alto). Sin embargo, dando alcance a lo establecido en el Decreto 1077 de 2015, que compila al Decreto 1807 de 2014, el resultado será dividido en tres (3) niveles (Bajo, Medio y Alto); A continuación, se presenta la asignación de rangos, puntajes y categorías por amenaza total.

Tabla 113 Definición de rangos y puntajes para la amenaza por frecuencia de incendios

Clasificación (Incendios por periodos de 10 años)	Categorización Fuente especificada no válida.		Categorización Decreto 1077 de 2015	
	Calificación	Categoría	Calificación	Categoría
< 1	1	Muy Baja	1	Baja
1.1 – 2.0	2	Baja		
2.1 – 4.0	3	Moderada	2	Media
4.1 – 6.0	4	Alta		
> 6.1	5	Muy Alta	3	Alta

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021 basados en (CAR, 2014)

La zonificación de la amenaza por incendios forestales en el suelo rural del municipio de Tenjo es de tipo media y alta. Está condicionada por la accesibilidad, vientos y radiación solar, por ello se presentan una disminución en las áreas categorizadas con amenaza alta del Ajuste del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Bogotá (CAR, 2019).

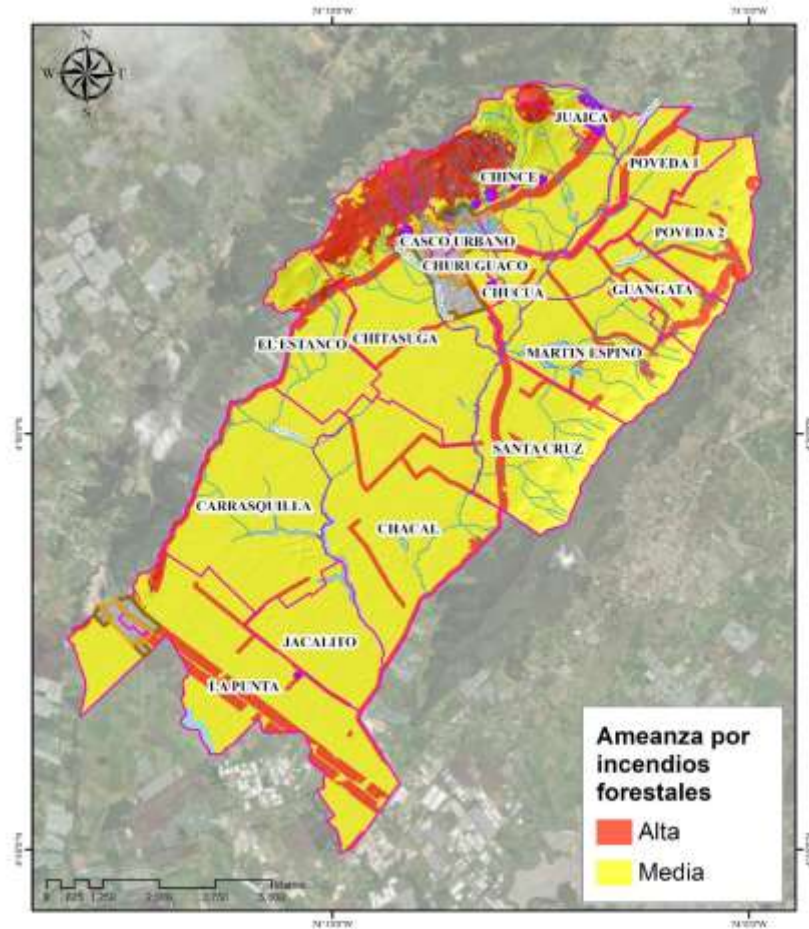
La zonificación de amenaza alta por incendios de la cobertura vegetal se localiza principalmente en áreas de los cerros Juaica y Majui en las veredas de El Estanco, Chitasugá, Chince, Juaica, Poveda 2, Guangata, Martin Espino y en áreas de las veredas Santa Cruz, Chacal, Jacalito, La Punta y Juaica, a continuación, se presenta su distribución espacial, en área, porcentual y por vereda.

Tabla 114 Zonificación de la amenaza por incendios de la cobertura vegetal

Categorización de la amenaza	Área (ha)	(%)
Baja	0	0
Media	9034.69	82.28
Alta	1946.28	17.72
TOTAL	10980.97	100

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 256 Amenaza por incendios forestales para el municipio de Tenjo



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

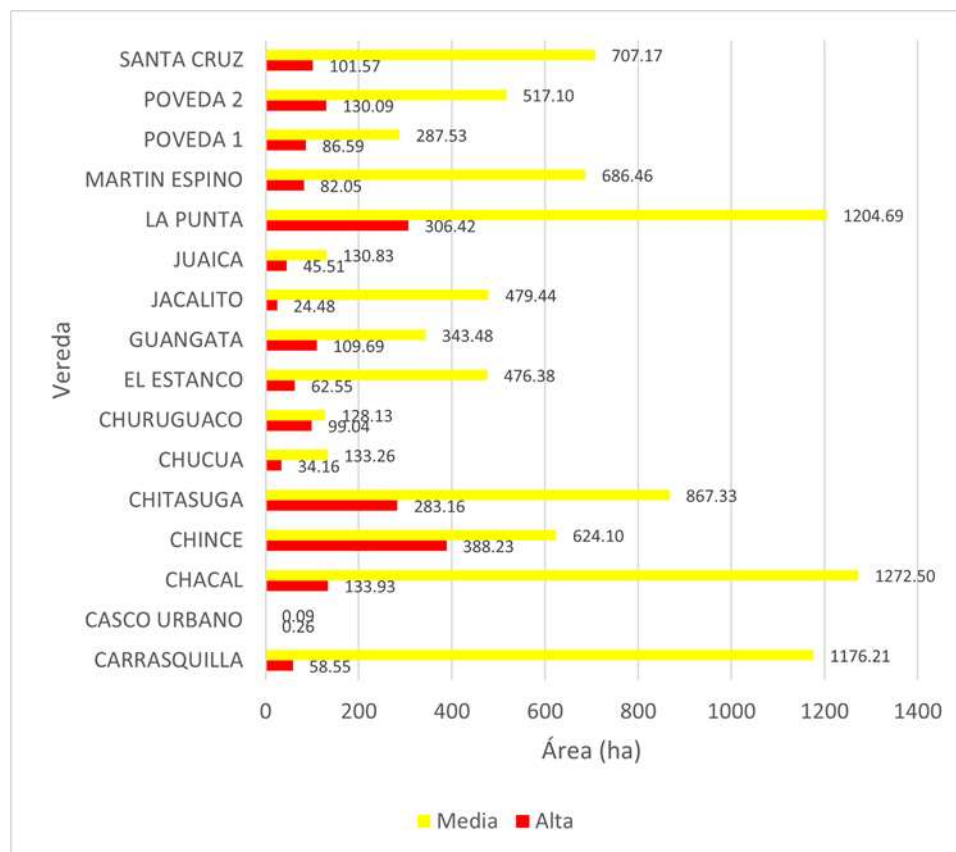
Tabla 115 Distribución veredal en área y porcentual de la amenaza por incendios forestales

Vereda	Alta		Media		Baja		Total	
	Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)
CARRASQUILLA	58.55	4.74	1176.21	95.26	0.00	0.00	1234.76	11.24
CASCO URBANO	0.26	74.09	0.09	25.91	0.00	0.00	0.35	0.00
CHACAL	133.93	9.52	1272.50	90.48	0.00	0.00	1406.43	12.81
CHINCE	388.23	38.35	624.10	61.65	0.00	0.00	1012.33	9.22
CHITASUGA	283.16	24.61	867.33	75.39	0.00	0.00	1150.49	10.48
CHUCUA	34.16	20.40	133.26	79.60	0.00	0.00	167.41	1.52
CHURUGUACO	99.04	43.60	128.13	56.40	0.00	0.00	227.17	2.07
EL ESTANCO	62.55	11.61	476.38	88.39	0.00	0.00	538.93	4.91
GUANGATA	109.69	24.21	343.48	75.79	0.00	0.00	453.17	4.13

Vereda	Alta		Media		Baja		Total	
	Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)	Área (ha)	(%)
JACALITO	24.48	4.86	479.44	95.14	0.00	0.00	503.92	4.59
JUAICA	45.51	25.81	130.83	74.19	0.00	0.00	176.34	1.61
LA PUNTA	306.42	20.28	1204.69	79.72	0.00	0.00	1511.11	13.76
MARTIN ESPINO	82.05	10.68	686.46	89.32	0.00	0.00	768.51	7.00
POVEDA 1	86.59	23.14	287.53	76.86	0.00	0.00	374.12	3.41
POVEDA 2	130.09	20.10	517.10	79.90	0.00	0.00	647.19	5.89
SANTA CRUZ	101.57	12.56	707.17	87.44	0.00	0.00	808.75	7.36
Total							10980.97	100.00

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Gráfica 257 Distribución veredal en área y porcentual de la amenaza por incendios forestales



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

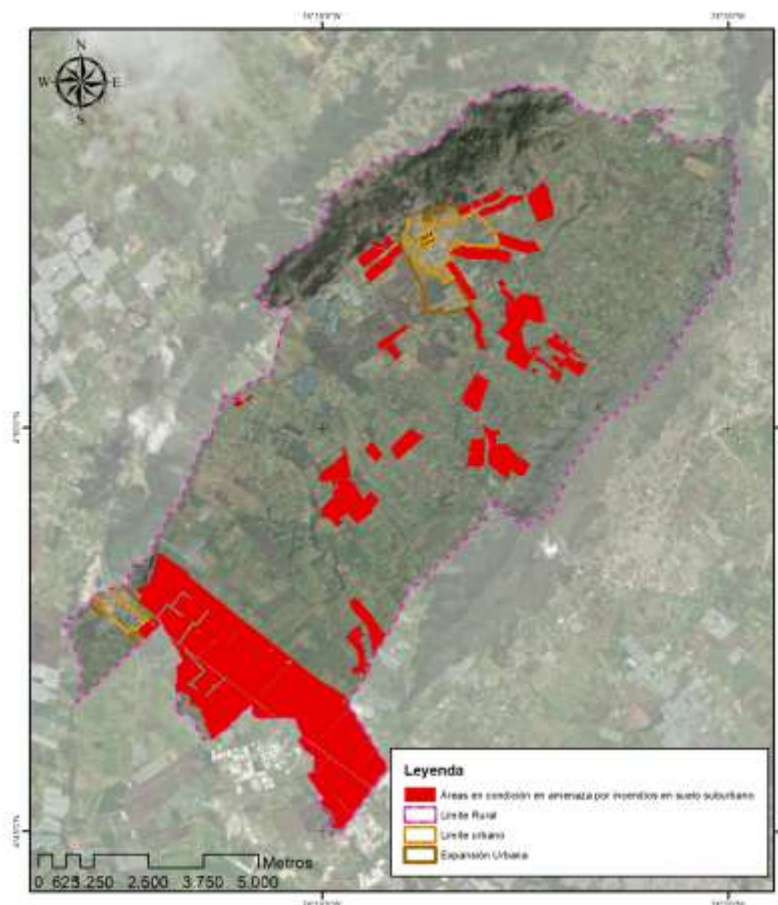
4.6.6 Áreas con condición de amenaza por incendios de la cobertura vegetal en el suelo suburbano y de vivienda campestre del municipio de Tenjo

El Decreto 1077 de 5015 indica en su Artículo 2.2.2.1.3.1.3. Estudios básicos para la revisión o expedición de Planes de Ordenamiento Territorial (POT) que las **áreas con condición de amenaza**, son las zonas o áreas del territorio municipal zonificadas como de amenaza alta y media en las que se establezca en la revisión o expedición de un nuevo POT la necesidad de clasificarlas como suelo urbano, de expansión urbana, rural suburbano o centros poblados rurales para permitir su desarrollo.

Dicho lo anterior, el municipio de Tenjo ya cuenta con suelos rurales suburbanos y áreas para vivienda campestre, por lo tanto, a continuación, se presenta la distribución espacial de las 1783.11 ha de áreas con condición de amenaza por movimientos en masa para el suelo en mención.

Las áreas con condición de amenaza se localizan principalmente en la vereda de La Punta seguidamente se presentan las dichas áreas en las veredas de Jacalito, Chacal, Carrasquilla, Santa Cruz, Chitasugá, Martín Espino, Chucua, Churuguaco y Chince.

Gráfica 258 Áreas con condición de amenaza por incendios forestales en el suelo suburbano y áreas para vivienda campestre del municipio de Tenjo



Fuente: IEU-UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

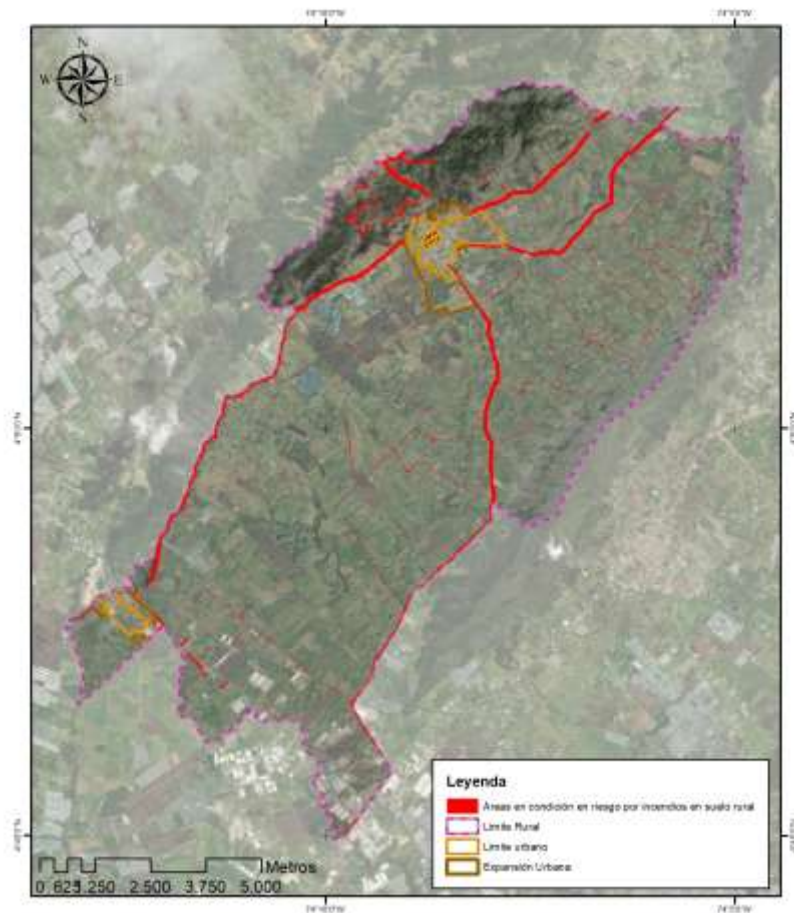
4.6.7 Áreas con condición de riesgo por incendios de la cobertura vegetal

Siguiendo los planteamientos del Artículo 2.2.2.1.3.2.1.5. del Decreto 1077 de 2015 se identificaron a partir de la información cartográfica (predial o catastral, entre otras) disponible, la existencia de elementos expuestos como vías y equipamientos, que podían ser afectados por incendios de la cobertura vegetal.

Dadas las condiciones técnicas, a continuación se presentan las 337.15 ha de áreas con condición de riesgo por incendios forestales identificadas para el suelo rural del municipio de Tenjo que corresponden a:

- Equipamientos: Gimnasio Campeste – Preino Británico, IERDI Valle de Tenjo – Sede El Chacal, IERDI Valle de Tenjo Escuela Rural Santa Cruz, IED Enrique Santos Montejó – Sede Escuela Rural Chitasugá, Colegio Lerner & Klein, IERDI, Parroquia San Nicolas La Punta, Colegio Campeste Principado de Mónaco, Liceo Español Pérez Galdos, Colegio El Castillo, IED Carrasquilla – Escuela El Estanco, IERDI Valle de Tenjo – Escuela Rural Jacalito y la Fundación para la Actualización de la Educación.
- Vías de primer orden pavimentadas en buen estado, vías de segundo orden adoquinadas en buen estado, vías de segundo orden pavimentadas en buen estado, vías de segundo orden pavimentadas en regular estado, vías de segundo orden sin pavimentar en buen estado, vías de tercer orden adoquinadas en buen estado, vías de tercer orden pavimentadas en buen estado, vías de tercer orden pavimentadas en mal estado, vías de tercer orden sin pavimentar en buen estado, vías de tercer orden sin pavimentar en mal estado, vías de cuarto orden sin pavimentar en buen estado y vías de cuarto orden sin pavimentar en mal estado.

Gráfica 259 Áreas con condición de riesgo por incendios de la cobertura vegetal



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.7 Amenazas de origen tecnológico

De conformidad con el Decreto 1077 de 2015 (ARTÍCULO 2.2.2.1.3.1.3), de Estudios básicos para la revisión o expedición de Planes de Ordenamiento Territorial (POT), se señala en el parágrafo 2: Aquellos municipios o distritos que se encuentren expuestos a amenazas por otros fenómenos naturales (sísmicos, volcánicos, tsunamis, entre otros) o de origen tecnológico, deben evaluarlas con base en la información disponible generada por las autoridades y sectores competentes y de acuerdo con la situación de cada municipio o distrito.

4.7.1 Metodología

Con base en lo anterior, se empleó un método inductivo asociado con la investigación cualitativa, mediante la revisión y análisis sobre la actualidad, calidad, pertinencia, coherencia y consistencia de la información relacionada con las amenazas por riesgo tecnológico o antrópico (pérdidas potenciales que pueden presentarse debido a los eventos generados por el uso y acceso a la tecnología, originados en sucesos antrópicos, naturales, socio-naturales y propios de la operación) o antrópico (ejecución u operación de obras

de infraestructura y construcciones en general, cortes, excavaciones, rellenos) disponibles y suministrados por el municipio.

De acuerdo con el análisis de la información revisada, se identificaron los procesos amenazantes por riesgo tecnológico o antrópicos y se registró de forma descriptiva su dinámica.

El análisis se complementó mediante técnicas como la observación del entorno en un contexto estructural y situacional y los resultados de los talleres de participación y mesas de trabajo, a través del diálogo con los diferentes actores como el coordinador del consejo municipal de gestión del riesgo de desastres, funcionarios de la administración municipal y la población habitante del municipio de Tenjo.

4.7.2 Marco conceptual de los riesgos tecnológicos

Los riesgos tecnológicos son percibidos como fenómenos controlables por el hombre o fruto de su actividad, y están asociados a una gran variedad de actividades, dentro de las cuales se incluyen las domésticas y de servicios profesionales. Es decir, aquellas realizadas por la población en general producto de su cotidianidad, así como también las actividades industriales, extractivas, de transporte, entre otras, teniendo una relevancia especial las que utilizan sustancias y/o energías peligrosas.

4.7.2.1 Peligros relacionados con riesgo tecnológico

El peligro tal como se definió en el Glosario es aquella fuente o situación con capacidad de producir daño en términos de lesiones, daños a la propiedad, daños al medio ambiente o una combinación de ellos (ARL Sura, 2017); así como el hecho de que los riesgos tecnológicos están asociados al uso o acceso a la tecnología. A continuación se relacionan los peligros asociados al uso o acceso a la tecnología que bajo diferentes condiciones podrían derivar en eventos tecnológicos. Estos peligros se presentan clasificados de acuerdo a su origen, así como a las categorías de actividades relacionadas con uso o acceso a tecnología.

4.7.2.1.1 Según el origen

✓ Químico

Corresponde a la presencia de materiales y productos peligrosos, o bien equipos cuyo principio de funcionamiento esté basado en el uso de sustancias peligrosas. (WHO Health Library for Disasters collection, 1997). Tal presencia se puede encontrar en actividades de producción, manipulación, almacenamiento, transporte, uso, entre otras, en cantidades que tengan la capacidad de causar afectaciones a las personas, al ambiente y a la infraestructura.

Las sustancias químicas, están presentes en nuestra vida diaria, por ejemplo, en productos de aseo, prendas de ropa, pinturas, fertilizantes, insecticidas, entre otros. Algunos ejemplos de actividades en las cuáles se pueden encontrar el peligro de origen corresponden a bodegas y lugares de almacenamiento, fábricas e industrias, estaciones de servicio, transporte de materiales peligrosos por carretera, ferrocarril, vías navegables, aire y los, centros hospitalarios, manipulación de gases comprimidos, manipulación de gases licuados, laboratorios de análisis químico, fumigación en áreas agrícolas, entre otras.

Se clasifican de acuerdo con su peligrosidad para lo cual se ha adoptado como referencia el Sistema Globalmente Armonizado de Clasificación y Etiquetado de Productos Químicos (SGA), el cual establece

peligros físicos, peligros para la salud, y peligros para el medio ambiente los cuales se representan gráficamente a través de pictogramas (Tabla 116).

Tabla 116. Identificación pictográfica de peligros físicos, químicos, para la salud y el medio ambiente

PELIGROS FÍSICOS	
CATEGORÍA DE PELIGRO	PICTOGRAMA
Explosivos: <ul style="list-style-type: none"> • Explosivos, • Autoreactivos, • Peróxidos orgánicos 	
Inflamables: <ul style="list-style-type: none"> • Gases, líquidos y sólidos inflamables • Aerosoles • Sustancias y metales que reaccionan espontáneamente <ul style="list-style-type: none"> • Líquidos y sólidos pirofóricos • Sustancias y mezclas que experimentan calentamiento espontáneo • Sustancias y mezclas que en contacto con el agua, desprenden gases inflamables 	
Comburentes Gases, líquidos y sólidos comburentes	
Gases a presión	
Corrosivos Sustancias y mezclas corrosivas para los metales	
PELIGROS QUÍMICOS	
CATEGORÍA DE PELIGRO	PICTOGRAMA
Comburentes	
Toxico + Muy toxico	
Corrosivo	

Explosivo	
Para el medio ambiente	
Xn: Nocivo Xi: Irritante	
F: Fácilmente inflamable F+: Extremadamente inflamable	
PELIGROS PARA LA SALUD	
CATEGORÍA DE PELIGRO	PICTOGRAMA
Toxicidad aguda (mortal)	
Toxicidad aguda (nocivo) Corrosión / irritación cutánea Irritación ocular grave Sensibilización cutánea Toxicidad específica de órganos diana – exposición única	
Corrosivo Corrosión cutánea Lesiones oculares graves / irritación ocular	
Mutagenicidad en células germinales Carcinogenicidad, categorías 1A, 1B Toxicidad para la reproducción, categorías 1A, 1B Sensibilización respiratoria Toxicidad por aspiración	
PELIGROS PARA EL AMBIENTE	
CATEGORÍA DE PELIGRO	PICTOGRAMA
Peligros para el medio ambiente acuático Peligros para la capa de ozono.	

Fuente: UNGRD, 2017.

✓ *Biológico*

Se refiere a la presencia de un organismo, o la sustancia derivada de un organismo, que plantea, sobre todo, una amenaza a la salud humana, otros organismos y en general a los medios de subsistencia. Esto puede incluir los residuos biosanitarios, muestras de un microorganismo, virus o toxina de una fuente biológica que puede resultar patógena.

Puede también incluir las sustancias dañinas a los animales y otros seres vivos. Principalmente se toman en consideración los agentes biológicos patógenos clasificados en el grupo de riesgo IV definido por la Organización Mundial de la Salud - OMS, los cuales son de riesgo individual y poblacional elevado, y por definición son los agentes patógenos que suelen provocar enfermedades graves en el ser humano o los animales y que se transmiten fácilmente de un individuo a otro, directa o indirectamente. (OMS, 2005). Los otros agentes biológicos se clasifican en los siguientes grupos:

- Los agentes biológicos del grupo 1 son los que no es probable que causen enfermedades humanas. Bajo riesgo individual y comunitario.
- Los agentes biológicos del grupo 2 son los que pueden causar enfermedades humanas y pueden ser un peligro para los trabajadores; no es probable que se propaguen a la colectividad; se suele disponer de una profilaxis o un tratamiento eficaces contra ellos. Moderado riesgo individual y riesgo comunitario limitado.
- Los agentes biológicos del grupo 3 son los que pueden causar enfermedades humanas graves y representan un serio peligro para los trabajadores; pueden representar un riesgo de propagación a la colectividad, pero se suele disponer de una profilaxis o un tratamiento eficaces contra ellos. No es probable que algunos de ellos se propaguen por el aire. Alto riesgo individual y bajo riesgo comunitario.
- Los agentes biológicos del grupo 4 son los que causan enfermedades humanas graves y constituyen un serio peligro para los trabajadores; pueden representar un gran riesgo de propagación a la colectividad y por lo general no se dispone de una profilaxis o un tratamiento eficaces contra ellos. Alto riesgo individual y comunitario.

Hay actividades en las que existe la intención deliberada de manipular agentes biológicos, como por ejemplo los laboratorios de diagnóstico microbiológico, el trabajo con animales deliberadamente contaminados y las industrias en cuyos procesos se utilizan estos agentes en grandes cantidades. También están las actividades en las que no existe la intención deliberada de manipular agentes biológicos, pero sí puede existir una exposición en un momento dado debido a la naturaleza del trabajo, por ejemplo: los trabajos en centros de producción de alimentos, los trabajos agrarios o en los que exista contacto con animales y/o sus productos, los trabajos sanitarios o los trabajos en unidades de eliminación de residuos y de tratamiento de aguas residuales, entre otros. (INSHT, 2000).

✓ *En radiación*

Se refiere a la presencia de radiación, la cual se define como energía que viaja en forma de onda (electromagnética) o partícula (movimiento de movimiento de electrones, protones y neutrones). Existen dos tipos de radiación: ionizante y no ionizante. La radiación ionizante, que corresponde a aquella que

encuentra mayor aplicabilidad en la ciencia y la industria, corresponde a la energía liberada por los átomos en forma de ondas electromagnéticas o partículas. Esta radiación proviene de fuentes naturales (entre ellas más de 60 materiales radiactivos naturales presentes en el suelo, el agua y el aire) y artificiales (tales como las plantas de generación de energía nuclear, equipos de uso médico con fines diagnósticos o terapéuticos). Las radiaciones no ionizantes, son de espectro electromagnético y están asociadas con la radiación de microondas, infrarroja, de luz visible, ultravioleta y láser. (CISTEMA-SURATEP, 2004).

✓ *Eléctrico*

A nivel doméstico e industrial y en general en todos los emplazamientos se encuentra este peligro asociado con la presencia de sistemas y equipo eléctrico con los cuales se distribuye o usa la electricidad. También está asociado con la instalación, mantenimiento y uso de tales sistemas y equipos eléctricos. La electricidad se manifiesta en fenómenos mecánicos, térmicos, luminosos y químicos. Algunos ejemplos de su aplicación son motores eléctricos, bombillas, calentadores, procesos químicos como electrólisis.

✓ *Mecánico*

Asociados a la presencia de maquinaria y equipos y a la acción mecánica o movimiento de los mismos, incluyendo los relacionados con medios de transporte.

✓ *En estructuras*

Se asocia a la presencia de estructuras o elementos estructurales (muros, columnas, vigas, arcos, entre otros), los cuales por condiciones externas o internas (propias de la estructura) pueden ver afectada su resistencia, provocando la incapacidad de su función, pérdida de estabilidad y destrucción.

En este contexto se entiende estructura como el conjunto de elementos, unidos, ensamblados o conectados entre sí, que tienen la función de recibir cargas, soportar esfuerzos y transmitir esas cargas al suelo, garantizando así la función estático – resistente de la construcción.

✓ *En tecnología de información y comunicaciones*

Se refiere a la presencia de hardware, software, sistemas, aplicaciones, redes y cualquier otro canal de distribución de información, lo cual puede generar pérdida por daños, interrupción, alteración o fallas derivadas del uso o dependencia de los elementos anteriores, a nivel de infraestructura tecnológica (hardware), a nivel lógico (riesgos asociados a software, sistemas de información e información) y riesgos derivados de fallas humanas. Su presencia ha venido en aumento debido a que se convierte fuente de ataques por su vulnerabilidad al no contarse con medidas de protección apropiadas y por su constante cambio. (Ramírez, 2012).

✓ *Otros*

Corresponde a aquellos con orígenes diferentes a los anteriores. Pueden ser:

- No intencionales (o accidentales) dentro de los cuales se encuentran los peligros asociados a la posibilidad de que un evento causado por amenazas de origen natural o socio natural,

como por ejemplo terremoto, erupción volcánica, tsunami, huracán, movimientos en masa, inundaciones, puedan generar eventos tecnológicos.

- Intencionales, como aquellos asociados a sabotaje y ataques con diferentes agentes como químicos, biológicos, radiológicos, entre otros.

4.7.2.1.2 Según la categoría de actividad fuente de riesgo tecnológico

Como se mencionó previamente, se han identificado las siguientes categorías de actividades como aquellas relacionadas con uso o acceso a la tecnología, y en las cuales se podrían presentar algún o algunos de los tipos de eventos tecnológicos.

- Domésticas y servicios profesionales individuales. Corresponde a aquellas asociadas con la cotidianidad y en las que se pueden presentar eventos accidentales en el desarrollo de las mismas, por ejemplo, cocinar, limpiar, en el hogar o lugares de realización de servicios profesionales individuales, como consultorios médicos, odontológicos, entre otros.
- Comercio, servicios y venta directa. Incluye las actividades asociadas a comercio, servicios y venta directa, desarrolladas entre otros en los siguientes lugares: Centros comerciales y grandes superficies, estaciones de servicio y distribución de Gas Licuado de Petróleo (GLP) u otro tipo de combustible, comercio minorista, hoteles, restaurantes y similares, talleres mecánicos y ornamentación, plazas e infraestructura de abastos.
- Producción industrial y almacenamiento. Corresponde a las actividades asociadas con producción y almacenamiento. Dentro de productos almacenados o producidos se incluyen entre otros: abono, aceites, acero, aerosoles, agroquímicos, alimentos, artesanías, aserríos, calzado, cemento, colchones, combustibles, elementos de aseo, hidrocarburos, gases, medicamentos, plásticos, pinturas, textiles, trapiche, velas.
- Producción de energía eléctrica. Incluye las termoeléctricas, hidroeléctricas y demás formas de generación energía eléctrica.
- Exploración y explotación de recursos mineros. Se refiere a las actividades relacionadas con la exploración y explotación de minerales.
- Exploración y producción de hidrocarburos. Corresponde a las actividades asociadas a la exploración y producción de petróleo y gas.
- Transporte. Corresponde a las actividades de transporte tanto de pasajeros como de mercancías, incluyendo sustancias peligrosas, en sus diferentes modalidades: aéreo,
 - fluvial, marítimo, terrestre y por ducto (en caso de hidrocarburos).
- Recuperación, tratamiento y disposición final de desechos. Corresponde a las actividades realizadas para el manejo de desechos, tanto sólidos como líquidos, las cuales incluyen rellenos sanitarios, bodegas de reciclaje, tratamiento de residuos.
- Lugares de interés deportivo, cultural o religioso. Corresponde a los lugares en los cuales se llevan a cabo actividades deportivas, culturales o de culto.

Obras de interés nacional / territorial. Se incluye en esta categoría los eventos accidentales ocurridos entre otros en: establecimientos educativos, establecimientos judiciales y penitenciarios, entidades de gobierno, establecimientos de salud y protección social, establecimientos asociados con el suministro de agua potable, establecimientos y redes asociados con el suministro energía eléctrica, establecimientos y redes asociados con el suministro de gas, infraestructura de transporte.

4.7.2.2 Tipos de eventos tecnológicos

Los tipos de eventos que pueden ocurrir derivados de la falla, inexistencia o uso inapropiado de controles del peligro son los incluidos a continuación. Tipos de eventos tecnológicos.

Tabla 117. Tipo de eventos tecnológicos

Tipo de evento	Definición
Derrame	Pérdida de contención accidental de una materia en estado líquido. (UNGRD, 2017).
Fuga	Pérdida de contención accidental de un material gaseoso o vapor. (UNGRD, 2017). Incluye los agentes biológicos liberados accidentalmente o de manera no controlada.
Incendio	Oxidación exotérmica rápida de un material combustible en estado de ignición. El material se puede encontrar en estado sólido, líquido o vapor (Crowl, 2002).
Explosión	Es una súbita liberación de gas a alta presión en el ambiente. Según su naturaleza las explosiones se pueden clasificar en físicas y en químicas (Chemical Process Safety, 2nd Edition & Crowl, 2002).
Accidentes en transporte	Accidentes tecnológicos de transporte en los que están involucrados medios de transporte mecanizados (fuente). Incluye accidentes de transporte aéreo, fluvial, marítimo, terrestre y por ductos. (IFCR, 2017)
Colapso	Cualquier condición externa o interna que incapacita a una estructura o elemento estructural a cumplir la función para la que ha sido diseñada, provocando la incapacidad de su función, pérdida de estabilidad y destrucción. (Parro, 2017).

Fuente: UNGRD, 2017.

4.7.3 Marco legal

La Unidad para la Gestión del Riesgo de Desastres tiene competencias en materia de gestión del riesgo de desastres esencialmente de dirección y coordinación del sistema, de formulación, implementación, articulación y evaluación de la política pública nacional en materia de gestión del riesgo de desastres.

En el marco de tales competencias, la UNGRD ha venido liderando o participando en la generación de normativa tendiente a la gestión del riesgo tecnológico. Dentro de este proceso, en diciembre de 2017 fue expedido el Decreto 2157, por medio del cual se adoptan directrices generales para la elaboración del Plan de Gestión del Riesgo de Desastres de las Entidades Públicas y Privadas (PGRDEPP), en el marco del artículo 42 de la ley 1523 de 2012. Dicho plan debe incluir, entre otros aspectos, el análisis específico de riesgo que considere los posibles efectos de eventos de origen Natural, socio-natural, tecnológico, biosanitario o humano no intencional, sobre la infraestructura expuesta y aquellos que se

deriven de los daños de la misma en su área de influencia de posible afectación por la entidad, así como de su operación que puedan generar una alteración intensa, grave y extendida en las condiciones normales de funcionamiento de la sociedad. Con base en ello realizará el diseño e implementación de medidas para reducir las condiciones de riesgo actual y futuro, además de la formulación del plan de emergencia y contingencia, con el fin de proteger la población, mejorar la seguridad, el bienestar y sostenibilidad de las entidades.

El PGRDEPP desarrolla los procesos de la gestión del riesgo establecidos por la Ley 1523 de 2012, así:

- Conocimiento del riesgo. Incluye la identificación, el análisis y la evaluación de riesgos, que permite identificar los escenarios de riesgo sobre los cuales se definen las medidas de reducción del riesgo y el marco de actuación para la respuesta y la recuperación.
- Reducción del riesgo. Determina las medidas correctivas y prospectivas para el tratamiento de los escenarios de riesgo identificados.
- Preparación para la respuesta a emergencias. Define mecanismos de organización, coordinación, funciones, competencias, responsabilidades, así como recursos disponibles y necesarios para garantizar la atención efectiva de las emergencias que se puedan presentar.

De otro lado, actualmente el SNGRD se encuentra en el proceso de actualización del Plan Nacional de Contingencia contra derrame de hidrocarburos, derivados y sustancias nocivas, en adelante PNC, reglamentado por el Decreto 321 de 1999. El PNC se activa como primera medida en el momento en que la “entidad responsable de la instalación, operación, dueño de la sustancia o actividad de donde se originó el derrame” activa su propio plan local de emergencias y reporta a las autoridades ambientales y entidades coordinadoras del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SNGRD) en los niveles municipal, departamental y nacional sobre el evento presentado.

Este mismo decreto determina que la responsabilidad directa de diseñar planes de contingencia corresponde a “(...) las industrias del sector petrolero y químico, personas naturales y jurídicas, públicas o privadas, que exploren, investiguen, exploten, produzcan, almacenen, transporten, comercialicen o efectúen cualquier manejo de hidrocarburos, derivados o sustancias nocivas, o que tengan bajo su responsabilidad el control y prevención de los derrames en aguas marinas, fluviales o lacustres.”

La actualización del PNC, se realiza de conformidad con lo establecido en el artículo 4° del Decreto 321 de 1999, el Plan Nacional de Desarrollo 2014-2018 y Plan Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres 2015-2025. Dicha actualización se adelanta desde el ‘Comité de Trabajo Interinstitucional para el Planteamiento de la Actualización del PNC’, creado mediante Resolución UNGRD N° 0262 de 2016, y conformado por la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo de Desastres-UNGRD, el Ministerio de Minas y Energía, Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible, Ministerio de Defensa, Ministerio de Transporte, Autoridad Nacional de Licencias Ambientales-ANLA, Agencia Nacional de Hidrocarburos-ANH, Dirección General Marítima-DIMAR y Armada Nacional.

De igual manera, actualmente se encuentra en desarrollo el proyecto de decreto por el cual se reglamenta el Programa de Prevención de Accidentes Mayores, lo anterior como parte de las acciones definidas en el documento CONPES 3868 – POLÍTICA DE GESTIÓN DEL RIESGO ASOCIADO AL USO DE SUSTANCIA QUÍMICAS, cuyo objetivo 2 se orienta a establecer los elementos técnicos y normativos para la prevención de accidentes mayores asociados al uso de sustancias químicas, todo esto como parte del proceso de adhesión a la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE) en el que Colombia ha venido trabajando para la inclusión de las diferentes decisiones y recomendaciones realizadas

por el organismo en diversas materias, dentro de las que se encuentran la C(2003)221 relacionada con prevención, preparación y respuesta de accidentes mayores.

4.7.4 Análisis de documentos disponibles

4.7.4.1 Plan Municipal para la gestión del riesgo de desastres (2014-2015).

Documento de la alcaldía municipal de Tenjo, Cundinamarca; Este documento registra en el Formulario **B IDENTIFICACIÓN DE ESCENARIOS DE RIESGO**, la ocurrencia de:

B.1. Identificación de Escenarios de Riesgo según el Criterio de Fenómenos Amenazantes:

Escenarios de riesgo asociados con fenómenos de origen tecnológico,
Escenarios de riesgo asociados con fenómenos de origen humano no Intencional
Escenarios de riesgo asociados con otros fenómenos.

B.2. Identificación de Escenarios de Riesgo según el Criterio de Actividades Económicas y Sociales

Riesgo asociado con la actividad minera
Riesgo asociado con festividades municipales

B.3. Identificación de Escenarios de Riesgo según el Criterio de Tipo de Elementos Expuestos

Riesgo en infraestructura social
Riesgo en infraestructura de servicios Públicos

Posteriormente, inicia el desarrollo del **Caracterización General del Escenario de Riesgo por “EXPLOSIONES”- Formulario 1. DESCRIPCIÓN DE SITUACIONES DE DESASTRE O EMERGENCIA ANTECEDENTES**, en el cual se registra como situación 1. Que *El día 27 de septiembre explotó polvorería Ubicada en la Vereda Jacalito.*

Lo anterior soporta el riesgo tecnológico por explosiones en el municipio de Tenjo, identificando las zonas de mayor afectación a la zona industrial.

4.7.4.2 Plan Municipal Para La Gestión Del Riesgo De Desastres PMGRD (2020)

Documento elaborado por la Alcaldía de Tenjo, en el capítulo 7. Caracterización General del Escenario de riesgo por “Explosiones”. Nuevamente, el Formulario 1. Registra la explosión de la Polvorería ubicada en la vereda San Jacinto, el 27 de septiembre de 2013. Se observa que es la misma información que la plasmada en el anterior PMGRD.

4.7.5 Análisis de información recopilada

De los talleres participativos y mesas de trabajo que se adelantaron en el municipio, se identifican los siguientes riesgos tecnológicos:

Tabla 118. Identificación de eventos tecnológicos en talleres

ORIGEN DEL EVENTO	ACTIVIDAD FUENTE DE RIESGO	TIPO DE EVENTO	DESCRIPCIÓN RIESGO	UBICACIÓN
Químico	Exploración y producción de hidrocarburos.	Derrame	Derrames de derivados de hidrocarburos.	Suelo Urbano: Estaciones de servicio, planta reguladora frente al colegio departamental.
Físico	Transporte	Accidentalidad de transportes	Accidentalidad Vial y difícil movilidad en horas pico, por falta de señalización y elementos de protección Vial	Red Vial: Risco Vía chía - Tenjo
Físico	Comercio, servicios y venta directa.	Explosiones	Explosiones por actividades industriales y domésticas asociadas al manejo de la pólvora.	Suelo Rural: Polvorera Vereda Jacalito.
Físico	Producción de energía eléctrica	Incendios estructurales.	Incendios por falta de mantenimiento de infraestructura de red eléctrica.	Municipio de Tenjo. Suelo Rural: Limites con el municipio de Madrid, Bodega palmacera.
Biológico	Geupo 4Virus	Pandemia COVID 19	Agentes biológicos del grupo 4. son los que causan enfermedades humanas graves y constituyen un serio peligro para la población con gran riesgo de propagación a la colectividad.	Municipio de Tenjo.

Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.7.6 Riesgo Tecnológico Municipal

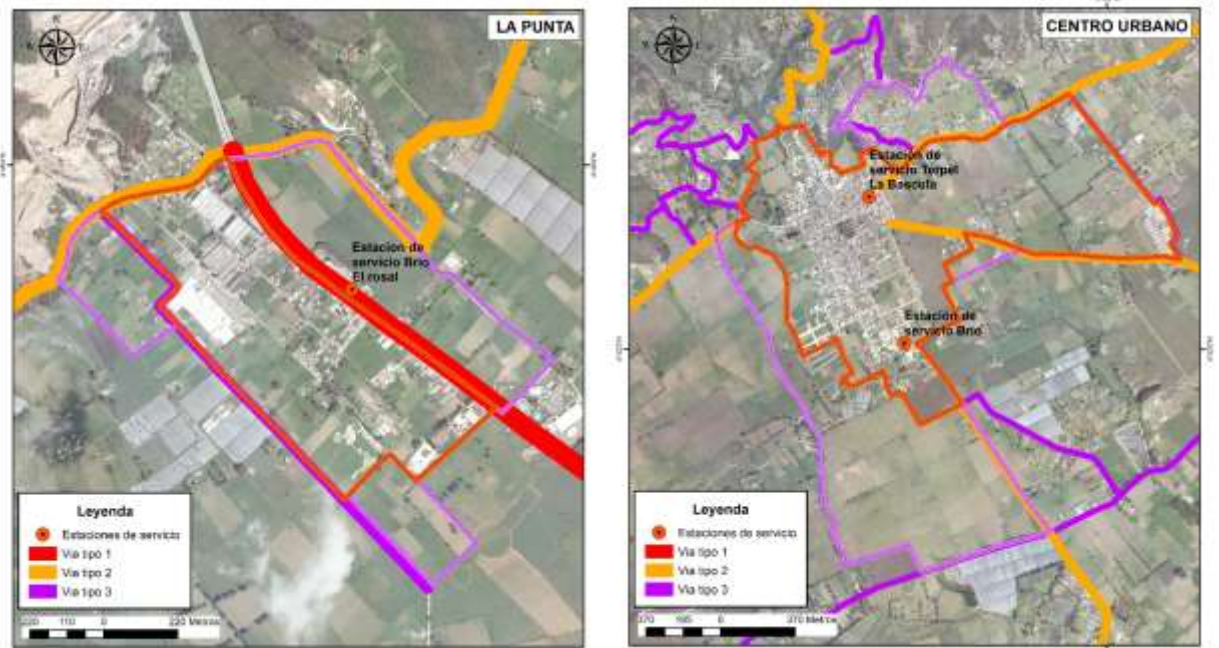
De acuerdo a las orientaciones del Decreto 1077 de 2015, de trabajar con la información disponible y el marco conceptual de la UNGRD, en el municipio de Tenjo se identifican las siguientes amenazas de origen antrópico, tipo riesgo Tecnológico de origen físico, químico y biológico

4.7.6.1 Eventos de origen Químico

Derrames. Producto de la actividad de comercialización de hidrocarburos, existe la posibilidad de derrames de productos derivados de los hidrocarburos en las estaciones de servicio. Los derrames pueden traer asociados otro tipo de impactos ambientales y tecnológicos como la contaminación, explosiones e incluso daños a los recursos naturales para los cuales solo existen acciones de seguimiento y control que efectúan las autoridades ambientales.

Las estaciones de servicio identificadas en suelo urbano corresponden a BRIO, Terpel La Bascula y BRIO el Rosal en el suelo urbano de La Punta.

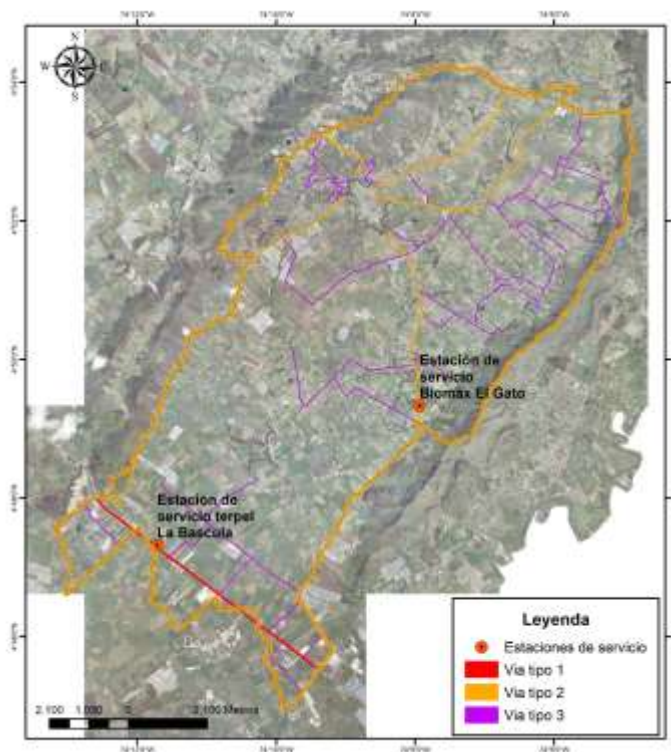
Gráfica 260 Estaciones de servicio con probabilidad de derrames en suelo urbano



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Las estaciones de servicio identificadas en suelo rural corresponden a la BIOMAX El Gato en la vía Tenjo Bogotá y la EDS del PEAJE SIBERIA en la vía Bogotá la Vega.

Gráfica 261 Estaciones de servicio con probabilidad de derrames en suelo rural



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

4.7.6.2 Eventos de origen Físico

- **Accidentalidad en infraestructura vial**

En el municipio existen vías de primer, segundo y tercer orden, en las cuales existe la posibilidad de ocurrencia de accidentes viales por diferentes razones. De acuerdo a la Ley 1228 de 2008, *Artículo 2 Zonas de reserva para carreteras de la red vial nacional*, para estas vías se acogerán las fajas de retiro que establece la norma y que se presentan en el mapa de riesgo tecnológico, para finalmente ser implementadas como medida de protección.

1. Carreteras de primer orden sesenta (60) metros.
2. Carreteras de segundo orden cuarenta y cinco (45) metros.
3. Carreteras de tercer orden treinta (30) metros.

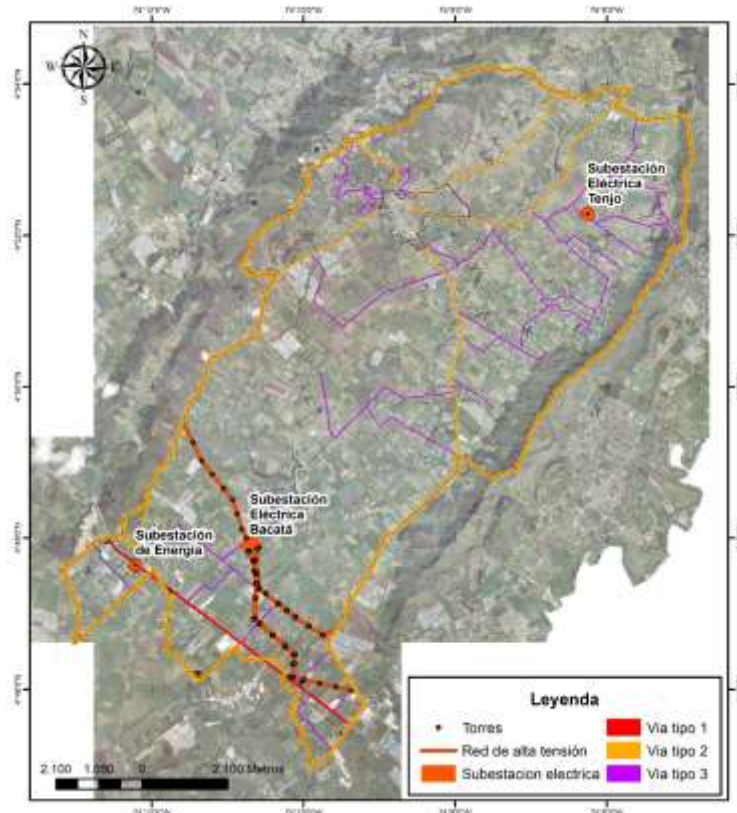
- **Accidentalidad por explosiones e incendios asociados a actividades de Comercio, servicios y venta directa.**

Existe alta posibilidad de accidentalidad por explosiones e incendios asociados a la actividad de comercio y venta directa de pólvora, evento ya ocurrido en una polvorera de la Vereda Jacalito. Dado que este tipo de accidentes suelen ocurrir por manejo equivocado o descuidos, se debe requerir a los interesados de estas actividades a elaborar un plan de seguridad, manejo y contingencia que sea reconocido por los propietarios, trabajadores y vecinos de la actividad.

- **Explosión e incendio en infraestructura eléctrica y de transporte de hidrocarburos**

En el suelo rural, al sur del municipio de Tenjo, en la vereda Jacalito se localiza la Sub estación eléctrica Bacata – Codensa (ENEL), así como torres y redes de alta tensión. De acuerdo con la Base IGAC, se identifican adicionalmente una estación de energía y una sub estación eléctrica llamada Tenjo.

Gráfica 262 Red de alta tensión y subestaciones eléctricas identificadas



Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021

Otra actividad que puede asociarse a eventos de explosión e incendios de topo antrópico son los proyectos licenciados de líneas de transporte de hidrocarburos que atraviesan el municipio de Tenjo. Esta infraestructura deberá respetar los derechos de vía determinados para cada proyecto.

Así mismo, se realizó consulta en el Sistema para el Análisis y Gestión de Información del Licenciamiento Ambiental – AGIL de la Autoridad Nacional de Licencias Ambientales-ANLA consolidada a la fecha, de proyectos licenciados y en evaluación por parte de esta Autoridad, ubicados dentro de la jurisdicción del municipio de Tenjo, Cundinamarca, encontrando los siguientes proyectos:

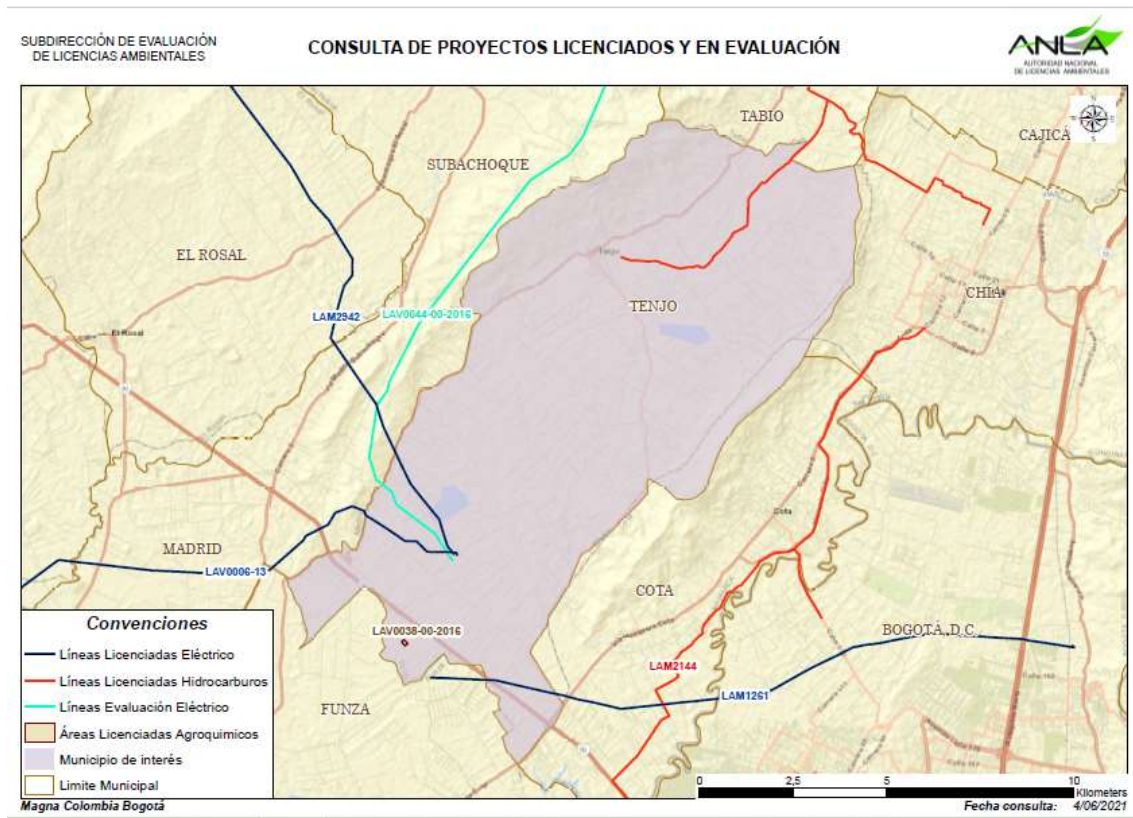
Tabla 119. Proyectos licenciados y en evaluación de ANLA para el municipio de Tenjo asociados a riesgo tecnológico.

EXPEDIENTE	SECTOR	OPERADOR	PROYECTO	ACTO ADMINISTRATIVO DE LICENCIAMIENTO
LAM2942	ENERGIA	INTERCONEXION ELECTRICA S.A. E.S.P. ISA	LÍNEA DE TRANSMISIÓN A 500 KV CIRCUITO SENCILLO PRIMAVERABACATÁ Y OBRAS ASOCIADAS	1166 del 18 de agosto de 2005
LAM1261	ENERGIA	INTERCONEXION ELECTRICA S.A. E.S.P. ISA	REPOTENCIACIÓN LÍNEA TORCA – NOROESTE A 230 KV	846 del 17 de diciembre de 1996
LAV0006-13	ENERGIA	EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN E.S.P. - EPM	PROYECTO DE TRANSMISIÓN NUEVA ESPERANZA LÍNEA A 500 KV	519 del 26 de mayo de 2014
LAM2144	HIDROCARBUROS	GAS NATURAL S.A E.S.P.	LÍNEAS DE CONDUCCION DE GAS NATURAL DE CHIA - COTA, COTA - SUBA Y COTA - FONTIBON	427 del 4 de mayo del 2000
LAV0044-00-2016	ENERGIA	EMPRESA DE ENERGIA DE BOGOTÁ S.A. E.S.P.	PROYECTO UPME-03-2010 SUBESTACIÓN CHIVOR II y NORTE 230 kV Y LÍNEAS DE TRANSMISIÓN ASOCIADAS - - Licencia Ambiental.	61 del 10 de octubre de 2016
LAV0038-00-2016	AGROQUIMICOS	INSEC AGROPECUARIA LTDA	OPERACIÓN DE LA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE PLAGUICIDAS	

Fuente: Sistema para el Análisis y Gestión de Información del Licenciamiento Ambiental – AGIL. Junio de 2021.

En la gráfica siguiente, se presenta la espacialización de la información suministrada por ANLA para proyectos licenciados y en evaluación que podrían estar relacionados con riesgos tecnológicos tipo explosión o incendios.

Gráfica 263. Proyectos licenciados y en evaluación del ANLA

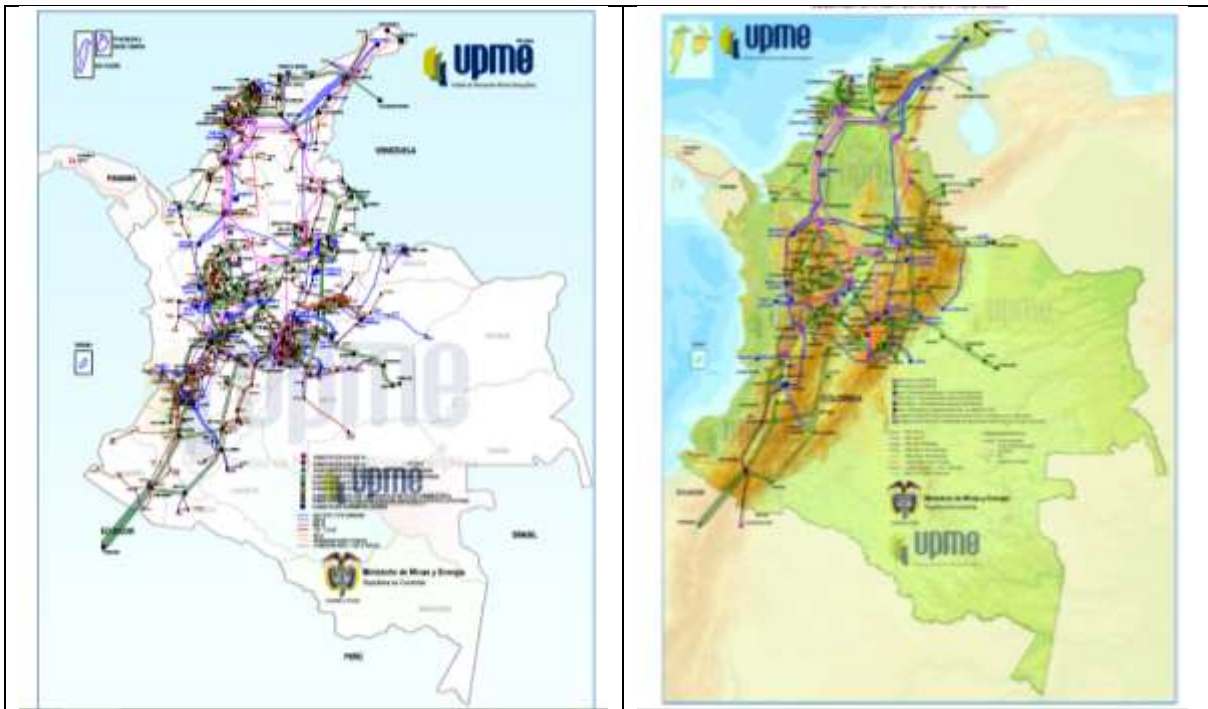


Fuente: IEU – UNAL y Alcaldía Municipal de Tenjo, 2021 con base en ANLA 2021

De acuerdo a la UPME, actualmente existen y se proyectan importantes proyectos de energía a nivel nacional, que atravesaran el municipio de Tenjo.

Gráfica 264. Proyectos de energía a nivel nacional, que tienen relación directa con el municipio de Tenjo

SISTEMA INTERCONECTADO NACIONAL STN - STR CON EXPANSIÓN 2019	COLOMBIA STN CON EXPANSIÓN VISIÓN 2033
---	---



Fuente: UPME 2020.

4.7.6.3 De origen Biológico

- Pandemia COVID.

Actualmente, la pandemia COVID, 19 es una de las enfermedades graves que constituyen un serio peligro para la población con gran riesgo de propagación a la colectividad. Situación ya reconocida a nivel global, se deberá trabajar con las autoridades de salud para acoger las medidas requeridas para su control.

4.8 Medidas de intervención

De acuerdo con el numeral del artículo 2.2.2.1.3.1.33 del Decreto 1077 de 2015 “*estas medidas están orientadas a establecer restricciones y condicionamientos mediante la determinación de normas urbanísticas*”. Así mismo, el artículo 2.2.2.1.3.2.1.6 del mismo Decreto señala que “*con base en los resultados de los estudios básicos, se deben determinar las medidas de mitigación no estructurales orientadas a establecer el modelo de ocupación del territorio y las restricciones o condicionamientos para el uso del suelo cuando sea viable, mediante la determinación de normas urbanísticas*”.

El municipio de Tenjo, con base en dicha norma regulará las áreas de amenaza alta, las áreas con condición de amenazas y las áreas con condición de riesgo y las áreas de amenaza media ocupadas, identificadas en los Estudios Básicos de Gestión del Riesgo de desastres que desarrollan las amenazas de origen natural tipo de movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones. Adicionalmente, se tendrá en cuenta

el principio de gradualidad de que trata la Ley 1523 de 2012 y de conformidad con lo previsto por la Ley 388 de 1997, el artículo 189 del Decreto-Ley 019 de 2012 y el Decreto Nacional 1077 de 2015.

4.8.1 Medidas de intervención no estructurales.

- a. **Determinación de norma urbanística para las áreas de amenaza alta y media en suelo rural.**
Esta norma urbanística será aplicada a las áreas de amenaza alta por movimientos en masa, por inundaciones y por avenidas torrenciales del suelo rural, resultado de los capítulos de zonificación de amenaza del presente Estudio Básico de Gestión del Riesgo de Desastres (EBGRD). Solo será posible desarrollar actuaciones urbanísticas conforme a la norma de usos establecida para cada área de actividad en el suelo rural definida en el artículo 16 del POT (Acuerdo 10 de 2014); cuando se hayan elaborado los estudios detallados establecidos en el Decreto 1077 de 2015 o la norma que lo adicione, modifique o sustituya.

Tabla 120. Norma urbanística para las áreas de amenaza alta rural

DESCRIPCION	ÁREAS DE AMENAZA ALTA Y MEDIA RURALES
USO PRINCIPAL	Los usos principales establecidos para el área conforme el POT vigente
USOS COMPATIBLES	Los usos compatibles establecidos para el área conforme el POT vigente
USOS CONDICIONADOS	Los usos condicionados establecidos para el área conforme el POT vigente

Nota: los usos condicionados y actividades quedan supeditados a los requerimientos normativos ambientales vigentes como licencias, permisos menores como concesiones o aprovechamientos forestales entre otros .

Fuente: Equipo Técnico Universidad Nacional de Colombia, 2021.

La infraestructura vial, eléctrica y de servicios públicos y que se pretenda desarrollar en zonas identificadas como amenaza alta deberá responder a procesos de prevención del riesgo de desastres, de forma tal que la construcción e intervención en esta infraestructura estará condicionada a los resultados de los estudios detallados. En la definición de las zonas de reserva para sistemas estructurantes o generales de que trata el artículo 2.2.1.1 del Decreto Nacional 1077 de 2015, con base en las cuales se definirán las afectaciones por causa de una obra pública de acuerdo con lo estipulado en artículos 37 de la Ley 9 de 1989 y 122 de la Ley 388 de 1997, la Administración Municipal deberá considerar los resultados de los estudios detallados amenaza, vulnerabilidad y riesgo que se elaboren para las áreas con condición de amenaza y con condición de riesgo.

De acuerdo con lo estipulado en el artículo 42 de la Ley 1523 de 2012, reglamentado por medio del Decreto Nacional 2157 de 2017, todas las entidades públicas y privadas, que desarrollen sus actividades en el territorio nacional, encargadas de la prestación de servicios públicos, que ejecuten obras civiles mayores o que desarrollen actividades industriales o de otro tipo que puedan significar riesgo de desastre debido a eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural, tecnológico, biosanitario o humano no intencional, deberán realizar el Plan de Gestión del Riesgo de Desastres de las Entidades Públicas y Privadas (PGRDEPP) incluirá, entre otros aspectos, el análisis específico de riesgo y con base en el cual realizará el diseño e implementación de medidas para reducir las condiciones de riesgo actual y futuro, además de la formulación del plan de emergencia y contingencia.

Condicionamientos para las áreas con zonificación de amenaza alta y media por inundaciones en suelo rural.

Las zonas identificadas en amenaza alta y media por inundaciones tendrán los siguientes condicionantes:

- Restringir el uso del suelo rural en las zonas de amenaza alta y media por inundaciones a cultivos transitorios, que puedan ser removidos en épocas de invierno y no se generen daños y pérdidas económicas.
- Realizar actividades periódicas de limpieza y mantenimiento (limpieza manual del lecho, limpieza de coberturas y recolección de basuras) de ríos y quebradas con amenaza alta, para mejorar la capacidad hidráulica y recuperar las estructuras existentes sobre estos.
- Elaborar estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, cuando se proyecte construir nuevos equipamientos rurales en zonas en amenaza alta y media por inundaciones.

Condicionamientos para las áreas con zonificación de amenaza alta y media por movimientos en masa en suelo rural.

Las zonas identificadas en amenaza alta y media por movimientos en masa tendrán los siguientes condicionantes:

- Establecimiento de sistemas agroforestales, restringiendo la implementación de cultivos limpios y mecanizados.
- Formular planes de manejo sostenible del suelo, usando la "Guía de buenas prácticas para la gestión y uso sostenible de los suelos en áreas rurales" del Ministerio de Ambiente y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura con el fin de mitigar la degradación del suelo por acción de la erosión.
- Hacer seguimiento continuo a las áreas en condición de riesgo rural, para vigilar el comportamiento de los elementos expuestos y la evolución de los escenarios de riesgo identificados.
- Elaborar estudios detallados de riesgo, cuando se proyecte construir nuevos equipamientos rurales en zonas en amenaza alta y media.

b. Determinación norma urbanística para las áreas con condición de amenaza en suelo rural: vivienda campestre corredores viales y suelo industrial

Esta norma urbanística será aplicada a las áreas con condición de amenaza por movimientos en masa, por inundaciones en suelo rural resultado de los capítulos de áreas con condición de amenaza del presente Estudio Básico de Gestión del Riesgo de Desastres (EBGRD).

Solo será posible desarrollar actuaciones urbanísticas conforme a la norma de usos establecida para cada área de actividad definida en el POT (Acuerdo 10 de 2014); cuando se hayan elaborado los estudios detallados establecidos en el Decreto 1077 de 2015 o la norma que lo adicione, modifique o sustituya. Así mismo, las densidades, ocupación y edificabilidad establecidos en el Acuerdo 10 de 2014 quedan condicionados a los resultados de los estudios detallados.

Tabla 121. Norma urbanística para las áreas con condición de amenaza en suelo rural suburbano corredor vial y suelo industrial

DESCRIPCION	ÁREAS CON CONDICIÓN DE AMENAZA EN SUELO RURAL SUBURBANO Y VIVIENDA CAMPESTRE
-------------	--

USO PRINCIPAL	Los usos principales establecidos para el área conforme el POT vigente
USOS COMPATIBLES	Los usos compatibles establecidos para el área conforme el POT vigente
USOS CONDICIONADOS	Los usos condicionados establecidos para el área conforme el POT vigente

Nota: Las áreas que se encuentren en condición de amenaza, estarán supeditados a que se realicen los estudios detallados correspondientes de acuerdo con el Decreto 1077 de 2015; con el fin de establecer la viabilidad del desarrollo.

Fuente: Equipo técnico IEU-UNAL, municipio de Tenjo, 2021.

c. Determinación norma urbanística para las áreas con condición de amenaza en centros poblados rurales

Esta norma urbanística será aplicada a las áreas con condición de amenaza por movimientos en masa en centros poblados y por avenidas torrenciales en el centro poblado Pan de Azúcar resultado de los capítulos de áreas con condición de amenaza del presente Estudio Básico de Gestión del Riesgo de Desastres (EBGRD).

Solo será posible desarrollar las actuaciones urbanísticas conforme a la norma de usos establecida para cada área de actividad definidas en el POT (Acuerdo 10 de 2014); cuando se hayan elaborado los estudios detallados establecidos en el Decreto 1077 de 2015 o la norma que lo adicione, modifique o sustituya. Así mismo, las densidades, ocupación y edificabilidad establecidos en el Acuerdo 10 de 2014 quedan condicionados a los resultados de los estudios detallados.

Tabla 122. Norma urbanística para las áreas con condición de amenaza en centros poblados rurales.

DESCRIPCION	ÁREAS CON CONDICION DE AMENAZA EN CENTROS POBLADOS RURALES
USO PRINCIPAL	Los usos principales establecidos para el área conforme el POT vigente
USOS COMPATIBLES	Los usos compatibles establecidos para el área conforme el POT vigente
USOS CONDICIONADOS	Los usos condicionados establecidos para el área conforme el POT vigente

Nota: Las áreas que se encuentren en condición de amenaza o riesgo, estarán supeditados a que se realicen los estudios detallados correspondientes de acuerdo con el Decreto 1077 de 2015; con el fin de establecer la viabilidad del desarrollo.

Fuente: Equipo técnico IEU-UNAL, municipio de Tenjo, 2021.

d. Determinación norma urbanística para las áreas con condición de amenaza en suelo urbano y expansión urbana

La norma urbanística será aplicada a las áreas con condición de amenaza por movimientos en masa, por inundaciones y por avenidas torrenciales, resultado de los capítulos de áreas con condición de amenaza del presente Estudio Básico de Gestión del Riesgo de Desastres (EBGRD).

De conformidad con la Resolución N° 462 de 20173, expedida por el Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, para la urbanización, construcción y/o parcelación, se deberán adjuntar a las solicitudes de licencias de nuevas urbanizaciones, construcciones y/o parcelaciones, los estudios detallados de amenaza y/o riesgo por fenómenos de movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales, según corresponda, que permitan determinar la viabilidad del futuro desarrollo, siempre y cuando se garantice la mitigación de la amenaza.

³ Por medio de la cual se establecen los documentos que deberán acompañar las solicitudes de licencias urbanísticas y de modificación de las licencias urbanísticas vigentes

Los estudios de detalle deberán elaborarse de conformidad con lo parámetros establecidos en el Decreto Nacional 1077 de 2015 o la norma que lo modifique, adicione o sustituya, lo cual se detalla en el ítem correspondiente en este documento.

Estos estudios deberán incluir el diseño de las medidas de mitigación y serán elaborados y firmados por profesionales idóneos en las materias, quienes conjuntamente con el urbanizador serán responsables de los mismos, sin perjuicio de su responsabilidad por la correcta ejecución de las obras de mitigación. En todo caso, las obras de mitigación deberán ser ejecutadas por el urbanizador responsable o, en su defecto, por el titular del predio o predios durante la vigencia de la licencia.

Solo será posible desarrollar las actuaciones urbanísticas conforme a la norma de usos establecida para cada área de actividad definidas en el POT (Acuerdo 10 de 2014); cuando se hayan elaborado los estudios detallados establecidos en el Decreto 1077 de 2015 o la norma que lo adicione, modifique o sustituya. Así mismo, las densidades, ocupación y edificabilidad establecidos en el Acuerdo 10 de 2014 quedan condicionados a los resultados de los estudios detallados.

Tabla 123. Norma urbanística para las áreas con condición de amenaza.

DESCRIPCION	ÁREAS CON CONDICION DE AMENAZA
USO PRINCIPAL	Los usos principales establecidos para el área conforme el POT vigente
USOS COMPATIBLES	Los usos compatibles establecidos para el área conforme el POT vigente
USOS CONDICIONADOS	Los usos condicionados establecidos para el área conforme el POT vigente

Fuente: Equipo técnico IEU-UNAL, municipio de Tenjo, 2021.

Las áreas en tratamiento de desarrollo y en suelo de expansión urbana que se encuentre en condición de amenaza estarán supeditados a que se realicen los estudios detallados correspondientes de acuerdo con el Decreto 1077 de 2015; con el fin de establecer la viabilidad del desarrollo urbanístico. El resultado de los estudios debe incluirse en el planteamiento urbanístico; y en el diagnóstico y la formulación del plan parcial cuando aplique, así como el diseño de las obras que deben hacer parte del proceso de urbanismo y las acciones a que haya lugar como resultados de los mismos. En las áreas con condición de amenaza alta y media sobre las cuales no se pueda disminuir su nivel de amenaza y en aquella con riesgo alto no mitigable que definan los estudios detallados, no se podrán localizar cesiones para parques y equipamientos.

La infraestructura vial, eléctrica y de servicios públicos y que se pretenda desarrollar en zonas identificadas como condición de amenaza deberá responder a procesos de prevención del riesgo de desastres, de forma tal que la construcción e intervención en esta infraestructura estará condicionada a los resultados de los estudios detallados. En la definición de las zonas de reserva para sistemas estructurantes o generales de que trata el artículo 2.2.1.1 del Decreto Nacional 1077 de 2015, con base en las cuales se definirán las afectaciones por causa de una obra pública de acuerdo con lo estipulado en artículos 37 de la Ley 9 de 1989 y 122 de la Ley 388 de 1997, la Administración Municipal deberá considerar los resultados de los estudios detallados amenaza, vulnerabilidad y riesgo que se elaboren para las áreas con condición de amenaza y con condición de riesgo.

De acuerdo con los estipulado en el artículo 42 de la Ley 1523 de 2012, reglamentado por medio del Decreto Nacional 2157 de 2017, todas las entidades públicas y privadas, que desarrollen sus actividades en el territorio nacional, encargadas de la prestación de servicios públicos, que ejecuten obras civiles mayores o que desarrollen actividades industriales o de otro tipo que puedan significar riesgo de desastre debido a eventos físicos peligrosos de origen natural, socio-natural, tecnológico, biosanitario o humano no intencional, deberán realizar el Plan de Gestión del Riesgo de Desastres de las Entidades Públicas y Privadas

(PGRDEPP) incluirá, entre otros aspectos, el análisis específico de riesgo y con base en el cual realizará el diseño e implementación de medidas para reducir las condiciones de riesgo actual y futuro, además de la formulación del plan de emergencia y contingencia.

El desarrollo de los usos principales, compatibles y condicionados definidos en el Acuerdo 10 de 2014 para los predios que se encuentren dentro de las áreas con condición de amenaza por movimientos en masa de los suelos urbanos y de expansión urbana del Área Central y de La Punta y para las áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el Suelo Urbano de la Zona Urbana Central, estará supeditado a la realización de los estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo y solamente se podrá autorizar, siempre y cuando los resultados de estos lo recomienden.

Asimismo, el desarrollo de los predios aplicando las normas urbanísticas de los tratamientos urbanísticos asignados en el Acuerdo 10 de 2014 para las áreas con condición de amenaza por movimientos en masa de los suelos urbanos y de expansión urbana del Área Central y de La Punta y para las áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el Suelo Urbano y en el Suelo de Expansión del Área Central, estará supeditado a la realización de los estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo y solamente se podrá autorizar, siempre y cuando los resultados de estos lo recomienden.

Las intervenciones que se realicen en los elementos de los sistemas vial, de equipamientos colectivos, de espacio público y de servicios públicos que se encuentren en las áreas con condición de amenaza por movimientos en masa delimitadas y zonificadas para los suelos urbanos y de expansión urbana de la Zona Urbana Central y de La Punta y en las áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales en el Suelo Urbano y en el Suelo de Expansión del Área Central, estarán supeditadas a la realización de los estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo y solamente se podrán autorizar, siempre y cuando los resultados de estos las recomienden.

El titular de una licencia urbanística y/o el urbanizador, parcelador o constructor deberá tomar todas las medidas de prevención para que dentro del proceso constructivo se garantice la estabilidad, habitabilidad y funcionalidad de las nuevas construcciones y de las edificaciones vecinas, así como los elementos constitutivos del espacio público, siguiendo los requisitos establecidos en las normas de diseño y construcción sismo-resistente NSR-10, la Ley 400 de 1997 y sus decretos reglamentarios, o las que los modifiquen, adicionen o sustituyan.

En conclusión, el desarrollo de las áreas en condición de amenaza delimitadas en los suelos urbanos y de expansión del Área Central y de La Punta se condiciona a la elaboración de los estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, para lo cual se definen los siguientes criterios para la caracterización y delimitación de las unidades de análisis y para la realización de los citados estudios detallados.

e. Medidas no estructurales para áreas con condición de riesgo en suelo rural

En las áreas con condición de riesgo en suelo rural se deberá realizar un seguimiento que permita tener un control del comportamiento de los elementos expuestos a movimientos en masa o inundaciones y la evolución de los escenarios de riesgo identificados. Adicionalmente, se deberán realizar actividades periódicas de limpieza y mantenimiento (limpieza manual del lecho, limpieza de coberturas y recolección de residuos) de los drenajes y vallados cercanos a dichos elementos expuestos, para mejorar la capacidad hidráulica y recuperar las estructuras existentes sobre estos.

f. Medidas no estructurales para áreas con condición de riesgo en centros poblados rurales

Esta norma será aplicada en las áreas con condición de riesgo, resultado del correspondiente capítulo en este Estudio Básico de Gestión del Riesgo, localizadas centros poblados del municipio de Tenjo. Estas áreas serán objeto de estudios detallados, previo a cualquier actuación urbanística o procesos de legalización.

Solo será posible desarrollar actuaciones urbanísticas conforme a la norma de usos establecida para cada área de actividad definida en el POT (Acuerdo 10 de 2014); cuando se hayan elaborado los estudios detallados establecidos en el Decreto 1077 de 2015 o la norma que lo adicione, modifique o sustituya. Así mismo, las densidades, ocupación y edificabilidad establecidos en el Acuerdo 10 de 2014 quedan condicionados a los resultados de los estudios detallados.

Tabla 124. Norma urbanística para las áreas con condición de riesgo en centros poblados rurales.

DESCRIPCION	ÁREAS CON CONDICION DE RIESGO EN CENTROS POBLADOS
USO PRINCIPAL	Los usos principales establecidos para el área conforme el POT vigente
USOS COMPATIBLES	Los usos compatibles establecidos para el área conforme el POT vigente
USOS CONDICIONADOS	Los usos condicionados establecidos para el área conforme el POT vigente

Nota: Las áreas que se encuentren en condición de amenaza o riesgo, estarán supeditados a que se realicen los estudios detallados correspondientes de acuerdo con el Decreto 1077 de 2015; con el fin de establecer la viabilidad del desarrollo.

Fuente: Equipo técnico IEU-UNAL, municipio de Tenjo, 2021.

g. Determinación de norma urbanística para las áreas con condición de riesgo en suelo urbano y expansión urbana

La asignación del régimen general de usos y tratamientos, y normas de densidades, ocupación y edificabilidad que se podrán desarrollar condicionados a los resultados de los estudios detallados. Esta norma será aplicada en las áreas con condición de riesgo, resultado del correspondiente capítulo en este Estudio Básico de Gestión del Riesgo, localizadas en suelo urbano del municipio de Tenjo. Estas áreas serán objeto de estudios detallados, previo a cualquier actuación urbanística o procesos de legalización.

Los estudios de detalle deberán elaborarse de conformidad con los parámetros establecidos en el Decreto Nacional 1077 de 2015 o la norma que lo modifique, adicione o sustituya y lo detallado en el ítem de condiciones técnicas para la realización de estudios de detalle. Estos serán elaborados y firmados por profesionales idóneos en la materia y seguirán el proceso de incorporación requerido en la norma. El alcance de los estudios detallados incluye la caracterización detallada de la amenaza, análisis de vulnerabilidad, evaluación de vulnerabilidad, evaluación del riesgo y determinación de medidas de mitigación estructurales.

Con base en los resultados de los estudios de detalle que permitan determinar con mayor exactitud las condiciones físicas, geológicas y morfológicas de los terrenos, el alcalde municipal mediante decreto, podrá:

“ARTICULO 2.2.2.1.3.2.2.8 Incorporación de los resultados de estudios detallados al POT. Con base en los resultados de los estudios detallados y mediante acto administrativo, el alcalde municipal o distrital o la dependencia delegada para el efecto, podrá realizar la precisión cartográfica y la definición de las normas urbanísticas a que haya lugar en el área objeto de estudio, de conformidad con lo previsto en el Plan de Ordenamiento Territorial y deberá registrarse en todos los planos de la cartografía oficial. En todo caso, cuando los resultados de los estudios detallados generen la modificación de los usos del suelo o de normas urbanísticas del Plan de Ordenamiento Territorial deberá emprenderse su revisión, ajuste o modificación en los términos de la Ley 388 de 1997 y las normas que la adicionen, modifiquen o complementen”.

Solo será posible desarrollar actuaciones urbanísticas en las áreas con condición de riesgo, conforme a la norma de usos establecida en el POT (Acuerdo 10 de 2014); cuando se hayan elaborado los estudios detallados establecidos en el Decreto 1077 de 2015 o la norma que lo adicione, modifique o sustituya; y se hayan desarrollado las medidas para la mitigación o reasentamiento que deban tomarse con base a la información obtenida de los estudios detallados, según lo establece el Decreto 1077 de 2015.

Se establece la siguiente norma urbanística:

Solo será posible desarrollar actuaciones urbanísticas conforme a la norma de usos establecida para cada área de actividad definida en el POT (Acuerdo 10 de 2014); cuando se hayan elaborado los estudios detallados establecidos en el Decreto 1077 de 2015 o la norma que lo adicione, modifique o sustituya. Así mismo, las densidades, ocupación y edificabilidad establecidos en el Acuerdo 10 de 2014 quedan condicionados a los resultados de los estudios detallados.

Tabla 125. Norma urbanística para las áreas con condición de riesgo.

DESCRIPCION	ÁREAS CON CONDICION DE RIESGO EN SUELO URBANO Y CENTROS POBLADOS
USO PRINCIPAL	Los usos principales establecidos para el área conforme el POT vigente
USOS COMPATIBLES	Los usos compatibles establecidos para el área conforme el POT vigente
USOS CONDICIONADOS	Los usos condicionados establecidos para el área conforme el POT vigente

Fuente: Equipo técnico IEU-UNAL, municipio de Tenjo, 2021.

La formulación de los planes parciales en los suelos de expansión urbana del Área Central y de La Punta donde se hayan delimitado y zonificado áreas con condición de amenaza y con condición de riesgo deberá incluir la realización de los estudios de detalle.

El desarrollo de los usos principales, compatibles y condicionados definidos en el Acuerdo 10 de 2014 para los predios que se encuentren dentro de las áreas con condición de riesgo por movimientos en masa de los suelos urbanos y de expansión urbana de la Zona Urbana Central y de La Punta y para las áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el Suelo Urbano del Área Central, estará supeditado a la realización de los estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo y solamente se podrá autorizar, siempre y cuando los resultados de estos lo recomienden.

Asimismo, el desarrollo de los predios aplicando las normas urbanísticas de los tratamientos urbanísticos asignados en el Acuerdo 10 de 2014 para las áreas con condición de riesgo por movimientos en masa de los suelos urbanos y de expansión urbana de la Zona Urbana Central y de La Punta y para las áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el Suelo Urbano del Área Central, estará supeditado a la realización de los estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo y solamente se podrá autorizar, siempre y cuando los resultados de estos lo recomienden.

La formulación de los planes parciales en los suelos de expansión urbana de la Zona Urbana Central y de La Punta donde se hayan delimitado y zonificado áreas con condición de riesgo por movimientos en masa deberá incluir la realización de los estudios detallados.

Solamente se podrán localizar cesiones Tipo A en las áreas con condición de riesgo por movimientos en masa delimitadas y zonificadas para los suelos urbanos y de expansión urbana del Área Central y de La Punta y para las áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el Suelo Urbano de la Zona

Urbana Central, una vez se realicen los estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo, siempre y cuando los resultados de estos lo recomienden.

Las intervenciones que se realicen en los elementos de los sistemas vial, de equipamientos colectivos, de espacio público y de servicios públicos que se encuentren en las áreas con condición de riesgo por movimientos en masa delimitadas y zonificadas para los suelos urbanos y de expansión urbana de la Zona urbana Central y de La Punta y para las áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales en el Suelo Urbano del Área Central, estarán supeditadas a la realización de los estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo y solamente se podrán autorizar, siempre y cuando los resultados de estos las recomienden.

El titular de una licencia urbanística y/o el urbanizador, parcelador o constructor deberá tomar todas las medidas de prevención para que dentro del proceso constructivo se garantice la estabilidad, habitabilidad y funcionalidad de las nuevas construcciones y de las edificaciones vecinas, así como los elementos constitutivos del espacio público, siguiendo los requisitos establecidos en las normas de diseño y construcción sismo-resistente NSR-10, la Ley 400 de 1997 y sus decretos reglamentarios, o las que los modifiquen, adicionen o sustituyan.

En conclusión, el desarrollo de las áreas en condición de riesgo delimitadas en los suelos urbanos y de expansión de la Zona Urbana Central y de La Punta se condiciona a la elaboración de los estudios detallados de riesgo, para lo cual se definen los siguientes criterios para la caracterización y delimitación de las unidades de análisis y para la realización de los citados estudios detallados.

h. Determinación de norma urbanística para las áreas de amenaza media ocupada

En estas áreas se adelantarán las acciones requeridas para estas áreas relacionadas con el manejo de aguas y adecuación de taludes, entre otros, así como de las acciones para realizar seguimiento y monitoreo a fin de garantizar que no se generen condiciones de riesgo.

En las áreas de amenaza media ocupadas, además se realizará seguimiento a la aplicación de la norma de seguridad sismorresistente de acuerdo con los requisitos de la Ley 400 de 1997 y el Decreto 926 de 2010 Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 o las normas que los modifiquen, adicionen o sustituyan.

4.8.2 Priorización de zonas para estudios de detalle y definición de las condiciones técnicas para su elaboración

Se elaborarán estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo en todas las áreas en condición de amenaza por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales en suelo rural suburbano (

Se elaborarán estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo en todas las áreas en condición de amenaza por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales en suelo rural suburbano (corredores viales y vivienda campestre), centros poblados, suelo urbano y expansión urbana. Igualmente se priorizan las áreas en condición de riesgo por movimientos en masa y avenidas torrenciales en centros poblados, suelo urbano y expansión urbana

Los requerimientos mínimos para la elaboración de los estudios detallados se presentan en la *Subsección 2 Condiciones técnicas para la elaboración de estudios detallados* por movimientos en masa del Decreto 1077 de 2015.

El fin último de la elaboración de dichos estudios detallados es determinar el nivel del riesgo en las áreas priorizadas y si este es mitigable o no. En caso de obtenerse un riesgo alto mitigable se podrán formular y viabilizar estudios de prefactibilidad para el diseño y ejecución de las respectivas obras estructurales de mitigación; en caso de tener un riesgo alto no mitigable se deberá ejecutar el reasentamiento de la población localizada en este tipo de riesgo.

Teniendo en cuenta que el Plan de Ordenamiento Territorial del municipio de Tenjo se encuentra en el mediano plazo, a continuación, se presenta la priorización para la elaboración de los estudios detallados para la amenaza por movimientos en masa en el suelo urbano, de expansión urbana y centros poblados.

Estudios detallados de AVR por movimientos en masa:

- En el suelo urbano (Polígono ED_02_MM_CENTROURBANO_LP)
- En suelo de expansión urbana sector cementerio (Polígono ED_01_MM_CEMENTERIO_MP)
- En suelo urbano y de expansión urbana sector de La Punta (Polígono ED_03_MM_SUELOURBANO_LAPUNTA_LP)
- En los centros poblados de La Cascajera, el Palmar, los Pinos, Pan de azúcar (Polígono ED_04_MM_CP_CASCAJERA_LP - ED_05_MM_CP_ELPALMAR_LP - ED_06_MM_CP_JUAICA_LP - ED_07_MM_CP_LOSPINOS_LP - ED_08_MM_CP_PANAZUCAR_LP)
- En el suelo suburbano (ED_12_MM_RURAL_LP)




Estudios detallados de AVR por avenidas torrenciales:





- En suelo urbano (Polígono ED_10_AT_CENTROURBANO_LP)
- En suelo de expansión urbana sector cementerio ED_09_AT_CEMENTERIO_LP
- Centro poblado Pan de Azúcar (Polígono ED_11_AT_CP_PANAZUCAR_LP)




Estudios detallados de AVR por inundaciones:



- En el suelo suburbano (ED_13_IND_RURAL_LP)


Tabla 126. Priorización de estudio detallados de amenaza vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa.

Suelo	Descripción de priorización	Imagen	Plazo		No de Plano
			Mediano	Largo	
Centro Urbano	El polígono está conformado por 3,51 hectáreas con condición de amenaza por movimientos en masa y 0,36 hectáreas con condición de riesgo por movimientos en masa			X	CG_39 Polígonos para estudios detallados a largo plazo
Suelo de expansión urbana (Sector cementerio)	El polígono está conformado por 3,78 hectáreas con condición de amenaza por movimientos en masa y 3,71 hectáreas con condición de riesgo por movimientos en masa		X		CG_38 Polígonos para estudios detallados a mediano plazo
Suelo urbano y de expansión urbana de la punta	El polígono está conformado por 0,00249 hectáreas en el suelo urbano y 0,75 hectáreas en el suelo de expansión urbana con condición de amenaza por movimientos en masa y 0,0024 hectáreas en el suelo urbano y 0,0263 hectáreas en el suelo de expansión urbana con condición de riesgo por movimientos en masa			X	CG_39 Polígonos para estudios detallados a largo plazo

Suelo	Descripción de priorización	Imagen	Plazo		No de Plano
			Mediano	Largo	
Centro poblado Cascajera	El polígono está conformado por 0.99hectáreas con condición de amenaza por movimientos en masa y 0,37hectáreas con condición de riesgo por movimientos en masa			X	CG_39 Polígonos para estudios detallados a largo plazo
Centro poblado El Palmar	El polígono está conformado por 0.86hectáreas con condición de amenaza por movimientos en masa y0,027hectáreas con condición de riesgo por movimientos en masa			X	CG_39 Polígonos para estudios detallados a largo plazo
Centro poblado Juaica	El polígono está conformado por 1,82 hectáreas con condición de amenaza por movimientos en masa y 0,014hectáreas con condición de riesgo por movimientos en masa			X	CG_39 Polígonos para estudios detallados a largo plazo
Centro poblado Los Pinos	El polígono está conformado por 0.074hectáreas con condición de amenaza por movimientos en masa			X	CG_39 Polígonos para estudios detallados a largo plazo

Suelo	Descripción de priorización	Imagen	Plazo		No de Plano
			Mediano	Largo	
Centro Poblado Pan de Azúcar	El polígono está conformado por 0,92 hectáreas con condición de amenaza por movimientos en masa y 0,31 hectáreas con condición de riesgo por movimientos en masa			X	CG_39 Polígonos para estudios detallados a largo plazo
Centro Urbano	El polígono está conformado por 0,011031 hectáreas de áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales y 1,13 hectáreas que conforman las áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales	 		X	CG_39 Polígonos para estudios detallados a largo plazo

Suelo	Descripción de priorización	Imagen	Plazo		No de Plano
			Mediano	Largo	
Centro poblado Pan de Azúcar	El polígono está conformado por 0,22 hectáreas que conforman las áreas con condición de amenaza por avenidas torrenciales			X	CG_39 Polígonos para estudios detallados a largo plazo
	El polígono está conformado por 0,009334 hectáreas de áreas con condición de riesgo por avenidas torrenciales				
Rural	El polígono está conformado por 0.991 ha de áreas con condición de amenaza por movimientos en masa			X	CG_39 Polígonos para estudios detallados a largo plazo

Suelo	Descripción de priorización	Imagen	Plazo		No de Plano
			Mediano	Largo	
Rural	El polígono está conformado por 228.58 hectáreas de áreas con condición de amenaza por inundaciones			X	CG_39 Polígonos para estudios detallados a largo plazo

Fuente: Equipo técnico IEU-UNAL, municipio de Tenjo, 2021.

4.8.3 Condiciones técnicas para la realización de estudios de detalle

La priorización de estudios detallados en el municipio de Tenjo se proyecta en áreas del suelo urbano, de expansión urbana, centros poblados y el suelo rural suburbano (ED_12_MM_RURAL_LP y ED_13_IND_RURAL_LP). Atendiendo a lo mencionado, la escala de trabajo para la elaboración de estudios detallados según lo establecido en el Decreto 1077 de 2015 debe ser la presentada en la siguiente tabla.

Tabla 127 Escala de trabajo para estudios detallados

Clase de suelo	Escala
Urbano	1:2.000
Expansión urbana	1:2.000
Rural suburbano	1:5.000

Fuente: Adaptado de (Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio, 2015)

Los estudios detallados se deberán desarrollar acorde a los requerimientos técnicos establecidos en el Decreto 1077 de 2015 y a la Guía Metodológica del Servicio Geológico Colombiano para el caso de movimientos en masa. Para estudios detallados acorde con el artículo 2.2.2.1.3.2.2.1., deberá evaluar detalladamente la amenaza, vulnerabilidad, riesgo y definir las medidas de mitigación.

El análisis detallado de amenaza por movimientos en masa considerará como mínimo las UGI, geomorfología a nivel de elementos, hidrogeología, drenaje superficial, sismología, uso del suelo, exploración del subsuelo, levantamiento topográfico y predial, adicionalmente deberá considerar cómo causa de la inestabilidad del terreno factores como agua, sismo y procesos antrópicos y analizar cómo mínimo tres escenarios, sumado a esto se recomienda emplear como guía la metodología propuesta por el SGC en el año 2015 para estudios detallados a escalas 1:5.000, 1:2.000 y 1:1.000.

El análisis detallado de la amenaza por inundación deberá considerar como mínimo información hidrológica, hidráulica, topografía y batimetría de los cauces analizados, adicionalmente el análisis deberá considerar las geoformas y eventos históricos.

Para las áreas priorizadas por avenidas torrenciales, se deberá complementar el estudio detallado, empleando la zonificación detallada a escala 1:2.000 por este evento amenazante y realizar la evaluación de la vulnerabilidad, categorización del riesgo, definición de las áreas con riesgo mitigable y no mitigable y establecer las medidas estructurales para la mitigación de dicho riesgo.

En las áreas con condición de amenaza o condición de riesgo, urbanas o rurales, en las cuales los estudios detallados determinen la existencia de riesgo alto no mitigable y se encuentren localizados asentamientos humanos, la Administración Municipal adelantará las acciones necesarias, suficientes y oportunas para la respectiva reubicación en el corto plazo que será equivalente al término de un periodo de gobierno. El inventario de viviendas a reubicar se realizará en el estudio detallado y la reubicación de los hogares se hará en las zonas definidas para vivienda VIS y VIP, en las zonas de expansión urbana que se determinen como seguras.

Una vez concluida la reubicación, la Administración Municipal adelantará las acciones tendientes a la demolición de las construcciones ocupadas por la población reubicada y a la recuperación y restauración del área desocupada. Los costos del demolición y recuperación de las áreas desocupadas con ocasión de la reubicación de asentamientos, deberán hacer parte y estar previstos en el presupuesto del(os) respectivo(s) proyecto(s) de reubicación.

La administración Municipal, dentro de los proyectos a corto y mediano plazo y de acuerdo con el presupuesto apropiado para la gestión del riesgo y proyectos de vivienda, deberá formular proyectos de mejoramiento enfocados al reforzamiento estructural de aquellas viviendas ubicadas en zona de alto riesgo, siempre y cuando se hayan implementado y ejecutado los proyectos y obras tendientes a la mitigación del riesgo en la zona general declarada.

4.8.4 Componente programático de gestión del riesgo

Se debe actualizar e implementarla política de gestión del riesgo, con el objeto de preparar a las comunidades, actores públicos y privados y comunidad en general a conocer su territorio, implementar las medidas planteadas en los instrumentos de planificación y prepararse para prevenir cualquier evento amenazante de origen natural, socionatural o antrópico; así como adoptar medidas y decisiones efectivas en que promuevan los procesos de la gestión del riesgo y el cambio climático. Se presentan en el cuadro de programas las entidades gestoras que se consideran aliadas para la gestión de los proyectos.

Se sugieren como programas base los siguientes:

- **Gestión del conocimiento y cultura municipal para la gestión del riesgo.** Con el objeto construir la información necesaria orientada a ampliar el conocimiento de las comunidades ante las amenazas de inundaciones, movimientos en masas, avenidas torrenciales e incendios forestales; así como trabajar en la identificación y manejo de las acciones para adaptación al cambio climático que afecta al planeta.
- **Reducción del riesgo.** Medidas orientadas a generar acciones de prevención y mitigación de los factores de riesgo (amenaza y vulnerabilidad) y adaptación al cambio climático. Hacer parte del

Sistema Integrado de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres y el Cambio Climático de la Cuenca del Río Bogotá para aportar, consolidar y diseminar la información relacionada con gestión del riesgo y el cambio climático de la Cuenca del Río Bogotá.

- **Manejo de desastres.** Fortalecimiento del Sistema Municipal para la Prevención, Atención y Recuperación de Desastres. Acciones que deben orientar a la administración del municipio de Tenjo y toda la ciudadanía a estar preparados para el manejo y adecuada atención en caso de ocurrir algún evento de carácter desastroso. Comprende la realización de actividades orientadas a promover y/o posibilitar el ejercicio permanente del Consejo Municipal para la Gestión del Riesgo de Desastres, en sus ámbitos de prevención, atención y recuperación de desastres. Medidas de adaptación frente a la variabilidad climática.. Se generarán proyectos para la gestión de acciones de protección y restauración de ecosistemas estratégicos.

A continuación se presenta el componente programático de Gestión del riesgo con los programas y proyectos, las entidades aliadas para la gestión de estas acciones y el tiempo de gestión para el corto, mediano y largo plazo.

Tabla 128. Componente programático de gestión de riesgo

PROGRAMA	PROYECTO	ENTIDADES GESTORAS	TIEMPO DE GESTIÓN		
			CP	MP	LP
Gestión del conocimiento	Realización de estudios detallados en las áreas con condición de amenaza y en las áreas con condición de riesgo bajo los lineamientos del decreto 1077 de 2015, o la norma que lo complementa o sustituya.	CAR GOBERNACIÓN MUNICIPIO*	X	X	
	Construcción de Base de datos inventario de eventos amenazantes y damnificados.	MUNICIPIO	X	X	X
	Educación Ambiental con enfoque de prevención y atención de desastres de origen natural, socionatural y antrópico, adaptación al cambio climático y recomendaciones para el ahorro y uso del agua en época de verano.	UNGRD - UDGRD MUNICIPIO, CAR	X	X	X
Reducción del riesgo	Actualización del Plan Municipal de Gestión del Riesgo de desastres PMGRD	MUNICIPIO	X		
	Actualización e implementación de la estrategia municipal para la respuesta a emergencias (EMRE).	MUNICIPIO	X		
	Fortalecimiento de organismos de socorro mediante la adquisición o dotación en maquinaria y equipo para la atención de emergencias.	NACIÓN GOBERNACIÓN, MUNICIPIO,	X	X	
	Plan de renovación y mantenimiento del sistema de hidrantes.	MUNICIPIO	X	X	

PROGRAMA	PROYECTO	ENTIDADES GESTORAS	TIEMPO DE GESTIÓN		
			CP	MP	LP
	Seguimiento y control a los análisis de riesgos, planes de emergencia y contingencia de las entidades públicas y privadas que desarrollen actividades industriales o de cualquier naturaleza que generen amenazas de origen tecnológico. El documento de seguimiento y control deberá ser enviado al CMGRD para la consolidación de información de conocimiento del riesgo tecnológico en el municipio.	MUNICIPIO	X		
	Construcción y Mantenimiento de obras de mitigación	GOBERNACION, MUNICIPIO, CAR	X		
	Mecanismos de protección financiera como instrumentos de retención y transferencia del riesgo.	GOBERNACION MUNICIPIO	X	X	
Manejo de desastres	Fortalecimiento técnico de la capacidad institucional de los miembros del CMGRD.	UNGRD GOBERNACION, CAR, MUNICIPIO	X	X	
	Capacitaciones para atención de emergencias y desastres al personal de las entidades miembro del CMGRD.	UNGRD GOBERNACION MUNICIPIO	X	X	

Fuente: Equipo técnico IEU-UNAL, municipio de Tenjo, 2021.

4.8.5 Medidas de intervención no estructurales para incendios forestales

- Implementar un programa de sensibilización cultural dirigido a los diferentes sectores y actores del municipio en temas como: ¿Qué hacer para prevenir un incendio forestal?, ¿Qué hacer ante una quema en época de verano?, ¿Qué hacer para prevenir un incendio en casa?, ¿Qué hacer para prevenir un incendio en mi trabajo?; así como medidas y recomendaciones para el ahorro y uso del agua en época de verano. Desarrollar campañas para regular y controlar el uso de fuego en labores agrícolas, programas educativos sobre la preparación de la tierra para cultivos sin realizar quemas programadas, el uso de fuego eliminación de residuos o basuras, fuegos artificiales y otras actividades análogas.
- Implementar medidas de comunicación: conformación y fortalecimiento de una red de alerta temprana ante incendios forestales con comunidad en general.
- Actualizar e implementar la Estrategia Municipal de Respuesta a Emergencias EMRE.
- Fortalecer organismos de socorro: Bomberos, Defensa Civil y Cruz Roja, mediante proyectos de adquisición o dotación en maquinaria y equipo para la atención de emergencias como los incendios.
- Implementar un plan de renovación y mantenimiento del sistema de hidrantes del municipio.
- Mantener todos los caminos, pistas o cortafuegos libres de obstáculos que impidan o dificulten el paso o la maniobra de vehículos. También deberán mantenerse limpios de residuos o desperdicios.

4.8.6 Medidas de intervención para amenazas antrópicas tipo riesgo tecnológico

Generar un programa de sensibilización cultural en la gestión del riesgo, para que los actores de los diferentes sectores y gremios del municipio se apropien de los procesos de gestión del riesgo, tanto para las amenazas de origen natural, como para la amenaza de origen antrópico por riesgos tecnológicos, con acciones enfocadas al conocimiento, la reducción y la atención de las amenazas naturales, socio naturales y antrópicas.

Capacitar a los cuerpos de atención y emergencia, sobre cómo atender las eventos de derrames de un químico, de hidrocarburos y ácidos entre otros elementos en las vías, que puedan afectar recursos naturales y vidas humanas.

Concientizar a la población de los posibles riesgos tecnológicos que se pueden estar generando en el municipio, en asocio a los diferentes usos y actividades (domésticas, servicios profesionales individuales, comercio, servicios y venta directa, producción industrial y almacenamiento, producción de energía eléctrica, exploración y explotación de recursos mineros, exploración y producción y transporte de hidrocarburos, transporte, recuperación, tratamiento y disposición final de desechos, lugares de interés deportivo, cultural o religioso y Obras de interés nacional / territorial), al no promover principios de precaución y seguridad en el hogar, el trabajo y lugares de aglomeración.

Se recomiendan las siguientes orientaciones asociadas a la amenaza por riesgo tecnológico:

a. En predios construidos:

- Fortalecer los sistemas anti-incendios para el sector, así como el reforzamiento estructural de edificaciones o infraestructuras con materiales para disminuir la propagación de llamas y aumentar la resistencia e impactos debido a potenciales explosiones.
- Coordinar con las empresas localizadas en el municipio, las intervenciones y las servidumbres existentes, o actividades que puedan causar impacto o vibración sobre la infraestructura.

b. En predios no construidos.

Solo se podrán desarrollar una vez se haya realizado el plan de mitigación del riesgo tecnológico por parte de las empresas responsables del mismo, las cuales deberán construir las obras de mitigación a las que allá lugar; estas deberán contar con concepto previo por parte de la entidad encargada del riesgo de la entidad territorial y la expedición del acto administrativo correspondiente, independientemente de que tengan asignados tratamientos, áreas de actividad, índices de construcción y ocupación.

Todas las empresas o proyectos relacionadas con las actividades industriales, áreas de almacenamiento, transporte de materiales peligrosos (sea por medio de tubería o por medio de vehículos automotores) y manejo de desechos, deberán presentar el correspondiente Plan de Gestión del Riesgo de Desastres para Empresas Públicas y Privadas (Decreto Nacional 2157 de 2017), los respectivos requisitos de orden ambiental y considerar dentro de los mismos el factor de riesgo tecnológico y así mismo presentar los planes de contingencia de acuerdo a la actividad a desarrollar.

Las nuevas construcciones deberán respetar aislamientos, franjas y zonas de protección para redes de transmisión de energía y subestaciones, redes de gas, tubería asociada a la industria de hidrocarburos, y otras servidumbres asociadas; así como respetar el aislamiento a plantas de tratamiento de aguas residuales.

Las estaciones de servicio deberán sujetarse a lo previsto en las normas nacionales que regulan la materia y demás reglamentos técnicos expedidos por el Ministerio de Minas y energías y otras autoridades competentes sobre la materia.

5 Bibliografía

- Aristizábal, E., Arango Carmona, M. I., & García López, I. K. (2020). Definición y clasificación de las avenidas torrenciales y su impacto en los Andes colombianos. *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 29(1), 245-258. doi:<https://doi.org/10.15446/rcdg.v29n1.72612>
- Aristizábal, E., Martínez, H., & Vélez, J. I. (2010). Una revisión sobre el estudio de movimientos en masa detonados por lluvias. *Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*, 34(131), 209-227.
- Bregoli, F., Medina, V., & Bateman, A. (2018). TXT-tool 3.034-2.1: A Debris Flow Regional Fast Hazard Assessment Toolbox. En *Landslide Dynamics: ISDR-ICL Landslide Interactive Teaching Tools* (Sassa, Kyoji; Tiwari, Binod; Liu, Ko-Fei; McSaveney, Mauri; Strom, Alexander; Setiawan, Hendy ed., págs. 225--234). Springer International Publishing.
- CAR. (2014). *Protocolo para la Realización de Mapas de Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal. Escala 1:100.000 / Ajustado*.
- CAR. (2018). *POMCA RIO BOGOTA (2120) Volumen I Caracterizacion fisica Parte 1*. Bogota: CAR.
- CAR. (2019). *Ajuste del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del Río Bogotá*. Corporación Autónoma Regional de Cundinamarca (CAR).
- CAR. (2019). *Ajuste y actualización del Plan de Ordenación y Manejo de la Cuenca Hidrográfica del río Bogotá*. Bogotá.
- Carvajal, J. (2012). *Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia*.
- Carvajal, J. H. (2012). *Propuesta de estandarización de la cartografía geomorfológica en Colombia*. Servicio Geológico Colombiano (SGC).
- Chow, V. T. (1994). *Hidrología aplicada*. McGraw Hill.
- Gusman, A. J. (2009). Estimating Sediment/Debris Bulking Factors. In *Proceeding of 33rd IAHR Congress. Proceeding of 33rd IAHR Congress, Vancouver, British Columbia, Canada*, 9-14.
- IDEAM. (2014). *IDEAM*. Obtenido de CURVAS INTENSIDAD DURACIÓN FRECUENCIA –IDF: [http://www.ideam.gov.co/curvas-idf#:~:text=La%20Curva%20Intensidad%20Duraci%C3%B3n%20Frecuencia,F\)%20expresada%20en%20a%C3%B1os%2C%20lo](http://www.ideam.gov.co/curvas-idf#:~:text=La%20Curva%20Intensidad%20Duraci%C3%B3n%20Frecuencia,F)%20expresada%20en%20a%C3%B1os%2C%20lo)
- IDEAM, I. d. (2017). *Guía Metodológica para la Elaboración de mapas de inundación*. Bogotá.
- IDEAM, I. d. (25 de 02 de 2021). *IDEAM*. Obtenido de Consulta y Descarga de Datos Hidrometeorológicos: <http://dhime.ideam.gov.co/atencionciudadano/>
- Iverson, R. M. (1997). The Physics of debris flow. *Reviews of geophysics*, 3(35), 245-296.
- Jakob, M. (2005). A size classification for debris flows. *Engineering geology*, 151-161.
- Minambiente, Fondo Adaptación. (2014). *Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los POMCA*. Bogotá.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Guía técnica para la elaboración de POMCA*. Bogotá.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2015). *Decreto 1077 de 2015 Sector Vivivenda, Ciudad y Territorio*.
- Ministerio de Vivienda, Ciudad y Territorio. (2015). *Por medio del cual se expide el Decreto Único Reglamentario del Sector Vivienda, Ciudad y Territorio*. Bogotá.

- Montgomery, D. R., & Dietrich, W. E. (1994). A physically based model for the topographic control on shallow landsliding. *Water resources research*, 1153-1171.
- Oto Mir, A. (2007). *Estudio experimental de Corrientes Detríticas (Debris Flow)*. Universidad Politecnica de Catalunya.
- Piedrahíta, I., & Hermelin, M. (2005). La avenida torrencial del río Tapartó, abril de 1993. En M. Hermelin, *Desastres de origen natural en Colombia, 1979-2004* (pág. 109).
- Sanz-Ramos, M., Bladé, E., Torralba, A., & Oller, P. (2020). Saint Venant's equations for dense-snow avalanche modelling. *Ingeniería del*, 65 - 79.
- Servicio Geológico Colombiano. (2017). *Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa Escala 1:25.000*. Bogotá.
- SGC. (2015). *Guía metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa*. Servicio Geológico Colombiano - SGC.
- SGC. (2017). *Guía metodológica para la zonificación de amenaza por movimientos en masa escala 1: 25.000*. Bogota: Servicio Geologico Colombiano.
- Shen, P., Zhang, L., Chen, H., & Fan, R. (2018). EDDA 2.0: integrated simulation of debris flow initiation and dynamics considering two initiation mechanisms. *Geoscientific Model Development*, 11(7), 2841- 2856.
- Sohn, Y. K. (1999). Debris flow and hyperconcentrated flood-flow deposits in an alluvial fan, northwestern part of the Cretaceous Yongdong Basin, Central Korea. *The Journal of Geology*, 107(1), 111-132.
- Strahler, A. (1952). Dynamic Basis of Geomorphology. *Geological Society of America Bulletin*(63), 923-938.
- VanDine, D. F. (1996). Debris flow control structures for forest engineering. *Res. Br., BC Min. For., Victoria, BC, Work. Pap.*
- weatherspark. (28 de 08 de 2021). *weatherspark*. Obtenido de Climate and Average Weather Year Round in Tenjo: <https://es.weatherspark.com/y/23341/Clima-promedio-en-Tenjo-Colombia-durante-todo-el-a%C3%B1o>