

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b>

### CONTROL DE CAMBIOS

ENTREGA DE INFORMES	ENTIDAD	Unidades
Original	CAM	1

### CAMBIOS REALIZADOS

Versión	Cambios realizados respecto a la versión anterior	Fecha
1		

### APROBACIÓN CAMBIOS

Versión	Realizó	Revisó	Aprobó	Observaciones	Fecha
V0	JLN	MAV	FSS	Versión Inicial	09/11/18
V1	EXT	MAV	FSS		12/11/19

Realizó: JENNY LORENA NIÑO (JLN)  
Revisó: MILTON ANDRÉS VIEDA (MAV)  
Aprobó: FLAVIO SOLER SIERRA (FSS)

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>

## TABLA DE CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN.....	27
2	OBJETIVOS.....	28
2.1	OBJETIVO GENERAL .....	28
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	28
3	LOCALIZACIÓN .....	29
3.1	DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN .....	30
4	ACTIVIDADES REALIZADAS.....	31
4.1	ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA.....	31
4.1.1	Estudios previos .....	31
4.1.2	Noticias destacadas respecto a la zona de estudio.....	39
4.2	VISITA TÉCNICA.....	41
5	TOPOGRAFÍA .....	42
5.1	REGISTRO FOTOGRÁFICO LOCALIZACIÓN DE LOS GCP.....	42
5.2	IMAGEN SATELITAL .....	43
5.3	OPERACIONES DE CAMPO .....	46
5.4	PROCESAMIENTO Y RESULTADOS .....	47
5.5	INFORME Y POST-PROCESO .....	47
5.6	PROCESAMIENTO DE ORTOFOTO Y DEM.....	49
6	GEOLOGÍA.....	53
6.1	METODOLOGÍA DE TRABAJO.....	53
6.2	GEOLOGÍA REGIONAL .....	54
6.2.1	Estratigrafía .....	57
6.3	GEOLOGÍA ESTRUCTURAL .....	62
6.4	GEOLOGÍA LOCAL .....	64
6.4.1	Unidades de geología para ingeniería (UGI) .....	67
6.4.2	Condiciones estructurales locales .....	83
7	GEOMORFOLOGÍA .....	86

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>

7.1	METODOLOGÍA DE TRABAJO .....	86
7.2	GEOMORFOLOGÍA REGIONAL .....	89
7.2.1	Estudio UN - CAM .....	91
7.3	GEOMORFOLOGÍA LOCAL .....	92
7.3.1	Antrópico .....	93
7.3.2	Denudacional .....	96
7.3.3	Mixto denudacional – agradacional .....	98
7.3.4	Fluvial .....	100
7.3.5	Estructural .....	103
7.4	ANÁLISIS MULTITEMPORAL .....	107
7.5	MORFODINÁMICA.....	113
8.	CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS .....	130
8.1	HIDROGEOLOGÍA REGIONAL .....	130
8.2	MODELO HIDROGEOLÓGICO CONCEPTUAL LOCAL.....	132
8.3	CLASIFICACIÓN DE LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS.....	133
9	SISMOLOGÍA .....	135
10	COBERTURA DEL SUELO .....	136
10.1	METODOLOGÍA .....	136
10.2	RECOPIACIÓN, REVISIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN .....	137
11.2.1	Revisión información primaria .....	137
11.2.2	Estudio general de mosaico y ortofoto .....	138
11.2.3	Análisis de ortofotos .....	139
11.2.4	Fotointerpretación.....	139
11.2.5	Sistema de clasificación y leyenda preliminar .....	140
11.2.6	Unidades de cobertura .....	140
11.2.7	Fase ejecutoria .....	140
11.2.8	Fase de campo.....	140
11.3	CARACTERIZACIÓN DE COBERTURAS.....	140
11.3.1	Análisis de información.....	140
11.4	DESCRIPCIÓN GENERAL DE COBERTURAS .....	142
12.	HIDROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA .....	159
12.1	CLIMATOLOGÍA .....	162
12.1.1	Precipitación.....	162

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>

12.1.2	Temperatura .....	164
12.1.3	Evaporación .....	166
12.1.4	Humedad Relativa .....	168
12.1.5	Brillo solar.....	170
12.1.6	Punto de Rocío.....	172
12.2	TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN DE LAS CUENCAS.....	172
12.3	ESTACIONES CERCANAS AL MUNICIPIO DE TERUEL .....	174
12.4	ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA RVAS PDF E IDF .....	174
12.5	CAUDALES MÁXIMOS .....	182
13	CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA .....	188
13.1	EXPLORACIÓN INDIRECTA.....	188
13.2	EXPLORACIÓN DIRECTA .....	197
13.2.1	Roca intermedia formación Palermo (Ri-E <sub>1p</sub> ).....	199
13.2.2	Suelo residual Batolito de Ibagué Sr J2J3bi .....	200
13.2.3	Roca intermedia Batolito de Ibagué Rd-J <sub>2</sub> J <sub>3</sub> bi.....	204
13.2.4	Roca intermedia For Seca Sr-K <sub>2</sub> E <sub>1s</sub> .....	207
13.2.5	Suelo transportado fluvial, aluvial subreciente (Stfasr).....	209
13.2.6	Perfil geológico- geotécnico Teruel.....	214
14	EVALUACIÓN DE LA AMENAZA .....	215
14.1	AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA .....	215
14.1.1	Mapa de laderas.....	217
14.1.2	Análisis de estabilidad de taludes.....	221
14.1.3	Análisis de Equilibrio Límite.....	222
14.1.4	Método simulación de Montecarlo .....	224
14.1.5	Definición de las distribuciones de probabilidad de las variables Independientes .....	226
14.1.6	Análisis de la amenaza por movimientos en masa.....	228
14.1.7	Categorización de la amenaza .....	229
14.1.8	Resultados de los análisis de estabilidad .....	230
14.1.9	Mapa de amenaza por movimientos en masa.....	240
14.2	AMENAZA POR INUNDACIÓN .....	249
14.2.1	Ubicación de puntos de interés- Puntos de Socavación.....	249
14.2.2	Estudio hidráulico tránsito de crecientes .....	256
14.2.3	Definición de geometría.....	258
14.2.4	Calibración del modelo .....	264
14.2.5	Caudales para los periodos de retorno.....	264

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

14.2.6	Análisis de Creciente para un período de retorno de 100 años.....	265
14.2.7	Categorización de la amenaza por inundación.....	273
14.2.8	Evaluación de la amenaza .....	273
14.3	AVENIDA TORRENCIAL .....	276
14.3.1	Categorización de la amenaza por avenidas torrenciales .....	277
14.3.2	Modelación hidráulica del pico de crecientes de la avenida torrencial	278
15	VULNERABILIDAD .....	287
15.1	METODOLOGÍA APLICADA PARA LA VULNERABILIDAD FÍSICA Y SOCIAL .....	287
15.1.1	Metodología AHP.....	287
15.1.1	Obtención de los pesos ponderados .....	289
15.1.2	Fuzzificación de la matriz de comparaciones .....	291
15.1.3	Combinación lineal ponderada (WLC).....	294
15.1.4	Ponderación promedio ordenada (OWA).....	295
15.2	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD FÍSICA .....	296
15.2.1	Vulnerabilidad física por movimientos en masa.....	296
15.2.2	Vulnerabilidad física por inundaciones .....	307
15.2.3	Vulnerabilidad física por avenidas torrenciales.....	315
15.2.4	Análisis de resultados vulnerabilidad física por movimientos en masa	335
15.2.5	Análisis de resultados vulnerabilidad física por inundaciones .....	338
15.2.6	Análisis de resultados vulnerabilidad física por avenida torrencial .	341
15.3	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SOCIAL.....	344
15.3.1	Análisis de resultados vulnerabilidad social .....	361
15.4	VULNERABILIDAD TOTAL.....	363
15.4.1	Categorización de la vulnerabilidad total.....	364
15.4.2	Análisis de resultados vulnerabilidad total por movimientos en masa	364
15.4.3	Análisis de resultados vulnerabilidad total por inundaciones.....	367
15.4.4	Análisis de resultados vulnerabilidad total por avenida torrencial ..	369
16	RIESGO .....	371
16.1	GENERALIDADES .....	371
16.2	COSTO DIRECTO DE LOS ELEMENTOS EN RIESGO .....	371
16.2.1	Costo por Construcción .....	371
16.2.2	Costo por infraestructura Vial .....	372

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>

16.3	MÉTODO DE ANÁLISIS .....	374
16.4	CÁLCULO DEL RIESGO GLOBAL POR ZONA .....	378
16.5	CRITERIOS APLICADOS.....	378
16.5.1	Resultados por movimientos en masa.....	380
16.5.2	Resultados por inundación .....	385
16.5.3	Resultados por avenida torrencial .....	389
16.6	MITIGABILIDAD DEL RIESGO ALTO.....	392
16.6.1	Mitigabilidad por Movimientos en masa.....	392
16.6.2	Mitigabilidad por Inundación.....	393
16.6.3	Mitigabilidad por Avenida Torrencial .....	393
17	RONDA HÍDRICA Y ZONIFICACIÓN AMBIENTAL .....	398
17.1	RONDA HÍDRICA.....	398
17.1.1	Elementos constituyentes de la ronda hídrica .....	399
17.1.2	Estrategias para el manejo ambiental de las rondas hídricas .....	401
17.2	ZONIFICACIÓN AMBIENTAL .....	402
17.2.1	Metodología de zonificación .....	402
18	MEDIDAS DE MITIGACIÓN.....	413
18.1	MOVIMIENTOS EN MASA .....	413
18.1.1	Medidas no estructurales .....	414
18.1.2	Medidas estructurales .....	415
18.2	INUNDACIÓN.....	435
18.2.1	Medidas estructurales .....	435
18.2.2	Medidas no estructurales .....	454
18.3	AVENIDA TORRENCIAL .....	455
18.3.1	Medidas estructurales .....	455
19	CONCLUSIONES .....	461
19.1	AMENAZA .....	461
19.2	VULNERABILIDAD.....	463
19.3	RIESGO.....	464
20	BIBLIOGRAFÍA .....	468

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Área a evaluar de acuerdo al estudio de amenaza de la UNAL –municipio de Teruel.....	35
Tabla 2. Cuadro de puntos de amarre.....	43
Tabla 3. Cálculo de coordenadas geográficas.....	48
Tabla 4. Relación de Aerofotografías utilizadas para el estudio de Geología y Geomorfología del municipio de Teruel, Huila.....	54
Tabla 5. Perfil de meteorización utilizado para agrupar los materiales geológicos en el mapa de unidades Geológicas de ingeniería.....	65
Tabla 6. Unidades geológicas ingenieriles presentes en el casco urbano.....	82
Tabla 7. Mediciones de estratificación y familias de diaclasas en el terreno.....	83
Tabla 8. Inclinación de laderas. Vargas. 2001.....	92
Tabla 9. Longitud de las laderas, Van Zuidam (1986).....	93
Tabla 10. Unidades geomorfológicas del casco urbano del municipio de Teruel.....	104
Tabla 11. Relación de aerofotografías utilizadas para el estudio de Geología y Geomorfología.....	107
Tabla 12. Clasificación de unidades hidroestratigráficas.....	133
Tabla 13 Coeficientes de diseño sísmico.....	135
Tabla 14. Sistema de coordenadas utilizadas en el mapa de cobertura.....	139
Tabla 15. Leyenda de Actualización del mapa de cobertura a escala 1:2.000 del área del municipio de Teruel de departamento del Huila.....	142
Tabla 16. Porcentajes de las áreas correspondientes a las coberturas identificadas.....	156
Tabla 17. Información cartográfica en el municipio de Teruel.....	159
Tabla 18. Parámetros morfométricos obtenidos en las cuencas de los puntos críticos del municipio de Teruel.....	159
Tabla 19. Estaciones representativas por municipio (casco urbano).....	162
Tabla 20. Precipitación Anual Total.....	162
Tabla 21. Valores de Precipitación Mensual.....	163
Tabla 22. Temperatura Media anual.....	164
Tabla 23. Valores Medios de Temperatura Mensual.....	165
Tabla 24. Evaporación Anual Total.....	166
Tabla 25. Valores Totales de Evaporación Mensual.....	167
Tabla 26. Humedad Relativa Promedio Anual.....	168
Tabla 27. Valores Medios mensuales de Humedad Relativa.....	169
Tabla 28. Brillo Solar Anual Total.....	170
Tabla 29. Valores Medios mensuales de Brillo Solar.....	171
Tabla 30. Punto de Rocío Anual Total.....	172
Tabla 31. Estimación de los tiempos de concentración de las cuencas de los puntos críticos.....	174
Tabla 32. Información hidrometeorológica en el municipio de Teruel.....	174
Tabla 33. Relación de duraciones cortas de la lluvia.....	175

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

Tabla 34. Relación entre la lluvia de 1 hora y la de 24 horas. ....	176
<b>Tabla 35. Serie Anual de Precipitación Máxima en 24 horas en la estación San Rafael.</b> .....	<b>177</b>
Tabla 36. Serie Anual de Precipitación Máxima en 24 horas en la estación El Volcán. ..	177
Tabla 37. Serie Anual de Precipitación Máxima en 24 horas en la estación La Mina.....	178
Tabla 38. Serie Anual de Precipitación Máxima en 24 horas en la estación Las Herreras. ....	178
Tabla 39. Curvas de Precipitación – Duración – Frecuencia de la Estación San Rafael.	179
Tabla 40. Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia de la Estación San Rafael.....	179
Tabla 41. Curvas de Precipitación – Duración – Frecuencia de la Estación El Volcán. ..	180
Tabla 42. Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia de la Estación El Volcán. ....	180
Tabla 43. Curvas de Precipitación – Duración – Frecuencia de la Estación La Mina.....	180
Tabla 44. Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia de la Estación La Mina.....	181
Tabla 45. Curvas de Precipitación – Duración – Frecuencia de la Estación Las Herreras. ....	181
Tabla 46. Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia de la Estación Las Herreras..	182
Tabla 47. Modelo lluvia – escorrentía utilizado y valores de N o de C empleados.....	185
Tabla 48. Caudales Máximos esperados en el Punto Crítico 1.....	186
Tabla 49. Caudales Máximos esperados en el Punto Crítico 2.....	186
Tabla 50. Caudales Máximos esperados en el Punto Crítico 3.....	186
Tabla 51. Caudales Máximos esperados en el Punto Crítico 4.....	186
Tabla 52. Caudales Máximos esperados en el Punto Crítico 5.....	186
Tabla 53. Caudales Máximos esperados en el Punto Crítico 6.....	187
Tabla 54. Coordenadas Exploración Geofísica Líneas Sísmica .....	188
Tabla 55. Clasificación Ripabilidad Vp L1. ....	190
Tabla 56. Resumen Perfil Simple Vp L1.....	191
Tabla 57. Resumen Tomografía Vs L1. ....	191
Tabla 58. Clasificación Ripabilidad Vp L2. ....	192
Tabla 59. Resumen Tomografía Sísmica Vp L2.....	193
Tabla 60. Resumen Tomografía Vs L2. ....	193
Tabla 61. Clasificación Ripabilidad Vp L3. ....	194
Tabla 62. Resumen Tomografía Sísmica Vp L3.....	195
Tabla 63. Resumen Tomografía Vs L3. ....	196
Tabla 64. Resumen de parámetros. ....	196
Tabla 65. Coordenadas Exploración directa-Perforaciones.....	197
Tabla 66. Normas INVIAS para ensayos de laboratorio .....	198
Tabla 67. Parámetros de resistencia para el suelo Residual Sr-J <sub>2</sub> J <sub>3</sub> bi.....	203
Tabla 68. Perfil Geotécnico del área de estudio. ....	214
Tabla 69. Tipos de movimientos en masa, de acuerdo con Varnes (1978). ....	215
Tabla 70. Influencia de los diferentes factores. ....	216
Tabla 71. Parámetro de la distribución exponencial y valor de la aceleración horizontal para un periodo de retorno (Tr) de 475 años para la zona de estudio. ....	224
Tabla 72. Escenarios de variación del nivel freático. ....	227

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>

Tabla 73. Perfil Geotécnico del área de estudio. ....	228
Tabla 74. Pesos unitarios y parámetros de resistencia asignados a las unidades de suelo. ....	228
Tabla 75. Probabilidad de los escenarios de análisis. ....	229
Tabla 76. Categorización propuesta para la amenaza por movimientos en masa. ....	230
Tabla 77. Probabilidad de falla para las abscisas del perfil representativo P18. ....	239
Tabla 78. Probabilidad de falla total para las abscisas del perfil representativo P18. ....	240
Tabla 79. Distribución de las categorías de Amenaza movimientos en masa. ....	242
Tabla 80. Estimación del Coeficiente de rugosidad de Manning en el río el Pedernal y sus afluentes, entre el casco urbano y el municipio de Teruel. ....	264
Tabla 81. Caudales de las Crecientes Pico esperadas en el Río el Pedernal y sus afluentes, entre el casco urbano y el municipio de Teruel. ....	264
Tabla 82. Categorización de Amenaza por evento de Inundación. ....	273
Tabla 83. Distribución de las categorías de Amenaza inundación. ....	274
<b>Tabla 84. Coeficientes de rugosidad de Manning seleccionados para el río Pedernal y las quebradas El Pueblo y Las Moyas - Teruel. ....</b>	<b>276</b>
Tabla 85. Clasificación de Amenaza por Avenidas Torrenciales. ....	277
<b>Tabla 86. Caudales máximos modelados en el río Pedernal y sus afluentes esperada en una Avenida Torrencial. ....</b>	<b>278</b>
Tabla 87. Áreas y Porcentajes de cada nivel de amenaza por Avenida Torrencial. ....	284
Tabla 88. Escala numérica para comparación entre pares. ....	289
Tabla 89. Índices de aleatoriedad (IA) de las matrices de comparaciones por pares, según su orden (Ormazábal, 2002). ....	291
Tabla 90. Valores del número difuso triangular para las diferentes categorías borrosas. ....	292
Tabla 91. Criterios de resistencia de la estructura. ....	297
Tabla 92. Tipología de las viviendas. ....	298
Tabla 93. Clasificación de los daños según el DRM. ....	298
Tabla 94. Clasificación de la tipología de vías. ....	299
Tabla 95. Clasificación de los daños de la infraestructura vial. ....	300
Tabla 96. Rangos de velocidad utilizadas en el estudio. ....	301
Tabla 97. Categorías de las presiones laterales utilizadas en el estudio. ....	302
Tabla 98. Matriz de daño utilizada en el estudio. ....	303
Tabla 99. Matriz de daño para infraestructura vial para los tipos de vías presentes en el municipio. ....	303
Tabla 100. Categoría de Daños según materiales y estructura. ....	310
Tabla 101. Clasificación Difusa del índice de daño potencial de las viviendas. ....	314
Tabla 102. Clasificación Difusa del índice de daño potencial de la infraestructura vial. ...	315
Tabla 103. Categoría de Daños según materiales y estructura para avenidas torrenciales. ....	316
Tabla 104. Índice de Daño Potencial por avenidas torrenciales de las Viviendas de 1 Piso. ....	316
Tabla 105. Índice de Daño Potencial por avenidas torrenciales de las Viviendas de Poca Altura. ....	317

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

Tabla 106. Índice de Daño Potencial por avenidas torrenciales de las Viviendas de Altura Intermedia.....	317
Tabla 107. Índice de Daño Potencial por avenidas torrenciales de las Viviendas de Gran Altura. ....	318
Tabla 108. Clasificación Difusa del índice de daño potencial por avenidas torrenciales de las viviendas. ....	318
Tabla 109. Pesos ponderados - Parámetro: Edad de la Construcción.....	319
Tabla 110. Pesos - Parámetro: Número de pisos. ....	320
Tabla 111. Pesos - Parámetro: Forma de construcción. ....	321
Tabla 112. Pesos – Tipo de entrepiso. ....	322
Tabla 113. Pesos - Parámetro: Tipo de Cubierta. ....	323
Tabla 114. Pesos - Parámetro: Sistema Estructural. ....	324
Tabla 115. Pesos - Parámetro: Estado del inmueble.....	325
Tabla 116. Pesos ponderados - Parámetro: Daños en toda la construcción.....	326
Tabla 117. Pesos – Parámetro Localización de los Agrietamientos en la Estructura de la edificación.....	327
Tabla 118. Pesos – Parámetro Localización de las Humedades en la Estructura de la edificación.....	327
Tabla 119. Pesos - Parámetro: Severidad de Daños.....	328
Tabla 120. Pesos - Parámetro: Tipología de la vivienda.....	329
Tabla 121. Pesos de los parámetros evaluados para calcular el índice de daño actual.	332
Tabla 122. Categorización del índice de vulnerabilidad física.....	332
Tabla 123. Números difusos utilizados para valorar el ID (potencial y actual) con una confianza del 100% .....	334
Tabla 124. Categorización de los parámetros para la vulnerabilidad cultural. ....	345
Tabla 125. Valoración de los parámetros Comunidades étnicas y Lugar de Procedencia .....	346
Tabla 126. Categorización de los parámetros para la vulnerabilidad socioeconómica. ..	347
Tabla 127. Valoración del parámetro edad vulnerable.....	348
Tabla 128. Valoración del parámetro educación.....	349
Tabla 129. Valoración del parámetro Limitación Física.....	351
Tabla 130. Valoración del parámetro Uso Actual.....	352
Tabla 131. Valoración de Servicios Públicos. ....	353
Tabla 132. Matriz de Comparación para la evaluación de las variables de la Vulnerabilidad Socioeconómica .....	355
Tabla 133. Pesos ponderados de las variables obtenidos por el método AHP para la Vulnerabilidad Socioeconómica.....	355
Tabla 134 Matriz de Comparación Borrosa para el cálculo de pesos difusos de las variables de la Vulnerabilidad Socioeconómica. ....	357
Tabla 135. Vector de pesos difusos para las variables evaluadas en la Vulnerabilidad Socioeconómica. ....	358
Tabla 136. Intervalos izquierdo y derecho ( $P\alpha$ -left y $P\alpha$ -right respectivamente) del vector de pesos para la Vulnerabilidad Socioeconómica. ....	359

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

Tabla 137. Pesos Normalizados de las Variables para la evaluación de la Vulnerabilidad Socioeconómica. ....	359
Tabla 138. Categorización de los parámetros para la vulnerabilidad social. ....	360
Tabla 139. Categorización de la vulnerabilidad Total. ....	364
Tabla 140. Costo estimado para las vías (Valor en m/l).....	373
Tabla 141. Categorización del riesgo. ....	379
Tabla 142. Valores de los índices de vulnerabilidad, amenaza y riesgo por movimientos	381
Tabla 143. Valores de los índices de vulnerabilidad, amenaza y riesgo por inundación .	386
Tabla 144. Valores de los índices de vulnerabilidad, amenaza y riesgo por avenida torrencial del municipio de Teruel. ....	389
Tabla 145 Predios No mitigables por Movimientos en Masa .....	392
Tabla 146 Presupuesto de reubicación de 40 Construcciones bajo riesgo NO mitigable por Mov. En masa.....	393
Tabla 147 Predios No mitigables por Avenida Torrencial.....	394
Tabla 148 Presupuesto de reubicación de 3 Construcciones bajo riesgo NO mitigable por Av. Torrencial .....	394
Tabla 149. Relación de áreas de exclusión zona de estudio .....	403
Tabla 150 Área de protección para cauces secundarios .....	405
<b>Tabla 151 Cuñas probables de falla para un talud vertical a diferentes alturas .....</b>	<b>408</b>
Tabla 152. Áreas de zonificación ambiental para la zona de estudio.....	410
Tabla 153 Resumen de área de la zonificación ambiental.....	411
<b>Tabla 154. Presupuestos de Obras Alternativa 1 Gavión .....</b>	<b>423</b>
Tabla 155 Factores de seguridad mínimos exigidos en la NSR-10. ....	430
Tabla 156 Presupuestos de Obras Alternativa 1 Muro en Concreto .....	433
Tabla 157 Predios No mitigables por Movimientos en Masa .....	434
Tabla 158. Presupuestos de Obras Alternativa 1 Gavión .....	442
Tabla 159 Factores de seguridad mínimos exigidos en la NSR-10. ....	445
Tabla 160. Presupuestos de Obras Alternativa 1 Muro en concreto .....	448
Tabla 161. Presupuestos de Obras Alternativa 2 Gavión .....	453
Tabla 162 Predios No mitigables por Avenida Torrencial.....	456
Tabla 163. Presupuestos de Barrera Dinámica Flujo de detritos .....	460
Tabla 164. Valor de la vulnerabilidad total por movimientos en masa para el municipio de Teruel.....	464
Tabla 165. Valor de la vulnerabilidad total por inundación para el municipio de Teruel. ...	464
Tabla 166. Valor de la vulnerabilidad total por avenida torrencial para el municipio de Teruel.....	464
Tabla 167. Valor del riesgo por movimientos en masa para el municipio de Teruel. ....	465
Tabla 168. Categoría de riesgo por movimientos en masa de las construcciones y sus pérdidas esperadas. ....	465
Tabla 169. Categoría de riesgo por movimientos en masa y sus pérdidas esperadas. ...	465
Tabla 170. Valor del riesgo por Inundación para el municipio de Teruel. ....	466
Tabla 171. Categoría de riesgo por Inundación de las construcciones y sus pérdidas esperadas.....	466

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b>

Tabla 172. Categoría de riesgo por Inundación de las vías y sus pérdidas esperadas...	466
Tabla 173. Valor del riesgo por avenida torrencial para el municipio de Teruel.....	467
Tabla 174. Categoría de riesgo por avenida torrencial de las construcciones y sus pérdidas esperadas. ....	467
Tabla 175. Categoría de riesgo por avenida torrencial de las vías y sus pérdidas esperadas.....	467

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Localización general municipio de estudio – Teruel. ....	29
Ilustración 2. Río Pedernal municipio de Teruel. ....	32
Ilustración 3. Grietas en los muros de la vivienda de Tino Becerra Silva en el barrio Las Brisas. Fuente: (CAM Idea - UN, 1999) .....	34
Ilustración 4. Ubicación de los sitios o áreas de amenaza intervenir municipio de Teruel. ....	35
Ilustración 5. Movimientos en masa identificada en el Cementerio sobre el río Pedernal. ....	37
Ilustración 6. Terraza Pedernal 2 (TPe2) o Terraza Teruel.....	37
<b>Ilustración 7. Fotografía del municipio de Teruel. ....</b>	<b>41</b>
Ilustración 8. Posicionamiento BASE GCP10. Fuente: Geocing SAS y Posicionamiento BASE GCP02. ....	42
Ilustración 9. Localización.....	43
Ilustración 10. Imagen satelital del área de estudio.....	45
<b>Ilustración 11. Procedimiento en campo toma de GCP. ....</b>	<b>46</b>
Ilustración 12. Líneas de vuelo proyecto Teruel. ....	50
Ilustración 13. Perfil de las líneas de vuelo vs terreno natural.....	50
Ilustración 14. Vista a nivel regional de los aspectos geológicos, litológicos y estructurales más importantes que han interactuado en conjunto, otorgándole la configuración actual que presenta la zona del casco urbano del poblado de Teruel, con su respectiva leyenda. ....	56
Ilustración 15. Esquema estructural del departamento del Huila.....	63
Ilustración 16. Factor G.S.I para Macizos Rocosos.....	66
Ilustración 17. Coordenadas: E=1167809, N=796090, NE. Roca dura del Batolito de Ibagué (Rd-J2J3bi. Fuente: Geocing SAS. ....	69
Ilustración 18. Coordenadas: E=1167809, N=796090, Dique diorítico atravesando el Batolito de Ibagué (Rd-J2J3bi).....	69
Ilustración 19. Coordenadas: E=1168147, N=795260 NW. Contacto entre lodolitas marrones a grises, en capas tabulares de la Formación seca (Ri-K2E1s) y depósitos aluviales Terraza alta – Sifasr) en un afloramiento expuesto por la socavación del río Pedernal. ....	70
Ilustración 20. Coordenadas: E=1167614, N=794849, SE. Roca intermedia de la Formación Palermo (Ri-E1p) aflorando en la quebrada El Pueblo. ....	71
Ilustración 21. Coordenadas: E=1168103, N=795445, SE Suelos residuales de la Formación seca, Sr-K2E1s, aflorando en la margen izquierda del río Pedernal.....	73

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

Ilustración 22. Coordenadas: E=1168250, N=795936, NW Contacto entre Depósitos fluviales, aluviales subrecientes (Stfasr) y el Batolito de Ibagué (Rd-J2J3bi) en un afloramiento sobre la margen derecha de la quebrada El Pueblo. .... 74

Ilustración 23. Coordenadas: E=1167999, N=795059, SE. Depósitos aluviales recientes del río Pedernal al oriente del casco urbano de Teruel. Nótese bloques heterométricos sobre la unidad Stfar. .... 75

Ilustración 24. Coordenadas: E=1167599, N=794847, SE. Suelo transportado fluvial, aluvial activo en la quebrada El Pueblo. .... 76

Ilustración 25. Coordenadas: E=1168179, N=795332, SE. Suelo transportado fluvial, aluvial activo en el río Pedernal al oriente de la zona de estudio. .... 76

Ilustración 26. Coordenadas: E=1167535, N=794416, SE. Suelo antrópico, depósitos de escombros (Sade). .... 77

Ilustración 27. Coordenadas: E=1167878, N=795395, E. Suelo antrópico, rellenos indiferenciados (Sarin) como base para las viviendas..... 78

Ilustración 28. Coordenadas: E=1167806, N=796107, Suelo antrópico, rellenos ingenieriles (Sari). Fuente: Geocing SAS..... 79

Ilustración 29. Coordenadas: E=1168043, N=795661, SE-NE. Suelo traslocado de inestabilidad reciente – Deslizamiento Rotacional (Stir-2) en la margen izquierda del río Pedernal, ..... 80

Ilustración 30. Coordenadas: E=1167803, N=796125, W. Suelo traslocados de inestabilidad reciente 1 (Stir-1) generados reptación. .... 81

Ilustración 31. Bloque diagrama que presenta el modelo estructural en el subsuelo..... 84

Ilustración 32. Mapa de geología casco urbano municipio de Teruel..... 85

Ilustración 33. Relación de aerofotografías utilizadas para el estudio de Geología y Geomorfología del municipio de Teruel, Huila. .... 87

Ilustración 34. Principales rasgos geomorfológicos a nivel regional, y perfil de elevación del casco urbano del municipio de Teruel. .... 88

**Ilustración 35. Río Pedernal, vista hacia el norte, desde el norte del casco urbano del municipio de Teruel. .... 89**

Ilustración 36. Río Pedernal, vista hacia el norte. .... 91

Ilustración 37. Coordenadas: E=1167878, N=795395. Superficie de explanación (Asp). . 94

Ilustración 38. Coordenadas: E=1168136, N=795955, Planos y campos de llenos antrópicos (Ar). .... 95

Ilustración 39. Coordenadas: E=1167535, N=794416, SE. Geoforma de origen antrópico Planos y campos de llenos antrópicos (Ar). .... 96

Ilustración 40. Coordenadas: E=1167549, N=794418, SE. Geoforma de origen denudacional, Escarpe de erosión menor (Deeme) la Formación Palermo (Ri-E1p)..... 97

Ilustración 41. Coordenadas: E=1167803, N=796125 E. Geoforma de origen Denudacional, Ladera residual (Dlr) en suelo residual de la Formación Seca..... 98

Ilustración 42. Coordenadas: E=1168043, N=795661, NW. Geoforma de origen Mixto Denudacional-Agradacional, Laderas en movimiento o con procesos de inestabilidad reciente (MDAmir-1) generada por un movimiento superficial tipo Reptación hacia el occidente de la zona de estudio..... 99

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

Ilustración 43. Coordenadas: E=1168050, N=795655, N Geoforma de origen Mixto Denudacional-Agradacional generada por un deslizamiento rotacional en la parte superior de una cachea al oeste de la zona de estudio. ....	100
Ilustración 44. Coordenadas: E=1167808, N=795362, Altura: 897 m, orientación hacia el sur. Geoforma de origen fluvial, Cauce aluvial (Fca) en la quebrada El Pueblo, al occidente del área de estudio. ....	101
Ilustración 45. Coordenadas: E=1168250, N=795936, Altura=1045 m, orientación hacia el suroccidente. Geoforma de origen fluvial, Terraza de acumulación reciente (Ftar), margen derecha de la quebrada El Pueblo. ....	102
Ilustración 46. Coordenadas: E=1168103, N=795445, SW. Geoformas de origen Fluvial, Terraza de acumulación subreciente. Nótese al fondo de la imagen el río Pedernal, y más cerca la terraza subreciente a una altura de aproximadamente 4m con respecto al nivel del río. ....	103
Ilustración 47. Coordenadas: E=1167560, N=794432, Altura: 838 m, vista hacia el suroriente. Geoforma de origen estructural tipo Ladera estructural en rocas de la Formación Palermo. ....	104
Ilustración 48. Mapa de geomorfología casco urbano municipio de Teruel.....	106
Ilustración 49. Fotografía aérea 038, vuelo C-1854. Año 1988.....	108
Ilustración 50. Fotografía aérea 163, vuelo C-2336. ....	109
Ilustración 51. Fotografía aérea 226, vuelo C-2737. ....	110
Ilustración 52. Fotografía aérea 224, vuelo C-2737. ....	111
Ilustración 53. Ortofoto 2018, casco urbano del municipio de Teruel, departamento del Huila. ....	112
Ilustración 54. Coordenadas: E=1167775, N=795137SW Erosión lateral en la margen izquierda de la quebrada El Pueblo. Nótese el desprendimiento y la falta de material en el sector encerrado con un círculo rojo. ....	114
Ilustración 55. Coordenadas: E=1168216, N=795798, SW Erosión hídrica laminar, en surcos y en cárcavas, sobre suelos residuales de la Formación Palermo (Ri-E1p) al suroccidente de la zona de estudio.....	116
Ilustración 56. Coordenadas: E=1168050, N=795655, E. Deslizamiento rotacional. ....	118
Ilustración 57. Coordenadas: E=1167803, N=796125, N. Deformación de los gaviones en la parte inferior del deslizamiento. ....	118
Ilustración 58. Coordenadas: E=1168050, N=795655, Escarpe en forma de media luna (corona del deslizamiento).....	119
Ilustración 59. Coordenadas: E=1168050, N=795655, N. Levantamiento de la placa .....	119
Ilustración 60. Coordenadas: E=1168050, N=795655, orientación hacia el norte. Separación del muro de contención de la cancha de aproximadamente 70 cm. ....	120
Ilustración 61. Movimiento en masa con estilo de actividad compleja. Sector suroeste de la zona de estudio. Orientación de la ilustración hacia el suroccidente.....	121
Ilustración 62. Deslizamientos rotacionales en el talud de una vía veredal en el sector suroeste del casco urbano.....	122
Ilustración 63. Coordenadas: E=1167972, N=795696, W. Inestabilidad generalizada por movimientos superficiales tipo reptación.....	124

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

Ilustración 64. Coordenadas: E=1167781, N=795463, NE. Zona de anegación e inundación. ....	126
Ilustración 65. Coordenadas: E=1167775, N=795137 SE, aguas abajo. Muro sobre la margen izquierda de la quebrada El Pueblo. ....	127
Ilustración 66. Coordenadas: E=1167754, N=795331S E. Sector de la margen derecha de la quebrada El Pueblo. ....	128
Ilustración 67. Coordenadas: E=1168105, N=795448, SE. Evidencia de eventos de avenida torrencial en el margen derecho del río Pedernal. ....	128
Ilustración 68. Coordenadas: E=1167861, N=795602, Altura: 924 m, orientación hacia el nororiente. Zona de anegación e inundación. ....	129
Ilustración 69. Mapa de Unidades Hidroestratigráficas de Colombia.....	131
Ilustración 70. Mapa Hidrogeológico de Colombia, (SGC, 1989). ....	132
Ilustración 71. Proceso empleado para la delimitación de cobertura vegetal y uso actual de suelo. Fuente: Geocing SAS.....	138
<b>Ilustración 72. Leyenda del mapa de cobertura a escala 1:2.000 para el municipio de Teruel.....</b>	<b>141</b>
Ilustración 73. Tejido urbano continuo. ....	143
Ilustración 74. Tejido urbano discontinuo. ....	143
Ilustración 75. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados. ....	144
Ilustración 76. Escombreras. ....	145
Ilustración 77. Parque cementerio. ....	146
Ilustración 78. Parques urbanos. ....	146
Ilustración 79. Áreas deportivas.....	147
Ilustración 80. Cultivo de Maíz.....	148
Ilustración 81. Cultivo de Plátano.....	148
Ilustración 82. Pastos limpios municipio de Teruel. ....	149
Ilustración 83. Pastos arbolados. ....	150
Ilustración 84. Pastos enmalezados.....	150
Ilustración 85. Bosque ripario.....	151
Ilustración 86. Herbazal abierto. ....	152
Ilustración 87. Arbustal abierto.....	153
Ilustración 88. Vegetación secundaria baja.....	154
Ilustración 89. Tierras degradadas y desnudas. ....	154
Ilustración 90. Río Pedernal.....	155
Ilustración 91. Porcentaje de ocupación por cobertura general de la Metodología CORINE LAND para el municipio de Teruel.....	157
Ilustración 92. Representación gráfica de cobertura del suelo casco urbano municipio de Teruel.....	158
Ilustración 93. Cuencas de los puntos críticos identificados en el municipio de Teruel...	160
Ilustración 94 Representación gráfica del mapa hidrográfico del municipio de Teruel. ...	161
<b>Ilustración 95. Distribución espacial de la Precipitación Anual Total (isoyetas de precipitación).....</b>	<b>163</b>
<b>Ilustración 96. Distribución media mensual de precipitación (mm).....</b>	<b>164</b>

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

Ilustración 97. Distribución espacial de la Temperatura media mensual (Isoterma).....	165
<b>Ilustración 98. Distribución Temperatura media mensual.</b> .....	166
<b>Ilustración 99. Distribución espacial de la Evaporación Anual Total en mm.</b> .....	167
<b>Ilustración 100. Distribución evaporación media mensual.</b> .....	168
Ilustración 101. Distribución espacial de la Humedad Relativa (%) Anual. ....	169
<b>Ilustración 102. Distribución Humedad relativa.</b> .....	170
<b>Ilustración 103. Distribución espacial de la Brillo solar Anual.</b> .....	171
<b>Ilustración 104. Distribución Brillo solar media mensual.</b> .....	171
Ilustración 105. Distribución espacial del Punto de Rocío medio Anual (°C). ....	172
Ilustración 106. Polígonos de Thiessen para las cuencas del municipio Teruel. ....	177
Ilustración 107. Localización Exploración Geotécnica.....	188
Ilustración 108. Localización Exploración Geofísica.....	189
Ilustración 109. Ubicación del tendido de la línea sísmica LRS-01. ....	189
Ilustración 110. Modelo Simplificado LRS-01. ....	190
Ilustración 111. Tomografía Sísmica LRS-01.....	190
Ilustración 112. Perfil bidimensional (2D) Vs MASW-01. ....	191
Ilustración 113. Ejecución LRS-02. ....	192
Ilustración 114. Modelo Simplificado LRS-02. ....	192
Ilustración 115. Tomografía sísmica LRS-02. ....	193
Ilustración 116. Perfil bidimensional (2D) Vs MASW-02. ....	193
<b>Ilustración 117. Proceso de ejecución LRS-03.</b> .....	194
Ilustración 118. Modelo Simplificado LRS-03. ....	194
Ilustración 119. Tomografía sísmica LRS-03. ....	195
Ilustración 120. Perfil bidimensional (2D) Vs MASW-03.....	195
Ilustración 121. Localización de la exploración directa.....	197
Ilustración 122. Roca Intermedia de la formación Palermo (Ri-E1p). ....	199
Ilustración 123. Clasificación geomecánica RMR, Bieniawski, 1998 de la Formación Gigante –Nivel.....	200
Ilustración 124. Vista de muestras recuperadas en el BM1 del Suelo Residual Batolito de Ibagué. Fuente: Geocing SAS. ....	201
Ilustración 125. Perfil de campo, reporte de N45 con N60. Fuente: Geocing SAS. ....	201
<b>Ilustración 126. Variación de las propiedades índices Wn, LL, LP e IP en profundidad.</b> .....	202
Ilustración 127. Correlación mediante el SPT para la estimación de los parámetros de resistencia de Suelo residual Sr-J <sub>2</sub> J <sub>3</sub> bi.....	203
<b>Ilustración 128. Roca dura del Batolito de Ibagué (Rd-J<sub>2</sub>J<sub>3</sub>bi).</b> .....	204
Ilustración 129. Vista de un afloramiento del Batolito de Ibagué con 3 familias de diaclasas identificadas.....	206
Ilustración 130. Vista de un afloramiento del Batolito de Ibagué con 2 familias de diaclasas. ....	206
Ilustración 131. Perfil de meteorización típicos de rocas metamórficas e ígneas intrusivas, según Deer y Patton, 1971. ....	206

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

Ilustración 132. Clasificación geomecánica RMR, Bieniawski, 1998 de la Formación Gigante –Nivel. ....	207
Ilustración 133. Suelos residuales de la Formación seca, Sr-K2E1s. ....	208
Ilustración 134. Suelos residuales de la Formación seca, Sr-K2E1s, muestras recuperadas del Sondeo Mecánico SM1, a partir de 8m de profundidad. ....	208
Ilustración 135. Correlación mediante el SPT para la estimación de los parámetros de resistencia de Roca Intermedia. ....	209
Ilustración 136. Coordenadas: E=1168250, N=795936. Contacto entre Depósitos fluviales, aluviales subcrecientes (Stfasr) y el Batolito de Ibagué (Rd-J2J3bi) ....	210
Ilustración 137. Perfil de campo, reporte de N45 con N60. ....	211
<b>Ilustración 138. Correlación mediante el SPT para la estimación de los parámetros de resistencia de depósito aluvial. ....</b>	<b>212</b>
<b>Ilustración 139. Modelo geológico – geotécnico municipio de Teruel. ....</b>	<b>213</b>
<b>Ilustración 140. Mapa de Pendientes municipio de Teruel. ....</b>	<b>218</b>
<b>Ilustración 141. Mapa de Laderas municipio de Teruel. ....</b>	<b>219</b>
<b>Ilustración 142. Perfiles típicos para los análisis de estabilidad, municipio de Teruel. ....</b>	<b>220</b>
Ilustración 143 Distribución de probabilidad del Factor de Seguridad. ....	223
<b>Ilustración 144. Modelo geológico – geotécnico para el perfil representativo P10. ....</b>	<b>231</b>
Ilustración 145. Análisis de estabilidad para el perfil representativo P10. Escenario 1. ...	232
Ilustración 146. Análisis de estabilidad para el perfil representativo P10. Escenario 2. ...	233
Ilustración 147. Análisis de estabilidad para el perfil representativo P10. Escenario 3. ...	234
Ilustración 148. Análisis de estabilidad para el perfil representativo P2. Escenario 4. ....	235
Ilustración 149. Análisis de estabilidad para el perfil representativo P2. Escenario 5. ....	236
Ilustración 150. Factor de Seguridad para las abscisas del perfil representativo P10. Escenario 1. Fuente: Geocing SAS. ....	237
Ilustración 151. Factor de Seguridad para las abscisas del perfil representativo P10. Escenario 2. Fuente: Geocing SAS. ....	237
Ilustración 152. Factor de Seguridad para las abscisas del perfil representativo P10. Escenario 3. Fuente: Geocing SAS. ....	238
Ilustración 153. Factor de Seguridad para las abscisas del perfil representativo P10. Escenario 4. Fuente: Geocing SAS. ....	238
Ilustración 154. Factor de Seguridad para las abscisas del perfil representativo P10. Escenario 5. Fuente: Geocing SAS. ....	239
Ilustración 155. Mapa de amenaza por movimientos en masa del casco urbano del municipio de Teruel. ....	241
Ilustración 156. Movimiento en masa con estilo de actividad compleja. Sector suroeste de la zona de estudio. Orientación de la ilustración hacia el suroccidente. ....	243
Ilustración 157. Deslizamientos rotacionales en el talud de una vía Veredal en el sector suroeste del casco urbano. ....	243
Ilustración 158. Coordenadas: E=1168216, N=795798. Erosión hídrica laminar, en surcos y en cárcavas, sobre suelos residuales de la Formación Palermo (Ri-E1p) ....	244
Ilustración 159. Deslizamiento rotacional. ....	245

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>

Ilustración 160. Separación del muro de contención de la cancha de aproximadamente 70 cm. ....	245
Ilustración 161. Movimientos en masa identificada en el Cementerio sobre el río Pedernal. ....	247
Ilustración 162. Terraza Pedernal 2 (TPe2) o Terraza Teruel.....	248
Ilustración 163. Punto de Socavación .....	250
Ilustración 164 Socavación en el río pedernal al costado derecho. ....	251
Ilustración 165 Socavación en el río pedernal al costado izquierdo. ....	251
Ilustración 166. Socavación en el río pedernal al costado derecho. ....	252
Ilustración 167 Socavación en la quebrada el Pueblo, en el costado derecho. ....	253
Ilustración 168 Socavación en la quebrada el Pueblo, en el costado izquierdo.....	253
Ilustración 169 Socavación en la quebrada el Pueblo, en el costado izquierdo.....	254
Ilustración 170 Socavación en la quebrada el Pueblo, en el costado izquierdo.....	255
Ilustración 171 Socavación 3 en la quebrada el Pueblo, en el costado izquierdo.....	255
Ilustración 172 Socavación en la quebrada el Pueblo, en el costado izquierdo.....	256
Ilustración 173 Secciones hidrotopográficos del río Pedernal utilizadas en la modelación hidráulica. Fuente: Geocing SAS. ....	259
Ilustración 174 Secciones hidrotopográficos de la quebrada el pueblo utilizadas en la modelación hidráulica. ....	260
Ilustración 175 Secciones hidrotopográficos de la quebrada Las Moyas en la modelación hidráulica. Fuente: Geocing SAS. ....	261
Ilustración 176 Modelo hidráulico HEC-RAS del Río el Pedernal con sus afluentes. ....	262
Ilustración 177 Modelo 3D Vista isométrica HEC-RAS del Río el Pedernal con sus diferentes afluentes – Quebradas. ....	263
Ilustración 178. Modelo 3D Vista Isométrica HEC-RAS del Río el Pedernal y sus afluentes. ....	266
Ilustración 179. Perfil de velocidades del Río el Pedernal Creciente con período de retorno de 100 años. Fuente: Geocing SAS.....	267
Ilustración 180. Perfil longitudinal de la lámina de agua de la creciente con período de retorno de 100 años en el Río el Pedernal.....	268
Ilustración 181 Puente del Río el Pedernal. ....	268
Ilustración 182. Perfil de velocidades de la Quebrada El Pueblo en el área de influencia - Creciente con período de retorno de 100 años. ....	269
Ilustración 183. Perfil longitudinal de la lámina de agua de la creciente con período de retorno de 100 años de la Quebrada El Pueblo. ....	269
Ilustración 184. Perfil de velocidades de la Quebrada Las Moyas, en el área de influencia ubicada en el casco urbano del municipio de Teruel - Creciente con período de retorno de 100 años.....	270
Ilustración 185. Perfil longitudinal de la lámina de agua de la creciente con período de retorno de 100 años en la Quebrada Moyas. ....	271
Ilustración 186 Espacialización para un periodo de retorno de 100 años de cada una de las quebradas y el río Pedernal.....	272

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

Ilustración 187. Mapa de Amenaza por inundación evaluada del casco urbano del municipio de Teruel.....	275
Ilustración 188. Distribución espacial de la cobertura del suelo para el casco urbano del municipio de Teruel.....	277
Ilustración 189. Espacialización de la quebrada el pueblo. ....	279
Ilustración 190. Perfil de velocidades de la Quebrada el Pueblo con período de retorno de 100 años. Fuente: Geocing SAS.....	280
Ilustración 191. Perfil longitudinal de la lámina de agua de la creciente en un periodo de retorno de 100 años en la Quebrada el Pueblo.....	280
Ilustración 192. Determinación de zonas de afectación por av. torrencial en la quebrada el Pueblo. ....	281
Ilustración 193. Espacialización del río Pedernal ubicada entre el municipio de Teruel y el casco urbano. ....	281
Ilustración 194. Determinación de zonas de afectación por av. torrencial en el río el Pedernal.....	282
Ilustración 195. Perfil de velocidades del rio Pedernal, con un período de retorno de 100 años.....	283
Ilustración 196. Perfil longitudinal de la lámina de agua de la creciente con un periodo de retorno de 100 años en el rio Pedernal.....	283
Ilustración 197 Espacialización para un periodo de retorno de 100 años de cada una de las quebradas y el rio Pedernal.....	285
Ilustración 198. Mapa de Amenaza por Avenida Torrencial evaluada del casco urbano del municipio de Teruel.....	286
Ilustración 199. Diagrama de flujo del proceso propuesto para la evaluación de los pesos ponderados normalizados utilizando metodología AHP-difuzza.....	289
Ilustración 200. Calificación difusa de los criterios de calificación AHP (relación directa). ....	292
Ilustración 201 Calificación difusa de los criterios de calificación AHP (relación inversa). ....	292
Ilustración 202. Diagrama de flujo para la calificación de la susceptibilidad utilizado los métodos WLC y OWA (adaptado de Malczewski, 2006). ....	294
<b>Ilustración 203. Esquema de deslizamiento.</b> .....	301
Ilustración 204. Estimación de la distancia de viaje a partir del ángulo de fricción aparente y el volumen deslizado.....	305
Ilustración 205. Modelación cinemática de movimiento para la determinación de la distancia de viaje Fuente: Cifuentes, 2011.....	305
Ilustración 206. Intensidad de deslizamiento de acuerdo a la velocidad esperada y volumen estimado Fuente: Cifuentes, 2011 .....	305
Ilustración 207. Ejemplo de escala de velocidad para describir el potencial de daño de un deslizamiento Fuente: Cifuentes, 2011 .....	306
Ilustración 208. Niveles de agua y presiones que actúan sobre una casa para diferentes escenarios. Fuente: Kelman & Spence (2004).....	309
Ilustración 209. Índice de Daño de las Viviendas de 1 Piso. ....	312

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

Ilustración 210. Índice de Daño de las Viviendas de Poca Altura. ....	312
Ilustración 211. Índice de Daño de las Viviendas de Altura Intermedia. ....	313
Ilustración 212. Índice de Daño de las Viviendas de Gran Altura. ....	313
Ilustración 213. Índice de Daño de la Categoría de infraestructura vial. ....	315
Ilustración 214. Distribución de las edificaciones encuestadas según su fecha de construcción. ....	320
<b>Ilustración 215. Distribución de las edificaciones encuestadas según su número de pisos. ....</b>	<b>321</b>
Ilustración 216. Distribución de las edificaciones encuestadas según su forma de construcción. Fuente: Geocing SAS. ....	322
Ilustración 217. Distribución de las edificaciones encuestadas según su tipo de entepiso. ....	323
Ilustración 218. Distribución de las edificaciones encuestadas según su tipo de cubierta. ....	324
Ilustración 219. Distribución de las edificaciones encuestadas según su sistema estructural. ....	325
Ilustración 220. Distribución de las edificaciones encuestadas según tipo de daño. ....	326
Ilustración 221. Distribución de las edificaciones encuestadas según tipo de daño. ....	327
<b>Ilustración 222. Distribución de las edificaciones encuestadas. ....</b>	<b>328</b>
<b>Ilustración 223 Distribución de las edificaciones encuestadas según la severidad de daños. ....</b>	<b>329</b>
<b>Ilustración 224. Vivienda Tipología B1 (Vivienda en materia reciclaje). ....</b>	<b>330</b>
<b>Ilustración 225. Vivienda Tipología B2 (Vivienda en mampostería sin estructura). ....</b>	<b>330</b>
<b>Ilustración 226. Vivienda Tipología B3 (Edificaciones hasta de dos (02) niveles de buena calidad de construcción (con estructura). ....</b>	<b>331</b>
Ilustración 227. Tipología de Viviendas. ....	331
<b>Ilustración 228. Valoración del ID (potencial y actual) utilizando conjuntos difusos. ....</b>	<b>334</b>
Ilustración 229. Vulnerabilidad física predios Teruel- movimientos en Masa. ....	336
Ilustración 230. Vulnerabilidad Física vías Teruel- movimientos en masa. ....	336
Ilustración 231. Mapa de vulnerabilidad física por movimientos en masa. ....	337
Ilustración 232. Vulnerabilidad Física predios - Inundación. ....	338
Ilustración 233. Vulnerabilidad Física vías - Inundación. ....	339
Ilustración 234. Mapa de vulnerabilidad física por inundación municipio de Teruel. ....	340
Ilustración 235. Vulnerabilidad física predios Teruel- Avenida Torrencial. ....	341
Ilustración 236. Vulnerabilidad Física vías Teruel- Avenida Torrencial. ....	342
Ilustración 237. Mapa de vulnerabilidad física por avenida torrencial. ....	343
<b>Ilustración 238 Distribución de la población por Lugar de Procedencia y por Pertenencia a una Minoría Étnica. ....</b>	<b>346</b>
Ilustración 239. Distribución de las edificaciones encuestadas según la cantidad de menores de edad que viven en el inmueble. ....	348
Ilustración 240. Nivel educativo. ....	350
Ilustración 241. Limitación física. ....	351

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

Ilustración 242. Uso Actual de los Predios. ....	352
Ilustración 243. Servicios Públicos.....	353
<b>Ilustración 244. Distribución Servicio de Alcantarillado y Acueducto. Fuente: Geocing SAS.....</b>	<b>354</b>
Ilustración 245. Vulnerabilidad Social predios. ....	361
Ilustración 246. Mapa de vulnerabilidad social.....	362
Ilustración 247. Relación entre el índice de vulnerabilidad total con los índices de vulnerabilidad física y social. ....	363
Ilustración 248. Vulnerabilidad Total predios Teruel- movimiento en Masa. ....	365
<b>Ilustración 249. Mapa de vulnerabilidad total por movimientos en masa.....</b>	<b>366</b>
Ilustración 250. Vulnerabilidad Total predios - Inundación.....	367
Ilustración 251. Mapa de vulnerabilidad total por inundación.....	368
Ilustración 252. Vulnerabilidad Total predios Total- Avenida Torrencial.....	369
Ilustración 253. Mapa de vulnerabilidad total por avenida torrencial. ....	370
Ilustración 254. Conjuntos difusos trapezoidales. ....	376
Ilustración 255. Categorización del nivel de riesgo el cual depende del índice de vulnerabilidad total en el eje x y la probabilidad de ocurrencia acumulada a 50 años en el eje y. Fuente: Geocing SAS. ....	379
Ilustración 256. Categorización del nivel de riesgo por movimientos en masa de los elementos expuestos para el escenario actual. Fuente: Geocing SAS. ....	381
Ilustración 257. Distribución del número de construcciones y pérdidas económicas esperadas para las categorías de riesgo por movimientos en masa. ....	382
Ilustración 258. Distribución de las pérdidas económicas esperadas de la infraestructura vial que se encuentra dentro de las categorías de riesgo por movimientos en masa. ....	383
<b>Ilustración 259. Mapa de riesgo por movimientos en masa municipio de Teruel. ..</b>	<b>384</b>
Ilustración 260. Categorización del nivel de riesgo por inundación de los elementos expuestos para el escenario actual.....	385
Ilustración 261. Distribución del número de construcciones y pérdidas económicas esperadas para las categorías de riesgo por Inundación.....	386
Ilustración 262. Distribución de las pérdidas económicas esperadas de la infraestructura vial que se encuentra dentro de las categorías de riesgo por Inundación.....	387
<b>Ilustración 263. Mapa de riesgo por inundación municipio de Teruel. ....</b>	<b>388</b>
Ilustración 264. Categorización del nivel de riesgo por avenida torrencial de los elementos expuestos para el escenario actual.....	389
Ilustración 265. Distribución del número de construcciones y pérdidas económicas.....	390
Ilustración 266. Distribución de las pérdidas económicas esperadas de la infraestructura vial que se encuentra dentro de las categorías de riesgo por Avenida Torrencial.....	390
<b>Ilustración 267. Mapa de riesgo por avenida torrencial municipio de Teruel.....</b>	<b>391</b>
Ilustración 268 Mapa de riesgo por Movimientos en masa.....	395
Ilustración 269 Mapa de riesgo por Inundación.....	396
Ilustración 270 Mapa de riesgo por Avenida Torrencial .....	397
Ilustración 271 Identificación de los elementos constituyentes de la ronda hídrica (flecha roja) cuando el primero (flecha azul) es igual a 30 metros y el resto es hasta el límite de la	

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

envolvente de los tres componentes. Fuente: GUÍA TÉCNICA DE CRITERIOS PARA EL ACOTAMIENTO DE LAS RONDAS HÍDRICAS EN COLOMBIA, BOGOTÁ 2018. .... 399

Ilustración 272 Delimitación de la ronda hídrica para los drenajes presentes en el municipio de Teruel. .... 400

**Ilustración 273. Relación Entre Sensibilidad y Aptitud Frente a proyectos** ..... 403

Ilustración 274. Mapa de zonificación Ambiental, municipio de Teruel. .... 412

Ilustración 275. Coordenadas: E=1168050, N=795655, E. Deslizamiento rotacional en la ladera contigua a una estación de gasolina a la entrada del municipio de Teruel. .... 416

Ilustración 276. Coordenadas: E=1167803, N=796125, N. Deformación de los gaviones en la parte inferior del deslizamiento, lo que indica el depósito del material desprendido de la parte superior. Fuente: Geocing SAS. .... 417

Ilustración 277. Deformación de los gaviones en la parte inferior del deslizamiento. .... 417

Ilustración 278. Esquema zanja de coronación trapezoidal. .... 418

Ilustración 279 Vista transversal de la situación actual del gavión. Factor de estabilidad de falla FS. 0.9, en razón que el gavión se encuentra deformado en su línea inferior, la probabilidad de falla es del 3.4%. .... 419

Ilustración 280 vista transversal tipología de muro tipo gavión de 3.0 m de altura. .... 420

Ilustración 281 Pre dimensionamiento del Muro en Gavión de H: 3.0 m. .... 421

Ilustración 282 Pre dimensionamiento del Muro en Gavión de H: 3.0 m. Evidencia de Cumplimiento a Capacidad Portante, Deslizamiento, Volcamiento dinámico y estático. 421

Ilustración 283 Vista transversal reconfiguración del gavión, con las dos trincheras drenantes de 1.5 m de profundidad. .... 422

Ilustración 284 Factor de estabilidad de falla FS. 1.36, la probabilidad de falla es del 0% en condición pseudoestática. .... 422

Ilustración 285 Factor de estabilidad de falla FS. 1.66, la probabilidad de falla es del 0 % en condición estática. .... 423

Ilustración 286. Escarpe en forma de media luna (corona del deslizamiento) ..... 424

Ilustración 287. Deslizamiento rotacional. .... 424

Ilustración 288 Separación del muro de contención de la cancha de aproximadamente 70 cm. .... 425

Ilustración 289. Separación del muro de contención de la cancha de aproximadamente 70 cm. .... 425

Ilustración 290 Esquema zanja de coronación trapezoidal. Fuente: Geocing SAS. .... 427

Los drenes horizontales de penetración transversal constituyen un sistema de subdrenaje, que consiste en la introducción de tuberías ranuradas insertadas transversalmente en los taludes para aliviar la presión de poros; la instalación de estos drenes debe regirse bajo lo estipulado en el Artículo 674-07 de Invias. Este trabajo comprende la perforación de barrenos en los taludes del proyecto, la instalación de tubería perforada en los mismos, con o sin recubrimiento exterior de la tubería perforada con Geotextil, en los sitios establecidos en los planos o en los que indique el Interventor. En la ilustración 291 se presenta un esquema de Dren de Penetración Horizontal. .... 427

Ilustración 292. Esquema de dren horizontal. .... 428

Ilustración 293 Pre dimensionamiento del Muro en Voladizo de H: 5.0 m. .... 430

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

Ilustración 294 Pre dimensionamiento del Muro en Voladizo de H: 5.0 m. Evidencia de Cumplimiento a Capacidad Portante, Deslizamiento, Volcamiento dinámico y estático.	431
Ilustración 295. Condición de estabilidad actual del muro en la cancha deportiva FS 0.959.	432
Ilustración 296. Condición de estabilidad con el muro en voladizo en la cancha deportiva FS 1.89. Condición pseudoestática.....	432
Ilustración 297 Localización de las viviendas que se DEBE reubicar .....	434
Ilustración 298 Presupuesto estimado para la reubicación de 40 viviendas. ....	435
Ilustración 299 Vista de las estructuras existentes en el punto crítico río pedernal .....	436
Ilustración 300 Espacialización quebrada El Pueblo para un periodo de retorno de 100 años.....	436
Ilustración 301 Vista en planta del punto crítico 1, vista del talud presente. ....	437
Ilustración 302 Pre dimensionamiento del Muro en Gavión de H: 4.0 m. ....	439
Ilustración 303 Pre dimensionamiento del Muro en Gavión de H: 4.0 m. Evidencia de Cumplimiento a Capacidad Portante, Deslizamiento, Volcamiento dinámico y estático.	439
Ilustración 304. Vista transversal de la situación actual. ....	440
Ilustración 305. Vista transversal de la implantación del muro en gavión. ....	440
Ilustración 306. Factor de estabilidad de falla FS. 1.289, la probabilidad de falla es del 0.050% en condición pseudoestática.....	441
Ilustración 307. Factor de estabilidad de falla FS. 1.545, la probabilidad de falla es del 0 % en condición estática. ....	441
Ilustración 308 Localización de la medida de mitigación. ....	442
Los drenes horizontales de penetración transversal constituyen un sistema de subdrenaje, que consiste en la introducción de tuberías ranuradas insertadas transversalmente en los taludes para aliviar la presión de poros; la instalación de estos drenes debe regirse bajo lo estipulado en el Artículo 674-07 de Invias. Este trabajo comprende la perforación de barrenos en los taludes del proyecto, la instalación de tubería perforada en los mismos, con o sin recubrimiento exterior de la tubería perforada con Geotextil, en los sitios establecidos en los planos o en los que indique el Interventor. En la ilustración 309 se presenta un esquema de Dren de Penetración Horizontal. ....	443
Ilustración 310. Esquema de dren horizontal. ....	443
Ilustración 311 Dimensionamiento del Muro en Voladizo de H: 3.0 m. ....	445
Ilustración 312 Dimensionamiento del Muro en Voladizo de H: 3.0 m. Evidencia de Cumplimiento a Capacidad Portante, Deslizamiento, Volcamiento estático. ....	446
Ilustración 313 Dimensionamiento del Muro en Voladizo de H: 3.0 m. Evidencia de Cumplimiento a Capacidad Portante, Deslizamiento, Volcamiento dinámico. ....	446
Ilustración 314. Vista transversal del perfil de análisis. ....	447
Ilustración 315. Vista transversal implantación Alternativa 1- Muro en concreto.....	447
Ilustración 316. Implantación Alternativa 1- Muro en concreto FS 1.36.....	448

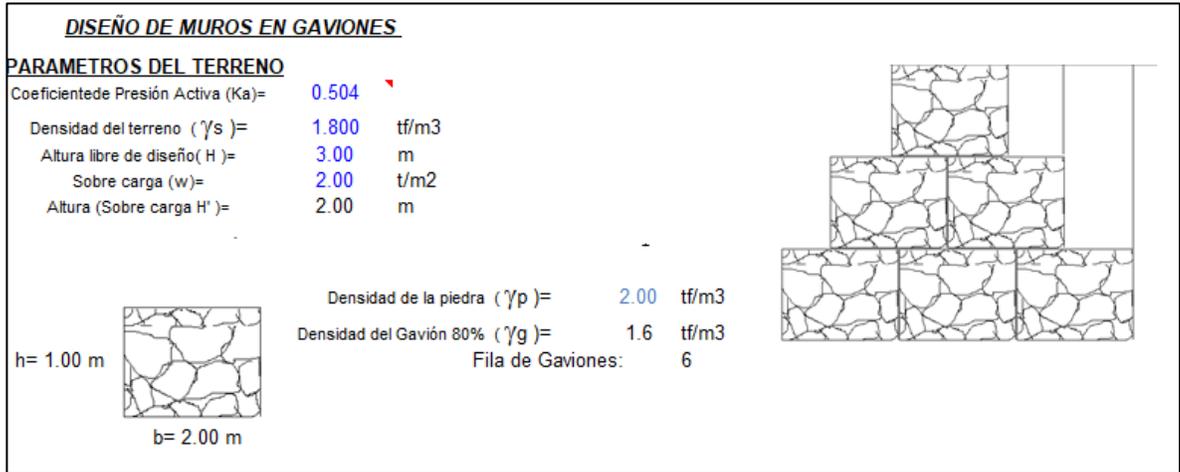


Ilustración 317 Dimensionamiento del Gavion de H: 3.0 m. ....	450
Ilustración 318 Pre dimensionamiento del Muro -Gavión de H: 3.0 m. Evidencia de Cumplimiento Volcamiento estático. ....	450
Ilustración 319 Pre dimensionamiento del Muro -Gavion de H: 3.0 m. Evidencia de Cumplimiento Deslizamiento estático. ....	451
Ilustración 320. Vista transversal del perfil de análisis. ....	452
Ilustración 321. Vista transversal implantación Alternativa 2- Muro en Gavion. ....	452
Ilustración 322. Implantación Alternativa 2- Muro en Gavión 1.05. ....	453
Ilustración 323. Punto crítico 3 coordenadas 2°44'6.94"N; 75°34'12.02"O. ....	454
Ilustración 324 Presupuesto estimado para la reubicación de 3 viviendas. ....	456
Ilustración 325. Punto crítico sobre el río Pedernal. ....	457
Ilustración 326 Barrera geodinámica. ....	458
Ilustración 327. Malla geodinámica. ....	459

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>

## ANEXOS GENERALES

- Anexo 1. TOPOGRAFÍA
- Anexo 2. HIDROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA
- Anexo 3. CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA
- Anexo 4. AMENAZA
- Anexo 5. VULNERABILIDAD Y RIESGO
- Anexo 6. MAPAS
- Anexo 7. PLANOS DE OBRAS
- Anexo 8. PRESUPUESTOS
- Anexo 9. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS
- Anexo 10. TÉRMINOS DE REFERENCIA
- Anexo 11. GEODATABASE

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

## LISTA DE PLANOS GENERALES

MAPA	NOMENCLATURA
PLANTA TOPOGRÁFICA	GE426-TRL-PSIG-TPG-001-00
MODELO DE ELEVACIÓN DIGITAL	GE426-TRL-PSIG-MDT-001-00
IMAGEN SATELITAL	GE426-TRL-PSIG-IDR-001-00
EXPLORACIÓN DEL SUBSUELO	GE426-TRL-PSIG-ES-001-00
COBERTURA Y USO DE SUELO	GE426-TRL-PSIG-CS-001-00
GEOLOGÍA LOCAL	GE426-TRL-PSIG-GE-001-00
GEOMORFOLOGÍA LOCAL	GE426-TRL-PSIG-GM-001-00
AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA	GE426-TRL-PSIG-AMM-001-00
AMENAZA POR INUNDACIÓN	GE426-TRL-PSIG-AZI-001-00
AMENAZA POR AVENIDA TORRENCIAL	GE426-TRL-PSIG-AAT-001-00
VULNERABILIDAD MOVIMIENTOS EN MASA	GE426-TRL-PSIG-VTF-001-00
VULNERABILIDAD INUNDACIÓN	GE426-TRL-PSIG-VTI-001-00
VULNERABILIDAD AVENIDA TORRENCIAL	GE426-TRL-PSIG-VTT-001-00
RIESGO MOVIMIENTOS EN MASA	GE426-TRL-PSIG-RRM-001-00
RIESGO INUNDACIÓN	GE426-TRL-PSIG-RPI-001-00
RIESGO AVENIDA TORRENCIAL	GE426-TRL-PSIG-RPI-001-00
ZONIFICACIÓN AMBIENTAL	GE426-TRL-PSIG-RAT-001-00
OBRAS	GE426-TRL-PSIG-RRM-001-00

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

## 1 INTRODUCCIÓN

El municipio de Teruel se ha visto afectado por movimientos en masa, inundaciones, erosiones fluviales, avenidas torrenciales y otros eventos naturales, razón por la cual el municipio ha invertido recursos para la elaboración de estudios que permitan evaluar las amenazas presentes. Fue entonces que en el año 1999 la Universidad Nacional realizó el “Estudio evaluación de las amenazas potenciales de origen geológico, geomorfológico e hidrometeorológico, y caracterización geotécnica preliminar de las cabeceras municipales del departamento del Huila. (CAM-Idea UN, 1999)”; estudio en el cual se concluye que las amenazas naturales de mayor impacto para el casco urbano del municipio de Teruel son las de origen geomorfológico (movimientos en masa), en sectores ubicados cerca de la quebrada El Pueblo donde se ha evidenciado problemas de inestabilidad de taludes y sobre las márgenes del río Pedernal al oriente del casco urbano donde se han presentado problemas de movimientos en masa y erosión fluvial, provocando inestabilidad en las márgenes de dicho río.

En cuanto a la amenaza de origen hidrometeorológico (inundaciones/ Avenida Torrencial) se identificó que el río Pedernal y la quebrada El Pueblo durante épocas de temporada invernal han generado afectaciones en la cabecera municipal y alrededores.

Con el fin de conocer de manera detallada las amenazas naturales que afectan el municipio, se elaboraron los “ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015”; y como parte de este se realizó: Levantamiento topográfico y topo-batimétrico, geología, geotecnia, análisis hidrológicos e hidráulicos, socavación y análisis de estabilidad; zonificación de la amenaza por movimientos en masa, inundación y avenidas torrenciales (escala 1:2.000), para obtener el análisis de vulnerabilidad (física, social y total) de las construcciones existentes. Una vez obtenidos los resultados del análisis de amenaza y vulnerabilidad se procedió a desarrollar la evaluación y zonificación de riesgo determinando de este modo las áreas donde se presenta el riesgo mitigable o no mitigable y zona sin riesgo, para poder realizar el diseño y presupuesto de las alternativas de obras estructurales y no estructurales.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GENERAL

Elaborar los “Estudios detallados de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales en el área urbana del municipio de Teruel en el departamento del Huila, teniendo en cuenta los lineamientos del decreto 1077 de 2015”.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

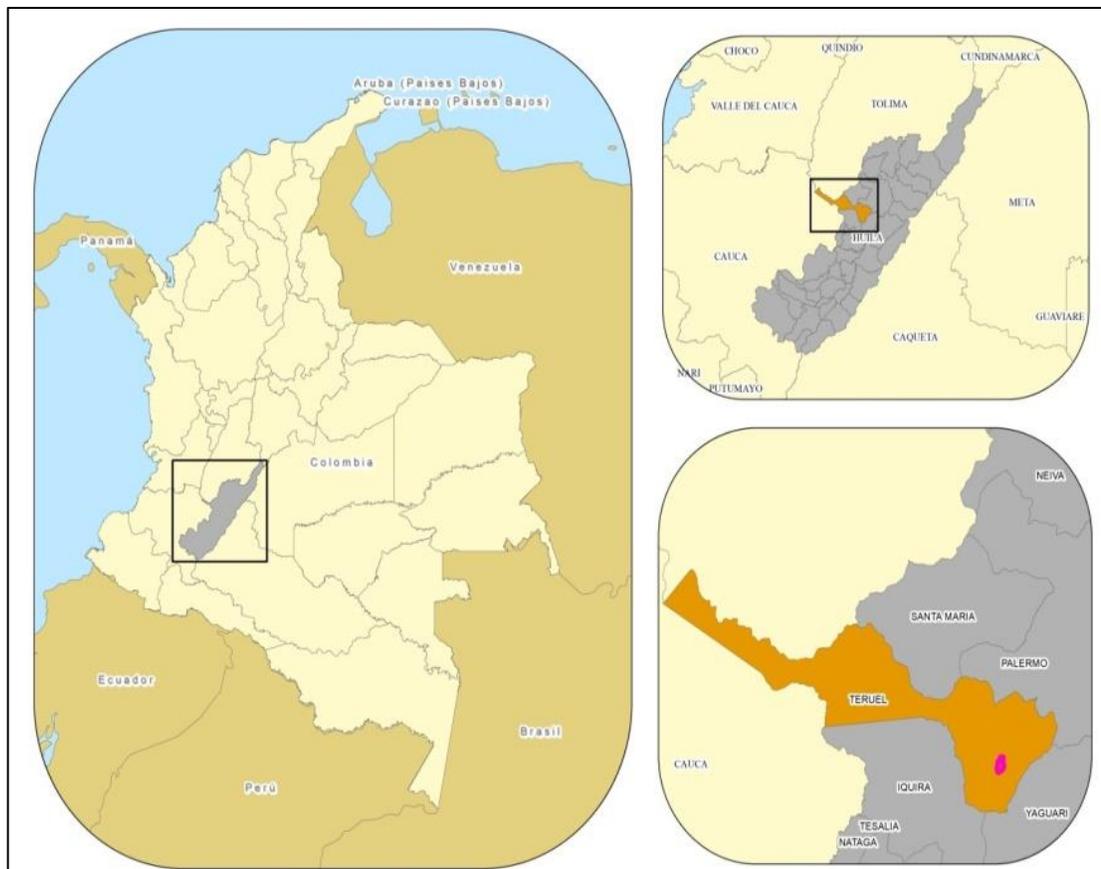
Para el municipio de Teruel se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Recopilar y analizar información existente teniendo en cuenta antecedentes de ocurrencia de eventos naturales, estudios realizados e información secundaria existente.
- Realizar el levantamiento topográfico e hidrométrico en el casco urbano del municipio.
- Realizar la caracterización geológico-geomorfológico
- Realizar el modelo geológico geotécnico
- Realizar estudio detallado de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo de la zona de estudio.
- Identificar las amenazas generadas por deslizamientos en laderas, inestabilidad de cauce, inundación y/o avenidas torrenciales para el casco urbano a escala 1:2.000.
- Evaluar el análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo frente a los Movimientos en masa e inundaciones, avenidas torrenciales a escala (1:2.000)
- Definir la zonificación ambiental y la aptitud del suelo en la zona de estudio en escala 1:2.000.
- Elaboración de los términos de referencia correspondientes al estudio.
- Realizar las especificaciones de construcción correspondientes al estudio.
- Plantear alternativas de obras estructurales y no estructurales en la zona de estudio.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

### 3 LOCALIZACIÓN

El municipio de Teruel está localizado en la parte occidental del departamento del Huila, margen izquierda del Río Magdalena y en las estribaciones de la cordillera Central que descienden del nevado del Huila. Limita al norte con el departamento del Tolima y el municipio de Santa María, al sur con los municipios de Yaguará e Iquira, al oriente con el municipio de Palermo y al occidente con el departamento del Cauca y el municipio de Iquira, la jurisdicción territorial del municipio de Teruel es de es de 49.866 Hectáreas (Ha) o 498,66 Km<sup>2</sup> que representa el 2,5% del territorio departamental, ocupando el puesto (17) en tamaño entre los 37 municipios del departamento del Huila. El área de estudio corresponde al casco urbano del municipio de Teruel en el departamento del Huila corresponde a 149,78 ha (Ver Ilustración 1).



**Ilustración 1. Localización general municipio de estudio – Teruel.**

**Fuente: Geocing SAS.**

La topografía del municipio es accidentada, caracterizada por grandes drenajes, hechos por los ríos que bajan entre las ramificaciones de la cordillera Central y numerosos drenajes naturales de flujo intermitente que tienen una fuerza erosiva

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b>

de gran magnitud. La altitud de Teruel está comprendida entre 850 y 5.750 m.s.n.m.

### 3.1 DESCRIPCIÓN DE LA SITUACIÓN

El municipio de Teruel se ha visto afectado por movimientos en masa, inundaciones, erosiones fluviales, avenidas torrenciales y otros eventos naturales, razón por la cual el municipio ha invertido recursos para la elaboración de estudios que permitan evaluar las amenazas presentes. Fue entonces que en el año 1999 la Universidad Nacional realizó el “Estudio evaluación de las amenazas potenciales de origen geológico, geomorfológico e hidrometeorológico, y caracterización geotécnica preliminar de las cabeceras municipales del departamento del Huila. (CAM-Idea UN, 1999)”; estudio en el cual se concluye que las amenazas naturales de mayor impacto para el casco urbano del municipio de Teruel son las de origen geomorfológico (movimientos en masa), en sectores ubicados cerca de la quebrada El Pueblo donde se ha evidenciado problemas de inestabilidad de taludes y sobre las márgenes del río Pedernal al oriente del casco urbano donde se han presentado problemas de movimientos en masa y erosión fluvial, provocando inestabilidad en las márgenes de dicho río.

En cuanto a la amenaza de origen hidrometeorológico (inundaciones/ Avenida Torrencial) se identificó que el río Pedernal y la quebrada El Pueblo durante épocas de temporada invernal han generado afectaciones en la cabecera municipal y alrededores.

Teniendo en cuenta lo anteriormente expresado, la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena -CAM- destinó recursos para la ejecución de estudios orientados a establecer las medidas que permitan la reducción del riesgo en zonas críticas de este municipio, con el objetivo de intervenir oportunamente las situaciones de riesgo y de esta manera reducir el nivel de vulnerabilidad de la población, enmarcado dentro de lo estipulado en el Decreto 1077 de 2015 y en cumplimiento de la Ley 1523 de 2012.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

## 4 ACTIVIDADES REALIZADAS

### 4.1 ANÁLISIS DE INFORMACIÓN SECUNDARIA

Se recopiló información secundaria temática y cartográfica de la zona de estudio; así mismo estudios sobre amenaza, vulnerabilidad y riesgo, extraída del POT del municipio de Teruel, A continuación se presenta la información recopilada más importante para el desarrollo del presente contrato en la zona de estudio.

#### 4.1.1 Estudios previos

- Estudio evaluación de las amenazas potenciales de origen geológico (actividad sísmica y volcánica), geomorfológico (movimientos en masa y erosión) e hidrometeorológico (dinámica fluvial, inundaciones y sequías), y caracterización geotécnica preliminar de las cabeceras municipales del departamento del Huila. (CAM-Idea UN, 1999)

En este estudio se identificaron y recopilaron las amenazas de origen natural, así como las de origen antrópico. A continuación se presentan la recopilación de estas amenazas:

- **Amenazas de origen natural en la cabecera municipal**

El municipio presenta amenazas de origen geológico, geomorfológico e hidroclimático las cuales han sido identificadas en la cabecera municipal.

- **Amenazas de origen geológico**

En el municipio de Teruel las amenazas de origen geológico se reducen a la amenaza sísmica.

- **Amenaza sísmica**: El casco urbano del municipio de Teruel está ubicado en una zona de amenaza sísmica alta, según el estudio general de amenaza sísmica de Colombia publicado en el año 1996 por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, se define que el municipio presenta características estructurales importantes, ya que, es atravesado por la falla Chusma–Teruel en su sector occidental, lo que imprime un carácter de especial cuidado a este tipo de eventos en esta región. Las fallas en esta región son de carácter inverso, de alto ángulo, con buzamientos predominantemente hacia el occidente.

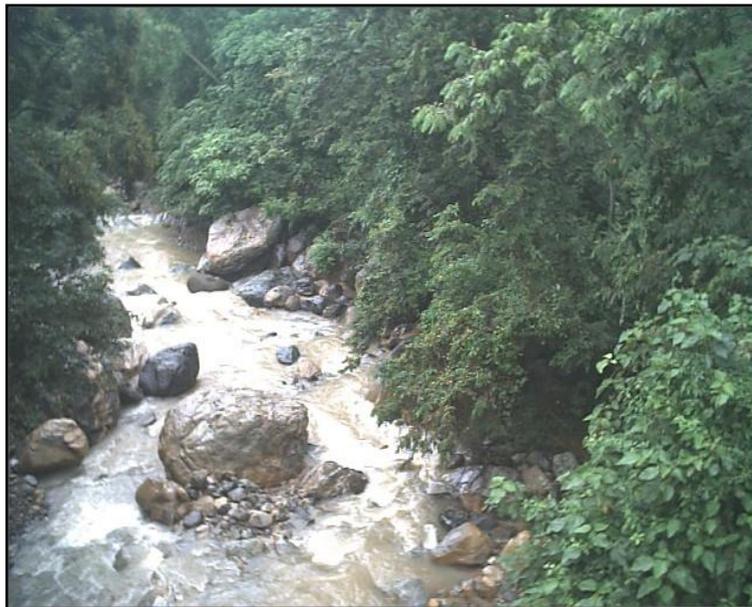
- **Amenazas de origen hidrometeorológico**

Entre las amenazas de origen hidroclimático identificadas en el municipio se encuentran las inundaciones, que son eventos que ocurren principalmente en épocas de lluvia causando el desbordamiento de ríos y quebradas afectando cultivos, viviendas e infraestructura.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

- **Amenazas por inundación:** En la cabecera municipal se identificaron varias zonas con probabilidad de ser afectadas por inundaciones, las cuales se caracterizan como amenaza alta (AaI), media (AmI) y baja (AbI). Entre estas se encuentra el río Pedernal; en la cual se identificó que algunas áreas esta categorizada con amenaza alta por inundación sobre ambas márgenes. Adicionalmente se determinaron áreas con probabilidad de ser afectadas por erosión fluvial las cuales se detallan a continuación:

Se presentan dos sectores con amenaza alta por erosión fluvial como una franja y otra área muy reducida sobre la margen izquierda del río, también sobre la margen derecha del río Pedernal (Ver Ilustración 2) y especialmente en un sector localizado al sur del casco urbano donde la acción erosiva del cauce ha terminado socavando el talud y desestabilizándolo. Con amenaza media por erosión fluvial hay una franja al occidente del río, sobre su ribera derecha; y con una amenaza baja se identificaron dos fajas alargadas en sentido paralelo a la corriente sobre su margen izquierda.



**Ilustración 2. Río Pedernal municipio de Teruel.  
Fuente: Fuente: Geocing SAS.**

Otro cause donde se presenta amenaza por inundación corresponde a la quebrada El Pueblo; identificando la zona centro-occidental de la cabecera sobre la margen derecha de la quebrada dos sectores con amenaza alta por inundación y un área con amenaza media. Es importante destacar que en la zona sur del casco urbano, sobre la margen derecha de esta misma quebrada no se presenta amenaza por inundación, ya que el cauce está limitado por la macro unidad de colinas.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

- **Amenazas de origen geomorfológico**

Se consideran amenazas de origen geomorfológico a la probabilidad de ocurrencia de movimientos en masa y erosión. A continuación se presenta la recopilación de los sectores que se han categorizado dentro de esta amenaza

- **Amenaza por movimientos en masa y erosión:** Se determinaron zonas con amenaza alta y media por movimientos en masa, las cuales se zonificaron a escala 1:2.500. Dentro del municipio se localizan algunas áreas con problemas de inestabilidad de taludes, sobre las cuales se identificaron algunas viviendas, haciéndose más crítica la situación en épocas invernales ya que estas pueden verse afectadas de presentarse algún deslizamiento. Los sectores con amenaza alta, media y baja por movimientos masa son los siguientes:

1. En la parte alta de la cuenca del río Pedernal la principal amenaza es por movimientos en masa. Es importante destaca que aunque no se localice esta amenaza en el área urbana, si estos materiales llegasen al río Pedernal y arrastrarán flujos de lodo podría llegar al casco urbano y ocasionar afectaciones.
2. En la zona centro – occidental del casco urbano en un área de vertiente sobre la margen derecha de la quebrada El Pueblo se presenta amenaza media por movimientos en masa.
3. Uno de los problemas más críticos del municipio se presenta en el barrio las Brisas en la carrera 2 con calle 8 en un área que cubre dos manzanas, donde se identificó amenaza alta por movimientos en masa y en donde se presentan problemas de asentamientos y grietas en las viviendas tanto en muros como en los pisos, como se puede observar en la Ilustración 3.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>



**Ilustración 3. Grietas en los muros de la vivienda de Tino Becerra Silva en el barrio Las Brisas. Fuente: (CAM Idea - UN, 1999)**

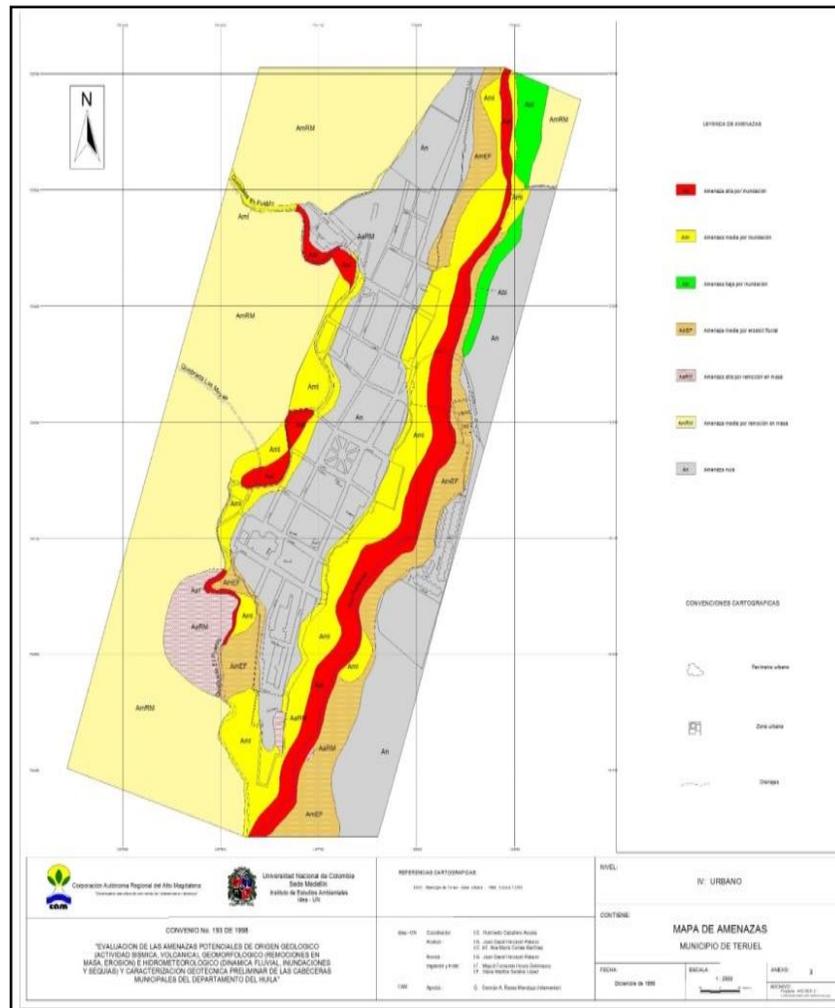
4. Sobre la margen derecha del río Pedernal, en la calle 6 con carrera 2 se presentan amenaza alta por movimientos en masa en algunas viviendas, construidas sobre el escarpe erosivo.
5. Se presenta un sector con amenaza alta por movimientos en masa en el extremo suroccidental del casco urbano sobre la margen derecha de la quebrada El Pueblo, combinado con procesos derivados de la dinámica fluvial (erosión lateral).
6. También se localiza un sector con amenaza alta por erosión fluvial sobre la ribera izquierda de esta corriente, en el área que bordeando el casco urbano del municipio desde el extremo noroccidental.
7. Sobre la vía Teruel – Neiva a 2 km del casco urbano, se presentan problemas de reptación sobre la margen izquierda de la vía.
8. En la Ilustración 4, se presentan las áreas de amenaza por movimientos en masa, inundación, erosión fluvial identificadas para el casco urbano del municipio de Teruel.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

**Tabla 1. Área a evaluar de acuerdo al estudio de amenaza de la UNAL –municipio de Teruel.**

Municipio de Teruel	Área (m <sup>2</sup> )
AaRM amenaza alta por movimientos en masa	3,511
Aal amenaza alta por inundación	9,924
Aml amenaza media por inundación	18,370
AmEF amenaza media por erosión fluvial	10,647
AmRM amenaza media por movimientos en masa	49,995
Abl amenaza baja por inundación	2,314
An amenaza nula	40,360
Área Total	135,121

**Fuente: (CAM Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena).**



**Ilustración 4. Ubicación de los sitios o áreas de amenaza intervenir municipio de Teruel.**

**Fuente: (CAM Idea - UN, 1999)**

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

## • Inventario de eventos naturales

De acuerdo con el inventario de eventos naturales del departamento del Huila realizado por el geólogo Henry Ramírez Santos con base en la revisión y recopilación periodística y el análisis e interpretación, a partir de criterios geológicos y desastres naturales registrados en el diario del Huila, se presenta en este inventario 6 eventos de origen natural, los cuales consistieron en deslizamientos, avalanchas, vendavales, represamientos y desbordamientos con un balance de carreras taponadas, destrucción de 150 Ha de cultivos de café, pérdidas por más de 1000 millones, afectación de acueductos veredales, más de 250 personas en peligro inminente y 311 familias damnificadas.

## • Revisión, ajuste y modificación del esquema de ordenamiento territorial del municipio de Teruel-Huila (Alcaldía de Teruel, 2004).

En este documento realizado en el año 2004 por la alcaldía del municipio de Teruel se presenta la descripción de las unidades litológicas, formaciones superficiales, estratigrafía y estructuras geológicas presentes en el área de estudio. Entre las unidades litológicas se destacan el Batolito de La Plata – Suaza (Ji), formación Guaduas (KTg), formación Villeta (Kv); adicionalmente se destaca que debido al sistema de fallas de Chusma se han presentado una serie de desplazamientos relativos de la masa de roca; adicionalmente debido a estos pequeños movimientos se han producido algunos sismos en la zona.

Referente a las amenazas presentes en el municipio se hace alusión a la erosión fluvial las cuales son muy frecuentes en la cabecera municipal localizados específicamente en el río Pedernal (en ambas márgenes) y en la quebrada El Pueblo (margen izquierda aguas abajo). Otra amenaza corresponde a los movimientos en masa, actualmente existe un deslizamiento activo que supera los 20 metros de alto aproximadamente, en el sector del cementerio municipal, el cual se detonó en febrero de 1999; este evento se puede considerar como un desprendimiento debido a la socavación lateral de la ladera por el río Pedernal, que involucró material de varios estratos y contiguo a éste se tiene la cicatriz de un antiguo movimiento en masa de magnitud semejante al actual (Ver Ilustración 5).

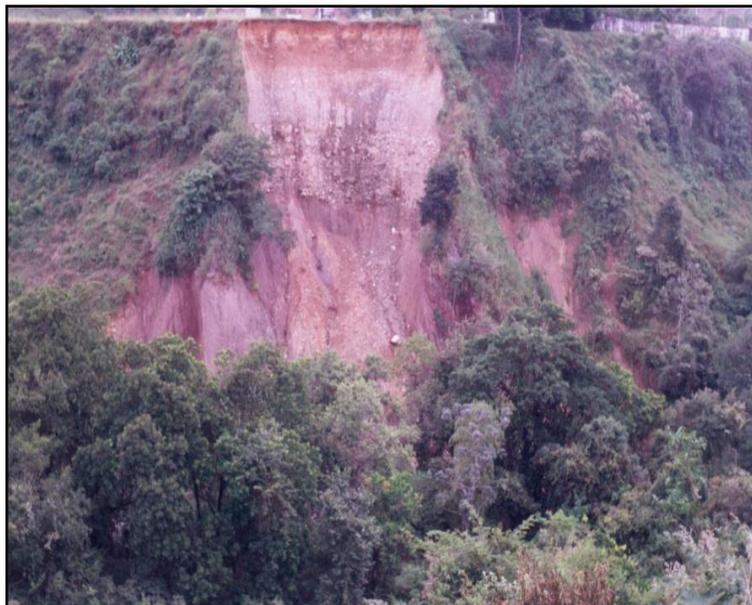
Adicionalmente en el la margen derecha de la quebrada El Pueblo, en el extremo suroccidental del casco urbano: los movimientos en masa de tipo rotacional se deben a que es una zona de falla. En el casco urbano algunas viviendas ubicadas en escarpe de la terraza pedernal localizadas en el barrio las Brisas se han visto afectadas por un movimiento en masa complejo que se presenta en el sector y Sobre la margen derecha del río Pedernal, en la calle 6 con carrera 2 se presentan procesos morfodinámicos representados por erosión concentrada (surcos y

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>

cárcavas). En la Ilustración 6 se presenta una fotografía de la terraza pedernal que se presenta en el municipio.



**Ilustración 5. Movimientos en masa identificada en el Cementerio sobre el río Pedernal.**  
Fuente: (Alcaldía de Teruel, 2004).



**Ilustración 6. Terraza Pedernal 2 (TPe2) o Terraza Teruel.**  
Fuente: (Alcaldía de Teruel, 2004).

En este esquema de ordenamiento territorial se presentan adicionalmente los resultados obtenidos del estudio de amenazas realizado por la Universidad Nacional de Medellín y la CAM, donde se especifican las amenazas de origen

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

geológico, geomorfológico e hidroclimático, así como las de origen antrópico que se han identificado. Gran parte de la información que allí se presenta ya se encuentra consignada en la recopilación del estudio realizado entre la universidad Nacional y la CAM, excepto la que se presenta a continuación:

- **Amenaza por avenida torrencial:** En junio de 1996 se presentó avenida torrencial del río Pedernal en la vereda Corrales, derrumbando muros de casas rurales y el puente antiguo de corrales, con un desbordamiento en su cauce a 15 mts a lado y lado y arrastre de escombros de árboles, piedra y lodo.
- **Amenaza por erosión:** La erosión en el municipio de Teruel se comenzó a presentar desde 1992 especialmente sobre las veredas Almorzadero, la Castilla y Cafuchal; debido a la alta intensidad de tala para la obtención de pastos.

**Amenaza por movimientos en masa:** En cercanías de la loma de Gualpí, vereda Gualpí, recurrentemente se presentan deslizamientos por su grado de pendiente alta y debido a las lluvias recias cuando se presentan. Adicionalmente existen viviendas ubicadas en sectores de alto riesgo de movimiento en masa, al ubicarse sobre laderas margen derecha aguas abajo del río Pedernal al noreste y acceso al casco urbano, y al margen izquierdo aguas debajo de la quebrada El Pueblo (calle 2 con Cra 5) son 27 y 17 familias respectivamente

**A continuación se presenta un listado de zonas de inestabilidad potencial, zonas inestables, zonas potencialmente inundables:**

✓ **Zonas de inestabilidad potencial (ZIP)**

- Al suroccidente del casco urbano en la zona de vertiente (macrounidad de colinas).
- Al noroccidente de la cabecera inmediatamente al norte de la Quebrada El Pueblo sobre su margen izquierda.
- Sobre la margen izquierda del río Pedernal.

✓ **Zonas inestables (ZI)**

- Al suroccidente sobre la margen derecha de la quebrada El Pueblo.
- Entre la quebrada El Pueblo y el río Pedernal, en parte de este terreno está construido el Cementerio Municipal.
- Sobre la margen izquierda del río Pedernal en la porción suroriental del casco urbano.
- Tres áreas sobre la margen izquierda de la quebrada El Pueblo.
- Sector en el barrio Las Brisas.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

- Dos sectores paralelos al Río Pedernal al nororiente del casco urbano.
- Amplio sector sobre la margen derecha del río Pedernal.
- ✓ **Zonas potencialmente inundables (ZPI)**
- A lo largo del río Pedernal a su paso por la cabecera municipal sobre ambas márgenes.
- Dos pequeños sectores sobre la margen derecha de la quebrada El Pueblo.

#### **4.1.2 Noticias destacadas respecto a la zona de estudio**

- **Emergencia Vial En El municipio De Teruel (Teruel le Informa Noticias, 05 de Diciembre del 2008)**

"Los innumerables derrumbes que han ocurrido en el municipio han afectado la vía de la zona rural del municipio de Teruel, pérdidas de cultivos, agrietamientos de viviendas las cuales amenazan con desplomarse poniendo de este modo en riesgo la vida de sus habitantes. Estos movimientos en masa han sido ocasionados por las fuertes lluvias que se han presentado en el municipio. En la zona se ha hecho necesario el des taponamiento de vías en las veredas la Castilla, Yarumal, Sinaí y Pedernal, adicionalmente construcción de gaviones para la estabilidad de taludes y recuperación de la banca en algunos puntos críticos de la zona rural del municipio.

El alcalde municipal encargado Ing. José Romualdo cruz rojas junto con el comité local para la prevención y atención de desastres, y mediante Decreto N°092 de diciembre 3 de 2008, declararon emergencia vial en el municipio de Teruel."

- **Zona rural del municipio de Teruel quedó incomunicado por un deslizamiento de tierra (RCN radio, 23 de Diciembre del 2016)**

"Aproximadamente 12 veredas habrían resultado afectadas debido al derrumbe que se presentó provocado por las fuertes lluvias que se presentan en la zona. La gran masa de tierra que se produjo debido al movimiento en masa tiene incomunicado a los habitantes de la zona rural del municipio de Teruel."

- **Emergencia en Teruel Huila por riesgo de avalancha (La Voz de la Región, 30 de Marzo del 2017)**

"Se presenta una nueva emergencia en zona rural del municipio de Teruel al noroccidente del Huila. Según voceros de los organismos de socorro en esa localidad, las fuertes precipitaciones que cayeron sobre la parte alta de este

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

municipio en las primeras horas de la noche del jueves 30 de marzo, habrían provocado la creciente súbita de varias fuentes hídricas.

El consejo municipal de gestión del riesgo, declaro inicialmente la alerta amarilla como medida de prevención, por el inminente daño que podía causar la emergencia. Pobladores de la zona ribereña del río Pedernal habrían advertido a las autoridades sobre las dimensiones de la palizada que se desplazaba a varios kilómetros del casco urbano, debido a que la descarga de grandes cantidades de agua y material de arrastre, en un escenario de complicaciones mayores, obligarían la apertura de compuertas con el riesgo que supone esa acción aguas abajo en el norte del Huila y sur del Tolima.”

• **Una persona murió y tres están desaparecidas en Teruel (Diario del Huila, 31 de Marzo del 2017)**

“El invierno cobró su primera víctima en el Huila, una familia cuya vivienda fue arrastrada por la creciente del río Pedernal, fueron las víctimas de mayor gravedad por las lluvias que se presentaron el viernes 31 de marzo, uno de los desaparecidos es un niño. Los hechos ocurrieron en zona rural del municipio de Teruel, como consecuencia de una creciente súbita.

La secretaria de gobierno del Huila, Liliana Vásquez Sandoval, informó que los organismos de socorro llegaron a la zona para atender la emergencia y establecer la totalidad de los daños producidos por la avalancha del afluente; por otro lado en un balance entregado por la oficina del Gestión del Riesgo se pudo establecer que seis municipios sufrieron graves afectaciones por el invierno, sin embargo sólo en el municipio de Teruel hubo víctimas humanas.”

• **Tres personas murieron en avalancha en zona rural de Teruel, Huila (Noticias RCN, 01 de Abril del 2017)**

“Las fuertes lluvias que se registraron en las últimas horas en el departamento del Huila, dejaron como saldo una persona muerta y tres más desaparecidas en el municipio de Teruel.

La creciente del río Pedernal en la vereda Corrales destruyó una vivienda en la que se encontraba toda una familia. Según las autoridades, el cuerpo de una mujer el cual no ha sido identificado fue encontrado sin vida mientras que permanecen desaparecidos un bebé y dos hombres.

La secretaria de gobierno del Huila, Liliana Vásquez, confirmó que organismos de socorro ya se encuentran en la zona para atender la emergencia y adelantar la búsqueda de las personas e identificar los daños que dejó la creciente.”

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

- **Siguen las emergencias en Huila por cuenta del invierno (Caracol Radio, 11 de Mayo del 2017)**

“De acuerdo a los organismos de socorro, Neiva y Teruel, son los municipios del departamento que enfrentan las mayores emergencias provocadas por la ola invernal que no da tregua en la región, según Isabel Hernández, coordinadora de la oficina de gestión de riesgo del Huila.

Los deslizamientos de tierra y las crecientes súbitas de ríos y quebradas, a raíz de las fuertes lluvias, dejan en las últimas horas decenas de familias afectadas por inundaciones, vías veredales taponadas y cultivos de café y pan coger obstruidos en diferentes zonas de Huila.”

#### 4.2 VISITA TÉCNICA

Dentro de las actividades desarrolladas del contrato se realizó una visita técnica los días 13 y 14 de julio del 2018, con el objetivo de poder reconocer el área en cuanto a temas de seguridad, acceso, estado y conectividad. Adicionalmente se verificó la viabilidad, de realizar las diferentes actividades necesarias para la ejecución del estudio, como: exploración del subsuelo, topografía, ensayos, entre otros.

La visita fue realizada por los diferentes especialistas del proyecto, con el objetivo de verificar las zonas inestables y más vulnerables que se pudiesen llevar a verse afectadas; como lo son zonas geotécnicas inestables, inestabilidad del cauce, entre otras (Ver Ilustración 7).



**Ilustración 7. Fotografía del municipio de Teruel.  
Fuente: Geocing SAS.**

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

## 5 TOPOGRAFÍA

Para el desarrollo de este componente se realizó topo-batimetría a 3 diferentes cauces existentes en el municipio de Teruel como lo son el río Pedernal, la quebrada las Moyas y la quebrada el Pueblo cada 50 metros. En los tramos de ríos o quebradas se realizó el levantamiento de secciones con el objetivo de conocer su perfil y las respectivas cotas.

### 5.1 REGISTRO FOTOGRÁFICO LOCALIZACIÓN DE LOS GCP

Dentro de las actividades de campo realizadas en el área de estudio se ubicó un total de 17 GCP en la zona de estudio los cuales corresponde a puntos de control en la toma de las fotografías aéreas.



**Ilustración 8. Posicionamiento BASE GCP10. Fuente: Geocing SAS y Posicionamiento BASE GCP02. Fuente: Geocing SAS.**

Como se puede observar en la Ilustración 8 los puntos de referencia GCP fueron pintados con el objetivo de poder amarrar las imágenes aéreas que se tomaron empleando tecnología de aeronaves no tripuladas UAV y de esta manera poder realizar la generación de ortofotomosaicos geo-referenciados. En la Tabla 2 se presenta el resumen de la información correspondiente a la ubicación de los puntos GCP realizado para el municipio.

Adicionalmente fueron localizados en la zona de estudio correspondiente a la cabecera del municipio de Teruel 06 mojones como se puede observar en Ilustración 9.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

**Tabla 2. Cuadro de puntos de amarre.**

1	Punto ID	Clase de punto	Coordenada en x (m)	Coordenada en y (m)	Altura (m)	Fecha/hora
3	GCP01	Medido con Fase GNSS en Post-Proceso	1,056,849,124	795,875,822	-	5/04/2018 17:25
5	GCP02		1,056,971,754	795,793,285	-	5/04/2018 17:00
7	GCP03		1,056,414,075	795,286,737	-	6/04/2018 9:45
9	GCP04		1,056,911,425	795,060,202	-	6/04/2018 9:45
11	GCP05		1,056,430,664	794,525,349	-	5/04/2018 15:46
13	GCP06		1,057,034,499	794,490,429	-	5/04/2018 13:59
15	GCP07		1,056,459,175	794,143,268	-	5/04/2018 15:22
17	GCP08		1,056,957,834	794,357,729	-	5/04/2018 14:16
19	GCP09		1,056,653,119	794,682,503	-	5/04/2018 16:35
21	GCP10-Control		1,056,693,342	794,880,224	-	6/04/2018 13:31
26	GCP11		1,056,945,617	795,488,639	-	5/04/2018 19:47
28	GCP13		1,056,581,713	795,125,562	-	5/04/2018 19:18
30	GCP14		1,056,787,788	794,409,998	-	5/04/2018 14:38
32	GCP15		1,056,423,294	794,941,786	-	6/04/2018 10:36
34	GCP16		1,056,585,215	795,345,648	-	5/04/2018 18:59
36	GCP17		1,056,529,627	794,738,109	-	5/04/2018 16:14

Fuente: Geocing SAS.



**Ilustración 9. Localización.**

Fuente (Google Earth).

## 5.2 IMAGEN SATELITAL

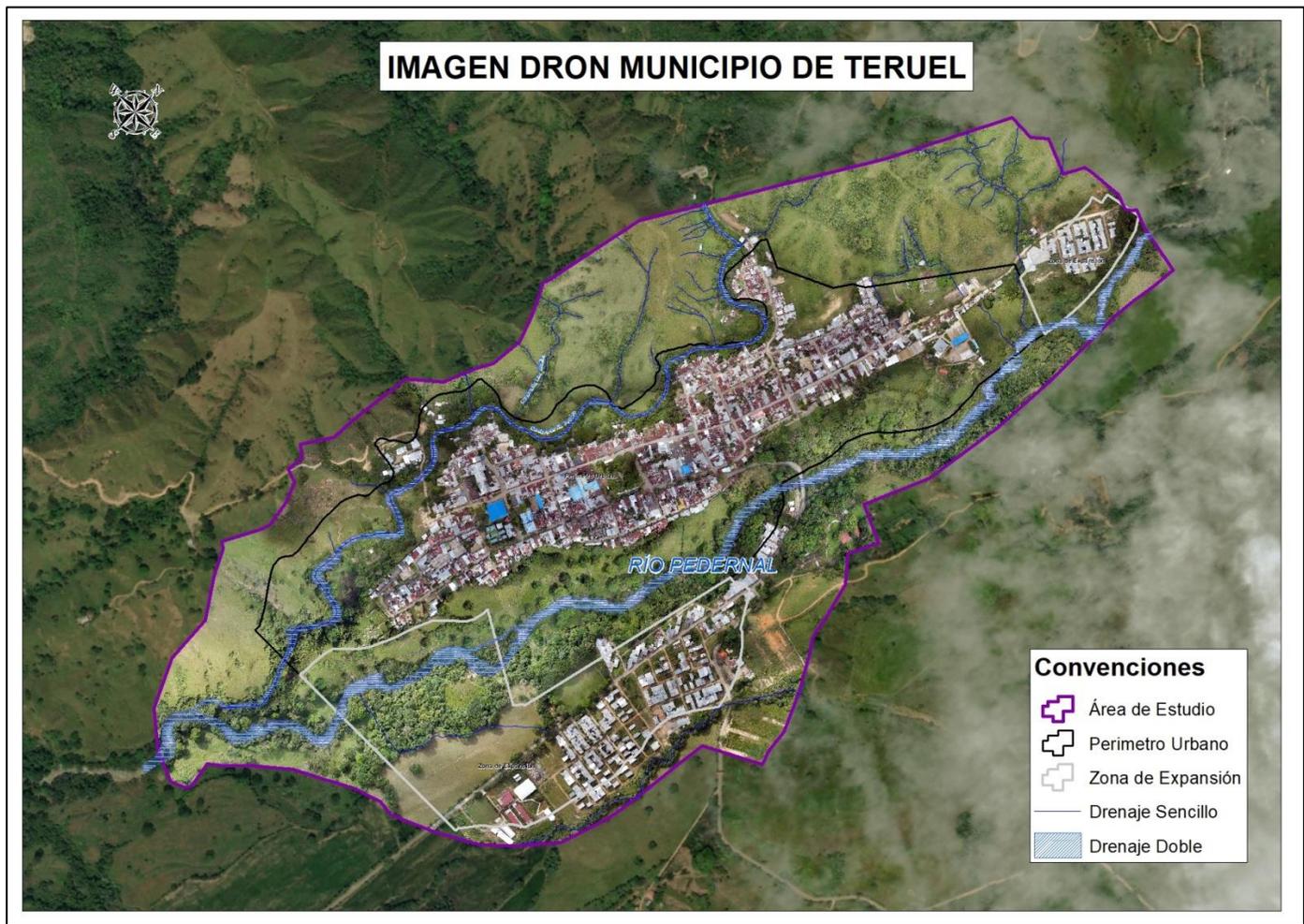
La toma de imágenes aérea se realizó empleando la tecnología de Aeronaves No tripuladas UAV y la generación de ortofotomosaicos geo-referenciados. A continuación se presenta la ortofoto correspondiente para el municipio de Teruel.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b>

Además generaron los modelos digitales de superficie (DSM), modelos digitales de terreno (DTM) con una precisión relativa de 15 cm.

Para analizar las precisiones calculadas en cada punto de la ortofoto y del modelo digital del terreno, se tomaron las posiciones exactas de quince GPS. Estos puntos sirvieron para comparar la posición XYZ calculada con su posición real milimétrica medida en terreno. Por otro lado para el cálculo de las precisiones topográficas se utilizó la norma NTC 5205 “Precisión de datos espaciales”, en la cual se define una metodología estadística para estimar la precisión de las posiciones de puntos sobre mapas y datos digitales geoespaciales con respecto a puntos terrestres de referencia, con mayor precisión. Se destaca que la precisión se presenta en distancias terrestres al 95% del nivel de confianza, esta precisión garantiza que el 95% de las posiciones en el grupo de datos tendrá un error con respecto a la posición verdadera en el terreno que es igual o menor que el valor de precisión obtenido. A continuación se presenta en la Ilustración 10 la imagen satelital generado para el área de estudio.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



**Ilustración 10. Imagen satelital del área de estudio.  
Fuente: Geocing SAS.**

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

### 5.3 OPERACIONES DE CAMPO

Las actividades desarrolladas en la etapa de georeferenciación durante la ejecución del levantamiento topo-batimétrico fue la siguiente:

**Selección del lugar:** Se realizó una inspección de la zona a fin de seleccionar áreas libres de obstrucciones directas a nivel de recepción de señal y visual para ubicar las placas y posteriormente iniciar la toma de datos GPS. Se evitó en su totalidad ubicar los puntos GPS en zonas que generarán interferencias en la recepción de la señal, tales como cables de alta tensión, transformadores, superficies reflectoras, espejos de agua, estructuras metálicas, antenas de telecomunicación, entre otros. Se evitaron obstrucciones menores a 15°, se posicionaron los dos equipos para capturar información al mismo tiempo con el fin de obtener tiempos comunes de captura de satélites y un intervalo de grabación cada 1 segundo para obtener mayor número de épocas grabadas.

**Puesta en estación del sistema:** Para la puesta en estación del sistema GPS, primero se instaló el trípode sobre el punto seleccionado y materializado previamente, luego se procedió a montar la base nivelante, posteriormente la antena receptora se instaló sobre la base y se realizaron las conexiones de antena y de energía del equipo, por último se tomó la altura instrumental inclinada (Ver Ilustración 11).



**Ilustración 11. Procedimiento en campo toma de GCP.**  
Fuente: Geocing SAS.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

- **Captura de datos:** El posicionamiento Geodésico fue de tipo estático. Esta labor se realizó mediante la utilización del sistema GPS (Sistema de posicionamiento global) con receptores satelitales de doble frecuencia (L1/ L2). Con este tipo de equipos se alcanza la mayor precisión hasta cada uno de los vértices proyectados. De esta manera se garantizó la homogeneidad con las coordenadas y el cumplimiento con los lineamientos técnicos y normatividad.

- **Para la determinación de los tiempos de posicionamiento:** Debido a la distancia que existía entre el lugar de toma de datos y las estaciones permanentes del IGAC se realizó una formula aproximada de 5 minutos inicialmente más 2 minutos adicionales por cada km de distancia entre el punto y su punto de estación permanente. Dentro de los puntos de referencia en el área se estableció una base y los demás puntos con distancias menores a 2 km; los cuales se corrigieron con respecto a la base definida, estos puntos se ubicarán con una duración máxima de 20 minutos de toma de datos. Durante todo este proceso el punto base estuvo recogiendo datos para poder hacer parte del post proceso.

#### 5.4 PROCESAMIENTO Y RESULTADOS

Para la determinación de las coordenadas de la red geodésica, se procesó la información de los receptores GPS instalados en campo, usando como base fija el vértice CALI; Vértice pertenecientes al Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC); esto para el punto base de nuestro caso. Posterior a este paso, ya procesado, se colocó como referencia nuestra base y se procedió a post procesar los demás puntos ubicados en el área.

A continuación, se presenta una breve descripción acerca de los distintos archivos crudos que se generaron durante el post-proceso de los puntos GPS geoposicionados en campo para la totalidad del área de levantamiento.

- **Archivos Crudos O Nativos:** Corresponde a los archivos nativos o crudos provenientes del receptor GPS, los cuales se organizaron de manera independiente en cada carpeta. Los mismos presentan extensión G###, \*.DAT Y \*.TO en carpetas individuales por punto.

#### 5.5 INFORME Y POST-PROCESO

Para el post proceso de la información GPS obtenida en campo se utilizó el software GNSS SOLUTIONS, el aplicativo Infinity de Leica. En la descarga de datos de los receptores GPS se obtuvo los siguientes archivos nativos y Rinex:

- Datos utilizados para la red de GPS realizada el día de la toma.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

- CRUDO LEICA BASE GPS 002-3.
- CRUDOS LEICA BASE GPS 002-2.
- Una vez se tiene los archivos relacionados anteriormente se utilizó el software Infinity, para la obtención de coordenadas Geográficas y Planas locales, con el siguiente flujo de trabajo:
  - Selección de un sistema de coordenadas planas locales (SCP), Bogotá D.C
  - Carga de datos crudos de cada sesión realizada (Red Geodésica).
  - Definición de los puntos de control y rover, definición de los parámetros de cada una de las antenas.
  - Revisión de información registrada, alturas de las antenas, intervalo de registro.
  - Edición y generación de ventanas de exclusión para las señales intermitentes y con escasa recepción.
  - Procesamiento de los vectores calculados en la red.
  - Ajuste y determinación de cierres de la red.
  - Generación de reportes del software GNSS SOLUTIONS y su respectivo análisis.
  - Conversión de coordenadas Geodésicas WGS84 (época 2016,5) a planas locales Bogotá D.C época 1995.4, realizadas en el software Concoord.
  - Una vez terminado el proceso anteriormente descrito, se obtuvo las coordenadas de los puntos objeto de nuestro estudio.

Para el área de estudio se tomó como base el punto GCP10; a continuación se presentan los resultados obtenidos del cálculo de coordenadas planas Gauss y geográficas de este punto.

**Tabla 3. Cálculo de coordenadas geográficas.**

Punto	Latitud	Longitud	Alt. Elipsoidal
CALI	3°22'32.84" N	76°31'57.23" O	1027.5012
GCP01	2°45'00.47" N	75°33'58.48" O	963.2678
GCP02	2°44'57.78" N	75°33' 54.51" O	926.8514
GCP03	2°44'41.30" N	75°34' 12.58" O	939.8261
GCP04	2°44'33.92" N	75°33'56.48" O	869.8781
GCP05	2°44'16.51" N	75°34' 12.05" O	871.1417
GCP06	2°44'15.37" N	75°33' 52.50" O	876.0732
GCP07	2°44'04.07" N	75°33' 11.13" O	852.8342
GCP08	2°44'11.05" N	75°34' 54.99" O	865.0656

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

Punto	Latitud	Longitud	Alt. Elipsoidal
GCP09	2°44'21.63" N	75°34' 04.85" O	878.6088
GCP10	2°44'28.06" N	75°33' 03.54" O	888.5658
GCP11	2°44'47.87" N	75°33'55.36" O	911.4128
GCP13	2°44'36.05" N	75°34' 07.15" O	890.0018
GCP14	2°44'12.75" N	75°34' 00.49" O	862.5087
GCP15	2°44'30.07" N	75°34' 12.28" O	908.8918
GCP16	2°44'43.22" N	75°34' 07.03" O	908.0675
GCP17	2°44'23.44" N	75°34'08.84" O	880.8108

Fuente: Geocing SAS.

## 5.6 PROCESAMIENTO DE ORTOFOTO Y DEM

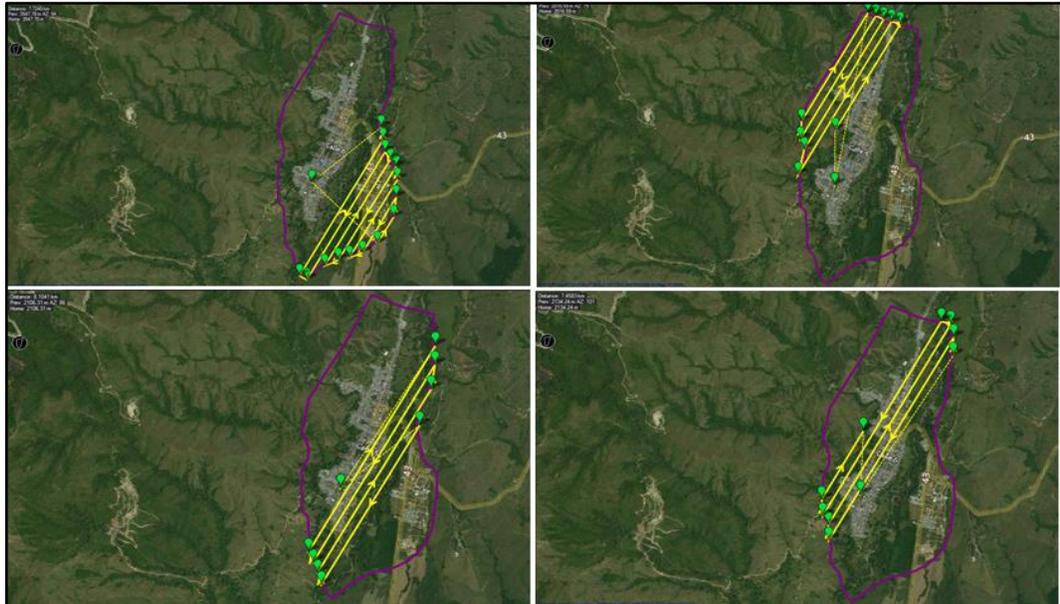
La toma de imágenes aéreas se realizó empleando la tecnología de aeronaves no tripuladas UAV, posteriormente esta información fue empleada para generar la ortofoto del municipio de Teruel. A continuación se presenta el procesamiento de la Ortofotografía:

- **Lanzamiento de zonas escogidas**

Las áreas de operación escogidas se realizaron las respectivas pruebas de controles de vuelo, configuración del vuelo, enganche del control remoto con la aeronave, etc.

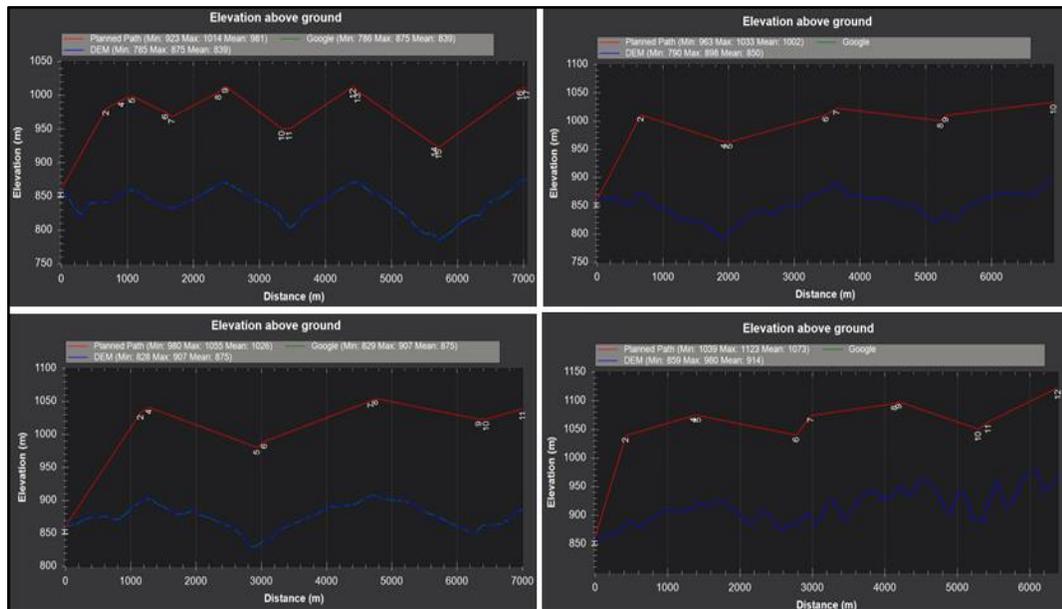
Durante toda la fase de vuelo, se tuvo control de la aeronave por medio de la telemetría en la Estación de Control en Tierra. Para la toma de imágenes fue empleado el Software Misión Planner especializado en este tipo de actividad; este software permite ajustar el traslapo deseado, tanto longitudinal como transversalmente. Posterior a esta etapa, establecida la altura de vuelo, que para el área de estudio fue de 140 metros, se procedió a trazar la grilla de vuelo. Para el área de estudio, se estimó un traslapo lateral entre líneas de vuelo del 80% y traslapo frontal entre fotos 75%. A continuación, se muestra un ejemplo de las líneas de vuelo y datos de vuelo (Ver Ilustración 12).

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



**Ilustración 12. Líneas de vuelo proyecto Teruel.**

Fuente: Google Earth.



**Ilustración 13. Perfil de las líneas de vuelo vs terreno natural.**

Fuente: Geocing SAS.

Los sitios de lanzamiento y aterrizaje se escogieron en campo; los cuales correspondieron a lugares estratégicos para el lanzamiento y el aterrizaje, según los polígonos volados y establecidos. Los vuelos se realizaron entre las 9 de la mañana y las 3 de la tarde, de modo que se redujeron las sombras en la medida de lo posible.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

Una vez finalizado cada vuelo, se descargaron las fotografías y el archivo de control de vuelo, con el fin de realizar la georeferenciación de las fotografías y el control de calidad de las mismas.

### • Revisión inicial de las imágenes de campo

Al descargar las imágenes en la estación de control en tierra, se verificó inicialmente su georeferenciación, la calidad de estas y la cantidad de acuerdo a la programación previa, con el fin de corregir inmediatamente algún dato incongruente.

### • Pre-posicionamiento

Una vez se obtuvo la toma de imágenes en campo, se procedió a una fase de pre-procesamiento. Esta fase consideró la ejecución de un procesamiento rápido de las imágenes aéreas mediante un software especializado el cual comprendió las siguientes etapas:

**1. Alineamiento de fotos de acuerdo con las líneas de vuelo.** En esta etapa se depuraron aquellas imágenes que debido a su desviación con respecto a la línea de vuelo no se podían alinear.

**2. Verificación de calidad de las imágenes.** En esta etapa se determinó el número de píxeles por foto y se depuró aquellas imágenes que no tuvieran una calidad suficiente.

**3. Generación de triangulación.** Una vez las imágenes estuvieron alineadas se realizó una generación de grilla por medio de triangulación, estableciendo el número de vértices acorde al tamaño del área del proyecto.

**4. Generación de la nube de puntos.** Se generó una nube de puntos preliminar, con base en la generación de pares estereoscópicos por medio del software. En este punto, el software calculó diferencia de alturas con base en la visión tridimensional y la respectiva altura de vuelo.

**5. Generación de la textura.** Con base en la nube de puntos se generó una textura la cual correspondió a la base para la generación de la Ortofoto, el DEM y el DTM.

### • Georeferenciación de los puntos de fotocontrol

Los puntos fueron realizados por el contratista, según las especificaciones técnicas requeridas para la realización del proyecto. Se procedió a realizar la georeferenciación con dichos puntos de control GCP repartidos en todo el polígono para garantizar la adecuada georeferenciación del ortomosaico.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>

Una vez se ubicaron los puntos de control, el Software se encargó de amarrar los modelos preliminares a las coordenadas conocidas con el fin de garantizar la precisión del modelo. Una vez se introdujeron los puntos de control el procesamiento se realizó las etapas que se presentan a continuación:

1. Optimización de la nube de puntos con base en las coordenadas de los puntos de control.
2. Depuración de los puntos cuya re-proyección no se da en más de 2 fotografías.
3. Generación de la nueva nube de puntos.
4. Generación de la textura empleando los puntos de Control.
5. Generación de la Ortofoto y DEM.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

## 6 GEOLOGÍA

En este capítulo se presentan el análisis de las condiciones geológicas desde el punto de vista regional, local y de los procesos morfodinámicos identificados en el área de estudio, los cuales permitirán determinar un diagnóstico geológico-geotécnico de los diferentes problemas de inestabilidad presente y/o potencial, y sus diferentes aplicaciones ingenieriles.

El análisis geológico-geomorfológico del sitio se desarrolló bajo tres aspectos fundamentales:

- A nivel regional, se obtuvo la ubicación dentro del contexto geológico general identificando las unidades estratigráficas regionales, al igual que los elementos estructurales presentes en el área de estudio y alrededores.
- A nivel local y/o de detalle, se identificó, clasificó y cartografió los diferentes tipos de materiales rocosos (suelos y rocas) y la medición de los diferentes elementos estructurales del macizo rocoso (discontinuidades, etc.), lo cual permitió su caracterización y aplicación desde el punto de vista para propósitos en la ingeniería geotécnica.
- Los mapas temáticos del estudio (geológico), así como los perfiles geológicos, se presentaron en escala local (1:2.000).

### 6.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO

La metodología se desarrolló en el análisis de la información secundaria aportada en:

1. Mapas Geológicos de: departamento del Huila, Esc. 1: 350.000 (SGC, 2001), Plancha 344, Tesalia (SGC, 2006), con sus respectivas memorias
2. Información secundaria, tomada de la evaluación de las amenazas potenciales de origen geológico, geomorfológico e hidrometeorológico, y caracterización geotécnica preliminar de las cabeceras municipales del departamento del Huila (Convenio CAM y UN, 1999), así como aerofotografías de diferentes años del IGAC y ortofotos (Anka, 2018).
3. Información de reconocimientos de morfología en Google Earth.
4. Información de reconocimientos de campo, elementos procesados y analizados para la obtención de los resultados temáticos correspondientes.

Para la ejecución del estudio, se realizaron las siguientes actividades:

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

1. Recopilación y análisis de la información de referencia existente y temática básica, tales como: planos, fotografías aéreas (Ver Tabla 4), geología, así como estudios geotécnicos, disponibles en algunas entidades como: Servicio Geológico Colombiano (SGC), Corporación Autónoma regional del alto Magdalena (CAM), Universidad Nacional de Colombia (UN), Instituto Geográfico Agustín Codazzi (ICAG), entre otros.
2. Reconocimiento del área de estudio por parte del especialista en geología, y levantamiento cartográfico local y detallado de todos los elementos geológicos, geomorfológicos y morfodinámicos, presentes en el área y la caracterización de los mismos.
3. Análisis de la información tanto secundaria como la recolectada en campo, las cuales conforman los elementos temáticos básicos de la Geología y Geomorfología aplicadas a la Ingeniería, para el planteamiento de diferentes alternativas concernientes al cumplimiento de los objetivos propuestos en el estudio.
4. Elaboración de los planos temáticos correspondientes (geológicos y geomorfológicos, regionales y locales y perfiles estratigráficos requeridos), para el planteamiento de las diferentes medidas de tipo ingenieril, y la elaboración de la memoria temática.

**Tabla 4. Relación de Aerofotografías utilizadas para el estudio de Geología y Geomorfología del municipio de Teruel, Huila.**

MUNICIPIO	VUELO	SOBRE	FOTOS	FECHA	ESCALA
TERUEL	C-1854	S-29492	37 – 38 - 39	07-09-1978	1:34.000
TERUEL	C- 2336	S-34601	162-164	01/03/1988	1:38460
TERUEL	C- 2737	S-39759	223-227	16/07/2004	1:11400

Fuente: Geocing SAS.

## 6.2 GEOLOGÍA REGIONAL

A continuación se presenta la descripción regional de la geología y geomorfología realizada para el municipio de Teruel, correspondiente a las principales unidades geológicas y del comportamiento tectono- estructural. Para dicha descripción se recurrió a información encontrada en la geología de la plancha 344 “Tesalia” del SGC 2002, memoria explicativa del mapa geológico del Huila escala 1:300.000 del 2001; adicionalmente se revisó e incluyó la información con los estudios realizados por la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena (CAM) y la Universidad Nacional (UN), efectuados en el año de 1999, “Evaluación de las amenazas potenciales de origen geológico, geomorfológico e hidrometeorológico, y

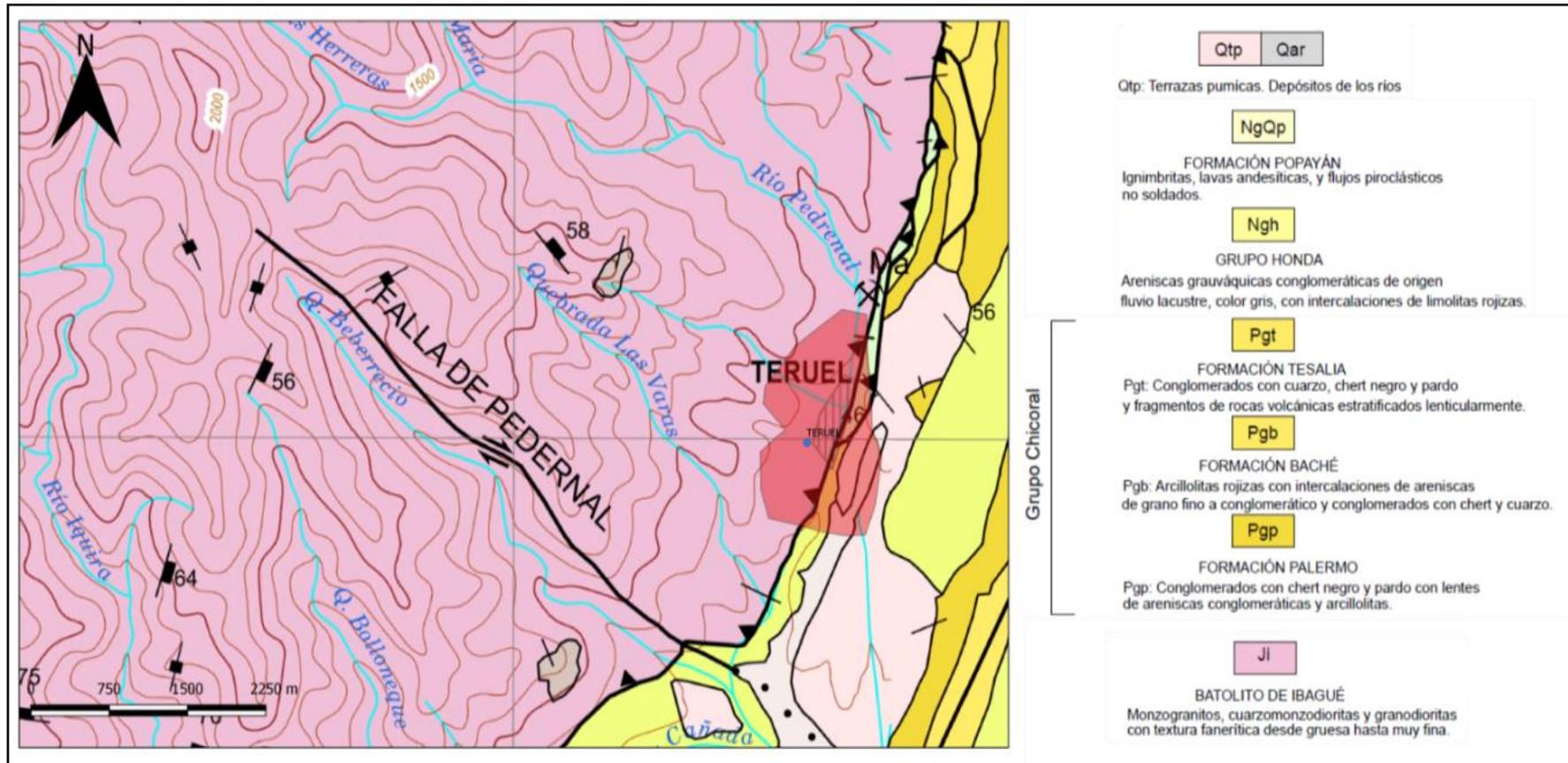
	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>

caracterización geotécnica preliminar de las cabeceras municipales del departamento del Huila”; así como los realizados por el INGEOMINAS (actualmente, SERVICIO GEOLÓGICO COLOMBIANO, SGC).

El casco urbano del municipio de Teruel, se encuentra ubicado en la parte norte del departamento del Huila en el sector central; en esta región la geomorfología se encuentra directamente relacionada con procesos denudativos y agradacionales.

En esta zona se tiene un cambio abrupto en la pendiente debido a la presencia de una falla inversa que levanta el bloque occidental en donde aflora el Batolito de Ibagué, y lo pone en contacto con rocas de la formación Palermo y del Grupo Honda.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



**Ilustración 14. Vista a nivel regional de los aspectos geológicos, litológicos y estructurales más importantes que han interactuado en conjunto, otorgándole la configuración actual que presenta la zona del casco urbano del poblado de Teruel, con su respectiva leyenda. Tomado y modificado de la plancha geológica 344 “Tesalia” a escala 1: 100.000 del SGC.**

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

Como se puede identificar en la Ilustración 14, el casco urbano del municipio de Teruel, reposa sobre rocas del Batolito de Ibagué en cercanías con la falla La Plata que controla el curso del río Pedregal y genera una dinámica fluvial en la parte baja del municipio. En campo se observa que el casco urbano del municipio de Teruel se construyó sobre una terraza aluvial que limita con rocas del Batolito de Ibagué.

### 6.2.1 Estratigrafía

Con base en la Ilustración 14, la plancha geológica 344 Tesalia y su memoria, y la plancha geológica 345, Campoalegre y su memoria, se describe a continuación, las unidades geológicas aflorantes y en el subsuelo, organizadas por edad, de más antigua a más reciente abarcando un rango temporal desde la parte alta del Jurásico hasta el Paleógeno y Cuaternario.

- **Cuarzomonzodiorita de Teruel (Jt)**

Este es un cuerpo ígneo intrusivo, que se encuentra entre el Este al Noreste del municipio de Teruel, Huila. Este cuerpo conforma la cuchilla de Upar. Tiene un área de aproximadamente 13 Km<sup>2</sup> y posee una dirección NE. La Cuarzomonzodiorita de Teruel es una roca de composición cuarzo-monzonítica a cuarzomonzodiorítica, fanerítica de grano grueso, con cuarzo (>30%), feldespato potásico en menor proporción que plagioclasa, hornblenda y biotita. Los minerales de alteración son sericita y epidota. Presenta diques afaníticos y zonas epidotizadas. La mayoría de las rocas tienen un alto grado de meteorización a nivel de regolito y saprolito. Los afloramientos muestran una roca holocristalina, fanerítica, levemente porfirítica, de color rosado a gris.

La formación Caballos se encuentra en contacto discordante (inconformidad) con este cuerpo y éste a su vez en relación fallada con sedimentitas del grupo Olini y de la formación Seca en su parte topográfica más baja. No se tiene dataciones radiométricas del intrusivo, pero se postula edad precretácica, muy posiblemente jurásica, por encontrarse discordante bajo rocas sedimentarias del Cretácico (Formación Caballos) e intruir las rocas volcánicas de la formación Saldaña del Triásico - Jurásico Inferior (Ferreira et al. b, en edición).

- **Batolito de Ibagué (Ji)**

El Batolito de Ibagué aflora al occidente de Nátaga, Pacarní, Íquira y Teruel; este cuerpo está limitado al oriente por la falla de La Plata del sistema de fallas de Chusma; que lo pone en contacto con rocas volcano-sedimentitas de la formación

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

Saldaña y rocas sedimentarias de las formaciones Caballos, Hondita, Seca, Potrerillo y Doima y los grupos Olini y Chicoral. Hacia el sur intruye rocas metamórficas precámbricas del Ortogranito de La Plata, en otros sectores, el batolito intruye la Formación Saldaña.

El Batolito de Ibagué tiene composición tonalítica a granodiorítica; es de color blanco grisáceo, moteado de negro, fanerítica, de grano medio esporádicamente grueso, textura granular localmente inequigranular. Los minerales félsicos son cuarzo, plagioclasa y en menor cantidad feldespato potásico (microclina); los máficos son hornblenda y biotita, variando entre 5 y 10% del total de la roca, y ocasionalmente piroxeno (augita). En general, el intrusivo es composicionalmente homogéneo, con muy pequeñas variaciones texturales y composicionales. Localmente se encuentra atravesado por enjambres de diques de composición diorítica. El color de estas rocas es blanco-grisáceo con una textura fanerítica granular de grano fino a medio.

Este cuerpo intrusivo está en relación fallada con las sedimentitas del grupo Chicoral, de la formación Seca y pequeñas escamas del grupo Olini y de la formación Loma Gorda. Por medio de dataciones radiométricas de rocas pertenecientes al intrusivo han mostrado edades de  $131 \pm 2$  Ma hasta  $183 \pm 5$  Ma (Priem et al. 1989), que corresponden a Jurásico temprano – Jurásico tardío.

- **Grupo Chicoral**

Beltrán & Gallo (1968, en Velandia *et al.*, 1996), proponen el nombre de grupo Chicoral con el fin de agrupar dos unidades conglomeráticas intercaladas con una lodo-arenosa, que se encuentran sobre la vía Palermo - San Luis, departamento del Huila. A su vez, estas unidades han sido separadas de base a techo bajo los nombres de formaciones Palermo, Baché y Tesalia, y que a su vez se han aplicado en la Subcuenca de Neiva del Valle Superior del Magdalena (INGEOMINAS & GEOESTUDIOS, 2000).

Esta unidad se encuentra a su base en contacto discordante con la Formación Seca, y a su techo se encuentra en contacto neto con la Formación Potrerillo (Beltrán & Gallo, 1968; Velandia et al., 1996; Martínez et al., 2001). Los contactos entre las formaciones Palermo, Baché y Tesalia son netos y están marcados por cambios bruscos en la litología y morfología que corresponden a cambios en los regímenes de sedimentación.

La edad de toda la unidad corresponde a Eoceno tardío y que a su vez podría equivaler al sector norte del VSM, a la parte inferior del Grupo Gualanday (Beltrán & Gallo, 1968 en INGEOMINAS & GEOESTUDIOS, 2000).

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

### • Grupo Olini – Formación La Tabla (sin diferenciar) – (Ko)

La unidad en el área de estudio conforma una serranía continua que se extiende por la margen oeste del valle de Timaná, desde la Vereda Charco del Oso hasta el río Magdalena (Plancha 389 Timaná). En el flanco oriental del valle, cerca de Naranjal, desarrolla una morfología de mesa redondeada. En el valle del Suaza, al oriente de Teruel, la unidad forma una serranía angosta que se extiende por al menos 8 km y desaparece bajo la Falla Algeciras - Suaza (INGEOMINAS & GEOESTUDIOS, 2000).

El contacto inferior, con la formación Loma Gorda, es concordante neto, marcado por la aparición de una capa de chert negro. Este contacto se distingue claramente sobre la quebrada Pedernal, en el área de La Cañada y en la sección de la quebrada Itaibe. El contacto superior se observa al este de la hacienda El Hatillo, y en la sección de la quebrada Itaibe, en donde se encuentra un nivel de arcillolitas rojizas de la Formación Seca, sobre capas medias de arenitas fosfáticas de grano medio pertenecientes al segmento superior del Grupo Olini.

Vergara (1994), con base en microfósiles, asigna el Grupo Olini al Santoniano – Campaniano superior. Los niveles K5 de Raasveldt & Carvajal (1957) y Raasveldt (1956) y las formaciones Lidita Inferior y Lidita Superior (Cáceres & Etayo, 1969 y Patarroyo, 1993) son correlacionables con parte del Grupo Olini de este trabajo. La Formación La Tabla fue datada mediante asociación de foraminíferos como Maastrichtiano (Julivert, 1968) y se puede correlacionar con las formaciones Labor y Tierna del Grupo Guadalupe de la Sabana de Bogotá (Velandia *et al.*, 1996).

### • Formación Seca (KPgs)

Porta (1965) propuso el nombre de esta unidad para definir una sucesión de arenitas y lutitas rojizas, que estratigráficamente está ubicada entre las formaciones Cimarrona y Hoyón, y cuya sección tipo se localiza en la quebrada Seca, ubicada al sur de la población de Cambao. La formación Seca representa gran parte del sector noroeste de esta Plancha, en la depresión de Timaná; en el valle del río Suaza la unidad aflora al oriente del Pantano de Toribío y, en el extremo sur del valle, en la vereda El Salado (INGEOMINAS & GEOESTUDIOS, 2000). En la plancha 344 se ha utilizado este nombre para describir el conjunto de lodolitas y arenitas rojizas, que se encuentran intercaladas entre las rocas sedimentarias del Grupo Olini – Formación la Tabla y la secuencia rudítica continental del Paleógeno, que conforma el Grupo Chicoral.

El contacto inferior con la Formación La Tabla es de carácter neto y se define con la aparición del primer paquete de cuarzo arenitas de la Formación La Tabla, el

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

contacto superior es discordante, marcado en la última capa de arenisca de color gris que infrayace la arenisca de grano medio conglomerático de tono rojizo con que inicia el Grupo Chicoral. Según Porta (en Julivert, 1968) incluido en Velandia et al. (1996) la edad de la formación es Maastrichtiano – Paleoceno.

- **Grupo Chicoral (E2ch)**

Beltrán & Gallo (1968, en Velandia et al., 1996), proponen el nombre de grupo Chicoral con el fin de agrupar dos unidades conglomeráticas intercaladas con una lodo-arenosa, que se encuentran sobre la vía Palermo - San Luis, departamento del Huila. A su vez, estas unidades han sido separadas de base a techo bajo los nombres de formaciones Palermo, Baché y Tesalia, explicadas más adelante y que a su vez se han aplicado en la Subcuenca de Neiva del Valle Superior del Magdalena (INGEOMINAS & GEOESTUDIOS, 2000).

Esta unidad se encuentra a su base en contacto discordante con la formación Seca, y a su techo se encuentra en contacto neto con la Formación Potrerillo (Beltrán & Gallo, 1968; Velandia et al., 1996; Marquínez et al., 2001). Los contactos entre las formaciones Palermo, Baché y Tesalia son netos y están marcados por cambios bruscos en la litología y morfología que corresponden a cambios en los regímenes de sedimentación.

La edad de toda la unidad corresponde a Eoceno tardío y que a su vez podría equivaler al sector norte del VSM, a la parte inferior del Grupo Gualanday (Beltrán & Gallo, 1968 en INGEOMINAS & GEOESTUDIOS, 2000).

- **Formación Palermo (Pgp)**

La formación Palermo corresponde a una sucesión de conglomerados de matriz de arena y presencia de cemento silíceo-ferruginoso, con intercalaciones de lentes de arena de grano grueso; la composición de los conglomerados es principalmente fragmentos de cuarzo y chert, de color negro y gris. Se encuentran esporádicamente fragmentos de rocas ígneas.

Los conglomerados presentan guijarros que gradan normalmente hacia el tope; están compuestos de chert de color negro, gris y pardo, y cuarzo, con esporádicos fragmentos de origen ígneo (intrusivo - extrusivo); la matriz, en general, es tamaño arena gruesa, cuarzosa; el cemento es silíceo - ferruginoso. Están dispuestos en capas muy gruesas, en cuña y lenticular, y con estratificación cruzada de bajo ángulo a gran escala; los contactos son erosivos y la separación entre capas está marcada por niveles muy delgados de lodolitas rojizas. Al sureste de Letrán se encuentra un afloramiento, consistente de conglomerados clasto soportado,

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

altamente oxidado con cuarzo lechoso, chert negro, pardo, negro y crema en clastos de hasta 10 cm y un promedio de 4 cm.

El límite superior de la unidad, con la formación Baché es concordante y con la Formación Seca, discordante. En el sector sur de la depresión del río Suaza se observó sobre la unidad los Basaltos de Teruel, en relación de discordancia angular (INGEOMINAS & GEOESTUDIOS, 2000).

- **Formación Baché (Pgb)**

Esta formación aflora en el Valle del río Suaza, en la carretera Suaza - Guadalupe, y un sector de Timaná (INGEOMINAS & GEOESTUDIOS, 2000) y en los núcleos de los sinclinales Guayayamba y Tarqui, en la Plancha 366 Garzón. Consiste en una sucesión de arcillolitas intercaladas con capas medianas de arenitas finas, sublíticas con tonalidades rojizas a grisáceas, localmente conglomeráticas y capas de conglomerados de hasta cinco metros de espesor, compuestos por guijos medios a finos de chert y cuarzo. Los conglomerados se presentan en forma de canales en los cuales es clara la estratificación cruzada.

La formación Baché aflora en inmediaciones de la quebrada La Colorada y al noroeste de Yaguará, por donde fluye el río Tuné; se presenta en potentes niveles de arcillolitas moradas y abigarradas con intercalaciones de algunos niveles de arenitas de grano medio a grueso y conglomerados gris verdosos con cantos de chert y cuarzo.

- **Formación Tesalia (Pgt)**

Esta unidad está conformada por una secuencia de conglomerados polimícticos, estratificados en capas muy gruesas lenticulares, separadas por niveles de areniscas en capas delgadas a medias. Los conglomerados están compuestos por guijos de cuarzo lechoso, chert negro, pardo y gris, fragmentos de rocas volcánicas, con matriz de arena fina y cemento ferruginoso. Las areniscas son cuarzosas, de color rojo y tono amarillento, de grano fino a conglomerático, localmente arcillosas, con gradación normal e inversa. Los contactos entre las capas de conglomerados y areniscas son netos paralelos a levemente ondulados. Al sur de Teruel se encuentran capas muy gruesas de conglomerados de guijarros matrizsoportados a clastossoportados, en los que el porcentaje de clastos de líticos oscuros y de cuarzo lechoso es similar. Capas gruesas de arenitas lodosas y litoarenitas están intercaladas esporádicamente. En algunas capas se pudo identificar estratificación en artesas; En el valle del río Suaza se presenta en los costados del valle y en la carretera de Suaza a Guadalupe los afloramientos están afectados por el Sistema de Fallas Teruel (INGEOMINAS & GEOESTUDIOS,

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

2000). Litológicamente se marca en donde finalizan las capas potentes de conglomerados de la Formación Tesalia y empiezan las intercalaciones de lodolitas y arenitas de la Formación Potrerillo.

- **Terrazas pumíticas (Qt)**

Esta unidad corresponde a depósitos de arenas pumíticas de grano grueso a fino con matriz arcillosa, intercaladas con aglomerados de guijos compuestos de rocas ígneas intrusivas y extrusivas. También se presentan intercalaciones de capas medias a gruesas de arcillas. Las arenas poseen una gradación normal y se encuentran en capas gruesas con estratificación cruzada.

Morfológicamente, la unidad está representada por terrazas amplias, con alturas de hasta 40m, su distribución está restringida a los márgenes de los ríos Páez, Yaguará, Pedernal y Yaguaracito, sin embargo la mayor exposición es en el margen norte del río Páez. Esta unidad reposa discordantemente sobre rocas del Grupo Chicoral, del Grupo Oliní y las formaciones Doima, Potrerillo, Seca, Hondita, Loma Gorda y Saldaña.

### 6.3 GEOLOGÍA ESTRUCTURAL

Las estructuras geológicas cartografiadas en el departamento del Huila, son evidencia física de los diferentes procesos tectónicos que afectaron las unidades litológicas, pero en especial del evento que causó el levantamiento de la cordillera de Los Andes en territorio colombiano.

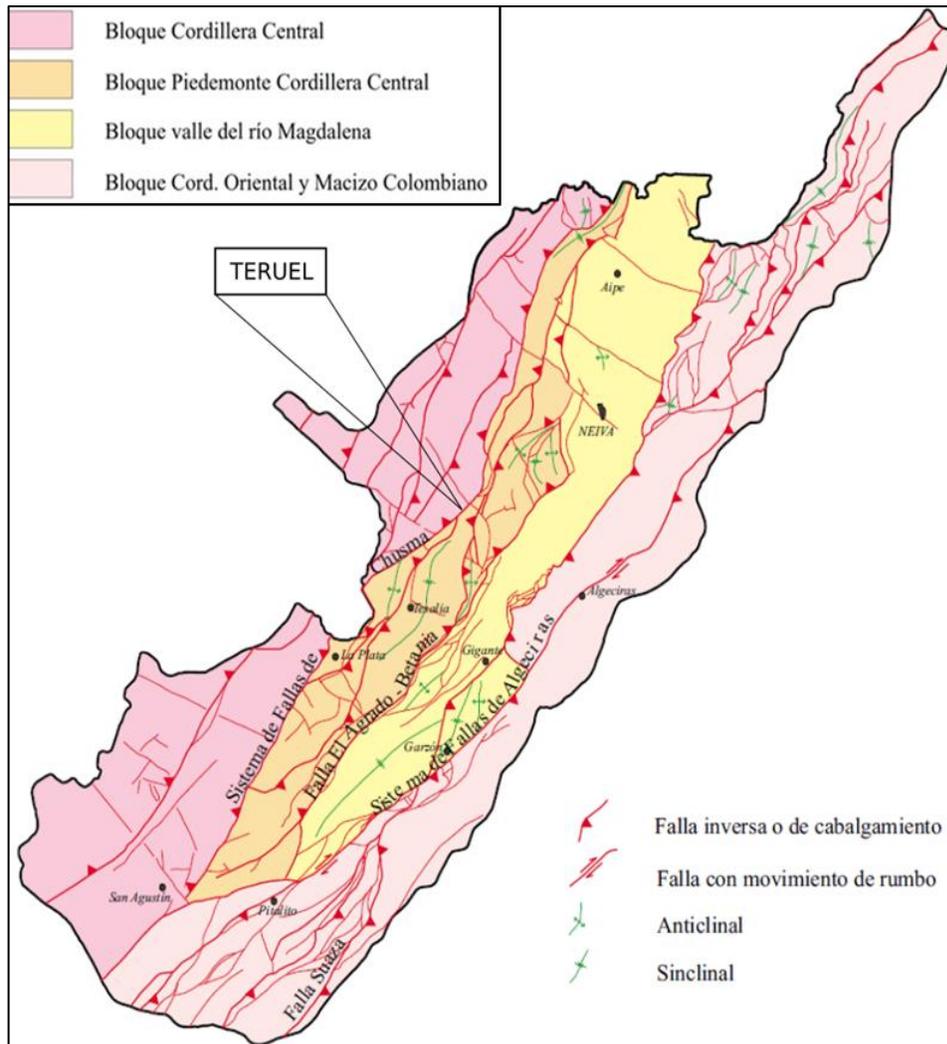
Los eventos tectónicos que fracturaron, plegaron y desplazaron las unidades litológicas y algunos de los depósitos cuaternarios expuestos en el suroccidente de Colombia, se manifiestan en dos direcciones preferenciales de fallamiento; sin embargo, la zona en estudio se encuentra afectada por la dirección de estructuras con mayor predominancia en el contacto entre la Cordillera central, piedemonte y el valle del río Magdalena.

La dirección mejor conocida y documentada tiene orientación NNE-SSW y con ella se asocian los sistemas de fallas de Chusma dentro de la región en estudio. Cuyas fallas asociadas afectan las rocas ígneas y metamórficas, que forman la parte más alta de la cordillera e incluso las rocas sedimentarias que se encuentran en sus estribaciones y que geológicamente hacen parte del Valle Superior del Magdalena.

El sistema de fallas de Chusma integra las fallas de cabalgamiento que con vergencia al suroriente, actuaron desde el Eoceno para el levantamiento de la Cordillera Central sobre el Valle Superior del Magdalena. El sistema incluye

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

también las fallas de retrocabalgamiento asociadas que se presentan hacia la parte alta de la cordillera. El trazo principal de este sistema es la falla La Plata-Chusma, tal y como se observa en la Ilustración 15.



**Ilustración 15. Esquema estructural del departamento del Huila.**  
 Tomada y modificada de la memoria del mapa geológico del departamento del Huila, Esc. 1: 300.000 (SGC, 2001). Dentro del recuadro negro se observa la ubicación relativa del casco urbano del municipio de Teruel.  
 Fuente: Geocing S.A.S

- **La Falla La Plata-Chusma**

Según la memoria del mapa geológico, escala 1:300000, del departamento del Huila, la falla La Plata es el trazo más destacado del sistema de fallas de Chusma, relacionado en la mayor parte de su recorrido con el salto topográfico que define propiamente el inicio de la cordillera. Desde el sur de La Plata hacia el norte pone

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

en contacto rocas plutónicas, volcánicas y metamórficas, con las unidades del Valle Superior del Magdalena, como secuencias sedimentarias paleógenas, cretácicas, vulcanitas de la Formación Saldaña y depósitos cuaternarios.

Esta falla delimita un cinturón de cabalgamiento con estilo estructural de cobertura gruesa, con dirección de transporte tectónico al SE, e inclinación general del plano de falla al NW. Por la configuración sinuosa de la línea de falla y la presencia de algunos afloramientos paleógenos “aislados” directamente relacionados con su trazo, se infiere un ángulo relativamente bajo de inclinación del plano de falla y, además, la posibilidad de encontrar bajo las rocas cristalinas, unidades sedimentarias del Valle Superior del Magdalena.

- **Falla Pedernal**

Es una falla con vergencia al oriente; al parecer se trata de un cabalgamiento del Sistema de Chusma, pero se encuentra limitado por fallas que se comportan como retrocabalgamientos de El Agrado-Betania, como las fallas La Hocha y Upar. Esta falla se extiende por aproximadamente 18 km con orientación norte-sur, cruza el río Yaguará y sigue el curso del río Pedernal para terminar contra la falla Upar.

## 6.4 GEOLOGÍA LOCAL

Para la caracterización de las unidades de roca y de suelo, adicional a la descripción litológica de las materiales aflorantes y del subsuelo, se usaron parámetros como: grado de meteorización e índice geológico de resistencia (GSI) que enseguida se describen.

- **Grado de meteorización**

El grado de meteorización es uno de los aspectos importantes en la caracterización de las unidades geológicas de ingeniería, se define como la descomposición física y química In situ de los materiales cercanos a la superficie de la tierra. Infiere en la formación de los suelos residuales, estabilidad de las laderas y en la acción de los procesos erosivos, al igual que sobre las propiedades físico–mecánicas de las rocas, tales como densidad, resistencia a la comprensión simple, porosidad, permeabilidad, deformabilidad y consistencia. En la Tabla 5 se presenta el grado de meteorización de Dearman (1974, 1991).

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

**Tabla 5. Perfil de meteorización utilizado para agrupar los materiales geológicos en el mapa de unidades Geológicas de ingeniería.**

Unidad usada en el mapa	Grado de meteorización	Nombre	Descripción
Suelo residual	VI	Suelo residual	Horizonte A
			Horizonte B
			Horizonte C: Saprolito. Presencia de fragmentos y bloques de roca menor al 10% (textura original no visible)
	V	Roca completamente meteorizada	Todo el macizo rocoso está completamente descompuesto. La roca se desmenuza fácilmente con la mano; se observan estructuras de la roca original. Presencia de fragmentos. Es similar a lo llamado Saprolito.
Material intermedio (roca blanda)	IV	Roca altamente meteorizada	Más de la mitad del macizo rocoso está descompuesto o desintegrado. La roca se presenta altamente decolorada. Para obtener muestras se requiere martilleo moderado.
	III	Roca moderadamente meteorizada	Menos de la mitad del macizo rocoso está descompuesto o desintegrado. La roca se presenta altamente decolorada. Para obtener muestra se requiere martilleo moderado. Es similar a lo llamado regolito.
Roca dura	II	Roca ligeramente meteorizada	Ligera decoloración del macizo rocoso indicando algo de meteorización. La roca aún es dura y resistente.
	I	Roca inalterada o fresca	Macizo rocoso si signos visibles de meteorización, superficies brillantes en las discontinuidades.

Tomado y modificado de Dearman (1974, 1991).

### • Índice Geológico de Resistencia (G.S.I.)

Corresponde a un parámetro de evaluación de la resistencia de la masa rocosa, que evalúa la calidad del macizo rocoso en función del grado y características de la fracturación, estructura geológica, tamaño de los bloques y alteración de las discontinuidades. La determinación del G.S.I. permite calificar el macizo rocoso entre 0 y 100, dependiendo de la variación del entramamiento y la calidad de la roca en la superficie (Ver Ilustración 16).

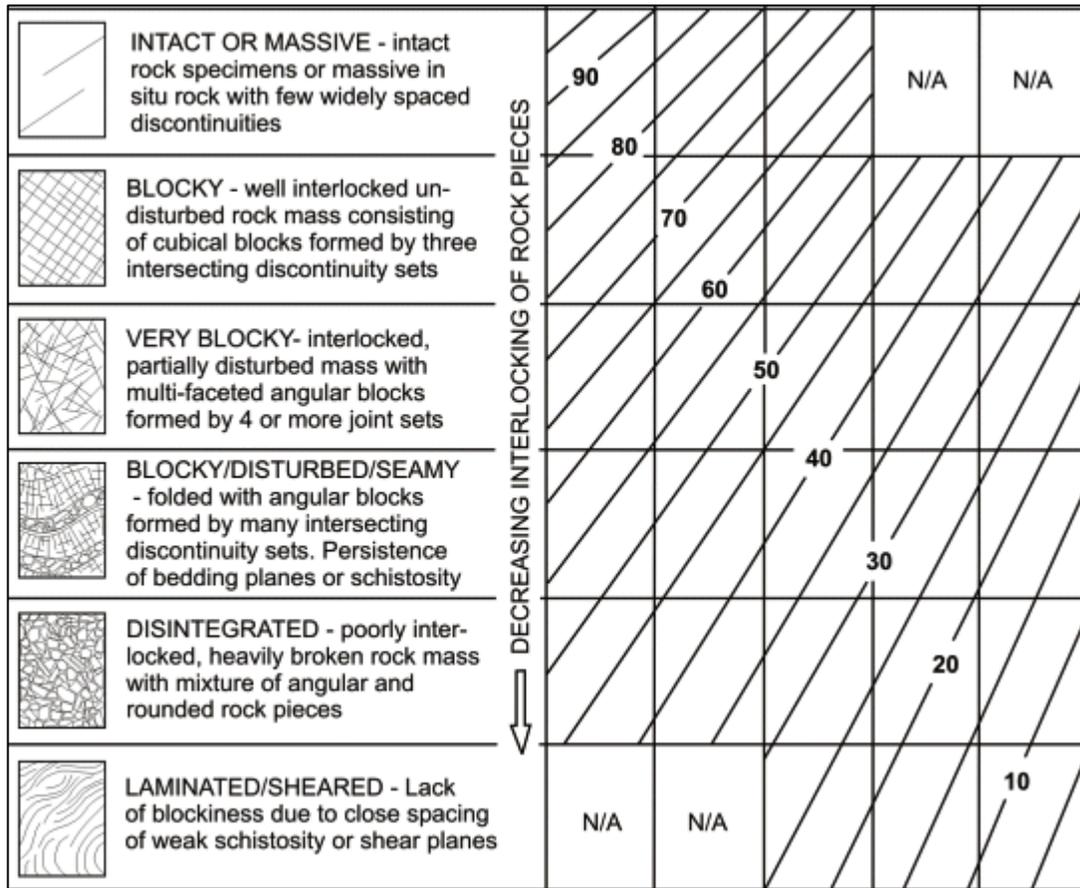


Ilustración 16. Factor G.S.I para Macizos Rocosos.  
(Tomado de Hoek et al., 1998).

Los anteriores parámetros están estrechamente relacionados con la dureza la cual permite conocer la resistencia que opone una roca a la acción puntual; en ocasiones se define como la resistencia que ella ofrece a ser penetrada por un objeto duro. Se mide con el martillo o un objeto punzante.

En la Guía Metodológica para estudios de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa (Servicio Geológico colombiano, SGC. 2013), se propone clasificar los materiales de acuerdo a su origen, donde se modificó a partir de las unidades geológicas superficiales propuestas por Hermelín (1985) y Salazar (1995). Esta propuesta se emplea en el presente informe para nombrar las unidades de geología para ingeniería (UGI).

Las coordenadas referenciadas a continuación, fueron tomadas con geoposicionador Garmin 60Sc, referidas al sistema magna sirgas (WGS884), origen occidente.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

#### **6.4.1 Unidades de geología para ingeniería (UGI)**

Las UGI referidas, corresponden a zonas delimitadas, teniendo en cuenta que representen alto grado de homogeneidad con respecto a las propiedades geotécnicas básicas, cumpliendo con las características de área y espesores mínimos cartografiados, de acuerdo con la escala de trabajo 1:2000 y con base en la definición de unidades litoestratigráficas. Se clasifican como rocas o suelos a partir de cuatro grandes grupos:

- Rocas.
- Suelos residuales y saprolitos.
- Suelos transportados en cualquier ambiente (depósitos aluviales, de ladera o coluviales, costeros, volcánicos, eólicos y glaciares).
- Suelos antrópicos.

Como base para la generación de las UGI, se propuso clasificar los materiales de acuerdo con su origen, de acuerdo a la modificación realizada a partir de las unidades geológicas superficiales propuestas por Hermelín (1985) y Salazar (1995).

De acuerdo a lo anteriormente descrito y teniendo en cuenta la escala de trabajo la UGI mínima será de 64 m<sup>2</sup> para cartografiar en planta, adicionalmente en escala vertical se trabajaran con materiales de espesores de 2 metros.

- **Origen y litología**

Se realizó una identificación preliminar de la unidad con base en su origen, la cual se complementó de acuerdo con sus características litoestratigráficas, esto es, la caracterización litológica (composición y estructura) de las sucesiones estratigráficas.

Esta clasificación preliminar permitió diferenciar entre rocas y suelos, y estos últimos diferenciados entre transportados, residuales o antrópicos. Además, se plasmó la leyenda de cada UGI, el material que la subyace y suprayace, y sus características geotécnicas básicas.

- **Nomenclatura**

Una vez establecidas las UGI, identificadas preliminarmente por el origen y la litología, se definió la nomenclatura asociada, la cual se ajustó de acuerdo con la caracterización de los materiales en la actividad de comprobación de campo.

El sistema de nomenclatura propuesto fue el siguiente:

- La primera letra, en mayúscula, indica si es roca (R) o suelo (S).

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

- Si se identificó roca (R), la segunda letra, en minúscula, indica su calidad, según sus características de resistencia cualitativa, grado de meteorización y el diaclasamiento, entre otras, la cual se ajustó según la caracterización realizada cuantitativamente, que se denomina muy dura (md), dura (d), intermedia (i), blanda (b) y muy blanda (mb).
- Si se identificó suelo (S), la segunda letra indica el origen: transportado (t), residual (r) o antrópico (a).
- La tercera letra indica el tamaño del grano predominante o la textura del material.
- Es importante destacar que se pudieron agregar al nombre otras letras que indiquen las características geotécnicas del material.

A continuación se describen las Unidades Geológicas para Ingeniería (UGI) descritas en la zona de estudio; su extensión se observa en el Anexo 6. MAPAS se encuentra el plano de Unidades Geológicas para Ingeniería, UGI, y sus principales características se resumen en la Tabla 6.

Los colores empleados para las diferentes unidades geológicas para ingeniería, UGI, se emplearán con base en la clasificación de colores para unidades geológicas, relacionado en el informe de Estándares Cartográficos de Mapas Geológicos (SGC, 2012).

#### • **Unidad de Roca**

Para la caracterización y clasificación de las rocas se tuvieron en cuenta las características geológicas como la génesis u origen, composición litológica, resistencia, grado de fracturamiento y grado de meteorización, entre otros.

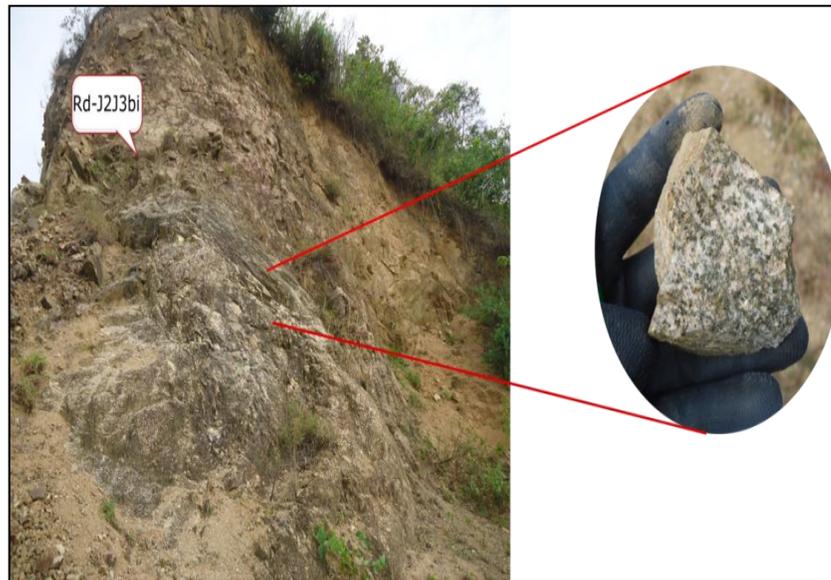
De acuerdo a las características mencionadas anteriormente, las unidades de roca presentes en el sector de estudio se subdividieron en dos tipos, rocas intermedias y rocas duras. Según el origen cronoestratigráfico; a continuación se describen las unidades de roca aflorantes desde la más antigua a la más reciente son:

#### • **Roca Dura - Batolito de Ibagué (Rd-J2J3bi)**

Afloramiento masivo, compuesto por rocas de composición tonalítica a diorítica blanco a grisáceo y presenta en la superficie tonalidades verdes por alteración de epidota con textura equigranular; los minerales principales son cuarzo, plagioclasa y en menor proporción feldespato potásico como minerales máficos presenta hornblenda y biotita (Ver Ilustración 17). En el afloramiento se observan gran cantidad de diques de textura fanerítica granular de grano medio y de composición

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

diorítica que lo atraviesan (Ver Ilustración 18). Los suelos residuales generados a partir de esta roca tienen espesores considerables, alrededor de 12 metros, determinados con base en la línea de refracción sísmica 2 (LRS-2). A partir de esta profundidad y hasta el final de la exploración de esta línea, se presentan velocidades Vs, entre 710 y 760 m/s, que se define como Roca Meteorizada del Batolito de Ibagué.



**Ilustración 17. Coordenadas: E=1167809, N=796090, NE. Roca dura del Batolito de Ibagué (Rd-J2J3bi). Fuente: Geocing SAS.**



**Ilustración 18. Coordenadas: E=1167809, N=796090, Dique diorítico atravesando el Batolito de Ibagué (Rd-J2J3bi). Fuente: Geocing SAS.**

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

### • Roca intermedia – Formación Seca (Ri-K2E1s)

Compuesta por una sucesión de lodolitas y areniscas de color marrón a gris, con pátinas de color naranja por oxidación, dispuestas en capas tabulares de 70 cm de espesor aproximadamente. Estas rocas se presentan fracturadas y con un grado de meteorización moderado.

Se observan lodolitas a lo largo del escarpe en la margen izquierda del río Pedernal, cerca del puente principal que pasa sobre este, al oriente de la zona de estudio, en capas que exhiben laminación interna (Ver Ilustración 19). En el Sondeo Mecánico 1 se observan rocas meteorizadas (lodolitas) a partir de los 8,5 m de profundidad hasta el final de la perforación a los 16 m. En la LRS3, se interpreta en los primeros 20 metros de exploración, roca meteorizada de la formación Seca, con velocidades Vs variables entre 450 y 505 m/s; continuando hasta el final de la exploración de esta línea, una roca más competente de la misma formación (posiblemente arenisca), con una velocidad Vs de 610 m/s.



Ilustración 19. Coordenadas: E=1168147, N=795260 NW. Contacto entre lodolitas marrones a grises, en capas tabulares de la Formación seca (Ri-K2E1s) y depósitos aluviales Terraza alta – Stfar) en un afloramiento expuesto por la socavación del río Pedernal.

Fuente: Geocing SAS.

### • Roca intermedia de la Formación Palermo (Ri-E1p)

Compuesta por una sucesión de conglomerados, en capas lenticulares, en matriz tamaño arena, media a gruesa, de color rojizo, que alternan con esporádicas capas arcillosas. Los conglomerados presentan guijarros principalmente de

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

cuarzo, chert y rocas ígneas con gradación normal hacia el tope. No se observa la transición entre capas ya que se presentan en capas muy gruesas.

Con base en la LRS1 (Ver numeral 13.1), se reportan velocidades  $V_s$  de 450 m/s, para esta roca, desde los 8 metros hasta el final de la exploración, que representan rocas meteorizadas de esta unidad. Esta roca es suprayacido por suelos residuales, generados a partir de la misma. Estos suelos se observan sobre la margen izquierda de la quebrada El Pueblo, cerca del cementerio.



**Ilustración 20.** Coordenadas: E=1167614, N=794849, SE. Roca intermedia de la Formación Palermo (Ri-E1p) aflorando en la quebrada El Pueblo.

Fuente: Geocing SAS.

### • Unidad de suelos

Se definen como suelos aquellos materiales sueltos o no consolidados, compuestos de una mezcla de materia orgánica, fragmentos de roca, arcilla y minerales, producto de la descomposición in situ del material rocoso o de sedimentos transportados por diferentes medios.

Se consideran materiales que se pueden excavar fácilmente por métodos manuales y se clasifican como suelos residuales (horizonte VI del perfil de meteorización de Dearman, 1994), antrópicos y transportados (depósitos de gravedad-coluvial, aluviales, glaciares y eólicos, entre otros).

Siguiendo el orden cronoestratigráfico con el que se ha venido trabajando, las unidades de suelos en superficie, desde la más antigua a la más reciente son:

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

• **Suelo residual del Batolito de Ibagué (Sr-J2J3bi)**

Se encuentra infrayaciendo suelos de inestabilidad reciente (Stir-1bi), y fueron determinados a través de sondeos mecánicos y líneas de refracción sísmica (LRS). Son infrayacidos por Roca Meteorizada del Batolito de Ibagué. Son el resultado de la degradación debida a agentes meteorológicos, sobre rocas meteorizadas del Batolito de Ibagué; su textura es arcillosa y presenta coloraciones amarillentas a rojizas. En la LRS 2 (Ver numeral 13.1), se reporta una velocidad Vs entre 450 m/s y 525 m/s hasta una profundidad de 12m, que se correlaciona con este material. Es importante resaltar que sobre estos suelos residuales se observan procesos de inestabilidad tipo reptación.

• **Suelo residual de la Formación seca (Sr-K2E1s)**

Son el resultado de la degradación debida a agentes meteorológicos, sobre rocas meteorizadas de la formación Seca; principalmente generados a partir de lodolitas, por lo que presentan textura variable entre arcillosa y limosa, de color marrón a gris y en algunos sectores naranja a rojizo por oxidación. Suprayacen rocas meteorizadas de la Formación Seca. Se presentan en el sector oriental de la zona de estudio, con poco espesor (Ver Ilustración 21). Para su aplicación como material ingenieril se considera perteneciente al horizonte VI del perfil de meteorización de Dearman (1974, 1991).

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL



**Ilustración 21. Coordenadas: E=1168103, N=795445, SE Suelos residuales de la Formación seca, Sr-K2E1s, aflorando en la margen izquierda del río Pedernal.**  
**Fuente: Geocing SAS.**

#### • **Suelo residual de la Formación Palermo (Sr-E1p)**

Son el resultado de la degradación debida a agentes meteorológicos, sobre rocas meteorizadas de la formación Palermo. Su textura es arcillosa, y presenta coloraciones amarillentas a naranjas. Se encuentra infrayaciendo suelos de inestabilidad reciente (Stir-1p), y fueron determinados a través de reconocimiento en campo y de la línea de refracción sísmica 1 (LRS1) (Ver numeral 13.1). En la LRS 1 se reporta una velocidad  $V_s$  aproximada de 325 m/s con un espesor de 8 m, que correlaciona con este material.

#### • **Suelo transportado fluvial, aluvial subreciente (Stfasr)**

Depósitos cuaternarios subrecientes, generados por la dinámica fluvial de la quebrada El Pueblo, y del Río Pedernal, que se depositaron en las partes altas y que por erosión, a través de los años se generaron geoformas de tipo terraza alta, las cuales se exponen en los escarpes.

Se encuentran conformados por clastos heterométricos, redondeados a subredondeados de rocas ígneas en su mayoría, mezclados con vestigios de materia orgánica como troncos, ramas y raíces, embebidos en una matriz limo-arcillosa con tonalidad marrón claro y oscura. La relación matriz – bloques es muy variable, observándose por lo general un material matriz soportado.



**Ilustración 22. Coordenadas: E=1168250, N=795936, NW Contacto entre Depósitos fluviales, aluviales subcrecientes (Stfar) y el Batolito de Ibagué (Rd-J2J3bi) en un afloramiento sobre la margen derecha de la quebrada El Pueblo.**

**Fuente: Geocing SAS.**

En la Ilustración 22, se observan depósitos cuaternarios subcrecientes reposando discordantemente sobre rocas duras del Batolito de Ibagué. Nótese los cantos de diferentes tamaños dentro de una matriz limo-arcillosa de color marrón claro. El batolito toma tonalidades marrón oscuro a rojizo por meteorización, y superficies suavizadas por la acción erosiva de la quebrada.

En el sondeo mecánico 1 (Sme01) (Ver numeral 13.2), se observa este material con un espesor de hasta 8,5 metros de profundidad, suprayaciendo lodolitas de la formación Seca. En el sondeo mecánico 2 (Sme02) se presenta a partir de los 6,5 metros hasta el final de la perforación, infrayaciendo Suelos antrópicos (rellenos). Con base en los escarpes del sector del cementerio el espesor de esta terraza para este sector puede alcanzar los 22 metros aproximadamente. Presentan porosidad alta, amplia extensión, principalmente donde se encuentra el casco urbano y hacia el oriente de la zona de estudio. Tienen escarpes de longitudes variables (hasta de 30 metros) en los que se observan cortes cercanos a los 90°, que se muestran estable.

#### • **Suelo transportado fluvial, aluvial reciente (Stfar)**

Son los materiales generados por las dinámicas de las quebradas El Pueblo y las Moyas, y el río Pedernal, que se depositan en las orillas en forma de terraza baja,

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

y hacen parte de la zona de inundación de estos. Se encuentran conformados por clastos heterométricos redondeados a subredondeados de rocas ígneas y metamórficas (principalmente ígneas) mezclados con vestigios de materia orgánica como troncos, ramas y raíces, embebidos en una matriz areno limosa con tonalidades marrón claro y oscuro. Son de poca extensión, de porosidad alta y se presentan en terrenos con pendientes suaves (Ver

Ilustración 23). Esta unidad se encuentran ubicada, indiferentemente, en la zona de estudio, sobre las márgenes de la quebrada El Pueblo y del río Pedernal, en ocasiones formando pequeñas y aisladas terrazas con escalas no cartografiadas, constantemente interactuando con suelos residuales del Batolito de Ibagué o de la Formación Palermo (Grupo Chicoral).



**Ilustración 23. Coordenadas: E=1167999, N=795059, SE. Depósitos aluviales recientes del río Pedernal al oriente del casco urbano de Teruel. Nótese bloques heterométricos sobre la unidad Stfar.**

**Fuente: Geocing SAS.**

#### • **Suelo transportado fluvial, aluvial activo (Stfaa)**

Son los materiales no consolidados transportados y depositados por la dinámica fluvial de las quebradas El pueblo, Las Moyas y el río Pedernal. Se encuentran conformados por clastos heterométricos, redondeados a subredondeados de rocas ígneas y metamórficas (principalmente ígneas) mezclados con pequeños fragmentos de materia orgánica como troncos, ramas y raíces, embebidos en una matriz areno limosa (quebradas Moyas y El Pueblo) o arcillo limosa (depósitos del río Pedernal), con tonalidades marrón claro y oscuras. Son de poca extensión

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

lateral, de porosidad alta y se presentan en terrenos con pendientes suaves (Ver Ilustración 24 e Ilustración 25). Se encuentran ubicados a lo largo de los cauces.



**Ilustración 24.** Coordenadas: E=1167599, N=794847, SE. Suelo transportado fluvial, aluvial activo en la quebrada El Pueblo.  
Fuente: Geocing SAS.



**Ilustración 25.** Coordenadas: E=1168179, N=795332, SE. Suelo transportado fluvial, aluvial activo en el río Pedernal al oriente de la zona de estudio.  
Fuente: Geocing SAS.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

### • Suelo Antrópico, Depósitos de escombros (Sade)

Corresponde a mezclas heterogéneas de escombros de construcción, plásticos, restos de maderas, suelos, y otros, dispuestos de manera aleatoria sin una disposición técnica (Ver Ilustración 26). Consta de materiales inconsolidados, muy permeables, de corta extensión y dispuestos para nivelar zonas deprimidas, o sencillamente arrojados sin ningún tipo de control. Con base en el sondeo mecánico 2 (Sme02) se reporta un espesor de 6,5 metros de este material, suprayaciendo depósitos aluviales subrecientes (Stfasr).



Ilustración 26. Coordenadas: E=1167535, N=794416, SE. Suelo antrópico, depósitos de escombros (Sade).

Fuente: Geocing SAS.

### • Suelo Antrópico, Rellenos Indiferenciados (Sarin)

Hace referencia a depósitos de materiales sin selección y posteriormente compactados, donde se desarrolló construcción de obras ingenieriles (principalmente infraestructura civil tipo viviendas con medianas a bajas especificaciones técnicas), en zonas donde fue necesario rellenar para nivelar el terreno.

Existen sectores puntuales (hacia las márgenes de las viviendas), donde se ubican depósitos de estos materiales sin compactación, los cuales quedaron como remanentes de actividades previas de construcción, del desarrollo urbanístico del barrio, residuos inorgánicos y basura, entre otros.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

Por lo general presentan espesores que pueden variar entre 0,5 m y 3 m, poca extensión y se ubican discontinuamente en el sector de estudio, principalmente en el casco urbano.

Su composición está dominada por una matriz limo arcillosa abundante, con tamaños arenas, gravas, guijarros y bloques (de cualquier procedencia o composición) embebidos en esta. Con coloraciones marrón oscuro, negro y rojizas además de parches de colores debido a los materiales inorgánicos que muchas veces tienen incluidos. Pueden contener cantidades variables de materia orgánica.

Generalmente se encuentran suprayaciendo depósitos recientes de suelos residuales o saprolitos, y en ocasiones se presentan mezclados o embebidos en estos, ya que generalmente se utiliza esta mezcla de materiales sin conformar para asentar las placas base de las construcciones que se hicieron sobre explanaciones en la ladera original (Ver Ilustración 27).



**Ilustración 27. Coordenadas: E=1167878, N=795395, E. Suelo antrópico, rellenos indiferenciados (Sarin) como base para las viviendas.**

**Fuente: Geocing SAS.**

Algunas construcciones civiles se encuentran asentadas sobre esta configuración de materiales, y por falta de mantenimiento, en algunos sectores se han producidos procesos erosivos considerables. Hay que tener en cuenta que el factor antrópico puede ser un factor detonante que pueden presentar inestabilidad.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

### • Suelo Antrópico, Rellenos Ingenieriles (Sari)

Hace referencia a los materiales seleccionados y compactados, donde se desarrolló construcción de las obras ingenieriles (principalmente vías de acceso y andenes). Pueden tener espesores aproximados de hasta 2 m, presentan poca extensión y se ubican de manera discontinua en el casco urbano.

Litológicamente están conformados por mezclas proporcionadas de materiales granulares y cohesivos con coloraciones marrón y rojizas. Pueden contener cantidades variables de materia orgánica.

Los depósitos utilizados para la construcción de vías y andenes, contienen clastos tamaño gravas, bloques y arena bien seleccionados, separados y compactados, generalmente con coloraciones grises a marrón claro. Para la realización de obras civiles como parques o plazas, se utilizan materiales con una matriz arcillo limosa, con lentes de arenas, gravas y en ocasiones materia orgánica. Por lo general tiene coloraciones marrón claro a oscuro.

Posiblemente estos materiales se encuentran suprayaciendo suelo aluviales subcrecientes (Stf<sub>asr</sub>) o embebido dentro de este, ya que generalmente se usa esta mezcla de materiales sin conformar para asentar las placas base de los andenes que se construyeron sobre explanaciones en la ladera original (Ver Ilustración 28).



Ilustración 28. Coordenadas: E=1167806, N=796107, Suelo antrópico, rellenos ingenieriles (Sari).  
Fuente: Geocing SAS.

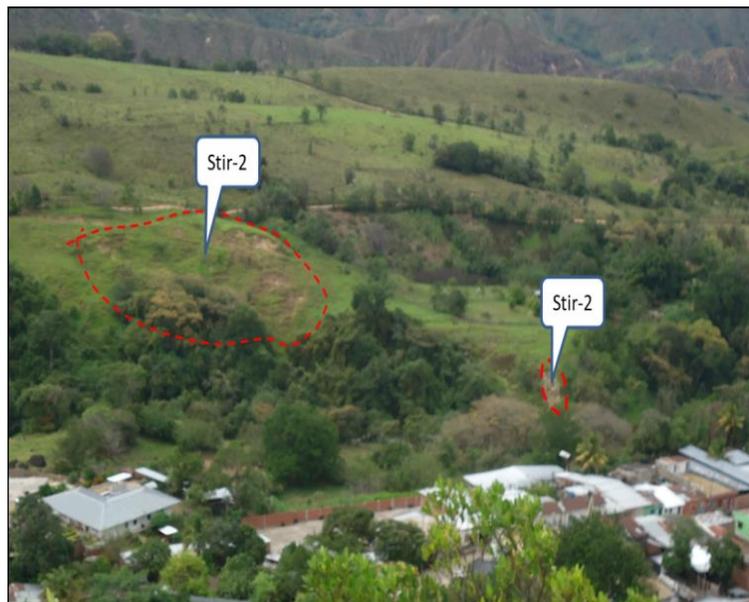
	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

- **Suelo traslocado, inestabilidad reciente – Deslizamiento Rotacional (Stir-2)**

Hace referencia a los materiales originados por movimientos en masa tipo deslizamientos y flujos. Se encuentran distribuidos en diversos sectores dentro de la zona de estudio, actuando indiferentemente sobre suelos residuales del Batolito de Ibagué, suelos residuales de la Formación Palermo, sobre rocas de la Formación Seca y sobre depósitos subrecientes del río Pedernal.

Cuando el proceso ocurre sobre suelo residual arcillo limoso, los depósitos se encuentran principalmente conformados por una mezcla de materiales muy finos, con pequeños lentes de arenas y algunos pequeños clastos aislados, con coloraciones que van desde el gris al naranja por oxidación.

En cambio, cuando el proceso ocurre sobre suelo de relleno (indiferenciado o ingenieril), se observan depósitos de bloques angulosos heterogéneos y heterométricos, dentro de una matriz areno arcillosa, generalmente reposando en superficies moderadamente inclinadas a escarpadas. Estos suelos tienen origen ígneo y sedimentario. El de origen ígneo proviene del Batolito de Ibagué, por lo que será identificado como Stir-2bi, los de origen sedimentario provienen de las formaciones Palermo, Seca, aluvial subreciente y aluvial reciente; se denominan Stir-2p, Stir-2s Stir-2sr y Stir-2r respectivamente (Ver Ilustración 29).



**Ilustración 29. Coordenadas: E=1168043, N=795661, SE-NE. Suelo traslocado de inestabilidad reciente – Deslizamiento Rotacional (Stir-2) en la margen izquierda del río Pedernal, Fuente: Geocing SAS.**

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

- **Suelo transportado, inestabilidad reciente- Reptación (Stir-1)**

Hace referencia a los materiales originados por movimientos superficiales tipo reptación, en donde se deforma la parte superficial del terreno. A este tipo de procesos se les atribuyen factores como el material aflorante que es de textura principal arcillosa, la inclinación de las laderas donde sucede que por lo general varían entre inclinadas y abruptas, y el cambio en el uso del suelo.

Se encuentran distribuidos de forma aleatoria, hacia la parte occidental de la zona de estudio, sobre la margen derecha de la quebrada El Pueblo, actuando sobre suelo residual del Batolito de Ibagué y sobre suelo residual de la formación Palermo; y hacia la parte oriental de la zona de estudio, sobre laderas de las terrazas recientes y subrecientes, en ambas márgenes del cauce del río Pedernal.

Cuando el proceso ocurre sobre suelo residual arcillo limoso o arcillo arenoso, los depósitos se encuentran principalmente conformados por una mezcla de materiales muy finos, con pequeños lentes de arenas y algunos pequeños clastos aislados, con coloraciones que van desde el gris al naranja por oxidación.

Estos suelos tienen origen ígneo y sedimentario. El de origen ígneo proviene del Batolito de Ibagué, por lo que será identificado como Stir-1bi, los de origen sedimentario provienen de las formaciones: Palermo, Seca, aluvial subreciente y aluvial reciente; se denominan Stir-1p, Stir-1s Stir-1sr y Stir-1r respectivamente.



**Ilustración 30. Coordenadas: E=1167803, N=796125, W. Suelo traslocados de inestabilidad reciente 1 (Stir-1) generados reptación. Fuente: Geocing SAS.**

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

A continuación, en la Tabla 6 se muestran las principales características de las unidades geológicas ingenieriles presentes en el área de estudio.

**Tabla 6. Unidades geológicas ingenieriles presentes en el casco urbano.**

UNIDAD GEOLÓGICA INGENIERIL	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
<b>Suelo transportado, inestabilidad reciente (Reptación)</b>	<b>Stir-1</b>	Materiales originados por movimientos superficiales tipo reptación, donde se deforma la parte superficial del terreno. Se encuentran distribuidos de forma aleatoria, hacia la parte occidental de la zona de estudio, sobre la margen derecha de la quebrada El Pueblo, y hacia la parte oriental sobre laderas de las terrazas recientes y subrecientes, en ambos márgenes del cauce del río Pedernal.
<b>Suelo traslocado, inestabilidad reciente (Deslizamiento)</b>	<b>Stir-2</b>	Materiales originados por movimientos en masa tipo deslizamientos y flujos. Se encuentran distribuidos en diversos sectores de la zona de estudio, actuando indiferentemente sobre suelos residuales del Batolito de Ibagué, suelos residuales de la Formación Palermo, sobre suelos residuales de la Formación Seca y sobre depósitos subrecientes del río Pedernal.
<b>Suelo antrópico, rellenos ingenieriles</b>	<b>Sari</b>	Materiales seleccionados y compactados, donde se desarrolla construcción de obras ingenieriles. Esta unidad se encuentra cubierta por cemento rígido, y en general está en buen estado.
<b>Suelo antrópico, rellenos indiferenciados</b>	<b>Sarin</b>	Materiales sin selección y posteriormente compactados, donde se desarrollaron obras civiles de medianas a bajas especificaciones técnicas.
<b>Suelo antrópico, depósitos de escombros</b>	<b>Sade</b>	Mezclas heterogéneas de escombros de construcción, plásticos, restos de maderas, suelos, y otros, dispuestos de manera aleatoria sin una disposición técnica.
<b>Suelo transportado fluvial, aluvial activo</b>	<b>Stfaa</b>	Son materiales transportados y depositados por la dinámica fluvial de las quebradas El Pueblo, Las Moyas y el río Pedernal. Se encuentran conformados por clastos heterométricos, redondeados a subredondeados de rocas ígneas y metamórficas.
<b>Suelo transportado fluvial, aluvial reciente</b>	<b>Stfar</b>	Son los materiales generados por la dinámica fluvial del río Pedernal y de las quebradas El Pueblo y Las Moyas, que se deposita en las orillas en forma de terraza baja, y hacen parte de la zona de inundación de estas corrientes hídricas.
<b>Suelo transportado fluvial, aluvial subreciente</b>	<b>Stfasr</b>	Depósitos cuaternarios subrecientes, generados por la dinámica de la quebrada El Pueblo y el Río Pedernal que se depositaron en las partes altas y que por la erosión, a través de los años generaron geoformas de tipo terraza alta, las cuales se exponen en los escarpes.
<b>Suelo residual de la Formación Palermo</b>	<b>Sr-E1p</b>	Son el resultado de la degradación debida a agentes meteorológicos, sobre rocas meteorizadas de la Formación Palermo. Se encuentra infrayaciendo los suelos de inestabilidad reciente (Stir-1p)
<b>Suelo residual de la Formación seca</b>	<b>Sr-K2E1s</b>	Son el resultado de la degradación debida a agentes meteorológicos, sobre rocas meteorizadas de la Formación Seca; principalmente generados a partir de lodolitas, por lo que presentan textura variable entre arcillosa y limosa, de color marrón.
<b>Suelo residual del Batolito de Ibagué</b>	<b>Sr-J2J3bi</b>	Se encuentra infrayaciendo suelos de inestabilidad reciente (Stir-1bi), son infrayacido por roca meteorizada del Batolito de Ibagué.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

UNIDAD GEOLÓGICA INGENIERIL	SÍMBOLO	DESCRIPCIÓN
Rica intermedia de la Formación Palermo	Ri-E1p	Compuesta por una sucesión de conglomerados, en capas lenticulares, en matriz tamaño arena media a gruesa de color rojizo, que alternan con esporádicas capas arcillosas.
Roca intermedia de la Formación seca	Ri-K2-E1s	Compuesta por una sucesión de lodolitas y areniscas de color marrón a gris, con pátinas de color naranja por oxidación, dispuestas en capas tabulares de 70 cm de espesor aproximadamente.
Roca dura del Batolito de Ibagué	Rd-J2J3bi	Compuesto por rocas de composición tonalítica a diorítica; son de color blanco a grisáceo y presenta en la superficie tonalidades verdes por alteración de epidota.

#### 6.4.2 Condiciones estructurales locales

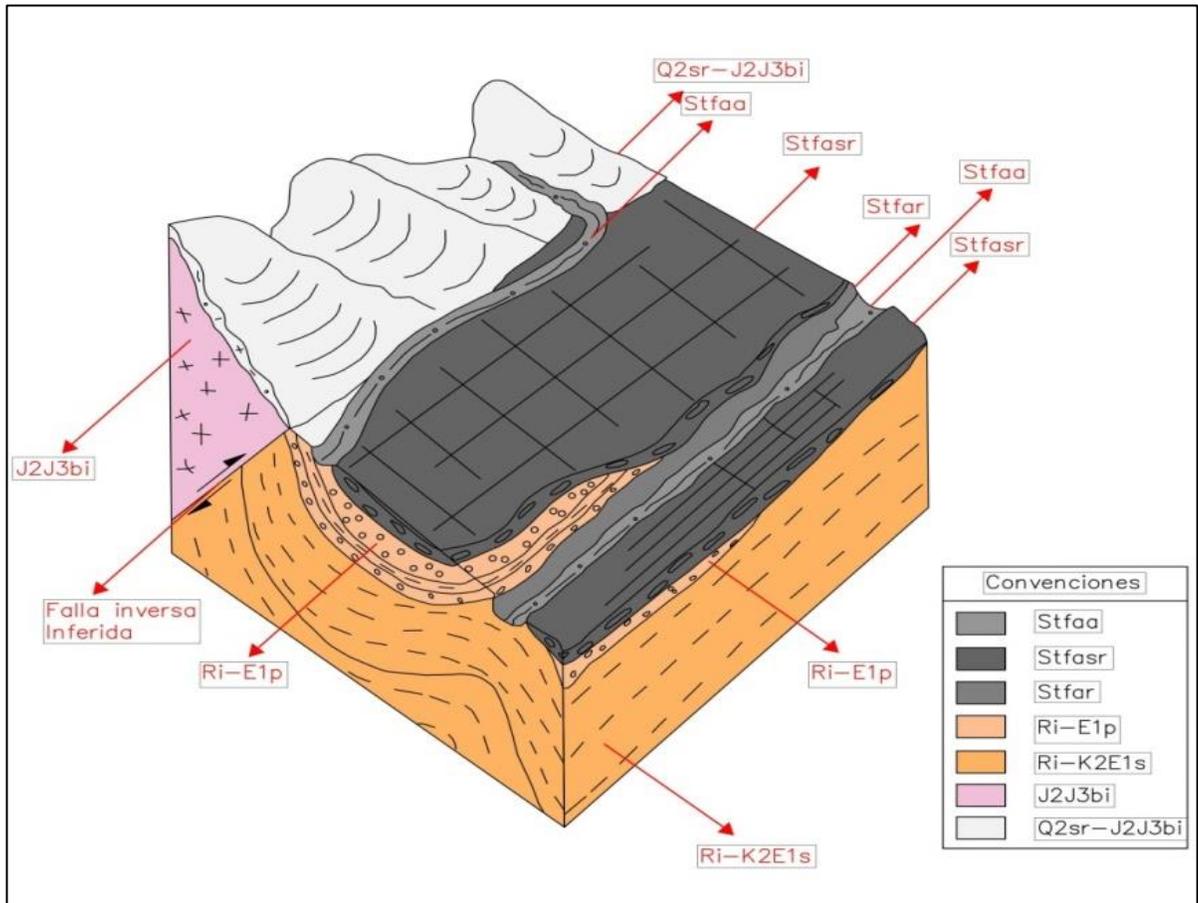
Hacia el costado suroeste de la zona de estudio, se observa el contacto de materiales del Batolito de Ibagué, con materiales de la Formación Palermo; estas unidades se encuentran en contacto fallado, donde la unidad más antigua (Batolito de Ibagué), cabalga sobre materiales de la unidad más joven (Formación Palermo). Más al costado noroeste, se observa que la unidad más antigua (Batolito de Ibagué), cabalga sobre los depósitos aluviales subrecientes, los cuales suprayacen rocas de la Formación Seca (Sme01). Se deduce la traza de una falla de cabalgamiento, con vergencia al oriente, y que controla parte del trazo del cauce de la quebrada El Pueblo. En los sectores donde afloran rocas de la formación Seca fue posible realizar mediciones de dirección de buzamiento/buzamiento (estratificación), datos que se consignan en la Tabla 7.

Tabla 7. Mediciones de estratificación y familias de diaclasas en el terreno.

Estación	Coordenadas			Estratificación
	E	N	Altura	E
797	1168147	795260	1049 msnm	120/28
				108/20
				118/20

Fuente: Geocing SAS.

Como se puede observar, la dirección de buzamiento de los planos de estratificación de la Formación Seca, para este sector, varía entre 120° azimut y 108° azimut (buzamiento al sureste), mientras que su ángulo de buzamiento está entre 20° y 28°. En el estudio de fotointerpretación, al costado suroeste de la zona de estudio, se observa un afloramiento rocoso de la formación Palermo, que presenta un buzamiento con sentido al noroeste. Con base en el cambio de polaridades de los estratos medidos y la cercanía de la traza de la falla de cabalgamiento, se induce un modelo de comportamiento estructural en el subsuelo, como se presenta en la Ilustración 31.

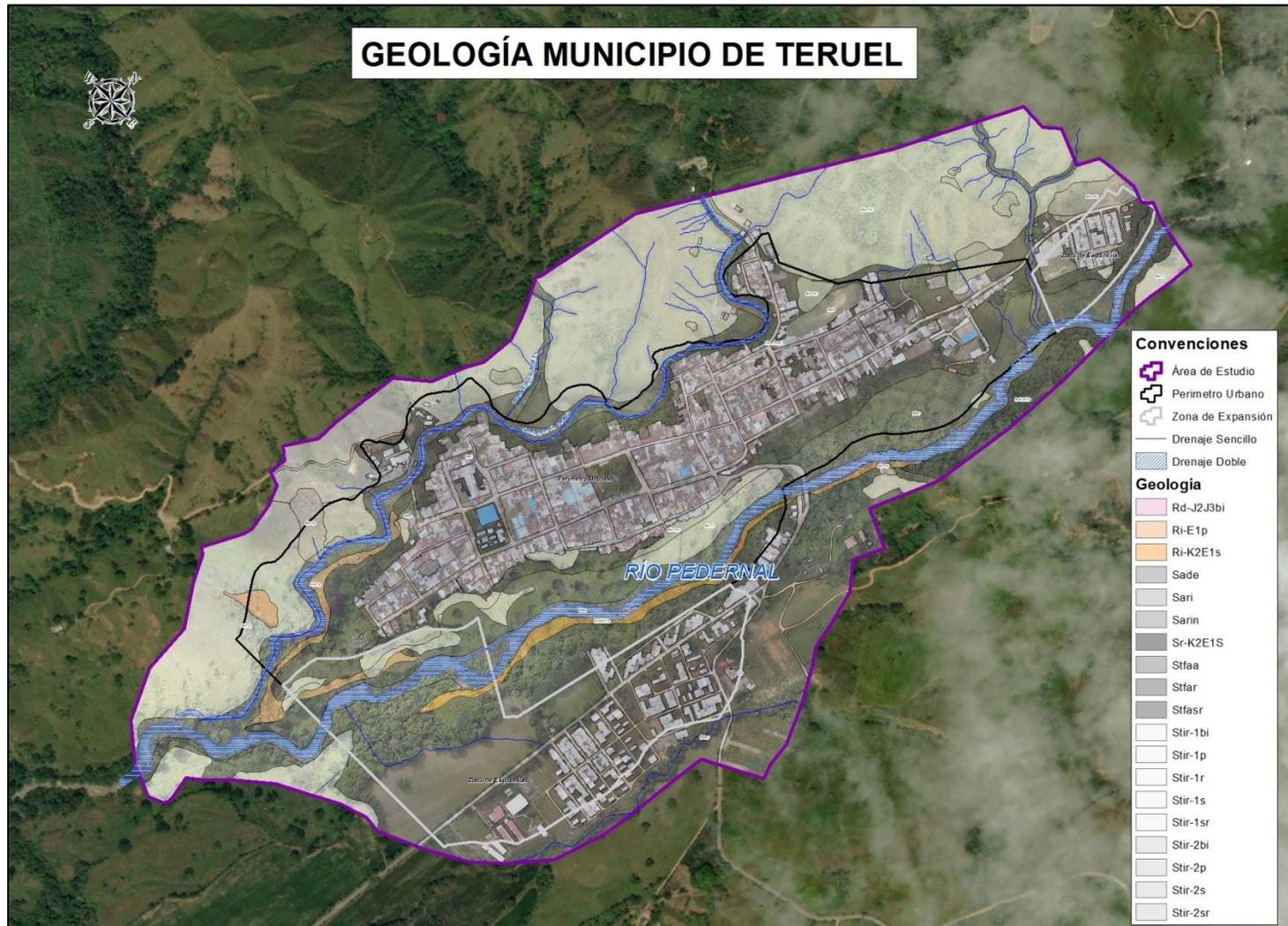


**Ilustración 31. Bloque diagrama que presenta el modelo estructural en el subsuelo.**  
Fuente: Geocing SAS.

En esta ilustración, se resaltan tres rasgos notorios de occidente a oriente para la zona de estudio, primero la presencia de una falla de cabalgamiento, con rumbo aproximado norte – sur y vergencia al oriente, que sobrepone materiales de edad jurásica (Batolito de Ibagué), sobre materiales de edad más reciente (Formación Seca, formación Palermo y depósitos cuaternarios). Segundo, la presencia de pliegues: sinclinal – anticlinal que afectan la secuencia sedimentaria. Tercero, la erosión de las unidades suprayacentes del Grupo Chicoral (formaciones: Baché y Tesalia), y parte de la Formación Palermo.

El macizo rocoso se presenta fracturado, a pesar de la cercanía con la traza de la Falla de la Plata, estructura que cabalga el bloque del Batolito de Ibagué sobre rocas del neógeno y cuaternario. A continuación se presenta el mapa de la geológica (Anexo 6. MAPAS. GE426-TRL-PSIG-GE-001-00).

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



**Ilustración 32. Mapa de geología casco urbano municipio de Teruel.**  
**Fuente: Geocing SAS.**

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

## 7 GEOMORFOLOGÍA

Para la identificación y clasificación morfológica se utilizó la metodología del sistema ITC de Holanda (Verstappen y Van Zuidam, 1992), implementada en la metodología para la temática de la geomorfología aplicada a la ingeniería (Carvajal, Henry et al, 2005).

El análisis la evolución de los terrenos, identificando las diferentes geoformas y elementos geomorfológicos, y procesos de movimientos en masa. Adicionalmente se realizó la identificación, clasificación y caracterización de los diferentes procesos y/o inestabilidad presentes en la zona de estudio.

### 7.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO

El desarrollo de este componte se realizó con base en el análisis de la información secundaria aportada en:

Información secundaria, tomada de la evaluación de las amenazas potenciales de origen geológico, geomorfológico e hidrometeorológico, y caracterización geotécnica preliminar de las cabeceras municipales del departamento del Huila (Convenio CAM y UN, 1999), así como aerofotografías de diferentes años del IGAC y ortofotos (Anka, 2018). Información de reconocimientos de morfología en Google Earth. Información de reconocimientos de campo, elementos procesados y analizados para la obtención de los resultados temáticos correspondientes.

Para la ejecución del estudio, se realizaron las siguientes actividades:

Recopilación y análisis de la información de referencia existente y temática básica, tales como: planos, fotografías aéreas, geología, así como estudios geotécnicos disponibles en algunas entidades, Servicio Geológico Colombiano (SGC), CAM, UN, ICAG, entre otros.

Reconocimiento del área de estudio por parte del especialista en geología, y levantamiento cartográfico local y detallado de todos los elementos geológicos, geomorfológicos y morfodinámicos, presentes en el área y la caracterización de los mismos.

Análisis de la información tanto secundaria como la recolectada en campo, las cuales conforman los elementos temáticos básicos de la Geología y Geomorfología aplicadas a la Ingeniería, para el planteamiento de diferentes alternativas concernientes al cumplimiento de los objetivos propuestos en el estudio.

- Elaboración de los planos temáticos correspondientes (geológicos y geomorfológicos, regionales y locales y perfiles estratigráficos requeridos), para el planteamiento de las diferentes medidas de tipo ingenieril, y la elaboración de la memoria temática respectiva.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

**Ilustración 33. Relación de aerofotografías utilizadas para el estudio de Geología y Geomorfología del municipio de Teruel, Huila.**

Municipio	Vuelo	Sobre	Fotos	Fecha	Escala
TERUEL	C-1854	S-29492	37 – 38 - 39	07-09-1978	1:34.000
TERUEL	C- 2336	S-34601	162-164	01/03/1988	1:38460
TERUEL	C- 2737	S-39759	223-227	16/07/2004	1:11400

Fuente: Geocing SAS.

La génesis de las formas del terreno en el área de estudio, corresponde principalmente a ambientes morfogenéticos de tipo volcánico, mixto estructural – denudacional y agradacional, resultado de los complejos procesos tectónicos relacionados al levantamiento de la cordillera central y el origen del valle superior del río Magdalena.

Con la ayuda del software “Google Earth pro” se describe a continuación ciertos aspectos referentes al cambio morfológico y características propias del área de estudio, en este caso el municipio de Teruel.

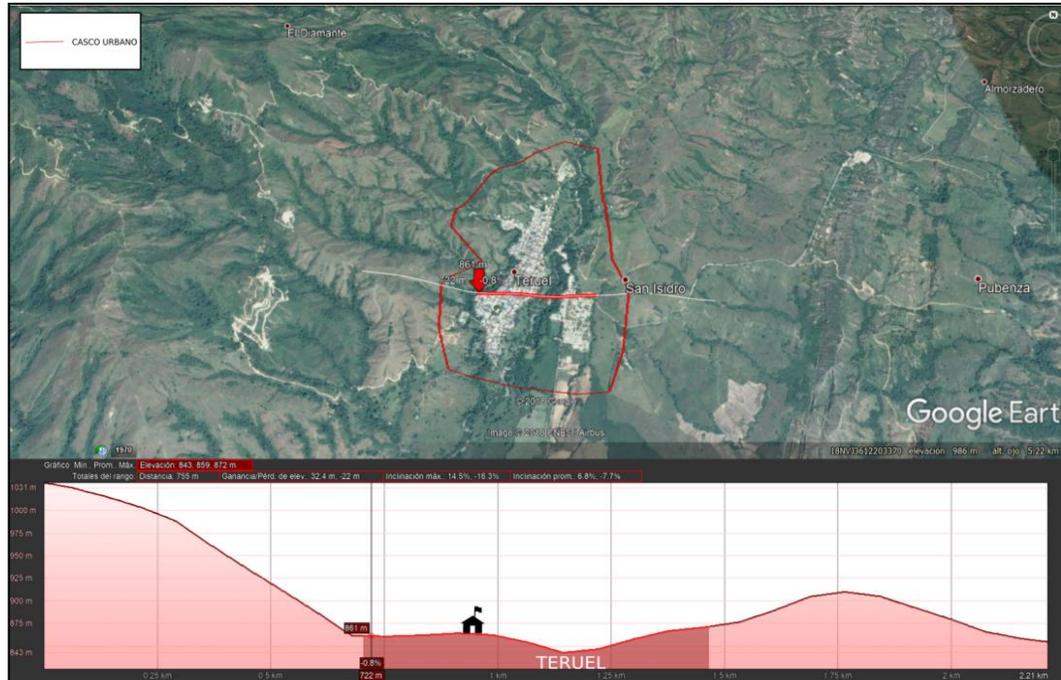
El municipio de Teruel se encuentra ubicado en el valle que se forma por el paso del río Pedernal, como se puede observar en la Ilustración 28. Allí se evidencia, que la ladera occidental del valle del río Pedernal, alcanza una inclinación máxima de 35 %, lo que según Carvajal (2012) corresponde a una pendiente inclinada (10 – 15 ° de inclinación). En contraste, el costado oriental del valle de dicho río, alcanza una inclinación máxima de 17% que según Carvajal corresponde a una pendiente moderadamente inclinada (5-10° de inclinación). Utilizando la metodología de Van Zuidam (1986), quien clasifica las laderas a partir de su longitud, caracteriza la ladera del límite occidental del municipio, como una ladera “larga” (500 – 1000m), mientras que la ladera que limita al costado oriental es clasificada como una ladera moderadamente larga (250 - 500m).

El municipio presenta una serie de montañas (Batolito de Ibagué), que en general cuentan con una morfología suavizada producto de la acción de sistemas hídricos (drenajes de tipo dendrítico), que moldean la superficie, dejando terrenos más suavizados y suelos residuales. Adicionalmente no se observaron zonas de contrapendiente que dejen expuesta una zona de escarpe; zonas de alta densidad de vegetación tampoco son comunes, ni de intervención antrópica para la generación de caminos y rutas veredales. En cercanías al municipio se observaron terrenos empleados para agricultura y probablemente ganadería.

Como se puede visualizar en la Ilustración 34, el curso del río Pedernal está controlado por la falla de La Plata-Chusma y la falla de Pedernal, allí se logró observar que el río no se encuentra encañonado y que no genera geoformas

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

relevantes; los depósitos son de tipo aluvial con cantos bien redondeados y poco seleccionados.



**Ilustración 34. Principales rasgos geomorfológicos a nivel regional, y perfil de elevación del casco urbano del municipio de Teruel.**

**Fuente: Google Earth.**

El rasgo físico más importante para la zona de estudio, es el río Pedernal, cuyo cauce transcurre de norte a sur, transportando partículas de diferentes granulometrías, las cuales alcanzan el tamaño bloque, con diámetros de hasta y mayores a los 2 m, tal como se ve en la Ilustración 35. El tamaño de las partículas y bloques que transporta este cauce, evidencian la gran capacidad de transporte que este posee (Ver Ilustración 35).

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



**Ilustración 35. Río Pedernal, vista hacia el norte, desde el norte del casco urbano del municipio de Teruel.**

**Fuente: Geocing SAS.**

La ladera sobre la margen derecha del río Pedernal, presenta una inclinación promedio del 15%, aunque en sectores bastantes específicos, alcanza inclinaciones del 35%. Su longitud aumenta a medida que el río transcurre hacia el sur, llegando hasta los 250m. Esta ladera se encuentra cubierta casi en su totalidad por una capa vegetal de tipo arbórea, con muy pocas zonas de intervención antrópica.

En contraste, hacia el oriente de Teruel, la ladera occidental del río Pedernal, presenta pendientes bastante considerables, que aumentan de inclinación hacia el sur, llegando a ser totalmente verticales en el límite suroriental del municipio, donde ocurren algunos movimientos en masa, dentro de los cuales, los más representativos son deslizamientos y caídas de roca de diferentes magnitudes. Esta ladera posee una cobertura vegetal de tipo gramínea con pequeñas zonas arbóreas.

## **7.2 GEOMORFOLOGÍA REGIONAL**

Para la identificación y clasificación morfológica se utilizó la metodología del sistema ITC de Holanda (Verstappen y Van Zuidam, 1992), implementada en la metodología para la temática de la geomorfología aplicada a la ingeniería (Carvajal, Henry et al, 2005).

La génesis de las formas del terreno en el área de estudio, corresponde principalmente a ambientes morfogenéticos de tipo volcánico, mixto estructural – denudacional y agradacional, resultado de los complejos procesos tectónicos

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>

relacionados al levantamiento de la cordillera central y el origen del valle superior del río Magdalena.

Con la ayuda del software “Google Earth pro” se presenta a continuación la descripción de ciertos aspectos referentes al cambio morfológico y características propias del área de estudio, en este caso el municipio de Teruel.

El municipio de Teruel se encuentra ubicado en el valle que se forma por el paso del río Pedernal, como se puede observar en la Ilustración 34 . Allí se evidencia, que la ladera occidental del valle del río Pedernal, alcanza una inclinación máxima de 35 %, lo que según Carvajal (2012) corresponde a una pendiente inclinada (10 – 15 ° de inclinación). En contraste, el costado oriental del valle de dicho río, alcanza una inclinación máxima de 17% que según Carvajal corresponde a una pendiente moderadamente inclinada (5-10° de inclinación). Utilizando la metodología de Van Zuidam (1986), quien clasifica las laderas a partir de su longitud, caracteriza la ladera del límite occidental del municipio, como una ladera “larga” (500 – 1000m), mientras que la ladera que limita al costado oriental es clasificada como una ladera moderadamente larga (250 - 500m).

El municipio de Teruel se encuentra ubicado en el la parte baja de una serie de montañas (Batolito de Ibagué), que en general presentan una morfología suavizada producto de la acción de sistemas hídricos (drenajes de tipo dendrítico), que moldean la superficie, dejando terrenos más suavizados y suelos residuales. Además no se observan zonas de contrapendiente que dejen expuesta una zona de escarpe; zonas de alta densidad de vegetación tampoco son comunes y se observa intervención antrópica para la generación de caminos y rutas veredales. En cercanías al municipio se observan terrenos empleados para agricultura y probablemente ganadería.

Como se puede observar en la Ilustración 34, el curso del río Pedernal está controlado por la falla de La Plata-Chusma y la Falla de Pedernal, allí se logra observar que el río no se encuentra encañonado y que no genera geoformas relevantes; los depósitos son de tipo aluvial con cantos bien redondeados y poco seleccionados.

El rasgo físico más importante para la zona de estudio es el río Pedernal cuyo cauce transcurre de norte a sur, transportando partículas de diferentes granulometrías, las cuales alcanzan el tamaño bloque, con diámetros de hasta y mayores a los 2 m, tal como se ve en la Ilustración 35. El tamaño de las partículas y bloques que transporta este cauce, evidencian la gran capacidad de transporte que este posee (Ver Ilustración 35).

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



**Ilustración 36. Río Pedernal, vista hacia el norte.  
Fuente: Geocing SAS.**

La ladera sobre la margen derecha del río Pedernal, presenta una inclinación promedio del 15%, aunque en sectores bastantes específicos, alcanza inclinaciones del 35%. Su longitud aumenta a medida que el río transcurre hacia el sur, llegando hasta los 250m. Esta ladera se encuentra cubierta casi en su totalidad por una capa vegetal de tipo arbórea, con muy pocas zonas de intervención antrópica.

En contraste, hacia el oriente de Teruel, la ladera occidental del río Pedernal, presenta pendientes bastante considerables, que aumentan de inclinación hacia el sur, llegando a ser totalmente verticales en el límite suroriental del municipio, donde ocurren algunos movimientos en masa, dentro de los cuales, los más representativos son deslizamientos y caídas de roca de diferentes magnitudes. Esta ladera posee una cobertura vegetal de tipo gramínea con pequeñas zonas arbóreas. El casco urbano del municipio de Teruel, se encuentra ubicado sobre depósitos aluviales generados por el río Pedernal, los cuales generan geoformas de tipo terraza, donde se emplaza la totalidad del casco urbano.

### **7.2.1 Estudio UN - CAM**

El estudio de amenazas de la Universidad Nacional y la CAM del año 1999, se realizó con el fin de describir unidades geológicas superficiales con sus respectivas características geomecánicas con el propósito de la evaluación de

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

riesgos en el municipio. En el casco urbano del municipio de Teruel, se reconocen cuatro unidades, estas son de más antigua a más reciente:

- **Batolito de La Plata – Suaza (Jl):** Rocas plutónicas intermedias a ácidas, principalmente granodioritas, cuarzomonzonitas, monzonitas, tonalitas y granitos.
- **Formación Villeta (Kv):** Secuencia de lutitas grises hasta negras, ricas en materia orgánica. Bancos y concreciones de calizas fosilíferas. Albiano – Campaniano.
- **Formación Guaduas (KTg):** Arcillolitas rojas intercaladas con areniscas, localmente conglomerados y capas delgadas ricas en materia orgánica. Maastrichtiano – Paleoceno.
- **Depósitos aluviales recientes (Qar):** asociados al Río Pedernal y a la Quebrada El Pueblo. En esta se diferencian niveles con materiales areno-limosos, gravas medias y bloques angulosos a subredondeados hasta de 60 cm.

### 7.3 GEOMORFOLOGÍA LOCAL

Entre los aspectos importantes de utilidad de la temática geomorfológica aplicada en la ingeniería se tiene, la caracterización de las formas de los terrenos por su génesis y parámetros morfométricos; entre los cuales se consideran por su importancia ingenieril, la forma y la inclinación de la pendiente de dichos terrenos. La **Inclinación de la ladera**, parámetro fundamental en los análisis de estabilidad de los terrenos, corresponde al ángulo de inclinación que forma una ladera o terreno respecto a un plano horizontal imaginario. Los índices de inclinación de la pendiente de las laderas, se presentan en la Tabla 8.

**Tabla 8. Inclinación de laderas. Vargas. 2001.**

Inclinación	Tipo	Susceptibilidad a FRM
<5°	Plana a suavemente	Muy blanda y muy baja susceptibilidad a FRM
6° - 10°	Inclinada	Blanda y baja FRM
11° - 15°	Muy inclinada	Moderadamente blanda y moderada susceptibilidad a FRM
16° - 20°	Abrupta	Moderadamente resistente y moderada susceptibilidad a FRM
21° - 30°	Muy abrupta	Resistente y alta susceptibilidad a FRM
31° - 45°	Escarpada	Muy resistente y alta susceptibilidad a FRM.
>45°	Muy escarpada	Extremadamente resistente y alta susceptibilidad a FRM

**Fuente: Geocing SAS.**

La **longitud de la ladera** es un posible indicador de la homogeneidad del material constitutivo de las geofomas, y se puede establecer una relación entre la longitud de la ladera y la homogeneidad del material (a mayor longitud mayor

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

homogeneidad). Igualmente, la longitud de la ladera puede determinar una mayor superficie para el desarrollo de procesos morfodinámicos. Las anteriores relaciones no siempre son válidas y se deben analizar en conjunto con otros atributos que califican la ladera. En la Tabla 9, se indica la categorización de las longitudes de ladera según Van Zuidam (1986)

**Tabla 9. Longitud de las laderas, Van Zuidam (1986).**

Longitud (metros)	Tipo
< 50m	Muy corta.
50 – 250 m	Corta.
250 – 500 m	Moderadamente larga.
500 – 1000 m	Larga.
1000 – 2500 m	Muy larga.
> 2500 m	Extremadamente larga.

Fuente: Geocing SAS.

La nomenclatura y colores, de las unidades geomorfológicas locales, se realizará con base y modificada, de la Propuesta Metodológica Sistemática para la Generación de Mapas geomorfológicos Analíticos Aplicados a la Zonificación de Amenaza por Movimientos en Masa Escala 1:100.000 (SGC. 2012).

A continuación se presenta la descripción de las subunidades y elementos o geoformas presentes en el sitio de estudio, ordenadas según su origen.

### 7.3.1 Antrópico

Corresponden a geoformas originadas como resultado de la intervención del hombre sobre el terreno. Para este caso en particular, las actividades antrópicas para construcción de infraestructura civil y vial, modifican la morfología natural del terreno.

Dentro del área de estudio, se ubican actualmente zonas muy modificadas e intervenidas por construcciones y demás actividades asociadas, donde inciden directamente los factores antropogénicos.

El procesamiento de los materiales depositados o extraídos genera gran cantidad de residuos que en ocasiones han sido dispuestos sobre las laderas, o explanaciones de la zona en análisis sin ningún tipo de control.

Debido a su composición litológica y su ubicación espacial, estas geoformas son de tipo:

- Superficie de Explanación (Asp)

Planos de allanamiento hecho en laderas de sustrato rocoso y/o materiales no consolidados con el fin de adecuar el terreno para la construcción de vías y

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

andenes, o con fines de estabilización de laderas, mediante la explanación o terraceos que disminuyen la pendiente del terreno.

Tienen una morfología de pendiente inclinada a muy inclinada (6° a 15°) y una longitud de pendiente corta a moderadamente larga (entre 50m y 500m). Presenta amplia extensión y continuidad, y se encuentran distribuidas en la totalidad de la zona de estudio (Ver Ilustración 37). Esta unidad está cubierta en gran parte en pavimento rígido, en otros sectores en pavimento flexible, y otros sectores sin cubierta alguna.

Planos y campos de llenos antrópicos (Ar)

Planos hechos artificialmente con material de relleno para acondicionar terrenos anegadizos para la construcción de viviendas. Técnicamente son de gravas y arena compactadas, sin embargo también son de escombros y desechos de construcción. Tiene una morfología de pendiente inclinada a muy inclinada (6° a 15°) y una longitud de pendiente generalmente corta (entre 50m y 250m). Presenta amplia extensión y continuidad, y se encuentran distribuidas en gran parte de la zona de estudio (Ver Ilustración 38).



**Ilustración 37. Coordenadas: E=1167878, N=795395. Superficie de explanación (Asp). Fuente: Geocing SAS.**



Ilustración 38. Coordenadas: E=1168136, N=795955, Planos y campos de llenos antrópicos (Ar).  
Fuente: Geocing SAS.

- **Rellenos de escombros y escombreras (Are)**

Sectores que han sido conformados con depósitos antrópicos varios, incrementando su altura con materiales variados, como escombros de construcción, materiales de descapote, plásticos, muebles, electrodomésticos y otros. Estas geofomas presentan moderada a alta susceptibilidad a movimientos en masa, por localizarse en una ladera con inclinación mayor a 30° y moderada a alta susceptibilidad a procesos de erosión hídrica.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



**Ilustración 39. Coordenadas: E=1167535, N=794416, SE. Geoforma de origen antrópico Planos y campos de llenos antrópicos (Ar).  
Fuente: Geocing SAS.**

### **7.3.2 Denudacional**

Incluye las geoformas cuya expresión morfológica está definida por la acción combinada de procesos moderados a intensos de meteorización, erosión y transporte de origen gravitacional y pluvial que remodelan y dejan remanentes de las unidades preexistentes y de igual manera, crean nuevas por la acumulación de sedimentos.

#### **• Escarpe de erosión menor (Deeme)**

Ladera abrupta de longitud corta a larga, de forma recta a cóncava, con pendiente escarpada a muy escarpada, originado por socavación fluvial lateral como parte del proceso de incisión de los cauces de la quebrada El Pueblo y río Pedernal, o por procesos de erosión y movimientos en masa remontantes a lo largo de un drenaje o de una ladera (Ver Ilustración 40).

Esta geoforma ocurre sobre el sustrato rocoso de las formaciones Palermo y Seca, que origina pequeños desplomes de roca, generando escarpes de longitud corta y con ángulos de hasta 90°.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



**Ilustración 40. Coordenadas: E=1167549, N=794418, SE. Geoforma de origen denudacional, Escarpe de erosión menor (Deeme) la Formación Palermo (Ri-E1p)  
Fuente: Geocing SAS.**

- **Loma residual (Dlr)**

Prominencia topográfica con una altura menor de 200 metros sobre su nivel de base local, con una morfología alomada y elongada de laderas cortas a muy cortas, convexas y pendientes muy inclinadas a muy abruptas, constituida por suelo residuales. Su origen está relacionado a procesos intensos de meteorización y erosión diferencial (Ver Ilustración 41). Presenta Moderada a alta susceptibilidad a movimientos en masa y moderada a alta susceptibilidad a procesos de erosión hídrica en zonas desprovistas de vegetación.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL



**Ilustración 41. Coordenadas: E=1167803, N=796125 E. Geoforma de origen Denudacional, Ladera residual (Dir) en suelo residual de la Formación Seca.  
Fuente: Geocing SAS.**

### **7.3.3 Mixto denudacional – agradacional**

Laderas en movimiento o con procesos de inestabilidad reciente (MDAmir-1): Hace referencia a las geoformas originadas por movimientos superficiales tipo reptación y se puede presentar en pendientes de inclinadas a muy escarpadas (desde 10° a mayores de 45°).

Corresponde a movimientos superficiales, que presentan una deformación dúctil, sin existir plano de falla. Se presentan en áreas extensas de terreno, y las geoformas que se observan, por lo general presentan rasgos de desplazamiento mucho menores, como terracillas y lobulaciones; debido principalmente a que el material que las conforma se comporta de manera dúctil (suelos residuales del Batolito de Ibagué y/o depósitos aluviales); sucede en pendientes hasta muy abruptas (hasta con 30° de inclinación).

En la Ilustración 42 se observa una geoforma tipo MDAmir-1 generada por un movimiento superficial tipo reptación sobre una pendiente de 60m de longitud aproximadamente y con pendiente muy inclinada a abrupta.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



**Ilustración 42. Coordenadas: E=1168043, N=795661, NW. Geoforma de origen Mixto Denudacional-Agradacional, Laderas en movimiento o con procesos de inestabilidad reciente (MDAmir-1) generada por un movimiento superficial tipo Reptación hacia el occidente de la zona de estudio.**

Fuente: Geocing SAS.

### • Laderas en movimiento o con inestabilidad reciente (MDAmir-2)

Hace referencia a las geoformas originadas por movimientos en masa recientes, de origen variado; con pendientes de inclinadas a muy escarpadas (desde 10° a mayores de 45°). El material se desprende en conjunto, deslizándose por pendientes abruptas, hasta que finalmente se emplaza sobre pendientes suaves a ligeramente inclinadas que le otorgan una condición relativa de estabilidad, o se depositan en las corrientes de agua.

Para el caso de los deslizamientos, las geoformas son generalmente redondeadas y alargadas como especies de lóbulos o montículos (MDAmir 2). En la Ilustración 43 se observa una geoforma tipo MDAmir-2 generada por un deslizamiento tipo rotacional sobre una pendiente de 60m de longitud aproximadamente y con una pendiente inclinada a abrupta.



**Ilustración 43. Coordenadas: E=1168050, N=795655, N Geoforma de origen Mixto Denudacional-Agradacional generada por un deslizamiento rotacional en la parte superior de una cachea al oeste de la zona de estudio.**

**Fuente: Geocing SAS.**

### **7.3.4 Fluvial**

Estas geoformas están originadas por procesos de erosión generados por las corrientes de los ríos y quebradas, y la acumulación o sedimentación de materiales en las zonas aledañas a dichas corrientes, tanto en épocas de grandes avenidas e inundación, como en la dinámica normal de las corrientes perennes durante la época seca. De esta manera, es posible encontrar geoformas aledañas a ríos y quebradas, y en el fondo de los cauces, cuyos depósitos son transportados y acumulados cuando éstas pierden su capacidad de arrastre.

- **Cauce aluvial (Fca)**

Canal de forma irregular excavado por erosión de las corrientes perennes o estacionales, como es el caso de las quebradas: El Pueblo y Las Moyas, y del río Pedernal en la zona de estudio. Puede presentarse dentro de los macizos rocosos y/o en sedimentos aluviales. Dependen de factores como la pendiente, resistencia del lecho, carga de sedimentos y caudal entre otros; pueden persistir por grandes distancias (Ver Ilustración 44).

Esta unidad por lo general permanece bajo el nivel de la lámina de agua. Es susceptible a quedar inundada en temporada de lluvias, o con aguaceros extraordinarios de larga duración y/o alta intensidad. También se presentan procesos de socavación lateral en el contacto con las unidades Ftar y Ftas.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

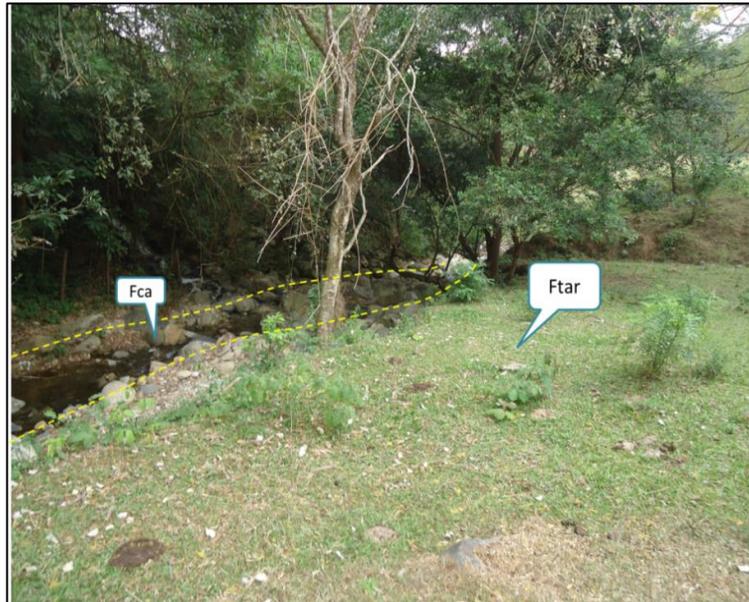


**Ilustración 44. Coordenadas: E=1167808, N=795362, Altura: 897 m, orientación hacia el sur. Geoforma de origen fluvial, Cauce aluvial (Fca) en la quebrada El Pueblo, al occidente del área de estudio. Fuente: Geocing SAS.**

#### • **Terraza de acumulación reciente (Ftar)**

Superficie elongada, plana a suavemente ondulada, modelada sobre sedimentos aluviales, que se presenta en forma pareada, limitada por escarpes de diferente altura a lo largo del cauce de un río. Su origen es relacionado a procesos de erosión y acumulación aluvial, dentro de antiguas llanuras de inundación. Su formación incluye fases de acumulación, incisión y erosión vertical. Estas terrazas pueden ser parte de cauces rectos a meándricos. Su depósito está constituido por bloques, gravas, arenas, limos y arcillas, con disminución del tamaño a medida que se aleja del cauce del río (Ver Ilustración 45). En esta unidad, en la margen derecha de la quebrada El Pueblo, cuando deja su dirección occidente – oriente, y gira al sur, en la entrada del casco urbano, se observan grandes bloques, con diámetros de hasta 1,5 metros, originados por pasadas avenidas torrenciales. Esta unidad es susceptible a ser inundada en temporada de lluvias con aguaceros de alta intensidad y/o larga duración. También es susceptible a procesos de erosión tipo socavación lateral en el contacto con la unidad Fca.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



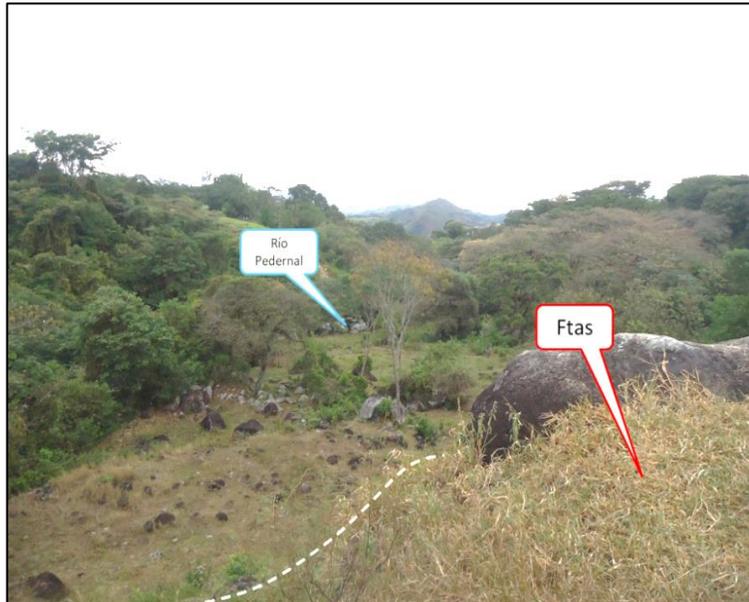
**Ilustración 45. Coordenadas: E=1168250, N=795936, Altura=1045 m, orientación hacia el suroccidente. Geoforma de origen fluvial, Terraza de acumulación reciente (Ftar), margen derecha de la quebrada El Pueblo.**

**Fuente: Geocing SAS.**

**• Terraza de acumulación subreciente (Ftas)**

Superficie plana a suavemente inclinada, remanente de terrazas subrecientes de morfología ondulada, disectadas, localmente basculadas, con inclinaciones entre 3° a 5°, aunque algunos sectores pueden alcanzar los 10° donde se presenta limitada por escarpes de 5 a 20 m. Su origen está relacionado a la ampliación del valle de un río, al ganar importancia la erosión en sus márgenes. La superficie de la anterior llanura aluvial queda adosada a las márgenes del valle en forma de escalón o resalte topográfico que define la terraza. Pueden estar cubiertas por suelos arcillosos fluviales. Su depósito está constituido por arenas, arcillas e intercalaciones locales de grava fina (Ver Ilustración 46). Esta unidad es susceptible a procesos de caída de material, en los escarpes de la misma, y susceptible a procesos de socavación lateral al paso de las corrientes hídricas que la disectan.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



**Ilustración 46. Coordenadas: E=1168103, N=795445, SW. Geoformas de origen Fluvial, Terraza de acumulación subreciente. Nótese al fondo de la imagen el río Pedernal, y más cerca la terraza subreciente a una altura de aproximadamente 4m con respecto al nivel del río. Fuente: Geocing SAS.**

### **7.3.5 Estructural**

Incluye las geoformas que se originan por procesos relacionados con la dinámica interna de la tierra, asociados principalmente al plegamiento y el fallamiento de las rocas, cuya expresión morfológica es definida por la tendencia y la variación en la resistencia de las unidades.

#### **• Ladera estructural**

Superficie en declive, de morfología regular a irregular, definida por planos preferentes (estratos, foliación, diaclasamiento entre otros) paralelos al sentido de la inclinación del terreno. Tiene longitud larga a extremadamente larga y con pendientes inclinadas. En esta geoforma los datos estructurales no permiten establecer una asociación con alguna estructura de tipo regional (anticlinal, sinclinal, homoclinal, monoclinal, entre otros) (Ver Ilustración 47).

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



**Ilustración 47. Coordenadas: E=1167560, N=794432, Altura: 838 m, vista hacia el suroriente. Geoforma de origen estructural tipo Ladera estructural en rocas de la Formación Palermo. Fuente: Geocing SAS.**

**• Ladera contrapendiente (Slcp)**

Superficie en declive, de morfología irregular, definida por estratos dispuestos en sentido contrario de la inclinación del terreno. Se presenta con longitud larga y con pendiente muy escarpada. Sucede sobre rocas de la Formación Palermo (Ver Ilustración 47). Es susceptible a procesos de caída de rocas por fallas en cuña y erosión diferencial, moderada susceptibilidad a procesos de erosión hídrica. A continuación, en la Tabla 10 se presentan las principales características de las unidades geomorfológicas presentes en el área de estudio.

**Tabla 10. Unidades geomorfológicas del casco urbano del municipio de Teruel.**

Unidad	Geoforma	Símbolo	Descripción	Procesos
Antrópico	Superficie de explanación	Asp	Planos de allanamiento hechos con laderas de sustrato rocoso y/o materiales no consolidados con el fin de adecuar el terreno para la construcción o con fines de estabilización de laderas, mediante explanación o terraceos que disminuyen la pendiente del terreno.	Moderada susceptibilidad a movimientos en masa, procesos de erosión hídrica
	Planos y campos de llenos antrópicos	Ar	Planos hechos artificialmente con material de relleno, morfología de pendiente inclinada a muy inclinada (6° a 15°) y una longitud de pendiente generalmente corta (50m a 250m).	Moderada susceptibilidad a movimientos en masa, erosión hídrica en taludes
	Rellenos de escombros y/o escombrera	Are	Sectoros que han sido conformados con depósitos antrópicos varios.	Moderada a alta susceptibilidad a movimientos en masa y de erosión hídrica

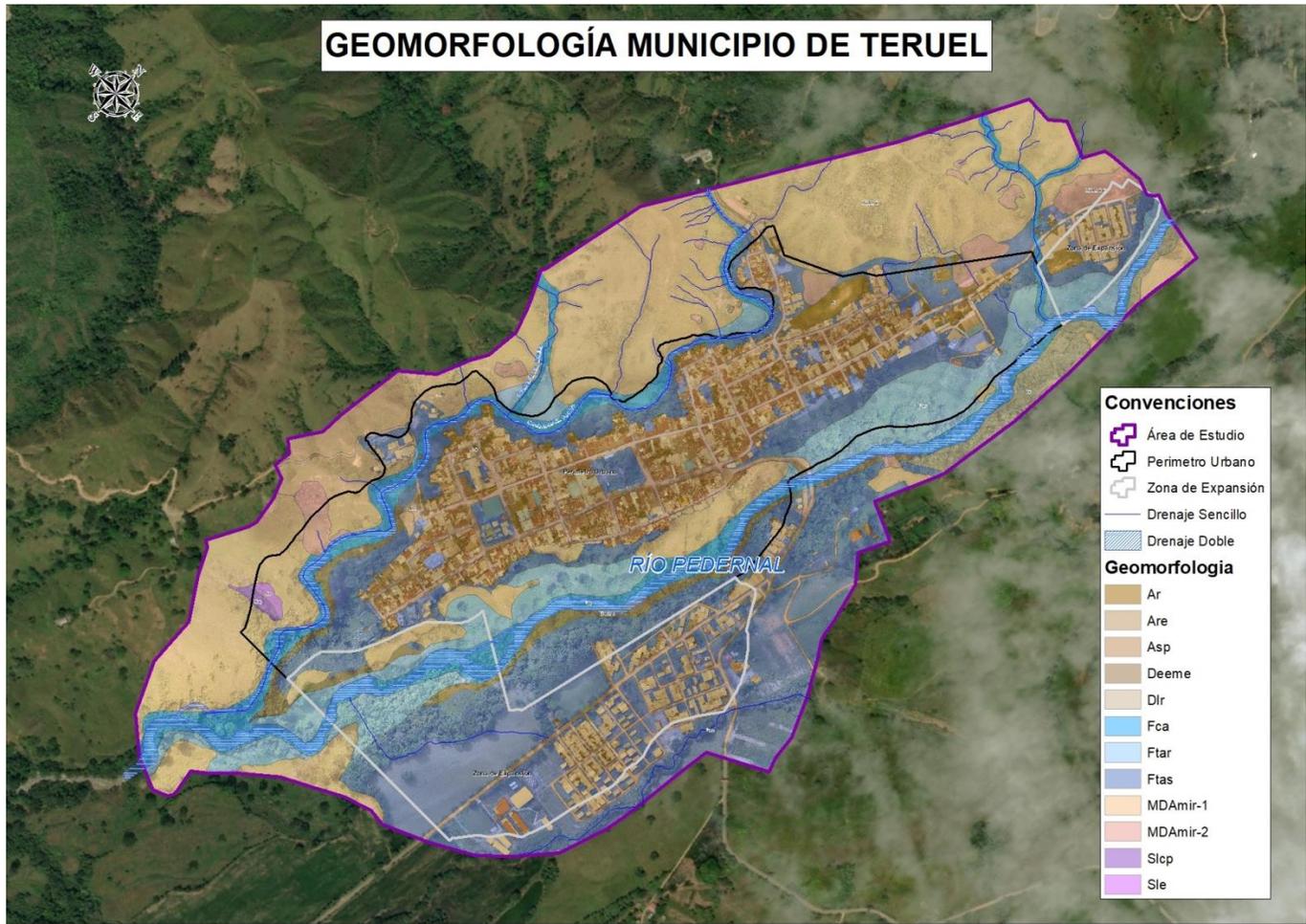
	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

Unidad	Geoforma	Símbolo	Descripción	Procesos
Denudacional	Escarpe de erosión menor	Deeme	Ladera abrupta de longitud corta a larga, de forma recta, con pendiente escarpada a muy escarpada, originado por socavación lateral o por erosión y movimientos en masa remontantes	Moderada a alta susceptibilidad a movimientos en masa y erosión hídrica
	Ladera residual	Dlr	Prominencia topográfica con unas alturas menores de 200 metros sobre su nivel de base local, con una morfología alomada y elongada de laderas cortas a muy cortas, convexas y pendientes muy inclinadas a muy abruptas.	Moderada a alta susceptibilidad a movimientos en masa y procesos de erosión hídrica
Mixto Denudacional - Agradacional	Laderas en movimiento o con procesos de inestabilidad reciente	MDAmir-1	Geoformas originadas por movimientos en masa recientes de origen variado; con pendientes de inclinadas a muy escarpadas (desde 10° a aproximadamente 45°).	Actualmente se presentan procesos de inestabilidad por movimientos en masa superficiales
		MDAmir-2	Geoformas originadas por movimientos en masa recientes de origen variado; con pendientes de inclinadas a muy escarpadas (desde 10° a aproximadamente 45°).	Actualmente se presentan procesos de inestabilidad por deslizamientos rotacionales
Fluvial	Cauce aluvial	Fca	Canal de forma irregular excavado por erosión de las corrientes perennes o estacionales, puede presentarse dentro de los macizos rocosos y/o sedimentos aluviales.	Moderada a alta susceptibilidad a movimientos en masa, socavación de fondo.
	Terraza de acumulación reciente	Ftar	Superficie elongada, plana a suavemente ondulada modelada sobre sedimentos aluviales. Estas terrazas pueden ser parte de cauces rectos a meándricos.	Altamente susceptible a inundaciones.
	Terraza de acumulación subreciente	Ftas	Superficie plana a suavemente inclinada, remanente de terrazas subrecientes de morfología ondulada, disectadas, localmente basculadas, con inclinaciones entre 3° y 10° donde se presenta limitada por escarpes de 5 a 20 m.	Moderada a alta susceptibilidad a movimientos en masa. Moderada susceptibilidad a inundaciones.
Estructural	Ladera estructural	Sle	Superficie en declive, de morfología regular a irregular, definida por planos preferentes	Moderada a alta susceptibilidad a movimientos en masa
	Ladera contrapendiente	Slcp	Superficie en declive, de morfología irregular, definida por estratos dispuestos en sentido contrario de la inclinación del terreno. Se presenta con longitud larga y con pendiente muy escarpada.	Susceptible a caída de rocas por fallas en cuña y erosión diferencial.

Fuente: Geocing SAS.

A continuación se presenta el mapa de la geomorfología para el casco urbano del municipio de Teruel (Anexo 6. MAPAS. GE426-TRL-PSIG-GM-001-00)

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



**Ilustración 48. Mapa de geomorfología casco urbano municipio de Teruel.**  
**Fuente: Geocing SAS.**

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

## 7.4 ANÁLISIS MULTITEMPORAL

En el desarrollo de este capítulo, se trabajó con base en las fotografías aéreas e imágenes, relacionadas en la Tabla 11.

A los diferentes vuelos de aerofotografías, se les realizó un análisis detallado de fotointerpretación, siguiendo un orden cronológico de la fecha más antigua hasta la más reciente, con el fin de obtener información que ilustre sobre la evolución geológica, morfológica, morfodinámica y antrópica, de los terrenos del área en estudio y sus alrededores.

**Tabla 11. Relación de aerofotografías utilizadas para el estudio de Geología y Geomorfología**

Año	Sobre	Vuelo	Escala	Fotos	Procedencia	Ilustración
1978	S-29492	C-1854	1:34.000	37-39	IGAC	45
1988	S-34601	C-2336	1:38460	162-164	IGAC	46
2004	S-39759	C-2737	1:11400	223-227	IGAC	47 y 48
2018					GEOCING SAS	49

Fuente: Geocing SAS.

Del análisis de las aerofotografías e imágenes correspondientes, se observa que la zona de estudio presenta las siguientes características:

- Año 1978

Hacia el oriente del casco urbano se observa un valle aluvial y una especie de franjas subparalelas entre sí de rocas sedimentarias que exhiben planos estructurales (estratificación) hacia el oriente, correspondientes al Grupo Gualanday, mostrando patrones de drenaje tipo subparalelo. La población de Teruel se encuentra sobre depósitos de terraza subrecientes.

Hacia el occidente se presentan rocas ígneas con un patrón dendrítico muy denso. Hacia este mismo margen se marca un posible contacto o cambio litológico en la fotografía aérea.

En el borde oriental del pueblo y hacia ambos márgenes del río Pedernal, existen escarpes de amplia longitud y profundidad, principalmente hacia el extremo sur de la población (Ver Ilustración 49).

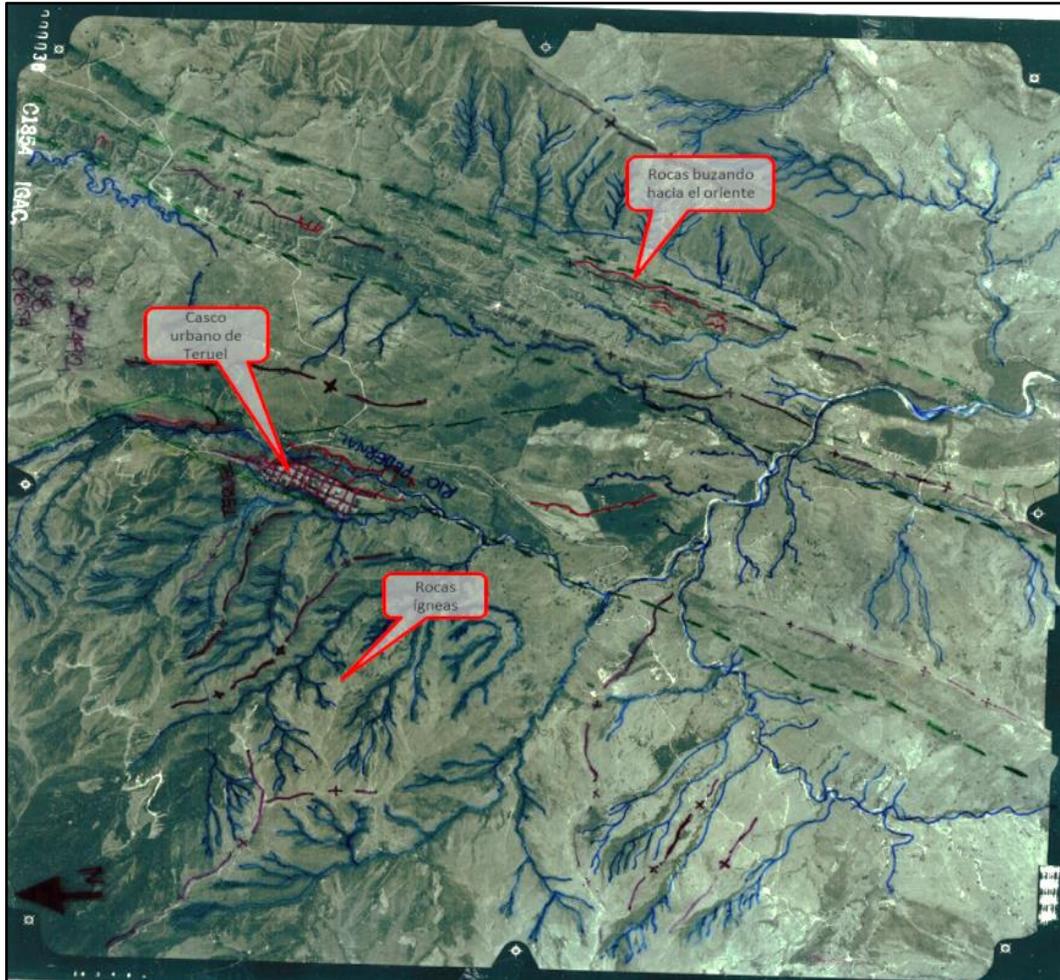


Ilustración 49. Fotografía aérea 038, vuelo C-1854. Año 1988

Fuente: IGAC

No se observa la población de Teruel, pero se observan con mayor detalle los planos estructurales buzando hacia el oriente y los contactos o cambios litológicos (Ver Ilustración 50).



Ilustración 50. Fotografía aérea 163, vuelo C-2336.

Fuente: IGAC

- Año 2004

Con respecto a la ilustración anterior, en esta al tener una escala más grande, se observa con mayor detalle el escarpe de la terraza subreciente sobre la cual se asentó la población de Teruel, y que a su vez delimitan la margen izquierda de la quebrada El Pueblo y la derecha del río Pedernal.

Hacia la parte central de la imagen se marca con rojo un deslizamiento activo, que afecta la parte noroccidental del casco urbano y tiene un movimiento casi norte sur. En las laderas occidentales contiguas, se observan pequeñas lobulaciones en la superficie que indican movimientos superficiales tipo reptación para esta zona.

Más hacia el occidente de la fotografía se observa un cambio en el patrón de drenajes, pasando de subparalelo a dendrítico, por lo que se infiere un cambio en la litología y su competencia, se marca un contacto litológico con líneas verdes discontinuas. Hacia la parte oriental del casco urbano se marca otro contacto

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

litológico por el cambio repentino del patrón de drenaje, pasando de subparalelo espaciado a subdendrítico (Ver Ilustración 51).

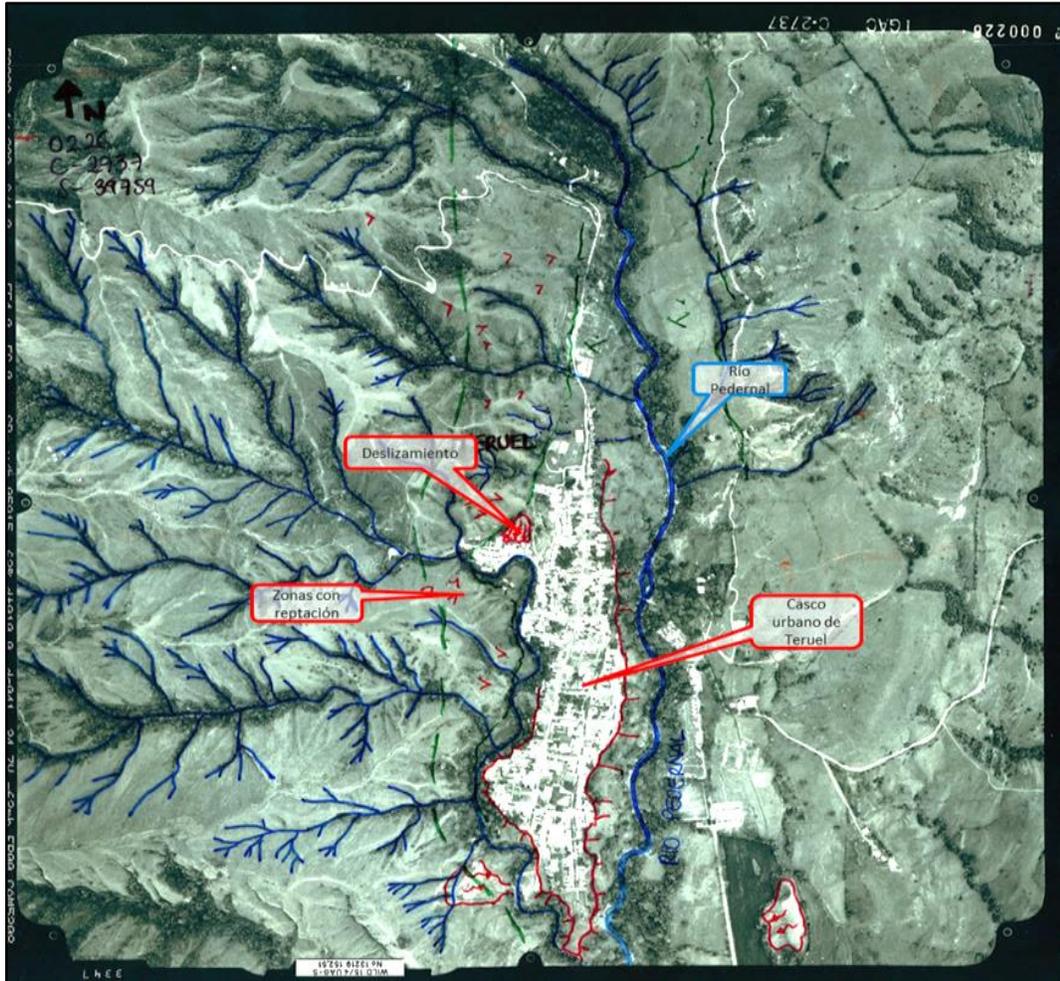


Ilustración 51. Fotografía aérea 226, vuelo C-2737.

Fuente: IGAC

Para el año de la toma de las aerofotografías, se presentan nuevas áreas de expansión urbana, hacia la parte noroccidental y suroccidental de la población de Teruel. Se observa otro deslizamiento hacia el suroeste, con dirección de desplazamiento SW-NE (Ver Ilustración 52).

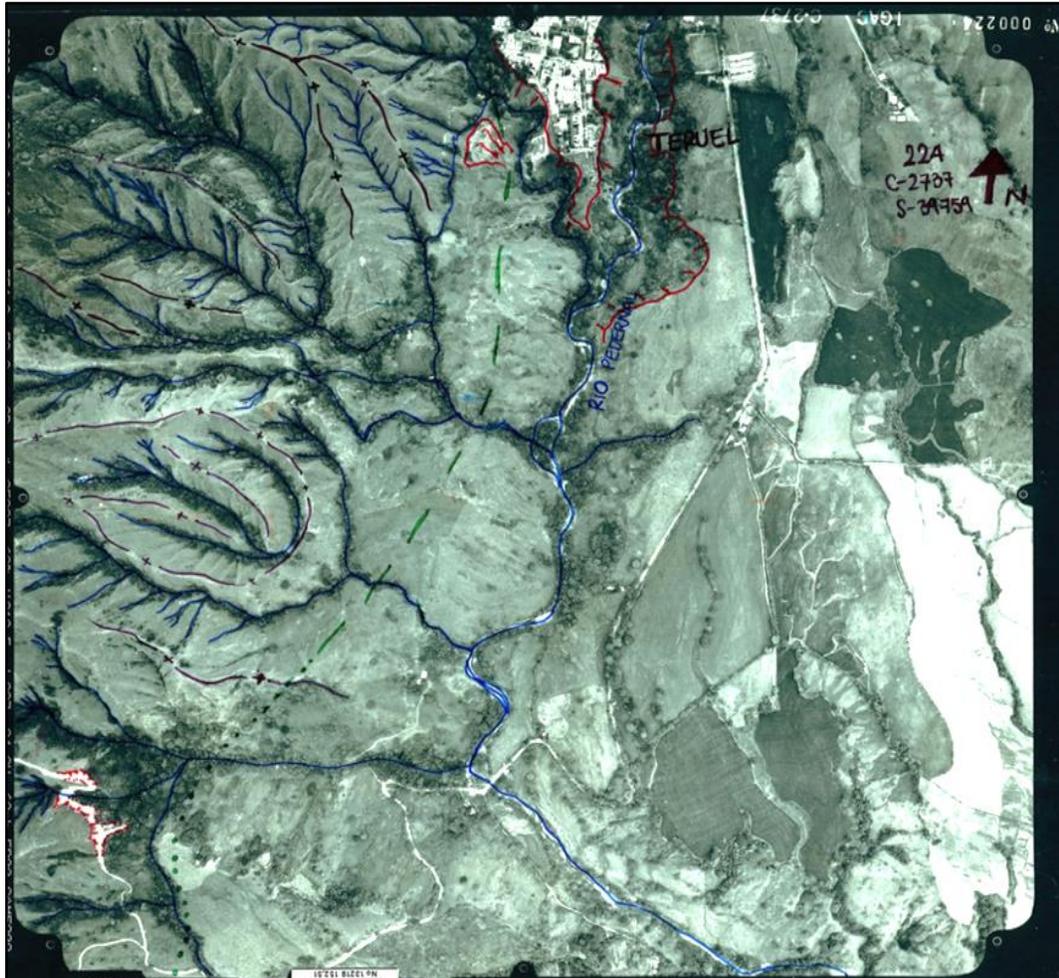


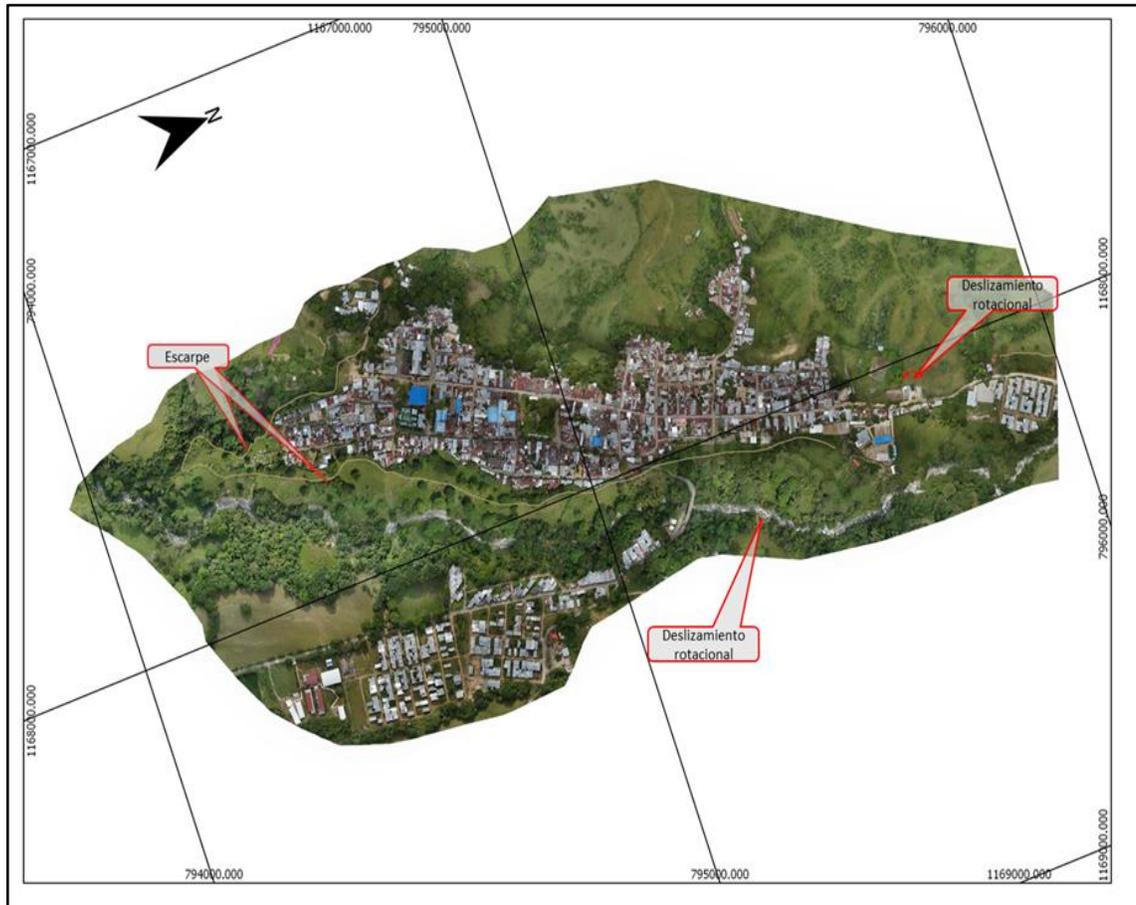
Ilustración 52. Fotografía aérea 22A, vuelo C-2737.

Fuente: IGAC

- Año 2018

Zonas de expansión urbana completamente definidas y pobladas, con alta densidad de viviendas a lo largo de la quebrada El Pueblo (margen izquierdo) y del río Pedernal. Las laderas al occidente del casco urbano, compuestas por suelo residual del Batolito de Ibagué o de la Formación Palermo presentan movimientos superficiales tipo reptación.

Es importante resaltar que el casco urbano se encuentra sobre una terraza aluvial subreciente (S<sub>tfasr</sub>-mm) con escarpes de gran magnitud principalmente hacia la parte sur del pueblo (desde la calle 13 hasta el cementerio). En la imagen se pueden interpretar unos procesos (deslizamientos rotacionales), uno en la parte occidental, detrás de la Estación de gasolina, y otro en la parte oriental, en la margen izquierda del río Pedernal (Ver Ilustración 53).



**Ilustración 53. Ortofoto 2018, casco urbano del municipio de Teruel, departamento del Huila.  
Fuente: Geocing SAS.**

- **Resumen análisis multitemporal**

A través de los años evaluados en el análisis multitemporal, se observa que la población de Teruel siempre ha estado enmarcada entre la quebrada El Pueblo y el río Pedernal, y que todo su desarrollo demográfico, incluidas sus zonas de expansión actuales se han dado entre o alrededor de estos cauces.

La quebrada El Pueblo fluye con un sentido casi de Occidente a Oriente, pero cuando llega al casco urbano cambia bruscamente, manteniendo un sentido de norte a sur, fluyendo en sentido casi paralelo al río Pedernal. La quebrada El pueblo tiene una longitud cercana a los 2,0 km, mientras que la del río Pedernal es un poco mayor a los 2,5 km en su recorrido por el casco urbano de Teruel.

Las laderas al occidente del casco urbano presentan una inestabilidad aunque superficial, es generalizada y constante en toda esta zona.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

## 7.5 MORFODINÁMICA

A continuación, se describen los principales tipos de procesos erosivos y de movimientos en masa, observados y/o con alta posibilidad de ocurrencia en el casco urbano y zonas aledañas.

Es de recordar que los procesos erosivos, si no son mitigados a tiempo, pueden favorecer la ocurrencia de movimientos en masa. La probabilidad de ocurrencia de estos FRM, constituyen amenazas que al materializarse pueden generar riesgo para la infraestructura y/o población del casco urbano y su zona de expansión.

### • Erosión

En la región estudiada se presentan dos tipos de erosión, una que es producto de la acción natural combinada, de diferentes agentes atmosféricos y geológicos sobre el paisaje, que provoca el desgaste natural de la superficie del suelo, la modelación del relieve, la meteorización de las rocas y la formación de suelos; y la erosión provocada por la intervención antrópica sobre la naturaleza, por medio de la tala de bosques, las quemas, la construcción de vías de comunicación y la utilización de sistemas de explotación agropecuarios inadecuados entre otros, que ha resultado en la ruptura del equilibrio entre el suelo, la vegetación, el agua y el viento (Bahamon y Gaitán, 1981).

### • Erosión, tipo socavación lateral

Este tipo de erosión se produce cuando en épocas de lluvias, el aumento de los caudales de corrientes de agua como ríos y quebradas, trae como consecuencia el aumento en la capacidad de carga y poder erosivo de las corrientes, dando lugar al socavamiento lateral de los cauces o a la profundización de los mismos (socavación de fondo), que puede llegar a desestabilizar los taludes aledaños.

Es importante anotar que el socavamiento lateral del cauce se da principalmente en corrientes sinuosas o meándricas, típicas del piedemonte y el sector de bajo gradiente de las mismas cerca de su nivel base de erosión. Este tipo de erosión, excava la parte inferior de los escarpes o taludes de las márgenes de los cauces, específicamente hacia el costado convexo en los cambios de dirección del cauce.

Las corrientes de alta montaña, de cauces siempre más rectos e incisados, rara vez presentan socavamiento lateral; en cambio la ganancia en la capacidad de carga y poder erosivo de la corriente se invierte en la profundización de su canal, que puede llegar a desestabilizar las márgenes de las corrientes por falta de soporte, provocando movimientos en masa hacia las mismas.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

La deforestación de las márgenes de los ríos y quebradas, así como el establecimiento de cultivos limpios en los taludes que dan hacia las corrientes favorece ampliamente la ocurrencia de la erosión fluvial (Bahamon y Gaitán, 1981).

En la Ilustración 54 se muestra, uno de varios sectores donde actúa este proceso en la zona de estudio; se indica con un círculo rojo el faltante de material por la socavación en la margen izquierda de la quebrada El Pueblo, que al pasar el tiempo puede generar un proceso retrogresivo de caída de materiales. Este procesos se ha tratado de minimizar, localmente, con la implantación de muros en concreto y en gaviones; quedando sectores con mayor susceptibilidad al faltar este tipo de obras. Este proceso se observa actuante, en mayor proporción relacionado con el cauce de la quebrada El Pueblo, y en menor proporción, en dos sectores en la margen izquierda del río Pedernal.



**Ilustración 54. Coordenadas: E=1167775, N=795137SW Erosión lateral en la margen izquierda de la quebrada El Pueblo. Nótese el desprendimiento y la falta de material en el sector encerrado con un círculo rojo.**

**Fuente: Geocing SAS.**

### • Erosión, tipo laminar, en surcos y en cárcavas

El proceso tipo erosión laminar, se da en zonas donde se presenta alta precipitación y poseen altas pendientes, poca cobertura vegetal, alta erodabilidad, es decir, el sustrato está compuesto por rocas o depósitos recientes deleznable o muy fracturados, lo que permite el fácil arrastre de las partículas de suelo por el agua, y no tienen canal de drenaje definido.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

El agua lluvia, durante los fuertes aguaceros, ataca el suelo en su parte superficial, donde sus partículas son desprendidas por el impacto de las gotas y al saturarse el suelo, son arrastradas por el agua en forma homogénea durante la fase de escurrimiento como un flujo delgado y relativamente uniforme (Van Zuidam et al., 1985).

Algunos autores se refieren a este tipo de erosión como “erosión hídrica pluvial” y “escurrimiento superficial difuso”, haciendo la separación entre el momento en que las partículas de suelo son dispuestas para el transporte como un flujo laminar y el movimiento mismo de las partículas.

La costumbre que tienen muchos campesinos de efectuar quemas y cultivos limpios, conjuntamente con las prácticas de desyerbe con azadón favorecen este tipo de erosión (Bahamon y Gaitán, 1981).

Los procesos de erosión tipo surcos y cárcavas, es un tipo de erosión concentrada. Este tipo de erosión se presenta cuando el agua de escorrentía se concentra donde antes existía una zona con procesos de erosión laminar, formando pequeños canales, que se denominan surcos, de poca profundidad y donde se produce arrastre de partículas de suelo, que pueden ser observadas dentro de los canales cuando éstos están secos. Cuando se da una mayor concentración del flujo de escorrentía, las irregularidades del terreno propician la unión de varios surcos, hasta convertirse en canales mucho más largos, amplios y profundos, conocidos con el nombre de cárcavas.

La formación de surcos y cárcavas se presenta generalmente en suelos poco permeables, en los que la escorrentía excede ampliamente a la infiltración durante las lluvias, y depende también de la pendiente del terreno, la cobertura vegetal y el régimen de lluvias.

En la Ilustración 55 se observa erosión hídrica laminar, en surcos, que ha llegado a cárcavas, en una ladera que exhibe suelos residuales de la Formación Palermo (Ri-E1p), localizada al suroccidente del casco urbano y sobre la margen derecha de la quebrada El Pueblo. Esta ladera adicionalmente presenta procesos de reptación, y se encuentra muy cerca del contacto de la Formación Palermo con el Batolito de Ibagué.

Se observan dos (2) grandes cárcavas, que pueden tener un ancho hasta de 3 metros, alturas hasta de dos (2) metros, y longitudes hasta de cincuenta (50) metros.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



**Ilustración 55. Coordenadas: E=1168216, N=795798, SW Erosión hídrica laminar, en surcos y en cárcavas, sobre suelos residuales de la Formación Palermo (Ri-E1p) al suroccidente de la zona de estudio.**

**Fuente: Geocing SAS.**

- **Movimientos en masa**

Este término se utiliza de manera general para designar una variedad de procesos mediante los cuales masas de suelo y/o roca son movidas, como una sola unidad o en pocas unidades discretas, por acción de la fuerza de gravedad, en forma rápida o lenta, de un lugar a otro.

Los principales factores que contribuyen al desencadenamiento de remociones en masa son el relieve, la geología, condiciones meteorológicas, e, indudablemente, la acción antrópica. Por lo general el detonante es el agua lluvia.

El relieve influye en la medida en que las rocas y suelos poseen propiedades mecánicas que determinan la altura y pendiente máxima a la que el material es estable, por debajo de las cuales no se presentan remociones en masa.

La geología, incluyendo no sólo el tipo de litología, sino también la presencia de estructuras tales como fallas, la actividad sísmica y la actividad volcánica, puede condicionar o no la ocurrencia de remociones en masa. Ejemplo de esto es el caso de la Avalancha del río Páez, la cual fue desencadenada por un sismo que indujo cientos de deslizamientos simultáneos, los cuales aportaron gran cantidad de material a la corriente del río generando la avalancha.

Condiciones meteorológicas, pueden favorecer la inestabilidad del subsuelo al aportar grandes cantidades de agua lluvia, la cual, además de aumentar la presión

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

de poros y fisuras en el suelo y el peso del mismo, favorece los procesos erosivos al formar corrientes superficiales.

Cuando la actividad humana se realiza sin ninguna planificación, especialmente en obras viales, explotación de minas, desarrollos urbanísticos, rellenos mal efectuados, cortes en el perfil natural de las laderas, deforestación y prácticas agrícolas inadecuadas entre otros, promueve procesos de inestabilidad en suelos que en cierta medida son vulnerables.

#### • **Deslizamientos rotacionales**

Es un movimiento ladera abajo, de una masa de suelo o roca cuyo desplazamiento ocurre predominantemente a lo largo de una superficie de falla, o de una delgada zona en donde ocurre una gran deformación cortante.

En el sistema de Varnes (1978), se clasifican los deslizamientos, según la forma de la superficie de falla por la cual se desplaza el material, en traslacionales y rotacionales. Los deslizamientos traslacionales a su vez pueden ser planares o en cuña. Sin embargo, las superficies de rotura de movimientos en masa son generalmente más complejas que las de los dos tipos anteriores, pues pueden consistir de varios segmentos planares y curvos, caso en el cual se hablará de deslizamientos compuestos (Hutchinson, 1988) (Tomado de Movimientos en Masa en la Región Andina. Gemma, 2007).

Los deslizamientos rotacionales se dan a lo largo de superficies curvas con forma de cuchara con su concavidad hacia arriba. Este tipo de deslizamiento se presenta principalmente en materiales arcillosos o no consolidados. El material se puede desplazar como un todo sobre la superficie curva o como una serie de unidades a lo largo de sucesivos desplazamientos.

#### • **Deslizamiento parte alta de estación de servicio**

En la Ilustración 56 se demarca en rojo, la zona donde sucede un deslizamiento tipo rotacional que tiene lugar en la parte occidental de la estación de servicio a la entrada del municipio, cuya dirección de movimiento es aproximada de occidente a oriente. Tiene unas dimensiones aproximadas de: longitud de 60m, un ancho de 40 m y se presenta en una ladera con 30° de inclinación aproximadamente. Este proceso presenta una superficie irregular, con la presencia de tres (3) escarpes perpendiculares al movimiento y en forma semicircular.

Como factores contribuyentes se encuentran la inclinación de la ladera, el cambio de uso en el suelo, la configuración tectónica regional, la naturaleza heterogénea de los materiales involucrados (contacto suelo residual– roca del Batolito de Ibagué) y el corte realizado para la construcción de la estación de servicio.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

Posiblemente los factores detonantes son la infiltración y el paso superficial de escorrentía de aguas lluvias, que contribuyeron a la inestabilidad generada por el corte de la ladera. En la parte inferior, se intentó contener el proceso con muro en gaviones, los cuales a la fecha presentan deformaciones (Ilustración 57). Es un proceso con estado de la actividad: activo. Distribución de la actividad: retrogresivo. Estilo de la actividad: Individual o único.



**Ilustración 56. Coordenadas: E=1168050, N=795655, E. Deslizamiento rotacional. Fuente: Geocing SAS.**



**Ilustración 57. Coordenadas: E=1167803, N=796125, N. Deformación de los gaviones en la parte inferior del deslizamiento. Fuente: Geocing SAS.**

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

- **Deslizamiento cancha de microfútbol**

En la Ilustración 58 se demarca en rojo la corona del deslizamiento rotacional que tiene lugar en la parte occidental de la cancha de microfútbol, contigua a la estación de servicio, cuya dirección de movimiento es de occidente a oriente. Tiene aproximadamente 50m de longitud, un ancho de 25 m y se presenta en una ladera con 20° de inclinación aproximadamente.



**Ilustración 58.** Coordenadas: E=1168050, N=795655, Escarpe en forma de media luna (corona del deslizamiento)  
Fuente: Geocing SAS.

La Ilustración 59 muestra como el deslizamiento deformó la placa de la cancha y fracturo el muro de contención en concreto al occidente de la cancha.



**Ilustración 59.** Coordenadas: E=1168050, N=795655, N. Levantamiento de la placa  
Fuente: Geocing SAS

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

El desplazamiento del material generó que el muro se fracturara y se desplazara alrededor de 70 cm, permitiendo el paso de personas a través de él (Ilustración 60). Cabe aclarar que este muro puede tener hasta 50 cm de espesor, pero se observa en la fractura del mismo, que no tiene una buena cantidad de varillas en su estructura.



**Ilustración 60. Coordenadas: E=1168050, N=795655, orientación hacia el norte. Separación del muro de contención de la cancha de aproximadamente 70 cm. Fuente: Geocing SAS.**

Según habitantes, este proceso se inició luego del corte contiguo para la construcción de la estación de servicio, en donde el material de corte fue llevado a la parte superior de la ladera (hoy parte alta del proceso), y al parecer el sobrepeso generó la afectación. Actualmente se observan grietas longitudinales y transversales, escarpes, muro roto y la placa de la cancha se encuentra levantada.

Como factores contribuyentes se encuentran: la inclinación de la ladera, el cambio de uso en el suelo, la configuración tectónica regional, la infiltración y el paso de aguas de escorrentía, la naturaleza heterogénea de los materiales involucrados (contacto suelo residual – roca del Batolito de Ibagué), la sobrecarga de material en la parte alta de la ladera y el corte realizado para la construcción de la cancha de microfútbol.

Posiblemente el factor detonante es la infiltración y el paso superficial de escorrentía de aguas lluvias, que contribuyeron a la inestabilidad generada por la sobrecarga de material en la parte superior de la ladera. El vector principal de desplazamiento de este deslizamiento va de occidente a oriente.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

Es un proceso con estado de la actividad: activo. Distribución de la actividad: retrogresivo. Estilo de la actividad: Individual o único.

• **Sector suroeste margen derecha de la quebrada El Pueblo**

Este deslizamiento es rotacional, sin embargo presenta un estilo de actividad compleja, ya que dentro del mismo ocurren una serie de movimientos en masa (deslizamiento rotacional, flujos de tierras y reptación), relacionados genéticamente entre sí, y que juntos contribuyen a la inestabilidad del sector. El ancho de este proceso es de aproximadamente 150 metros y su longitud es de 85 metros. Sucede dentro de suelos residuales del Batolito de Ibagué y de la Formación Palermo. En la Ilustración 61 se observan flujos de tierras en la parte superior del movimiento en masa, que suceden dentro de un deslizamiento rotacional, que en la parte inferior finaliza como un movimiento en masa tipo Reptación.

Como agentes contribuyentes a estos procesos se tiene: la litología aflorante que corresponde a suelos residuales de textura arcillosa, la ladera escarpada que se presenta en la parte alta, la traza de la falla de cabalgamiento que transcurre en el cambio fuerte de pendiente dentro del proceso y el cambio en el uso del suelo. Como agente detonante se tiene la infiltración y el paso superficial de escorrentía de aguas lluvias. El vector principal de desplazamiento de este proceso es hacia el suroriente. Es un proceso con estado de la actividad: activo. Distribución de la actividad: retrogresivo. Estilo de la actividad: complejo.



**Ilustración 61. Movimiento en masa con estilo de actividad compleja. Sector suroeste de la zona de estudio. Orientación de la ilustración hacia el suroccidente.**

**Fuente: Geocing SAS.**

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

### • Talud vía veredal sector suroccidental

Se presentan una serie de deslizamientos rotacionales en ladera afectada por procesos de Reptación sobre suelos residuales de textura arcillosa del Batolito de Ibagué, con una inclinación de ladera escarpada.

El ancho de estos procesos es de aproximadamente 150 metros, y el largo máximo es de 35 metros.

Como agentes contribuyentes a estos procesos se tienen: la litología aflorante que corresponde a suelos residuales de textura arcillosa, la inclinación de la ladera que es escarpada, la cercanía a la traza de la falla de cabalgamiento, el corte a media ladera para el trazado de la vía veredal y el cambio en el uso del suelo. Como agente detonante se tiene la infiltración y el paso superficial de escorrentía de aguas lluvias (Ilustración 62). El vector principal de desplazamiento de este proceso es hacia oriente - suroriente. Estos procesos tienen un estado de la actividad: Activo. Distribución de la actividad: Retrogresivo. Estilo de la actividad: Compuesto.



Ilustración 62. Deslizamientos rotacionales en el talud de una vía veredal en el sector suroeste del casco urbano.

Fuente: Geocing SAS.

### • Reptación

La reptación se refiere a aquellos movimientos lentos del terreno en donde no se distingue una superficie de falla. La reptación puede ser de tipo estacional, cuando se asocia a cambios climáticos o de humedad del terreno, y verdadera cuando hay un desplazamiento relativamente continuo en el tiempo.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b>

Dentro de este movimiento se incluyen la soliflucción y la geliflucción, este último término reservado para ambientes periglaciales. Ambos procesos son causados por cambios de volumen de carácter estacional en capas superficiales del orden de 1 a 2 metros de profundidad, combinados con el movimiento lento del material ladera abajo.

La reptación de suelos y la soliflucción son importantes en la contribución a la formación de delgadas capas de suelo coluvial a lo largo de laderas de alta pendiente.

Estas capas pueden ser subsecuentemente la fuente de deslizamientos de detritos superficiales y de avalanchas de detritos.

Por lo general están estrechamente relacionados con procesos de variación de humedad en el suelo, ya que el agua favorece, actuando como una especie de lubricante en las zonas de cambio de material, además de contribuir a un aumento en el peso que debe soportar el perfil del suelo.

Se manifiestan en forma de pequeñas ondulaciones del terreno, pequeños escarpes y/o inclinaciones de los árboles los cuales ayudan a inferir la dirección del movimiento. Suelen ser signo de una futura inestabilidad generalizada.

Un factor que contribuye a este tipo de movimiento es la expansión y contracción alternantes del material superficial, causadas por la humectación y sequedad posterior en la zona, debido a la gran cantidad de material fino que posee la matriz en esta zona.

Este tipo de procesos suceden indiferentemente en la zona de estudio sobre suelos residuales de origen ígneo y sedimentario, de textura arcillosa.

Hacia la parte occidental del área de estudio, estos procesos suceden en mayor proporción sobre suelos residuales del Batolito de Ibagué (ver Ilustración 63), en laderas con inclinación hasta muy abruptas (hasta 30°), cubiertas en pastos y algunos pequeños árboles. Estos terrenos están dedicados al pastoreo para el ganado.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



**Ilustración 63. Coordenadas: E=1167972, N=795696, W. Inestabilidad generalizada por movimientos superficiales tipo reptación.  
Fuente: Geocing SAS.**

En el sector suroeste de la zona de estudio, estos procesos suceden sobre laderas donde afloran suelos residuales de la Formación Palermo. Sobre las márgenes del río Pedernal, estos procesos suceden erráticamente, sobre laderas donde afloran depósitos de la unidad Stfar (depósitos aluviales recientes) y Stfas (depósitos aluviales subrecientes).

#### • Caídas

La caída es un tipo de movimiento en masa en el cual uno o varios bloques de suelo o roca se desprenden de una ladera, sin que a lo largo de esta superficie ocurra desplazamiento cortante apreciable. Una vez desprendido, el material cae desplazándose principalmente por el aire pudiendo efectuar golpes, rebotes y rodamiento (Varnes, 1978). Dependiendo del material desprendido se habla de una caída de roca, o una caída de suelo. El movimiento es muy rápido a extremadamente rápido (Cruden y Varnes, 1996), es decir con velocidades mayores a  $5 \times 10^1$  mm/s.

Una característica importante de las caídas, es que el movimiento no es masivo ni del tipo flujo. Existe interacción mecánica entre fragmentos individuales y su trayectoria, pero no entre los fragmentos en movimiento.

Existe alta susceptibilidad a esta clase de procesos en los sectores donde afloran depósitos de la unidad Stfas (depósitos aluviales subrecientes), donde por erosión se lava la matriz de estos depósitos, y se caen los bloques contenidos en la misma, como actualmente se observa sobre la margen izquierda y derecha de la

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

quebrada El Pueblo, aguas abajo de la salida veredal localizada al suroccidente del casco urbano (Ilustración 22 e Ilustración 40).

• **Flujos.**

Es un tipo de movimiento en masa que durante su desplazamiento exhibe un comportamiento semejante al de un fluido; puede ser rápido o lento, saturado o seco. En muchos casos se originan a partir de otro tipo de movimiento, ya sea un deslizamiento o una caída (Varnes, 1978).

Hungr et al. (2001), clasifican los flujos de acuerdo con el tipo y propiedades del material involucrado, la humedad, la velocidad, el confinamiento lateral y otras características que los hacen distinguibles; así mismo, aportan definiciones que enfatizan aspectos de uso práctico, útiles para el estudio de amenazas.

Es importante hacer la distinción entre los diferentes tipos de flujos cuando se analiza la amenaza a que está sometida un área ya que existe un potencial destructivo, característico de cada tipo. Por ejemplo, es importante establecer la diferencia entre flujo de detritos y avalancha de detritos. En el caso del flujo de detritos (movimiento en masa canalizado) la amenaza se deberá concentrar en una trayectoria pre-establecida o canal y en el área de depositación o abanico, áreas potencialmente afectadas. En cambio, una avalancha de detritos puede desplazarse sobre áreas abiertas en laderas de alta pendiente. Por supuesto las avalanchas de detritos con frecuencia encuentran un canal pre-existente y se convierten en flujo de detritos.

Otra distinción importante de uso práctico para el estudio de amenazas es aquella entre flujos de detritos y crecidas de detritos (inundaciones o avenidas de detritos). Las crecidas (debris flood) presentan un potencial destructivo relativamente bajo con respecto a los flujos de detritos (debris flow) (Hungr, 2005) (Tomado de Movimientos en Masa en la Región Andina. Gemma. Año 2.007). Hacia el costado noroeste del casco urbano, cerca de la carrera 10 con calle 6, en lote perimetral, se observa un terreno con presencia de lóbulos y saturado. Se induce la presencia de un movimiento en masa, tipo flujo de tierras, con velocidad de movimiento lenta y dirección hacia el sur (Ilustración 64).

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



Ilustración 64. Coordenadas: E=1167781, N=795463, NE. Zona de anegación e inundación.  
Fuente: Geocing SAS.

#### • Eventos

En el casco urbano, existe una alta posibilidad de presentarse inundaciones, principalmente en la unidad geomorfológica Ftar (Terraza de acumulación reciente), tanto en las asociadas al curso de la quebrada El Pueblo, como las asociadas al cauce del río Pedernal. La Ilustración 65 muestra viviendas sobre la unidad Ftar, ubicada sobre la margen izquierda de la quebrada El Pueblo en el casco urbano. En este sector se implantó un muro en concreto para minimizar procesos de socavación lateral. Hay que tener en cuenta, que en el pasado este cauce depositó sedimentos en el lugar en donde actualmente se encuentran las viviendas de la imagen.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



**Ilustración 65. Coordenadas: E=1167775, N=795137 SE, aguas abajo. Muro sobre la margen izquierda de la quebrada El Pueblo.  
Fuente: Geocing SAS.**

En la Ilustración 66, se observa un sector en la margen derecha de la quebrada El Pueblo. En el ingreso de esta corriente de agua por el costado occidental del casco urbano, se observan grandes bloques, subredondeados a redondeados y alargados, depositados en eventos de avenidas torrenciales encausadas en la quebrada El Pueblo. En la Ilustración 67 se muestran bloques subredondeados heterométricos (de hasta 4 m de diámetro) sobre la unidad Ftas (Terraza de acumulación subreciente) que se encuentra aproximadamente a unos 25 m de altura con respecto al nivel del río, estos bloques son la evidencia de eventos de avenida torrencial antiguos, que con la fuerza del agua transportaron estos grandes fragmentos de rocas a zonas altas.



**Ilustración 66.** Coordenadas: E=1167754, N=795331S E. Sector de la margen derecha de la quebrada El Pueblo.

**Fuente: Geocing SAS.**



**Ilustración 67.** Coordenadas: E=1168105, N=795448, SE. Evidencia de eventos de avenida torrencial en el margen derecho del río Pedernal.

**Fuente: Geocing SAS.**

Se reportan zonas de inundación y anegación, en el sector reportado en la Ilustración 68, se manifiesta inundación del terreno en temporada de lluvias, inundación que afecta las viviendas cercanas.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



**Ilustración 68. Coordenadas: E=1167861, N=795602, Altura: 924 m, orientación hacia el nororiente.  
Zona de anegación e inundación.  
Fuente: Geocing SAS.**

Se reportan zonas de anegación en el sector reportado en la Ilustración 68, se manifiesta inundación del terreno en temporada de lluvias, anegación que afecta las viviendas cercanas. Cabe resaltar que en este sector se observan lóbulos en el terreno, resultado de un movimiento en masa tipo flujo de tierras, con velocidad muy lenta. Es importante notar, que en charla con el Comandante del Cuerpo De Bomberos, el Sr Comandante Cesar, nos enseñó el equipo de Alertas Tempranas donde se tienen monitoreados varios sectores en el área rural por procesos activos, siendo notorios los sectores Manzanares y Los Pinos, donde se puede generar un desplazamiento de material sobre el cauce del río Pedernal, que haría posible una avenida torrencial sobre el mismo.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

## 8. CONDICIONES HIDROGEOLÓGICAS

En 1998, la Organización de las Naciones Unidas declaró a las aguas subterráneas como un recurso "invisible", no sólo porque están ocultas -no se pueden ver directamente-, sino porque los problemas que se presentan por su escaso o excesivo uso, se deben en parte a que muchas veces no se conoce cómo están distribuidas, y además, a que se ignora la importancia de protegerlas en el marco de una gestión integral de los recursos hídricos. Los recursos de aguas subterráneas no son ilimitados, y están sujetos a problemas de agotamiento y contaminación cada vez mayores.

En este capítulo se presenta una breve síntesis teórica, que persigue como único fin clarificar algunos conceptos básicos necesarios para la correcta comprensión del trabajo.

### 8.1 HIDROGEOLOGÍA REGIONAL

Con base en la Ilustración 69, tomada del Mapa de Unidades Hidroestratigráficas de Colombia, del Instituto de Hidrología, Meteorología y estudios Ambientales (IDEAM, 2010), la zona de estudio se localiza en un sector de acuíferos con porosidad intergranular, moderadamente productivos, discontinuos en sedimentos no consolidados o rocas terciarias poco consolidadas.

Para el concepto de unidad hidroestratigráficas, se tomaron apartes de la Metodología para la definición de unidades hidroestratigráficas: caso del acuífero del Valle del río Yaqui, Sonora, México (Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana, Volumen 63, número 1, 2011, p: 119-135).

El concepto de unidad hidroestratigráficas, fue originalmente definido por Maxey (1964) como un cuerpo de roca de extensión considerable que forma parte de un esquema geológico con un sistema hidrológico distintivo, y como unidad fundamental para describir sistemas hidrogeológicos en el campo basada en las propiedades de las rocas que afectan las condiciones del agua subterránea. Seaber (1986, 1988) definió la unidad hidroestratigráficas como un cuerpo de roca que se distingue por su porosidad y permeabilidad y consideró que esta definición está más de acuerdo con las reglas de nomenclatura estratigráfica (Salvador, 1994; NACSN, 2005) y con la idea de que las unidades litoestratigráficas, aloestratigráficas, pedoestratigráficas y litodémicas, son unificadas y delimitadas con base en sus características hidrológicas observables y que relacionan sus intersticios. Copeland et al., (2009) define una unidad hidroestratigráficas como un cuerpo de roca distinguido y caracterizado por su porosidad y permeabilidad, unificada y delimitada con base en sus características hidrológicas observables relacionadas con sus intersticios. Indican que los dos términos, tanto "unidad

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

hidroestratigráficas”, como “unidad hidrogeológica” son aceptable, pero que se recomienda el uso del primero.

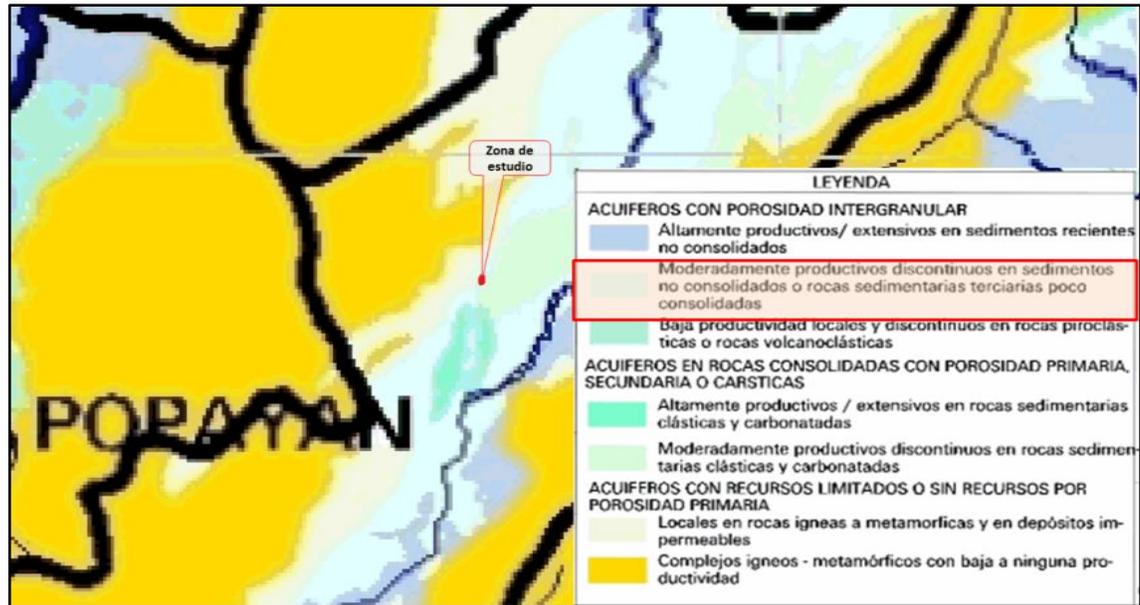


Ilustración 69. Mapa de Unidades Hidroestratigráficas de Colombia.

Fuente: IDEAM

Con base en el Mapa Hidrogeológico de Colombia (SGC, 1989) (Ver Ilustración 70), la zona de estudio se localiza en un sector con sedimentos y rocas con porosidad primaria de interés hidrogeológico, en acuíferos locales de extensión variable en depósitos de granulometría media a fina, con frecuencia en lentes discontinuos. Generalmente contiene aguas de buena calidad química, y en rocas sedimentarias de ambiente continental y transicional depositadas durante el Terciario superior. Conglomerados, areniscas y arcillolitas.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

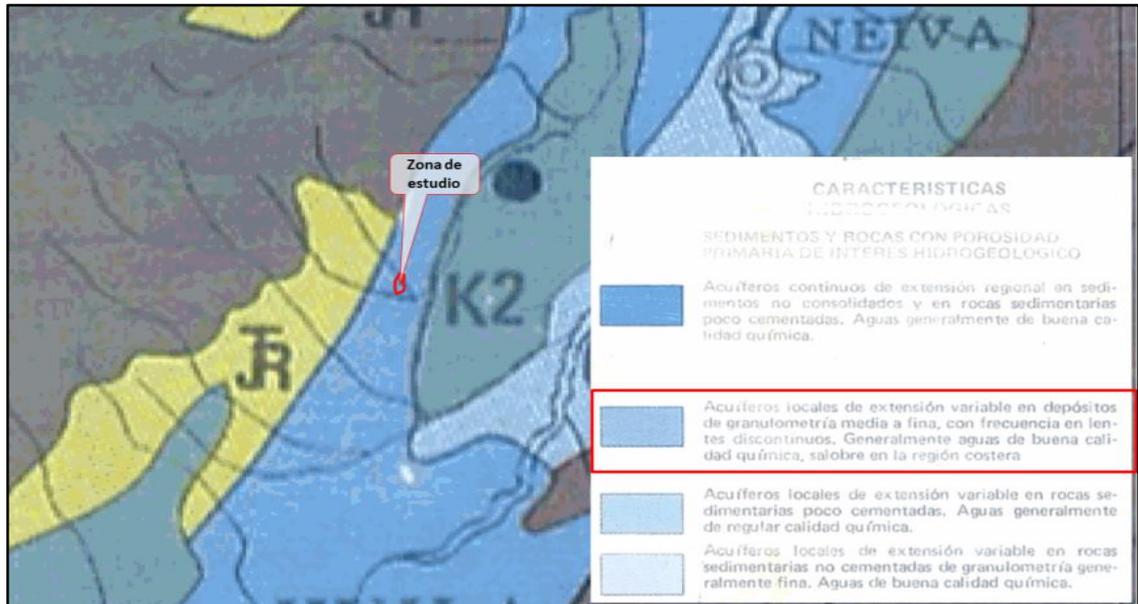


Ilustración 70. Mapa Hidrogeológico de Colombia, (SGC, 1989).

Fuente: IDEAM

## 8.2 MODELO HIDROGEOLOGICO CONCEPTUAL LOCAL

Los acuíferos deben ser entendidos como formaciones geológicas subterráneas permeables, susceptibles de transmitir y almacenar el agua. Así, cabe indicar que existen en la naturaleza una amplia gama de formaciones con capacidad muy diversa para almacenar y transmitir el agua; desde el punto de vista hidrogeológico, estas formaciones suelen dividirse en:

- **Acuíferos:** Capaces de almacenar y transmitir el agua (formaciones permeables compuestas por gravas, arenas, materiales calcáreos, areniscas, etc). Son formaciones con capacidad de drenaje alta en las que se pueden perforar pozos y sondeos.
- **Acuitardos:** Capaces de almacenar el agua en cantidades muy importantes, pero la transmiten con dificultad; se suelen denominar con frecuencia formaciones semipermeables (materiales como limo, arena limosa, arena, arcilla, etc) y su capacidad de drenaje es media a baja. No son de interés para la obtención de caudales pero juegan un papel importante como elementos transmisores del agua en recargas verticales a través de grandes superficies.
- **Acuicludos:** Pueden almacenar el agua en grandes cantidades pero no tiene posibilidad de transmitirla y se drenan con mucha dificultad; el agua se encuentran encerrada en los poros de las formaciones y no puede ser liberada (materiales como arcillas, arcillas plásticas, arcillas limosas, etc). Se asumen como materiales impermeables.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

• **Acuifugos:** Formaciones incapaces de almacenar y de transmitir el agua; están representados por rocas compactas como rocas ígneas y metamórficas masivas, se muestran como impermeables salvo que exista fracturas que pueden permitir flujos.

### 8.3 CLASIFICACIÓN DE LAS UNIDADES HIDROGEOLÓGICAS

A continuación se presenta la clasificación de las unidades hidroestratigráficas de interés en la zona de estudio, siguiendo la nomenclatura propuesta por el IDEAM (2010), la cual se basa en la extensión, porosidad de la unidad y características de permeabilidad asociadas a cada unidad.

- **Tipo I:** Corresponde a los acuíferos en los cuales la porosidad principal es intergranular (porosidad primaria)
- **Tipo II:** Corresponde a unidades hidroestratigráficas en rocas consolidadas con porosidad primaria y fisurados con porosidad secundaria.
- **Tipo III:** Corresponde a rocas granulares o fisuradas que forman acuíferos insignificantes por porosidad primaria con recursos limitados o sin recursos

En la Tabla 12 se muestra la clasificación de las Unidades Hidrogeológicas presentes en el área de estudio.

Tabla 12. Clasificación de unidades hidroestratigráficas

Unidad hidroestratigráficas	Símbolo	Unidad Geológica asociada	Descripción	Comportamiento posible de la unidad hidroestratigráficas
Depósitos aluviales NO consolidados	I1	Stfaa Stfar Stfasr	Correlaciona con depósitos aluviales activos, recientes y subrecientes	Su recarga es directa. Son acuíferos libres, de extensión limitada y baja productividad.
Suelos antrópicos, rellenos de escombros	I2	Sade	Mezclas heterogéneas de escombros de construcción y otros	Constituyen Acuíferos locales, con recarga directa, de extensión limitada y productividad nula.
Suelos transportados de inestabilidad reciente	II1	Stir-1 Stir-2	Materiales originados por movimientos superficiales o por deslizamientos	Representan Acuícludos locales
Suelos antrópicos, ingenieriles e indiferenciados	II2	Sari - Sarin	Materiales seleccionados y compactados para el desarrollo de construcciones ingenieriles	Representan Acuícludos locales.
Suelos residuales de las formaciones Palermo, Seca y del Batolito de Ibagué	II3	Sr-E1p Sr-K2E1s SrJ2J3bi	Suelos de textura arcillosa, originados a partir de la degradación de rocas de las formaciones Palermo,	No permite el libre flujo de agua a su través. Corresponde a Acuícludo

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

Unidad hidroestratigráficas	Símbolo	Unidad Geológica asociada	Descripción	Comportamiento posible de la unidad hidroestratigráficas
			Seca y del Batolito de Ibagué	
Roca intermedia de la Formación seca	II4	Ri-K2E1s	Sucesión de lodolitas y areniscas, en capas tabulares de aproximadamente 70 cm de espesor, con pátinas de color naranja por oxidación	No permite el libre flujo de agua a su través. Corresponde a un Acuícludo
Roca intermedia de la Formación Palermo	II5	Ri-E1p	Compuesta por una sucesión de conglomerados con matriz tamaño arena media a gruesa. Los conglomerados presentan guijarros principalmente de cuarzo, chert y rocas ígneas	Unidad compacta que no permite flujo de agua a su través. Corresponde a un Acuícludo.
Roca Dura del Batolito de Ibagué	III1	Rd-J2J3bi	Rocas de composición tonalítica a diorítica con textura equigranular principalmente. Existen gran cantidad de diques de textura fanerítica y de composición diorítica que lo atraviesan	Rocas compactas que no permiten el almacenamiento ni la transmisión de agua. Conforman Acuífugos

Fuente: Geocing SAS.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

## 9SISMOLOGÍA

De acuerdo al Reglamento Colombiano de construcción Sismoresistente NSR- 10, título A, Capítulo A.2.1 GENERAL-A.2.1.1.-Movimientos sísmicos prescritos “Para efectos del diseño sísmico de la estructura, ésta debe localizarse dentro de una de las zonas de amenaza sísmica, baja, intermedia o alta, y además deben utilizarse los movimientos sísmicos de diseño definidos en el presente Capítulo, los cuales se pueden expresar por medio del espectro elástico de diseño definido en A.2.6, o por medio de familias de acelerogramas que cumplan los requisitos de A.2.7.” De acuerdo a lo indicado en la NSR-10, él se encuentra localizado en una zona de amenaza sísmica Alta, con un coeficiente de Aceleración pico efectiva  $A_a$  de 0.25g.

Los coeficientes de diseño sísmico para estructuras requeridas en esta zona se resumen en la Tabla 13 Coeficientes de diseño sísmico. LA aceleración horizontal pico efectiva del terreno en superficie  $A_o$ , se debe obtener a partir del perfil de suelo determinado para cada estructura multiplicado por el Factor de Amplificación,  $F_a$ .

**Tabla 13 Coeficientes de diseño sísmico**

Zona	$A_a$ (g)	$A_v$ (g)	$A_e$	$A_d$
Alta	0.25	0.20	0.19	0.07

Fuente: Reglamento Colombiano de construcción Sismoresistente NSR- 10- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS.

El valor para análisis pseudoestáticos, de acuerdo al Reglamento Colombiano de construcción Sismoresistente NSR- 10 Título H. Capítulo H.5.2.5-Sismo de diseño, por el cual se tiene en cuenta la tabla H.5.2-1 Valores de  $KST/a_{max}$  mínimos para el análisis pseudoestático de Taludes.

Dadas las condiciones del área de estudio en términos de no contar con un estudio de análisis de amplificación mínimo, además de los materiales presentes descritos como suelos y macizos rocosos muy fracturados, de se adopta  $KST/A_{max}$  de 0.8 de la aceleración en terreno correspondiendo a un valor de **0.20g**.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

## 10 COBERTURA DEL SUELO

La tierra comprende todos los elementos que se encuentran sobre la superficie del suelo ya sean naturales o creados por el hombre, es decir tanto la vegetación natural, como todo tipo de construcción o edificación destinada al desarrollo de las actividades humanas para satisfacer sus necesidades, por tal manera, se clasifican las coberturas actuales del suelo existentes, teniendo en cuenta para el análisis la metodología Corine Land Cover para obtener un mapa final de coberturas a escala 1: 2.000, para obtener un análisis más detallado de la zona de estudio.

La cobertura vegetal del suelo es un componente de vital importancia en la definición de conflictos sociales y ambientales, hace referencia a las diferentes clases de vegetación existente en un área determinada cuya dinámica ha sido consecuencia de las condiciones climáticas, topográficas, edáficas y de las características socioeconómicas y culturales propias de los pobladores de la localidad (IDEAM, 1997); y comprende todo lo que ocupa un espacio en la capa superficial de la tierra, conformando un ecosistema y su conocimiento. Es indispensable sobre todo para el ordenamiento territorial a la hora de definir, cartografiar y determinar unidades ecológicas, zonas de riesgo, sustentación económica, intervención antrópica en espacios naturales, también por su influencia en la formación y evolución de los suelos. Este insumo se utiliza para diferentes análisis, en especial para los geotécnicos, la elaboración del mapa de amenaza por movimientos en masa, mapa de incendios forestales, entre otros.

La cobertura vegetal es la expresión de las especies vegetales naturales o introducidas en determinada área y el uso que se le da, esta información es un insumo que se utiliza para diferentes análisis, en especial para los geotécnicos, la elaboración del mapa de amenaza por movimientos en masa, mapa de incendios forestales, entre otros.

### 10.1 METODOLOGÍA

La metodología empleada para la determinación de la cobertura del suelo actual se basa en la adaptación Colombiana de los lineamientos expuestos por Corine Land Cover, Lineamientos fundamentados en el uso de técnicas de procesamiento de imágenes satelitales, fotografías aéreas y comprobación de información en campo. Caracterización de la cobertura vegetal.

Para la realización del mapa de cobertura se desarrolló la metodología presentada de manera gráfica en la Ilustración 71, la cual involucra la implementación de las siguientes cuatro (4) fases de trabajo:

1. Revisión de información secundaria.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>

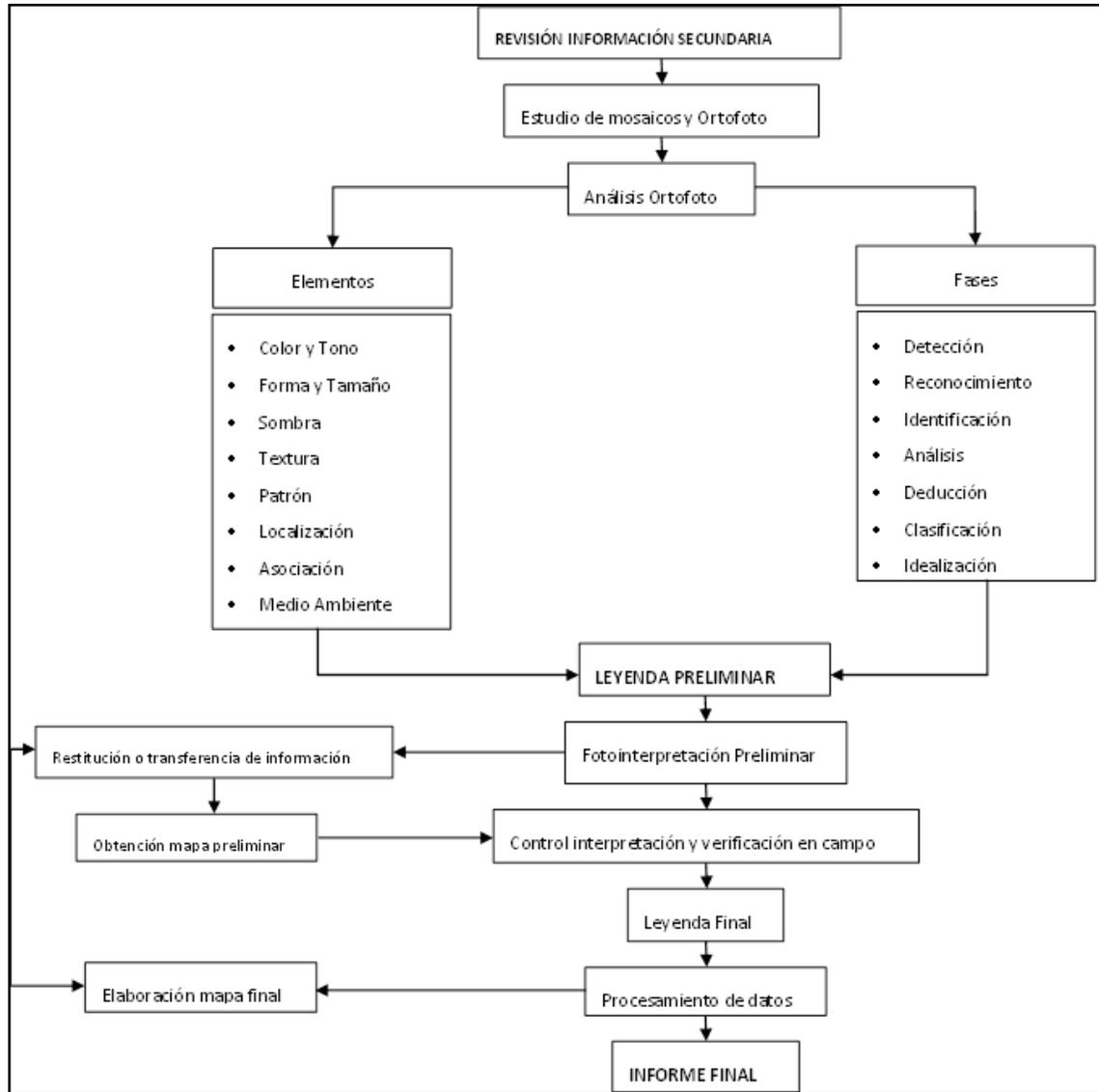
2. Fase de oficina o fase ejecutoria.
3. Fase de campo.
4. Fase de reajuste y elaboración de informe final.

## 10.2 RECOPIACIÓN, REVISIÓN Y ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

### 11.2.1 *Revisión información primaria*

Se procedió a adquirir información escrita y visual que aportara datos generales iniciales sobre las características de cobertura y uso de suelo de la zona de estudio, dentro de esta información encontramos los POT y/o EOT del municipio del área de estudio, la topografía inicial y las diferentes ortofotos, y mapas temáticos e imágenes satelitales de la zona, entre otros.

A partir de la adquisición de dicha información secundaria, se inició la selección de los datos más actualizados y veraces que se encontraron disponibles, y se definió la necesidad de búsqueda de información adicional, obteniendo así un mayor detalle de las áreas de estudio. La metodología se presenta en la Ilustración 71.



**Ilustración 71. Proceso empleado para la delimitación de cobertura vegetal y uso actual de suelo.**  
**Fuente: Geocing SAS.**

### **11.2.2 Estudio general de mosaico y ortofoto**

El material fotográfico que se utilizó para realizar el mapa de cobertura vegetal se relaciona a continuación:

- Tipo de Archivo: ECW.
- Coordenadas tipo: Magma\_Colombia\_Oeste
- Tamaño pixel (GDS) de 20cm.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

### 11.2.3 Análisis de ortofotos

El análisis de las imágenes fotográficas, corresponde a la interpretación de ciertos rasgos de la superficie terrestre sobre las fotografías aéreas es importante mencionar que el tipo de información que se obtiene depende de la escala resolución y de los foto elementos principalmente (tonos, texturas, patrón, forma y tamaño); además del procesamiento y de la interferencia con elementos atmosféricos (nubes, etc.). Para la elaboración de los procesos que se desarrollaron en el manejo de la información geográfica el sistema de coordenadas a usar en el proyecto se definió de acuerdo a los lineamientos del IGAC, los cuales establecen que debido a que la mayoría del área de estudio del proyecto se encuentra en la parte Oriental de la división cartográfica, el sistema de coordenadas corresponde a “MAGNA COLOMBIA OESTE”. Por lo tanto, bajo este parámetro de coordenadas se estructurará toda la información cartográfica del proyecto (Ver Tabla 14).

**Tabla 14. Sistema de coordenadas utilizadas en el mapa de cobertura.**

Sistema de Coordenadas Proyectoado	MAGNA COLOMBIA OESTE
Sistema de proyección:	Transversal de Mercator
Datum:	D_SIRGAS_2000
Longitud de origen:	-77.07750792
Latitud de origen:	4.59620042
Factor Escala:	1.0
Falso este:	1000000.0
Falso norte:	1000000.0
Unidad de trabajo:	Sistema métrico (metros)
Unidad Angular:	Grado

Fuente: Geocing SAS.

### 11.2.4 Fotointerpretación

A partir de la obtención de la información digital ajustada se procedió a realizar una primera interpretación, mediante la superposición de los mapas de coberturas del municipio, sobre las ortofoto ajustadas y comparadas simultáneamente con imágenes satelitales de la zona de estudio; inicialmente se tuvo en cuenta la coloración y forma tamaño y contexto de las imágenes para diferenciar los diferentes tipos de coberturas.

Una vez identificado los elementos característicos de las fotografías aéreas, se procedió a realizar el reconocimiento de los diferentes tipos de cobertura del suelo. En el caso de bosques naturales, se tuvo en cuenta el diámetro de las copas, la densidad (texturas gruesas) y el tono que presenta dicha cobertura, por lo general oscuro. Los pastos, se reconocen en las fotografías aéreas por su textura fina y tonos claros y una distribución espacialmente uniforme.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

### **11.2.5 Sistema de clasificación y leyenda preliminar**

Como ya se mencionó anteriormente para la elaboración del mapa de cobertura del suelo en el área de estudio, se implementó la metodología de Corine Land Cover adaptada para Colombia, según dicha metodología existen cinco categorías generales cada una de las cuales posee diversas subcategorías para clasificar con diferente nivel de detalle los tipos de cobertura y uso actual de suelo.

### **11.2.6 Unidades de cobertura**

Luego del proceso de verificación de campo, la información recopilada y validada fue ajustada y digitalizada, para ser nuevamente interpretada, obteniendo así una Leyenda final de cobertura y uso de suelo definitivo. Dichos resultados fueron adjuntados a la Geodatabase del proyecto.

### **11.2.7 Fase ejecutoria**

Durante esta fase se realizó la fotointerpretación de la ortofoto.

### **11.2.8 Fase de campo**

Teniendo como base el mapa preliminar de cobertura del departamento del Huila; se realizó la verificación de las coberturas identificadas y/o donde se tiene alguna duda, para poder realizar su corroboración o cambio pertinente. Dicho ejercicio se desarrolló para la fase de campo; en la cual el profesional de la consultoría realizó la toma de puntos de control con ayuda de un GPS y fotografías de soporte con el fin de confirmar o ajustar la interpretación realizada; y de esta manera generar el mapa de Coberturas definitivo para el área de interés.

Con esta información los especialistas realizaron las respectivas validaciones, cambios y ajustes pertinentes al mapa preliminar de cobertura vegetal.

## **11.3 CARACTERIZACIÓN DE COBERTURAS**

### **11.3.1 Análisis de información**

Para la generación del mapa de cobertura del se realizó la clasificación teniendo en cuenta la Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra, Metodología CORINE Land Cover Adaptada para Colombia por el IDEAM 2010. En el área de estudio se identificaron veintitrés (23) coberturas; las cuales se encuentra distribuidas en el 3 y 4 nivel de detalle manejado a una escala 1:2.000.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

**Ilustración 72. Leyenda del mapa de cobertura a escala 1:2.000 para el municipio de Teruel.**

Nivel 1	Nivel 2	Nivel 3	Nivel 4
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	1.1. Zonas urbanizadas	1.1.1. Tejido urbano continuo	
		1.1.2. Tejido urbano discontinuo	
	1.2. Zonas industriales o comerciales y redes de comunicación	1.2.1. Zonas industriales o comerciales	1.2.1.1. Zonas industriales
		1.2.2. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados	1.2.2.1. Red vial
	1.3. Zonas de extracción mineras y escombreras	1.3.1. Zonas de extracción minera	1.3.2. Escombreras
		1.4.1. Zonas verdes urbanas	1.4.1.1. Otras zonas verdes urbanas
			1.4.1.2. Parques cementerios
			1.4.1.5. Parques urbanos
	1.4. Zonas verdes artificializados, no agrícolas	1.4.2. Instalaciones recreativas	1.4.2.2. Areas deportivas
	2. TERRITORIOS AGRÍCOLAS	2.1. Cultivos transitorios	2.1.1. Otros cultivos transitorios
		2.1.2. Cereales	2.1.2.2. Maíz
2.2. Cultivos permanentes		2.2.1. Cultivos permanentes herbáceos	2.2.1.3. Plátano y Banano
2.3 Pastos		2.3.1. Pastos limpios	
		2.3.2. Pastos arbolados	
		2.3.3. Pastos enmalezados	
2.4. Áreas agrícolas heterogéneas		2.4.1. Mosaico de cultivos	
3. BOSQUES Y ÁREAS SEMINATURALES		3. Bosques	3.1.4 Bosque de galería y ripario
	3.2 Áreas con vegetación herbácea y/o arbustiva	3.2.1 Herbazal	3.2.1.2. Herbazal abierto
		3.2.2 Arbustal	3.2.2.2. Arbustal abierto
		3.2.3 Vegetación secundaria o en transición.	3.2.3.2. Vegetación secundaria alta
	3.3 Áreas abiertas, sin o con poca vegetación	3.3.3 Tierras desnudas y degradadas	
5. SUPERFICIES DE AGUA	5.1. Aguas continentales	5.1.1. Ríos	

Fuente: adaptación de Metodología CORINE Land Cover para una escala de trabajo de 1:2.000.

A continuación, se describen cada una de las coberturas encontradas en el área de estudio siguiendo la metodología de Caracterización de la cobertura vegetal descrita en el numeral 10.1. La actualización de la cobertura dio como resultado 4 coberturas generales, 11 tipos de cobertura con nivel (3) y 12 tipos de coberturas con nivel (4) de detalle; para un total de 23 coberturas del suelo.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

**Tabla 15. Leyenda de Actualización del mapa de cobertura a escala 1:2.000 del área del municipio de Teruel de departamento del Huila.**

Cobertura	Código	Cobertura	Símbolo
1. TERRITORIOS ARTIFICIALIZADOS	1.1.1.	Tejido urbano continuo	Tuc
	1.1.2.	Tejido urbano discontinuo	Zic
	1.2.1.1.	Zonas Industriales	Zi
	1.2.2.1.	Red vial, ferroviarias y terrenos asociados	Rv
	1.3.2.2.	Escombreras	Es
	1.4.1.1.	Otras zonas verdes urbanas	Oz
	1.4.1.2.	Parques cementerio	Pc
	1.4.1.5.	Parques urbanos	Pur
	1.4.2.	Instalaciones recreativas	Irc
	1.4.2.2.	Áreas deportivas	Ad
2. TERRITORIOS AGRICOLAS	2.1.1.	Otros cultivos transitorios	Oct
	2.1.2.2.	Maíz	Miz
	2.2.1.3.	Plátano y banano	Plat
	2.3.1.	Pastos limpios	Pl
	2.3.2.	Pastos arbolados	Pa
	2.3.3.	Pastos enmalezados	Pe
	2.4.1.	Mosaico de cultivos	Msc
3. BOSQUES Y AREAS SEMINATURALES	3.1.4.	Bosque de galería y ripario	Bgr
	3.2.1.2.	Herbazal abierto	Hza
	3.2.2.2.	Arbustal abierto	Ara
	3.2.3.2.	Vegetación secundaria baja	Vsb
	3.3.3.	Tierras desnudas y degradadas	Tdd
5. SUPERFICIES DE AGUA	5.1.1.	Ríos	R

Fuente: Geocing SAS.

## 11.4 DESCRIPCIÓN GENERAL DE COBERTURAS

### • Territorios Artificializados

Comprende las áreas de las poblaciones y sus áreas periféricas que estén siendo incorporados a las áreas urbanas mediante el proceso gradual de urbanización o de uso de suelo hacia fines comerciales, industriales, de servicios y recreativos. (IDEAM, 2010).

#### • Tejido urbano continuo (1.1.1)

Son espacios conformados por edificaciones y los espacios adyacentes a la infraestructura edificada. Las edificaciones, vías y superficies cubiertas artificialmente cubren más del 80% de la superficie del terreno. La vegetación y el suelo desnudo representan una baja proporción del área del tejido urbano (IDEAM, 2010). Un ejemplo de este tipo de cobertura en el área de estudio se representa en la Ilustración 73.



**Ilustración 73. Tejido urbano continuo.**  
Fuente: Ortofotografía municipio de Teruel.

#### • Tejido urbano discontinuo (1.1.2)

Son espacios conformados por edificaciones y zonas verdes. Las edificaciones, vías e infraestructura construida cubren la superficie del terreno de manera dispersa y presentan discontinuidad, ya que el resto del área está cubierta por vegetación (IDEAM, 2010). Ver Ilustración 74.



**Ilustración 74. Tejido urbano discontinuo.**  
Fuente: Ortofotografía municipio de Teruel.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

### • Zonas industriales (1.2.1.1)

Son áreas cubiertas por infraestructura artificial (terrenos cimentados, alquitranados, asfaltados o estabilizados), sin presencia de áreas verdes dominantes, las cuales se utilizan también para actividades comerciales o industriales. Incluye Edificios de seguridad pública, Instalaciones hospitalarias, Parqueaderos, Bases militares, Escuelas, entre otros (IDEAM, 2010). Dentro de esta cobertura se encuentra además la siguiente unidad para territorios artificializados.

### • Red vial (1.2.2.1)

Son espacios artificializados con infraestructuras de comunicaciones como carreteras, autopistas y vías férreas; se incluye la infraestructura conexas y las instalaciones asociadas tales como: estaciones de servicios, andenes, terraplenes y áreas verdes. La superficie debe ser mayor a cinco hectáreas y el ancho de la vía debe ser superior a 50 metros (IDEAM, 2010). En la Ilustración 75 se presenta un ejemplo de este tipo de cobertura para el municipio de Teruel.



**Ilustración 75. Red vial, ferroviaria y terrenos asociados.**  
Fuente: Ortofotografía municipio de Teruel.

### • Escombreras (1.3.2.2.)

Son espacios en los que se depositan restos de construcción, residuos urbanos, desechos industriales y material estéril de minas (Ver Ilustración 76).

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>



**Ilustración 76. Escombreras.**

Fuente: Ortofotografía municipio de Teruel.

#### • Zonas verdes urbanas (1.4.1)

Comprende las zonas verdes localizadas en las áreas urbanas, sobre las cuales se desarrollan actividades comerciales, recreacionales, de conservación y amortiguación, donde los diferentes usos del suelo no requieren de infraestructura construida apreciable. En general, estas zonas verdes son áreas resultantes de procesos de planificación urbana o áreas que por los procesos de urbanización quedaron embebidas en el perímetro de la ciudad. Comprende las zonas cubiertas por vegetación dentro del tejido urbano, incluyendo parques urbanos y cementerios. Comprende las zonas cubiertas por vegetación dentro del tejido urbano, incluyendo parques urbanos y cementerios, Otras zonas verdes urbanas, Parques cementerios y Parques urbanos (Ver Ilustración 77, Ilustración 78)



**Ilustración 77. Parque cementerio.**

**Fuente: Ortofotografía municipio de Teruel.**



**Ilustración 78. Parques urbanos.**

**Fuente: Ortofotografía municipio de Teruel.**

#### • Instalaciones recreativas (1.4.2)

Son los terrenos dedicados a las actividades de campo, deporte, parques de atracción golf, hipódromos y otras actividades de recreación y esparcimiento, incluyendo los parques habilitados para esparcimiento, no incluidos dentro del

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

tejido urbano (IDEAM, 2010). En la Ilustración 79 se presenta un ejemplo de este tipo de cobertura para el municipio de Teruel.



**Ilustración 79. Áreas deportivas.**

**Fuente:** Ortofotografía municipio de Teruel.

- **Territorios agrícolas**

Son los terrenos dedicados principalmente a la producción de alimentos, fibras y otras materias primas industriales, ya sea que se encuentren con cultivos, con pastos, en rotación y en descanso o barbecho. Comprende las áreas dedicadas a cultivos permanentes, transitorios, áreas de pastos y las zonas agrícolas heterogéneas (IDEAM, 2010).

- **Otros cultivos transitorios (2.1.1)**

Comprende las áreas ocupadas con cultivos cuyo ciclo vegetativo es menor a un año, llegando incluso a ser de sólo unos pocos meses. Tienen como característica fundamental, que después de la cosecha es necesario volver a sembrar o plantar para seguir produciendo.

- **Maíz (2.1.2.2)**

Tierras que presentan una cobertura vegetal compuesta por plantas herbáceas de la familia de las gramíneas, de altura muy variable (entre 60 cm y 3 m), hojas grandes, alternas y lineares, tallos rectos y flores agrupadas en panículas las masculinas y en espigas las femeninas (Ver Ilustración 80).



**Ilustración 80. Cultivo de Maíz.**

Fuente: Ortofotografía municipio de Teruel.

### • Plátano y banano (2.2.1.3)

Cobertura predominantemente compuesta por cultivo de banano y/o plátano, planta herbácea perenne gigante de la familia Musaceae, con rizoma corto y tallo aparente, que resulta de la unión de las vainas foliares, de forma cónica y con altura que varía entre 3,5 y 7,5 m de altura, que termina en una corona de hojas. Las hojas son muy grandes y dispuestas en forma de espiral. El plátano se puede cultivar en casi todos los pisos térmicos, Ver Ilustración 81.



**Ilustración 81. Cultivo de Plátano.**

Fuente: Ortofotografía municipio de Teruel.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

### • Pastos limpios (2.3.1)

Esta cobertura comprende las tierras ocupadas por pastos limpios con un porcentaje de cubrimiento mayor a 70%; la realización de prácticas de manejo (limpieza, encalamiento y/o fertilización, etc.) y el nivel tecnológico utilizados impiden la presencia o el desarrollo de otras coberturas contempladas en la Leyenda CORINE Land Cover 2010 (IDEAM, 2010). En la Ilustración 82 se puede observar un ejemplo de esta cobertura dentro del municipio de Teruel.



Ilustración 82. Pastos limpios municipio de Teruel.  
Fuente: Ortofotografía municipio de Teruel.

### • Pastos arbolados (2.3.2)

Cobertura que incluye las tierras cubiertas con pastos, en las cuales se han estructurado potreros con presencia de árboles de altura superior a cinco metros, distribuidos en forma dispersa. La cobertura de árboles debe de ser mayor a 30% y menor a 50% del área total de la unidad de pastos (IDEAM, 2010). En Ilustración 83 se puede observar un ejemplo de esta cobertura dentro del municipio de Teruel.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



**Ilustración 83. Pastos arbolados.**

**Fuente: Ortofotografía municipio de Teruel.**

• **Pastos enmalezados (2.3.3)**

Son las coberturas representadas por tierras con pastos y malezas conformando asociaciones de vegetación secundaria, debido principalmente a la realización de escasas prácticas de manejo o la ocurrencia de procesos de abandono (IDEAM, 2010), tal cual como se observa en la Ilustración 84.



**Ilustración 84. Pastos enmalezados.**

**Fuente: Ortofotografía municipio de Teruel.**

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

- **Mosaico de cultivos**

Incluye las tierras ocupadas con cultivos anuales, transitorios o permanentes, en los cuales el tamaño de las parcelas es muy pequeño y el patrón de distribución de los lotes es demasiado intrincado para representarlos cartográficamente de manera individual. El mosaico de cultivos presenta en la imagen arreglos geométricos característicos que facilitan su interpretación. Igualmente, las coberturas de cultivos se aprecian en una amplia gama de tonos y colores debido a sus diferentes estados fenológicos y las variadas prácticas de manejo.

- **Bosques y áreas semi naturales**

Esta cobertura comprende los bosques naturales y las plantaciones. Para la interpretación de las coberturas de la tierra, los bosques se clasifican, entonces, a partir de la densidad de la cobertura arbórea, en densos y abiertos; de acuerdo con la altura del dosel, los bosques se clasifican en altos y bajos; y de acuerdo con la condición de inundabilidad del terreno donde se ubican los bosques, se clasifican en inundables y de tierra firme.

- **Bosque de galería y ripario (3.1.4.)**

Vegetación arbórea ubicada en las márgenes de cursos de agua permanentes o temporales, limitada por su amplitud, ya que bordea los cursos de agua y los drenajes naturales. Cuando la presencia de estas franjas de bosques ocurre en regiones de sabanas se conoce como bosque de galería o cañadas, las otras franjas de bosque en cursos de agua de zonas andinas son conocidas como bosque ripario (Ver Ilustración 85).



**Ilustración 85. Bosque ripario.**  
Fuente: Ortofotografía municipio de Teruel.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

### • **Herbazal abierto (3.2.1.2)**

Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos típicamente herbáceos desarrollados en forma natural en diferentes sustratos, los cuales forman una cobertura abierta (30% a 70% de ocupación). Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original ni sus características funcionales (IGAC, 1999). Una hierba es una planta no lignificada o apenas lignificada, de manera que tiene consistencia blanda en todos sus órganos, tanto subterráneos como epigeos (Font Queur, 1982) (Ver Ilustración 86).



**Ilustración 86. Herbazal abierto.**

Fuente: Ortofotografía municipio de Teruel.

### • **Arbustal abierto (3.2.2.2.)**

Cobertura constituida por una comunidad vegetal dominada por elementos arbustivos regularmente distribuidos, los cuales forman un 30% y 70% del área total de la unidad. Estas formaciones vegetales no han sido intervenidas o su intervención ha sido selectiva y no ha alterado su estructura original y las características funcionales. Un arbusto es una planta perenne, con estructura de tallo leñoso, con una altura entre 0,5 y 5 m, fuertemente ramificado en la base y sin una copa definida (FAO, 2001) (Ver Ilustración 87).

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>



**Ilustración 87. Arbustal abierto.**

**Fuente: Ortofotografía municipio de Teruel.**

- **Vegetación secundaria baja (3.2.3.2)**

Son aquellas áreas cubiertas por vegetación principalmente arbustiva y herbácea con dosel irregular y presencia ocasional de árboles y enredaderas, que corresponde a los estadios iniciales de la sucesión vegetal después de presentarse un proceso de deforestación de los bosques o aforestación de los pastizales. Se desarrolla posterior a la intervención original y, generalmente, están conformadas por comunidades de arbustos y herbáceas formadas por muchas especies. La vegetación secundaria comúnmente corresponde a una vegetación de tipo arbustivo herbáceo de ciclo corto, con alturas que no superan los cinco metros y de cobertura densa. Por lo general corresponde con una fase de colonización de inductores pre climáticos, donde especies de una fase más avanzada se establecen y comienzan a emerger (Ver Ilustración 88).



**Ilustración 88. Vegetación secundaria baja.**  
Fuente: Ortofotografía municipio de Teruel.

### • Tierras desnudas y degradadas (3.3.3)

Esta cobertura corresponde a las superficies de terreno desprovistas de vegetación o con escasa cobertura vegetal, debido a la ocurrencia de procesos tanto naturales como antrópicos de erosión y degradación extrema y/o condiciones climáticas extremas. Se incluyen las áreas con intensos procesos de erosión que pueden llegar hasta la formación de cárcavas (IDEAM, 2010), Ver Ilustración 89.



**Ilustración 89. Tierras degradadas y desnudas.**  
Fuente: Ortofotografía municipio de Teruel.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

### • Superficies de agua

Son los cuerpos y cauces de aguas permanentes, intermitentes y estacionales, localizados en el interior del continente y los que bordean o se encuentran adyacentes a la línea de costa continental, como los mares. Se incluyen en esta clasificación los fondos asociados con los mares (IDEAM, 2010). Dentro de esta cobertura se encuentra además la siguiente unidad para estos tipos de territorios:

#### • Ríos (5.1.1)

Un río es una corriente natural de agua que fluye con continuidad, posee un caudal considerable y desemboca en el mar, en un lago o en otro río (Ver Ilustración 90).



**Ilustración 90. Río Pedernal.**  
Fuente: Geocing SAS.

En la Tabla 16, se puede observar que la cobertura de pastos limpios es la que posee la mayor extensión del área de estudio con el 32,79% correspondiente a 43,68 hectáreas, seguido de la cobertura de bosque ripario que protege el río Pedernal con un área de 24,3 hectáreas lo que ocupa el 18,28% de la cabecera municipal de Teruel, en tercer lugar se encuentra el tejido urbano continuo con el 14,12%. Para mayor detalle en el Anexo GE426-TRL-PSIG-CS-001-00. Cobertura se presenta el mapa final de cobertura para el municipio de Teruel.

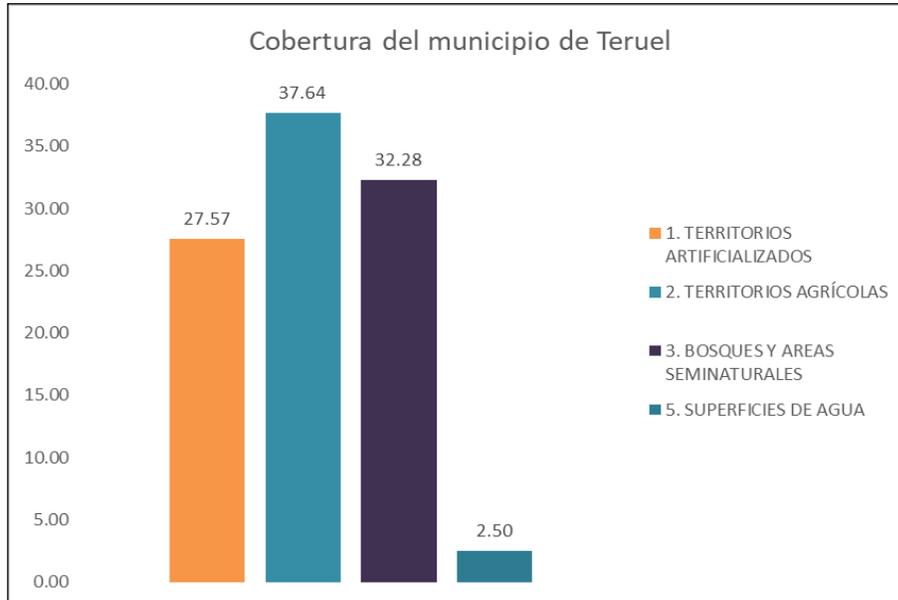
	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

**Tabla 16. Porcentajes de las áreas correspondientes a las coberturas identificadas.**

Tabla Cobertura Teruel			
Código	Cobertura	Área Ha	Porcentaje (%)
1.1.1.	Tejido urbano continuo	18,8	14,12
1.1.2.	Tejido urbano discontinuo	1,38	1,04
1.2.1.1.	Zonas Industriales	2,46	1,85
1.2.2.1.	Red vial, ferroviarias y terrenos asociados	8,01	6,02
1.3.2.2.	Escombreras	0,11	0,09
1.4.1.1.	Otras zonas verdes urbanas	0,87	0,65
1.4.1.2.	Parques cementerio	0,55	0,42
1.4.1.5.	Parques urbanos	0,59	0,45
1.4.2.	Instalaciones recreativas	2,54	1,91
1.4.2.2.	Áreas deportivas	1,37	1,03
2.1.1.	Otros cultivos transitorios	0,01	0,01
2.1.2.2.	Maíz	0,06	0,05
2.2.1.3.	Plátano y banano	0,48	0,37
2.3.1.	Pastos limpios	43,68	32,79
2.3.2.	Pastos arbolados	3,12	2,34
2.3.3.	Pastos enmalezados	2,74	2,06
2.4.1.	Mosaico de cultivos	0,02	0,02
3.1.4.	Bosque de galería y ripario	24,35	18,28
3.2.1.2.	Herbazal abierto	0,05	0,04
3.2.2.2.	Arbustal abierto	11,22	8,43
3.2.3.2.	Vegetación secundaria baja	6,81	5,12
3.3.3.	Tierras desnudas y degradadas	0,55	0,42
5.1.1.	Ríos	3,32	2,5
<b>Total</b>		<b>133,09</b>	<b>100%</b>

Fuente: Geocing SAS.

De acuerdo a los resultados obtenidos es posible analizar que el municipio de Teruel posee 4 coberturas generales, de las cuales los terrenos agrícolas ocupan la mayor área de la cabecera municipal con 50,15 hectáreas las cuales corresponden al 37,64%, en segundo lugar se encuentra la cobertura de bosque y áreas semi naturales las cuales contiene el bosque ripario, los herbazales, arbustares y la vegetación secundaria con el 32,28% que equivale a 43 hectáreas, seguido de los terrenos artificializados que comprende residencias urbanas, áreas de recreación, red vial, zonas industriales entre otras con 36,73 hectáreas que corresponde al 27,57% del área de estudio, por último se encuentra la cobertura de superficies de agua con el 2.5% del área (Ver Ilustración 91).



**Ilustración 91. Porcentaje de ocupación por cobertura general de la Metodología CORINE LAND para el municipio de Teruel.**  
Fuente: Geocing SAS.



ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

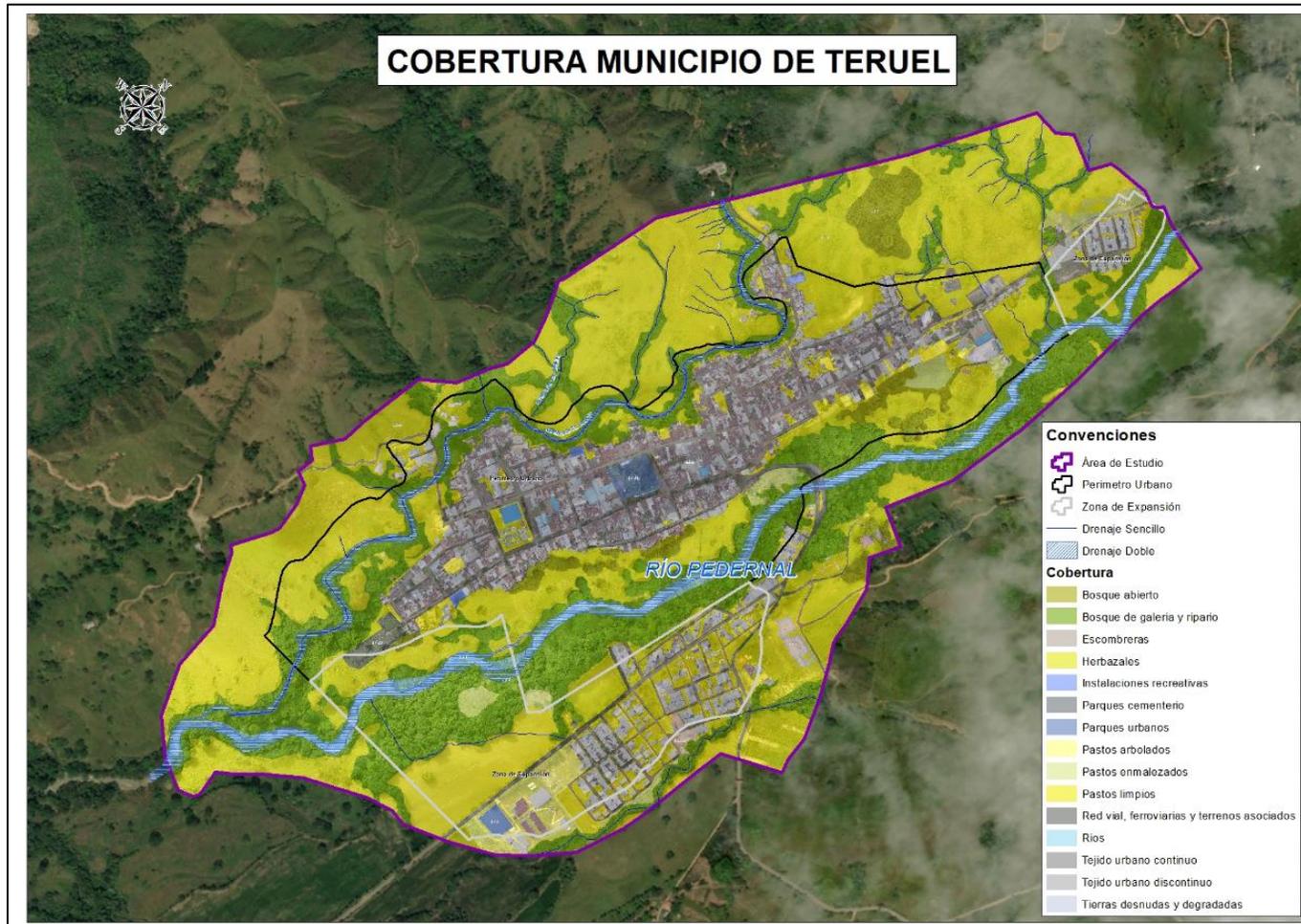


Ilustración 92. Representación gráfica de cobertura del suelo casco urbano municipio de Teruel.

Fuente: Geocing SAS.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

## 12. HIDROLOGÍA Y CLIMATOLOGÍA

En la Tabla 17 se presenta la información cartográfica obtenida de los archivos del IGAC, a partir de esta información se identificó y delimito la cuenca de drenaje en cada una de las corrientes y en cada punto crítico objeto de estudio. Se resalta que para la información recopilada se buscó que esta cubriera las cuencas de drenaje de las corrientes en las cuales se identificaron los diferentes puntos críticos en el área de estudio.

**Tabla 17. Información cartográfica en el municipio de Teruel.**

Plancha	Escala
345IB	1:25.000
344IIB_AC_2015_V1	1:25.000
344IIA	1:25.000
323IIID_AC_2015_V2	1:25.000
322IVD_AC_2015_V1	1:25.000
322IVC	1:25.000

Fuente: Geocing SAS.

De cada cuenca delimitada, se midieron los siguientes parámetros morfométricos, con el propósito de estimar el tiempo de concentración de la cuenca en cada uno de los puntos críticos:

- Área de la cuenca.
- Longitud del drenaje principal.
- Pendiente media.

Para el municipio de Teruel, la Ilustración 93 presenta las cuencas delimitadas en cada uno de los puntos críticos estudiados y en la Tabla 18, se reportan los valores de los parámetros medidos con el propósito de estimar el tiempo de concentración de la cuenca.

**Tabla 18. Parámetros morfométricos obtenidos en las cuencas de los puntos críticos del municipio de Teruel.**

Punto Crítico	Corriente	Área (km <sup>2</sup> )	L (m)	S (m/m)
1	Río Pedernal	64.12	16219.0	0.1461
2	Río Pedernal	65.20	17080.3	0.1411
3	Qda. El Pueblo	1.32	2370.1	0.2953
4	Qda. Las Moyas	0.67	1760.3	0.2670
5	Qda. El Pueblo	2.57	3494.8	0.2160
6	Río Pedernal	68.66	18496.7	0.1335



ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL



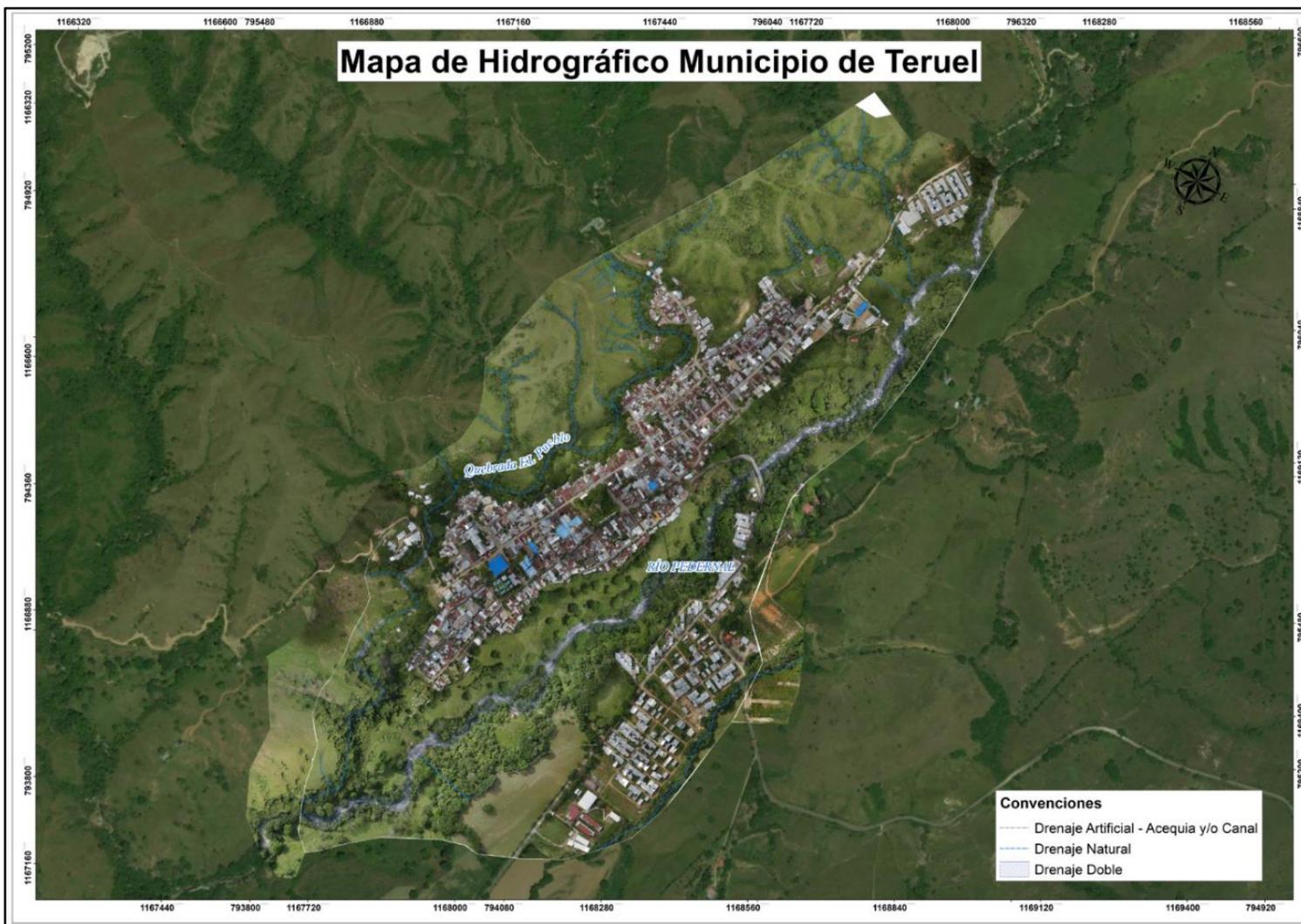
**Ilustración 93. Cuencas de los puntos críticos identificados en el municipio de Teruel.**  
Fuente: Geocing SAS.



ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL



**Ilustración 94 Representación gráfica del mapa hidrográfico del municipio de Teruel.  
Fuente: Geocing SAS.**

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

## 12.1 CLIMATOLOGÍA

El análisis climatológico en una cuenca hidrográfica o a lo largo de una región en particular, como en este caso para el municipio de Teruel permite realizar un primer acercamiento respecto a las características generales de la cuenca o la zona, ya que las condiciones meteorológicas son elementos que determinan tanto aspectos biofísicos como socioeconómicos y culturales. La dinámica climática se evalúa de una manera observacional por medio del análisis de las denominadas variables climatológicas, dependiendo de los sistemas de medición determinados para cada una de las variables, y de la escala temporal (horaria, diaria, mensual, etc.), estableciendo series de registro de datos que permiten estimar los valores medios y las condiciones extremas de las mismas. La precipitación, la evaporación, las temperaturas medias, máximas y mínimas, la humedad relativa y el brillo solar, son las variables de mayor representatividad, y su análisis y descripción permite generar una apropiada caracterización climática en una cuenca hidrográfica o en una región en particular.

Se buscó describir el comportamiento de las principales variables que describen el clima, tales como: precipitación total anual (mm); temperatura media anual (°C); evaporación total multianual (mm), humedad relativa media anual (%); brillo solar medio anual (horas); punto de rocío media (°C). Algunos valores medios de las variables se reportan con base en los registros de las estaciones más cercanas al casco urbano del municipio, aunque también se muestra su variación espacial cuando el nivel de información lo permitió. La Tabla 19 relaciona las estaciones más cercanas al casco urbano del municipio de Teruel.

**Tabla 19. Estaciones representativas por municipio (casco urbano).**

Municipio	Elevación Municipio (msnm)	Distancia municipio a estación	Nombre estación	Elevación Estación (msnm)	Municipio estación	Coordenadas estación	
						Latitud (N)	Longitud (O)
Teruel	870	2.6 km	San Rafael	1030	Teruel	2°45'37.6"	75°34'57.8"

Fuente: Geocing SAS.

### 12.1.1 Precipitación

La precipitación anual total en el municipio corresponde a 2010 mm de acuerdo a lo que se indica en la Tabla 20.

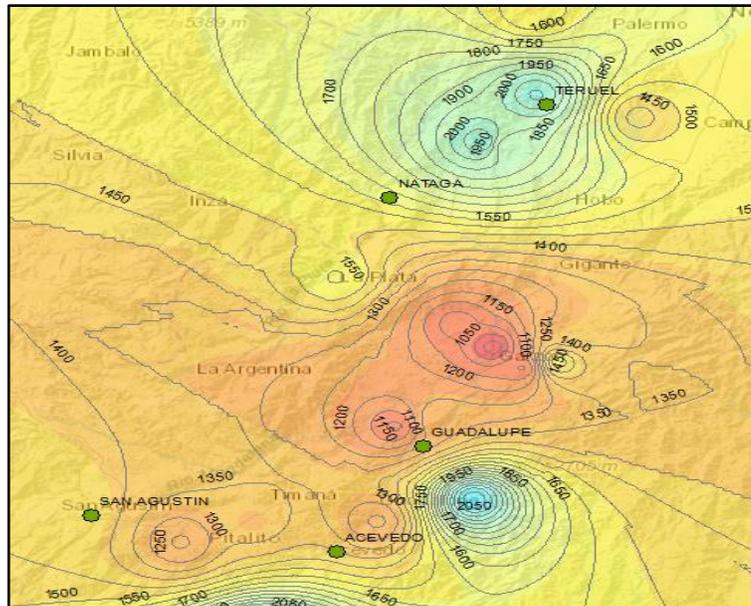
**Tabla 20. Precipitación Anual Total.**

Municipio	P <sub>anual</sub> (mm)
Teruel	2010

Fuente: Geocing SAS.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

Como se observa en la anterior tabla, el municipio de Teruel es donde cae mayor precipitación (2010 mm). La Ilustración 95 presenta con mayor detalle la distribución espacial de la precipitación anual total. Como se observa, hacia el norte donde se encuentra ubicado el municipio de Teruel se presenta un incremento de la precipitación.



**Ilustración 95. Distribución espacial de la Precipitación Anual Total (isoyetas de precipitación).**  
**Fuente: Geocing SAS.**

En la Tabla 21 se muestra la variación temporal de la lluvia a nivel mensual, cuyo comportamiento se muestra en la Ilustración 96. Como se observa, la distribución temporal de la precipitación a lo largo del año es de tipo bimodal; es decir, se presenta al inicio y a mediados del año períodos secos y en medio de ellos se presentan períodos húmedos.

**Tabla 21. Valores de Precipitación Mensual.**

Precipitación media mensual (mm)													
Municipio	Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago.	Sep	Oct	Nov	Dic
Teruel	San Rafael	200.6	200.8	252.4	219.5	164.9	69.8	49.0	40.6	83.8	230.7	294.8	251.8

**Fuente: Geocing SAS.**

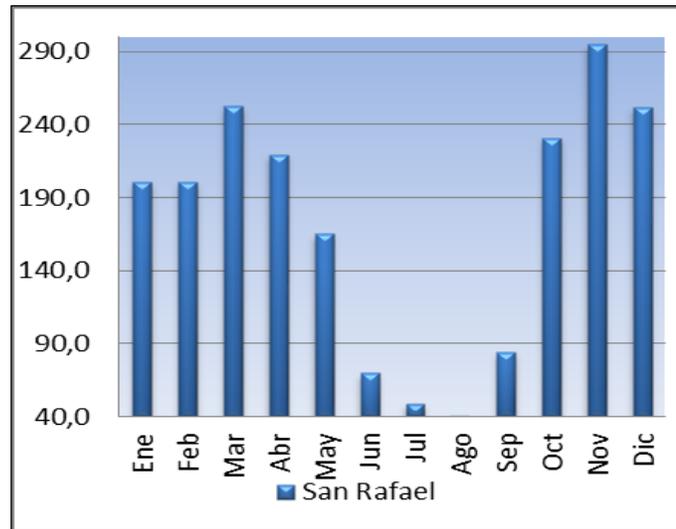


Ilustración 96. Distribución media mensual de precipitación (mm).  
Fuente: Geocing SAS.

Como se observa en la Ilustración 96 El municipio de Teruel se encuentran al norte de la zona de estudio representadas por la estación de San Rafael, se caracteriza por tener un comportamiento bimodal con dos periodos de lluvias, el primero entre los meses de marzo y abril, el segundo periodo de lluvias se presenta entre los meses de octubre a diciembre. Los periodos secos se presentan principalmente entre junio y septiembre, y el segundo periodo menos intenso en enero y febrero. En este municipio los picos de precipitación son muy altos así mismo los periodos secos presentan muy poca precipitación en el mes teniendo una gran diferencia entre los periodos de lluvia y los periodos secos.

### 12.1.2 Temperatura

La altitud del municipio condiciona el valor y la diferencia de temperatura. Teruel es el municipio que se encuentra más cerca del nivel del mar (870 msnm). La temperatura promedio anual en el municipio corresponde a 23.2 °C de acuerdo a lo que se indica en la Tabla 22.

Tabla 22. Temperatura Media anual.

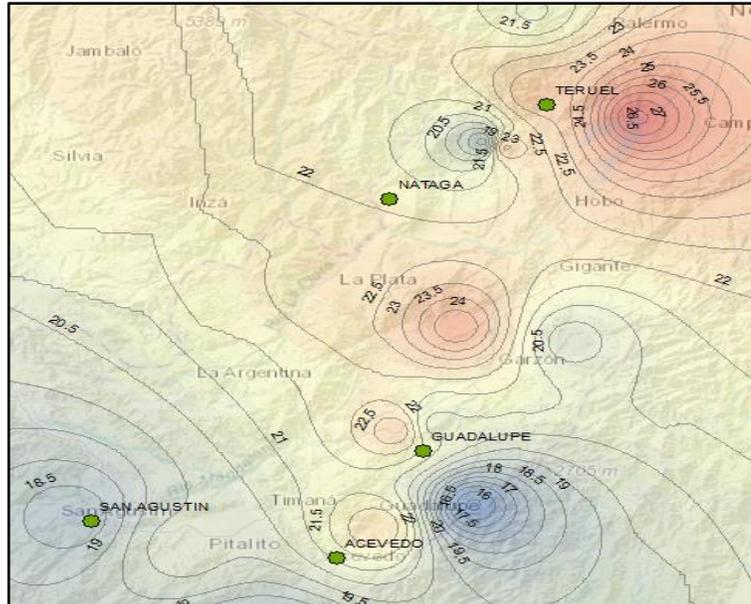
Municipio	T (°C)
Teruel	23.2

Fuente: Geocing SAS.

La distribución espacial de la temperatura media anual se observa en la Ilustración 97, mediante isotermas que se establecieron con base en la información de las estaciones con información climatológica en la zona de estudio. Se observa, que Teruel es el municipio donde se presenta la mayor temperatura en el año

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

correspondiente a 23.2 °C. En términos generales es más cálida la parte norte del área de estudio.



**Ilustración 97. Distribución espacial de la Temperatura media mensual (Isotherma).**  
Fuente: Geocing SAS.

La variación temporal de la temperatura a lo largo del año se presenta en la Tabla 23; su comportamiento se puede examinar en la Ilustración 98. Se observa que la temperatura media no tiene una correlación directa con los cambios de precipitación.

**Tabla 23. Valores Medios de Temperatura Mensual.**

Temperatura (°C)													
Municipio	Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Teruel	San Rafael	23.8	23.6	22.9	23.1	23.4	23.5	23.4	23.8	24.2	23.6	23.0	23.3

Fuente: Geocing SAS.

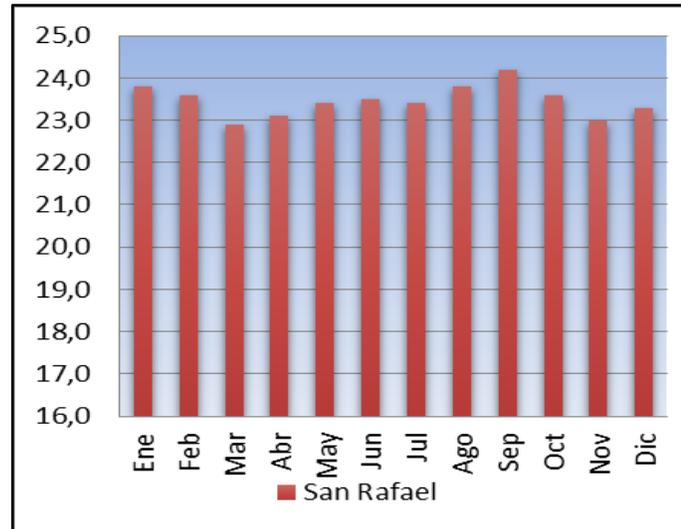


Ilustración 98. Distribución Temperatura media mensual.  
Fuente: Geocing SAS.

### 12.1.3 Evaporación

La Evaporación Total anual en el municipio de Teruel corresponde a 1345 mm, de acuerdo a lo que se indica en la Tabla 24.

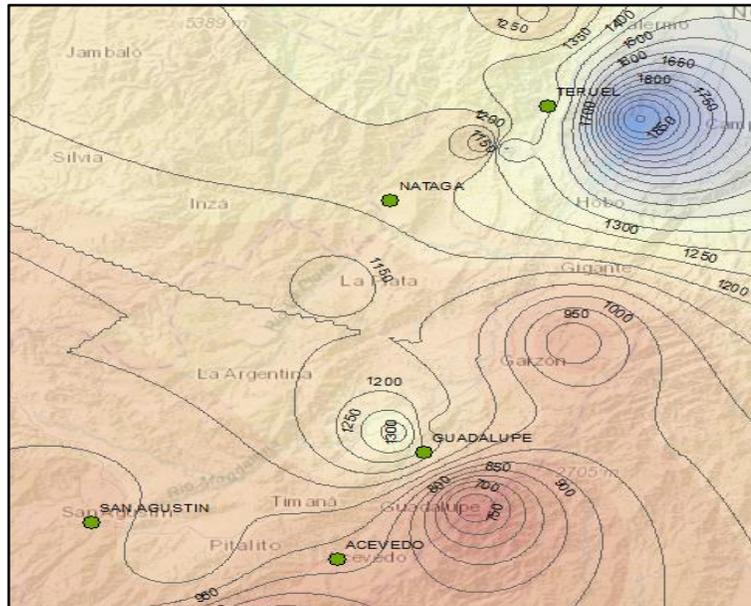
Tabla 24. Evaporación Anual Total

Municipio	(mm/año)
Teruel	1345

Fuente: Geocing SAS.

Como se observa, Teruel es el municipio donde se presenta la mayor evaporación de la zona (1345 mm). La Ilustración 99 muestra la variación espacial de la evaporación, la cual presenta una correlación muy directa con el comportamiento de la temperatura (Ver Ilustración 98); mientras mayor sea la temperatura media, mayor es la evaporación. De esta manera se observa, hacia el sur en la cuenca alta del río suaza se presenta la menor evaporación de la zona mientras que hacia el norte en inmediaciones a la represa de Betania se encuentra la mayor evaporación.

	<b>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</b>
	<b>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</b>



**Ilustración 99. Distribución espacial de la Evaporación Anual Total en mm.**  
**Fuente: Geocing SAS.**

En la Tabla 25 se presenta la variación temporal a lo largo del año mediante los valores medios mensuales y la Ilustración 100 muestra su comportamiento

**Tabla 25. Valores Totales de Evaporación Mensual.**

Evaporación (mms)													
Municipio	Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Teruel	San Rafael	116.4	102.3	103.0	100.6	104.2	104.0	115.0	128.0	134.2	118.8	98.2	102.1

**Fuente: Geocing SAS.**

La distribución temporal de la evaporación mensual está inversamente relacionada con la distribución de precipitación, y directamente relaciona con la temperatura promedio mensual; ya que cuando comienza a aumentar la precipitación, la evaporación desciende y en caso contrario, la evaporación aumenta. La distribución temporal de la evaporación a lo largo del año se caracteriza por ser bimodal con un comportamiento inverso de la distribución de la precipitación.

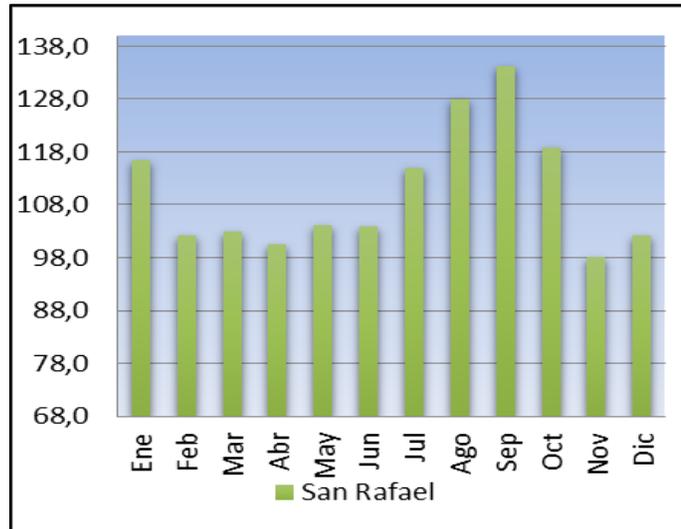


Ilustración 100. Distribución evaporación media mensual.  
Fuente: Geocing SAS.

### 12.1.4 Humedad Relativa

Es la relación entre cantidad de vapor de agua contenida en el aire y la máxima cantidad que el aire sería capaz de contener a temperatura ambiente. La Humedad relativa media anual en el municipio de Teruel corresponde a 77.5% de acuerdo a lo que se indica en la Tabla 26.

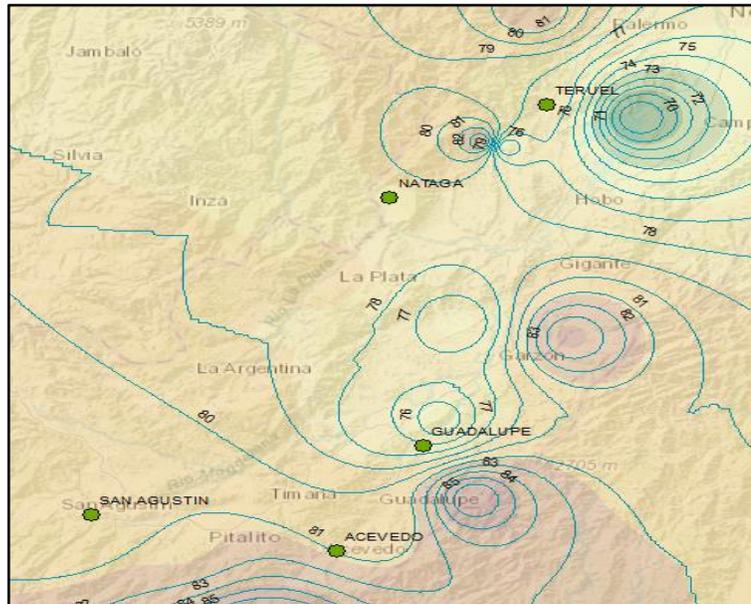
Tabla 26. Humedad Relativa Promedio Anual.

Municipio	(%)
Teruel	77.5

Fuente: Geocing SAS.

Como se observa, el municipio de Teruel presenta humedad relativa media anual 77.5 %. En la Ilustración 101 muestra la variación espacial de la humedad relativa media anual. Hacia el norte se presenta la menor humedad relativa.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



**Ilustración 101. Distribución espacial de la Humedad Relativa (%) Anual.**  
**Fuente: Geocing SAS.**

En la Ilustración 46 presenta la variación temporal de la humedad relativa a lo largo del año y la Ilustración 102 muestra su comportamiento.

De lo anterior, se observa que los registros de humedad relativa tienden a ser directamente proporcionales a la distribución de la precipitación, y tienen una relación inversa con la temperatura; a mayor temperatura menor humedad relativa y a menor temperatura mayor humedad relativa.

**Tabla 27. Valores Medios mensuales de Humedad Relativa.**

Humedad Relativa (%)													
Municipio	Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Teruel	San Rafael	77.0	81.0	84.0	82.0	82.0	78.0	75.0	69.0	70.0	77.0	85.0	82.0

**Fuente: Geocing SAS.**

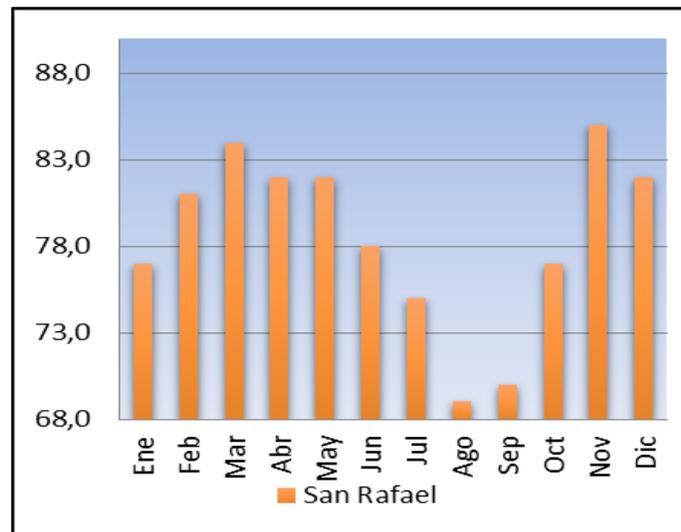


Ilustración 102. Distribución Humedad relativa.  
Fuente: Geocing SAS.

Para el municipio de Teruel que se encuentran al Norte de la zona de estudio representadas por la estación de San Rafael; se caracteriza por tener un comportamiento bimodal con dos periodos de humedad relativa intensos, el primero entre los meses de marzo y abril, el segundo periodo de humedad alto se presenta entre los meses de noviembre a diciembre. Por otra parte, se presenta principalmente en agosto y septiembre un porcentaje de humedad relativa bajo. En este municipio la diferencia entre los periodos de humedad relativa alta y baja son significativos tal cual pasa en los registros de precipitación de los mismos.

### 12.1.5 Brillo solar

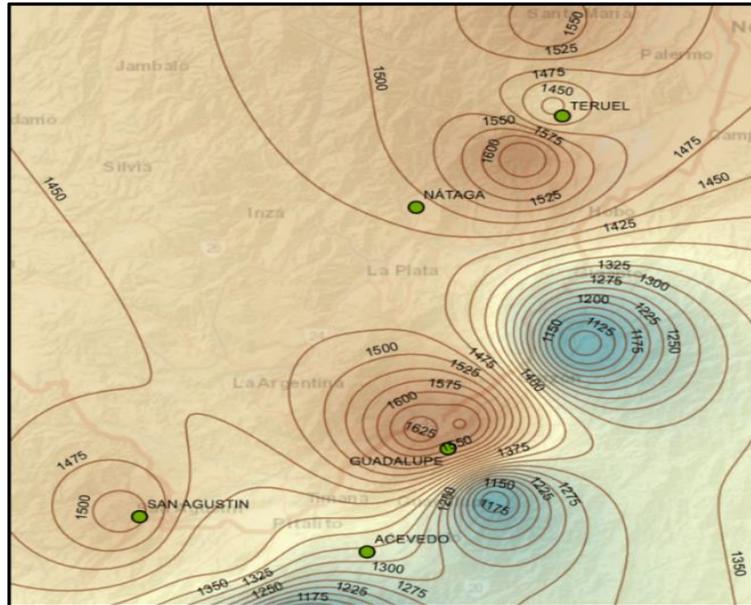
El brillo solar indica las horas de sol efectivo en el día, el municipio de Teruel tiene 1460 horas de sol, de acuerdo a lo que se indica en la Tabla 28.

Tabla 28. Brillo Solar Anual Total.

Municipio	Horas BS
Teruel	1460

Fuente: Geocing SAS.

Como se observa el municipio de Teruel tiene exposición al brillo solar con 1460 horas al año respectivamente. En la Ilustración 103 muestra la distribución espacial del brillo solar en el área de estudio. En el sur oriente en la zona montañosa los registros de brillo solar son menores que hacia el resto del territorio especialmente en la zona baja por donde transita el río suaza y en inmediaciones de la represa de Betania. La Tabla 29 y la Ilustración 104 muestran la variación temporal del brillo solar en el año.

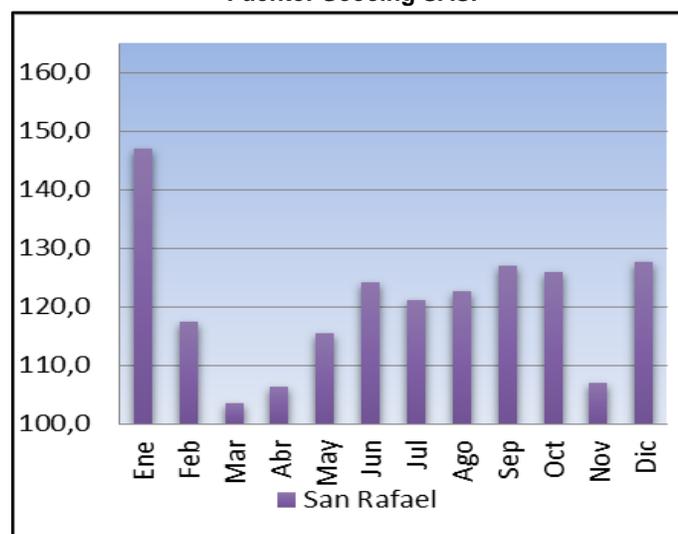


**Ilustración 103. Distribución espacial de la Brillo solar Anual.**  
Fuente: Geocing SAS.

**Tabla 29. Valores Medios mensuales de Brillo Solar.**

Brillo Solar (Horas)													
Municipio	Estaciones	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Teruel	San Rafael	147.0	117.4	103.5	106.3	115.5	124.2	121.0	122.7	127.0	125.9	107.0	127.6

Fuente: Geocing SAS.



**Ilustración 104. Distribución Brillo solar media mensual.**  
Fuente: Geocing SAS.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

Como se observa en la Ilustración 104, en los meses de diciembre y enero se presenta la mayor exposición al brillo solar, y en los meses de marzo y abril la menor cantidad de horas de brillo solar.

### 12.1.6 Punto de Rocío

Se define como la temperatura a partir de la cual empieza a condensarse el vapor de agua contenido en el aire produciendo rocío, neblina, o en el caso de que la temperatura sea inferior a 0°C, escarcha. En el municipio de Teruel el punto de rocío varía corresponde a 19.0°C, de acuerdo a lo que se indica en la Tabla 30.

Tabla 30. Punto de Rocío Anual Total.

Municipio	°C
Teruel	19.0

Fuente: Geocing SAS.

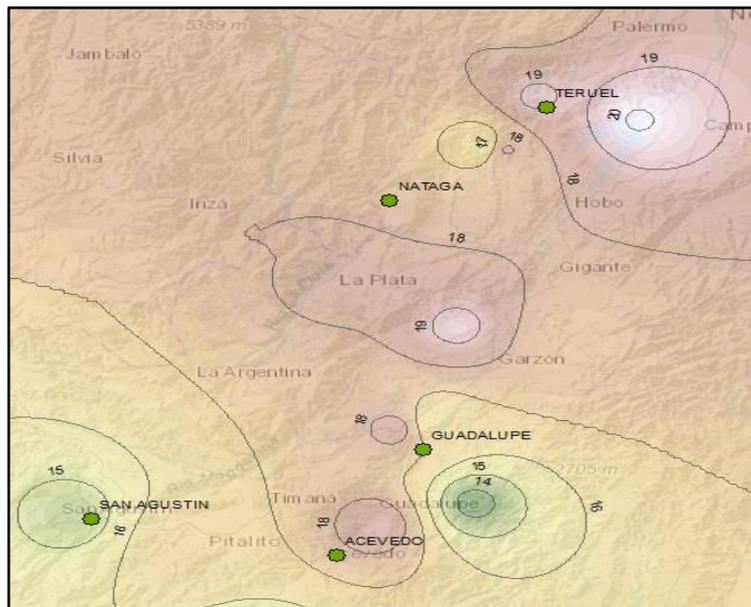


Ilustración 105. Distribución espacial del Punto de Rocío medio Anual (°C).

Fuente: Geocing SAS.

## 12.2 TIEMPOS DE CONCENTRACIÓN DE LAS CUENCAS

Para la cuenca delimitada, se obtuvo el tiempo de concentración utilizando los criterios de Kirpich, US Army, Kerby y SCS los cuales se pueden expresar como sigue:

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

- **Criterio de Kirpich:**

$$T_c = 0.066 \frac{L^{1.155}}{H^{0.385}}$$

Dónde:

**T<sub>c</sub>**: tiempo de concentración en horas.

**L**: longitud del cauce principal en Km.

**H**: desnivel total del cauce principal en Km.

- **Criterio del US Army:**

$$T_c = \frac{0.707 (1.1 - C) L^{0.5}}{S^{1/3}}$$

Dónde:

**T<sub>c</sub>**: tiempo de concentración en min.

**C**: coeficiente de escorrentía.

**L**: longitud del cauce principal en m.

**S**: pendiente media del cauce principal en m/m.

- **Criterio de Kerby:**

$$T_c = 1.44 \left( \frac{L m}{S^{1/2}} \right)^{0.467}$$

Dónde:

**T<sub>c</sub>**: tiempo de concentración en min.

**M**: coeficiente que depende de la superficie.

**L**: longitud del cauce principal en m.

**S**: pendiente media del cauce principal en m/m.

El valor de los coeficientes C, M y a se obtuvieron de la observación de la cobertura y uso del suelo general de cada cuenca, en el visualizador geográfico Google Earth de uso libre. En la Tabla 31 se presenta el valor de los coeficientes utilizados y el resultado obtenido para cada uno de los criterios expresados anteriormente. Además, en la última columna se puede observar el valor del tiempo de concentración adoptado, el cual corresponde al promedio de los valores que resultaron similares.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

**Tabla 31. Estimación de los tiempos de concentración de las cuencas de los puntos críticos**

Punto Crítico	C	m	a	Kirpich	Kerby	US FAA	SCS	Tc (h)
1	0.35	0.60	1.1	1.18	2.74	2.14	10.71	2.44
2	0.35	0.60	1.1	1.25	2.83	2.22	11.48	2.52
3	0.35	0.45	1.3	0.21	0.83	0.65	0.93	0.74
4	0.35	0.45	1.3	0.17	0.74	0.58	0.73	0.65
5	0.35	0.45	1.3	0.31	1.07	0.87	1.61	0.97
6	0.35	0.60	1.1	1.35	2.98	2.35	12.78	2.66

Fuente: Geocing SAS.

### 12.3 ESTACIONES CERCANAS AL MUNICIPIO DE TERUEL

Por otra parte, en los archivos del IDEAM se buscaron las estaciones con información disponible de registros de caudal de las correspondientes que se encontraran dentro del área de estudio o en su defecto, las estaciones con información de precipitación en las cuencas de las mismas o en su alrededor. La información anterior, se complementó con la búsqueda de las estaciones climatológicas existentes. En la tabla que se presenta a continuación se relacionan las estaciones de las cuales se solicitó la información ante el IDEAM.

**Tabla 32. Información hidrometeorológica en el municipio de Teruel.**

Código	Nombre	Categoría	Municipio
21080040	MICROCUCENCA 1	PM	TERUEL
21080050	CARACOL EL	PM	TERUEL
21080080	LA MINA	PG	TERUEL
21080090	LA ARMENIA	PG	TERUEL
21080100	LAS HERRERAS	PM	TERUEL
21085030	SAN RAFAEL	CO	TERUEL
21085020	IQUIRA	CO	ÍQUIRA
21080070	HDA STA ROSA	PM	YAGUARÁ
21105060	HIDROBETANIA	CP	CAMPOALEGRE
21120100	EL VOLCAN	PM	PALERMO
21085040	TERPEYA COLOMBIA	CO	ÍQUIRA
21125010	STA MARÍA	CO	SANTA MARÍA

Fuente: Geocing SAS.

### 12.4 ANÁLISIS DE LA PRECIPITACIÓN MÁXIMA RVAS PDF E IDF

El comportamiento de la precipitación máxima en 24 horas, se estudió en cada una de las estaciones recopiladas, realizando un análisis de frecuencia de las series anuales, de manera tal que se pudiese establecer la función de distribución de probabilidades que mejor se ajuste a los registros.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

En todas las estaciones, las series anuales de precipitación máxima en 24 horas se ajustaron a funciones de distribución de probabilidades Gumbel Tipo I, Normal y Log Normal.

Con el propósito de establecer la distribución de probabilidad que mejor representa las series de datos, se utilizó el criterio de Kolmogorov – Smirnov en el cual se estableció la desviación máxima entre el histograma de la serie y la función de distribución de probabilidades sometida a la prueba y se comparó con el estadígrafo crítico de la prueba. En todos los casos se obtuvo que cualquiera de las distribuciones ensayadas podría representar el comportamiento de la precipitación máxima en 24 horas; por lo tanto, para efecto de este estudio, se seleccionó como representativa, la función que presentara la menor desviación.

De esta manera con base en la función de distribución de probabilidades seleccionada, se estimó la precipitación máxima en 24 horas esperada para los períodos de retorno 2.33, 5, 10, 15, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años.

Con base en los estimativos de precipitación máxima en 24 horas para diferentes períodos de retorno, se construyeron las curvas de Precipitación – Duración – Frecuencia (PDF) y las correspondientes a las de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF) en cada estación.

Para lo anterior, se partió de los resultados encontrados por diversos investigadores como: B.M. Reich, D.M. Hershfield, L.L. Weiss y W.T. Wilson<sup>1</sup> que han encontrado que las relaciones duración – lluvia obtenidas en Estados Unidos y otros países, pueden ser aplicadas en otras regiones del mundo, cuyas localizaciones y climas son muy variados. El departamento Meteorológico de los Estados Unidos (U.S. Weather Bureau) y otros estudios realizados, han concluido que: “La lluvia de t minutos de duración tiene un cociente o relación estable con la lluvia de una hora y mismo período de retorno”; al respecto, F.C. Bell reporta las siguientes relaciones para duraciones cortas, indicando que tales cocientes son independientes del período de retorno.

**Tabla 33. Relación de duraciones cortas de la lluvia**

DURACIONES, EN MINUTOS						
5	10	15	30	45	60	120
0.30	0.45	0.57	0.79	0.91	1.00	1.25

Fuente: Geocing SAS.

<sup>1</sup> A.C. Goswami. “Short Duration Rainfall Depth-Duration-Frequency Map of India”. Proceedings of the Second International Symposium in Hydrology. Fort Collins, Colorado, USA 1972.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

De otra parte, D.M. Hershfield y W.T. Wilson establecieron las siguientes relaciones entre la lluvia de 1 hora y la de 24 horas, cubriendo una amplia variedad de climas del mundo:

**Tabla 34. Relación entre la lluvia de 1 hora y la de 24 horas.**

<b>Número medio de días con lluvia al año.</b>	1	8	16	24
<b>Relación entre la lluvia de 1 hora y 24 horas.</b>	0.20	0.30	0.40	0.50

Fuente: Geocing SAS.

Utilizando las relaciones anteriores, se construyeron las curvas PDF e IDF para cada una de las estaciones.

### • Análisis de Precipitación Máxima y Curvas PDF e IDF en el Municipio de Teruel

A continuación, se presentan los análisis de frecuencia realizados con los registros de precipitación recopilados en el municipio de Teruel y la determinación de las curvas de Precipitación – Duración – Frecuencia (PDF) e intensidad – Duración – Frecuencia obtenidas para las estaciones seleccionadas como representativas en las cuencas bajo estudio en este municipio.

### • Análisis de Precipitación Máxima en 24 horas. Municipio de Teruel

De acuerdo con la técnica de los polígonos de Thiessen, se estableció que las estaciones representativas en las cuencas delimitadas en cada sitio crítico, corresponden a las estaciones; San Rafael, El Volcán, La Mina y Las Herreras (Ver Ilustración 106). En la Ilustración 106 se presenta los polígonos de Thiessen que permitieron seleccionar las estaciones mencionadas.

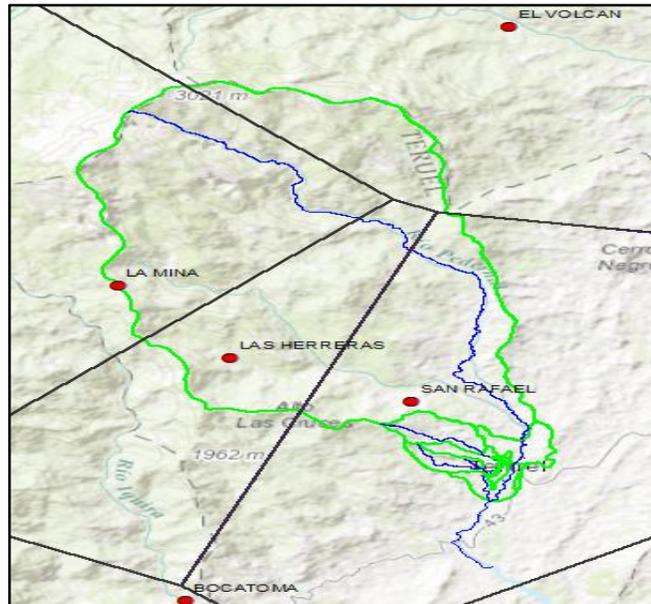


Ilustración 106. Polígonos de Thiessen para las cuencas del municipio Teruel.

Con base en los registros recopilados de las estaciones mencionadas, se establecieron las series anuales de precipitación máxima en 24 horas que se presentan en las Tabla 35, Tabla 36 y Tabla 38.

Tabla 35. Serie Anual de Precipitación Máxima en 24 horas en la estación San Rafael.

Año	P <sub>max24h</sub> (mm)	Año	P <sub>max24h</sub> (mm)
1985	83.6	2000	100.5
1986	85.5	2001	103.5
1987	75	2002	76
1988	92.1	2003	57.1
1989	103.6	2004	121.5
1990	135	2005	94
1991	84.2	2007	73
1992	101.5	2008	101.8
1993	61.6	2009	84.5
1994	84.3	2010	113.5
1995	83	2011	107.5
1996	84.2	2012	62.5
1997	89.7	2013	120.2
1998	88.4	2014	104.6
1999	99.5	2015	77.8
		2016	113.4

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 36. Serie Anual de Precipitación Máxima en 24 horas en la estación El Volcán.

Año	P <sub>max24h</sub> (mm)	año	P <sub>max24h</sub> (mm)
1977	84	1998	110
1978	90	1999	110



Año	P <sub>max24h</sub> (mm)	año	P <sub>max24h</sub> (mm)
1979	110	2000	79
1980	79	2001	130
1981	60	2002	93
1982	70	2003	79
1984	104	2004	83
1985	68	2005	139
1986	75	2007	90
1987	84	2008	90
1988	103	2009	70
1989	100	2010	98
1991	62	2011	88
1992	140	2012	97
1993	95	2013	89
1994	87	2014	70
1995	79	2015	70
1996	70	2016	80
1997	130	2017	70

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 37. Serie Anual de Precipitación Máxima en 24 horas en la estación La Mina.

Año	P <sub>max24h</sub> (mm)	Año	P <sub>max24h</sub> (mm)
1976	94	1997	74
1977	125	1998	91
1978	40	1999	74
1979	26	2000	140
1980	56	2001	90.6
1982	48	2002	60.6
1983	82.6	2003	53.3
1984	60.7	2004	102.3
1985	70.3	2005	67.6
1986	65.6	2006	75
1987	72.5	2007	93
1988	54.9	2008	58.1
1989	91.4	2009	109.7
1990	69.8	2010	84.6
1991	69.5	2011	93.4
1992	77.5	2012	65.7
1993	79.4	2013	59
1994	63	2014	89
1995	124	2015	69.2
1996	58	2016	83.2

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 38. Serie Anual de Precipitación Máxima en 24 horas en la estación Las Herreras.

Año	P <sub>max24h</sub> (mm)	Año	P <sub>max24h</sub> (mm)
1976	79	1997	84
1977	102	1998	75
1978	35	1999	91



Año	P <sub>max24h</sub> (mm)	Año	P <sub>max24h</sub> (mm)
1979	40	2000	101
1980	54	2001	72
1981	52	2004	100
1982	27	2005	130
1983	55	2006	130
1984	117	2007	100
1985	60.3	2008	134
1986	199	2009	90
1987	83	2010	85
1988	80	2011	100
1989	11.5	2012	94
1992	109.4	2013	140
1993	80	2014	95
1994	80	2015	110
1995	70	2016	95

Fuente: Geocing SAS.

• **Curvas PDF e IDF de las estaciones representativas.**

De acuerdo con la metodología expuesta para establecer las curvas de Precipitación – Duración – Frecuencia (PDF) y sus correspondientes de Intensidad – Duración – Frecuencia (IDF), se obtuvieron los resultados que se presentan en las Tabla 39 a la Tabla 46.

**Tabla 39. Curvas de Precipitación – Duración – Frecuencia de la Estación San Rafael.**

Curvas Precipitación - Duración - Frecuencia (PDF)								
Tr (años)	Duración (min)							
	5	10	15	30	45	60	120	1440
2.33	12.1	22.3	28.2	38.4	44.3	48.5	58.7	95.1
5	13.6	25.1	31.8	43.2	49.9	54.7	66.1	107.1
10	14.6	26.9	34.1	46.4	53.6	58.7	71.0	115.1
15	15.1	27.9	35.3	48.0	55.5	60.8	73.5	119.1
25	15.7	28.9	36.7	49.9	57.6	63.1	76.3	123.6
50	16.4	30.2	38.3	52.1	60.2	65.9	79.7	129.1
100	17.0	31.4	39.8	54.1	62.5	68.4	82.7	134.1
200	17.6	32.4	41.1	55.9	64.6	70.7	85.5	138.6
500	18.3	33.7	42.7	58.1	67.1	73.5	88.9	144.1
1000	18.8	34.6	43.9	59.7	68.9	75.5	91.3	148.0

Nota: Precipitación en mm

Fuente: Geocing SAS.

**Tabla 40. Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia de la Estación San Rafael.**

Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF)								
Tr (años)	Duración (min)							
	5	10	15	30	45	60	120	1440
2.33	145.1	133.5	112.8	76.7	59.1	48.5	29.3	4.0
5	163.4	150.4	127.1	86.4	66.5	54.7	33.1	4.5
10	175.6	161.6	136.5	92.9	71.5	58.7	35.5	4.8
15	181.7	167.2	141.2	96.1	74.0	60.8	36.7	5.0



Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF)								
Tr (años)	Duración (min)							
	5	10	15	30	45	60	120	1440
25	188.6	173.6	146.6	99.7	76.8	63.1	38.1	5.2
50	197.0	181.3	153.1	104.2	80.2	65.9	39.8	5.4
100	204.5	188.2	159.0	108.2	83.3	68.4	41.4	5.6
200	211.5	194.6	164.4	111.8	86.1	70.7	42.8	5.8
500	219.8	202.3	170.9	116.2	89.5	73.5	44.5	6.0
1000	225.7	207.7	175.5	119.3	91.9	75.5	45.6	6.2

Nota: Intensidad en mm/h

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 41. Curvas de Precipitación – Duración – Frecuencia de la Estación El Volcán.

Curvas Precipitación - Duración - Frecuencia (PDF) Ajustadas								
Tr (años)	Duración (min)							
	5	10	15	30	45	60	120	1440
2.33	11.5	21.1	26.8	36.4	42.1	46.1	55.7	90.3
5	13.6	25.0	31.7	43.1	49.7	54.5	65.9	106.8
10	15.3	28.1	35.6	48.5	56.0	61.3	74.2	120.2
15	16.2	29.9	37.9	51.5	59.5	65.2	78.8	127.8
25	17.4	32.1	40.7	55.3	63.9	70.0	84.6	137.1
50	19.0	35.0	44.4	60.4	69.7	76.4	92.4	149.7
100	20.6	37.9	48.1	65.4	75.5	82.7	100.1	162.2
200	22.2	40.9	51.8	70.4	81.3	89.1	107.7	174.6
500	24.3	44.7	56.6	77.0	89.0	97.5	117.9	191.0
1000	25.9	47.6	60.3	82.0	94.8	103.8	125.5	203.4

Nota: Precipitación en mm

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 42. Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia de la Estación El Volcán.

Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF)								
Tr (años)	Duración (min)							
	5	10	15	30	45	60	120	1440
2.33	137.8	126.8	107.1	72.8	56.1	46.1	27.9	3.8
5	162.9	149.9	126.6	86.1	66.3	54.5	32.9	4.4
10	183.4	168.7	142.5	96.9	74.6	61.3	37.1	5.0
15	194.9	179.3	151.5	103.1	79.3	65.2	39.4	5.3
25	209.2	192.5	162.6	110.6	85.2	70.0	42.3	5.7
50	228.4	210.2	177.5	120.8	93.0	76.4	46.2	6.2
100	247.4	227.7	192.3	130.8	100.7	82.7	50.0	6.8
200	266.4	245.1	207.1	140.9	108.5	89.1	53.9	7.3
500	291.4	268.2	226.5	154.1	118.6	97.5	58.9	8.0
1000	310.3	285.6	241.2	164.1	126.3	103.8	62.8	8.5

Nota: Intensidad en mm/h

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 43. Curvas de Precipitación – Duración – Frecuencia de la Estación La Mina.

Curvas Precipitación - Duración - Frecuencia (PDF) Ajustadas								
Tr (años)	Duración (min)							
	5	10	15	30	45	60	120	1440
2.33	9.8	18.0	22.8	31.0	35.8	39.3	47.5	77.0

Curvas Precipitación - Duración - Frecuencia (PDF) Ajustadas								
Tr (años)	Duración (min)							
	5	10	15	30	45	60	120	1440
5	12.0	22.2	28.1	38.2	44.1	48.3	58.5	94.8
10	13.8	25.5	32.2	43.9	50.7	55.5	67.1	108.8
15	14.8	27.3	34.5	47.0	54.3	59.5	71.9	116.5
25	16.0	29.5	37.4	50.8	58.7	64.3	77.8	126.0
50	17.6	32.4	41.1	55.9	64.6	70.7	85.5	138.6
100	19.2	35.3	44.8	60.9	70.3	77.0	93.2	151.0
200	20.8	38.2	48.4	65.8	76.1	83.3	100.7	163.3
500	22.8	42.0	53.2	72.4	83.6	91.6	110.8	179.5
1000	24.4	44.9	56.9	77.4	89.4	97.9	118.4	191.9

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 44. Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia de la Estación La Mina.

Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF)								
Tr (años)	Duración (min)							
	5	10	15	30	45	60	120	1440
2.33	117.4	108.0	91.3	62.1	47.8	39.3	23.7	3.2
5	144.5	133.0	112.4	76.4	58.8	48.3	29.2	3.9
10	165.9	152.7	129.0	87.7	67.6	55.5	33.6	4.5
15	177.8	163.6	138.2	94.0	72.4	59.5	36.0	4.9
25	192.3	176.9	149.5	101.7	78.3	64.3	38.9	5.3
50	211.4	194.6	164.4	111.8	86.1	70.7	42.8	5.8
100	230.3	211.9	179.0	121.8	93.8	77.0	46.6	6.3
200	249.1	229.2	193.6	131.7	101.4	83.3	50.4	6.8
500	273.8	252.0	212.9	144.8	111.5	91.6	55.4	7.5
1000	292.7	269.3	227.5	154.8	119.2	97.9	59.2	8.0

Nota: Intensidad en mm/h

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 45. Curvas de Precipitación – Duración – Frecuencia de la Estación Las Herreras.

Curvas Precipitación - Duración - Frecuencia (PDF) Ajustadas								
Tr (años)	Duración (min)							
	5	10	15	30	45	60	120	1440
2.33	12.0	22.1	28.0	38.0	43.9	48.1	58.2	94.3
5	14.9	27.5	34.8	47.3	54.7	59.9	72.4	117.4
10	16.9	31.1	39.3	53.5	61.8	67.7	81.9	132.7
15	17.8	32.8	41.6	56.6	65.4	71.6	86.6	140.4
25	19.0	34.9	44.2	60.1	69.4	76.1	92.0	149.1
50	20.3	37.4	47.3	64.4	74.4	81.4	98.5	159.6

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

Curvas Precipitación - Duración - Frecuencia (PDF) Ajustadas								
Tr (años)	Duración (min)							
	5	10	15	30	45	60	120	1440
100	21.5	39.6	50.1	68.2	78.8	86.3	104.4	169.1
200	22.6	41.6	52.7	71.7	82.8	90.7	109.7	177.8
500	23.9	44.1	55.8	76.0	87.7	96.1	116.2	188.4
1000	24.9	45.8	58.0	79.0	91.2	99.9	120.8	195.8

Nota: Precipitación en mm

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 46. Curvas de Intensidad – Duración – Frecuencia de la Estación Las Herreras.

Curvas Intensidad - Duración - Frecuencia (IDF)								
Tr (años)	Duración (min)							
	5	10	15	30	45	60	120	1440
2.33	143.8	132.4	111.8	76.0	58.6	48.1	29.1	3.9
5	179.1	164.8	139.2	94.7	72.9	59.9	36.2	4.9
10	202.5	186.3	157.4	107.1	82.4	67.7	40.9	5.5
15	214.1	197.1	166.5	113.2	87.2	71.6	43.3	5.8
25	227.4	209.3	176.8	120.2	92.6	76.1	46.0	6.2
50	243.5	224.1	189.3	128.8	99.1	81.4	49.2	6.7
100	258.0	237.4	200.6	136.4	105.0	86.3	52.2	7.0
200	271.3	249.6	210.9	143.4	110.4	90.7	54.9	7.4
500	287.4	264.4	223.4	151.9	117.0	96.1	58.1	7.8
1000	298.6	274.8	232.1	157.9	121.6	99.9	60.4	8.2

Nota: Intensidad en mm/h

Fuente: Geocing SAS.

Las curvas PDF y/o IDF, fueron utilizadas para establecer la tormenta asociada a cada uno de los periodos de retorno involucrados en este estudio, con el fin de ser utilizada en los diferentes modelos lluvia – escorrentía que se exponen adelante, para así determinar el caudal máximo en cada punto de interés, asociados a períodos de retorno entre 2.33 y 1000 años.

## 12.5 CAUDALES MÁXIMOS

Los caudales máximos se establecieron a partir de los resultados anteriores, aplicando un modelo lluvia – escorrentía adecuada al tamaño del área de la cuenca de drenaje en cada punto crítico.

Las cuencas menores o iguales a 2.5 Km<sup>2</sup>, se saturan con facilidad antes de presentarse la tormenta de diseño; por esta razón en estos casos se aplica el

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

modelo lluvia – escorrentía conocido como Método Racional, el cual fue deducido para estas condiciones. Dicho método se puede expresar como:

$$Q_{Tr} = 0.278 C I_{Tr} A$$

Dónde:

**Q<sub>Tr</sub>**: Caudal máximo en m<sup>3</sup>/s para un período de retorno “Tr”.

**C**: Coeficiente de escorrentía adimensional

**A**: Área de drenaje, en km<sup>2</sup>.

**I<sub>Tr</sub>**: Intensidad de la lluvia en mm/h para un período de retorno “Tr” y una duración de lluvia igual al tiempo de concentración.

El coeficiente de escorrentía (C) se seleccionó de acuerdo con la cobertura y uso del suelo y la intensidad de la lluvia se obtuvo de las curvas IDF deducidas anteriormente.

Cuando en una cuenca el drenaje tiene influencia de dos o más estaciones (de acuerdo con los polígonos de Thiessen), la intensidad de la lluvia a utilizar debe ser el promedio ponderado de la intensidad obtenida en cada estación, con base en las áreas de influencia de las estaciones en la cuenca bajo estudio.

La duración de la tormenta de diseño se tomó igual al tiempo de concentración de la cuenca obtenido anteriormente, adoptando como valor mínimo 15 min cuando el tiempo de concentración sea menor a este valor.

Para cuencas con áreas mayores a 2,5 Km<sup>2</sup> se utilizó el modelo lluvia – escorrentía conocido como el del hidrograma Unitario.

En consecuencia, el caudal máximo se obtuvo aplicando el hidrograma de precipitación efectiva obtenido para la tormenta de diseño, al hidrograma unitario, estimado mediante el método propuesto por el U. S. Soil Conservation Service, cuyos parámetros básicos son:

$$Q_p = 0.208 A P_e / t_p$$

$$t_p = D/2 + t_r$$

$$t_r = 0.6 T_c$$

$$T_b = 2.67 t_p$$

Dónde:

**Q<sub>p</sub>**: caudal pico en m<sup>3</sup>/s

**A**: área de la cuenca de drenaje en Km<sup>2</sup>

**P<sub>e</sub>**: precipitación efectiva en mm

**t<sub>p</sub>**: tiempo al pico del hidrograma unitario en h

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

**D:** duración de la tormenta de diseño en h

**tr:** tiempo de retardo en h

**Tc:** tiempo de concentración en h

**Tb:** tiempo base del hidrograma

La precipitación de la tormenta de diseño se obtuvo a partir de las curvas PDF deducidas anteriormente, considerando una duración similar a dos veces el tiempo de concentración de la cuenca. La precipitación efectiva se estableció mediante el método del U.S. Soil Conservation Service, el cual se puede expresar de la siguiente manera:

$$Pe = \frac{\left( P - \frac{5080}{N} + 50.8 \right)^2}{\left( P + \frac{20320}{N} - 203.2 \right)}$$

Dónde:

**Pe:** Precipitación efectiva en mm.

**P:** Precipitación en mm.

**N:** Número de curva.

Las precipitaciones efectivas así obtenidas se redistribuyeron en el tiempo, teniendo en cuenta la distribución propuesta por F. A. Huff<sup>2</sup> para el segundo cuartil, con el 50% de probabilidad, configurando así el hietograma de precipitación efectiva que se le aplicó al hidrograma unitario con el fin de obtener los caudales máximos. El número de curva N depende del tipo y uso del suelo; sin embargo, su valor puede incrementarse o disminuir dependiendo de la humedad existente en la cuenca antes de presentarse la tormenta de diseño; por esta razón se diferencian tres estados básicos de humedad antecedente:

- **NI:** humedad antecedente seca; es decir los suelos de la cuenca se encuentran secos y por lo tanto presentan bajo potencial de escurrimiento.
- **NIII:** humedad antecedente promedio.
- **NIIII:** humedad antecedente saturado; los suelos de la cuenca se encuentran prácticamente saturados y por lo tanto presentan alto potencial de escurrimiento.

Las cuencas con áreas menores o iguales a 2,5 Km<sup>2</sup>, se saturan con facilidad por su pequeño tamaño y por lo tanto se analizan asumiendo una humedad antecedente tipo NIIII; es decir saturada. Por otra parte, en las cuencas con área

<sup>2</sup> F. A. Huff, "Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms" Water Resources Research. Vol3, No.4 1967.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

mayor a 2,5 Km<sup>2</sup>, la distribución espacial de la lluvia es menos uniforme en la medida en que crece la cuenca y por lo tanto es más difícil de saturar la cuenca en la medida en que crece el área de la misma. Por lo tanto, es necesario asumir condiciones de humedad antecedente más bajas en la medida en que crece su área.

Para efectos del presente estudio, se asumió que se pueden encontrar condiciones de humedad antecedente tipo NII, para cuencas con área de 250 Km<sup>2</sup>. Por lo tanto, para las cuencas con áreas entre 2,5 Km<sup>2</sup> y 250 Km<sup>2</sup>, se obtuvo el número de curva interpolando en función del área entre los valores NIII y NII. Para cuencas con área igual a 2500 Km<sup>2</sup>, se consideró que la condición de humedad antecedente era muy cercana a la del tipo NI; por lo tanto, para cuencas con área entre 250 Km<sup>2</sup> y 2500 Km<sup>2</sup>, se obtuvo el número de curva interpolando en función del área entre los valores NII y NI. Se realizó un ajuste por áreas de cuencas mayores de 100 Km<sup>2</sup>, Las tormentas así obtenidas se redistribuyeron en el tiempo, teniendo en cuenta la distribución propuesta por F. A. Huff<sup>3</sup> para el segundo cuartil, con el 50% de probabilidad.

- Caudales máximos

Teniendo en cuenta que las cuencas de los puntos críticos estudiados en el municipio de Teruel tienen áreas que varían entre 0,67 Km<sup>2</sup> y 68,66 Km<sup>2</sup>, en el cual se empleó el Método Racional para aquellas con áreas hasta 2,5 Km<sup>2</sup> y el Método del Hidrograma Unitario para aquellas con área mayor. Tabla 47 presenta los modelos lluvia – escorrentía utilizados en cada punto crítico y los números de curva (N) o coeficientes de escorrentía (C) adoptados.

**Tabla 47. Modelo lluvia – escorrentía utilizado y valores de N o de C empleados.**

Punto Crítico	Corriente	Área (km <sup>2</sup> )	Modelo	N	C
1	Río Pedernal	64.12	Hidrograma Unitario	83.6	
2	Río Pedernal	65.2	Hidrograma Unitario	83.5	
3	Qda. El Pueblo	1.32	Método Racional		0.35
4	Qda. Las Moyas	0.67	Método Racional		0.35
5	Qda. El Pueblo	2.57	Hidrograma Unitario	87.1	
6	Río Pedernal	68.66	Hidrograma Unitario	83.4	

Fuente: Geocing SAS.

Al aplicar las metodologías mencionadas se obtuvieron los siguientes caudales máximos en cada uno de los puntos críticos considerados los cuales se presentan en las siguientes tablas:

<sup>3</sup> F. A. Huff, "Time Distribution of Rainfall in Heavy Storms" Water Resources Research. Vol3, No.4 1967.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

**Tabla 48. Caudales Máximos esperados en el Punto Crítico 1.**

PUNTO CRITICO 1			
Tr (años)	Q (m3/s)	Tr (años)	Q (m3/s)
2.33	32.5	50	91.7
5	46.8	100	106
10	59.9	200	121.2
15	67.8	500	142.2
25	77.8	1000	158.6

Fuente: Geocing SAS.

**Tabla 49. Caudales Máximos esperados en el Punto Crítico 2.**

PUNTO CRITICO 2			
Tr (años)	Q (m3/s)	Tr (años)	Q (m3/s)
2.33	34.4	50	93.9
5	49.3	100	108.4
10	62.5	200	123.6
15	70.4	500	144.6
25	80.3	1000	161.2

Fuente: Geocing SAS.

**Tabla 50. Caudales Máximos esperados en el Punto Crítico 3.**

PUNTO CRITICO 3			
Tr (años)	Q (m3/s)	Tr (años)	Q (m3/s)
2.33	7.69	50	10.44
5	8.66	100	10.84
10	9.3	200	11.2
15	9.63	500	11.65
25	9.99	1000	11.96

Fuente: Geocing SAS.

**Tabla 51. Caudales Máximos esperados en el Punto Crítico 4.**

PUNTO CRITICO 4			
Tr (años)	Q (m3/s)	Tr (años)	Q (m3/s)
2.33	4.22	50	5.73
5	4.75	100	5.95
10	5.11	200	6.15
15	5.28	500	6.39
25	5.49	1000	6.56

Fuente: Geocing SAS.

**Tabla 52. Caudales Máximos esperados en el Punto Crítico 5.**

PUNTO CRITICO 5			
Tr (años)	Q (m3/s)	Tr (años)	Q (m3/s)
2.33	13.57	50	22.44
5	16.62	100	23.79
10	18.7	200	25.03
15	19.2	500	26.55
25	20.96	1000	27.62

Fuente: Geocing SAS.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

**Tabla 53. Caudales Máximos esperados en el Punto Crítico 6.**

PUNTO CRITICO 6			
Tr (años)	Q (m3/s)	Tr (años)	Q (m3/s)
2.33	37.98	50	99.46
5	53.68	100	114.06
10	67.57	200	129.24
15	75.6	500	150.12
25	85.59	1000	166.45

**Fuente: Geocing SAS.**

### 13 CARACTERIZACIÓN GEOTÉCNICA

Con el fin de generar y caracterizar geotécnicamente el modelo geotécnico del área de estudio, se llevó a cabo la exploración del subsuelo, por lo cual a continuación se presenta toda la investigación geotécnica relacionando el programa de exploración geotécnica ejecutado en el proyecto e igualmente se detallan los tipos y cantidades de ensayos de campo y laboratorio ejecutados

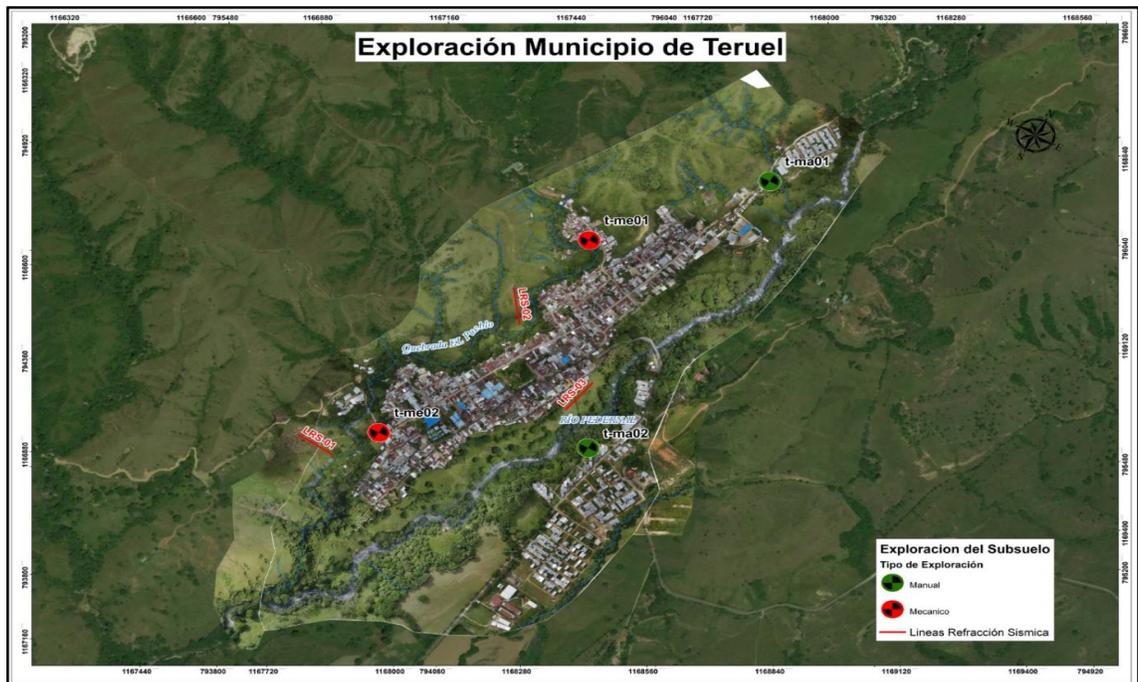


Ilustración 107. Localización Exploración Geotécnica.

Fuente: Google Earth.

#### 13.1 EXPLORACIÓN INDIRECTA

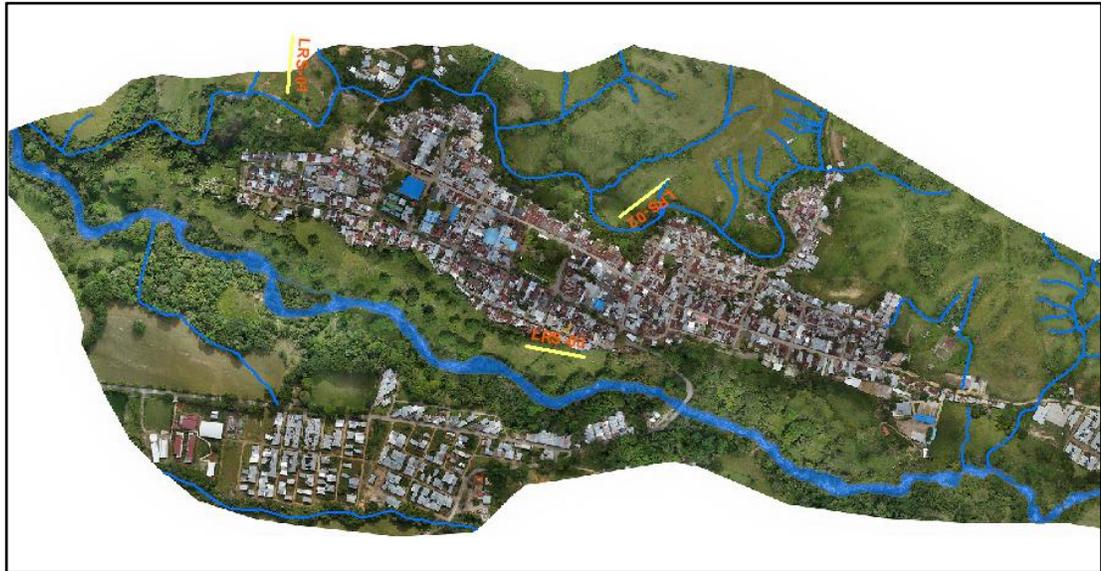
Se realizaron 3 líneas de refracción sísmica las cuales se encuentran relacionadas en la Tabla 54; donde se presentan las coordenadas el inicio y el fin de cada línea; adicionalmente en la se presenta las zonas donde se desarrolló cada ensayo.

Tabla 54. Coordenadas Exploración Geofísica Líneas Sísmica

Línea	INICIO		FIN		Longitud (m)
	ESTE	NORTE	ESTE	NORTE	
LRS-01	833790	794501	833898	794513	115
LRS-02	834158	795098	834074	795114	100
LRS-03	834352	794938	834430	795022	115

Fuente: Geocing SAS.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



**Ilustración 108. Localización Exploración Geofísica.**

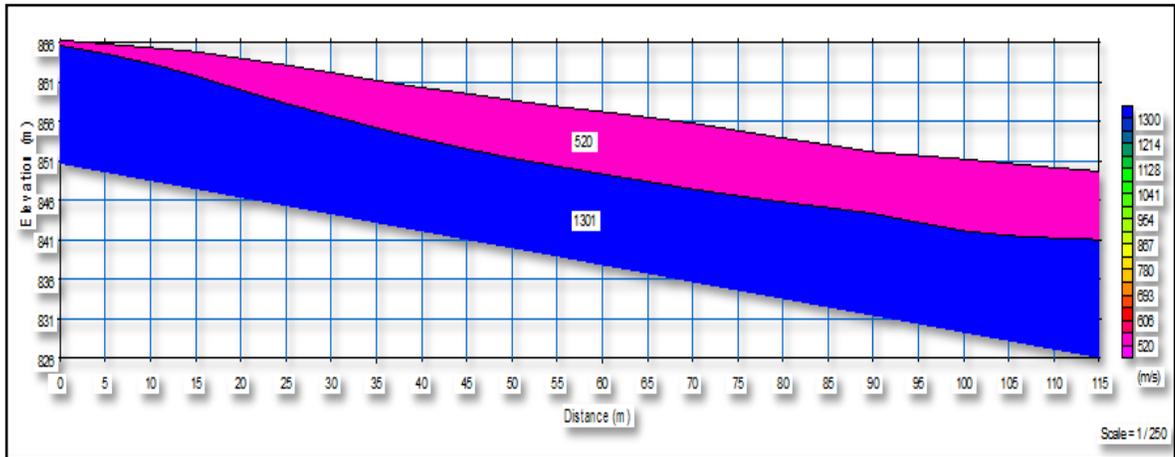
**Fuente: Google Earth.**

A continuación se presentan los resultados de la interpretación de los resultados de las Velocidad de onda de corte obtenidas para las pruebas realizadas en campo. Para el ensayo de refracción sísmica se muestran las gráficas del modelo simplificado y tomografía sísmica con sus respectivas interpretaciones. Seguido se muestran los resultados obtenidos para el MASW, de los cuales se obtiene los perfiles unidimensionales en profundidad y el perfil bidimensional (2D) del suelo, con una profundidad de investigación de 30 metros. En la Ilustración 109 se puede observar la localización del tendido de la línea sísmica LRS 01; adicionalmente en la Ilustración 109 se presenta el modelo simplificado de tres conjuntos de velocidades compresionales y en la Tabla 55 se presenta la clasificación de la ripabilidad según su velocidad:



**Ilustración 109. Ubicación del tendido de la línea sísmica LRS-01.**

**Fuente: Geocing SAS.**



**Ilustración 110. Modelo Simplificado LRS-01.**

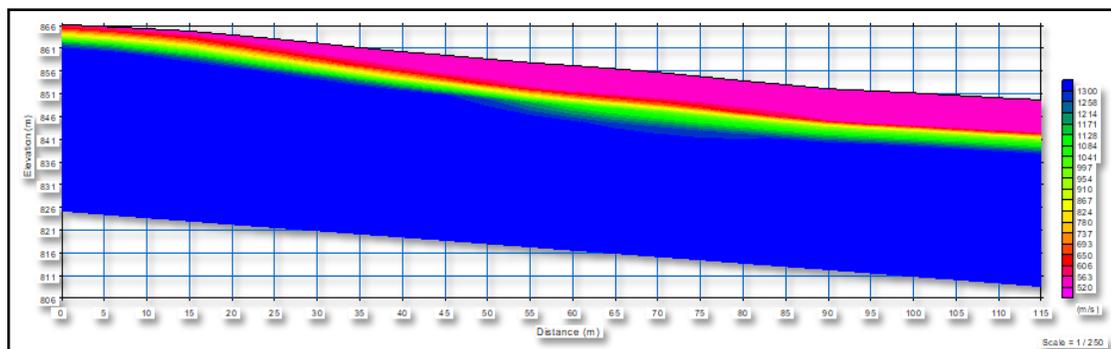
Fuente: Geocing SAS.

**Tabla 55. Clasificación Ripabilidad Vp L1.**

Línea	Vp (m/s)	Espesor (m)	Profundidad (m)	RIPABILIDAD
L1	520	9	0-9	Material suelto
	1301	-	9-30	Ripado normal

Fuente: Geocing SAS.

En la Ilustración 111 se puede observar el perfil determinado por medio de la tomografía, en el cual se pueden observar tres capas de materiales las cuales su resistencia aumenta con la profundidad dado que el valor de las velocidades de ondas incrementan conforme se profundiza la velocidad de onda de corte, finalmente en la Tabla 56, se presenta el resumen del perfil para las velocidades compresionales.



**Ilustración 111. Tomografía Sísmica LRS-01.**

Fuente: Geocing SAS

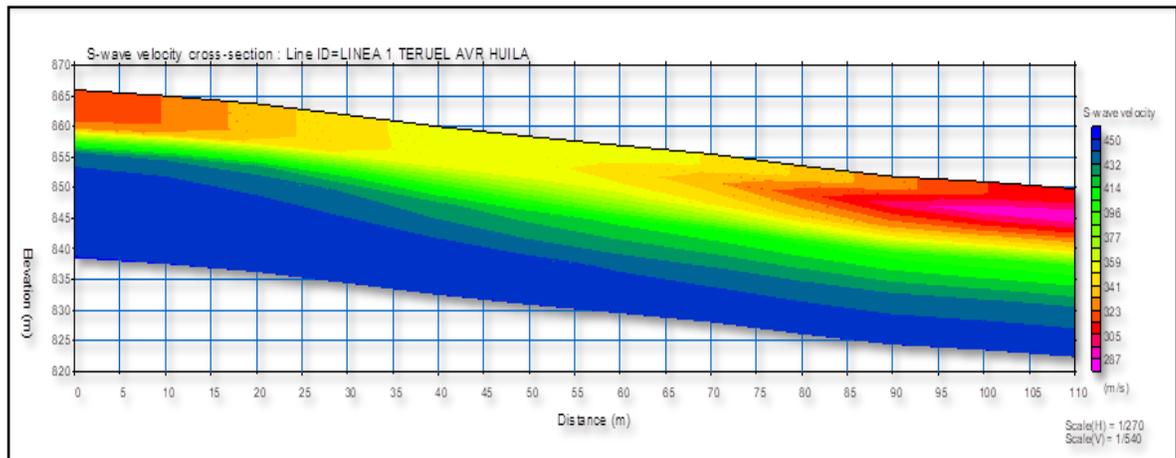
	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

**Tabla 56. Resumen Perfil Simple Vp L1.**

N° Línea	Estrato	Rango de Velocidad Vp(m/s)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Material
L1	1	520-693	9	0-9	Suelo Residual
	2	693-1171	4	9-13	Suelo Residual
	3	1171-1300	-	13-30	Roca Dura

Fuente: Geocing SAS.

Por medio del ensayo de ondas superficiales MASW, se genera un perfil unidimensional para este caso la velocidad de corte promedio es de Vs 287 m/s, que según la norma NSR-10 clasifica el perfil de suelos como tipo D, que caracteriza a perfiles de suelos rígidos. Posteriormente en la Tabla 56, se presenta el perfil de velocidades de onda para el perfil de suelo de la zona de análisis.



**Ilustración 112. Perfil bidimensional (2D) Vs MASW-01.**

Fuente: Geocing SAS.

**Tabla 57. Resumen Tomografía Vs L1.**

N° Línea	Estrato	Rango de Velocidad Vs(m/s)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Material
L1	1	287-341	10	0-10	Suelo Residual
	2	341-414	8	10-18	Suelo Residual
	3	414-450	-	18-30	Roca Dura

Fuente: Geocing SAS.

A continuación en la Ilustración 113 se puede ver la localización del tendido de la línea sísmica LRS 02, en la Ilustración 114 se presenta el modelo simplificado de dos conjuntos de velocidades compresionales y en la Tabla 58 se presenta la clasificación de la ripabilidad según su velocidad:



Ilustración 113. Ejecución LRS-02.  
Fuente: Geocing SAS.

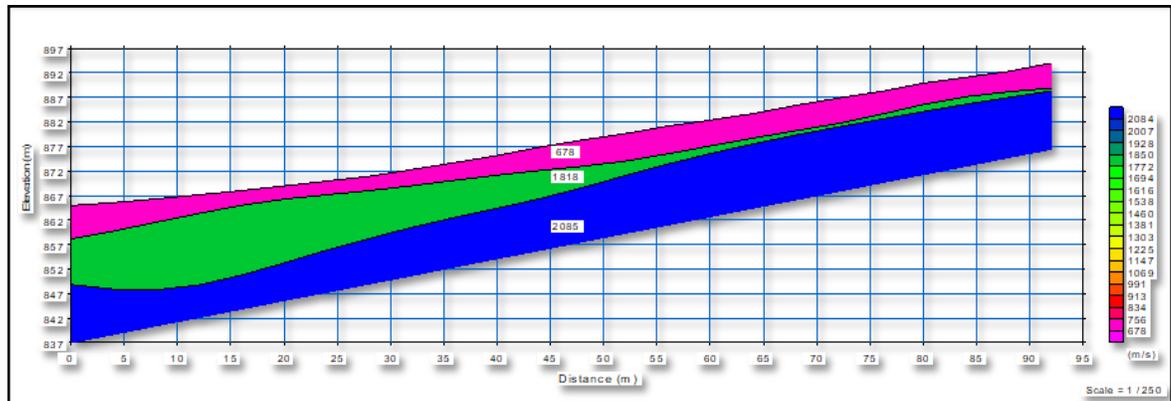


Ilustración 114. Modelo Simplificado LRS-02.  
Fuente: Geocing SAS.

Tabla 58. Clasificación Ripabilidad Vp L2.

Línea	Vp (m/s)	Espesor (m)	Profundidad (m)	RIPABILIDAD
L2	678	5	0-5	Ripado fácil
	1818	14	5-19	Ripado duro
	2085		19-30	No son ripables

Fuente: Geocing SAS.

En la Ilustración 115, se puede observar el perfil determinado por medio de la tomografía, en el cual se pueden observar tres capas de materiales las cuales su resistencia aumenta con la profundidad dado que el valor de las velocidades de ondas incrementa conforme se profundiza la velocidad de onda de corte, finalmente en la Tabla 59, se presenta el resumen del perfil para las velocidades compresionales.

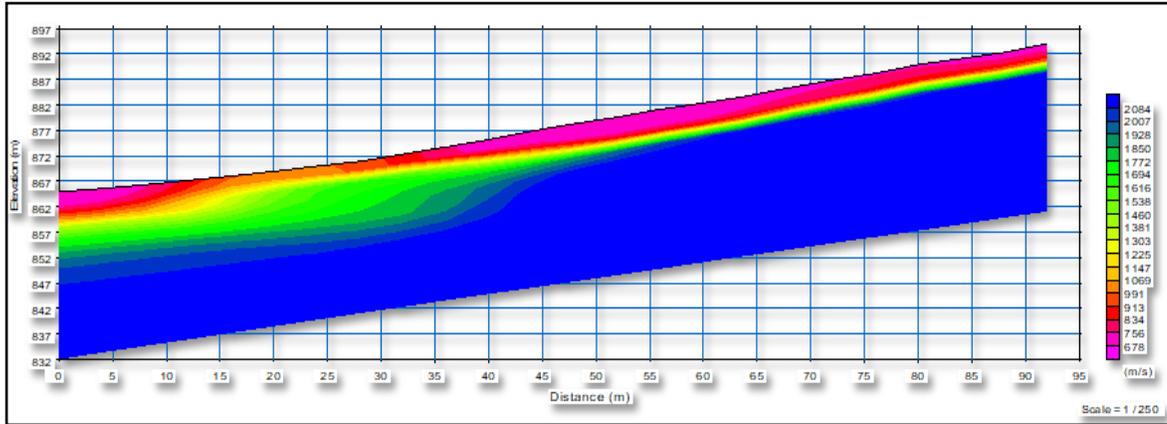


Ilustración 115. Tomografía sísmica LRS-02.

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 59. Resumen Tomografía Sísmica Vp L2.

N° Línea	Estrato	Rango de Velocidad Vp(m/s)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Material
L2	1	678-991	6	0-6	Suelo Residual
	2	991-1928	11	6-17	Roca intermedia
	3	1928-2084	-	17-30	Roca Dura

Fuente: Geocing SAS.

En general el perfil unidimensional presenta una velocidad de corte promedio Vs 678 m/s que según la norma NSR-10, se clasifica como un perfil de suelos tipo C, que caracteriza a perfiles de suelos muy densos o roca blanda (Ver Ilustración 116).

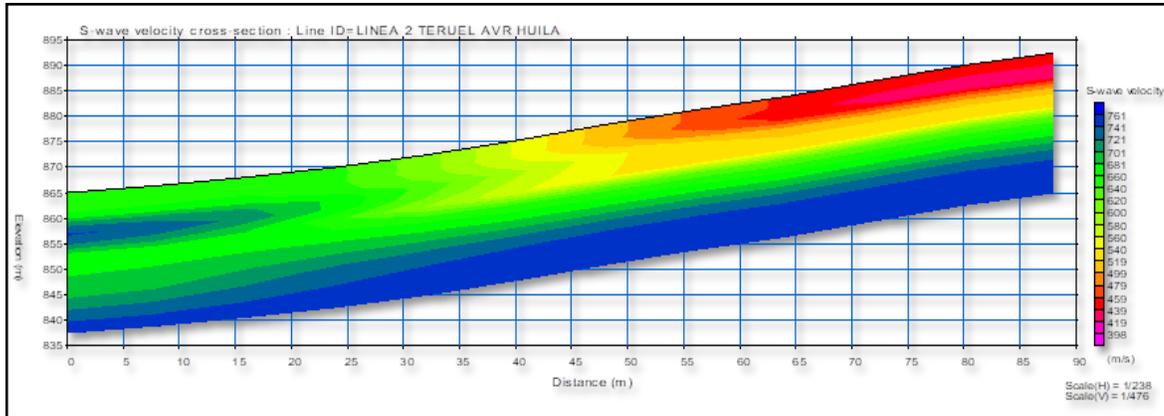


Ilustración 116. Perfil bidimensional (2D) Vs MASW-02.

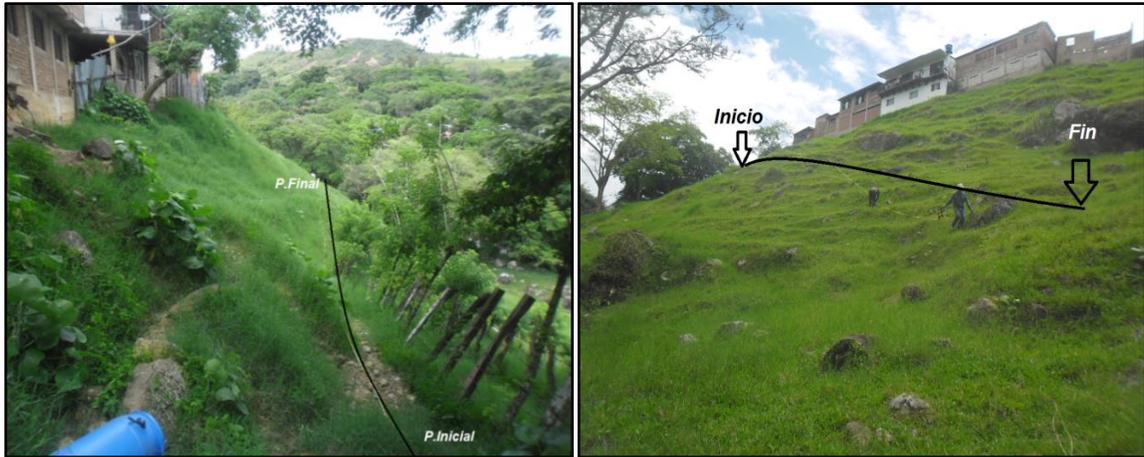
Fuente: Geocing SAS.

Tabla 60. Resumen Tomografía Vs L2.

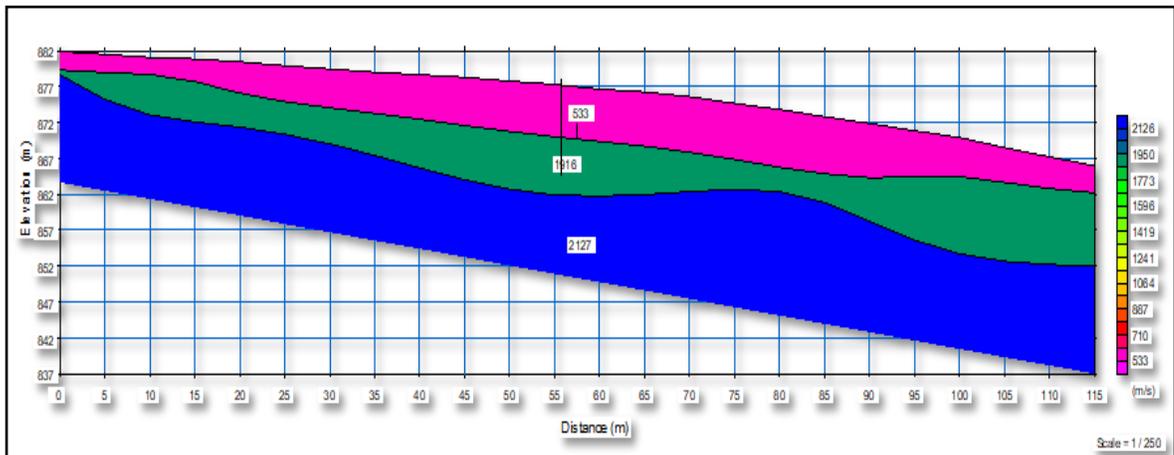
N° Línea	Estrato	Rango de Velocidad Vs(m/s)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Material
L2	1	398-499	10	0-10	Suelo Residual
	2	499-701	15	10-25	Roca intermedia
	3	701-761	-	25-30	Roca Dura

Fuente: Geocing SAS.

En la Ilustración 117 se puede ver la localización del tendido de la línea sísmica LRS 03- Sector La Calendaria, en la Ilustración 118 se presenta el modelo simplificado de tres conjuntos de velocidades compresionales y en la Tabla 61 se presenta la clasificación de la ripabilidad según su velocidad.



**Ilustración 117. Proceso de ejecución LRS-03.**  
Fuente: Geocing SAS.



**Ilustración 118. Modelo Simplificado LRS-03.**  
Fuente: Geocing SAS.

**Tabla 61. Clasificación Ripabilidad Vp L3.**

Línea	Vp (m/s)	Espesor (m)	Profundidad (m)	RIPABILIDAD
L3	533	10	0-10	<b>Material suelto</b>
	1916	10	10-20	<b>No son ripables</b>
	2127	-	20-30	<b>No son ripables</b>

Fuente: Geocing SAS.

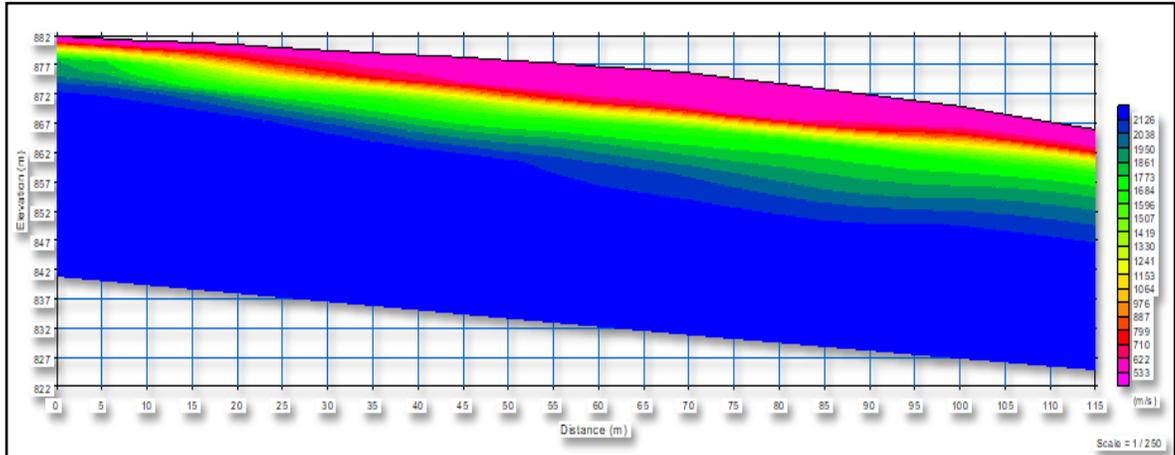


Ilustración 119. Tomografía sísmica LRS-03.

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 62. Resumen Tomografía Sísmica Vp L3.

N° Línea	Estrato	Rango de Velocidad Vp(m/s)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Material
L3	1	533-976	8	0-8	
	2	976-1861	10	8-18	
	3	1861-2125	-	18-30	

Fuente: Geocing SAS.

En general el perfil unidimensional presenta una velocidad de corte promedio Vs 518.2 m/s que según la norma NSR-10, se clasifica como un perfil de suelos tipo C, que caracteriza a perfiles de suelos muy densos o roca blanda (Ver Ilustración 120).

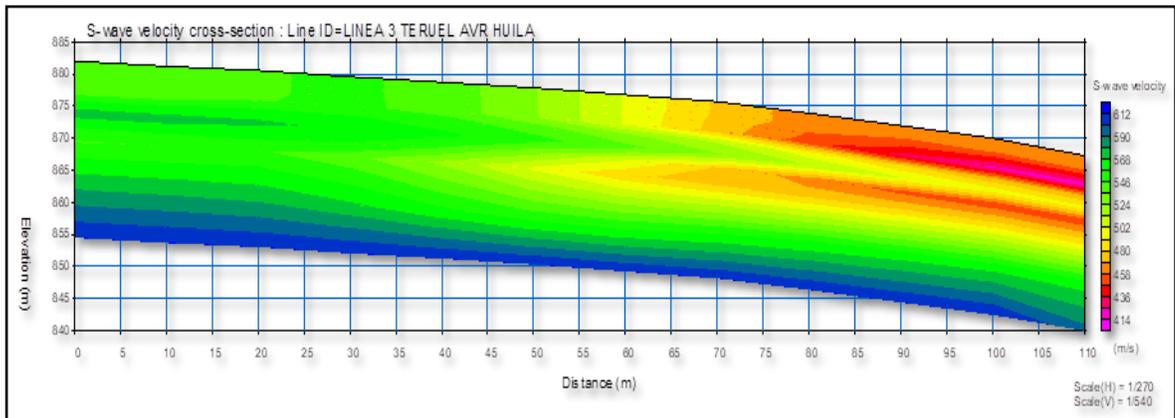


Ilustración 120. Perfil bidimensional (2D) Vs MASW-03.

Fuente: Geocing SAS.

	<b>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</b>
	<b>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</b>

**Tabla 63. Resumen Tomografía Vs L3.**

Nº Línea	Estrato	Rango de Velocidad Vs(m/s)	Espesor (m)	Profundidad (m)	Material
L3	1	414-480	8	0-8	
	2	480-568	16	8-24	
	3	568-612	-	24-30	

Fuente: Geocing SAS.

A continuación se presenta la Tabla 64 resumen de los parámetros geotécnicos obtenidos para la clasificación de suelos a partir de  $V_p$  y  $V_s$ :

**Tabla 64. Resumen de parámetros.**

Línea	Capa	$V_p$ (m/s) Promedio	$V_s$ (m/s) Promedio	N (aprox)	E kN/m <sup>2</sup>	G kN/m <sup>2</sup>	K kN/m <sup>2</sup>	Poisson	$V_s$ (m/s) Promedio del perfil	TIPO DE PERFL	DESCRIPCIÓN
L1	1	606	314	10	7344.7	2789.5	1499.2	0.32	405.3	C	PERFILES DE SUELOS MUY DENSOS O ROCA BLANDA
	2	932	377	19	17372.5	6194.8	3209.3	0.40			
	3	1235	432	28	30504.5	10663.7	5465.0	0.43			
L2	1	834	448	16	13911.1	5361.9	2908.3	0.30	603.7	C	PERFILES DE SUELOS MUY DENSOS O ROCA BLANDA
	2	1459	600	34	42573.6	15224.1	7899.5	0.40			
	3	2006	731	49	80480.7	28269.9	14525.6	0.42			
L3	1	754	447	14	11370.3	4625.7	2599.4	0.23	518.2	C	PERFILES DE SUELOS MUY DENSOS O ROCA BLANDA
	2	1418	524	33	40214.5	14150.8	7277.9	0.42			
	3	1993	590	49	79441.0	27356.2	13908.1	0.45			

Fuente: Geocing SAS.

De la exploración geofísica realizada se concluye: 1. La zona de estudio se caracteriza por tener un modelo simple de tres (3) capas de velocidades compresionales promedio de la que se tiene una primera capa  $V_{p1}$ = 690 m/s, asociada a materiales de ripado fácil, una segunda capa con una  $V_{p2}$ = 1665 m/s, asociado a materiales de ripado normal y por ultimo una capa  $V_{p3}$ = 1905 m/s interpretada como materiales no ripables.

Las tomografías sísmicas, se puede ver una distribución de tres capas, la primera capa entre los primeros 8 metros de profundidad, se puede describir como un deposito coluvial, una segunda capa con un espesor entre los 8 y 18 metros, la cual se asocia a una roca muy fracturada, por último, se presenta el contacto con una roca. Según los resultados arrojados por el estudio, la velocidad de onda de corte según la norma NSR-10, para la zona de estudio tenemos una clasificación que caracteriza a perfiles de suelos muy densos o roca blanda correspondientes a un perfil de Tipo C.

En los perfiles 2D de las velocidades de corte, podemos observar velocidades bajas, esto se debe posiblemente al contacto con una zona saturada, esto se presenta en la roca muy fracturada.

### 13.2 EXPLORACIÓN DIRECTA

Para lo lograr el objetivo anterior, se realizaron un total de 2 sondeos mecánicos, haciendo uso del ensayo de penetración estándar SPT y 2 Barrenos manuales hasta una profundidad máxima de 5.0 m, La localización de los sondeos realizados se puede observar en la Ilustración 121.

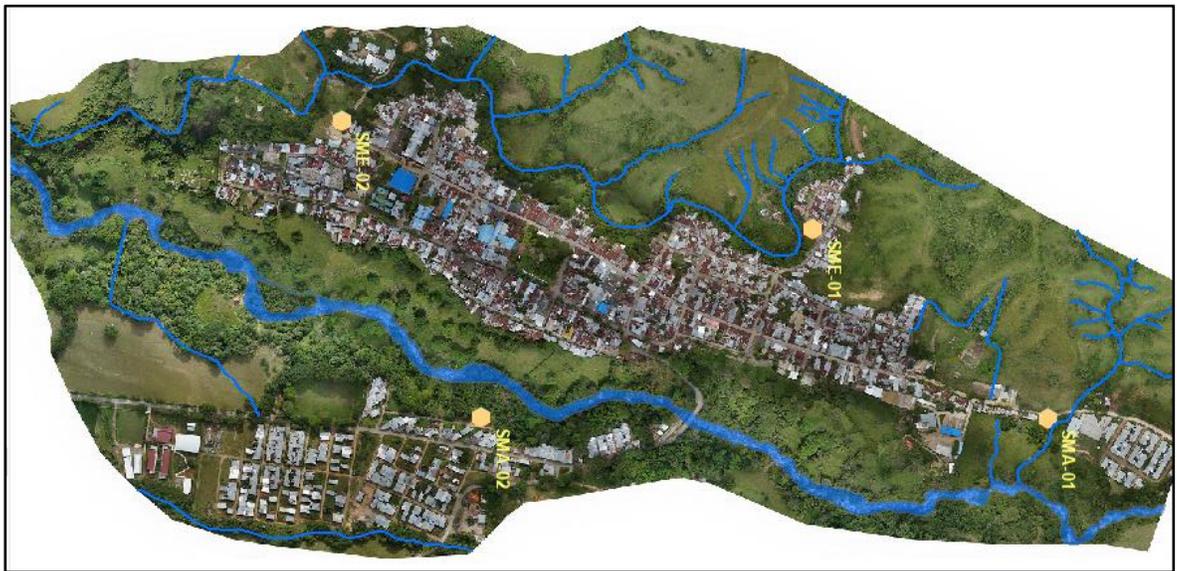


Ilustración 121. Localización de la exploración directa.

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 65. Coordenadas Exploración directa-Perforaciones

Perforación	Coordenadas		Profundidad (m)
	ESTE	NORTE	
BM1	437108,96	303780,47	5
BM2	437033,59	303194,6	5
SM1	436797,35	303398,24	
SM2	436618,89	302632,31	

Fuente: Geocing SAS.

A partir de las muestras recuperadas durante la exploración del subsuelo realizada en el municipio de Teruel, se ejecutaron los correspondientes ensayos de laboratorio, las cuales fueron identificadas de acuerdo al tipo de material; esto con el objetivo de poder conocer las características y propiedades, así como estimar los parámetros de resistencia de los tipos de materiales que constituyen el perfil de suelo del área de estudio. Para mayor detalle de los ensayos de laboratorio, en el Anexo 2. Caracterización Geotécnica se presenta todos los ensayos de laboratorio realizados sobre las muestras recuperadas de la Exploración del subsuelo. Los ensayos de laboratorio de caracterización básica y mecánica se

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

ejecutaron teniendo en cuenta los procedimientos de las normas INVIAS relacionados en la siguiente en la Tabla 66:

**Tabla 66. Normas INVIAS para ensayos de laboratorio**

Ensayo de laboratorio	Cantidad	Norma
Granulometría	12	I.N.V.E 123-07 Análisis granulométrico de suelos por tamizado
Humedad natural	13	I.N.V.E 122-07 Determinación en el laboratorio del contenido de agua (humedad) del suelo, roca y mezclas de suelo agregado
Límites de Atterberg	7	I.N.V.E 125-07 Determinación del límite líquido de los suelos
		I.N.V.E 126-07 Determinación del límite plástico de los suelos
Peso Unitario	2	I.N.V.E 121-07 Determinación del peso unitario total
Corte directo	1	I.N.V.E 154-07 Determinación de la resistencia al corte por el método de corte directo

Fuente: Geocing SAS.

De manera inicial se realizó el análisis de variación de propiedades geotécnicas por cada tramo de sección de comportamiento geotécnico homogéneo, obteniendo así modelos bidimensionales parametrizados los cuales fueron empelados como insumo para la caracterización geotécnica presentada en este estudio.

Cabe anotar que los parámetros de resistencia y deformabilidad se obtuvieron directamente de ensayos sobre muestras inalteradas recuperadas por medio de tubos Shelby, a las cuales se les realizaron ensayos de peso unitario, corte directo, resistencia a la compresión confinada y carga puntual. A las muestras obtenidas por medio del ensayo de penetración estándar, se les realizó ensayos de clasificación como humedad natural, límites de consistencia y lavado sobre tamiz No.200 con el fin de analizar y determinar los diferentes estratos de suelo que conforman el perfil estratigráfico.

Donde no fue posible recuperar muestras inalteradas, debido a las características de compacidad, se recurrió a la metodología propuesta por Álvaro Jaime González 1998” Estimativos de parámetros de resistencia a partir del SPT, con el objeto de determinar un ángulo de fricción interna efectivo y una cohesión efectiva para cada uno de los estratos. Los datos obtenidos con esta metodología son usados o descartados de acuerdo con la representatividad de sus valores en los materiales de análisis. Para aplicar la metodología de mencionada se construye una hoja de cálculo con la información de sondeos donde se realizaron ensayos SPT, y se determinan los valores de  $\phi'$  y  $c'$ . La hoja de cálculo se puede revisar en el Anexo 3 continuación se presenta la caracterización geotécnica de cada uno de los materiales reportados en el área de estudio.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

### 13.2.1 Roca intermedia formación Palermo (Ri-E<sub>1p</sub>)

Se encuentra infrayaciendo los suelos de origen aluvial sub-reciente (Stfasr) los cuales fueron determinados a través de reconocimiento en campo, sondeos mecánicos y línea de refracción sísmica (LRS). En la LRS 1 se reportó una velocidad  $V_s$  aproximada de 325 m/s con un espesor de 8 m, asociado al nivel de meteorización, continua hasta 30m de profundidad un nivel más compacto del mismo material con un reporte de  $V_s$  de 450m/s (Ver Ilustración 122).



Ilustración 122. Roca Intermedia de la formación Palermo (Ri-E<sub>1p</sub>).

Para la caracterización del macizo rocoso se requirió conocer los parámetros básicos de la roca y de las discontinuidades así como la estructura del macizo que incluye aspectos como el número de familias de discontinuidades existentes, el espaciado medio de los planos de discontinuidad, las características geomecánicas básicas de las discontinuidades. Asimismo fue necesario medir o estimar el estado tensional in-situ y en su caso las alteraciones producidas en el macizo por otras excavaciones. A continuación se presentan fotografías que con las cuales fue posible realizar la descripción cualitativa del macizo rocoso de origen ígneo formado por el Batolito de Ibagué indicando que este cuerpo ígneo se encuentra en contacto con la formación Palermo por la presencia de la falla La Plata de tipo inverso, de acuerdo con sus características se identificó en el perfil de meteorización como una zona de transición entre el horizonte IC-Saprolito. Por la descripción in situ de los materiales, se realizó la caracterización geomecánica el cuerpo ígneo del batolito de Ibagué, arrojando como resultado una

clasificación RMR como un macizo de Calidad MEDIA clase III; obtenidos de la tabla que se presenta a posteriormente en la Ilustración 123 de acuerdo con la RMR.

Parámetros de clasificación		Clasificación	Puntuación
<b>1 Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)</b>			
Ensayo de carga puntual	No aplica		0
Compresión simple	No aplica		0
<b>2 Índice RQD de la roca</b>			
RQD (%)	25-50		6
<b>3 Separación entre diaclasas</b>			
Separación entre diaclasas (m)	0,06-0,2		8
<b>4 Estado de las discontinuidades</b>			
Longitud de la discontinuidad (m)	1-3		4
Abertura (mm)	0,1 - 1,0		3
Rugosidad	Ligeramente rugosa		3
Relleno	Ninguno		6
Alteraciones	Moderada. Alteradamente		3
<b>5 Agua freática</b>			
Caudal por 10 m de tunel	No aplica		0
Presión agua/Tensión principal mayor	0,1-0,2		7
Estado general	Seco		15
<b>Corrección por discontinuidades</b>		<b>Clasificación</b>	<b>Puntuación</b>
Túneles	No aplica		0
Cimentaciones	Medias		-7
Aludes	Favorable		-5
		<b>Puntuación</b>	<b>43</b>

CLASIFICACIÓN RMR				
Calidad	Clase	Tiempo/Longitud de sostenimiento	Cohesión [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Angulo de rozamiento [°]
Media	III	1 semana con 5 m de vano	2-3	25-35

Foto croquis de la estación geomecánica

Orientación de las discontinuidades en el túnel						
Dirección perpendicular al eje del túnel				Dirección paralela al eje del túnel		Buzamiento 0°-20°. Cualquier dirección
Excavación con buzamiento		Excavación contra buzamiento		Buzamiento 20-45		
Buz. 45-90	Buz. 20-45	Buz. 45-90	Buz. 20-45	Buz. 45-90	Buz. 20-45	
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media	Desfavorable

Ilustración 123. Clasificación geomecánica RMR, Bieniawski, 1998 de la Formación Gigante –Nivel

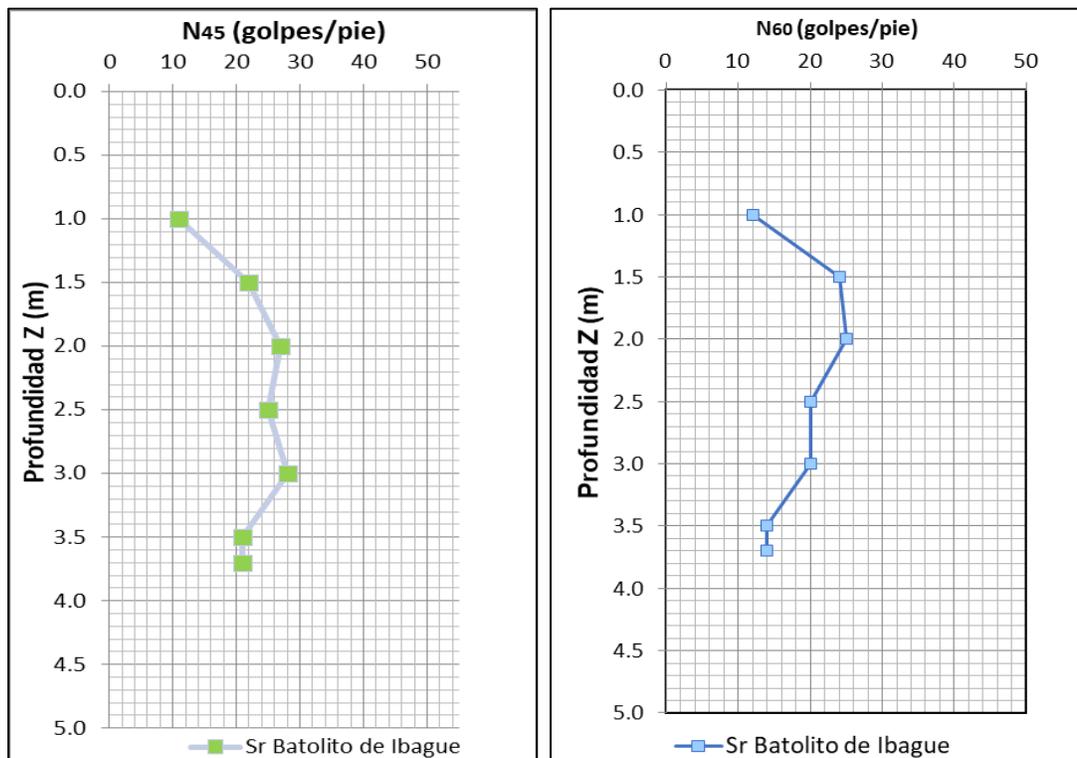
### 13.2.2 Suelo residual Batolito de Ibagué Sr J2J3bi

A partir de los resultados de campo del BM1, barreno manual Uno (1), se determinaron las características físicas del material, inicialmente se tuvo cuenta la consistencia del perfil de suelo, la cual como se puede ver en las siguientes ilustraciones (Ver Ilustración 124) incrementa con la profundidad de mediana a muy compacta, si indica que no se reportó el nivel freático.



**Ilustración 124. Vista de muestras recuperadas en el BM1 del Suelo Residual Batolito de Ibagué.**  
Fuente: Geocing SAS.

La línea de refracción sísmica (LRS) LRS 2 se reportó una velocidad  $V_s$  aproximada de 400 m/s con un espesor de 12 m de suelo residual del roca de origen ígneo-Batolito de Ibagué.

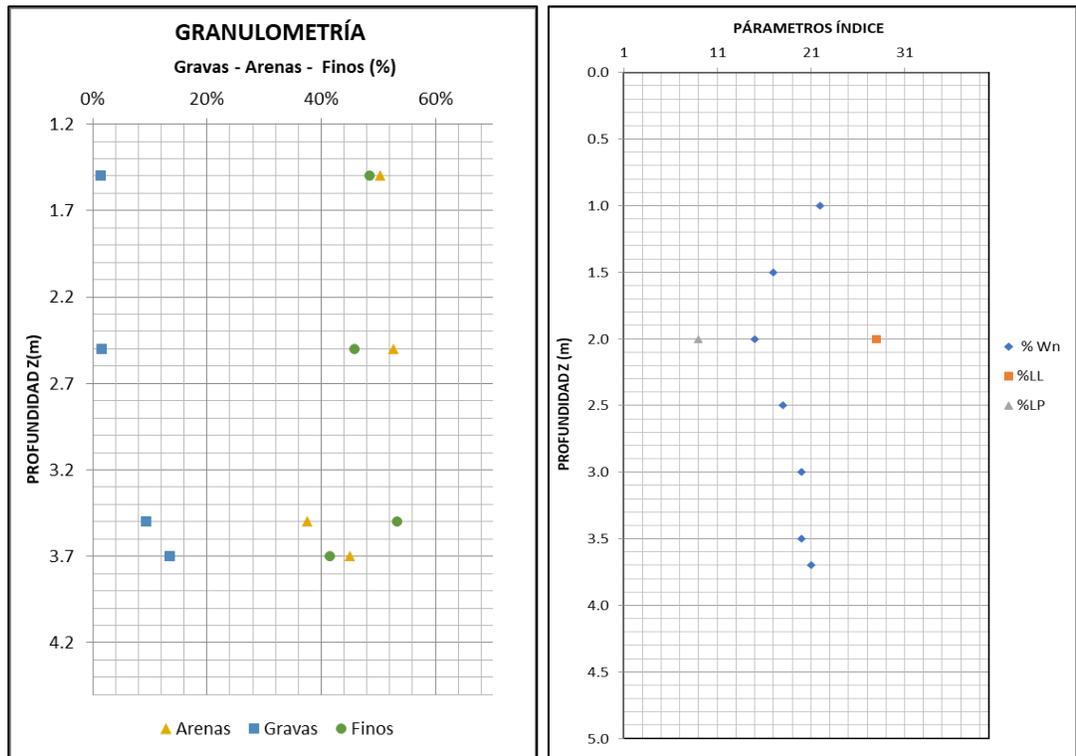


**Ilustración 125. Perfil de campo, reporte de N45 con N60.** Fuente: Geocing SAS.

De acuerdo con lo que se muestra en la Ilustración 126 se observa que los materiales que componen el Suelo residual tienen valores de límite plásticos de 19%, la humedad natural promedio 31.6%, anotando que está siempre tiene

valores por encima del límite plástico, lo cual indica que el suelo se encuentra en un estado plástico a semi-sólido. El límite líquido de 28%, de acuerdo al índice de plasticidad de 9% indica que el comportamiento del material es del Cohesivo aunque este en el rango de plasticidad baja a no plásticos.

De acuerdo a los resultados de granulometría se evidenció la homogeneidad en los materiales que constituyen el perfil de suelo del Suelo residual, dado que, en todo su espesor la distribución granulométrica, los límites de Atterberg permitieron clasificar texturalmente los materiales tipo Arcilla limosa café CL, con contenido de fracción arenosa promedio de 46.3%, y un contenido de fracción gruesa que incrementa a profundidad desde 1,3% hasta 13.5%, la fracción fina predominante del 47.3%.



**Ilustración 126. Variación de las propiedades índices Wn, LL, LP e IP en profundidad.**  
Fuente: Geocing SAS.

Posteriormente en la Tabla 67 se presentan los resultados obtenidos de los ensayos de Corte directo drenado que permiten la caracterización de resistencia.

 <b>Geociencias e Ingeniería</b>	<b>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</b>
<b>GEOCING</b> SAS Geociencias e Ingeniería	<b>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</b>

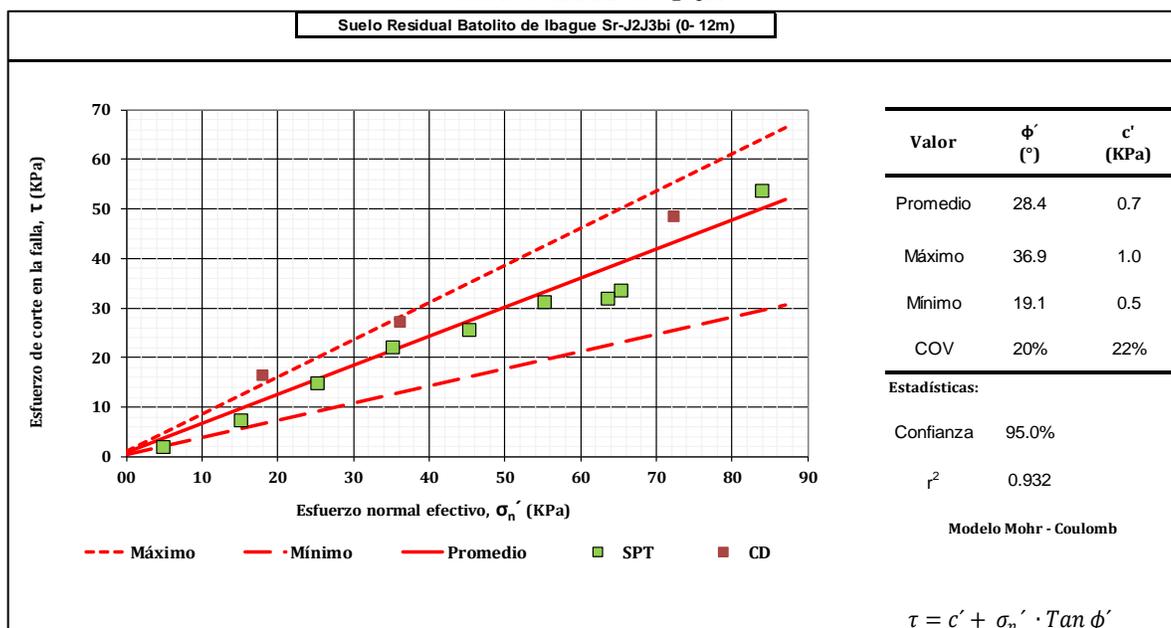
**Tabla 67. Parámetros de resistencia para el suelo Residual Sr-J<sub>2</sub>J<sub>3</sub>bi**

SONDEO				Peso Unitario		Granulometría				Límites Atterberg			USCS
SONDEO	Prof. prom. [m]	Nc 45	N.F (m)	Y <sub>t</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	Y <sub>d</sub> [kN/m <sup>3</sup> ]	ω <sub>n</sub> [%]	Gravas [%]	Arenas [%]	Finos [%]	LL [%]	LP [%]	IP [%]	
BM1	0.75	11	-			22.0							
BM1	1.25	22	-	20.1	17.1	17.0	1.3%	50.2%	48.4%				
BM1	1.75	27	-			15.0				28	19	9	CL
BM1	2.25	25	-			18.0	1.5%	52.6%	45.9%				
BM1	2.75	28	-			20.0							
BM1	3.25	21	-			20.0	9.3%	37.5%	53.2%				
BM1	3.60	21	-			21.0	13.5%	45.0%	41.5%				

Fuente: Geocing SAS.

Para ampliar el rango de valores que se obtuvo en la caracterización geotécnica, a continuación se presenta para el estrato de suelo residual la envolvente de resistencia en la cual se determinaron los esfuerzos normales y cortantes, y mediante la construcción de una regresión lineal y fue posible estimar los parámetros  $\phi'$  y  $c'$ ; los resultados de estos ensayos sirvieron para calcular parejas de valores, las cuales se ajustaron una función de probabilidad normal para posteriormente hacer una regresión lineal y obtener los valores máximo, mínimo y promedio de los parámetros de resistencia efectivos. La Ilustración 127 muestra el resultado de la aplicación de esta metodología.

**Ilustración 127. Correlación mediante el SPT para la estimación de los parámetros de resistencia de Suelo residual Sr-J<sub>2</sub>J<sub>3</sub>bi**



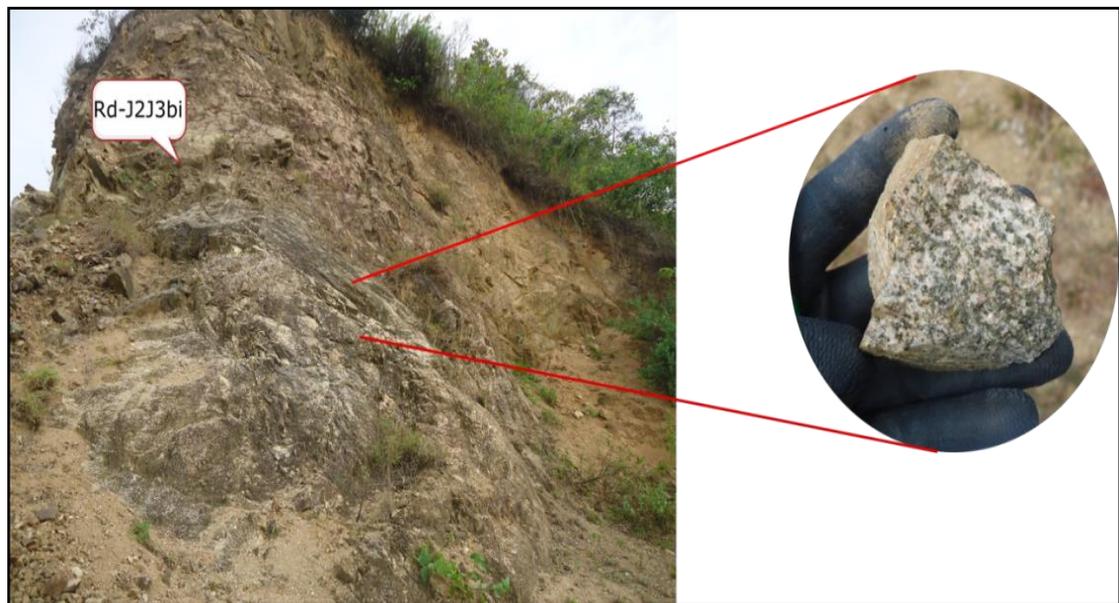
Fuente: Geocing SAS.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

### 13.2.3 Roca intermedia Batolito de Ibagué Rd-J<sub>2</sub>J<sub>3</sub>bi

De acuerdo al perfil de campo, línea de refracción sísmica y la visita técnica realizada al área de estudio se identifica de nivel de roca dura asociado al Batolito de Ibagué a partir de una profundidad de 12.0m. Visualmente el afloramiento se describe como una roca dura de origen ígneo donde se observa una toba volcánica, muy fracturada con presencia de cristales de feldespatos alcalinos y plagioclasas, de cuarzo, con formas y dimensiones variables, fragmentos de riolitas vítrea y fragmentos de toba de grano fino, en una pasta de ceniza volcánica de grano fino.

La Ilustración 128 permite ver lo descrito. De acuerdo con la exploración geotécnica y los resultados obtenidos en las líneas de refracción sísmica la LRS 2, reporta esta roca a partir de los 12 metros con Vs de 850 m/s.



**Ilustración 128. Roca dura del Batolito de Ibagué (Rd-J<sub>2</sub>J<sub>3</sub>bi).**  
Fuente: Geocing SAS.

De acuerdo con las descripciones en campo, se logró identificar un afloramiento masivo, compuesto por rocas de composición tonalítica a diorítica; blanco-grisáceo en cual se evidencio en la superficie tonalidades verdes por alteración de epidota. Tiene una textura equigranular. Los minerales principales son cuarzo, plagioclasa y en menor proporción feldespato potásico; como minerales máficos presenta hornblenda y biotita, en el afloramiento se observan gran cantidad de diques de textura fanerítica granular de grano medio y de composición diorítica que lo atraviesan. En el Sondeo mecánico uno (SM1) el nivel freático se reportó a 7.5m.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>

En la descripción del macizo rocoso y desde el punto de vista de mecánica de roca, se tomaron datos cualitativos y cuantitativos. Es por ello que los métodos de caracterización tienden normalmente a obtener valores numéricos. En este sentido, existen tablas donde se establecen clases (escalas con valores de referencia, criterios) que permiten cuantificar dichas características y obtener parámetros. Dichos parámetros son necesarios en la clasificación Geomecánica de los macizos rocosos.

Para caracterizar un macizo rocoso es importante conocer los parámetros básicos de la roca y de las discontinuidades así como la estructura del macizo que incluye aspectos como el número de familias de discontinuidades existentes, el espaciado medio de los planos de discontinuidad, las características geomecánicas básicas de las discontinuidades. Asimismo es necesario medir o estimar el estado tensional in-situ y en su caso las alteraciones producidas en el macizo por otras excavaciones. A continuación se presentan algunas fotografías (Ilustración 129 a Ilustración 130) mediante las cuales fue posible realizar la descripción cualitativa del macizo rocoso de origen ígneo formado por el Batolito de Ibagué indicando que este cuerpo ígneo se encuentra en contacto con la formación Palermo por la presencia de la falla La Plata de tipo inverso, de acuerdo el perfil de meteorización como una zona de transición entre el horizonte IC-Saprolito.



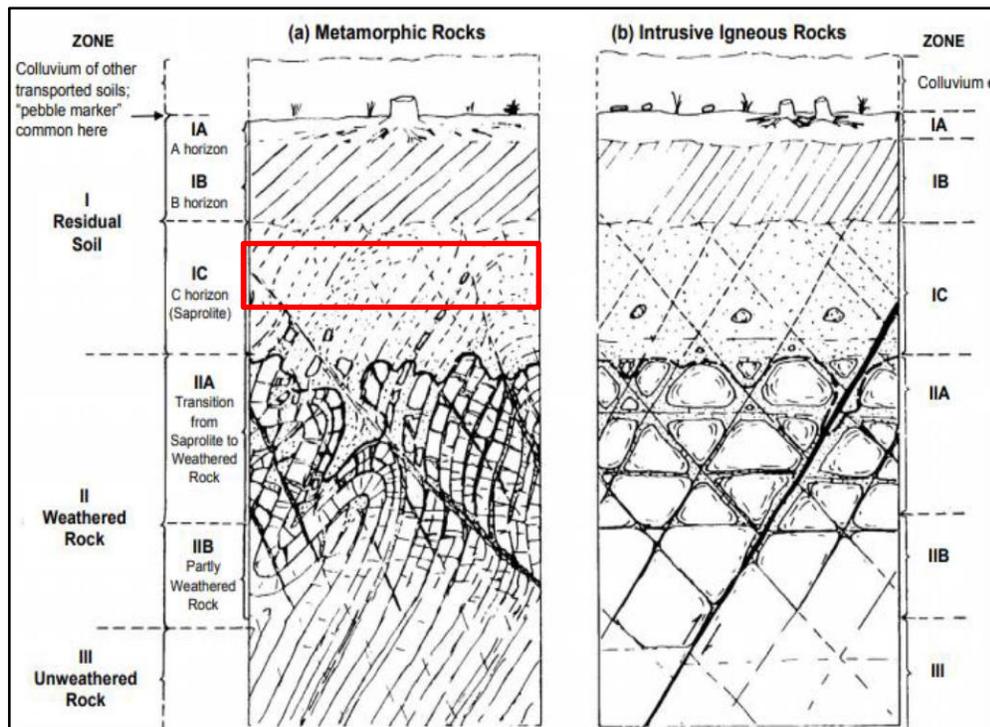
**Ilustración 129. Vista de un afloramiento del Batolito de Ibagué con 3 familias de diaclasas identificadas.**

Fuente: Geocing SAS.



**Ilustración 130. Vista de un afloramiento del Batolito de Ibagué con 2 familias de diaclasas.**

Fuente: Geocing SAS.



**Ilustración 131. Perfil de meteorización típicos de rocas metamórficas e ígneas intrusivas, según Deer y Patton, 1971.**

De acuerdo a la descripción in situ de los materiales, se realizó la caracterización geomecánica el cuerpo ígneo del batolito de Ibagué, arrojando como resultado una clasificación RMR como un macizo de Calidad MEDIA clase III; obtenidos de la Ilustración 132 presentado continuación de acuerdo con la RMR.

Pámetros de clasificación	Clasificación	Puntuación
<b>1 Resistencia de la matriz rocosa (Mpa)</b>		
Ensayo de carga puntual	No aplica	0
Compresión simple	No aplica	0
<b>2 Índice RQD de la roca</b>		
RQD (%)	25-50	6
<b>3 Separación entre diaclasas</b>		
Separación entre diaclasas (m)	0,06-0,2	8
<b>4 Estado de las discontinuidades</b>		
Longitud de la discontinuidad (m)	1-3	4
Abertura (mm)	0,1 - 1,0	3
Rugosidad	Ligeramente rugosa	3
Relleno	Ninguno	6
Alteraciones	Moderada, Alteradamente	3
<b>5 Agua freática</b>		
Caudal por 10 m de túnel	No aplica	0
Presión agua/Tensión principal mayor	0,1-0,2	7
Estado general	Seco	15
<b>Corrección por discontinuidades</b>		
Túneles	No aplica	0
Cimentaciones	Medias	-7
Taludes	Favorable	-5
<b>Puntuación</b>		<b>43</b>

CLASIFICACIÓN RMR				
Calidad	Clase	Tiempo/Longitud de sostenimiento	Cohesión [Kg/cm <sup>2</sup> ]	Angulo de rozamiento [°]
Media	III	1 semana con 5 m de vano	2-3	25-35

Foto croquis de la estación geomecánica



Orientación de las discontinuidades en el túnel

Dirección perpendicular al eje del túnel				Dirección paralela al eje del túnel			Buzamiento 0°-20° Cualquier dirección
Excavación con buzamiento		Excavación contra buzamiento		Buzamiento 20-45		Buzamiento 45-90	
Buz. 45-90	Buz. 20-45	Buz. 45-90	Buz. 20-45	Buz. 45-90	Buz. 20-45		
Muy favorable	Favorable	Media	Desfavorable	Muy desfavorable	Media	Desfavorable	

Ilustración 132. Clasificación geomecánica RMR, Bieniawski, 1998 de la Formación Gigante –Nivel.

### 13.2.4 Roca intermedia For Seca Sr-K<sub>2</sub>E<sub>1</sub>s

Los materiales meteorizados de la formación Seca, son principalmente generados a partir de lodolitas, por lo que tiene tamaño de grano arcilla a limo de color marrón a gris y en algunos sectores naranja a rojizo por oxidación. Estos se encuentran localizados en la parte oriental de la zona de estudio y tienen poca continuidad y extensión. Como el material predominante en la estructura del nivel de roca intermedio corresponde principalmente a los materiales resultantes de la alteración del macizo rocoso. Para su aplicación como material ingenieril se consideró perteneciente al horizonte IV del perfil de meteorización de Dearman (1974, 1991), ver Ilustración 133.



**Ilustración 133. Suelos residuales de la Formación seca, Sr-K2E1s.**  
Fuente: Geocing SAS.



**Ilustración 134. Suelos residuales de la Formación seca, Sr-K2E1s, muestras recuperadas del Sondeo Mecánico SM1, a partir de 8m de profundidad.**  
Fuente: Geocing SAS.

De acuerdo al perfil de campo, se logró identificar a partir de 8,0 m de profundidad un nivel de compactación densa, asociado al perfil de meteorización en el cual se identificaron materiales descritos como arcillas lodosas gris oscuros de consistencia dura humedad baja no plástico.

A partir de los resultados de campo se determinaron las características físicas y de resistencia del nivel roca Intermedia, inicialmente se identificó la transición entre el suelo residual y el nivel rocoso, por lo cual se reportó un número de golpes 45 menores a 40 prosigue ya el material compacto registrando Número de golpes 45 >

50 y rechazo lo cual indica una resistencia media; el nivel freático se reportó a 7.5 m.

No fue posible obtener muestras para realizar ensayos de resistencia como corte directo y/o compresión inconfiada, sin embargo para ampliar el rango de valores que se tienen para la caracterización geotécnica, a continuación se presenta para el estrato de suelo residual la envolvente de resistencia en la cual se determinaron los esfuerzos normales y cortantes, y mediante la construcción de una regresión lineal fue posible estimar los parámetros  $\phi'$  y  $c'$ . Los resultados de estos ensayos sirvieron para calcular parejas de valores, las cuales se ajustaron una función de probabilidad normal para posteriormente hacer una regresión lineal y obtener los valores máximo, mínimo y promedio de los parámetros de resistencia efectivos. En la Ilustración 135 muestra el resultado de la aplicación de esta metodología.

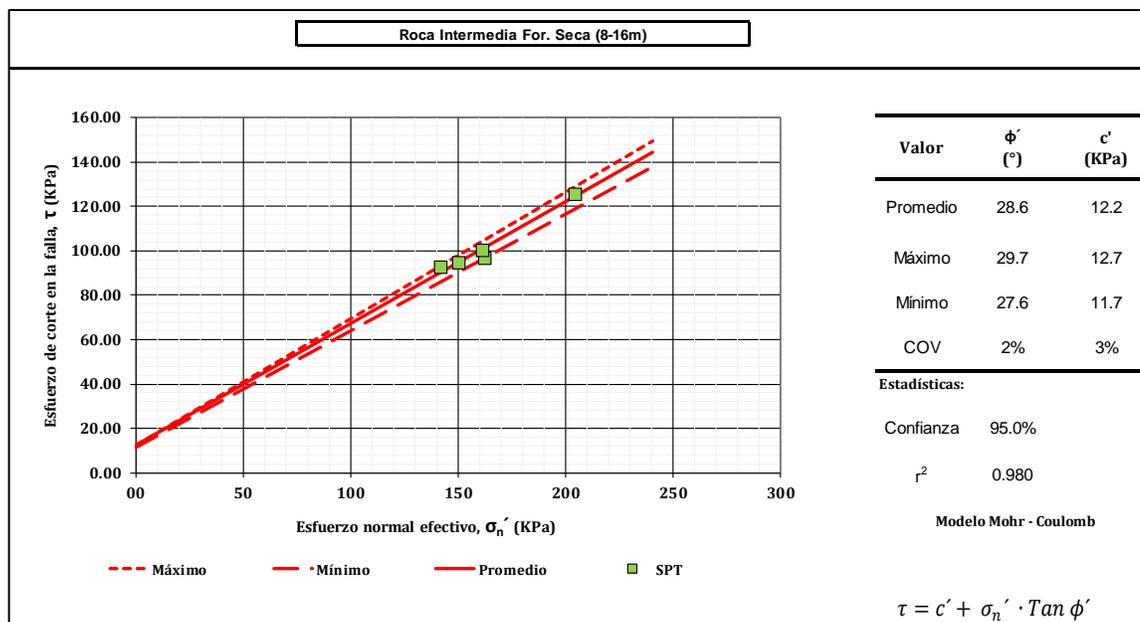


Ilustración 135. Correlación mediante el SPT para la estimación de los parámetros de resistencia de Roca Intermedia.

Fuente: Geocing SAS.

### 13.2.5 Suelo transportado fluvial, aluvial subreciente (Stfasr)

Depósitos cuaternarios subrecientes, generados por la dinámica fluvial de la quebrada El Pueblo y del río Pedernal, que se depositaron en las partes altas y que por erosión, a través de los años se generaron geoformas de tipo terraza alta, las cuales se exponen en los escarpes.

Se encuentran conformados por clastos heterométricos (se observaron bloques con diámetros mayores a 2 metros en la margen derecha del río Pedernal), redondeados a subredondeados, de rocas ígneas en su mayoría, mezclados con

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

vestigios de materia orgánica como troncos, ramas y raíces, embebidos en una matriz limoarcillosa con tonalidad marrón claro y oscura. La relación matriz – bloques es muy variable, observándose por lo general un material matriz soportado. Presentan porosidad alta, amplia extensión, principalmente donde se encuentra el casco urbano y hacia el oriente de la zona de estudio. Limitados con escarpes de longitudes variable y hasta de 30 metros, en los que se observan cortes a 90° y estables.



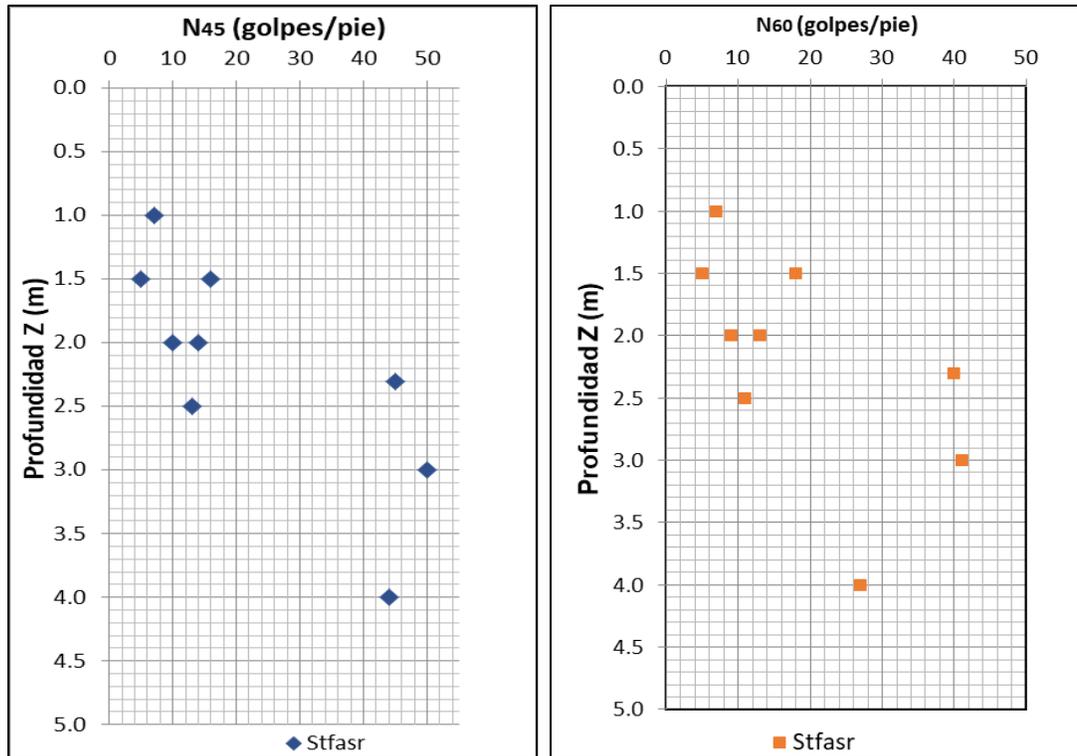
**Ilustración 136. Coordenadas: E=1168250, N=795936. Contacto entre Depósitos fluviales, aluviales subrecientes (Stfasr) y el Batolito de Ibagué (Rd-J2J3bi)  
Fuente: Geocing SAS.**

En la Ilustración 136, se observan depósitos cuaternarios subrecientes reposando discordantemente sobre rocas duras del Batolito de Ibagué. Nótese los cantos de diferentes tamaños dentro de un matriz limo arcilloso de color marrón claro. El batolito toma tonalidades marrón oscuro a rojizo por meteorización, y superficies suavizadas por la acción erosiva de la quebrada.

Se encuentra infrayaciendo los suelos de inestabilidad reciente (Stir), estos fueron determinados a través de reconocimiento en campo, sondeos mecánicos de acuerdo con la exploración geotécnica y los resultados obtenidos en los sondeos mecánicos SM1 y BM2 y líneas de refracción sísmica (LRS). En la LRS 3 se reporta una velocidad  $V_s$  promedio 500 m/s hasta una profundidad de 8m correlacionados con este material.

A partir de los resultados de campo se determinaron las características físicas del material, se denota que la compacidad del material aumenta de acuerdo con la

profundidad como se puede ver en las gráficas a continuación (Ver Ilustración 137), se indica que no se reportó el nivel freático.

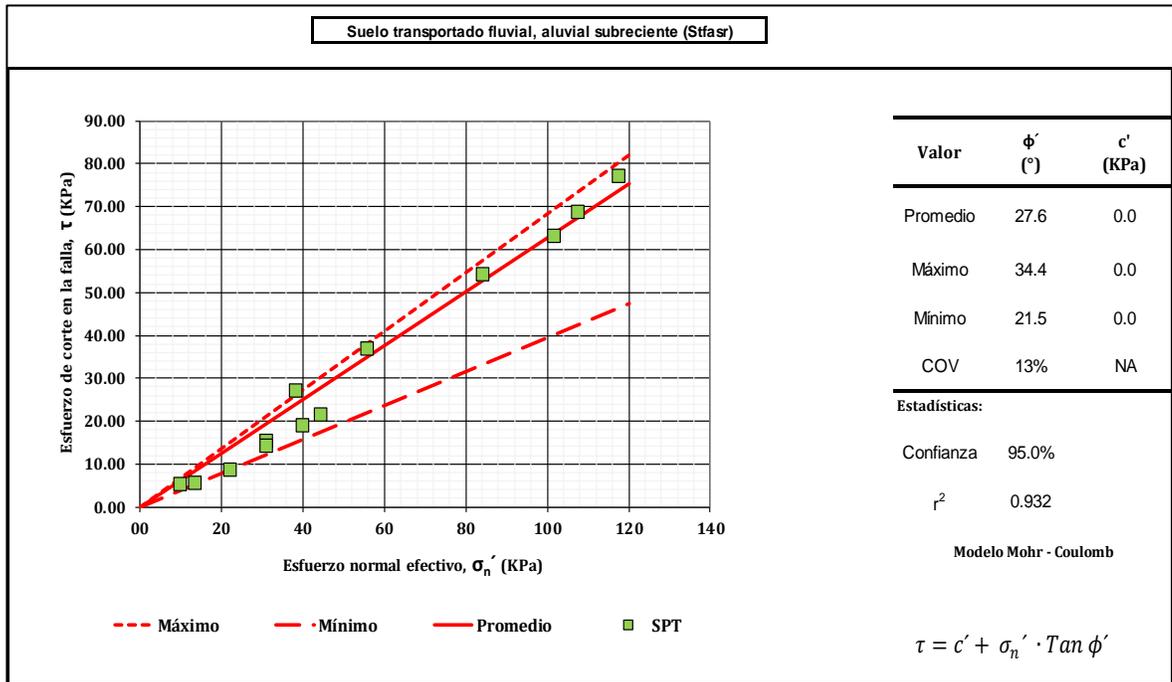


**Ilustración 137. Perfil de campo, reporte de N45 con N60.**

**Fuente: Geocing SAS.**

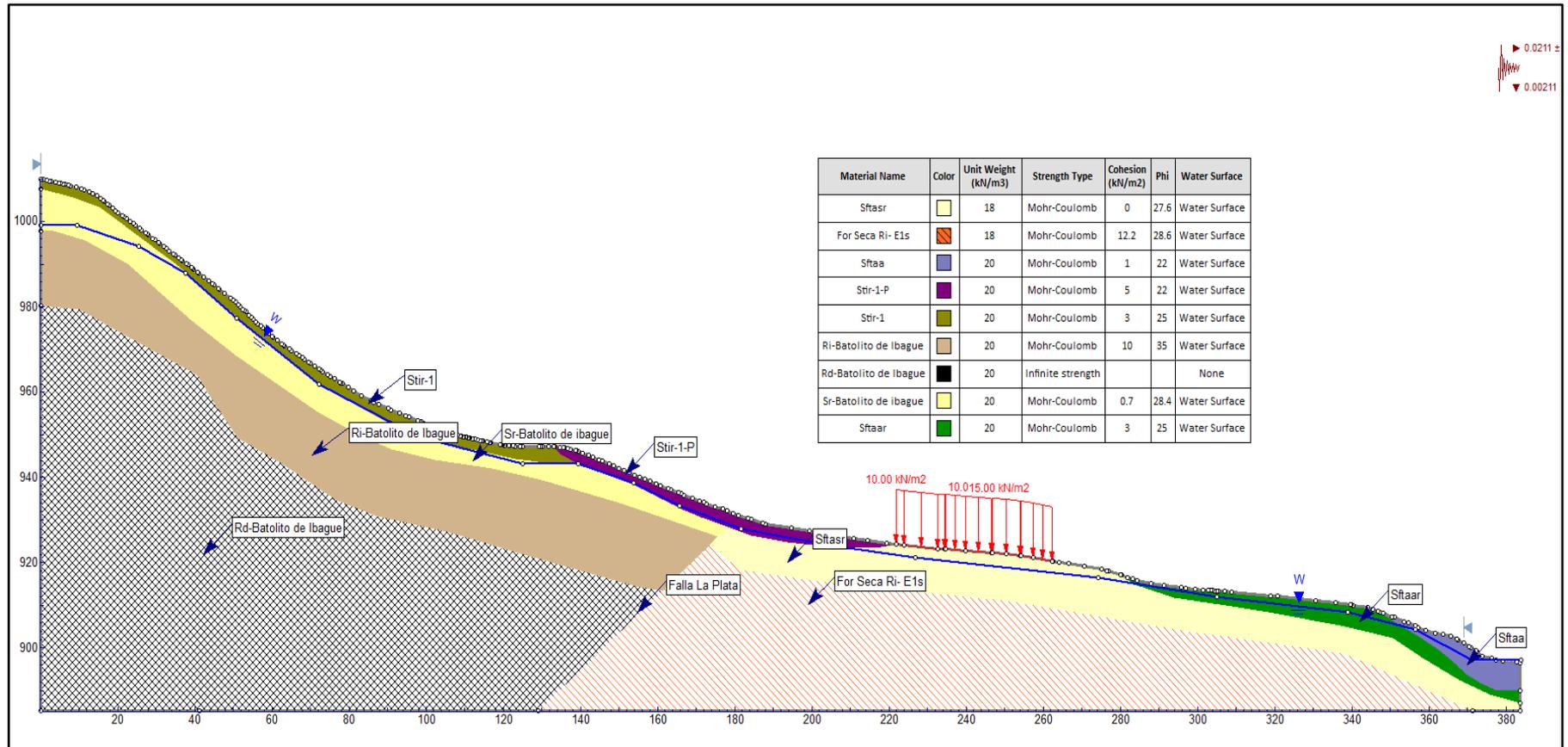
Los materiales que componen el depósito aluvial generado por los cauces adyacentes, se evidenció la homogeneidad en los materiales que lo constituyen con la distribución granulométrica tienen un contenido de fracción arenosa promedio de 52%, y un contenido de fracción gruesa que incrementa a profundidad desde 2,5% hasta 29,7%. Dada la distribución granulométrica del depósito se determinó que el depósito es no plástico, aunque la fracción fina del mismo promedio sea de 35,2%, de igual forma la humedad natural es constante en el espesor del material.

Por la génesis de las muestras no fue posible obtener muestras para realizar ensayos de resistencia, sin embargo para tener un rango de valores que se tienen para la caracterización geotécnica, a continuación se presenta para el estrato de suelo residual la envolvente de resistencia donde se determinaron los esfuerzos normales y cortantes, y mediante la construcción de una regresión lineal y los parámetros  $\phi'$  y  $c'$ . Los resultados de estos ensayos sirvieron para calcular parejas de valores, las cuales se ajustaron una función de probabilidad normal para posteriormente hacer una regresión lineal y obtener los valores máximo, mínimo y promedio de los parámetros de resistencia efectivos.



**Ilustración 138. Correlación mediante el SPT para la estimación de los parámetros de resistencia de depósito aluvial.**  
Fuente: Geocing SAS.

De forma ilustrativa, se presenta a continuación el modelo geológico-geotécnico estimado para el municipio de Teruel.



**Ilustración 139. Modelo geológico – geotécnico municipio de Teruel.**

Fuente: Geocing SAS.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

### 13.2.6 Perfil geológico- geotécnico Teruel

De acuerdo con los análisis de variabilidad de las propiedades geotécnicas de esta zona se define el perfil geotécnico representativo junto con sus parámetros que representan la tendencia media:

Tabla 68. Perfil Geotécnico del área de estudio.

Unidad Geológica	Exploración directa	Profundidad (m)		SUCS	N <sub>45</sub>	N <sub>60</sub>	Nf (m)	γ (kN/m <sup>3</sup> )	PARÁMETROS EFECTIVOS					
									CORTE DIRECTO		A.J.G 1998		RMR	
									C' (kPa)	Φ' (°)	C' (kPa)	Φ' (°)	C' (kPa)	Φ' (°)
For Palermo		0		Roca			-	22					20-30	25-35
For Seca		0	4	Roca			-	18.86			12.2	28.6		
Sr-Batolito Ibagué	BM1	0	12	CL	17	10	-	20.1	6.0	31.6	0.7	28.4		
Ri-Batolito Ibagué	LRS-2	12	25	Roca			7.5	21					20-30	25-35
Sftasr	SM1-BM2	0	8	SM	R	27	7.5	17.5			0	27.6		

Fuente: Geocing SAS.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

## 14 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA

### 14.1 AMENAZA POR MOVIMIENTOS EN MASA

Los movimientos en masa son procesos gravitacionales que generan la denudación de la corteza terrestre debido a la movilización de diferentes volúmenes de suelo y roca. Para Varnes (1978) y se clasifican de acuerdo con el tipo de movimiento y el material involucrado. En este sentido, los suelos y las rocas pueden experimentar caídas, volcamientos, deslizamientos, propagaciones laterales, flujos, reptación o procesos complejos, que son una combinación uno dos o más de los movimientos anteriormente mencionados; la clasificación se presenta a continuación en la siguiente tabla, ver Tabla 69.

Aunque muchos movimientos en masa tienen causas naturales, los movimientos pequeños son resultado de las actividades humanas y podrían haber sido prevenidos o sus daños minimizados. Por consiguiente, a pesar de que no se pueden controlar en su totalidad los factores que causan que el terreno sea susceptible a los movimientos en masa, sí se podrían emplear planes o medidas que minimicen el riesgo por la ocurrencia de este tipo de procesos.

Tabla 69. Tipos de movimientos en masa, de acuerdo con Varnes (1978).

TIPO DE MOVIMIENTO			TIPO DE MATERIAL ASOCIADO		
			ROCA	SUELO DE INGENIERÍA	
				Predominante Grueso	Predominante Fino
<b>CAIDAS</b>			de Roca	de Detritos	de Tierra
<b>VOLCAMIENTOS</b>			Volc. de Roca	de Detritos	de Tierra
<b>DESIZAMIENTOS</b>	<b>ROTACIONAL</b>	Pocas Unidades	Hundimiento de roca	Hundimiento de Detritos	Hundimiento de Tierra
			Deslizamiento de bloques de Roca	Deslizamiento de bloques de detritos	Deslizamiento de bloques de tierra
	<b>TRASLACIONAL</b>	Muchas unidades	Deslizamiento de Roca	Deslizamiento de Detritos	Deslizamiento de Tierra
<b>PROPAGACIÓN LATERAL</b>			Roca	Detritos	Tierra
<b>FLUJOS</b>			Flujo de Roca (creep profundo)	de Detritos	de Tierra
<b>REPTACIÓN</b> (Creep) (áreas de gran extensión)			(creep profundo)	(creep de suelo)	
<b>COMPUESTOS O MÚLTIPLES</b>			Combinación de dos o más de los tipos anteriores		

De acuerdo con González de Vallejo (1990), los niveles de amenaza por procesos de Movimientos en masa dependen de los materiales in-situ y de la energía potencial gravitatoria de las masas susceptibles en relación al lugar de interés. La

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

susceptibilidad está controlada por factores intrínsecos (materiales, topografía, estado de esfuerzos, condiciones de drenaje, cobertura vegetal, etc.) mientras que las causas o eventos detonantes pueden considerarse externos (lluvias, sismos, excavaciones, socavación, obras, etc.). Por otra parte, la energía potencial está controlada tanto por propiedades internas (el índice de fragilidad, la deformabilidad, la resistencia residual y el volumen de la masa), como por propiedades externas (la altura de posición y la posible trayectoria desde el deslizamiento hasta el punto amenazado). La Tabla 70 presenta la influencia de los factores intrínsecos y detonantes sobre la estabilidad de materiales y laderas.

**Tabla 70. Influencia de los diferentes factores.**

Factores		Influencias y efectos
<b>Intrínsecos</b>	Relieve (pendiente, geometría)	Distribución del peso del terreno
	Litología (composición y textura)	Densidad, resistencia. Comportamiento hidrogeológico.
	Estructura geológica y estado tensional.	Resistencia, deformabilidad. Comportamiento discontinuo y anisotrópico. Zonas de debilidad.
	Propiedades geomecánicas de los materiales.	Comportamiento hidrogeológico. Generación de presiones de poros.
	Deforestación	Modificación del balance hídrico. Erosión.
	Meteorización	Cambios físicos y químicos, erosión externa e interna, generación de zonas de debilidad.
<b>Detonantes</b>	Precipitación y aportes de agua	Variación de las presiones de poros y del peso del terreno.
	Cambio en las condiciones hidrogeológicas.	Saturación de suelos (o cambios en la succión en suelos parcialmente saturados). Erosión
	Aplicación de cargas dinámicas (sismos) o estáticas (sobrecargas).	Cambio en la distribución del peso de los materiales y en el estado de esfuerzos de la ladera. Incremento de presiones de poros.
	Cambios morfológicos y de geometría de las laderas	Variación de las fuerzas debidas al peso. Cambio en el estado de esfuerzos.
	Erosión o socavación de la pata del talud.	Cambios geométricos en la ladera. Cambios en la distribución del peso de los materiales y en el estado de esfuerzos de la ladera.
	Acciones climáticas (heladas, sequías)	Cambio en el contenido de agua del terreno. Generación de grietas y planos de debilidad. Disminución de las propiedades resistentes.

**Fuente: González de Vallejo, Ferrer, Ortuño & Otero (2002).**

Los principales factores que contribuyen el desencadenamiento de movimientos en masa son el relieve, la geología, condiciones meteorológicas e, indudablemente, la acción antrópica. Por lo general el detonante es el agua lluvia.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>

Cuando la actividad humana se realiza sin ninguna planificación, especialmente en obras viales, explotación de minas, desarrollos urbanísticos, rellenos mal efectuados, cortes en el perfil natural de las laderas, deforestación y prácticas agrícolas inadecuadas entre otros, promueve procesos de inestabilidad en suelos que en cierta medida son vulnerables a esta clase de movimientos.

Los factores más importantes que pueden causar un deslizamiento pueden describirse así (Mora, 1990):

- Daños en la ladera, desde pequeños desplazamientos y subsidencias, pasando por agrietamientos y movimientos hasta de destrucción total en la zona.
- Generación de aludes, con desarrollo de altas tasas de energía cinética y el consiguiente alto poder destructivo de los elementos que se encuentren a su paso.
- Obstrucción de corrientes, con la generación de represamientos y embalses de permanencia variable, capaces de producir avalanchas mayores al liberarse.

Entonces, dado los efectos del deslizamiento se debe evaluar la resistencia de los elementos expuestos (edificaciones, infraestructura, vidas humanas, etc.) ante las diferentes solicitudes que dependerán de la magnitud del movimiento como de la posición relativa ante el elemento expuesto. Una vez conocida tanto la probabilidad de ocurrencia del deslizamiento como las consecuencias de los diferentes elementos expuestos por el deslizamiento, se puede determinar el riesgo.

#### **14.1.1 Mapa de laderas**

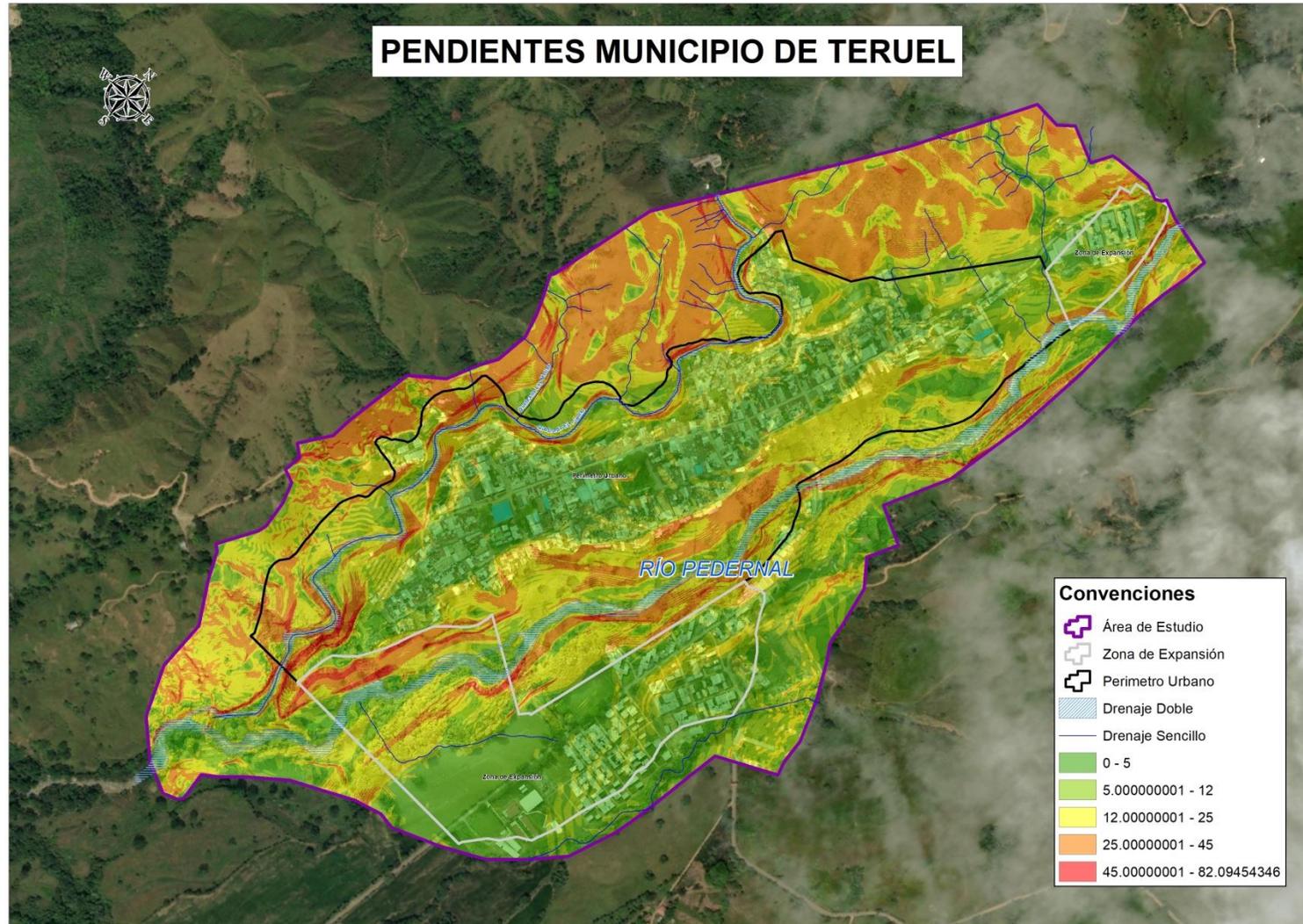
La ladera es la unidad fundamental para el estudio de amenaza por movimientos en masa. La ladera es el declive de un monte, montaña o altura, cuya pendiente es el ángulo que forma con la horizontal, de manera que, cada ladera está caracterizada por una pendiente y una orientación característica.

La generación del plano de laderas se realizó a partir del estudio topográfico y el Modelo Digital del Terreno (DTM – DIGITAL TERRAIN MODEL) de la zona en estudio, adicionalmente, fue necesario generar otros planos secundarios, como los planos de micro-cuencas y de dirección de pendientes, teniendo en cuenta en la interpretación el mapa de Aspecto y Pendientes (Ilustración 140).

Una vez obtenido el mapa de laderas (Ilustración 141), fue definido un perfil característico para cada ladera, el cual cruza por las zonas de mayor pendiente y es perpendicular a las curvas de nivel.

Posteriormente, se definieron los perfiles típicos de análisis que se presentan en la Ilustración 142 cada uno cruza por las zonas de mayor pendiente, los cuales perpendicular a las curvas de nivel y está enumerado con un ID único.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



**Ilustración 140. Mapa de Pendientes municipio de Teruel.**

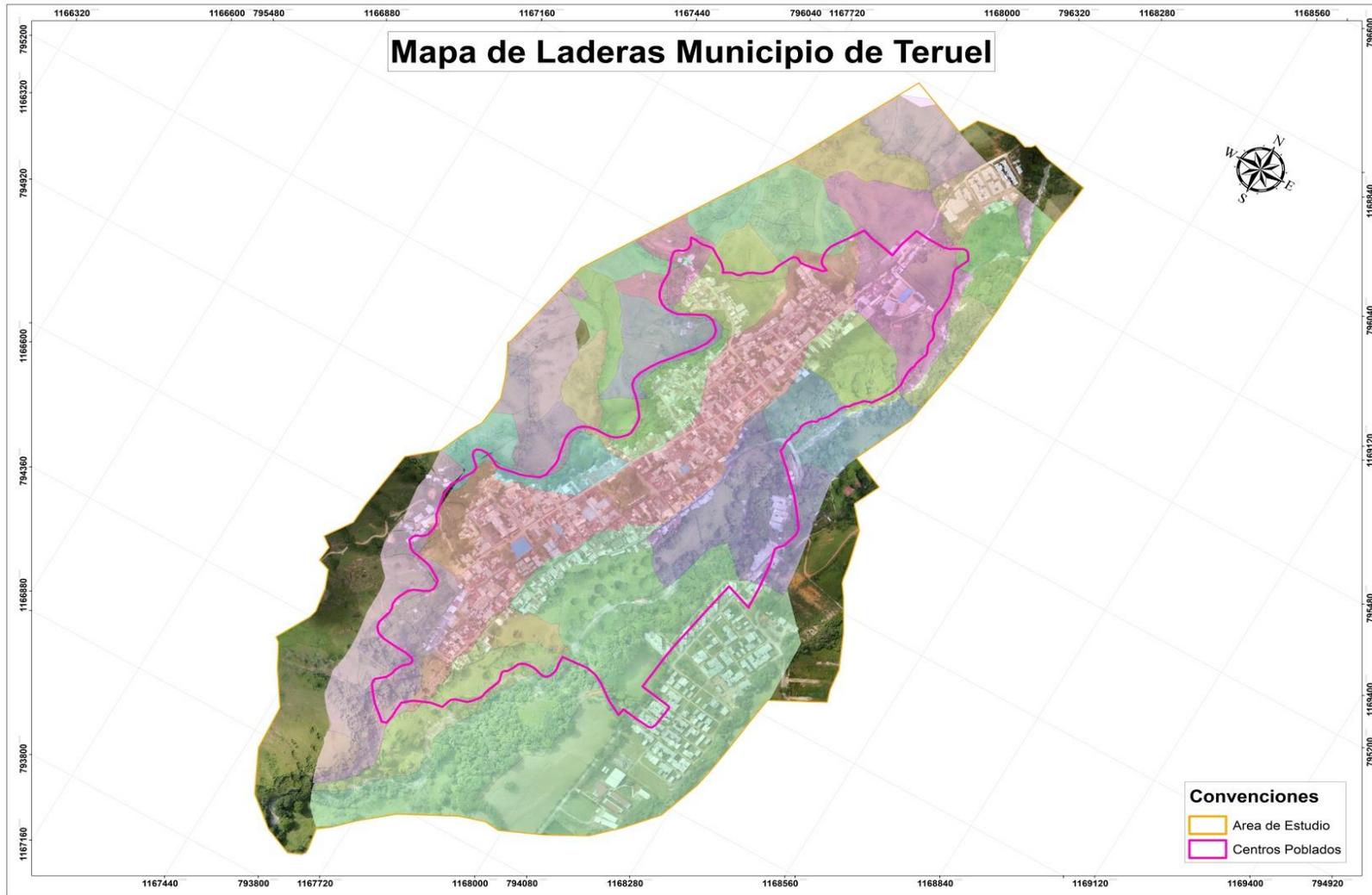
**Fuente: Geocing SAS.**



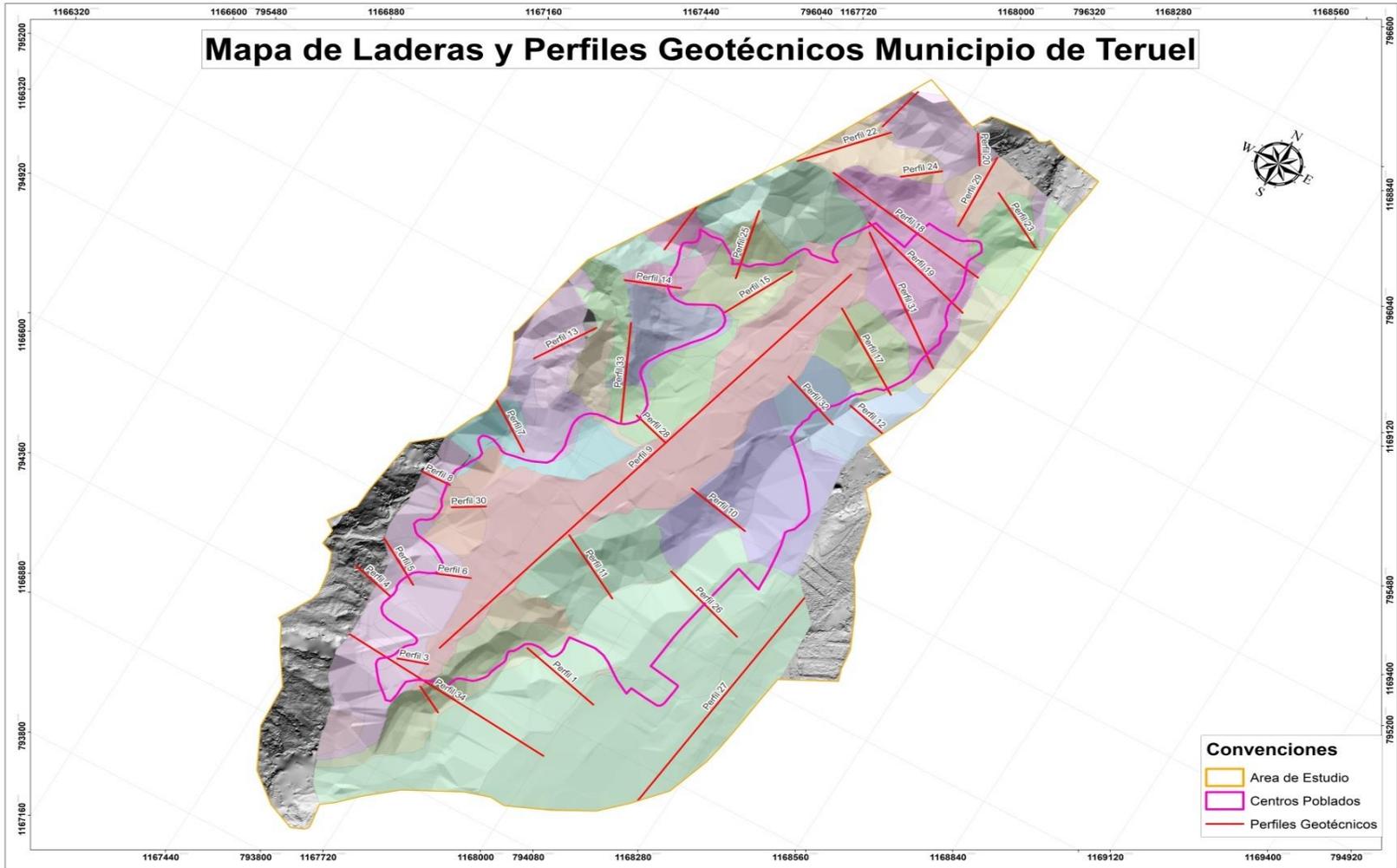
ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL



**Ilustración 141. Mapa de Laderas municipio de Teruel.  
Fuente: Geocing SAS.**



**Ilustración 142. Perfiles típicos para los análisis de estabilidad, municipio de Teruel.**  
Fuente: Geocing SAS.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

De acuerdo a lo visualizado en la imagen 3D y con la información del mapa de ladera, se idéntica un relieve montañoso en la parte este del municipio formado por rocas de la Formación Gigante, en el cual se logran identificar procesos de inestabilidad superficial asociados a procesos tipo Reptación, los cuales están en algunos puntos controlar el avance de los mismos con la afectación producida por la infiltración de aguas subsuperficial y están afectando la estabilidad de los taludes de corte generados para la construcción de viviendas.

#### **14.1.2 Análisis de estabilidad de taludes**

El procedimiento general de análisis, el cual aplica para todas las secciones, corresponde con el siguiente:

1. Generación del modelo geológico geotécnico para cada sección con base en la exploración existente y asignación de parámetros geotécnicos a cada material del modelo con base a la Caracterización geotécnica realizada a cada uno de los materiales presentes en el área de estudio.
2. Ejecución de análisis de estabilidad bajo los diferentes escenarios de análisis para definir el grado de amenaza por movimientos en masa.
3. Visualizar las zonas de estabilidad homogénea en categoría y plasmar el mapa de amenaza de movimientos en masa, de acuerdo con las categorías Alta, Media y Baja.

Con el objetivo de elaborar el plano de amenaza por movimientos masa, este numeral presenta los análisis de estabilidad de los taludes naturales localizados en el área de estudio. Dentro de las metodologías disponibles para los análisis de estabilidad, se encuentran los métodos de equilibrio límite, los métodos numéricos y los métodos dinámicos para el análisis de caídos de roca y flujos (Suarez, 2009).

Para efectos del presente estudio, los análisis se realizaron mediante el método de Equilibrio límite cuya teoría establece que la rotura del terreno se produce a través de una línea que representa la superficie de falla, de manera que, la masa de suelo por encima de la línea se desplaza con respecto a la masa inferior y la estabilidad se puede evaluar como la relación entre las fuerzas y momentos actuantes y las fuerzas y momentos que se oponen al movimiento. Esta relación se denomina Factor de Seguridad (FS).

El análisis de equilibrio limite se puede realizar estudiando la totalidad de la longitud de la superficie de falla o dividiendo la masa deslizada en tajadas o dovelas, lo cual permite analizar geometrías complejas, superficies curvas, rectas, cuñas, condiciones variables del suelo y la influencia de cargas externas (Suarez, 2009).

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

Dentro de los métodos de análisis por dovelas se encuentran los métodos de Fellenius, Bishop, Janbu, Spencer, Sharma y Morgenstern-Price, sin embargo, para efectos del presente estudio se empleó el método general de equilibrio límite (GLE – General Limit Equilibrium). Este método considera que la resultante de las fuerzas entre dovelas (fuerzas normales y cortantes) tiene una inclinación definida por una función constante (generalmente sinusoidal) y permite calcular el Factor de Seguridad ( $FS$ ) garantizando el equilibrio de fuerzas y momentos.

#### **14.1.3 Análisis de Equilibrio Límite**

La teoría establece que la rotura del terreno se produce a través de una línea que representa la superficie de falla, se interpreta que la masa del terreno por encima de la línea se desplaza respecto a la masa inferior lo que genera la rotura del terreno. En el momento en que se produce la falla, la resistencia al corte a lo largo de la superficie de deslizamiento se encuentra desplazada y el terreno se encuentra por completo en un equilibrio estático (Suarez Díaz, Deslizamientos., 2009b). Mediante el análisis de equilibrio límite se obtiene un número de factor de seguridad ( $FS$ ) el cual expresa las condiciones de estabilidad de lo actuante sobre lo resistente. Esto se considera una ventaja debido a que esta variable se emplea para conocer el factor de amenaza para que el talud falle en las condiciones extrema. Este análisis consiste en determinar la existencia de una resistencia en el suelo del talud que sea suficiente para soportar los esfuerzos cortantes que tienden a causar la falla o deslizamiento.

- Factor de seguridad

En general, el Factor de Seguridad se define como la relación entre las fuerzas actuantes y las fuerzas que se oponen al movimiento del material. Las fuerzas actuantes son función de los factores intrínsecos del talud, como el peso unitario del suelo o roca y la geometría del terreno, pero también dependen de los factores detonantes del movimiento, como las variaciones de la presión de poros causadas por los cambios en el nivel freático y la aceleración producida por solicitaciones sísmicas. Por otra parte, las fuerzas resistentes dependen de los parámetros de resistencia del material, definidos a partir del modelo constitutivo elegido para la modelación numérica: Mohr-Coulomb para suelos y Hoek-Brown para macizos rocosos.

En este sentido el Factor de Seguridad es una función que depende de varios parámetros, algunos de los cuales pueden ser considerados variables aleatorias y otros valores constantes, por tanto, el Factor de Seguridad se define como una variable dependiente cuya distribución de probabilidad es igual a la multiplicación

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

de las funciones de distribución de probabilidad de las variables aleatorias  $a, b \dots z$ , es decir:

$$f(FS) = f(a) * f(b) \dots * f(z)$$

$$FS = f(a, b \dots z)$$

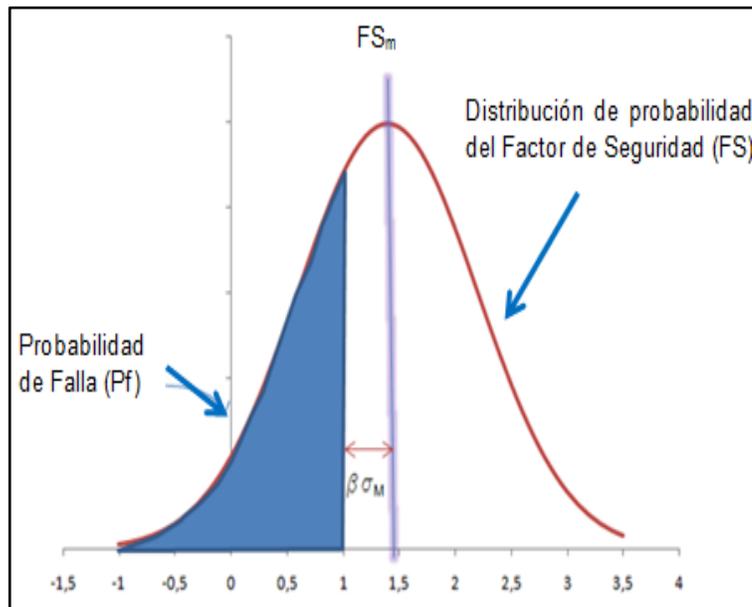


Ilustración 143 Distribución de probabilidad del Factor de Seguridad.

Entonces la probabilidad de falla ( $P_f$ ) del talud es igual a la probabilidad de que el Factor de seguridad sea menor o igual a 1 y se puede calcular como sigue:

$$P_f = P(FS \leq 1.0) = \iiint_S f(FS) dFS = \iiint_S f(a) * f(b) \dots * f(z) da db \dots dz$$

Donde S es el conjunto de todo  $(a, b \dots z)$  tal que  $f(a, b \dots z)$  es menor o igual a 1.0.

- **FACTORES DETONANTES**

A continuación, se relacionan los factores intrínsecos y detonantes en los análisis de estabilidad:

- **Sismo**

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

El sismo es un factor detonante en cuanto a que la fuerza actuante aumenta en proporción a la aceleración sísmica y la fuerza resistente disminuye a causa de las presiones de poros inducidas por el sismo, lo que en consecuencia disminuye la estabilidad del talud expresada por el factor de seguridad (Hadj-Hamou & Kavazanjian, 1985).

Dentro de la sección se evaluó la amenaza sísmica de la zona de estudio de acuerdo a lo registrado por la NSR-10. El parámetro de la aceleración horizontal y su valor calculado para un periodo de retorno de 475 años se presenta en la Tabla 71. Por lo tanto, se va a considerar el coeficiente de aceleración horizontal ( $K_h$ ) para que incluya las fuerzas pseudoestáticas horizontales producto de un evento sísmico, mientras que asume que las fuerzas verticales son iguales  $10\%K_h$ .

Tabla 71. Parámetro de la distribución exponencial y valor de la aceleración horizontal para un periodo de retorno ( $T_r$ ) de 475 años para la zona de estudio.

Parámetro (mean value)	Aa (g) Tr = 475 años
0.0211	0.25

#### • Lluvia

Con el objetivo de simular diferentes escenarios de amenaza y observar el impacto que tiene la fluctuación del nivel freático sobre el modelo (*tomado como el factor detonante principal*), se realizaron diferentes simulaciones variando la altura del nivel freático. Esta recreación de múltiples situaciones que se pudieran presentar permitió visualizar el impacto que tiene la incertidumbre implícita del modelo. Se construyeron los siguientes 5 escenarios:

- **Alto:** el nivel freático es igual a la altura o espesor del talud.
- **Medio Alto:** el nivel freático es igual a tres cuartos veces la altura o espesor del talud.
- **Medio:** el nivel freático es igual a la mitad de la altura o espesor del talud.
- **Medio Bajo:** el nivel freático es igual a un cuarto de la altura o espesor del talud.
- **Bajo:** el nivel freático es igual a cero

#### 14.1.4 Método simulación de Montecarlo

La simulación Montecarlo asigna de forma aleatoria valores a cada variable independiente, los cuales se determinan a partir de la respectiva función de probabilidad. Cada conjunto de valores aleatorios se emplea para solucionar la ecuación que define el Factor de Seguridad. Este proceso se repite un número

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

suficientemente grande (10.000 simulaciones = 10.000 análisis de estabilidad) para obtener la distribución de probabilidad del Factor de Seguridad.

Es importante trabajar con un buen número de simulaciones para lograr que los resultados sean válidos, el Factor de Seguridad (FS) converja hacia su verdadera distribución y el error de muestreo sea el menor posible. Para su implementación se deben realizar los siguientes pasos (Bravo Mendoza & Sánchez Celis, 2012):

1. Construcción del modelo en condiciones de certidumbre plena.
2. Identificación de las variables.
3. Definición de las distribuciones de probabilidad de las variables aleatorias.
4. Realizar la simulación.
5. Análisis de resultados.

El primer paso y segundo paso se desarrollaron en el numeral anterior, donde se definieron las variables independientes. En estas etapas no se consideraron incertidumbres lo que también se conoce como el planteamiento del modelo en condiciones de certidumbre plena (Bravo Mendoza & Sánchez Celis, 2012). Una vez se han establecido las variables independientes, se incorpora la incertidumbre en la evaluación del modelo matemático. Esta inclusión se realiza con la definición de la distribución de probabilidad para cada variable estudiada, la cual describe de forma precisa el comportamiento de dichas variables (Bravo Mendoza & Sánchez Celis, 2012). Los análisis de estabilidad desarrollados con el Programa Slide V6 son de tipo Global mínimo, es decir que, el análisis probabilístico se hizo sobre la superficie de falla mínima global, localizada mediante al análisis determinista de estabilidad de taludes.

Para cada talud analizado, los resultados del análisis probabilístico son la probabilidad de falla ( $P_f$ ), el Factor de Seguridad medio ( $FS_m$ ) y el índice de confiabilidad (IC). La probabilidad de falla ( $P_f$ ) se define como la relación entre el número de análisis de estabilidad con Factor de Seguridad menor que uno ( $FS < 1$ ) y el número total de análisis realizados, como se observa en la siguiente ecuación:

$$P_f = \frac{\text{Número análisis } FS < 1}{\text{número total de análisis realizados}} * 100\%$$

El Factor de Seguridad medio ( $FS_m$ ) es el promedio de todos los Factores de Seguridad calculados para la superficie de falla mínima global. En general, el Factor de Seguridad medio debe ser cercano al Factor de Seguridad determinístico y para un gran número de análisis de estabilidad, los dos valores deben ser casi iguales (Rocscience, 2010).

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

El índice de confiabilidad ( $RI$  – *Realibility Index*) es un indicador del número de desviaciones estándar que separa el Factor de Seguridad medio ( $FS_m$ ) del Factor de Seguridad crítico ( $FS_c = 1$ ).

Un talud estable debe tener un índice de confiabilidad mayor o igual a tres ( $RI \geq 3$ ). Por otra parte, un índice de confiabilidad igual a cero ( $RI = 0$ ) indica que el Factor de Seguridad medio es igual a 1 y un índice de confiabilidad negativo significa que el Factor de Seguridad medio es menor que 1.

El Programa Slide V6, puede calcular el índice de confiabilidad asumiendo una distribución normal o log-normal de los resultados del Factor de Seguridad. Si se asume que los Factores de Seguridad están distribuidos normalmente, el índice de confiabilidad se calcula con la siguiente ecuación:

$$RI = \frac{\mu_{FS} - 1}{\sigma_{FS}}$$

Donde  $\mu_{FS}$  es el Factor de Seguridad medio o media de la distribución normal y  $\sigma_{FS}$  es la desviación estándar del Factor de Seguridad. Por otra parte, si el Factor de Seguridad está mejor ajustado a una distribución log-normal, entonces el Programa de computador emplea la siguiente Ecuación para calcular el índice de confiabilidad:

$$RI = \frac{\mu_{FS}}{\frac{1 + V^2}{\ln(1 + V^2)}}$$

Donde  $V$  es el coeficiente de variación del Factor de Seguridad, definido como la relación entre la desviación estándar y el Factor de Seguridad medio ( $\sigma_{FS}/\mu_{FS}$ )

#### **14.1.5 Definición de las distribuciones de probabilidad de las variables Independientes**

Los factores intrínsecos del terreno incluyen la geometría del talud, los parámetros de resistencia y el peso unitario de los materiales existentes. Por otra parte, los factores detonantes incluyen la variación del nivel freático en el suelo y las sollicitaciones sísmicas, en términos de coeficientes de aceleración pseudoestáticas. Algunas de estas variables pueden tomar valores aleatorios que dependen de una función de probabilidad específica, mientras otras se pueden considerar como valores constantes. A continuación, se definen las variables independientes que determinan el cálculo del Factor de Seguridad.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

- **Altura o espesor de la masa deslizante ( $h$ ) y ángulo de inclinación con la horizontal ( $\beta$ )**

La geometría del terreno, en términos de la altura, pendiente y curvatura superficial, es una variable dada por el modelo de elevación digital. Por otra parte, la geometría del subsuelo, específicamente el espesor de las unidades geológicas que conforman el área de estudio fue determinado a partir de los resultados de la campaña de exploración del subsuelo y el reconocimiento en campo de las condiciones geológicas y geomorfológicas que caracterizan el área de estudio.

- **Altura del Nivel freático  $z_w$  (m)**

En los análisis de estabilidad se consideró que la altura del nivel freático sigue una distribución de probabilidad constante; sin embargo, con el objetivo de simular diferentes escenarios de amenaza y observar el impacto de la variación del nivel freático sobre la estabilidad, se construyeron cinco escenarios de variación del nivel de agua, es decir, cinco niveles de agua, que van desde condiciones saturadas (escenario 1) hasta condiciones secas (escenario 5):

**Tabla 72. Escenarios de variación del nivel freático.**

Escenario	Nombre	Desviación
1	Saturado	$\sigma_1$
2	Alto	$\sigma_2$
3	Medio	$\sigma_3$
4	Bajo	$\sigma_4$
5	Seco	$\sigma_5$

Fuente: Geocing SAS.

- Parámetros de resistencia

De acuerdo con los análisis de variabilidad de las propiedades geotécnicas de esta zona se define el perfil geotécnico representativo junto con sus parámetros que representan la tendencia media:

	<b>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</b>
	<b>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</b>

**Tabla 73. Perfil Geotécnico del área de estudio.**

Unidad Geológica	Exploración directa	Profundidad (m)		SUCS	N <sub>s</sub>	N <sub>60</sub>	N <sub>f</sub> (m)	γ (kN/m <sup>3</sup> )	PARÁMETROS EFECTIVOS					
									CORTE DIRECTO		A.J.G 1998		RMR	
									C' (kPa)	Φ' (°)	C' (kPa)	Φ' (°)	C' (kPa)	Φ' (°)
For Palermo		0		Roca			-	22					20-30	25-35
For Seca		0	4	Roca			-	18.86			12.2	28.6		
Sr-Batolito Ibague	BM1	0	12	CL	17	10	-	20.1	6.0	31.6	0.7	28.4		
Ri-Batolito Ibague	LRS-2	12	25	Roca			7.5	21					20-30	25-35
Sftasr	SM1-BM2	0	8	SM	R	27	7.5	17.5			0	27.6		

Fuente: Geocing SAS.

En el caso del ensayo corte directo, los valores de  $\sigma'_v$  (esfuerzo vertical efectivo) y (esfuerzo cortante) se tomaron directamente de los resultados de laboratorio. La Tabla 74 y la presentan los pesos unitarios y los parámetros de resistencia definidos para cada una de las unidades de suelo y roca identificadas en el área de estudio.

**Tabla 74. Pesos unitarios y parámetros de resistencia asignados a las unidades de suelo.**

#	Material Name	Property	Distribution	Mean	Std. Dev.	Rel. Min	Rel. Max
1	Sftaa	Cohesión	Normal	1	1	0	3
2	Sftaa	Phi	Normal	22	2	6	6
3	Stir-1	Cohesión	Normal	3	1	3	3
4	Stir-1	Phi	Normal	25	2	6	6
5	Sr-Batolito de Ibagué	Cohesión	Normal	1	1	0	3
6	Sr-Batolito de Ibagué	Phi	Normal	28.4	2	6	6

Fuente: Geocing SAS.

#### 14.1.6 Análisis de la amenaza por movimientos en masa

Para el análisis de amenaza por movimientos en masa, previamente se realizó la identificación de zonas geotécnicas homogéneas, considerando aspectos fundamentales de la zona de estudio como: la geología, la geomorfología, las propiedades físicas y mecánicas de los materiales, y los procesos morfodinámicos existentes. Esta zonificación también consideró la orientación, longitud e inclinación de las laderas que conforman el casco urbano y de las laderas adyacentes que pueden presentar procesos de inestabilidad y afectar directamente el área de estudio.

Para cada perfil se planteó un modelo - geológico geotécnico, teniendo en cuenta los resultados de investigación del subsuelo, las observaciones de campo, las conclusiones del estudio de geología de detalle y los parámetros de resistencia calculados. Los análisis de estabilidad para cada uno de los perfiles definidos se realizaron para los cinco escenarios de agua establecidos. La Tabla 75 presenta

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

las probabilidades de ocurrencia para los cinco escenarios de variación del nivel freático.

**Tabla 75. Probabilidad de los escenarios de análisis.**

Escenario	Nombre	Probabilidad variación nivel freático	Desviación Estándar
1	Saturado	5%	$\sigma_1$
2	Alto	15%	$\sigma_2$
3	Medio	30%	$\sigma_3$
4	Bajo	25%	$\sigma_4$
5	Seco	25%	$\sigma_5$
		<b>100%</b>	

Fuente: Geocing SAS.

En la Tabla 75, los valores  $\sigma_1$  a  $\sigma_5$  se refieren a la desviación estándar del Factor de Seguridad medio obtenido del análisis de estabilidad probabilístico hecho con el Software Slide V.6 de Rocscience.

Una vez se realizados los análisis de estabilidad, para cada escenario planteado se obtuvo una sectorización del Factor de Seguridad a lo largo de cada perfil representativo, de manera que, para cada abscisa se obtuvo una probabilidad de falla que depende de las distribuciones de probabilidad de los factores intrínsecos y los factores detonantes previamente definidos. A su vez, la probabilidad de falla total en cada abscisa ( $P_f$ ) es una combinación de las probabilidades de falla calculadas en cada escenario, como se expresa a continuación:

$$P_f = P_{f1} * P_{n1} + P_{f2} * P_{n2} + \dots + P_{f5} * P_{n5}$$

Dónde:

$P_{f1} \dots P_{f5}$  Probabilidad de falla del talud en los escenarios 1 a 5.

$P_{n1} \dots P_{n5}$  Probabilidad de variación del nivel freático en los escenarios 1 a 5.

$\sigma_1 \dots \sigma_5$  Desviación estándar del Factor de Seguridad medio, para los escenarios 1 a 5.

#### 14.1.7 Categorización de la amenaza

Realizados los análisis de estabilidad y obtenida la probabilidad de falla total para las abscisas de cada perfil representativo, se dibujó el mapa de amenaza por movimientos en masa de acuerdo con la categorización que se presenta en la Tabla 76. La generación del mapa se realizó uniendo zonas de amenaza de igual categoría, teniendo en cuenta la topografía de la zona, la geología, los procesos morfodinámicos existentes, las observaciones de campo, las distancias de viaje y

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

las zonas de transición que deben existir entre cada una de las categorías, de acuerdo con los resultados del análisis de estabilidad de taludes.

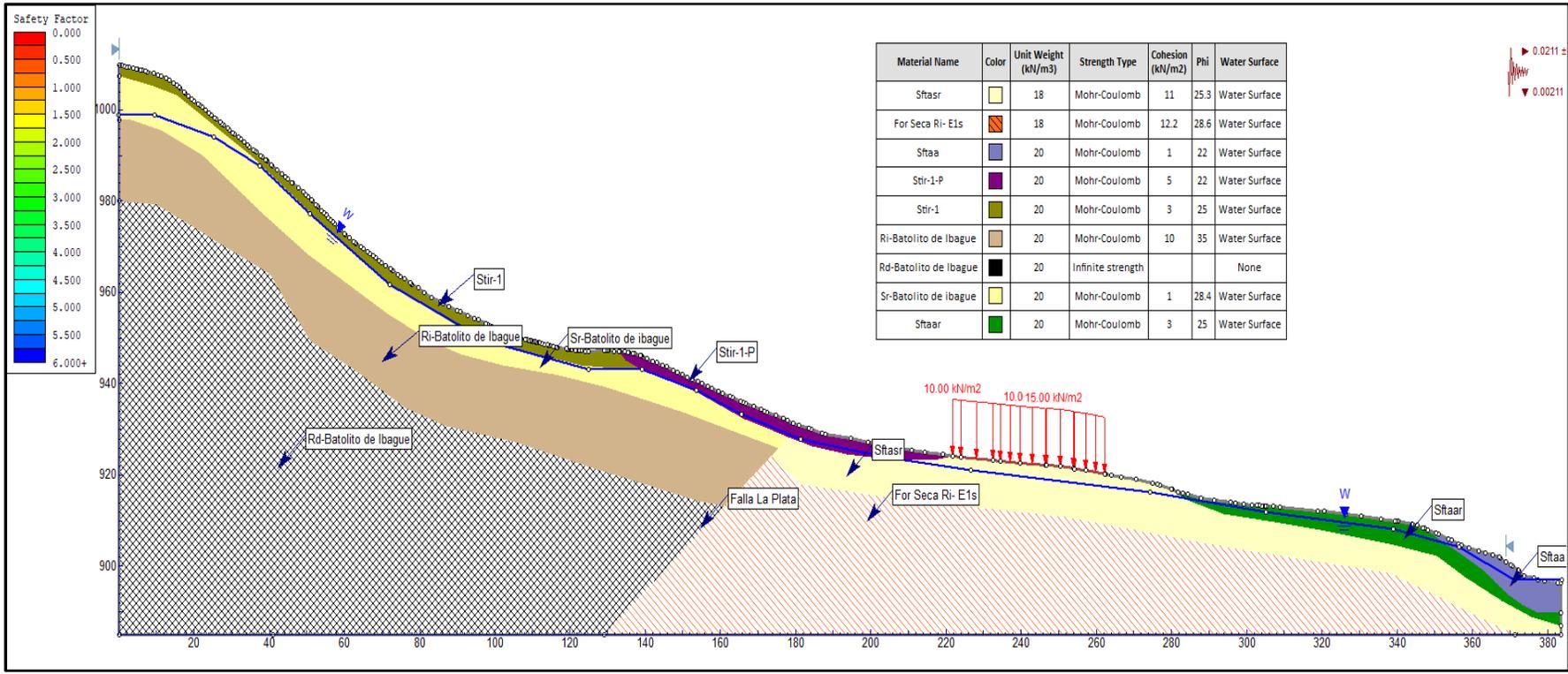
**Tabla 76. Categorización propuesta para la amenaza por movimientos en masa.**

Categoría	Probabilidad	Rango de Frecuencia (1/año)	Probabilidad de falla anual del proceso $P(Dz)_1$	Significado
Amenaza	Relativa			
<b>Alta</b>	<b>Casi Seguro</b>	>1/20	>5%	El movimiento en masa puede ser inminente, con un período de retorno menor a 20 años.
<b>(A)</b>	<b>Probable</b>	1/100 – 1/20	1% - 5%	Debe esperarse que ocurra un movimiento en masa dentro del tiempo de vida de una persona (períodos de retorno entre 20 y 100 años).
<b>Media</b>				
	<b>Posible</b>	1/225 -1/100	0.44% - 1%	La ocurrencia de un movimiento en masa durante el término de un tiempo de vida es poco probable, pero es posible que ocurra bajo condiciones adversas. Su probabilidad de ocurrencia acumulada de 20% en un período de diseño de 50 años, según la NSR-2010.
<b>(M)</b>	<b>Raro</b>	1/475 –/225	0.21% - 0.44%	El evento puede ocurrir siempre y cuando se presenten condiciones muy adversas. La probabilidad de ocurrencia acumulada del evento está entre el 10% y el 20% en un período de diseño de 50 años.
<b>Baja</b>	<b>Improbable</b>	<1/475	<0.21%	El evento puede ser concebible pero únicamente bajo circunstancias excepcionales. Límite de probabilidad de excedencia del sismo de diseño para edificaciones según la NSR-2010. La probabilidad de ocurrencia acumulada del evento es menor al 10% en un período de diseño de 50 años.
<b>(B)</b>				

Fuente: Geocing SAS.

#### **14.1.8 Resultados de los análisis de estabilidad**

Este numeral presenta los resultados de los análisis de estabilidad, las probabilidades de falla y la categorización de amenaza para los perfiles representativos definidos, de forma ilustrativa, se hace énfasis en los cálculos desarrollados para el perfil P10, pero los procedimientos aquí explicados son similares para los demás perfiles evaluados y pueden consultarse en el Anexo 4. AMENAZA. GE426-TRL-PSIG-AMM-001-00. La Ilustración 144 muestra el modelo geológico-geotécnico planteado para el análisis del perfil P10, las sollicitaciones impuestas a la superficie del terreno son de tipo estático y corresponden a las cargas ejercidas por las viviendas y vías terciarias existentes.



**Ilustración 144. Modelo geológico – geotécnico para el perfil representativo P10.**  
**Fuente: Geocing SAS.**

De la Ilustración 145 a la Ilustración 149 se presentan los resultados del análisis de estabilidad probabilístico para los cinco escenarios planteados, en ellas se observa, el Factor de Seguridad (FS) calculado, la probabilidad de falla ( $P_f$ ) y el índice de confiabilidad (RI).



ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

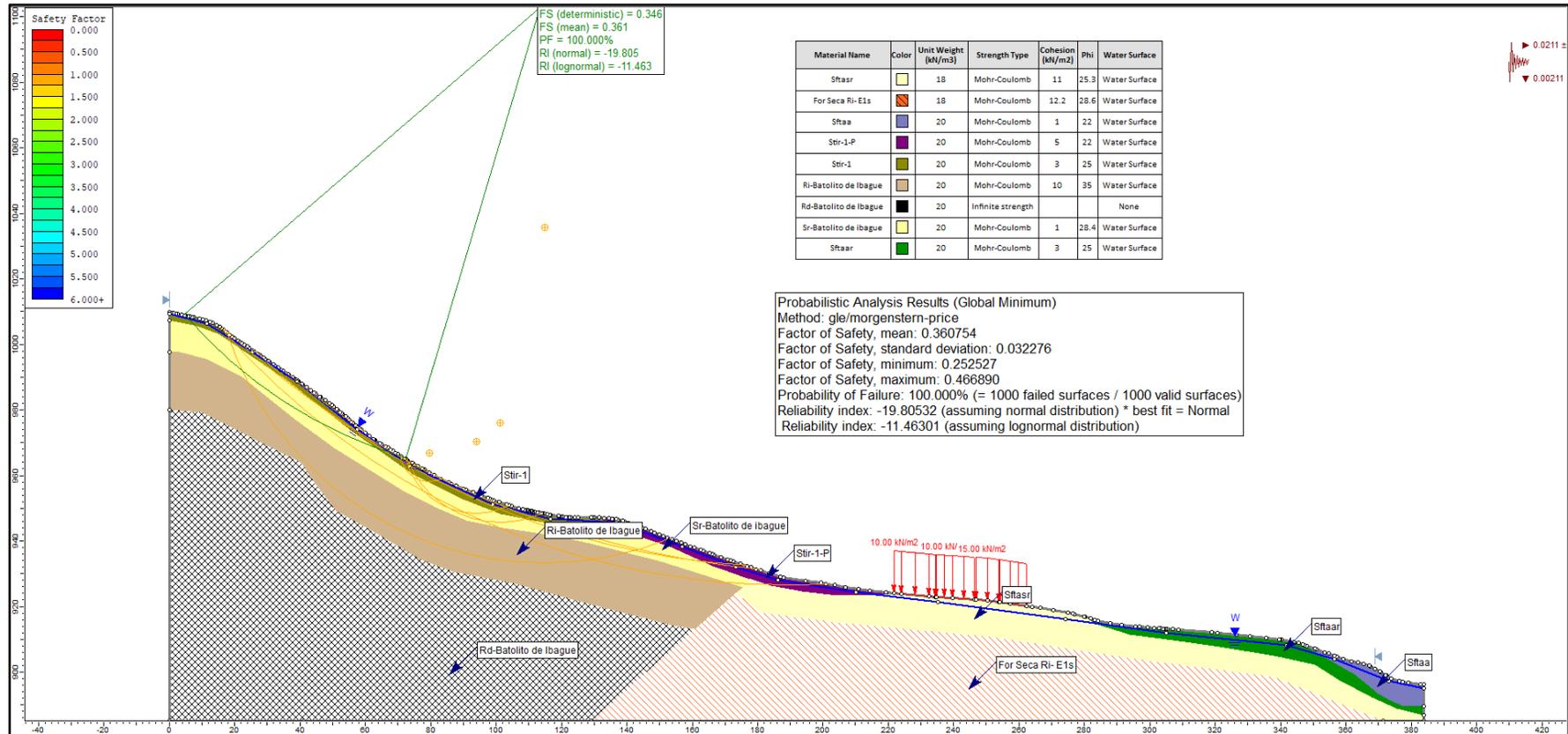


Ilustración 145. Análisis de estabilidad para el perfil representativo P10. Escenario 1.  
 Fuente: Geocing SAS.



ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

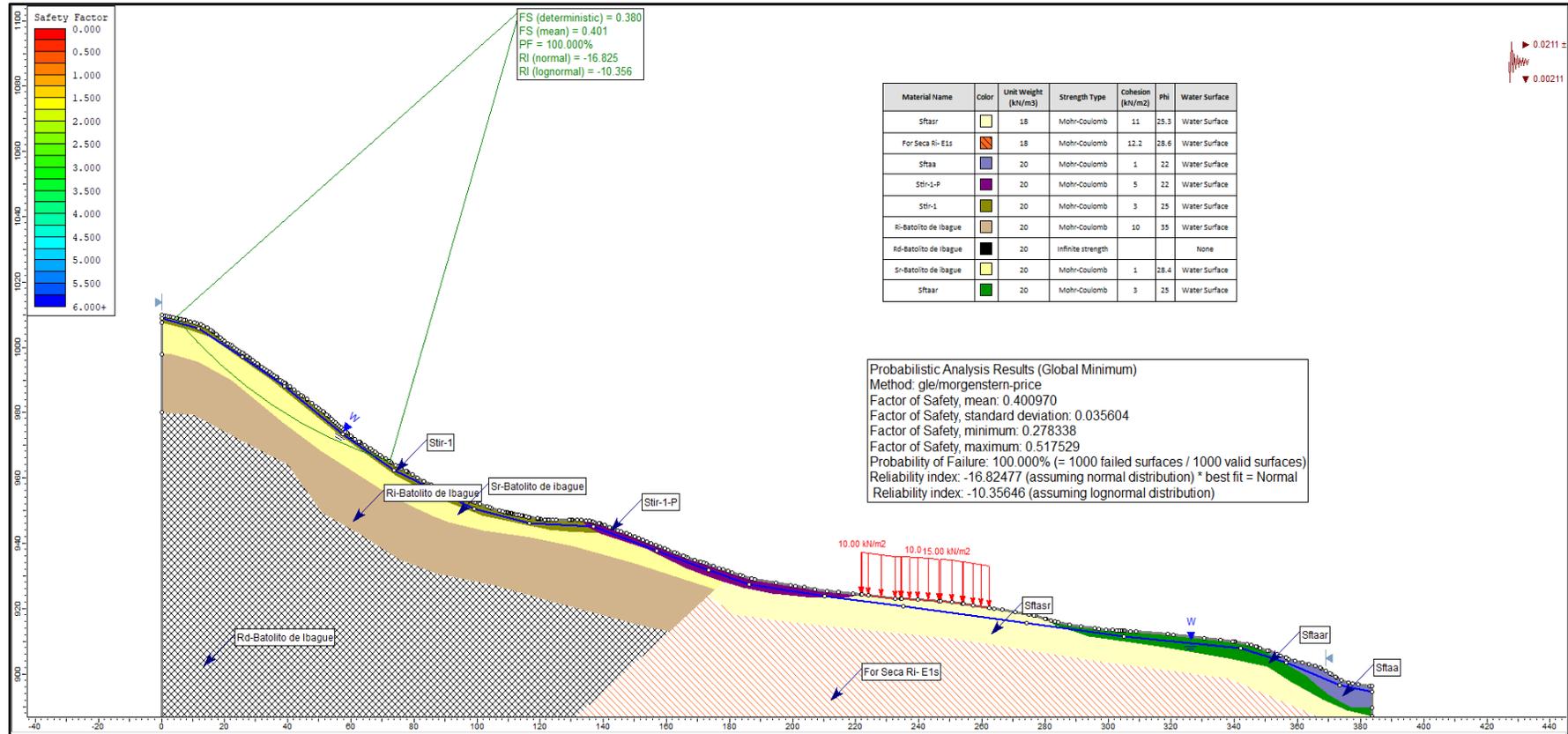
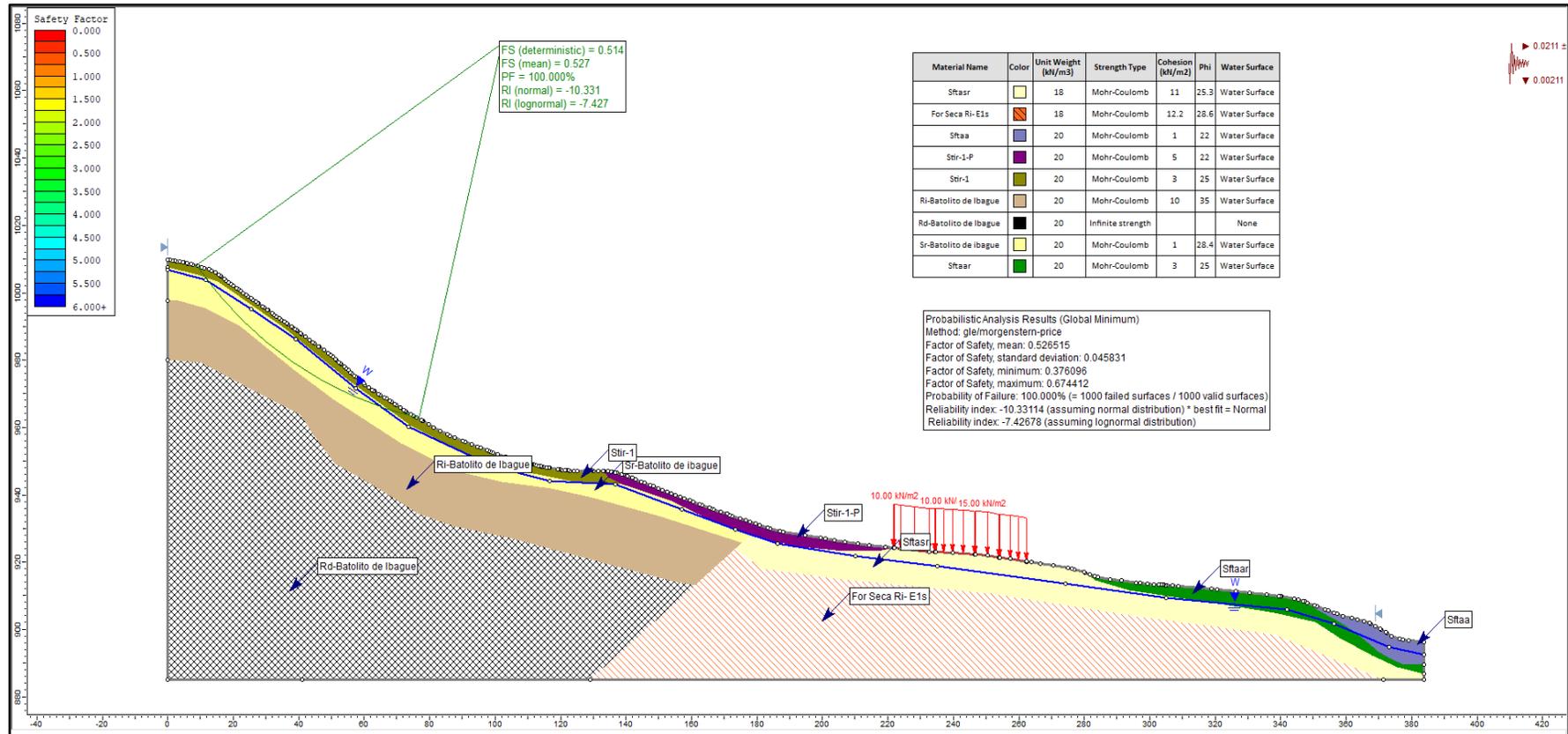


Ilustración 146. Análisis de estabilidad para el perfil representativo P10. Escenario 2.  
 Fuente: Geocing SAS.



**Ilustración 147. Análisis de estabilidad para el perfil representativo P10. Escenario 3.**  
**Fuente: Geocing SAS.**



ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

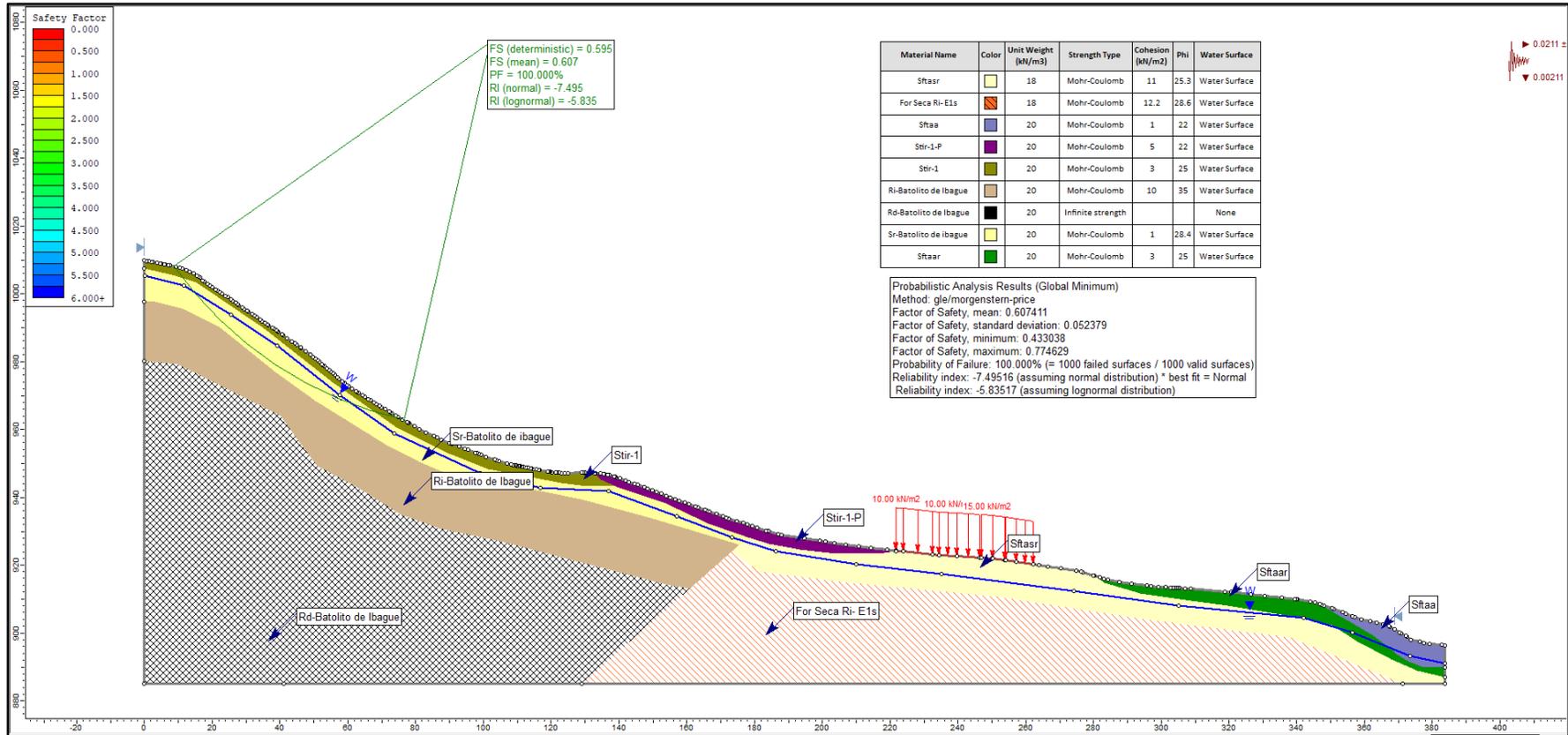


Ilustración 148. Análisis de estabilidad para el perfil representativo P2. Escenario 4.  
Fuente: Geocing SAS.

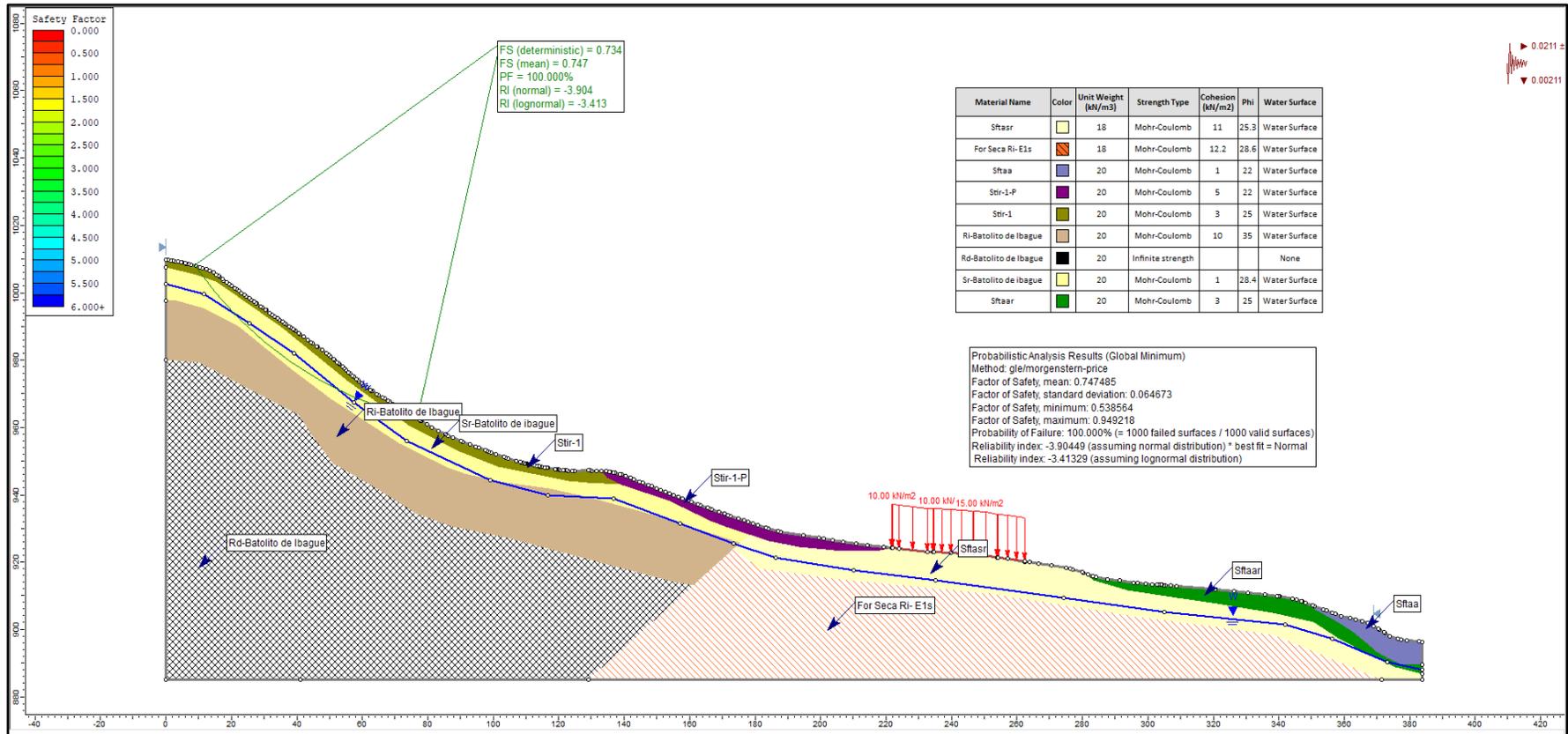
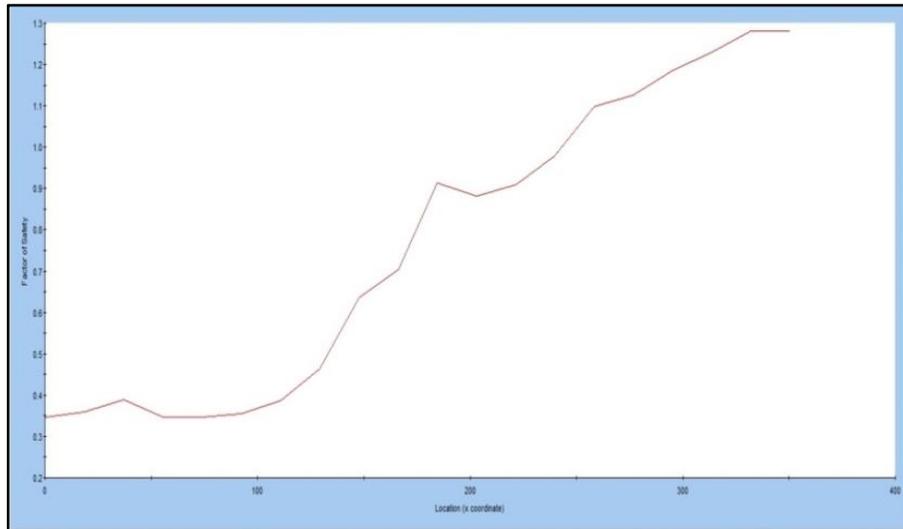


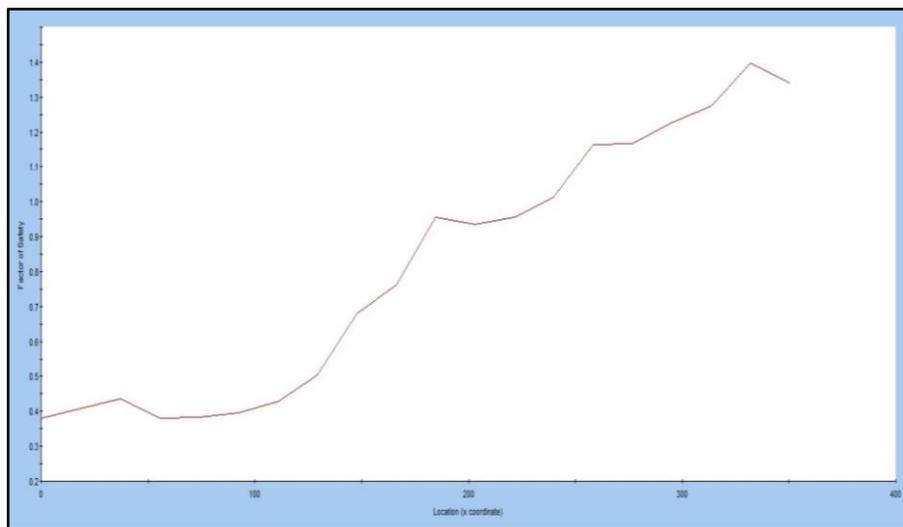
Ilustración 149. Análisis de estabilidad para el perfil representativo P2. Escenario 5.  
Fuente: Geocing SAS.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

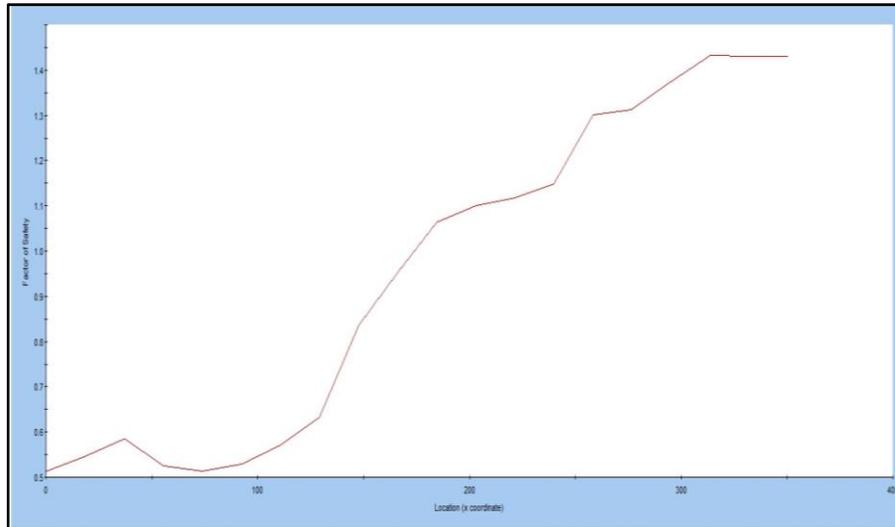
Como se mencionó al inicio de este numeral, para cada abscisa se obtuvo una probabilidad de falla que depende de las distribuciones de probabilidad de los factores intrínsecos y los factores detonantes previamente definidos. A su vez, la probabilidad de falla total en cada abscisa ( $P_f$ ) es una combinación de las probabilidades de falla calculadas en cada escenario. De la Ilustración 150 a Ilustración 153 se presentan los Factores de Seguridad obtenidos a lo largo del perfil P10, para cada uno de los cinco escenarios estudiados.



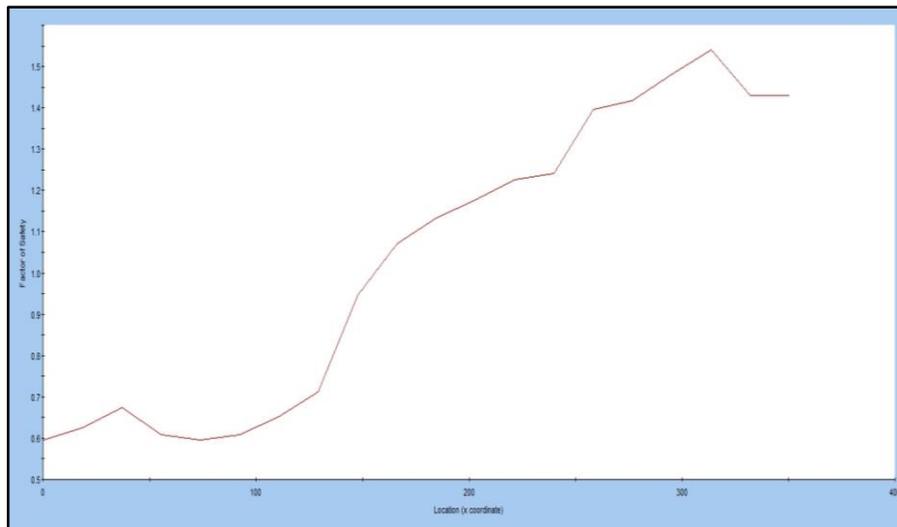
**Ilustración 150. Factor de Seguridad para las abscisas del perfil representativo P10. Escenario 1.**  
Fuente: Geocing SAS.



**Ilustración 151. Factor de Seguridad para las abscisas del perfil representativo P10. Escenario 2.**  
Fuente: Geocing SAS.

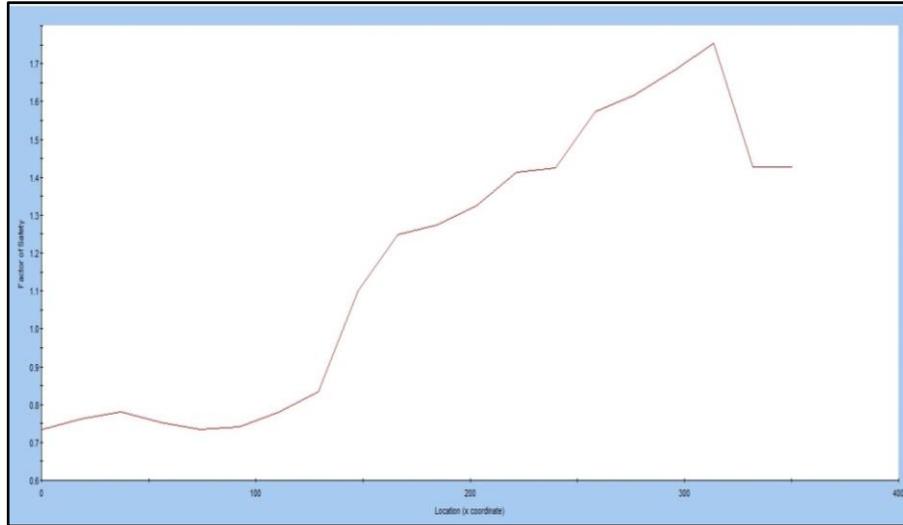


**Ilustración 152. Factor de Seguridad para las abscisas del perfil representativo P10. Escenario 3.**  
Fuente: Geocing SAS.



**Ilustración 153. Factor de Seguridad para las abscisas del perfil representativo P10. Escenario 4.**  
Fuente: Geocing SAS.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



**Ilustración 154. Factor de Seguridad para las abscisas del perfil representativo P10. Escenario 5.**  
**Fuente: Geocing SAS.**

La Tabla 77 muestra las probabilidades de falla calculadas para las abscisas del perfil P18, para los cinco escenarios planteados y la Tabla 78 presenta la probabilidad de falla total calculada para cada abscisa.

**Tabla 77. Probabilidad de falla para las abscisas del perfil representativo P18.**

	ESCENARIO 1		ESCENARIO 2		ESCENARIO 3		ESCENARIO 4		ESCENARIO 5	
	Abscisa	FS								
1	0.00	0.18	0.00	0.20	0.6	0.00	0.0	0.10	0.00	0.20
2	20.19	0.19	20.19	0.24	20.8	0.08	20.2	0.19	20.19	0.25
3	40.39	0.22	40.39	0.26	41.0	0.12	40.4	0.25	40.39	0.27
4	60.58	0.18	60.58	0.20	61.2	0.04	60.6	0.15	60.58	0.23
5	80.77	0.18	80.77	0.21	81.3	0.03	80.8	0.15	80.77	0.21
6	100.97	0.20	100.97	0.23	101.5	0.07	101.0	0.18	100.97	0.23
7	121.16	0.27	121.16	0.30	121.7	0.16	121.2	0.27	121.16	0.32
8	141.35	0.44	141.35	0.46	141.9	0.39	141.4	0.52	141.35	0.59
9	161.55	0.57	161.55	0.62	162.1	0.63	161.5	0.78	161.55	0.91
10	181.74	0.80	181.74	0.82	182.3	0.83	181.7	0.90	181.74	1.00
11	201.93	0.81	201.93	0.85	202.5	0.89	201.9	0.98	201.93	1.08
12	222.13	0.84	222.13	0.87	222.7	0.92	222.1	1.05	222.13	1.21
13	242.32	0.93	242.32	0.96	242.9	0.99	242.3	1.11	242.32	1.27
14	262.51	1.07	262.51	1.11	263.1	1.21	262.5	1.31	262.51	1.47
15	282.71	1.12	282.71	1.14	283.3	1.25	282.7	1.36	282.71	1.54
16	302.90	1.18	302.90	1.20	303.5	1.35	302.9	1.45	302.90	1.66
17	323.09	1.25	323.09	1.30	323.7	1.40	323.1	1.44	323.09	1.49
18	343.29	1.28	343.29	1.36	343.9	1.39	343.3	1.35	343.29	1.24
19	363.48	1.28	363.48	1.33	364.1	1.39	363.5	1.35	363.48	1.24
20	383.67	1.28	383.67	1.33	384.2	1.39	383.7	1.35	383.67	1.24

**Fuente: Geocing SAS.**

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

**Tabla 78. Probabilidad de falla total para las abscisas del perfil representativo P18.**

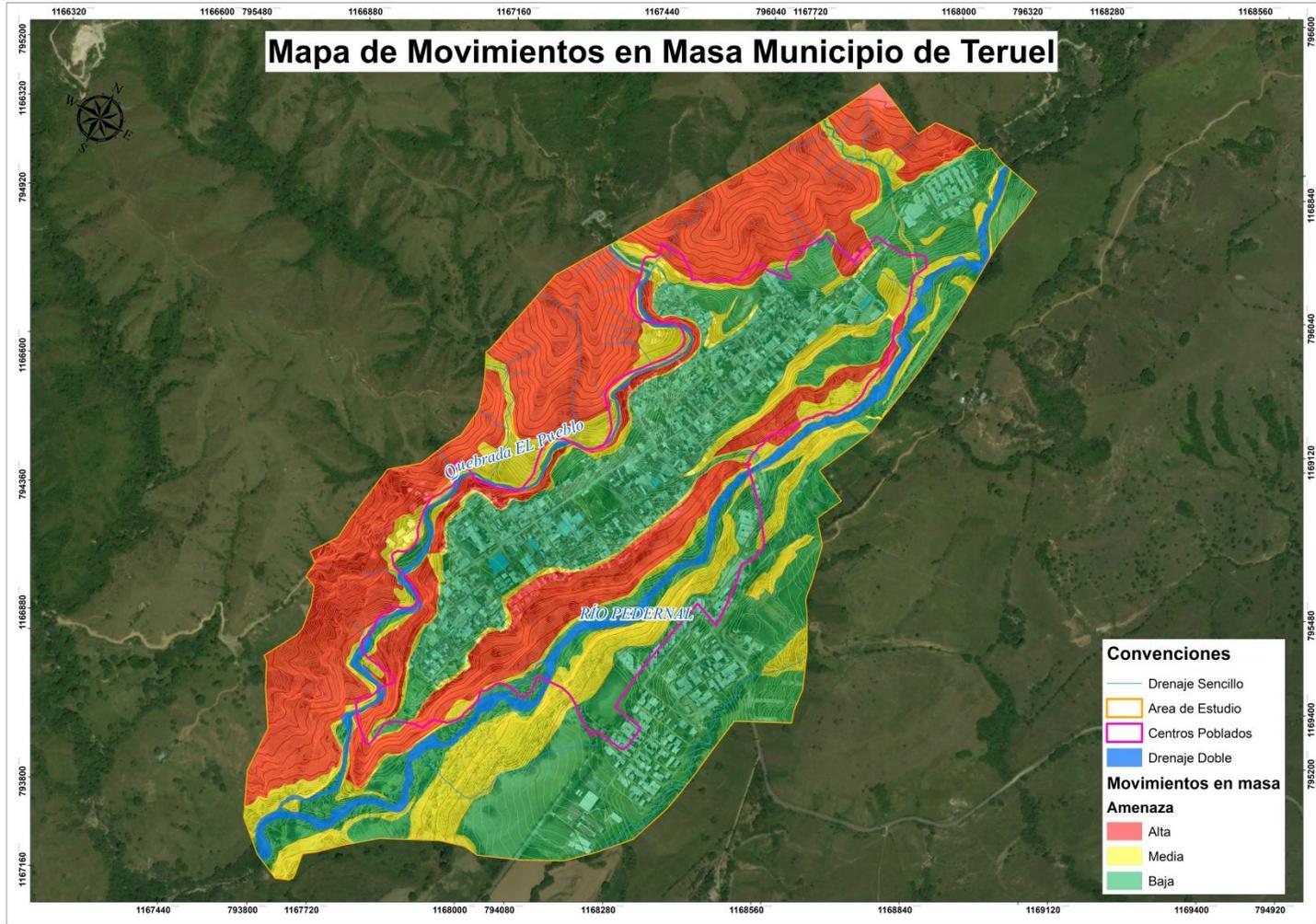
PROB. DEL ESCENARIO					
ABSCISA	Probabilidad de falla total	ABSCISA	Probabilidad de falla total	ABSCISA	Probabilidad de falla total
0.00	75%	130.45	75%	260.90	54%
3.84	75%	134.29	75%	264.74	25%
7.67	75%	138.12	75%	268.57	25%
11.51	100%	141.96	74%	272.41	25%
15.35	76%	145.80	75%	276.25	25%
19.18	75%	149.63	75%	280.08	25%
23.02	100%	153.47	75%	283.92	25%
26.86	100%	157.31	75%	287.76	25%
30.69	100%	161.14	75%	291.59	25%
34.53	100%	164.98	65%	295.43	25%
38.37	100%	168.82	68%	299.27	25%
42.20	100%	172.65	70%	303.10	25%
46.04	100%	176.49	72%	306.94	25%
49.88	100%	180.33	73%	310.78	25%
53.71	100%	184.16	52%	314.61	25%
57.55	100%	188.00	54%	318.45	25%
61.39	100%	191.84	55%	322.29	25%
65.22	100%	195.67	58%	326.12	25%
69.06	100%	199.51	60%	329.96	25%
72.90	100%	203.35	49%	333.80	25%
76.73	100%	207.18	74%	337.63	25%
80.57	100%	211.02	74%	341.47	25%
84.41	100%	214.86	75%	345.31	25%
88.25	100%	218.69	75%	349.14	25%
92.08	100%	222.53	73%	352.98	25%
95.92	100%	226.37	65%	356.82	25%
99.76	75%	230.20	68%	360.65	25%
103.59	75%	234.04	70%	364.49	25%
107.43	100%	237.88	72%	368.33	25%
111.27	75%	241.71	73%	372.16	25%
115.10	75%	245.55	25%	376.00	25%
118.94	75%	249.39	27%	379.84	25%
122.78	75%	253.22	31%	383.67	0%
126.61	75%	257.06	40%		

Fuente: Geocing SAS.

#### **14.1.9 Mapa de amenaza por movimientos en masa**

La Ilustración 155 presenta el mapa de amenaza por movimientos en masa, calculado para el caso urbano del municipio de Teruel.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



**Ilustración 155. Mapa de amenaza por movimientos en masa del casco urbano del municipio de Teruel.**  
Fuente: Geocing SAS.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

La Tabla 79 presenta la distribución de categorías de amenaza por movimientos en masa, concluyendo que el 32.93% (49.32 Ha) del área de estudio se encuentra en amenaza alta, 18.51% del área equivalente a 27.72 Ha se encuentra en amenaza media y el 48.57% (72.76 Ha) presenta amenaza Baja.

**Tabla 79. Distribución de las categorías de Amenaza movimientos en masa.**

Teruel		
Amenaza	Área Ha	Área %
Alta	49.32	32.93%
Media	27.72	18.51%
Baja	72.76	48.57%
Total	149.79	100%

Fuente: Geocing SAS.

Las zonas de amenaza alta se concentran al oriente en el límite del casco urbano donde se presentan zonas con movimientos superficiales de tipo reptación, con relieve montañoso y pendientes mayores a 45°, además de la presencia de espesores considerables de suelo residual del batolito de Ibagué, los cuales debido a la acción de los factores erosivos son altamente susceptibles a generar procesos de inestabilidad. Adicionalmente, las pendientes de los taludes son altas, situación que potencia el efecto de los principales factores detonantes de los movimientos en masa, como son las lluvias y las fuerzas sísmicas. A continuación se mencionan algunos movimientos en masa generados por factores externos mencionados en la zona de pendiente alta, situación que se presenta fuera y dentro del área de estudio pero sigue los mismos criterios del área de estudio.

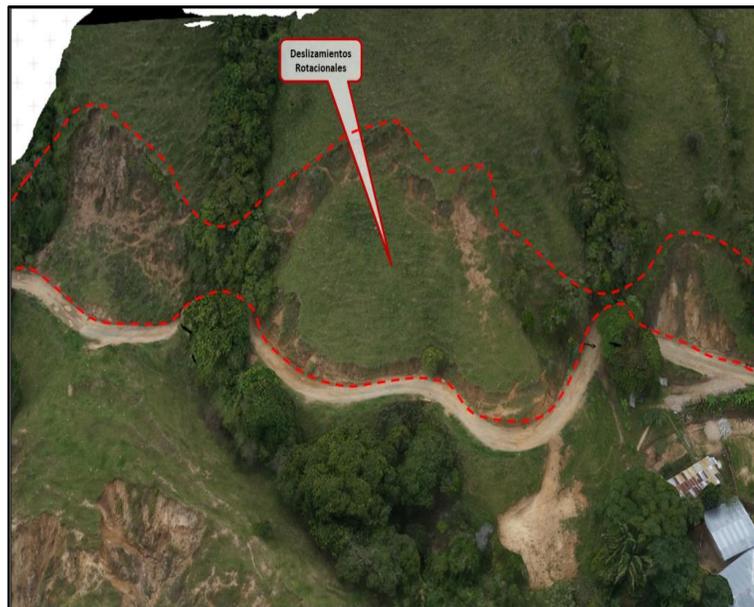
Es un proceso con estado de la actividad: activo. Distribución de la actividad: retrogresivo. Estilo de la actividad: complejo.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



**Ilustración 156. Movimiento en masa con estilo de actividad compleja. Sector suroeste de la zona de estudio. Orientación de la ilustración hacia el suroccidente.**  
**Fuente: Geocing SAS.**

Estos procesos tienen un estado de la actividad: Activo. Distribución de la actividad: Retrogresivo. Estilo de la actividad: Compuesto.



**Ilustración 157. Deslizamientos rotacionales en el talud de una vía Veredal en el sector suroeste del casco urbano.**  
**Fuente: Geocing SAS.**

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>



**Ilustración 158. Coordenadas: E=1168216, N=795798. Erosión hídrica laminar, en surcos y en cárcavas, sobre suelos residuales de la Formación Palermo (Ri-E1p)  
Fuente: Geocing SAS**

En la Ilustración 158 se observan dos (2) grandes cárcavas, que pueden tener un ancho hasta de 3 metros, alturas hasta de dos (2) metros, y longitudes hasta de cincuenta (50) metros.

Un movimiento en masa que se encuentra en la parte del casco urbano del municipio, es el que está afectando la cancha de Microfútbol, el cual tiene aprox. 50m de longitud, un ancho de 25 m. La Ilustración 159 muestra como la parta del deslizamiento deformó la placa de la cancha y provoco la falla del muro de contención en concreto al occidente de la cancha y generara una abertura de 7° cm aprox.



**Ilustración 159. Deslizamiento rotacional.**  
Fuente: Geocing SAS.



**Ilustración 160. Separación del muro de contención de la cancha de aproximadamente 70 cm.**  
Fuente: Geocing SAS.

Según habitantes, este proceso se inició luego del corte contiguo para la construcción de la estación de servicio, donde el material de corte fue llevado a la parte superior de la ladera (hoy parte alta del proceso), y al parecer el sobrepeso generó la afectación. Actualmente se observan grietas longitudinales y transversales, escarpes, muro fallado y la placa de la cancha se encuentra levantada.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>

Como factores contribuyentes se encuentran: la inclinación de la ladera, el cambio de uso en el suelo, la configuración tectónica regional, la infiltración y el paso de aguas de escorrentía, la naturaleza heterogénea de los materiales involucrados (contacto suelo residual – roca del Batolito de Ibagué), la sobrecarga de material en la parte alta de la ladera y el corte realizado para la construcción de la cancha de microfútbol. Posiblemente el factor detonante es la infiltración y el paso superficial de escorrentía de aguas lluvias, que contribuyeron a la inestabilidad generada por la sobrecarga de material en la parte superior de la ladera. Es un proceso con estado de la actividad: activo. Distribución de la actividad: retrogresivo. Estilo de la actividad: Individual o único.

Las márgenes de taludes adyacentes del Río Pedernal son susceptible a socavación lateral producto del poder erosivo de las corrientes, profundizando los cauces (erosión de fondo) e inestabilizando los taludes aledaños. En épocas de lluvias, el proceso de socavación aumenta por el aumento del caudal de los ríos y aumentando la cantidad de material transportado.

Así mismo, el mapa muestra que las laderas adyacentes a la quebrada El Pueblo tiene una probabilidad de falla alta, especialmente en épocas de invierno cuando la lluvia genera la saturación del suelo y la consecuente reducción de los esfuerzos efectivos y la resistencia al corte del terreno afectan la estabilidad de los taludes de los cauces.

Por otro lado, los taludes dentro de la zona de estudio presentan procesos de inestabilidad superficial, reptación, debido a los cortes que se realizaron con el fin de conformar la infraestructura vial de la zona. Además de esto, también existe una susceptibilidad en los taludes de corte sobre la terraza aluvial subreciente, los cuales presentan laderas muy escarpadas debido a los procesos de erosión, ya que la matriz se pierde y quedan expuestos los bloques a la acción de la gravedad.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>



**Ilustración 161. Movimientos en masa identificada en el Cementerio sobre el río Pedernal.**  
**Fuente: Geocing SAS.**

Adicionalmente en el la margen derecha de la quebrada El Pueblo, en el extremo suroccidental del casco urbano: los movimientos en masa de tipo rotacional se deben a que es una zona de falla, donde las rocas están fuertemente fracturadas.

En el casco urbano algunas viviendas ubicadas en escarpe de la terraza pedernal localizadas en el barrio las Brisas se han visto afectadas por un movimiento en masa complejo que se presenta en el sector y Sobre la margen derecha del río Pedernal, en la calle 6 con carrera 2 se presentan procesos morfodinámicos representados por erosión concentrada (surcos y cárcavas).

En la Ilustración 6 se presenta una fotografía de la terraza pedernal que se presenta en el municipio.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>



**Ilustración 162. Terraza Pedernal 2 (TPE2) o Terraza Teruel.  
Fuente: Geocing SAS.**

Las zonas de amenaza media (áreas amarillas) indican los lugares en los cuales, en caso de generación de un evento de inestabilidad el material movilizado afectaría estas zonas, ubicadas en el pendientes medias- menos de 30° donde el terreno se caracteriza por tener pendientes medias, estas definen sectores compuestos por suelos transportados subreciente, donde es posible la ocurrencia de movimientos en masa, cuando se presentan precipitaciones que elevan los niveles freáticos y en condiciones sísmicas.

En conclusión, las zonas más críticas son las adyacentes a los márgenes de la quebrada El Pueblo y el Río Pedernal, ya que por la topografía abrupta genera grandes escarpes y puntos de socavación expuestos a la intemperie, igual que a la afectación de los procesos erosivos haciendo estos puntos susceptibles a generar movimientos en masa.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>

## 14.2 AMENAZA POR INUNDACIÓN

El siguiente análisis se realizó a partir de los resultados obtenidos de los estudios hidrológicos e hidráulicos para el tránsito de crecientes extremas en el río el Pedernal y sus afluentes en el municipio de Teruel (quebradas las Moyas y El Pueblo) con el fin de establecer la amenaza por inundación. Para la categorización se empleó cartografía digital a escala 1:10.000, registros de caudales y niveles, secciones transversales e información de las estaciones climatológicas localizadas en el área de influencia del municipio de Teruel. Esta información se empleó para determinar las crecientes probables para los diferentes períodos de retorno de los cuerpos de agua analizados, estableciendo las correspondientes cotas de las crecientes extremas probables; adicionalmente, se recopiló toda la información de campo (datos topográficos, hidrotopográficos y registro fotográfico), e información existente (datos hidrológicos, cartografía, estudios anteriores de la zona, eventos históricos entre otros) para verificar los correspondientes resultados obtenidos.

### ***14.2.1 Ubicación de puntos de interés- Puntos de Socavación***

En la Ilustración 163 se presentan los puntos de interés por socavación en el municipio de Teruel, los cuales fueron establecidos a partir de los procesos de erosión fluvial y diagénesis identificados en los márgenes de los cauces.

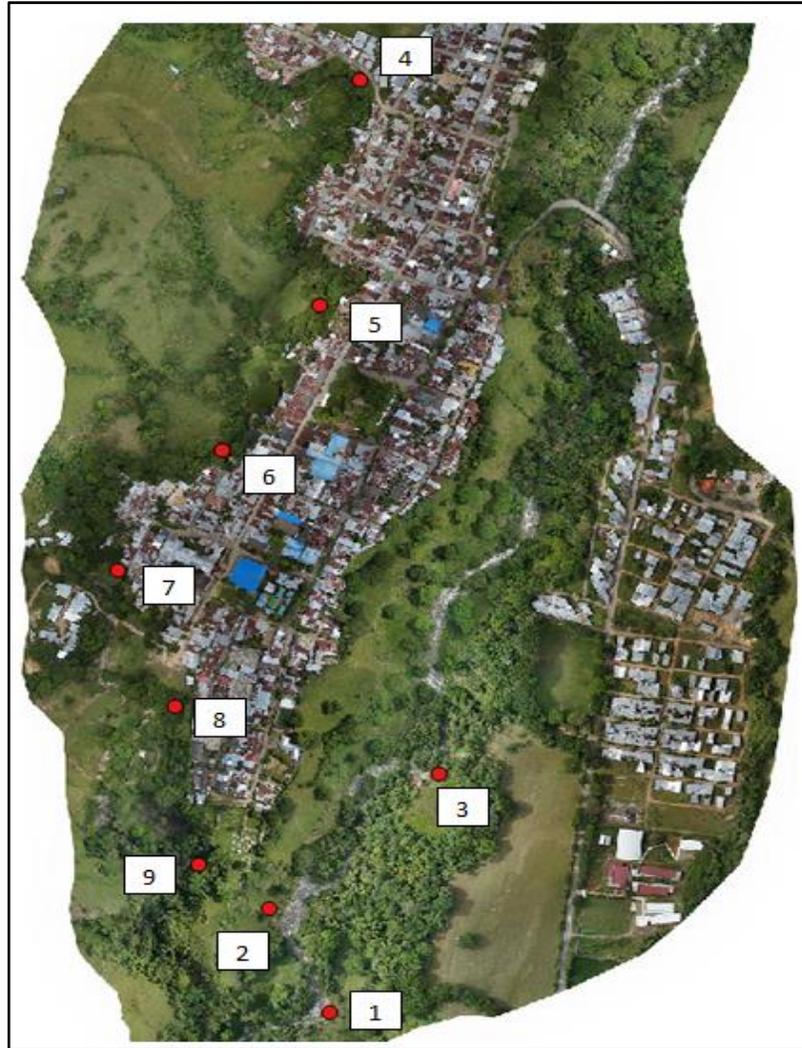


Ilustración 163. Punto de Socavación

Fuente: Geocing. S.A.S

Por medio de la topografía, topo-batimetría y el modelo digital de elevación, se identificaron nueve (9) puntos de interés, de los cuales tres (3) puntos se ubican en el río Pedernal y seis (6) en la quebrada el Pueblo. La descripción correspondiente a los puntos de interés identificados se presenta a continuación:

• **Punto 1:** En la Ilustración 164 se presenta un punto de socavación en las coordenadas  $N=794143.0$   $O=1167808.1$  ubicado al margen derecho del río Pedernal, tiene un talud con una altura aproximada de 4 metros de altura. Por el tipo de material de arrastre ubicado en el lecho del río se asocia a avenidas torrenciales, las cuales aumentan la socavación en el punto.

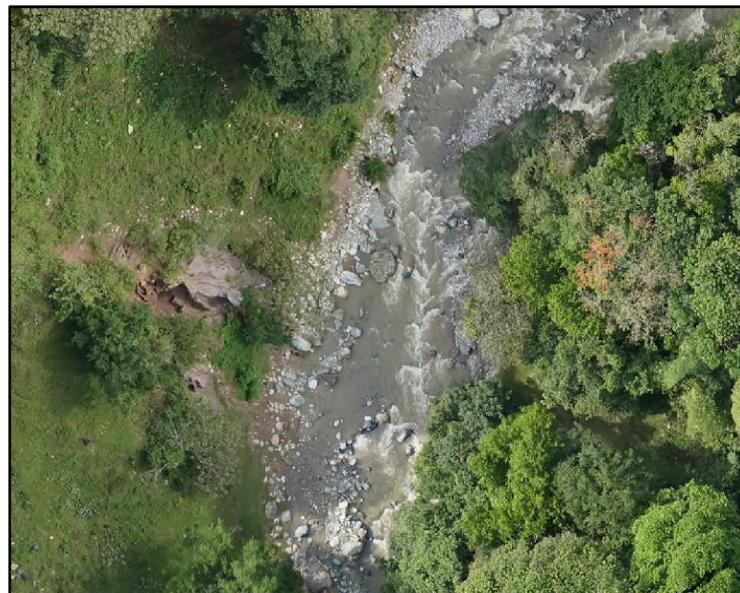
	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



**Ilustración 164** Socavación en el río pedernal al costado derecho.

Fuente: Geocing. SAS.

- **Punto 2:** Como se observa en la Ilustración 165 se presenta Socavación en las coordenadas N=794277.3 O=1167739.3 al margen izquierdo del río Pedernal, en un talud con una altura de aproximadamente 5 metros.



**Ilustración 165** Socavación en el río pedernal al costado izquierdo.

Fuente: Geocing. SAS.

- **Punto 3:** En la Ilustración 166 se presenta un punto de socavación el cual se ubica en las coordenadas N=794453.2 O=1167934.0 al margen derecho del río Pedernal, corresponde a un talud de aproximadamente 6 metros de altura. Cabe

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

anotar que este proceso de erosión fluvial tipo socavación ha avanzado a un movimiento en masa local, debido al incremento de las presiones efectivas por las variaciones del nivel freático y como consecuencia ha disminuido la resistencia de los materiales provocando su inestabilidad.



**Ilustración 166. Socavación en el río pedernal al costado derecho.**  
**Fuente: Geocing. SAS.**

- **Punto 4:** En la Ilustración 167 se presenta un proceso de socavación en las coordenadas N= 795353.68 O= 1167842.91 al margen derecho de la quebrada el Pueblo en un talud con una altura de aproximadamente 4 metros. En este sector evidencia que el cauce tiene una curva cercano a los 90 ° generado por el cambio en la topografía lo que genera una socavación local debido de la dirección tangencial que toma el flujo en este punto.



Ilustración 167 Socavación en la quebrada el Pueblo, en el costado derecho.

Fuente: Geocing. SAS.

- **Punto 5:** En las coordenadas N= 795061 O= 1167797 se presenta una socavación de 2 m en el margen izquierdo de la quebrada El pueblo, proceso que está afectando las viviendas que se encuentran adyacentes al talud afectado (Ver Ilustración 168).

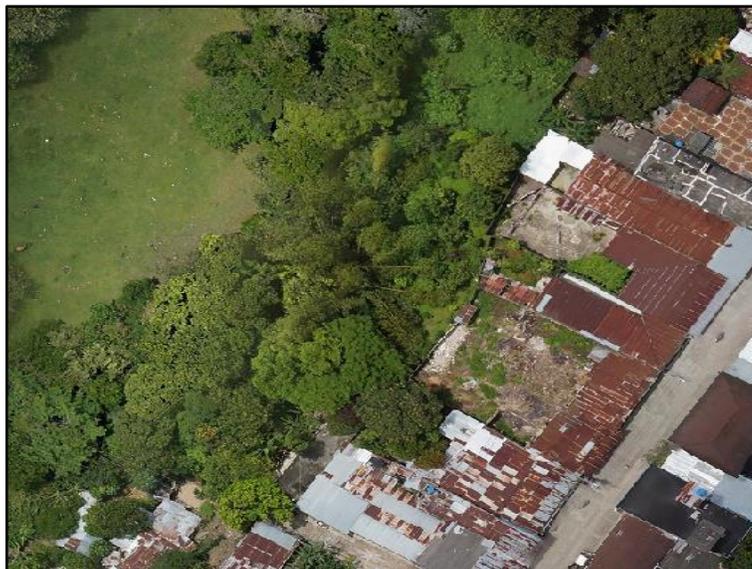


Ilustración 168 Socavación en la quebrada el Pueblo, en el costado izquierdo.

Fuente: Geocing. SAS.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

- Punto 6:** En las coordenadas de N= 794871.8 O= 1167687.1 sobre la margen izquierda de la Quebrada el Pueblo se ha generado una socavación, que puede afectar las viviendas y la cancha principalmente ya que estas se encuentran sobre el talud que está siendo afectado por la socavación. (Ver Ilustración 169).



Ilustración 169 Socavación en la quebrada el Pueblo, en el costado izquierdo.  
Fuente: Geocing. SAS.

- Punto 7:** Según la Ilustración 170, Al Margen Izquierdo de la Quebrada el Pueblo se presenta socavación en las coordenadas N= 7948 794717.571.8 O= 1167568, con una afectación de un ancho de 8 m y una altura de 3 m aproximadamente.

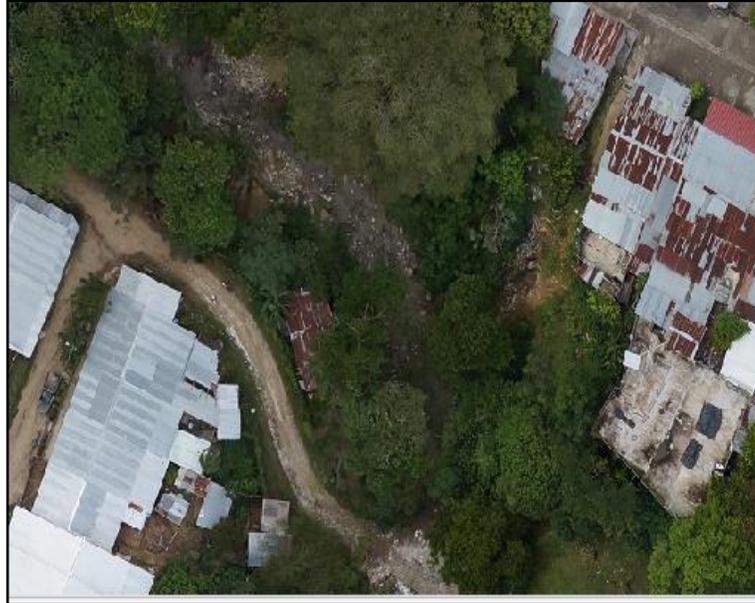


Ilustración 170 Socavación en la quebrada el Pueblo, en el costado izquierdo.  
Fuente: Geocing. SAS.

- **Punto 8:** En la Ilustración 171 se presenta la socavación correspondiente al punto 8, ubicado en las coordenadas N= 794541.1 O= 1167634.3 al margen izquierdo de la quebrada el Pueblo, con un ancho de 5 metros y una altura de aproximadamente 6 metros. Por las condiciones topográficas este proceso de socavación local, puede ser susceptible a generar un movimiento de masa.

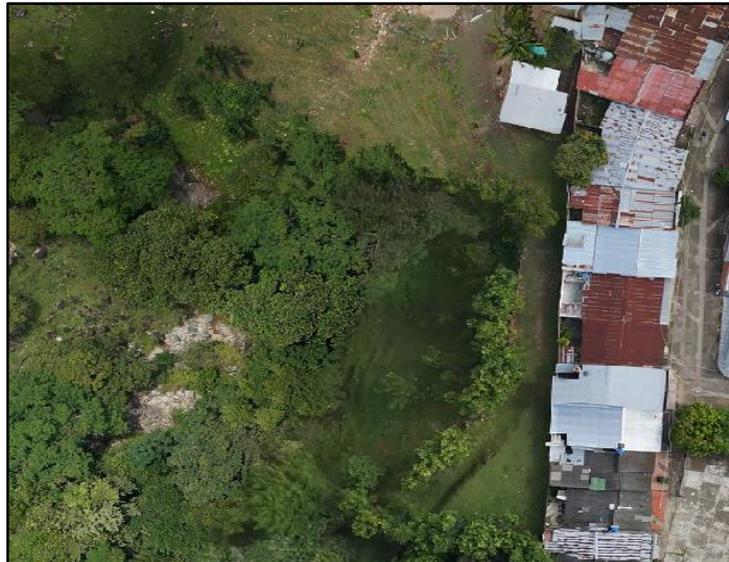


Ilustración 171 Socavación 3 en la quebrada el Pueblo, en el costado izquierdo.  
Fuente: Geocing. SAS.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

- Punto 9:** En las coordenadas N= 794334.7 O= 1167660.5 se presenta un proceso de socavación al margen izquierdo de la quebrada el Pueblo. El cual tiene una altura de aproximadamente 20 metros, amenazando la terraza donde se encuentra el cementerio del municipio tal como se evidencia en la Ilustración 172. Este punto presenta unas características particulares debido a la altura del talud que lo hacen susceptible a generar un movimiento en masa.



Ilustración 172 Socavación en la quebrada el Pueblo, en el costado izquierdo.  
Fuente: Geocing. SAS.

#### 14.2.2 Estudio hidráulico tránsito de crecientes

Para la obtención de la zonificación de la amenaza se emplea el software HEC-RAS versión 5.0.3 desarrollado por el Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos denominado "Water Surface Profiles".

- Descripción General del Modelo Hec – Ras**

El software HEC-RAS calcula los perfiles superficiales del agua para las condiciones de un flujo permanente o no permanente y gradualmente variado en canales naturales o artificiales. Este procedimiento está basado en solucionar la ecuación unidimensional de energía con las pérdidas por fricción evaluadas por medio de la ecuación de Manning; en el presente estudio se consideraron condiciones de flujo permanente y uniforme.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

Este modelo simula la hidráulica del flujo para canales sobre cualquier tipo de sección transversal bajo flujo gradualmente variado, trabajando de acuerdo con la ecuación de Bernoulli:

$$Z_1 + Y_1 + (V_1^2 / 2g) = Z_2 + Y_2 + (V_2^2 / 2g) + h$$

Dónde:

$Z_i$ , nivel del fondo del canal aguas arriba (1) y abajo (2) del tramo, este término se denomina cabeza de posición, en m.

$Y_i$ , lámina de agua aguas arriba (1) y abajo (2) del tramo, este término se denomina cabeza de presión, en m.

$V^2/2g$ , cabeza de velocidad aguas arriba (1) y abajo del tramo (2), en m.

$h$ , pérdidas de energía en el tramo, dividiéndose en pérdidas por fricción ( $h_f$ ) y localizadas ( $h_l$ ), en m.

Las pérdidas por fricción ( $h_f$ ), para flujo gradualmente variado en un tramo de longitud  $L$  del canal se pueden expresar por medio de la ecuación de Manning:

$$h_f = ((S_{e1} + S_{e2})/2)L$$

Dónde:

$S_{e1}$  y  $S_{e2}$  corresponden a los valores de la pendiente de la línea de energía aguas arriba (1) y abajo (2) del tramo.

Estos valores se expresan por medio de la fórmula de Manning para flujo uniforme en cada sección del tramo:

$$S_e = n^2 V^2 / R^{4/3}$$

Dónde:

$N$ , coeficiente de rugosidad de Manning, valor adimensional. \*

$V$ , velocidad promedio del agua, en m/s.

$R$ , radio hidráulico, en m, igual al área hidráulica  $A$ , en  $m^2$ , dividida entre el perímetro mojado  $P$ , en m.

\*El coeficiente de rugosidad de Manning se define de acuerdo con las caracterizaciones de campo, y teniendo en cuenta las recomendaciones de las diferentes referencias bibliográficas.

Por otro lado, las pérdidas localizadas en un punto del canal se expresan mediante la ecuación:

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

$$h_1 = K \left| \left( \frac{V_1^2}{2g} \right) - \left( \frac{V_2^2}{2g} \right) \right|$$

Dónde:

*K, coeficiente de pérdidas localizadas, adimensional.*

*V<sub>i</sub>, velocidad promedio aguas arriba (1) y aguas abajo (2) del punto o tramo en donde se produce la pérdida localizada, en m/s.*

Los parámetros necesarios para desarrollar de manera adecuada el modelo en este software son:

- Conjunto de secciones transversales, las cuales se obtienen mediante levantamientos topográficos, en este levantamiento se establece la correspondiente distancia entre secciones la cual se establece por la sinuosidad del drenaje, tomando secciones cada 50 m o más para zonas tramos rectos y cada 10 o 20 m en curvas con ángulos inferiores a 45°.
- Rugosidad de Manning para las coberturas identificadas en la sección.
- Caudales de los puntos de interés para los periodos de retorno establecidos en la metodología.
- Definición del régimen de flujo en el cual será modelado el drenaje (subcrítico, supercrítico o mixto).

Los correspondientes resultados se pueden observar gráficamente y/o en tablas predefinidas, las cuales muestran entre otros el nivel de agua y la velocidad del flujo. Los resultados gráficos como espacializaciones de niveles de agua y velocidad se pueden emplear en formato GIS para la espacialización de las manchas de inundación.

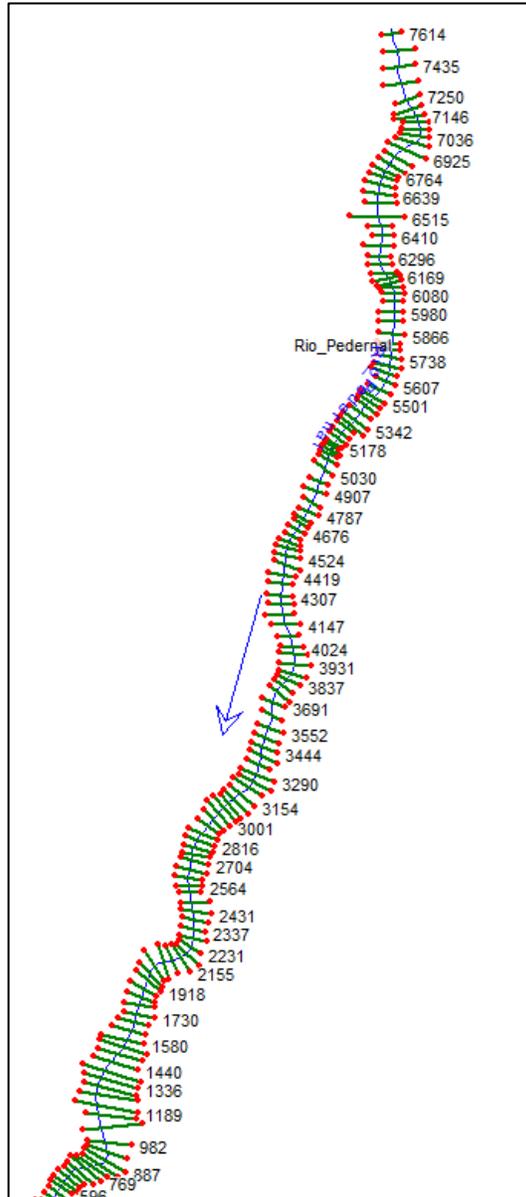
En este, orden de ideas, los parámetros básicos de entrada en el software HEC-RAS para la zona de estudio son la geometría del cauce (secciones transversales de la Ilustración 173 a la Ilustración 175), distancia de separación entre las secciones transversales seleccionadas, las rugosidades y las condiciones de niveles aguas abajo y/o arriba, dependiendo del régimen del flujo, que para este caso fue modelado en flujo Mixto, debido a que el número de Froude en la modelación arrojó resultados de menor, mayor e igual que 1.

#### **14.2.3 Definición de geometría.**

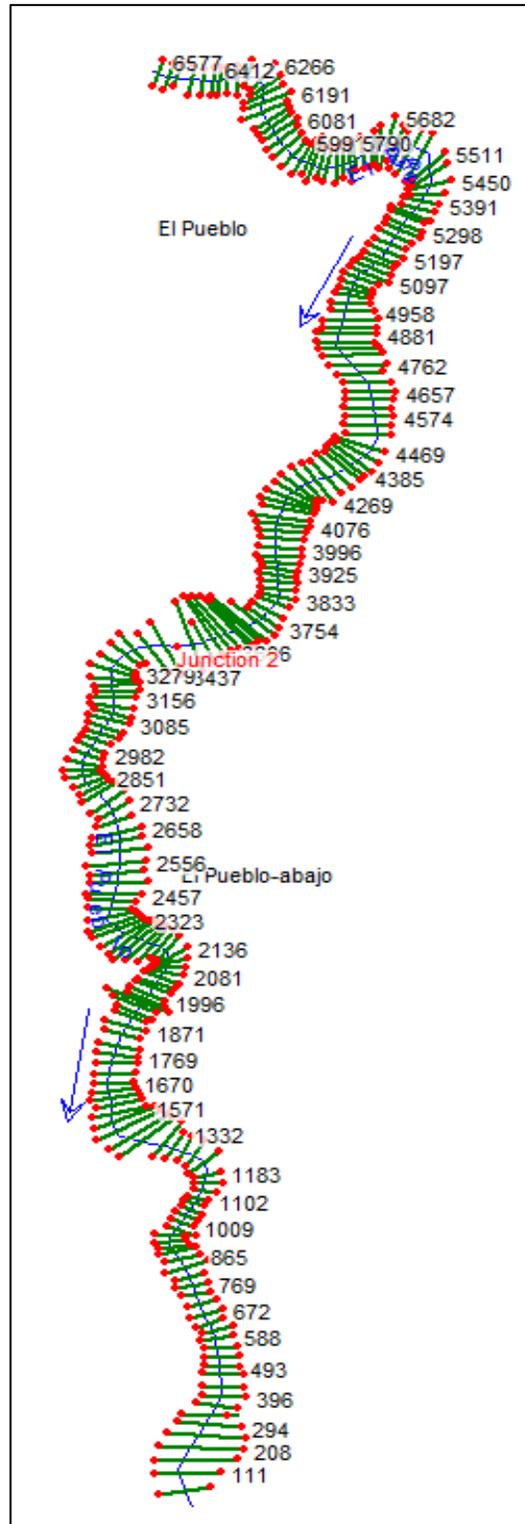
Para hallar los parámetros de dinámica fluvial en los tramos del Río el Pedernal y sus afluentes se utilizó el Software denominado HEC-RAS y el modelo digital de elevación (DEM, por sus siglas en inglés), a partir del cual se obtuvieron la

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

geometría de las secciones de transversales de los drenajes modelados; adicionalmente, se emplean los caudales de crecientes máximas asociadas a diferentes periodos de retorno entre 2.33 y 1000 años. A continuación se presentan las salidas graficas de la ubicación de las secciones Hidrotopográficos de los cauces utilizadas en la Modelación Hidráulica.

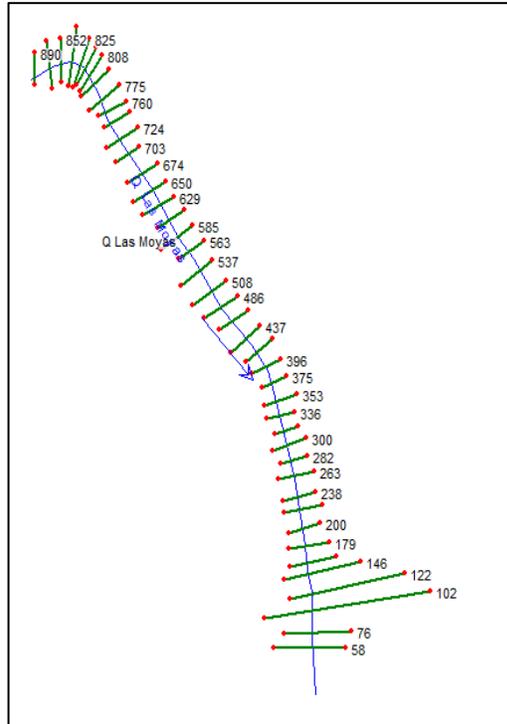


**Ilustración 173** Secciones hidrotopográficos del río Pedernal utilizadas en la modelación hidráulica.  
**Fuente:** Geocing SAS.



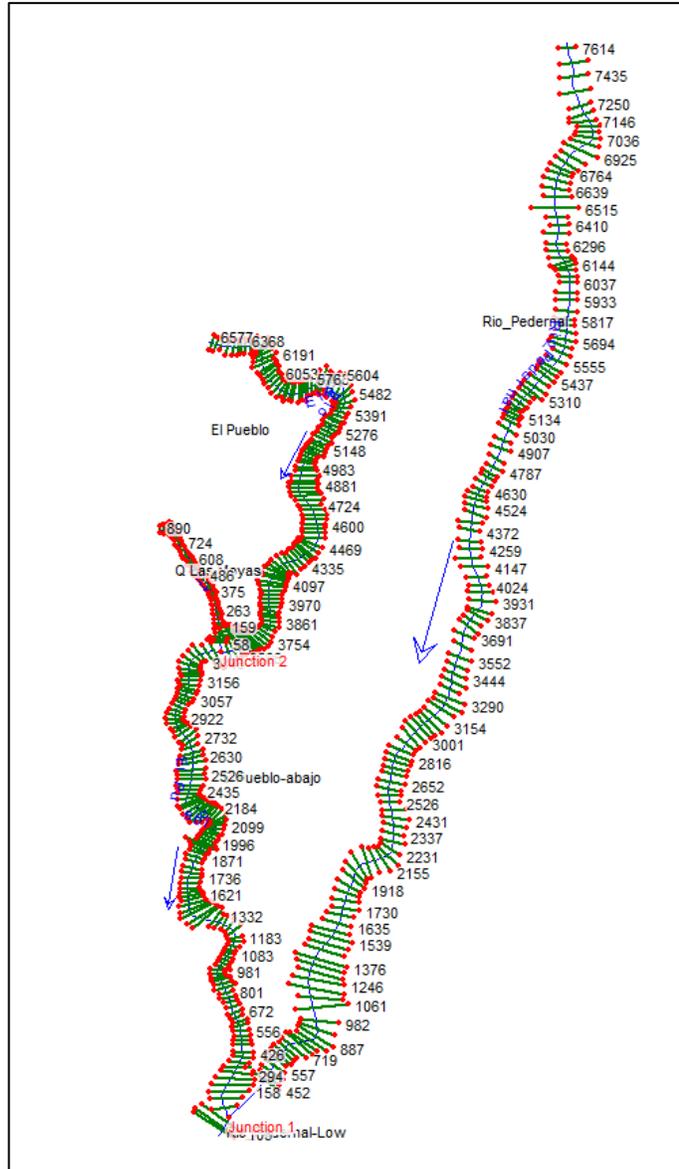
**Ilustración 174 Secciones hidrotopográficos de la quebrada el pueblo utilizadas en la modelación hidráulica.**

**Fuente: Geocing SAS.**

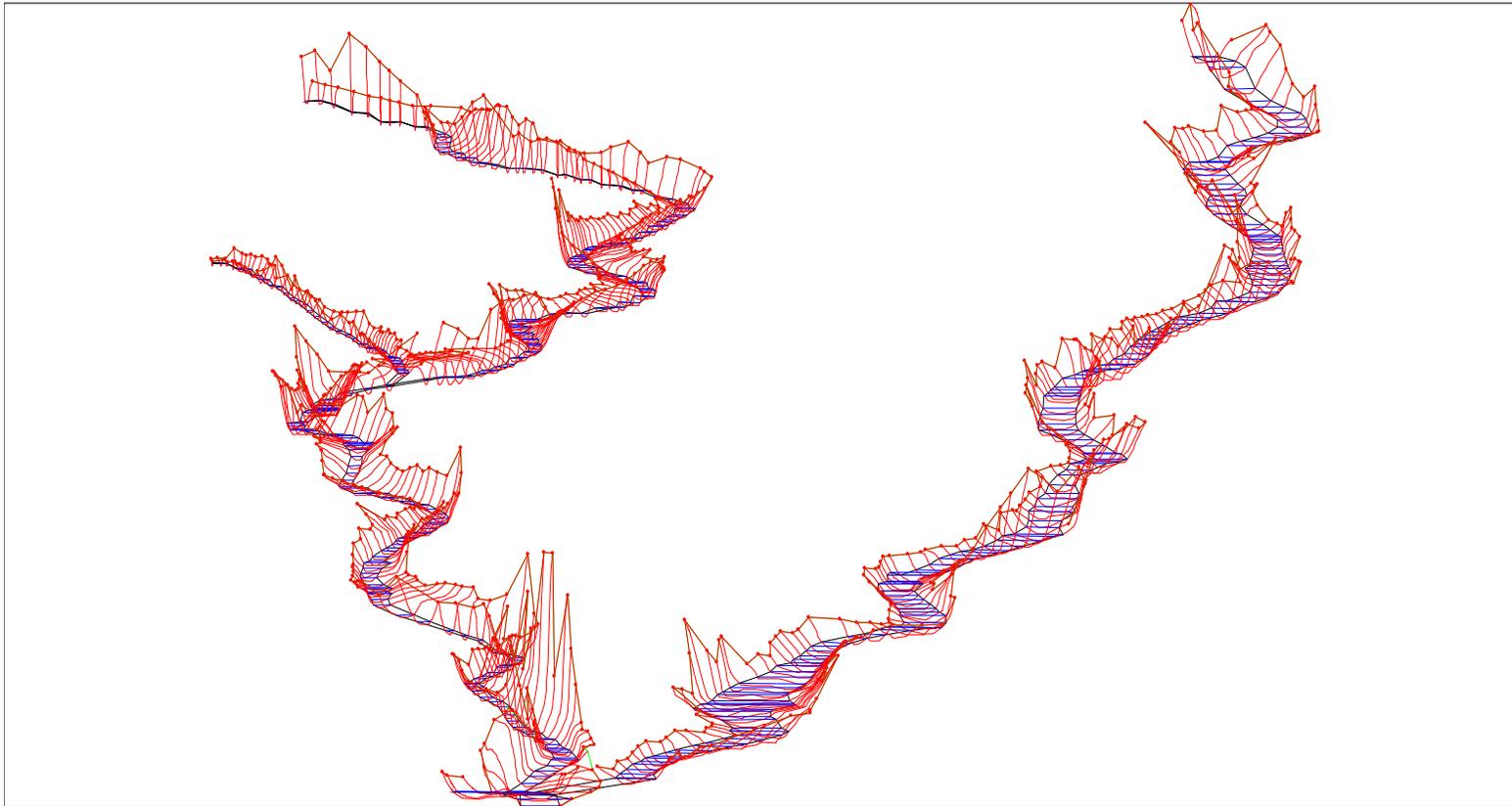


**Ilustración 175 Secciones hidrotopográficos de la quebrada Las Moyas en la modelación hidráulica.**  
**Fuente: Geocing SAS.**

A continuación se muestra la geometría y modelo isométrico del río el Pedernal, y quebradas el Pueblo y las Moyas que se encuentran en dentro del casco urbano del municipio de Teruel como se muestran en la Ilustración 176 a Ilustración 177.



**Ilustración 176 Modelo hidráulico HEC-RAS del Río el Pedernal con sus afluentes.**  
**Fuente: Geocing SAS.**



**Ilustración 177 Modelo 3D Vista isométrica HEC-RAS del Río el Pedernal con sus diferentes afluentes – Quebradas.  
Fuente: Geocing SAS.**

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

#### 14.2.4 Calibración del modelo

Para la calibración del modelo hidráulico referente al material del cauce o rugosidad de Manning, se realizó un análisis regional de las mediciones de las estaciones hidrológicas ubicadas en el área de influencia con el fin de determinar los coeficientes de rugosidad de Manning de los cuerpos de agua. Según la comparación de las mediciones presentadas en las estaciones hidrológicas y los correspondientes cálculos de los coeficientes de Manning, se logra establecer que se presentan valores superiores a los teóricos; lo cual se debe a la presencia de bloques de gran magnitud y la socavación de la zona, caracterizando a los drenajes como hidráulicamente rugosos. Empleando la regionalización para la caracterización de los coeficientes de rugosidad de Manning se estimaron los valores relacionados en la Tabla 80, donde se logra identificar al Río Pedernal, y las quebradas El Pueblo y las Moyas.

**Tabla 80. Estimación del Coeficiente de rugosidad de Manning en el río el Pedernal y sus afluentes, entre el casco urbano y el municipio de Teruel.**

RÍO	RUGOSIDAD DE MANNING MÍNIMA ZONA DE TRANSICIÓN
Pedernal	0,060 hasta 0.075

QUEBRADAS	RUGOSIDAD DE MANNING MÍNIMA ZONA DE TRANSICIÓN
El Pueblo	0.060 hasta 0.085
Las Moyas	0.065 hasta 0.075

Fuente: Geocing SAS.

#### 14.2.5 Caudales para los periodos de retorno.

En la Tabla 81 se presentan los caudales para los periodos de retorno de 2.33, 5, 10, 15, 25, 50, 100, 200, 500 y 1000 años para el río El Pedernal y sus afluentes, los cuales fueron calculados a partir de los parámetros hidrológicos y climatológicos de la zona de estudio, esto según los requerimientos de la CORPORACIÓN AUTÓNOMA REGIONAL DEL ALTO MAGDALENA- CAM.

**Tabla 81. Caudales de las Crecientes Pico esperadas en el Río el Pedernal y sus afluentes, entre el casco urbano y el municipio de Teruel.**

Crecientes	Secciones	Años									
		2.33	5	10	15	25	50	100	200	500	1000
		Caudales (m3/s)									
Río Pedernal	2300	32.5	46.8	59.9	67.8	77.8	91.7	106.0	121.2	142.2	158.6
	Pc2	34.4	49.3	62.5	70.4	80.3	93.9	108.4	123.6	144.6	161.2

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

Crecientes	Secciones	Años									
		2.33	5	10	15	25	50	100	200	500	1000
		Caudales (m3/s)									
	21.662	38.0	53.7	67.6	75.6	85.6	99.5	114.1	129.2	150.1	166.5
Quebrada El Pueblo	2160	4.2	4.8	5.1	5.3	5.5	5.7	6.0	6.2	6.4	6.6
	1140	13.6	16.6	18.7	19.2	21.0	22.4	23.8	25.0	26.6	27.6
Quebrada Las Moyas	300	7.7	8.7	9.3	9.6	10.0	10.4	10.8	11.2	11.7	12.0

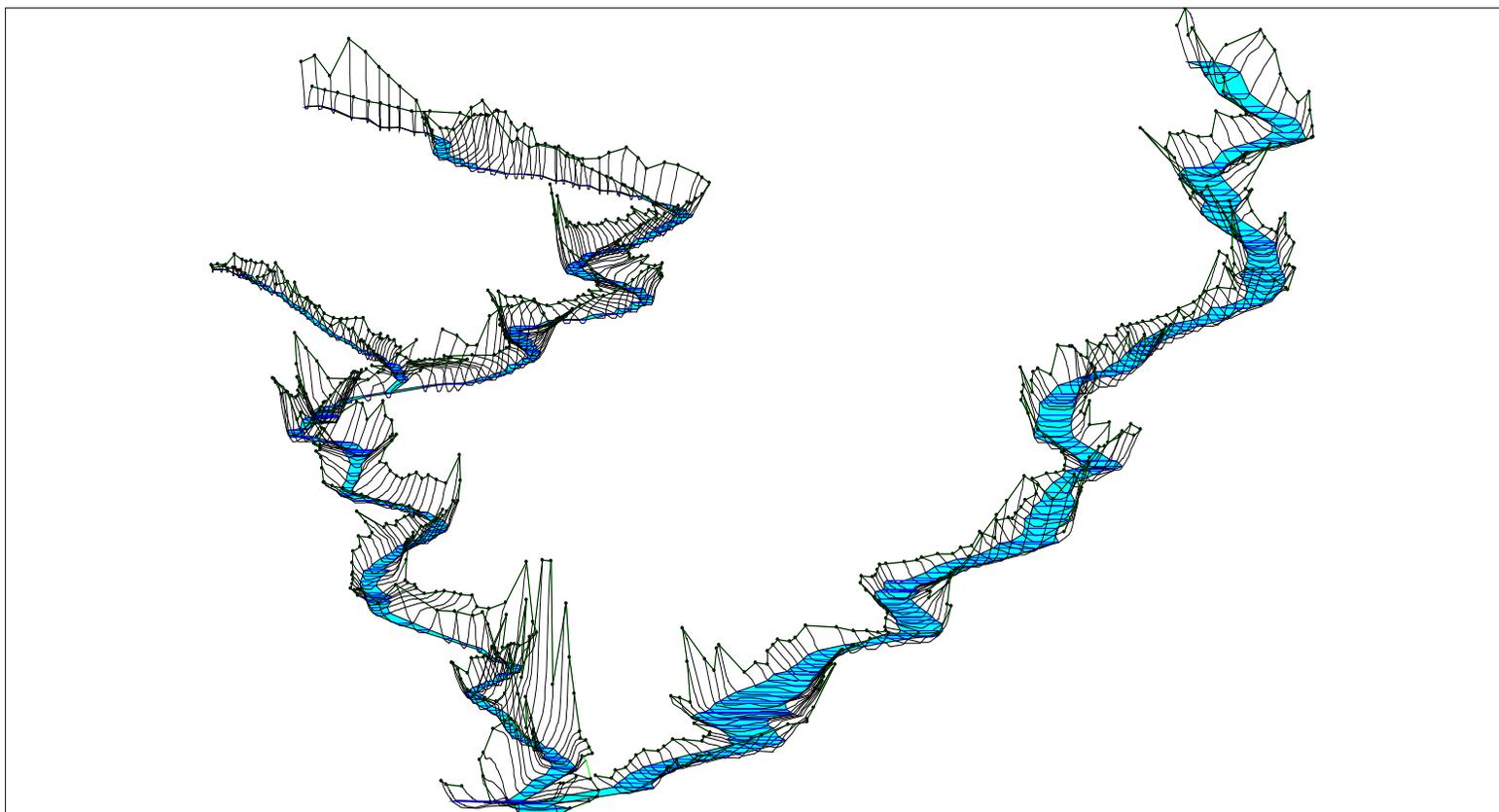
Fuente: Geocing SAS.

Con base en los caudales estimados para las crecientes a modelar, a continuación se hace referencia al período de retorno de 100 años para río el Pedernal y sus afluentes debido a que este periodo de retorno corresponde a la categorización de amenaza alta.

#### **14.2.6 Análisis de Creciente para un período de retorno de 100 años**

Según los resultados para los parámetros establecidos anteriormente se simularon las condiciones correspondientes a un periodo de retorno de 100 años en el río el Pedernal y las quebradas el Pueblo y las Moyas, con los caudales de la Tabla 81 y la geometría ya establecida en el Capítulo 14.2.6, generando el tránsito de estas crecientes presentado en la Ilustración 178.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



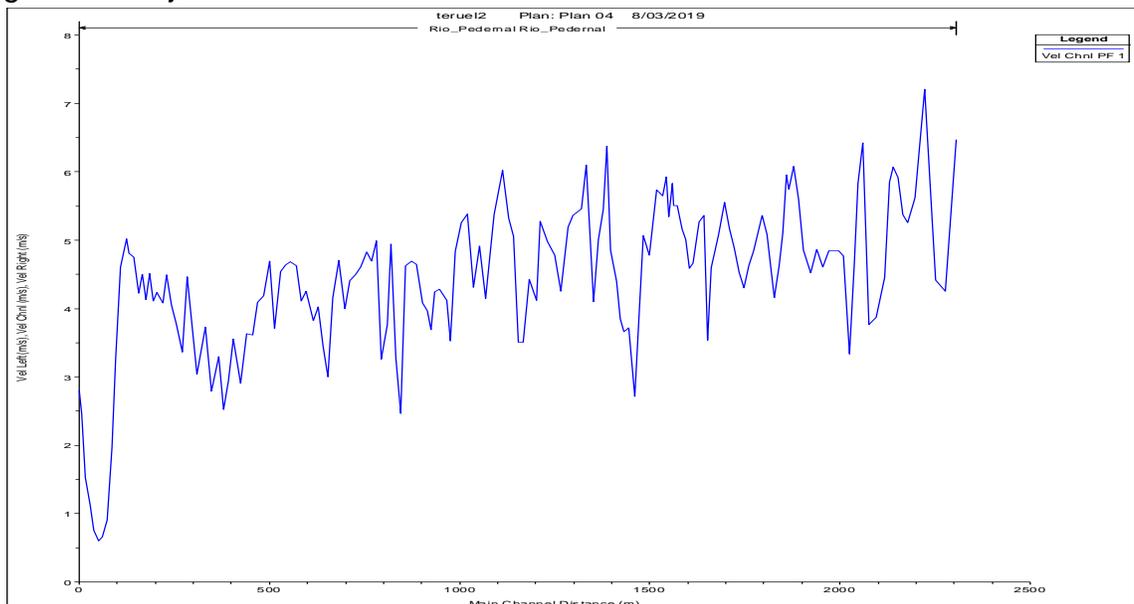
**Ilustración 178. Modelo 3D Vista Isométrica HEC-RAS del Río el Pedernal y sus afluentes.  
Fuente: Geocing SAS.**

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

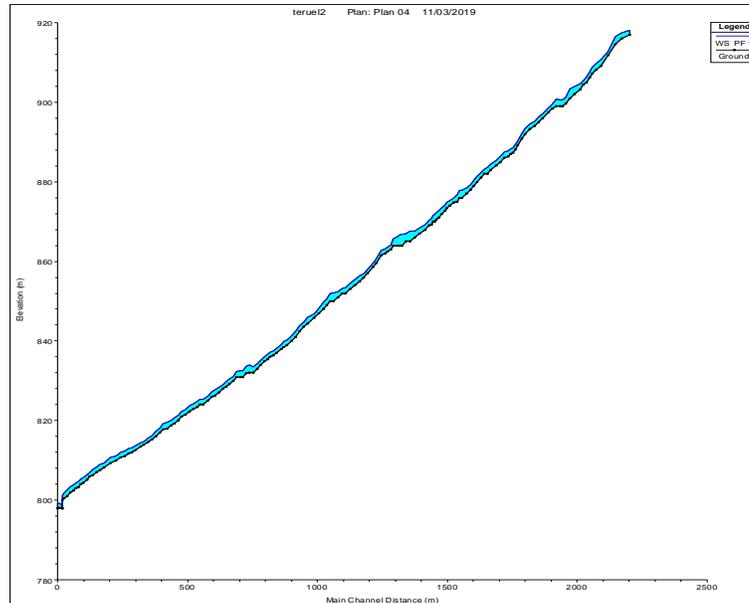
En la Ilustración 178 se presenta la especialización de las láminas de agua alcanzadas por el Río el Pedernal y las quebradas el Pueblo y las Moyas, en el modelo de HEC-RAS, determinando las zonas inundadas por las crecientes para un período de retorno de 100 años; debido a la variación en las pendientes y topografía de los drenajes no se puede establecer una cota única de inundación. A continuación se presenta el análisis puntual para los drenajes modelados:

- Río el Pedernal

Como se observa en la Ilustración 179 se presenta una gran variación en la velocidad de flujo en el tramo modelado encontrando rangos de velocidad entre 2.46 m/s y 7.21 m/s debido a la topografía de la zona, encontrando tramos en los cuales se presenta una reducción del área hidráulica que conlleva al aumento de la velocidad de flujo y expansiones que generan su reducción; en las abscisas K1+005 (RS 3691), K1,227 (RS 4419), K1,281 (RS 4596), K1,955 (RS 6810) y K2+118 (RS 7342) se presentan los picos de velocidades debido a cambios en la topografía los cuales se asocian a una disminución en la altura de lámina de agua en la sección, y un represamiento aguas arriba con una mayor altura de lámina de agua y una menor velocidad. En la abscisa K1+291 se presenta una reducción en el ancho de la sección hidráulica derivada del puente de la Ilustración 181, el cual genera una disminución de la velocidad aguas arriba y un aumento en la altura de la lámina de agua, al igual aguas abajo se presenta un aumento en la velocidad derivado de la salida de esta reducción hidráulica, con una altura de lámina de agua más baja.



**Ilustración 179. Perfil de velocidades del Río el Pedernal Creciente con período de retorno de 100 años. Fuente: Geocing SAS.**



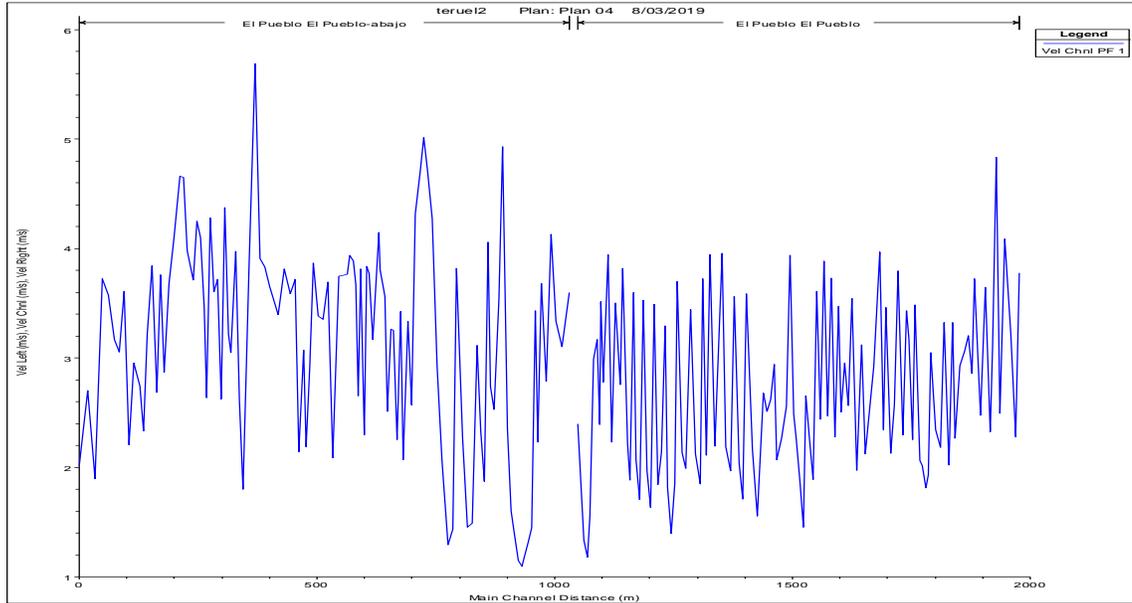
**Ilustración 180. Perfil longitudinal de la lámina de agua de la creciente con período de retorno de 100 años en el Río el Pedernal.**  
Fuente: Geocing SAS.



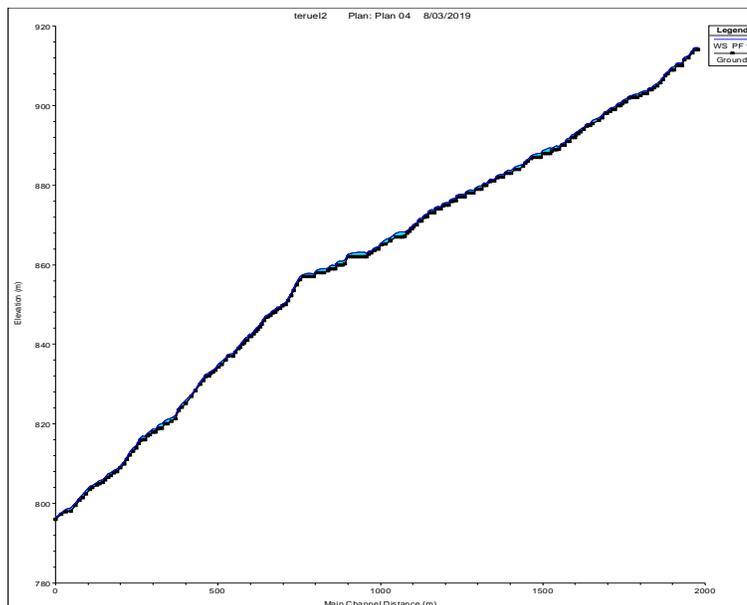
**Ilustración 181 Puente del Río el Pedernal.**  
Fuente: Geocing SAS.

En la Ilustración 181 se observa el puente que cruza sobre el Río el Pedernal tiene aprox. Una luz de 20 m, ancho de 15 m y un galibo de 4.1 m. En los períodos de estudio no se observaron afectación debido a las crecientes.

- Quebrada El Pueblo



**Ilustración 182. Perfil de velocidades de la Quebrada El Pueblo en el área de influencia - Creciente con período de retorno de 100 años.**  
Fuente: Geocing SAS.



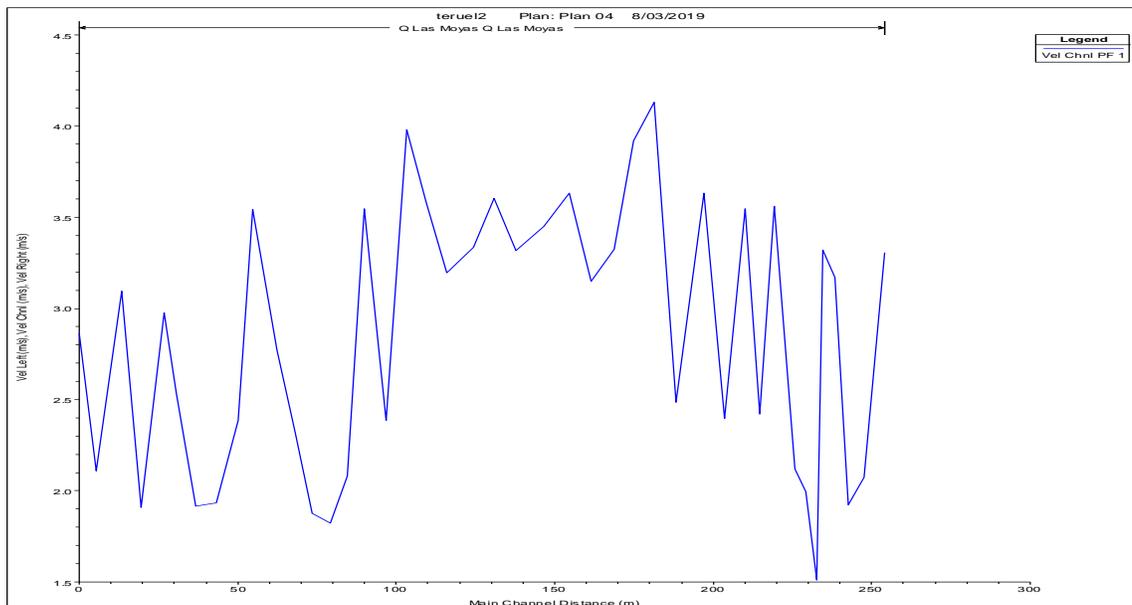
**Ilustración 183. Perfil longitudinal de la lámina de agua de la creciente con período de retorno de 100 años de la Quebrada El Pueblo.**  
Fuente: Geocing SAS.

En la Ilustración 182 se presenta la variación de velocidades para la quebrada El Pueblo, encontrando picos de velocidad en la abscisa K0+210 (RS 743), K0+369 (RS 1264), K0+752 (RS 2435), K0+891 (RS 2982) y K1+928 (RS 6412) con

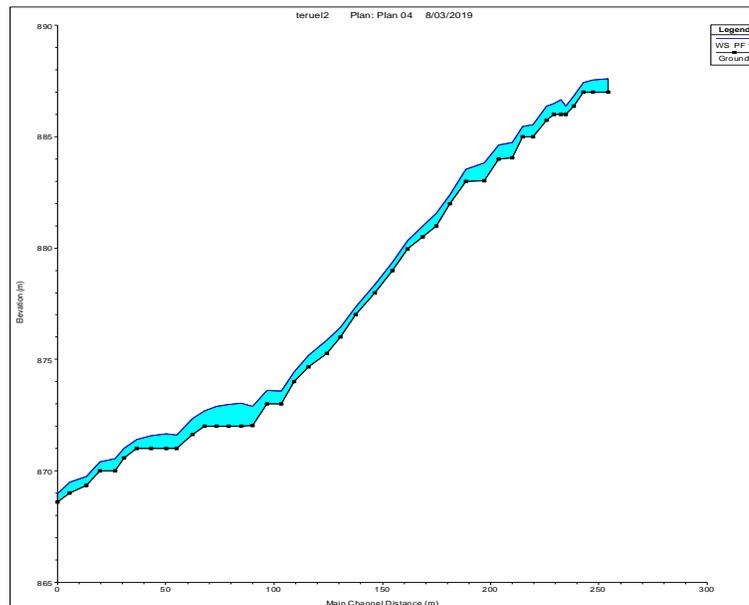
	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

velocidades superiores a los 4,5 m/s, esto debido a que se presentan reducciones en las áreas hidráulicas que generan este cambio en las velocidades y represamientos que generan variaciones en las alturas de lámina de agua, tal como se presenta en la Ilustración 183. Estos represamientos se deben a variaciones en la topografía de la zona donde se identifican taludes de gran altura al costado derecho del drenaje.

- Quebrada Las Moyas



**Ilustración 184. Perfil de velocidades de la Quebrada Las Moyas, en el área de influencia ubicada en el casco urbano del municipio de Teruel - Creciente con período de retorno de 100 años. Fuente: Geocing SAS.**



**Ilustración 185. Perfil longitudinal de la lámina de agua de la creciente con período de retorno de 100 años en la Quebrada Moyas.**  
**Fuente: Geocing SAS.**

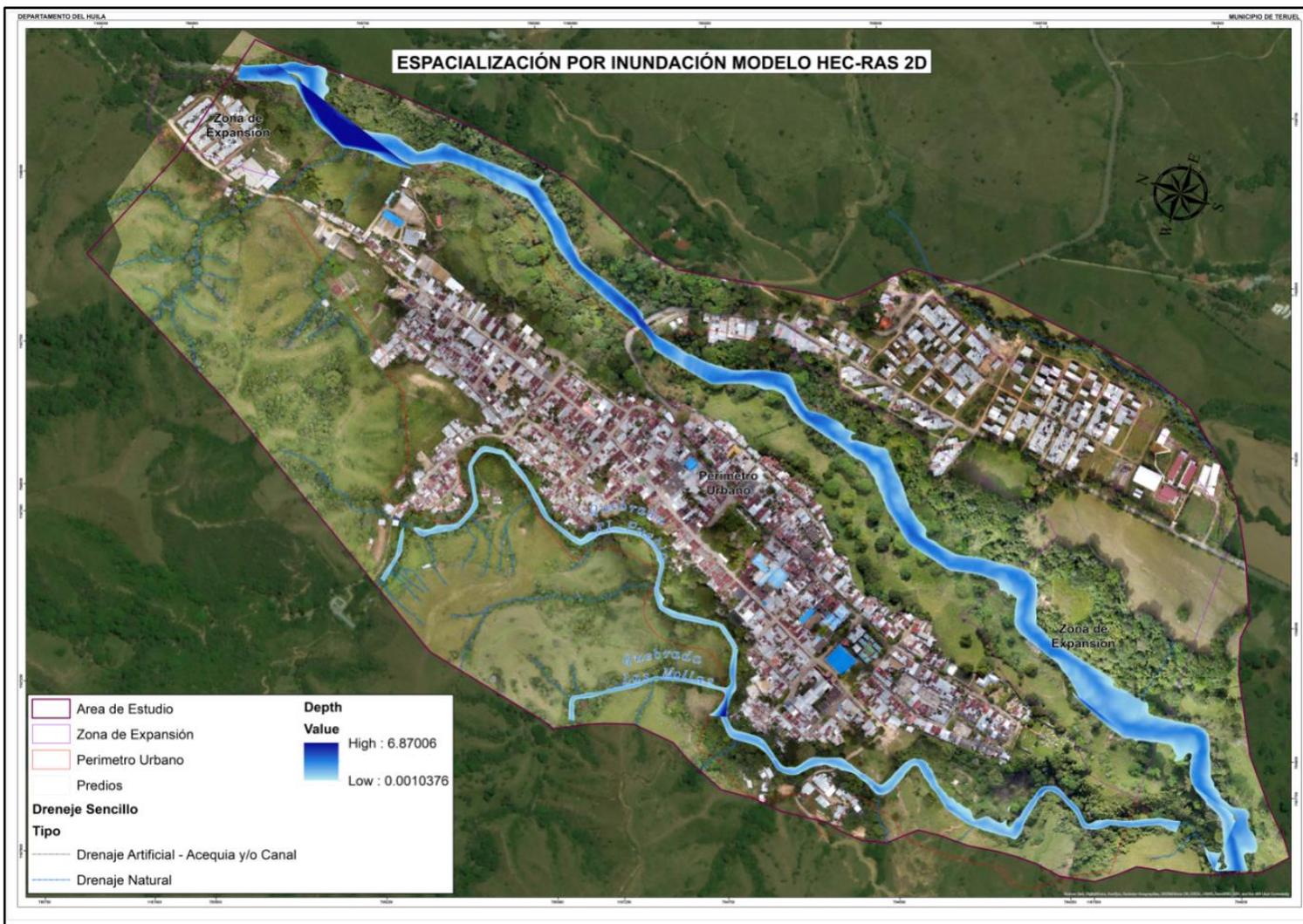
Como se observa en la Ilustración 184 y la Ilustración 185 se presentan variaciones en las velocidades en la abscisa K0+103 (RS 396) y K0+181 (RS 650), con velocidades superiores a los a 4 m/s y variaciones en la altura de lámina de agua que alcanza a un metro. En la Ilustración 186 se observa el resultado del modelo matemático HEC-RAS, espacialización de las quebradas en un periodo de retorno de 100 años.



ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL



**Ilustración 186 Espacialización para un periodo de retorno de 100 años de cada una de las quebradas y el rio Pedernal**  
Fuente: Geocing SAS.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

### 14.2.7 Categorización de la amenaza por inundación

El nivel de amenaza está en función tanto de la intensidad como de la probabilidad de la inundación. La intensidad de la inundación está definida por la profundidad y por la velocidad del flujo. La probabilidad es inversamente proporcional a la magnitud de la inundación. Por eso, los grandes eventos ocurren con menor frecuencia, pero poseen alta intensidad relativa a la profundidad y a la velocidad del flujo, mientras que los eventos pequeños son más frecuentes, pero menos dañinos. El nivel de la amenaza se define, entonces, como una función discreta que combina la intensidad (magnitud del evento) y el período de retorno (frecuencia). Teniendo en cuenta los criterios encontrados en la literatura acerca de los períodos de retorno y su intensidad, se propone categorizar la amenaza por inundación con la Tabla 82.

**Tabla 82. Categorización de Amenaza por evento de Inundación.**

CATEGORÍA		PERÍODO DE RETORNO (años)	DESCRIPCIÓN
<b>I</b>	<b>Bajo</b>	<b>1000</b>	El evento de inundación puede ser concebible pero únicamente bajo circunstancias excepcionales. Los eventos ocurrirían con un período de retorno mayor o igual a 1000 años.
<b>II</b>	<b>Medio</b>	<b>500</b>	La ocurrencia de un evento de inundación durante el de término un tiempo de vida es poco probable, pero es posible que ocurra bajo condiciones adversas. Los eventos ocurrirían con un período de retorno de 500 años.
<b>III</b>	<b>Alto</b>	<b>100</b>	El evento de Inundación puede ser inminente. Los eventos ocurrirían con un período de retorno menor a 100 años.

Fuente: Geocing SAS.

### 14.2.8 Evaluación de la amenaza

De acuerdo con el criterio de evaluación presentado en la categorización de la amenaza, y tomando los datos de velocidad y profundidad de la lámina de agua obtenidos en la modelación hidráulica e integrando las manchas de Inundación para los diferentes períodos de retorno evaluados. En la siguiente ilustración se presenta la gráfica del mapa de amenaza por inundación evaluada en el casco urbano del municipio Teruel. El mapa de Amenaza por Inundación se encuentra en el Anexo 6. MAPAS. GE426-TRL-PSIG-AZI-001-00

En la Ilustración 187 se observan las acequias ubicadas en la carrera 4 hacia la vereda El diamante se clasifican como amenaza media las dos viviendas localizadas en el margen izquierdo aguas abajo.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>

A su vez se encuentra una escorrentía aguas arriba de la quebrada. El Pueblo que tiene afectación de una vivienda localizada al margen izquierdo en dirección del flujo de agua, la cual tiene afectaciones por amenaza media por inundación.

Por último se observa que las acequias y canalizaciones son alimentadas por escorrentías eventualmente en algunas épocas del año; y que tienen un flujo discontinuo. Por lo cual se deben tener en cuenta las estructuras hidráulicas y las viviendas anteriormente mencionadas.

Se debe tener en cuenta que estas acequias y canalizaciones no superan los tamaños de los cauces de 2 m de ancho, y son flujos discontinuos, los cuales son eventos menos usuales que sucedan.

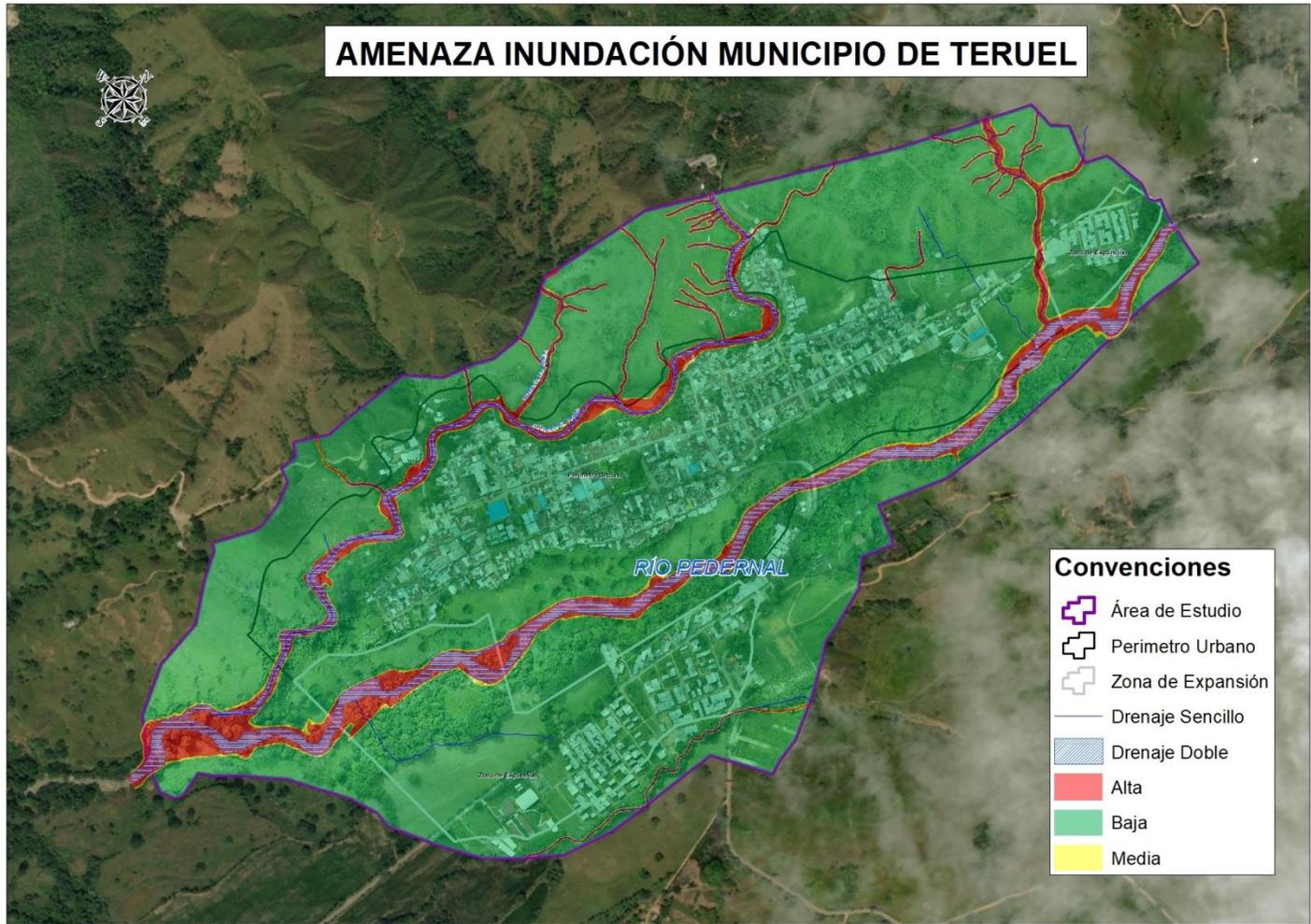
La Tabla 83 presenta la distribución de categorías de amenaza por Inundación, con el 10.69% (16.04 ha) del área de estudio se encuentra en amenaza alta, 2.01% del área equivalente a 3.01 ha se encuentra en amenaza media y el 87.30% (130.95 Ha) presenta amenaza Baja.

**Tabla 83. Distribución de las categorías de Amenaza inundación**

Inundación		
Amenaza	Área_Ha	Área_%
Alta	16.04	10.69%
Media	3.01	2.01%
Baja	130.95	87.30%
Total	150.02	100%

**Fuente: Geocing SAS.**

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



**Ilustración 187. Mapa de Amenaza por inundación evaluada del casco urbano del municipio de Teruel.**  
**Fuente: Geocing SAS**

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

### 14.3 AVENIDA TORRENCIAL

Por el análisis de la evaluación de avenida torrencial para el municipio de Teruel, se evidencia potencial de torrencialidad en el río Pedernal, y las quebradas el Pueblo y Las Moyas, por lo cual se hace un análisis hidrológico e hidráulico para poder determinar los parámetros teóricos requeridos para el modelamiento de las crecientes que correspondan a los periodos de retorno entre 2.33 y 1000 años y así establecer el comportamiento de las manchas según la geometría presentada en el capítulo 14.2.3.

A partir de la revisión de la cobertura del suelo y en consideración con los valores establecidos por Ven Te Chow (1994) se asignaron los diferentes  $n$  de Manning para el casco urbano del municipio de Teruel, los cuales se presentan en la Tabla 84 e Ilustración 188. Se resalta que para las áreas aledañas a los drenajes, se adoptaron valores teóricos de rugosidad de Manning, acorde con las características de la zona.

**Tabla 84. Coeficientes de rugosidad de Manning seleccionados para el río Pedernal y las quebradas El Pueblo y Las Moyas - Teruel.**

RÍO	RUGOSIDAD DE MANNING MÍNIMA ZONA DE TRANSICIÓN
Pedernal	0,060 hasta 0.145

QUEBRADAS	RUGOSIDAD DE MANNING MÍNIMA ZONA DE TRANSICIÓN
El Pueblo	0.055 hasta 0.130
Las Moyas	0.060 hasta 0.095

Fuente: Adaptación de Ven Te Chow (1994).

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

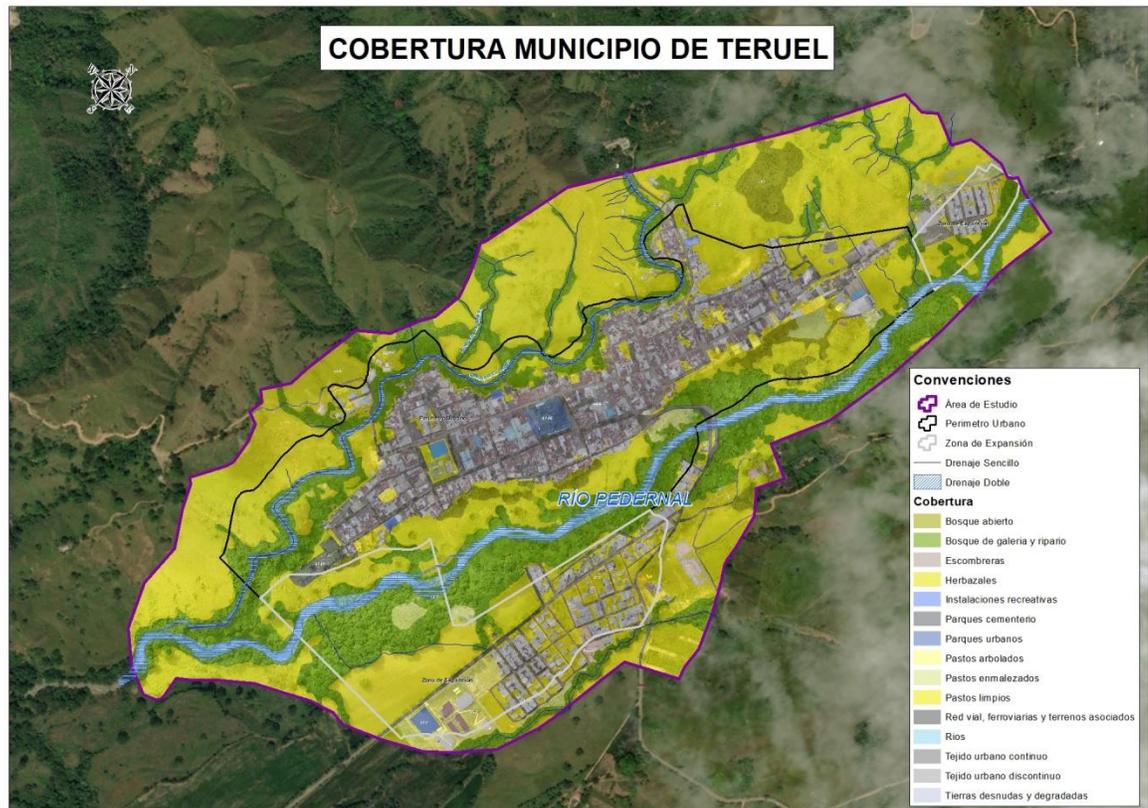


Ilustración 188. Distribución espacial de la cobertura del suelo para el casco urbano del municipio de Teruel.

Fuente: Geocing SAS.

### 14.3.1 Categorización de la amenaza por avenidas torrenciales

A continuación, en la Tabla 85 se presenta la clasificación de la Amenaza de las Avenidas Torrenciales.

Tabla 85. Clasificación de Amenaza por Avenidas Torrenciales.

Amenaza por Avenida Torrencial	Criterio
Alta	Periodos de retorno 100 años, en sectores localizados sobre cauces aluviales actuales y de montaña, esculpidos sobre materiales inconsolidados y que se encuentren afectados por procesos erosivos de la dinámica fluvial, asimismo, cauces afectados o taponados por depósitos recientes productos de movimientos en masa en los taludes del valle aluvial.
Media	Periodos de retorno de 500 años, sobre materiales inconsolidados o altamente meteorizados, que son afectados con bajas recurrencias de procesos erosivos producto de la dinámica fluvial.
Baja	Periodos de retorno de 1000 años, sobre materiales rocosos que son afectados por procesos erosivos fluviales y pluviales, asimismo, sitios que han sufrido de procesos de movimientos en masa de tipo flujo que contribuyen en un evento extraordinario a una avenida torrencial.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

Amenaza por Avenida Torrencial	Criterio
Poco Probable	Periodos de retorno mayores a 1000 años, con una considerable distancia de los drenajes, de la misma forma, estos sectores no se encuentran relacionados a proceso morfodinámicos de la dinámica fluvial.

Fuente: Geocing SAS.

### 14.3.2 Modelación hidráulica del pico de crecientes de la avenida torrencial

Para la modelación hidráulica del pico de crecientes de la avenida torrencial se transitaron 9 tipos, con caudales picos con períodos de retorno 2.33, 5, 10, 15, 25, 50 100, 500 y 1000 años, los cuales fueron incrementados en un 60% adicional, correspondiente al volumen de sedimentos y escombros que podrían llegar a transitar.

Tabla 86. Caudales máximos modelados en el río Pedernal y sus afluentes esperada en una Avenida Torrencial.

CAUDAL (M3/S) - AVT									
River	Tr 2.33	Tr 5	Tr 10	Tr 15	Tr 25	Tr 50	Tr 100	Tr 500	Tr 1000
Q. El Pueblo	6.75	7.60	8.18	8.45	8.78	9.17	9.52	10.22	10.50
Q. El Pueblo	21.71	26.59	29.92	30.72	33.54	35.90	38.06	42.48	44.19
Q. Las Moyas	12.30	13.86	14.88	15.41	15.98	16.70	17.34	18.64	19.14
Río Pedernal	52.00	74.88	95.84	108.48	124.48	146.72	169.60	227.52	253.76
Río Pedernal	60.77	85.89	108.11	120.96	136.94	159.14	182.50	240.19	266.32

Fuente: Geocing SAS.

Con base en los caudales y/o volúmenes estimados para el tránsito de las avenidas torrenciales, se realizaron las respectivas modelaciones hidráulicas del río Pedernal y sus afluentes, donde fue posible espacializar, caracterizar velocidades y alturas de dichas crecientes, tal como se visualiza a continuación.

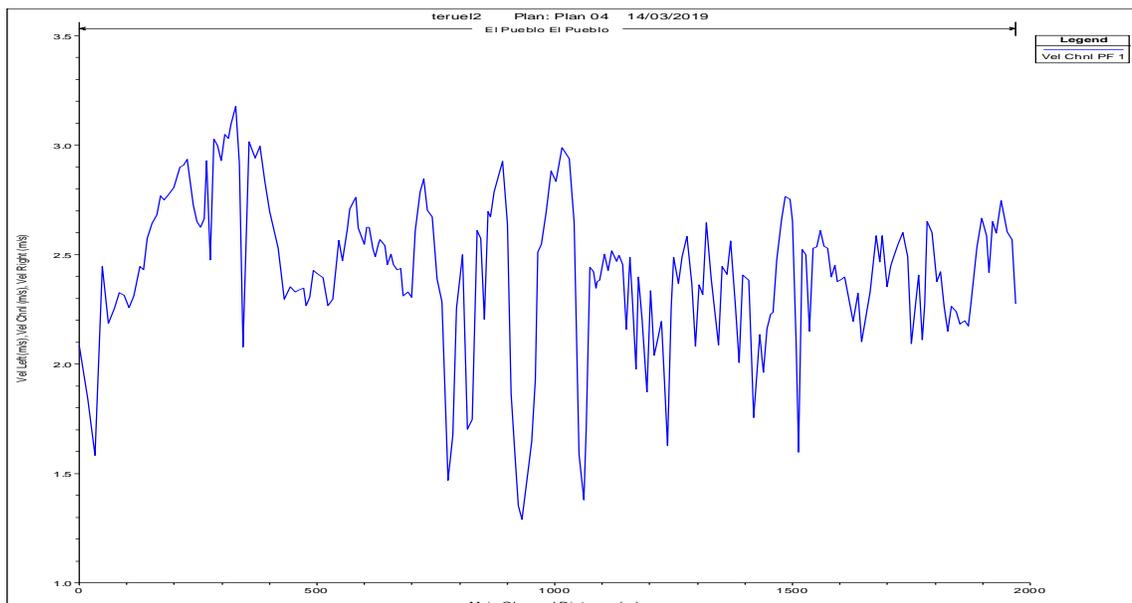
- **Quebrada el Pueblo**

Se realiza la modelación evaluando la avenida torrencial con un periodo de retorno de 100 años utilizando el software HEC RAS; como se muestra en la siguiente Ilustración 189, estableciendo los puntos de interés con las siguientes condiciones:



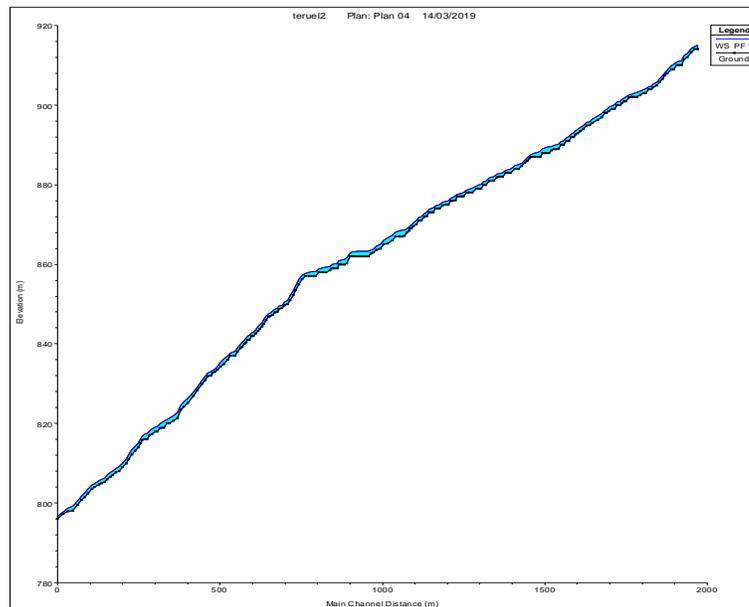
**Ilustración 189. Espacialización de la quebrada el pueblo.  
Fuente: Geocing SAS.**

1. Para el punto de interés 1 presentado en la Ilustración 189, se identifica una afectación a los predios ubicados en la zona debido a las alturas de lámina de agua alcanzadas que al costado derecho de la quebrada supera el talud alcanzando alturas de lámina de agua de 0,30 m sobre la cresta del mismo.
2. Para el punto de interés 2 identificado en la Ilustración 189 se presenta rebose lateral afectando tres predios ubicados en las abscisas K0+755 (RS 2599) y K0+993 (RS 3315), esto debido a la reducción en la altura los de taludes marginales en estos puntos y a que se ubican a una distancia menor a dos metros del margen del drenaje.



	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

**Ilustración 190. Perfil de velocidades de la Quebrada el Pueblo con período de retorno de 100 años.**  
**Fuente: Geocing SAS.**



**Ilustración 191. Perfil longitudinal de la lámina de agua de la creciente en un periodo de retorno de 100 años en la Quebrada el Pueblo.**  
**Fuente: Geocing SAS.**

En la Ilustración 190 se observa que el rango de velocidad varía entre 1.2 y 3.2 m/s, estableciendo que las mayores velocidades se ubican en las curvas y la reducción del área hidráulica del cauce; tal como se presenta en la Ilustración 190 en la abscisa K0+930 (RS 3107) se presenta la menor velocidad de la quebrada debido a la reducción en la pendiente y que es una zona en la que el drenaje tiene poca sinuosidad.

Como se puede observar en la Ilustración 191 se presenta una variación en la altura media de la lámina de agua en el centro del vaso del drenaje respecto al perfil longitudinal de la quebrada, estableciendo que la altura media no presenta variaciones significativas, a diferencia de todas las alturas alcanzadas a través de flujo que pasa entre 0.1 m y 4.4 m debido a que se encuentran zonas en las cuales la altura de lámina de agua es baja ya que es sobre las laderas y la zona que alcanza a ser inundada es baja mientras que para la altura máxima se presenta en zonas donde hay una reducción en el ancho de la sección hidráulica y se encuentra encañonado el drenaje. Como se evidencia en la Ilustración 192, que durante el evento de avenida torrencial, hay un aumento significativo en la ronda hídrica, en el cual se verán afectadas las viviendas que están a lo largo de la rivera de la quebrada el Pueblo.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>

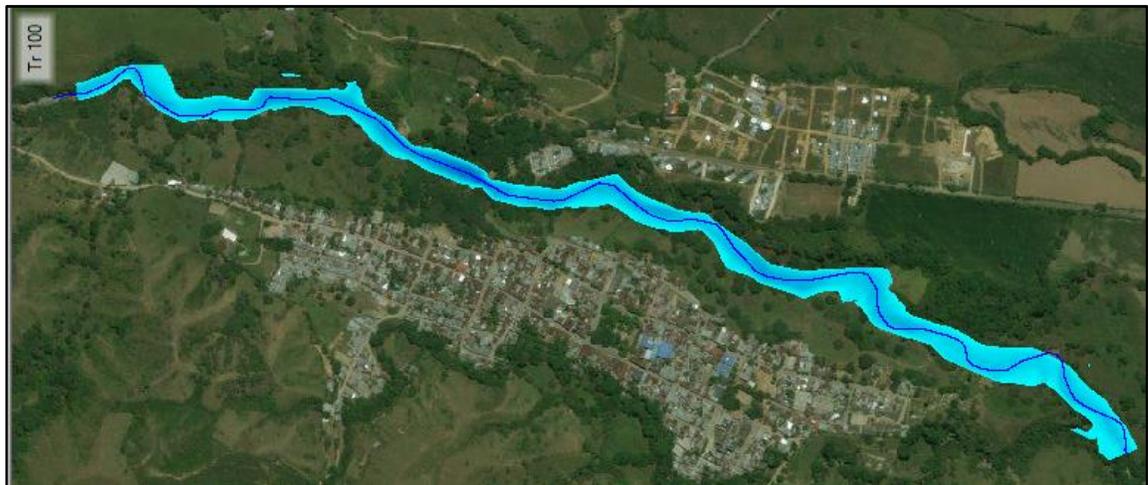


**Ilustración 192. Determinación de zonas de afectación por av. torrencial en la quebrada el Pueblo.**  
Fuente: Geocing SAS.

Se determina que se debe hacer una intervención y reubicación de las casas que estén en la riera de la quebrada, ya que se encuentran en zona del evento de avenida torrencial.

- **Río Pedernal**

Se realiza la modelación evaluando la avenida torrencial con un periodo de retorno de 100 años utilizando el software HEC RAS obteniendo la mancha presentada en la Ilustración 193.



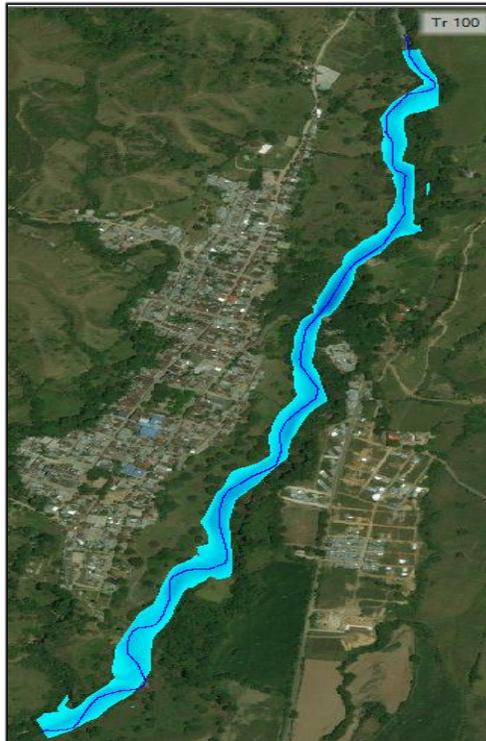
**Ilustración 193. Espacialización del río Pedernal ubicada entre el municipio de Teruel y el casco urbano.**

Fuente: Geocing SAS.

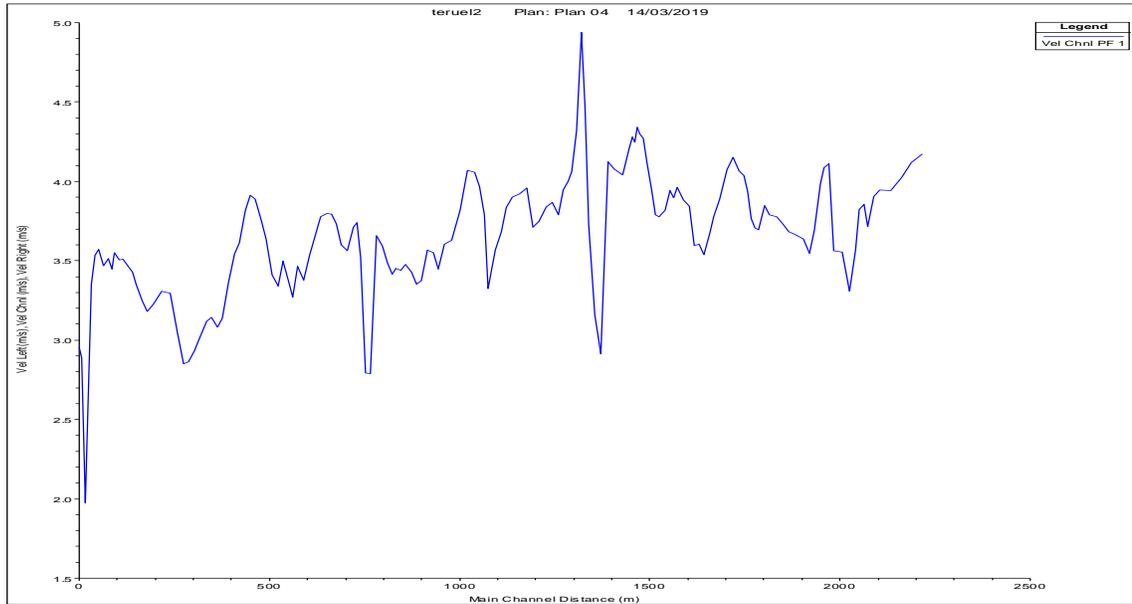
Según la modelación del río Pedernal es el drenaje con mayor caudal en un periodo de retorno de 100 años, estableciendo que únicamente se genera afectación a un puente que comunica al municipio de Teruel con Palermo, los

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>

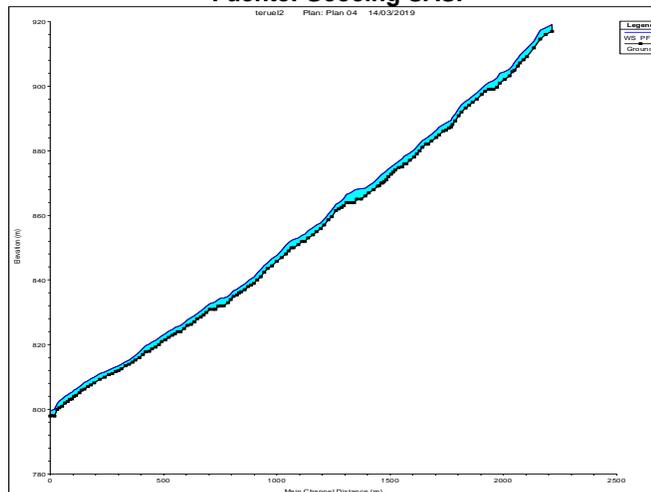
elementos expuestos evaluados (Predios, vías y puentes) no presentan ningún tipo de afectación tal como se presenta en la Ilustración 193, esto debido a la ubicación de los mismos respecto a la creciente; a pesar de esto se establece que se presenta rebose lateral en zonas del río con distancias que no superan los 10 m respecto a la ribera del río.



**Ilustración 194. Determinación de zonas de afectación por av. torrencial en el río el Pedernal**  
**Fuente: Geocing SAS.**



**Ilustración 195. Perfil de velocidades del río Pedernal, con un período de retorno de 100 años.**  
**Fuente: Geocing SAS.**



**Ilustración 196. Perfil longitudinal de la lámina de agua de la creciete con un periodo de retorno de 100 años en el río Pedernal.**  
**Fuente: Geocing SAS.**

En la Ilustración 195 se observa que la velocidad se encuentra entre el rango de 2 a 5 m/s encontrando el pico máximo de velocidad en la abscisa K1+319 (RS 4676) debido a la reducción hidráulica que representa el puente vehicular ubicado sobre el río Pedernal, generando mayores velocidades en los estribos, y aguas arriba generando un represamiento que se logra identificar en la Ilustración 196, el cual genera menores velocidades y mayores alturas de lámina de agua. Como resultado de la modelación en el modelo matemático HEC-RAS, se presenta en la

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

Ilustración 197 la espacialización de las quebradas y el río Pedernal de una avenida torrencial en un periodo de retorno de 100 años. Este se encuentra en el Anexo 6. MAPAS. GE426-TRL-PSIG-AAT-001-00. La Tabla 87 presenta la distribución de categorías de amenaza por Avenida Torrencial, evidenciando que, solo el 9.88% (14.828 ha) del área de estudio se encuentra en amenaza alta.

**Tabla 87. Áreas y Porcentajes de cada nivel de amenaza por Avenida Torrencial.**

AMENAZA TOTAL POR AVENIDA TORRENCIAL	ÁREA (Ha)	ÁREA (%)
<b>Alta</b>	14,828	9,88
<b>Media</b>	1,163	0,78
<b>Baja</b>	134,022	89,34
<b>Total</b>	150,012	100,00

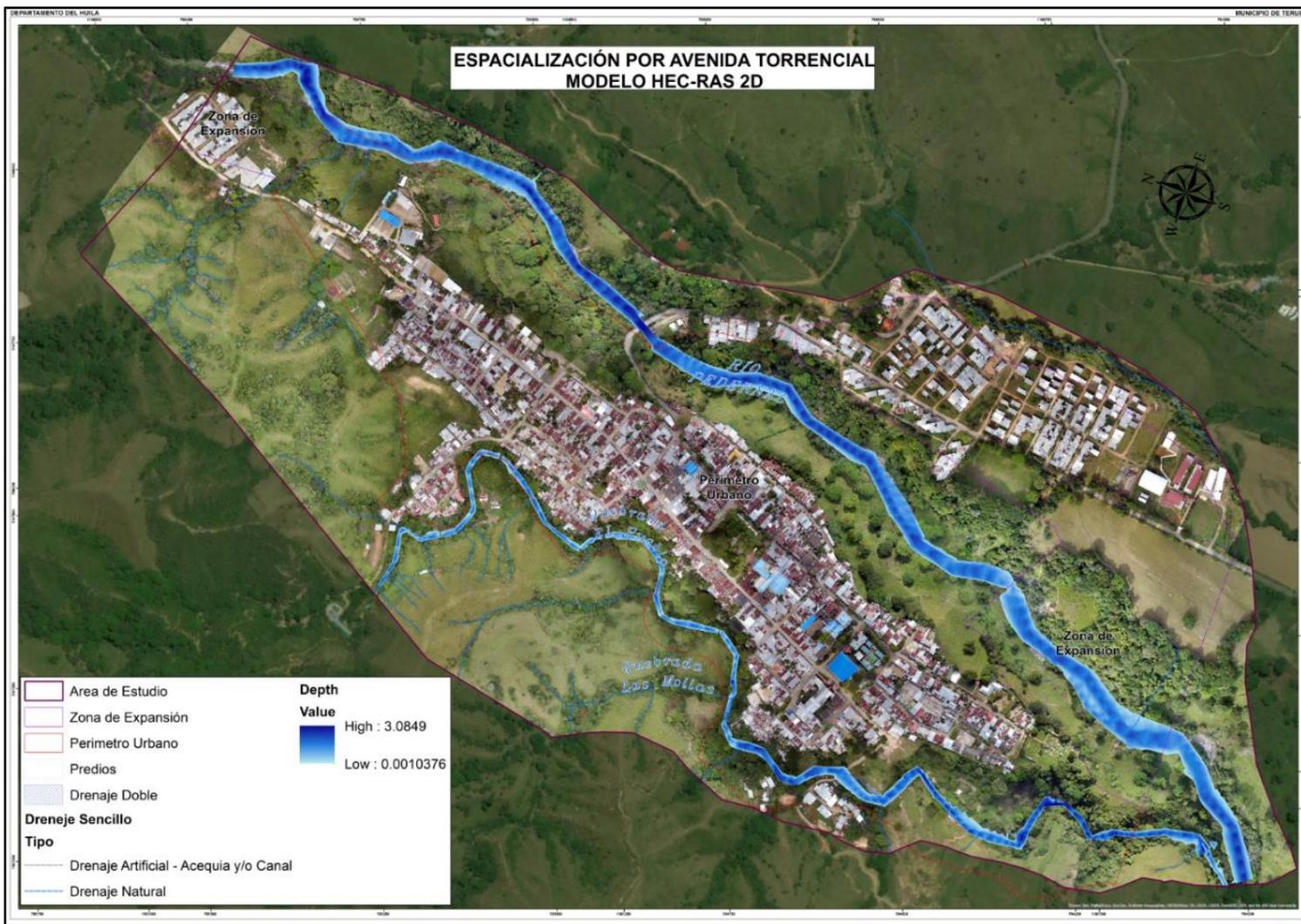
Fuente: Geocing SAS.



ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.

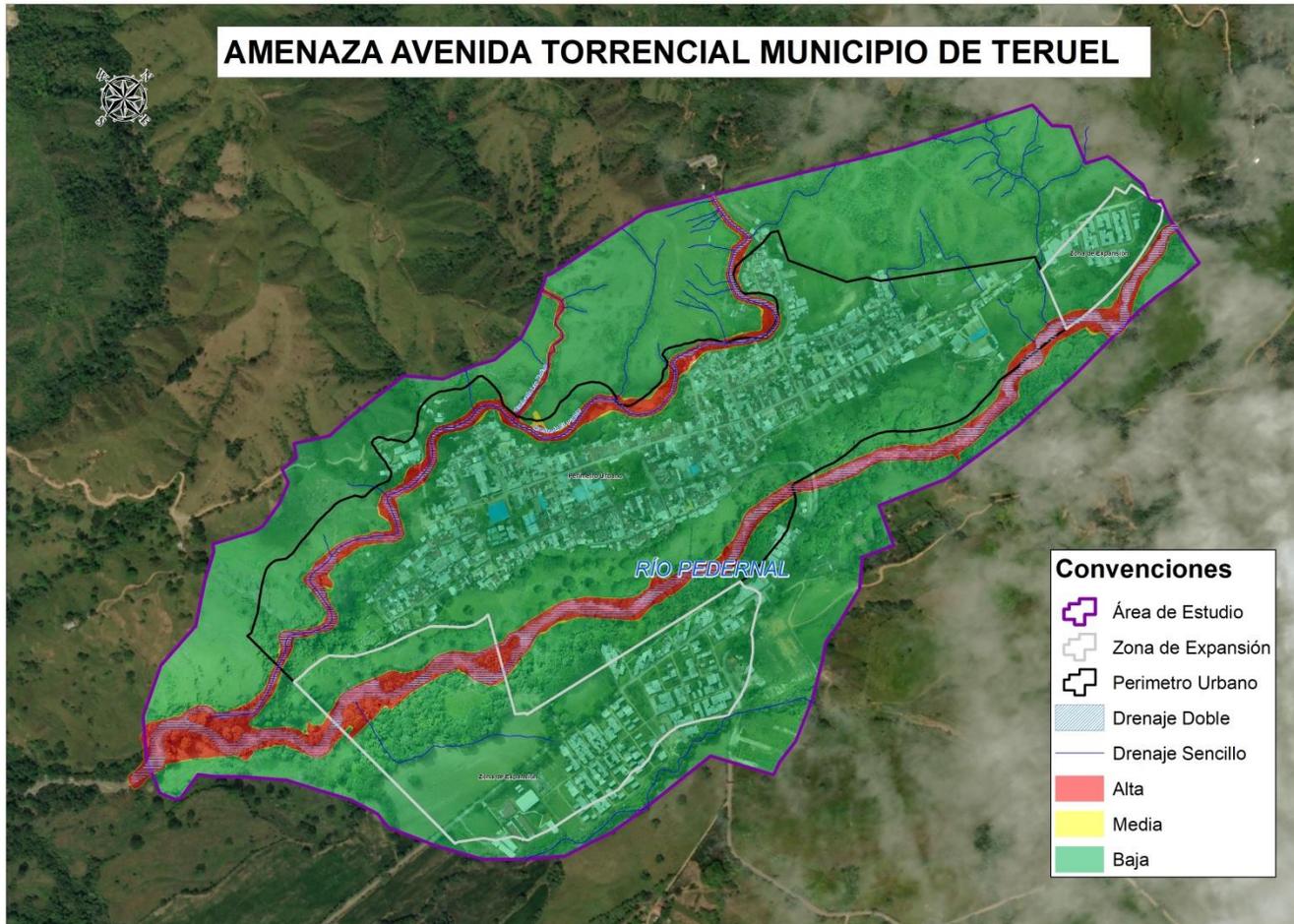


INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL



**Ilustración 197** Especialización para un periodo de retorno de 100 años de cada una de las quebradas y el rio Pedernal  
Fuente: Geocing SAS.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

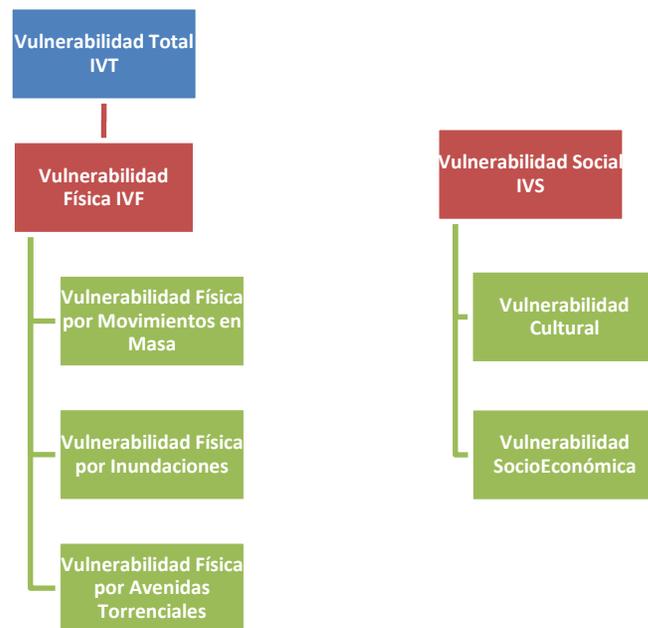


**Ilustración 198. Mapa de Amenaza por Avenida Torrencial evaluada del casco urbano del municipio de Teruel.**  
**Fuente: Geocing SAS**

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

## 15 VULNERABILIDAD

En este capítulo se presenta el esquema metodológico bajo el cual se realizó el presente componente y los análisis de vulnerabilidad del área de estudio, teniendo como elementos expuestos predominantes las edificaciones y la infraestructura vial. Este análisis se compone por la vulnerabilidad social y la vulnerabilidad física por movimientos en masa, inundaciones y avenidas torrenciales.



La vulnerabilidad social dentro de este componente actúa como un amplificador de la vulnerabilidad física y se cuantifica de tal manera en que se tome en cuenta la importancia de los temas sociales en los análisis. Puesto que trabaja como un factor amplificador, la vulnerabilidad social puede tener una importancia que varía en el rango de 0 a 0.8. La vulnerabilidad social se encuentra compuesta por la vulnerabilidad cultural y socioeconómica.

### 15.1 METODOLOGÍA APLICADA PARA LA VULNERABILIDAD FÍSICA Y SOCIAL

#### 15.1.1 Metodología AHP

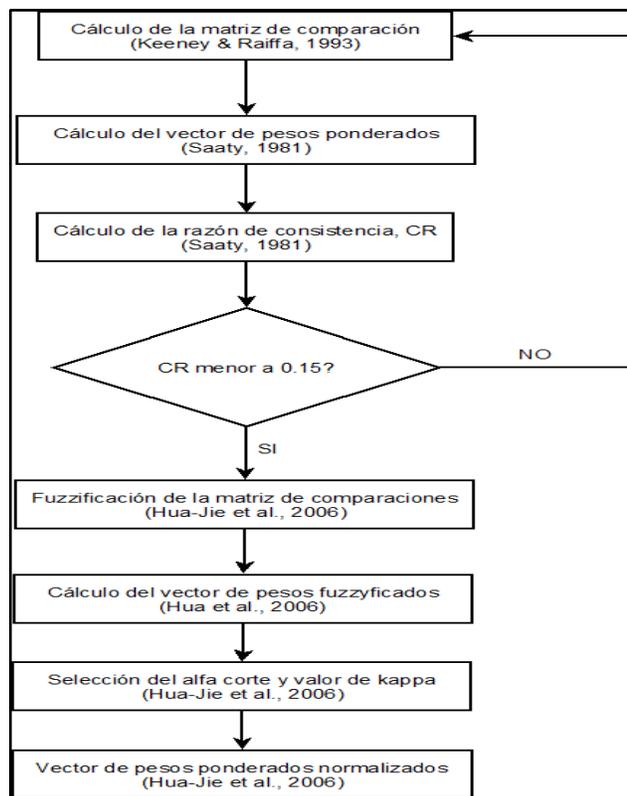
Se propone calificar las variables de vulnerabilidad física y social empleando el método de estimación por el Análisis de Procesos Jerárquicos (AHP por sus siglas en inglés), que consiste en utilizar el juicio de expertos, para ayuda en la toma de decisiones debido a que se basa en múltiples criterios de decisión; este método

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

fue desarrollado por el matemático Thomas Saaty y consiste en formalizar la comprensión intuitiva de problemas complejos mediante la construcción de un Modelo Jerárquico. El propósito del método es permitir que el agente decisor pueda estructurar un problema multicriterio en forma visual, mediante la construcción de un Modelo Jerárquico que básicamente contiene tres niveles: meta u objetivo, criterios y alternativas.

Una vez construido el Modelo Jerárquico, se realizan comparaciones por pares entredichos elementos (criterios y alternativas) y se atribuyen valores numéricos a las preferencias señaladas por las personas, entregando una síntesis de las mismas mediante la agregación de esos juicios parciales. El fundamento del proceso de Saaty descansa en el hecho que permite dar valores numéricos a los juicios dados por las personas, logrando medir cómo contribuye cada elemento de la jerarquía al nivel inmediatamente superior del cual se desprende. A continuación se presenta la descripción de los procesos AHP.

Para determinar los pesos ponderados entre “n” variables ( $n \geq 2$ ), que influyen relativamente en la obtención o calificación de un objetivo o meta, para lo cual se debe llevar a cabo el proceso presentado en la Ilustración 199



	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

**Ilustración 199. Diagrama de flujo del proceso propuesto para la evaluación de los pesos ponderados normalizados utilizando metodología AHP-difuzza**

### 15.1.1 Obtención de los pesos ponderados

- **Matriz de comparación**

El primer paso para obtener los pesos ponderados es determinar la matriz de comparación, de orden  $n \times n$ :

$$\{A\} = \begin{pmatrix} a_{11} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ a_{n1} & \dots & a_{nn} \end{pmatrix}$$

Dónde: 
$$a_{ij} = \frac{1}{a_{ji}} \frac{n(n-1)}{2}$$

La comparación se hace por pares, obteniendo comparaciones, siguiendo los siguientes criterios de calificación:

**Tabla 88. Escala numérica para comparación entre pares**

1	3	5	7	9
Los elementos C y R tienen la misma importancia	El elemento C es ligeramente más importante que el elemento R.	El elemento C es más importante que el elemento R.	El elemento C es fuertemente más importante que el elemento R.	El elemento C es muy fuertemente más importante que el elemento R.

Los valores pares (2, 4, 6 y 8) son intermedios entre las calificaciones presentadas anteriormente. El valor es el inverso en el caso que la relación sea inversa.

- **Cálculo del vector de pesos**

Se calcula el vector de pesos, el cual puede ser obtenido como promedio aritmético o geométrico, según las siguientes ecuaciones (Saaty, 1981), respectivamente:

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

$$\{w_i\} = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n \frac{a_{ij}}{\sum_{k=1}^n a_{ik}} \right\} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

(a) Promedio aritmético

$$\{w_i\} = \left\{ \frac{\sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}}}{\sum_{k=1}^n \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{kj}}} \right\} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

(b) Promedio geométrico

### • Cálculo de la razón de consistencia

Se estima la consistencia o coherencia de la evaluación llevada a cabo en la estimación de los coeficientes de la matriz de comparaciones, mediante la adaptación de la razón de consistencia (RC) propuesta por Saaty (1981), según la siguiente expresión:

$$RC = \frac{IC}{IA}$$

Donde, **IC** es el “Índice de Consistencia” de la evaluación, definido como (Ormazábal, 2002):

$$IC = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1}$$

$$\lambda_{\max} = \sum_{j=1}^n \left( \sum_{i=1}^n a_{ij} \right) \cdot w_i$$

O, alternativamente como (López & Donado, 2007):

$$IC = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j>i}^n \left( Ln a_{ij} - Ln \frac{v_i}{v_j} \right)^2}{2(n-2)(n-2)}, \quad v_{r=i \text{ ó } j} = \sqrt[n]{\prod_{k=1}^n a_{rk}}$$

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

De otra parte, el término **IA** es el “Índice de Aleatoriedad”, cuyos valores son los presentados en la Tabla 89.

**Tabla 89. Índices de aleatoriedad (IA) de las matrices de comparaciones por pares, según su orden (Ormazábal, 2002).**

Tamaño de la matriz (n)	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Índice de Aleatoriedad, IA	0,01	0,58	0,90	1,12	1,24	1,32	1,41	1,45	1,49

Fuente: Geocing SAS.

El coeficiente RC expresa un valor relativo de la inconsistencia, de manera que si su valor es 1 indica que su inconsistencia es del 100%, y si es 0, el juicio emitido es totalmente coherente. Teniendo en cuenta lo recomendado por Saaty (1981), se acepta una tolerancia del RC del 10% (o un valor de RC de 0.1) para calificar de buena una ponderación, siendo aceptables resultados hasta del 15%. Si el resultado no es suficientemente coherente (RC>15%) deberá volverse a realizar la valoración por pares, repitiéndose de forma iterativa hasta que el RC sea menor a 0.15.

### 15.1.2 Fuzzificación de la matriz de comparaciones

Para tener en cuenta la variabilidad en la de la valoración de la matriz de comparaciones, se utilizará un número borroso de tipo triangular (Morillas, 2002; Tae-Heon & Woo-Bae, 1999; Zadeh, 1978), que se puede describir con la siguiente función de pertenencia:

$$\mu_A(x) = \begin{cases} \frac{(x-l)}{(m-l)}, & l \leq x \leq m \\ \frac{(u-x)}{(u-m)}, & m \leq x \leq u \\ 0, & x < l, x > u \end{cases}$$

Para los valores AHP, se seleccionaron los siguientes números difusos triangulares (adaptados de Morilla, 2002), según la relación sea directa (Ilustración 200) o inversa (Ilustración 201), y cuyos valores se presentan en la Tabla 90.

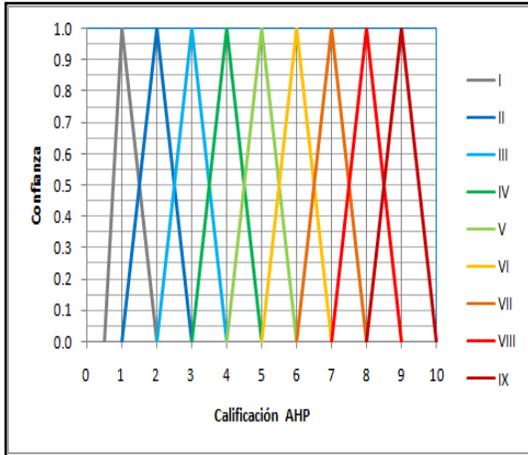


Ilustración 200. Calificación difusa de los criterios de calificación AHP (relación directa).

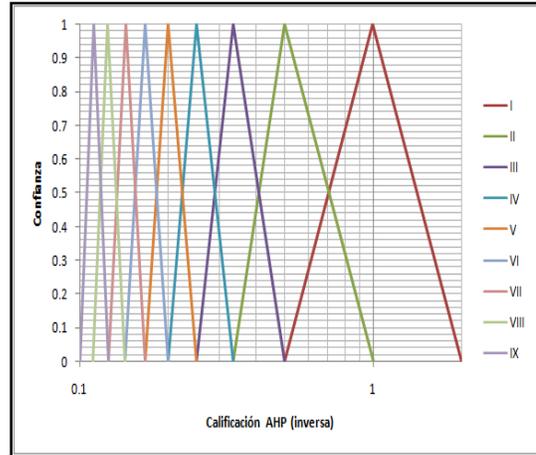


Ilustración 201 Calificación difusa de los criterios de calificación AHP (relación inversa).

Tabla 90. Valores del número difuso triangular para las diferentes categorías borrosas.

CATEGORIA BORROSA	RELACIÓN DIRECTA			RELACIÓN INVERSA		
	V. mínimo	V. Medio	V. máximo	V. mínimo	V. Medio	V. máximo
I	1/2	1	2	1/2	1	2
II	1	2	3	1/3	1/2	1
III	2	3	4	1/4	1/3	1/2
IV	3	4	5	1/5	1/4	1/3
V	4	5	6	1/6	1/3	1/4
VI	5	6	7	1/7	1/4	1/5
VII	6	7	8	1/8	1/7	1/6
VIII	7	8	9	1/9	1/8	1/7
IX	8	9	10	1/10	1/9	1/8

De esta forma, y con base en la matriz de comparaciones obtenida anteriormente, se puede obtener la matriz de comparaciones borrosa, teniendo en cuenta los números difusos o borrosos triangulares definidos anteriormente, según la categoría difusa, obteniendo la matriz difuzza o borrosa de comparaciones (Hua-Jie et al., 2006):

$$[A] = \begin{pmatrix} (1,1,1) & \dots & (a_{1n_1}, a_{1n_2}, a_{1n_n}) \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ (a_{n_1}, a_{n_2}, a_{n_n}) & \dots & (1,1,1) \end{pmatrix}$$

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

- **Cálculo del vector de pesos fuzzyficados**

Con base en la matriz de comparaciones borrosa, se obtiene el vector de pesos borrosos o fuzzyficados (Huan-Jie et al., 2006), bien sea por el promedio aritmético o geométrico (ver numeral 0) para cada uno de los valores de la terna de cada calificación (l, m y u), ordenando la terna obtenida de menor a mayor, definiendo el vector de pesos borroso o fuzzificado como:

$$\{w_{i_l}, w_{i_m}, w_{i_u}\} = \left\{ \begin{array}{c} w_{1_l}, w_{1_m}, w_{1_u} \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ w_{n_l}, w_{n_m}, w_{n_u} \end{array} \right\}$$

- **Selección del alfa-corte y el valor de kappa para determinar el valor de pesos normalizados**

Con el fin de realizar la defuzzificación o desborrificación del vector de pesos borroso, se utilizará el proceso sugerido por Hua-Jie et al. (2006), en el cual se selecciona el alfa corte (valor de  $\alpha$  entre 0 y 1) según la certeza en el rango borroso seleccionado, encontrándose un rango para cada uno de los pesos determinados (para una confianza del 100%, el rango se reduce a un solo número, correspondiente al valor de la calificación AHP normal), según las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} P_{i\alpha_l} &= [\alpha \cdot (w_{i_m} - w_{i_l})] + w_{i_l} \\ P_{i\alpha_r} &= w_{i_u} - [\alpha \cdot (w_{i_u} - w_{i_m})] \\ P_{i\alpha} &= \begin{pmatrix} [P_{1\alpha_l}, P_{1\alpha_r}] \\ \vdots \\ [P_{n\alpha_l}, P_{n\alpha_r}] \end{pmatrix} \end{aligned}$$

Donde los valores l y r representan el valor izquierdo y derecho del conjunto de intervalos.

Posteriormente se selecciona el valor kappa (valor de  $\kappa$  entre 0 y 1), según el optimismo de la calificación (uno para valoración optimista, tomando el mayor valor del rango, y de 0 para valoración pesimista, tomando el valor menor del rango), normalizando la calificación, obteniendo de esta forma el vector de pesos normalizados, según la siguiente ecuación (Hua-Jie et al, 2006):

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

$$\{C_{i\alpha}\} = \left\{ \frac{\kappa \cdot P_{i\alpha_r} + (1 - \kappa) \cdot P_{i\alpha_l}}{\sum_{j=1}^n (\kappa \cdot P_{j\alpha_r} + (1 - \kappa) \cdot P_{j\alpha_l})} \right\}, i = 1, 2, \dots, n$$

• **Método de calificación**

En la Ilustración 202 se presenta el diagrama de flujo para determinar la calificación de susceptibilidad a deslizamientos utilizando los métodos de calificación WLC y OWA explicados a continuación.

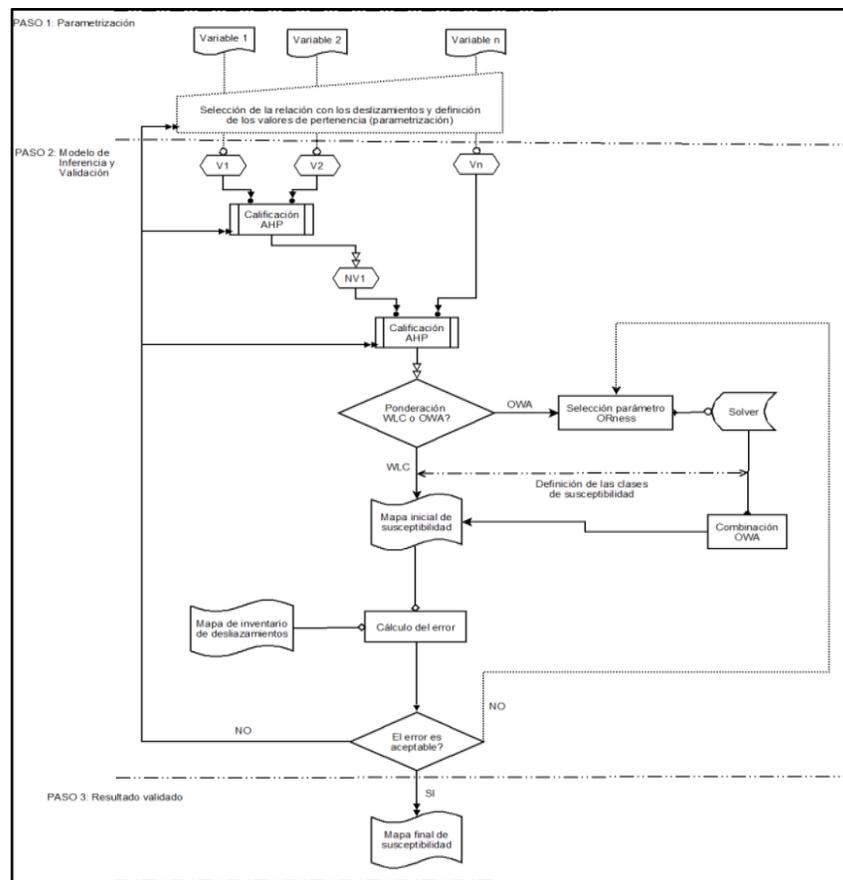


Ilustración 202. Diagrama de flujo para la calificación de la susceptibilidad utilizado los métodos WLC y OWA (adaptado de Malczewski, 2006).

**15.1.3 Combinación lineal ponderada (WLC)**

Una vez los criterios o variables de calificación han sido estandarizados o parametrizados y sus respectivos pesos han sido establecidos, el método de la combinación lineal ponderada o WLC por sus siglas en inglés (Voogd, 1983), es el más simple método para la agregación de los criterios de evaluación en un criterio de calificación. Así, según el método WLC, el índice de susceptibilidad a

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

deslizamientos (ISD) se obtiene de la suma de cada criterio de evaluación multiplicado por su respectivo peso (obtenido de la calificación AHP), es decir:

$$IS = \sum_{i=1}^n c_i \cdot v_i$$

#### 15.1.4 Ponderación promedio ordenada (OWA)

Yager (1988) introdujo el método de ponderación promedio ordenada (OWA, por sus siglas en inglés), en donde para un número “n” de criterios (o atributos) el parámetro OWA es definido como:

$$OWA_i = \sum_{j=1}^n u_j \cdot z_{ij}$$

Donde,

$$u_j = \frac{v_j \cdot w_j^*}{\sum_{j=1}^n v_j \cdot w_j^*}$$

Siendo,

Se define el operador ORness (Yager, 1993; Yager, 1998; Carlsson & Fuller, 1997) como:

$$ORness = \eta = \sum_{j=1}^n \frac{n-j}{n-1} \cdot v_j$$

El parámetro OWA puede ser caracterizado por la medida de su dispersión, usando la medida de la entropía de Shannon, donde la dispersión normalizada es definida como (Malczewski, 2006):

$$\chi = \sum_{j=1}^n \frac{v_j \cdot \ln v_j}{\ln n}$$

O’Hagan (1990)<sup>4</sup>, sugiere que para determinar los valores de los pesos ponderados ordenados se debe relacionar del grado ORness ( $\eta$ ) y la medida de la dispersión (entropía,  $\chi$ ), resolviendo para ello el siguiente problema matemático no lineal:

La solución de las dos ecuaciones anteriores determina el máximo grado de dispersión para un grado dado de ORness.

<sup>4</sup> Tal como se describe en Malczewski (2006).

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

## 15.2 ÍNDICE DE VULNERABILIDAD FÍSICA

La vulnerabilidad física se refiere a las deficiencias que poseen los elementos expuestos para resistir los efectos de un evento que causa amenaza (movimientos en masa, inundaciones, sismos, etc.). Según Cifuentes (2011) “La vulnerabilidad física es el grado de pérdida o nivel de daño potencial de un elemento o conjunto de elementos en riesgo en el área afectada por la amenaza”.

En otras palabras, la vulnerabilidad determina lo propenso que son los elementos expuestos a sufrir daños por lo que un elemento es más vulnerable a medida en que al presentarse un fenómeno natural sufre mayores daños.

La vulnerabilidad frente a eventos catastróficos puede reducirse o mitigarse mediante diferentes tipos de medidas como lo pueden ser la construcción de estructuras resistentes a terremotos o inundaciones, medidas de zonificación, entre otras.

Los dos principales factores de la vulnerabilidad física son la ubicación de los asentamientos humanos y las condiciones técnicas y específicas de los elementos expuestos. El primer factor se refiere a la localización de los bienes que se encuentran expuestos a los fenómenos naturales, puesto que al estar ubicados en una zona inundable o en una ladera inestable aumenta considerablemente la vulnerabilidad a sufrir un daño físico. El segundo factor, condiciones técnicas y específicas, se refiere al tipo de materiales y estructuras con las que fueron construidos los elementos expuestos. Este segundo factor se conoce también como la tipificación de las estructuras.

### 15.2.1 Vulnerabilidad física por movimientos en masa

La vulnerabilidad física por movimientos en masa en este capítulo se verá reflejada por un índice del mismo nombre (IVF), el cual será calculado mediante el desarrollo de la metodología propuesta por Leone<sup>5</sup> y modificada por Soler et al<sup>6</sup>.

- Edificaciones e infraestructura asociada
- Tipificación de las estructuras

Para determinar la vulnerabilidad de las edificaciones ante movimientos en masa se parte del análisis de información secundaria puntual, como planos catastrales y

<sup>5</sup> Leone, F. (1999) CONCEPT DE VULNERABILITE APPLIQUE A L'EVALUATION DES RISQUES GENERES PAR LES PHENOMENES DE MOUVEMENTS DE TERREIN. Tesis de doctorado, Universidad de Grenoble.

<sup>6</sup> Soler, F., González, A. y Vesga, L. (1999). METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA EN SANTAFÉ DE BOGOTÁ, COLOMBIA. XI CPMSIF. Fox de Iguazú, Brasil.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b>

de redes, seguido de la consecución de información primaria referente a las características naturales y estabilidad de la zona.

Dicha información se obtiene para emplearla en el cálculo matemático de la vulnerabilidad, utilizando el cálculo del denominado Índice de Vulnerabilidad Física (IVF), mediante el desarrollo de la metodología propuesta por Leone<sup>7</sup> y modificada por Soler et al<sup>8</sup>.

En resumen la metodología propone:

- Clasificar la tipología de viviendas. Esta información es tomada en campo a partir del análisis de los elementos arquitectónicos.
- Calcular los índices de vulnerabilidad física (IVF), dependiendo del tipo de movimiento, la intensidad de las sollicitaciones y las características del elemento expuesto (viviendas).

En forma general, la vulnerabilidad es una función tanto de la intensidad del fenómeno como de la resistencia del elemento expuesto. La primera variable ya se tuvo en cuenta en la evaluación de la amenaza; para la segunda variable (resistencia del elemento expuesto), se tipifican las viviendas en la Tabla 91, teniendo en cuenta los siguientes criterios de resistencia de la estructura.

**Tabla 91. Criterios de resistencia de la estructura.**

TIPO DE SOLICITACIÓN	MODOS DE DAÑO	CRITERIO DE RESISTENCIA DE LA ESTRUCTURA
Desplazamientos laterales	-Transporte -Deformación	Profundidad de la cimentación
	-Asentamientos -Ruptura	Arriostramiento de la estructura
Empujes laterales	-Deformación	Altura de la estructura
	-Ruptura	Profundidad de la cimentación
		Refuerzo
Impactos	-Deformación	Refuerzo
	-Ruptura	

<sup>7</sup> Leone, F. (1999) CONCEPT DE VULNERABILITE APPLIQUE A L'EVALUATION DES RISQUES GENERES PAR LES PHENOMENES DE MOUVEMENTS DE TERREIN. Tesis de doctorado, Universidad de Grenoble.

<sup>8</sup> Soler, F., González, A. y Vesga, L. (1999). METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO POR FENÓMENOS DE REMOCIÓN EN MASA EN SANTAFÉ DE BOGOTÁ, COLOMBIA. XI CPMSIF. Fox de Iguazú, Brasil.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

Fuente: Geocing SAS.

De acuerdo con los criterios expuestos anteriormente, para tipificar las viviendas se adopta el criterio de Leone, el cual se resume a continuación en la Tabla 92.

**Tabla 92. Tipología de las viviendas.**

TIPO EDIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
B1	Viviendas en material de reciclaje
B2 Mampostería	Vivienda en mampostería sin estructura.
B2 Prefabricados	Vivienda prefabricada.
B3	Casas hasta de dos (2) niveles de buena calidad de construcción (con estructura).
B4	Casas de más de dos (2) niveles de buena calidad de construcción (con estructura).

Fuente: Geocing SAS.

- **Calificación de los daños**

En la metodología propuesta por Leone, para calificar los daños producidos en las viviendas por movimientos en masa, se sigue el criterio del DRM (Délégation aux Risques Majeurs), el cual divide los daños en cinco (5) categorías, como se muestra en la Tabla 93.

**Tabla 93. Clasificación de los daños según el DRM.**

ÍNDICE DE DAÑO (IP)	TIPO DE DAÑO	PORCENTAJE DE DAÑO
I	Daños ligeros no estructurales. Estabilidad no afectada.	0,0 - 0,1
II	Fisuración de paredes (muros). Reparaciones no urgentes.	0,2 - 0,3
III	Deformaciones importantes. Daños en elementos estructurales.	0,4 - 0,6
IV	Fracturación de la estructura. Evacuación inmediata.	0,7 - 0,8
V	Derrumbe parcial o total de la estructura.	0,9 - 1,0

Fuente: Geocing SAS.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

El porcentaje de daño o índice de pérdidas (IP) lo define Leone, como:

$$IP = \frac{(Vi - Vf)}{Vi}$$

Donde,

- Vi: Valor inicial del bien (antes del evento).
- Va: Valor final del bien (después del evento).

### • INFRAESTRUCTURA VIAL

Teniendo en cuenta que la principal evaluación que se realiza dentro de las zonas internas de las poblaciones Colombianas está enfocada a las vías, a continuación se presentan los elementos a tener en cuenta para la Evaluación de las Vías.

La calificación de cada una de las vías, es asignada teniendo en cuenta que los pavimentos flexibles se pueden deformar bajo ciertas características y es más adaptable ante diferentes solicitaciones. Los pavimentos rígidos tienen dificultad para adaptarse ante deformaciones y son más vulnerables que un pavimento flexible. Las estructuras sin pavimentos se califican más alto debido a que sus estructuras son más susceptibles, ya que no cuentan con estructuras adecuadas para soportar solicitaciones y permiten la infiltración del agua lluvia y de escorrentía directamente sobre la estructural.

### • Tipificación de la Infraestructura Vial

Se utilizó y adoptó como metodología para el análisis de vulnerabilidad en vías la propuesta por Leone y el DRM para edificaciones, tomando a criterio por parte de esta consultoría los análisis de vulnerabilidad.

Los parámetros adoptados para la evaluación de la vulnerabilidad y calificación de los índices de pérdidas y daños potenciales en la infraestructura vial se describen a continuación.

**Tabla 94. Clasificación de la tipología de vías.**

SISTEMA VIAL PRIMARIO	TIPO DE VÍA	CONVENCIÓN
Vías nacionales	Vías de primer orden	VU1
Vías departamentales	Vías de segundo orden	VU2
Vías municipales interveredales	Vías de tercer orden	VU3

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

SISTEMA VIAL PRIMARIO	TIPO DE VÍA	CONVENCIÓN
Vías urbanas	Vías de cuarto orden	VU4
Vías veredales o ramales	Vías de quinto orden	VU5

Fuente: Geocing SAS.

Tabla 95. Clasificación de los daños de la infraestructura vial<sup>9</sup>.

ELEMENTO EXPUESTO		ÍNDICE DE DAÑO (IDa)	DAÑOS POTENCIALES	PORCENTAJE DE DAÑO
Infraestructura aledaña	Estructura de las vías líneas vitales asociados	I	Sin daños	0 – 0,05
		II	Daño de la calzada	0,05 - 0,3
		III	Hundimiento de la calzada	0,3 - 0,6
		IV	Obstrucción de la calzada de gran volumen	0,5 - 0,8
		V	Ruptura de la calzada	0,8 - 1,0

Fuente: Geocing SAS.

### • Tipo de Solicitud

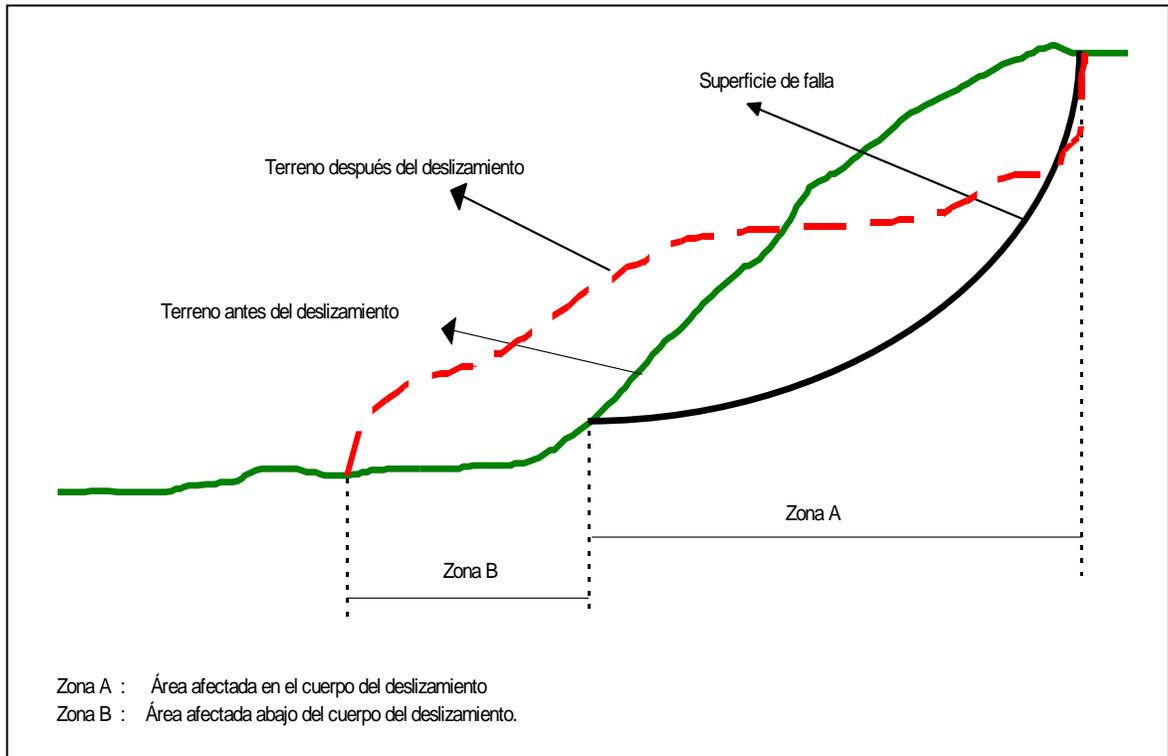
El tipo de solicitud depende de la localización del elemento expuesto en referencia al sitio donde ocurre el fenómeno<sup>10</sup>, en otras palabras, depende del movimiento del terreno de acuerdo al tipo de evento de estudio. Estos movimientos se pueden expresar en términos de desplazamientos verticales, horizontales, totales y diferenciales, o de presiones laterales de tipo estático, dinámico, hidrodinámico o de impacto<sup>11</sup>.

Un ejemplo de estos movimientos se presenta en la Ilustración 203.

<sup>9</sup> Clasificación propuesta por el DRM y adoptado por Geocing S.A.S

<sup>10</sup> Soler, F., González, A. y Vesga, L. (1999). Metodología para el análisis de vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa en Santafé de Bogotá, Colombia. XI CPMSIF. Fox de Iguazú, Brasil.

<sup>11</sup> Cifuentes, D. (2011). Modelación de vulnerabilidad física de estructuras de uno y dos pisos, asociada a deslizamientos. Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Colombia.



**Ilustración 203. Esquema de deslizamiento.**

**Fuente: Geocing SAS.**

Como se puede observar en la ilustración anterior, se pueden distinguir dos zonas, en la Zona A (en el cuerpo del deslizamiento) o Zona de Influencia Directa, los daños que van a sufrir las viviendas se pueden relacionar con los desplazamientos laterales (DL) que, a su vez, dependen de la velocidad del movimiento (entre más rápido, los daños pueden ser mayores). Para la caracterización de las velocidades de los movimientos se utilizó la escala propuesta por Cruden y Varnes<sup>12</sup>, presentada en la Tabla 96.

**Tabla 96. Rangos de velocidad utilizadas en el estudio.**

DESCRIPCIÓN	CLASE	VELOCIDAD CARACTERÍSTICA
Muy rápido	VM1	Mayor a 50 mm/seg
Rápido	VM2	Entre 0,5 mm/seg y 50 mm/seg
Moderado	VM3	Entre 0,05 mm/seg y 0,5 mm/seg
Lento	VM4	Entre 0,005 mm/seg y 0,05 mm/seg

<sup>12</sup> Cruden , D. y Varnes D.(1991). *Landslides types and processes*. Universidad de Alberta.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

DESCRIPCIÓN	CLASE	VELOCIDAD CARACTERÍSTICA
Muy lento	VM5	Menor a 0,005 mm/seg

Fuente: Geocing SAS.

En la Zona B (abajo del cuerpo del deslizamiento) o Zona de Influencia Indirecta, los daños de las viviendas se pueden relacionar con los empujes laterales (EL) que, igualmente, se pueden asociar con la altura que alcanza la acumulación de material contra la vivienda, así:

Tabla 97. Categorías de las presiones laterales utilizadas en el estudio.

DESCRIPCIÓN	CLASE	CARACTERÍSTICA
Presión lateral alta	PL1	Mayor a 2/3 de la altura de la vivienda
Presión lateral media	PL2	Entre 1/3 y 2/3 la altura de la vivienda
Presión lateral baja	PL3	Menor a 1/3 de la altura de la vivienda

Fuente: Geocing SAS.

### • Matriz de daño

Se asocian los Índices de Daños Actuales (IDa) descritos en la Tabla 93 y Tabla 95, ocasionados por un evento dado, de acuerdo tanto al tipo de solicitud (magnitud del evento) como a la tipología de la vivienda o de las vía (resistencia del elemento expuesto). En otras palabras, a cada elemento expuesto le pertenece un IDa el cual se asigna utilizando la matriz de daño mostrada en la Tabla 98 y Tabla 99. Se adaptó la matriz de daño de la metodología de Leone modifica por Soler (1998) al estudio y por lo tanto es la única que se va a utilizar para asociar los IDa a todos los elementos expuestos estudiados. Sin embargo, se hace la aclaración de que en la metodología y en el estudio se realiza la diferenciación entre la clasificación de la tipología y la sollicitación que presentan cada uno de los elementos expuestos. A continuación se presenta la matriz de daño utilizada (ver Tabla 98 y Tabla 99).

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

**Tabla 98. Matriz de daño utilizada en el estudio.**

MATRIZ DE DAÑO					
CLASE DE SOLICITACIÓN	TIPOLOGÍA DEL ELEMENTO EXPUESTO				
	B1	B2	B3	B4	B5
I	V	IV	III	II	I
II	V	IV	III	II	I
III	V	IV	III	II	II
IV	V	IV	IV	III	II
V	V	V	IV	III	III
VI	V	V	V	III	III
VII	V	V	V	IV	III
VIII	V	V	V	IV	IV
IX	V	V	V	V	IV
X	V	V	V	V	IV

Fuente: Geocing SAS.

**Tabla 99. Matriz de daño para infraestructura vial para los tipos de vías presentes en el municipio**

TIPO DE VÍA			
Intensidad	V-3	V-4	V-5
Leve	A	F	S
Media	F	S	S
Alta	S	S	S
Muy Alta	S	S	S

Fuente: Geocing SAS.

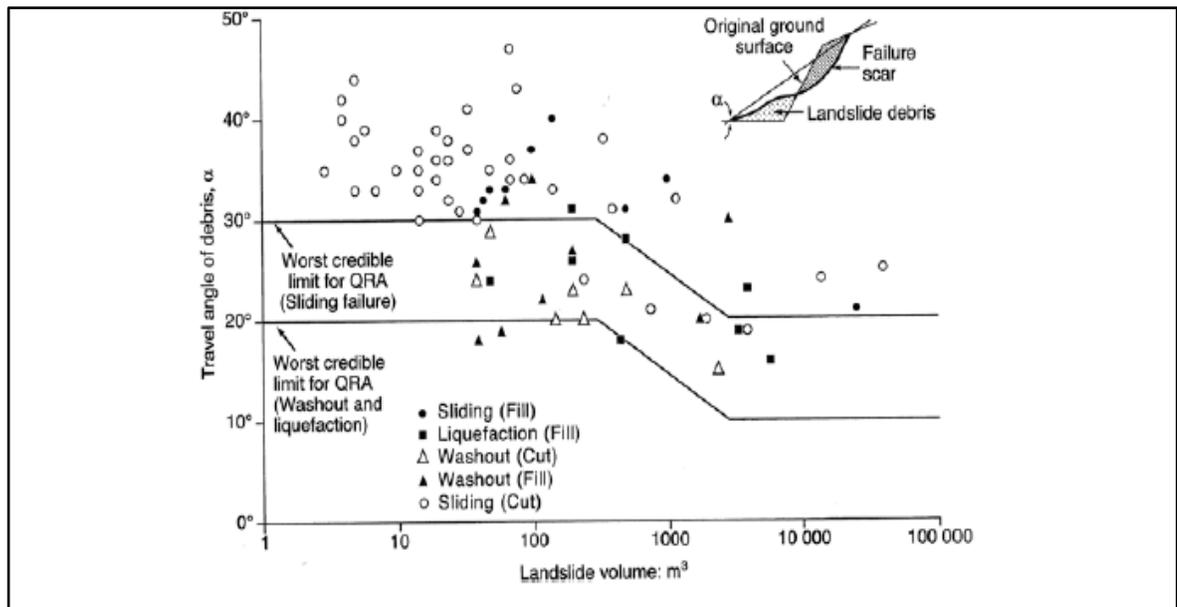
- **Distancia de Viaje**

La distancia de deslizamiento resulta ser un parámetro de gran importancia ya que la estimación del volumen deslizado y su velocidad determinan el punto donde el deslizamiento afectará las estructuras físicas. Principalmente, la distancia de viaje depende de las características del talud, mecanismos de falla y tipo de movimiento, características del talud hacia abajo y la información sobre el parámetro en eventos previos de deslizamientos en el sitio de estudio o cerca de él (Mostajo, 2013). La distancia de viaje se puede relacionar con el volumen deslizado por medio de expresiones empíricas, a partir del ángulo de fricción

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

aparente y el volumen deslizado (ver Ilustración 204) o a través de la modelación cinemática de movimiento<sup>13</sup> (ver Ilustración 205).

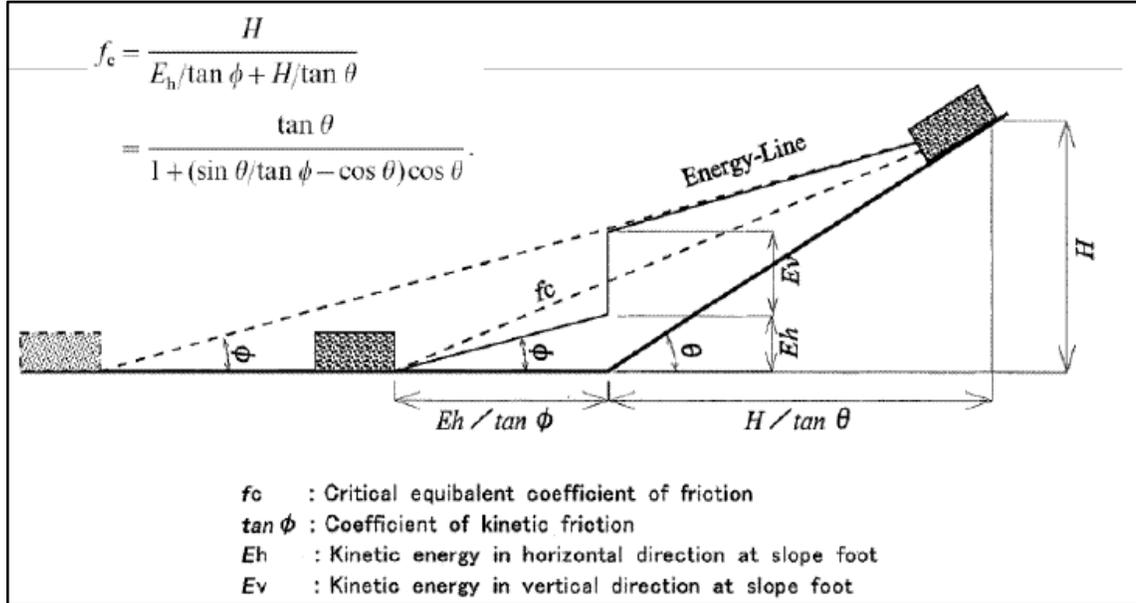
Adicionalmente, el volumen deslizado es uno de los parámetros que por lo general se utiliza para definir la intensidad de un deslizamiento. Cifuentes (2011) menciona que la intensidad de un deslizamiento se define en función del volumen de deslizamiento estimado y la velocidad esperada del movimiento (Ver Ilustración 206).



<sup>13</sup> Cifuentes, D. (2011). Modelación de vulnerabilidad física de estructuras de uno y dos pisos, asociada a deslizamientos. Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Colombia.

**Ilustración 204. Estimación de la distancia de viaje a partir del ángulo de fricción aparente y el volumen deslizado.**

Fuente: Cifuentes, 2011



**Ilustración 205. Modelación cinemática de movimiento para la determinación de la distancia de viaje**

Fuente: Cifuentes, 2011.

Volumen estimado (m <sup>3</sup> )	Velocidad del deslizamiento esperada		
	Deslizamiento rápido (caída de roca)	Movimiento rápido (flujo de detritos)	Movimiento lento (deslizamiento reactivado)
<0.001	Baja		
<0.5	Media		
>0.5	Alta		
<500	Alta	Baja	
500-10.000	Alta	Media	Baja
10.000-50.000	Muy alta	Alta	Media
>500.000		Muy alta	Alta
>>500.000			Muy alta

**Ilustración 206. Intensidad de deslizamiento de acuerdo a la velocidad esperada y volumen estimado**

Fuente: Cifuentes, 2011

La velocidad de movimiento del deslizamiento puede describir el potencial de daño de la mejor manera, sin embargo es un parámetro difícil de medir o predecir. Cifuentes (2011) presenta un ejemplo en donde se utiliza la velocidad como una variable para describir la magnitud del movimiento (Ver Ilustración 207).

Clase de velocidad	Descripción	Velocidad (mm/seg)	Velocidad Típica	Probable Importancia Destructiva
7	Extremadamente rápido	$5 \times 10^3$	5 m/s	Catástrofe de mayor violencia, los edificios expuestos son totalmente destruidos por el impacto del material desplazado, muchas muertes.
6	Muy rápido	$5 \times 10^1$	3 m/min	Algunas pérdidas de vidas humanas; velocidad demasiado grande, destrucción importante.
5	Rápido	$5 \times 10^{-1}$	1.8 m/hr	Evacuación es posible; estructuras, bienes y equipos son destruidos.
4	Moderado	$5 \times 10^{-3}$	13 m/mes	Algunas estructuras pueden mantenerse, si se encuentran a corta distancia frente a la masa desplazada, las estructuras localizadas en la masa desplazada son extensamente dañadas
3	Lento	$5 \times 10^{-5}$	1.6 m/año	Correctivos pueden llevarse a cabo durante el movimiento, algunas estructuras se puede mantener con trabajos frecuentes, si el movimiento total no es grande durante fase de aceleración.
2	Muy lento	$5 \times 10^{-7}$	15 mm/año	Algunas estructuras permanentes sin daños por el movimiento, si hay grietas se pueden reparar.
1	Extremadamente lento			Imperceptible sin instrumentación

Ilustración 207. Ejemplo de escala de velocidad para describir el potencial de daño de un deslizamiento Fuente: Cifuentes, 2011

### • Curvas de Fragilidad

La vulnerabilidad física de los elementos en riesgo de deslizamientos se puede describir mediante funciones de fragilidad. Estas funciones permiten la estimación del riesgo dentro del marco de una ejecución o consecuencia. Se encuentran expresadas para cada elemento en riesgo en términos de la intensidad del deslizamiento y las probabilidades de daño. Las curvas de fragilidad expresan la probabilidad condicional, para cada elemento en riesgo, de que se encuentre o sobrepase cierto grado de daño durante un deslizamiento de cierto tipo e intensidad<sup>14</sup>. En general, las funciones evalúan el grado de vulnerabilidad de un elemento en riesgo cuando está sujeto a un esfuerzo producto de un proceso natural peligroso. Adicionalmente, proveen una evaluación cuantitativa de la intensidad del daño que un tipo de esfuerzo puede generar sobre un elemento (Pascale, Sdao, & Sole, 2010)<sup>15</sup>.

<sup>14</sup> SafeLand. (2011). Physical vulnerability of elements at risk to landslides: Methodology for evaluation, fragility curves and damage states for buildings and lifelines.

<sup>15</sup> Pascale, S., Sdao, F., & Sole, A. (2010). A model for assessing the systemic vulnerability in landslide prone areas. Nat. Hazards Earth Syst. Sci., 10, 1575-1590.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

### **15.2.2 Vulnerabilidad física por inundaciones**

Las inundaciones son eventos naturales con un gran potencial de destrucción los cuales han afectado a un gran número de personas y han causado daños y pérdidas incalculables. El número de personas afectadas y pérdidas van en constante aumento dado al incremento de las construcciones a lo largo del curso de los ríos.

Existen medidas estructurales y no estructurales las cuales se pueden implementar para lidiar con las inundaciones. Las medidas estructurales están compuestas por un conjunto de estructuras que tienen el fin de modificar los flujos de agua y por lo tanto sus parámetros hidráulicos; volumen de inundación, elevación del nivel de agua, duración de la inundación, caudal máximo, altura, velocidad. Por otro lado, las medidas no estructurales reducen el riesgo a inundaciones por medio de sistemas de alertas, planes de emergencias, regulaciones y zonificación del uso del suelo.

Aunque las medidas anteriormente mencionadas actúan como acciones de mitigación de la amenaza por inundación, no se debe ignorar la necesidad de realizar la evaluación de la vulnerabilidad y riesgo.

El análisis de la inundación se puede realizar mediante el uso de funciones de daño que se encuentran disponibles en la literatura y para su evaluación se adaptó la Metodología de Daños y Víctimas por Inundaciones de Kok et al. (2005).

Para calcular el daño potencial que puede generar una inundación la metodología presenta la siguiente fórmula:

$$S = \sum_{i=1}^n \alpha_i n_i S_i$$

Donde

$\alpha_i$  = factor de daño o índice de daño con categoría i

$n_i$  = número de unidades en la categoría i.

$S_i$  = Daño máximo por unidad en categoría i

Donde el índice de daño  $\alpha_i$  se deriva de la función de daño y existe una función de daño por categoría. Ejemplos de las categorías son: agricultura, vehículos, infraestructura, etc. Este factor de daño muestra la influencia de las condiciones hidráulicas y los siguientes parámetros son los que de mayor forma lo influyen:

- d = Altura de Flujo (m)
- u = Velocidad de Flujo (m/s)
- $u_{KT}$  = Velocidad de Flujo Crítica (m/s)

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

- $w$  = tasa de aumento (m/hour)
- $\beta$  = Factor del Material
- $r$  = Factor de refugio
- $s$  = Presencia de Olas

Los factores de daño que presenta la metodología de Kok se derivan del estudio de Tweede Waterkeringen Hoeksche Waard y aplican a las áreas que tienen baja frecuencia de inundación.

Como se definió anteriormente, los elementos expuestos a las inundaciones son para la zona de estudio son las viviendas, la infraestructura vial y puentes.

### • EDIFICACIONES E INFRAESTRUCTURA ASOCIADA

Para analizar la vulnerabilidad física de los elementos expuestos, se deben analizar los daños directos que causa el flujo de agua sobre las estructuras. Para desarrollar este enfoque se deben tener en cuenta las acciones del flujo, las que se encuentran definidas como los efectos que una inundación puede tener sobre una casa, las cuales pueden potencialmente generar daños o hasta causar que la estructura falle. Entre las diferentes acciones de flujo que se imponen sobre una edificación se destacan las siguientes: fuerzas hidrostáticas, fuerzas de flotación, fuerzas hidrodinámicas, y erosión.

La metodología de Kelman & Spence (2004) presenta una descripción de las acciones de flujo de las inundaciones, las cuales actúan como un prisma de presiones sobre las paredes de las edificaciones.

### • Fuerzas Hidrostáticas

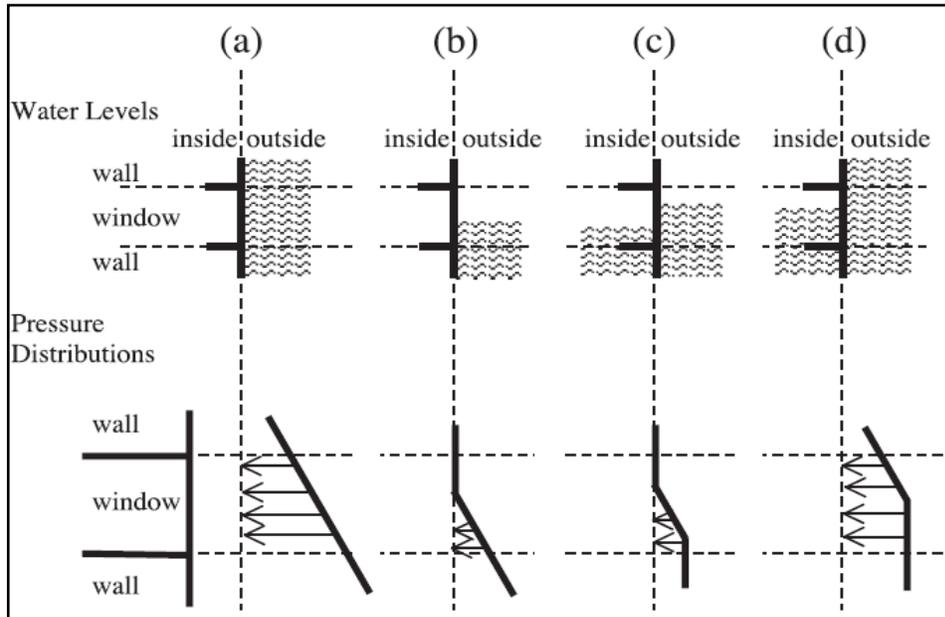
Existen dos tipos de formas en las que estas fuerzas actúan, como presiones laterales y como capilaridad.

La presión lateral que ejerce un flujo contra una casa es

$$\Delta P = \rho_w g (f_{diff} - y) = \Delta P_{hydrostatic} \text{ donde } y = 0 - \rho_w g y \text{ Para } h \leq y \leq f_{diff}$$

$$\Delta P = 0 \text{ Para } y > f_{diff}$$

Donde  $y=0$  es la base la casa. La segunda ecuación puede ser utilizada para considerar toda la casa o para una parte de la casa como las ventanas o una puerta de madera. Esto de acuerdo a que se pueden presentar diferentes escenarios para los niveles de agua y presiones alcanzados por la inundación sobre una casa. La siguiente imagen muestra ejemplos de dichos escenarios.



**Ilustración 208. Niveles de agua y presiones que actúan sobre una casa para diferentes escenarios.**  
**Fuente: Kelman & Spence (2004)**

La capilaridad es importante en cuanto a que los objetos que se encuentran dentro de la casa pueden estar fabricados con materiales que absorban agua, o los mismos materiales con los que fue construida la casa pueden absorber agua lo que resultará más adelante en daños.

### • Fuerzas Hidrodinámicas

Existen tres formas de fuerzas hidrodinámicas: 3 acciones relacionadas con la velocidad (incluida la turbulencia) y 2 acciones relacionadas con ondas.

La presión lateral que ejerce el flujo de agua alrededor de una vivienda se puede definir como  $\Delta P = 0.5\rho v^2$ , para una aproximación de primer orden.

Cambios en la velocidad y por lo tanto en las diferencias de presión ocurren cuando el agua fluye alrededor de las esquinas de una vivienda o por huecos en las estructura porque se generan fenómenos de turbulencia que impactan la estructura. Las acciones de las ondas tienen la capacidad de aumentar o disminuir las presiones y las fuerzas ejercidas sobre la vivienda. Las olas que rompen en, sobre o cerca de una casa pueden ejercer grandes presiones al compararlas con otras acciones hidrodinámicas.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

- **Erosión**

El agua en movimiento puede causar erosión al mover el suelo de los lados o lecho del río a lo largo por donde fluye. Este movimiento genera un transporte de sedimentos que altera la densidad inicial del flujo de agua.

- **Fuerzas de Flotación**

La fuerza de flotación es función del volumen sumergido del objeto que en este caso resulta ser la casa. Este volumen es igual al volumen de agua que ha sido desplazado por la casa, dando como resultado la siguiente ecuación,  $\rho_w g A_f$ . La fuerza de flotación es entonces la fuerza de empuje hacia arriba que causa que la vivienda o partes de ella floten. Las fuerzas hidrodinámicas o presiones hidrostáticas laterales pueden después reemplazar las partes flotantes y potencialmente generar daños.

Por su parte, la metodología de Kok et al. (2005) define el índice de daño potencial para cada una de las diferentes categorías de daño, debido que los daños que pueda ocasionar una inundación dependen de los materiales y estructuras de las edificaciones. Las categorías utilizadas en la metodología y un resumen de sus características se presentan en la Tabla 100.

**Tabla 100. Categoría de Daños según materiales y estructura.**

Categoría de Daño	Materiales	Estructura
Viviendas de 1 piso	Ladrillo o Bloque	Mampostería Simple y Estructural
Viviendas de poca altura (2 – 3 pisos)	Ladrillo o Bloque	Mampostería Simple y Estructural
Viviendas de altura intermedia (4-5 pisos)	Concreto Fundido	Mampostería Estructural
Viviendas de gran altura (Más de 6 pisos)	Concreto Fundido	Mampostería Estructural

**Fuente: Geocing SAS.**

A parte del nivel del agua, la influencia de las olas (en el caso de una tormenta) y la velocidad de flujo son unos parámetros que generalmente se presumen que influyen los daños por inundación.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

- **Nivel del Agua y Velocidad de flujo**

La metodología menciona que se necesita una velocidad de flujo crítica para determinar si una edificación va a colapsar a causa de velocidades de flujo altas. Indica que si la velocidad de flujo producto del modelo hidráulico es mayor que la velocidad de flujo crítica, el factor de daño o índice de daño es igual a 1. Según las modelaciones, la velocidad de flujo en la que las edificaciones pueden colapsar se encuentra entre 1 y 8 m/s. Y por lo tanto, se define que el método estándar se debe calcular utilizando una velocidad de flujo crítica de 8 m/s.

La metodología establece que para las viviendas de un piso, la velocidad crítica corresponde a  $\frac{1}{4}$  de la velocidad de flujo crítica del método estándar. Este valor es menor dado que las paredes de estos tipos de viviendas son resistentes a velocidades de flujo de solamente 1 a 2m/s, mientras que las paredes de los edificios en concreto resisten 8 m/s como máximo.

- **Índice de daño potencial total por Inundaciones**

El índice de daño potencial total para las viviendas se calcula por lo tanto con la siguiente expresión:

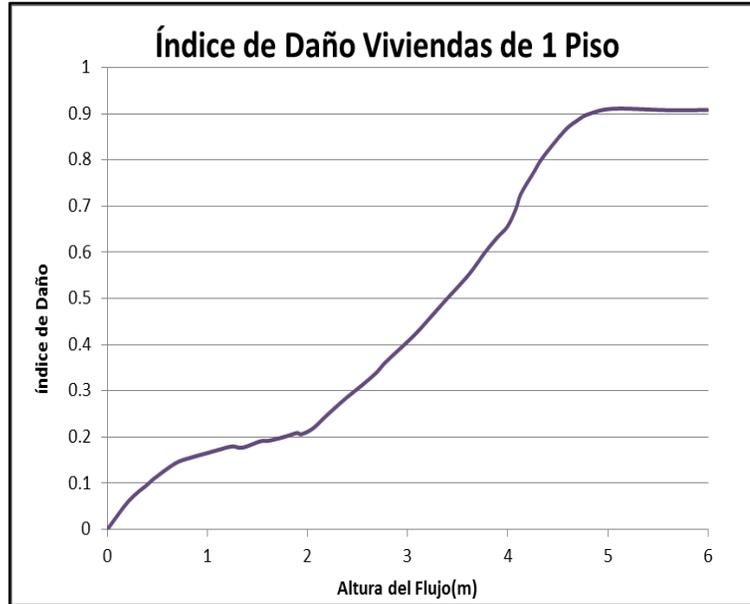
$$\alpha = P_{f \text{ tormenta}} * 1 + (1 - P_{f \text{ tormenta}}) \alpha (d, u)$$

$\alpha (d, u)$  = Índice de daño basado en el nivel de agua y velocidad de flujo.

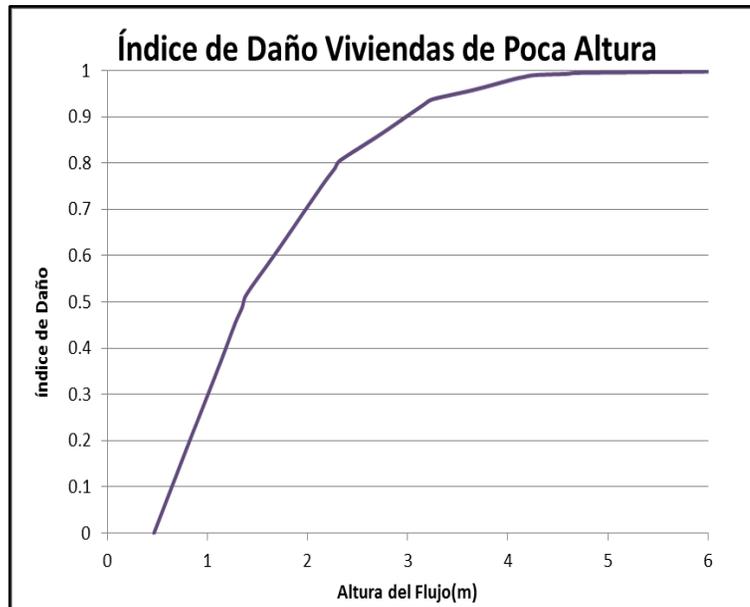
$P_{f \text{ tormenta}}$  = Probabilidad de falla durante una tormenta.

La función de daño para cada de categoría de daño de las edificaciones presenta alta complejidad por lo que no se presenta en el informe, sin embargo, se implementó como un código en Excel para su cálculo.

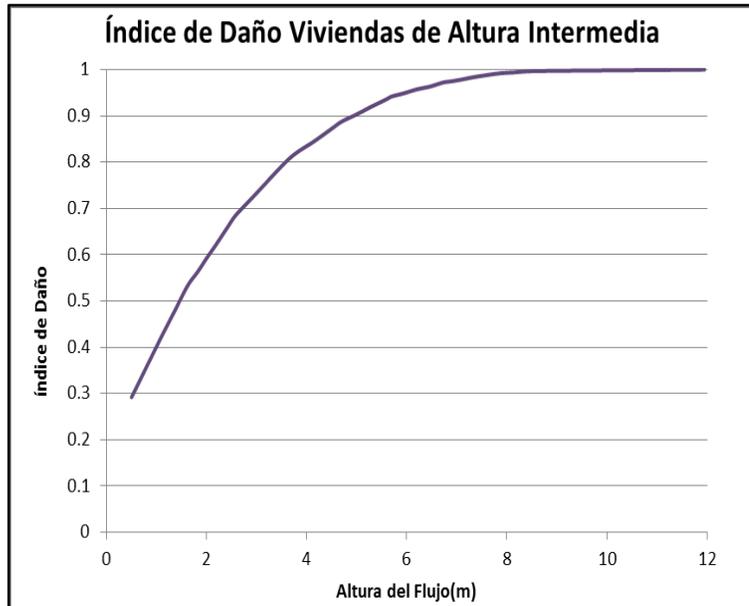
Las curvas del índice de daño potencial total producto de la función de daño de cada categoría se presentan a continuación.



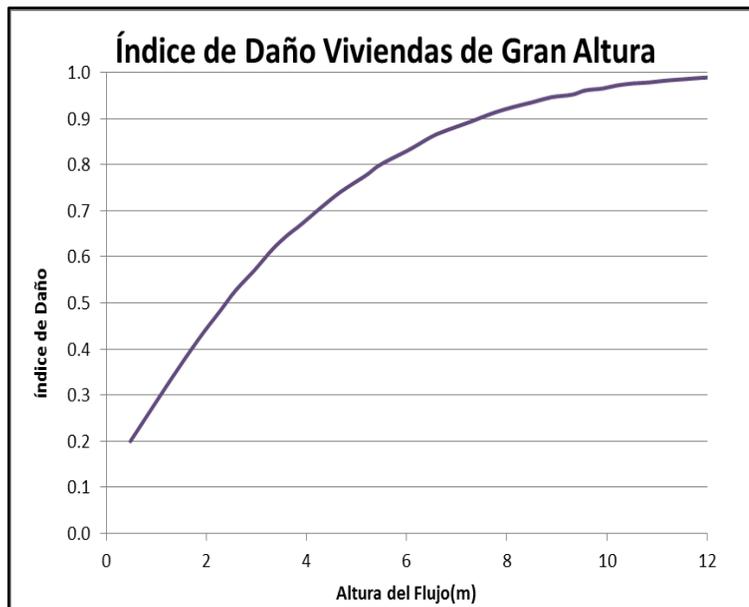
**Ilustración 209. Índice de Daño de las Viviendas de 1 Piso.**  
Fuente: Adaptación de Kok et al. (2005).



**Ilustración 210. Índice de Daño de las Viviendas de Poca Altura.**  
Fuente: Adaptación de Kok et al. (2005).



**Ilustración 211. Índice de Daño de las Viviendas de Altura Intermedia.**  
Fuente: Adaptación de Kok et al. (2005).



**Ilustración 212. Índice de Daño de las Viviendas de Gran Altura.**  
Fuente: Adaptación de Kok et al. (2005).

La consultora propone la siguiente matriz de daño donde se clasifica el índice de daño potencial numérico de las edificaciones dentro de las diferentes categorías de lógica difusa para más adelante calcular el índice de vulnerabilidad física por inundaciones.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

**Tabla 101. Clasificación Difusa del índice de daño potencial de las viviendas.**

Índice de Daño (IDp)	Tipo de daño	Categoría Difusa
0,0 - 0,2	El agua se pone en contacto con la estructura por fuera pero no entra.	I
0,2 - 0,4	El agua infiltra (gotea a través de las aberturas pequeñas) o se dañan características externas por el agua.	II
0,4 - 0,6	Agua penetra a través de una abertura cerrada o abierta (probablemente rompiendo la abertura) como una puerta o ventana.	III
0,6 - 0,8	Agua penetra a través de rutas no incluidas como aberturas (es atacada la integridad estructural) por ejemplo una pared o el tejado.	IV
0,8 - 1,0	La estructura sufre daños más allá de la reparación, por ejemplo las paredes colapsan.	V

Fuente: Geocing SAS.

- **Infraestructura Vial**

En cuanto a la categoría de infraestructura vial, la metodología de Kok presenta la siguiente función para el índice de daño potencial:

$$\alpha_{vías} = \text{MIN}(0.28d, 0.18d + 0.1, 1)$$

Donde la siguiente gráfica presenta la curva de Daño para esta categoría.

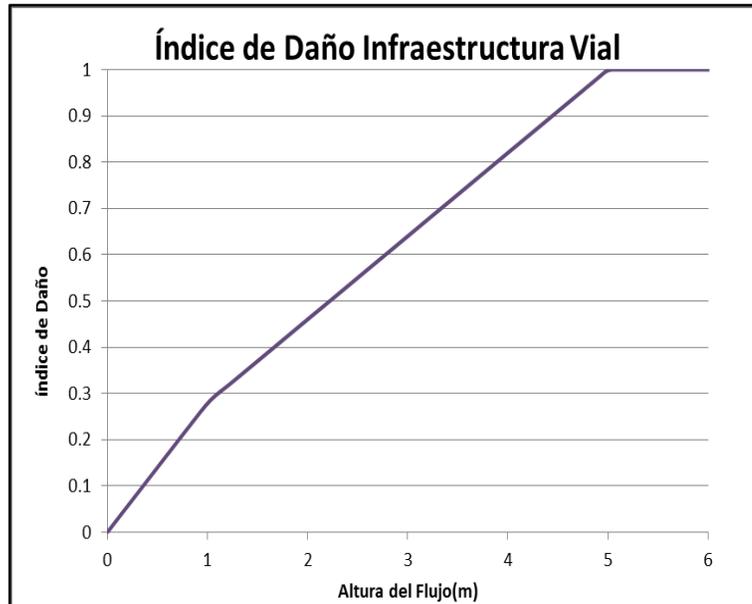


Ilustración 213. Índice de Daño de la Categoría de infraestructura vial .  
Fuente: Adaptación de Kok et al. (2005).

La consultora propone la siguiente matriz de daño donde se clasifica el índice de daño numérico obtenido de la Ilustración 213 para la infraestructura vial dentro de las diferentes categorías de lógica difusa.

Tabla 102. Clasificación Difusa del índice de daño potencial de la infraestructura vial.

Elemento Expuesto	Porcentaje de daño	Daños Potenciales	Índice de Daño Potencial
Infraestructura Vial	0 - 0,3	Daño superficiales	I
	0,3 - 0,5	Hundimiento de la estructura	II
	0,5 - 0,7	Fisuración de la estructura del pavimento	III
	0,7 – 0,8	La estructura sufre daños graves	IV
	0,8 – 1,0	Pérdida total de la Infraestructura	V

Fuente: Geocing SAS.

### 15.2.3 Vulnerabilidad física por avenidas torrenciales

La avenida torrencial representa una inundación de gran volumen y corta duración (Kim & Choi, 2011). Este tipo de fenómenos ha ocurrido con mayor frecuencia durante los últimos años debido a las lluvias fuertes o excesivas en un periodo de tiempo corto sobre un área pequeña. Las avenidas torrenciales pueden causar grandes daños en infraestructura y pérdida de vidas humanas debido a su rápida manifestación y altas velocidades que no dan tiempo de reacción a las personas que se encuentran en el área de influencia del evento.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

Matemáticamente un flujo torrencial se caracteriza por contener una mezcla de material sólido (que incrementa considerablemente la viscosidad y densidad del flujo, disminuyendo su velocidad) y de un líquido intersticial (agua). Kelman (2002) presenta una propuesta para la evaluación de la vulnerabilidad física de las estructuras por medio de perfiles de vulnerabilidad “matrices de vulnerabilidad bidimensionales” en donde se enfoca en establecer las presiones diferenciales del flujo torrencial que podrían causar daños y el análisis de fallas en ventanas y muros. Esta metodología trabaja con las fuerzas hidrostáticas e hidrodinámicas y las convierte en primas de presiones en los muros de la edificación.

Kelman (2002) evalúa el daño en la estructura teniendo en cuenta las características de las acciones que un flujo impone sobre una edificación: la presión hidrostática, presión hidrodinámica impuesta por la velocidad de flujo, la erosión, el empuje y la acción de los sólidos suspendidos. En el presente estudio se trabajará con una adaptación de los perfiles de vulnerabilidad de Kelman (2002) para diferentes tipos de estructuras. Se utilizará una clasificación de las estructuras similar a la usada para calcular la vulnerabilidad por inundaciones, la cual se muestra nuevamente en la Tabla 103.

**Tabla 103. Categoría de Daños según materiales y estructura para avenidas torrenciales.**

Categoría de Daño	Materiales	Estructura
Viviendas de 1 piso	Ladrillo o Bloque	Mampostería Simple y Estructural
Viviendas de poca altura (2 pisos )	Ladrillo o Bloque	Mampostería Simple y Estructural
Viviendas de altura intermedia (3 pisos)	Concreto Fundido	Mampostería Estructural
Viviendas de gran altura (Más de 4 pisos)	Concreto Fundido	Mampostería Estructural

Fuente: Adaptación de Kelman (2002).

Las matrices de los diferentes perfiles de vulnerabilidad adaptadas de Kelman (2002) para calcular el índice de daño potencial se presentan a continuación:

**Tabla 104. Índice de Daño Potencial por avenidas torrenciales de las Viviendas de 1 Piso.**

Velocidad del Flujo Máxima (m/s)	Altura (m)			
	0	0,5	1	>1,5
0	0	2	4	5
0,5	0	2	4	5
1	0	2	4	5
1,5	0	4	4	5
2	0	4	5	5
2,5	0	4	5	5
3	0	4	5	5
3,5	0	4	5	5
4	0	4	5	5

Velocidad del Flujo Máxima (m/s)	Altura (m)			
	0	0,5	1	>1,5
4,5	0	4	5	5
5	0	4	5	5
5,5 o mayor	0	5	5	5

Fuente: Adaptación de Kelman (2002).

Tabla 105. Índice de Daño Potencial por avenidas torrenciales de las Viviendas de Poca Altura.

Velocidad del Flujo Máxima (m/s)	Altura (m)				
	0	0,5	1	1,5	> 2,0
0	0	2	4	4	5
0,5	0	2	4	5	5
1	0	2	4	5	5
1,5	0	2	4	5	5
2	0	2	4	5	5
2,5	0	2	4	5	5
3	0	2	4	5	5
3,5	0	4	4	5	5
4	0	4	5	5	5
4,5	0	4	5	5	5
5	0	4	5	5	5
5,5	0	4	5	5	5
6	0	4	5	5	5
6,5	0	4	5	5	5
7	0	4	5	5	5
7,5 o mayor	0	5	5	5	5

Tabla 106. Índice de Daño Potencial por avenidas torrenciales de las Viviendas de Altura Intermedia.

Velocidad del Flujo Máxima (m/s)	Altura (m)				
	0	0,5	1	1,5	>2,0
0	0	2	2	4	5
0,5	0	2	4	4	5
1	0	2	4	4	5
1,5	0	2	4	4	5
2	0	2	4	4	5
2,5	0	2	4	5	5
3	0	2	4	5	5
3,5	0	2	4	5	5
4	0	2	4	5	5
4,5	0	4	4	5	5
5	0	4	5	5	5
5,5	0	4	5	5	5
6	0	4	5	5	5
6,5	0	4	5	5	5
7	0	4	5	5	5
7,5	0	4	5	5	5
8	0	4	5	5	5
8,5	0	4	5	5	5
9 o mayor	0	5	5	5	5

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

Fuente: Adaptación de Kelman (2002)

Tabla 107. Índice de Daño Potencial por avenidas torrenciales de las Viviendas de Gran Altura.

Velocidad del Flujo Máxima (m/s)	Altura (m)					
	0	0,5	1	1,5	2	>2,5
0	0	2	2	4	4	5
0,5	0	2	2	4	4	5
1	0	2	2	4	5	5
1,5	0	2	2	4	5	5
2	0	2	4	4	5	5
2,5	0	2	4	4	5	5
3	0	2	4	4	5	5
3,5	0	2	4	5	5	5
4	0	2	4	5	5	5
4,5	0	2	4	5	5	5
5	0	2	4	5	5	5
5,5	0	4	4	5	5	5
6	0	4	5	5	5	5
6,5	0	4	5	5	5	5
7	0	4	5	5	5	5
7,5	0	4	5	5	5	5
8	0	4	5	5	5	5
8,5	0	4	5	5	5	5
9	0	4	5	5	5	5
9,5	0	4	5	5	5	5
10	0	4	5	5	5	5
10,5 o mayor	0	5	5	5	5	5

Fuente: Adaptación de Kelman (2002)

El consorcio propone la siguiente matriz de daño donde se clasifica el índice de daño potencial numérico de las edificaciones dentro de las diferentes categorías de lógica difusa para más adelante calcular el índice de vulnerabilidad física por avenidas torrenciales.

Tabla 108. Clasificación Difusa del índice de daño potencial por avenidas torrenciales de las viviendas.

Índice de Daño (IDp)	Tipo de daño	Categoría Difusa
0	El flujo torrencial no se encuentra en contacto con la estructura	0
1	El flujo torrencial se pone en contacto con la estructura por fuera pero no entra.	I
2	El flujo torrencial infiltra (gotea a través de las aberturas pequeñas) o se dañan características externas por el agua.	II
3	El flujo torrencial penetra a través de una abertura cerrada o abierta (probablemente rompiendo la abertura) como una puerta o ventana.	III
4	El flujo torrencial penetra a través de rutas no incluidas como aberturas (es atacada la integridad estructural) por ejemplo una pared o el tejado.	IV
5	La estructura sufre daños más allá de la reparación, por ejemplo las paredes colapsan.	V

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

Fuente: Adaptación de Kelman (2002).

## • ÍNDICE DE DAÑO ACTUAL (IDA)

El índice de daño actual representa el índice de daño que se le asigna al elemento expuesto dadas las características estructurales evaluadas en la encuesta física realizada a las diferentes edificaciones.

La base de datos obtenida a partir del estudio y las encuestas físicas se presentan anexadas a este informe. Se aclara que a cada una de las encuestas le pertenece un código el cual concuerda con el mapa de resultados expuestos y la base de datos obtenida.

En esta sección se mostraran los parámetros, las calificaciones y categorías que se utilizaron para evaluar el índice de daño actual de las edificaciones basándose en el método AHP:

## • Edad de la Construcción

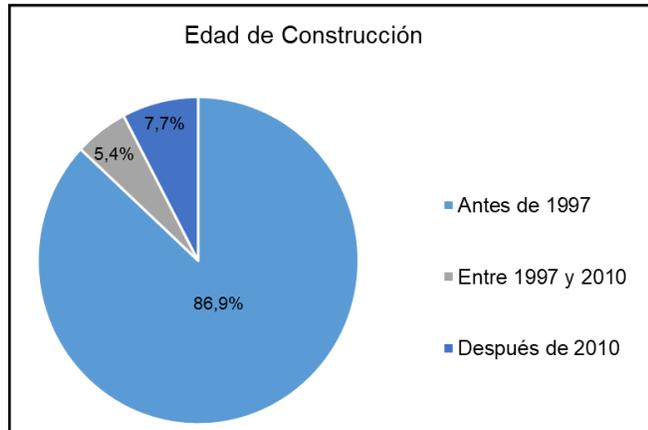
La edad de la construcción está directamente ligada al estado del inmueble en general, ya que entre más años tenga la construcción más deteriorada se encuentra, sus técnicas constructivas no son las adecuadas para cumplir con la Norma Sismo Resistente y sus materiales presentan diferentes desgastes. Adicionalmente, si la construcción es más nueva se podría considerar que sus materiales cuentan con mejores condiciones de calidad y las técnicas empleadas para su construcción son las adecuadas. En la siguiente tabla se presenta su categorización.

**Tabla 109. Pesos ponderados - Parámetro: Edad de la Construcción.**

Edad de La construcción	Parámetro (años)	Peso
Después 2010	7	0,20
Entre 1997 y 2010	21	0,50
Antes de 1997	22	0,90

Fuente: Geocing SAS

Según las encuestas aplicadas e información recopilada, el 86,9% de las edificaciones se han construido antes de 1997, el 5,4% han sido construidas entre los años 1997 y 2010 periodo en donde se establecieron las primeras normas sismo resistentes y el 7,7% restante han construidas después del 2010 bajo el periodo de funcionamiento de la última versión de la NSR. En la siguiente ilustración se presenta la distribución de las edificaciones encuestadas según su año de construcción.



**Ilustración 214. Distribución de las edificaciones encuestadas según su fecha de construcción.**  
**Fuente: Geocing SAS.**

- **Número de pisos**

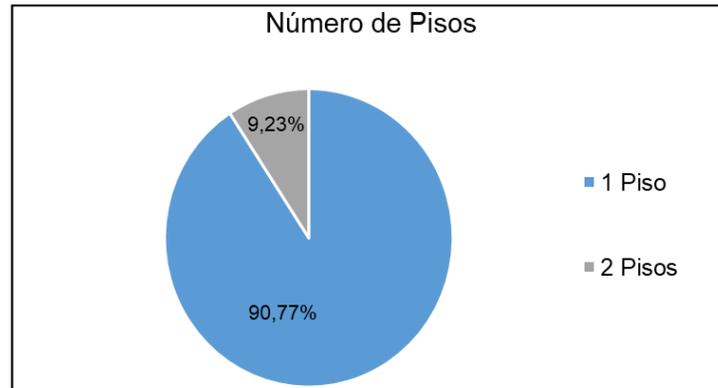
Es la distribución vertical de una construcción, correspondiente a la cantidad de niveles con los que cuenta una edificación. A continuación Tabla 110 se presentan los pesos utilizados para evaluar esta variable

**Tabla 110. Pesos - Parámetro: Número de pisos.**

Parámetro	Calificación
1	0,20
2	0,30
3	0,40
4	0,50
5	0,70
>5	0,80

**Fuente: Geocing SAS.**

En términos generales, las encuestas realizadas para el presente estudio arrojaron que el 90,77% de las edificaciones son estructuras de 1 sólo piso y el 9,23% son de 2 pisos. A continuación en la Ilustración 215 se presenta la distribución de esta variable:



**Ilustración 215. Distribución de las edificaciones encuestadas según su número de pisos.**  
**Fuente: Geocing SAS.**

• **Forma de construcción**

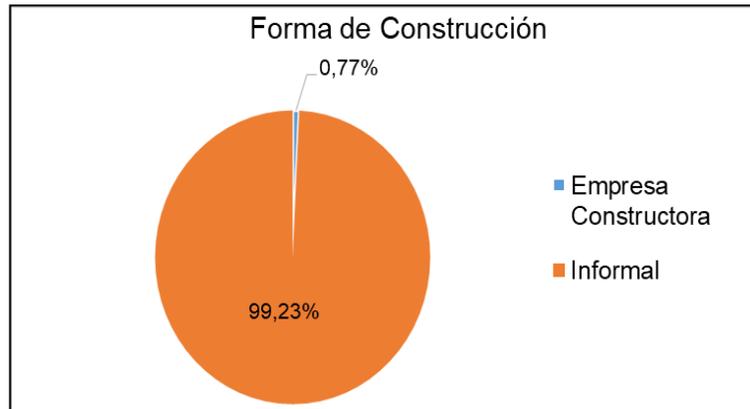
Es la metodología, materiales y técnicas utilizadas en el proceso de constructivo de un inmueble, para este estudio se consideraron tres identificadores, en la Tabla 111 se presentan las calificaciones asignadas:

**Tabla 111. Pesos - Parámetro: Forma de construcción.**

Parámetro	Calificación
Empresa Constructora	0,2
Prefabricado	1,0
Informal	0,4

**Fuente: Geocing SAS.**

Se encontró que EL 99,23% corresponden a construcciones informales y únicamente el 0,77% de las edificaciones encuestadas fueron construidas por una empresa constructora. En la Ilustración 216 se presenta la distribución de esta variable.



**Ilustración 216. Distribución de las edificaciones encuestadas según su forma de construcción.**  
**Fuente: Geocing SAS.**

- **Tipo de entrepiso**

Las losas o placas de entrepiso son los elementos rígidos que separan un piso de otro, construidos monolíticamente o en forma de vigas sucesivas apoyadas sobre muros estructurales, el tipo del entrepiso se determina de acuerdo al tipo de materiales utilizados y procesos constructivos, en esta oportunidad se planteó la posibilidad de que se pudieran presentar en la zona de estudio entrepisos de madera, metálicos, concreto reforzado u otros.

Se analizaron cada uno de los parámetros considerados y la Tabla 112 enseña los pesos seleccionados para cada tipo de entrepiso:

**Tabla 112. Pesos – Tipo de entrepiso.**

Parámetro	Calificación
Metálico	0,4
Madera	0,8
Concreto reforzado	0,1
No aplica	0,0

**Fuente: Geocing SAS.**

Según la información recolectada en las encuestas, se observó que el 91,7% de las viviendas que presentan entrepiso lo tienen en concreto, seguido de entrepiso en madera con un 8,3%. Es importante destacar que las edificaciones que

presentan entrepiso corresponden al 9,23% del 100% de las viviendas encuestadas. En la Ilustración 217 se presenta la distribución de esta variable.

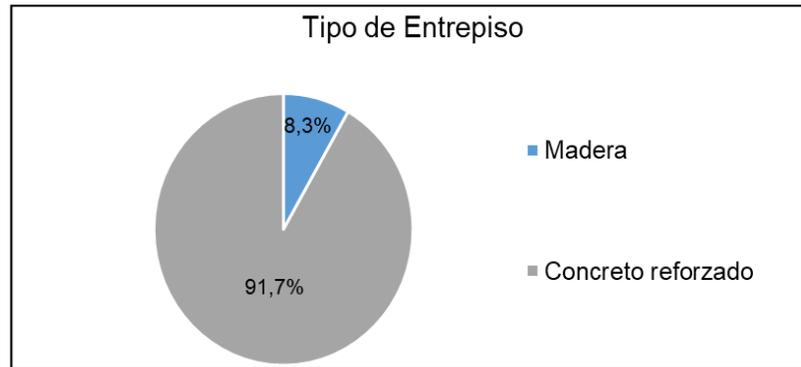


Ilustración 217. Distribución de las edificaciones encuestadas según su tipo de entrepiso.  
Fuente: Geocing SAS.

#### • Tipo de cubierta

Son módulos de cerramiento superior, que resguardan las estructuras de agentes externos. Se clasificaron los materiales utilizados en la zona de estudio como zinc, asbesto cemento, concreto, teja plástica u otros.

Se analizaron cada uno de los parámetros considerados y la Tabla 113 muestra los pesos seleccionados para evaluar el tipo de cubierta:

Tabla 113. Pesos - Parámetro: Tipo de Cubierta.

Parámetro	Calificación
Zinc	0,4
Concreto	0,2
Teja Plástica	0,8
Asbesto Cemento	0,6
Otro (Teja Barro y plástico)	0,9

Fuente: Geocing SAS

Se evidenció que el tipo de cubierta de las edificaciones se distribuye en su mayoría en Zinc con un 96,9%, seguido del 3,1% de otro tipo de material (teja de barro). La Ilustración 218. Distribución de las edificaciones encuestadas según su tipo de cubierta. Muestra la distribución del tipo de cubierta de las edificaciones.

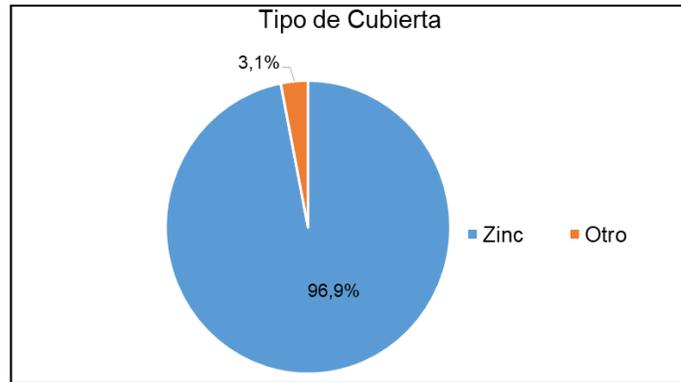


Ilustración 218. Distribución de las edificaciones encuestadas según su tipo de cubierta.  
Fuente: Geocing SAS.

### • Sistema estructural

Un sistema estructural es el modelo físico que sirve de marco para los elementos estructurales, y que refleja un modo de trabajo o configuración de la estructura. Un inmueble puede tener, a su vez, una mezcla de sistemas estructurales. Pueden clasificarse por su campo de actuación, sistema de trabajo, metodología y materiales utilizados, en esta oportunidad se consideraron los siguientes sistemas, parámetros que se analizaron y luego del cálculo de los pesos, se obtuvo una calificación como se muestra Tabla 114

Tabla 114. Pesos - Parámetro: Sistema Estructural.

Parámetro	Calificación
Pórtico	0,2
Prefabricado	0,4
Mampostería Estructural	0,2
Madera	0,9
Mixto	0,8
Muro portante confinado	0,2
Muro portante NO confinado	0,9

Fuente: Geocing SAS.

Los resultados de las encuestas realizadas arrojan que el 71,54% de las edificaciones presentan muro portante no confinado, con el 13,85% se

identificaron viviendas con otro tipo de sistema estructural como bahareque, el 6,92% sistema mixto, el 2,31% edificaciones en madera y finalmente con el 0,77% se identificaron viviendas con sistema estructural de pórticos. La distribución de esta variable se presenta en la Ilustración 117.

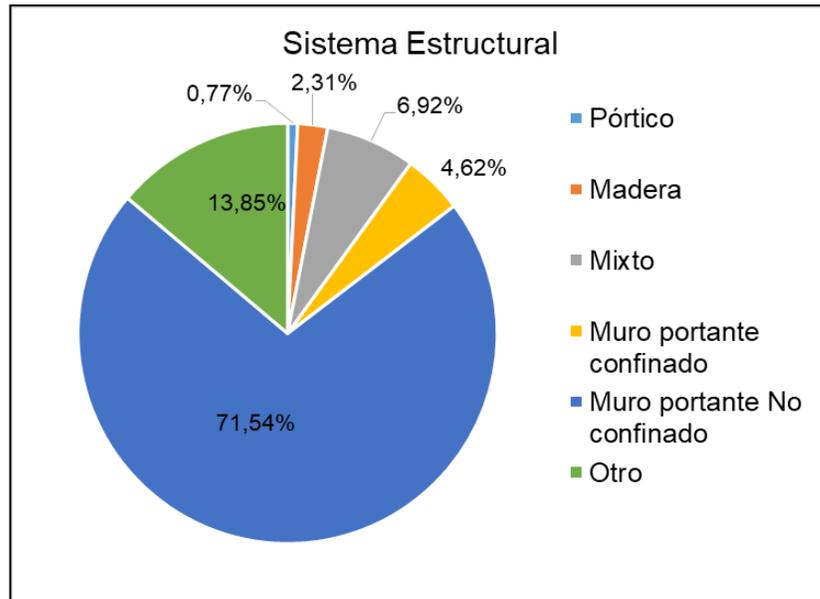


Ilustración 219. Distribución de las edificaciones encuestadas según su sistema estructural.  
Fuente: Geocing SAS.

### • Estado del inmueble

De acuerdo a las características y condiciones actuales de los predios se realizó una categorización de cada uno, se dio una apreciación entre bueno, regular o malo, parámetros que se analizaron y luego del cálculo de los pesos, se obtuvo una calificación descrita

Tabla 116:

Tabla 115. Pesos - Parámetro: Estado del inmueble.

Parámetro	Calificación
Bueno	0,2
Regular	0,5
Malo	0,8

Fuente: Geocing SAS.

La mayoría de las edificaciones se encuentran en estado bueno con un 68,46%, seguido de estado regular con un 23,85% y por último estado malo con un 7,69%. La distribución de esta variable se presenta en la siguiente ilustración.

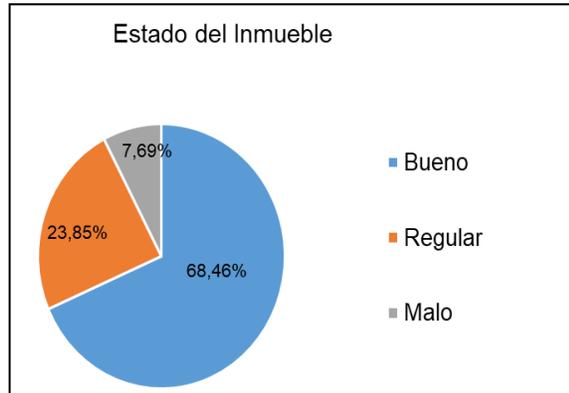


Ilustración 220. Distribución de las edificaciones encuestadas según tipo de daño.  
Fuente: Geocing SAS.

#### • Daños en toda la construcción

En la inspección y revisión de los predios se identifican los signos de daños presentes en las estructuras tales como fisuras, grietas, desprendimientos y niveles de humedad, los cuales evidencian los cambios en las condiciones y estabilidad de las estructuras. De acuerdo a lo anterior se determinó la siguiente calificación para las patologías evaluadas en los muros, pisos, techos, vigas y columnas:

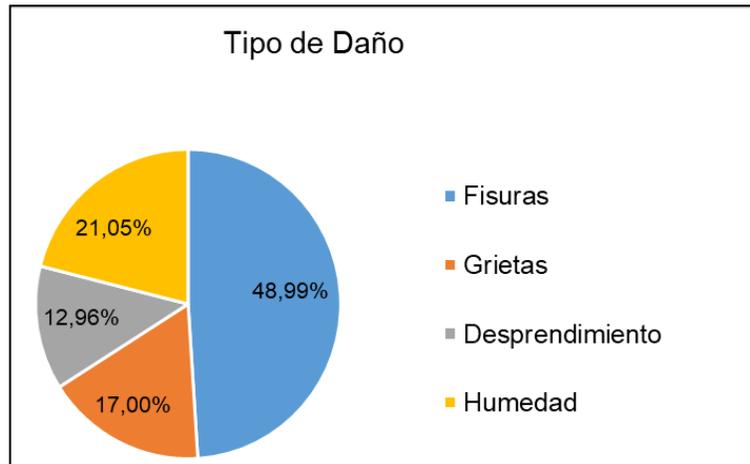
Tabla 116. Pesos ponderados - Parámetro: Daños en toda la construcción.

Parámetro	Calificación
Fisuras	0,1169
Grietas	0,2599
Desprendimiento	0,5395
Humedad	0,0837

Fuente: Geocing SAS.

Las edificaciones encuestadas sólo se distribuyen entre 4 tipos de daños propuestos por la presente consultoría. Los porcentajes de los daños presentes en las edificaciones encuestadas se encuentran distribuidos de la siguiente forma: un 48,99% presentan fisuras, el 21,05% se identificaron viviendas con

desprendimiento (12,96%) y finalmente el 17,00% de las edificaciones tienen grietas. La distribución de esta variable se presenta en la siguiente ilustración



**Ilustración 221. Distribución de las edificaciones encuestadas según tipo de daño.**  
Fuente: Geocing SAS.

Adicionalmente y como complemento a lo expuesto anteriormente en la Tabla 117 y Tabla 118 se presenta la calificación de los tipos de daños dependiendo de su localización en las estructuras. Se consideran estos parámetros porque dependiendo de su ubicación pueden afectar en gran medida o no a la estabilidad de la estructura.

**Tabla 117. Pesos – Parámetro Localización de los Agrietamientos en la Estructura de la edificación.**

Parámetro	Calificación
Sin agrietamientos	0,0
Muros	0,7
Columnas	1,0
Vigas	1,0
Pisos	0,2
Techo	0,3

Fuente: Geocing SAS.

**Tabla 118. Pesos – Parámetro Localización de las Humedades en la Estructura de la edificación.**

Parámetro	Calificación
Sin humedad	0,0
Muros	0,4

	<b>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</b>
	<b>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</b>

Parámetro	Calificación
Columnas	0,8
Techo	0,3

Fuente: Geocing SAS.

Según los resultados obtenidos en las encuestas, las viviendas encuestadas en su mayoría no presentan agrietamientos (61,31%); las viviendas en donde se identificaron 27,74%, pisos con un 8,76%, techo 1,46% y columnas con el 0,73%. En cuanto a la humedad, el 55,30% de las edificaciones no presentan humedad; las humedades que se identificaron en las viviendas se encuentran localizadas así: el 43,18% de las humedades se encuentran en los muros y el 1,52% en el techo. Las siguientes ilustraciones indican la distribución de las viviendas según la localización de las grietas y humedades.

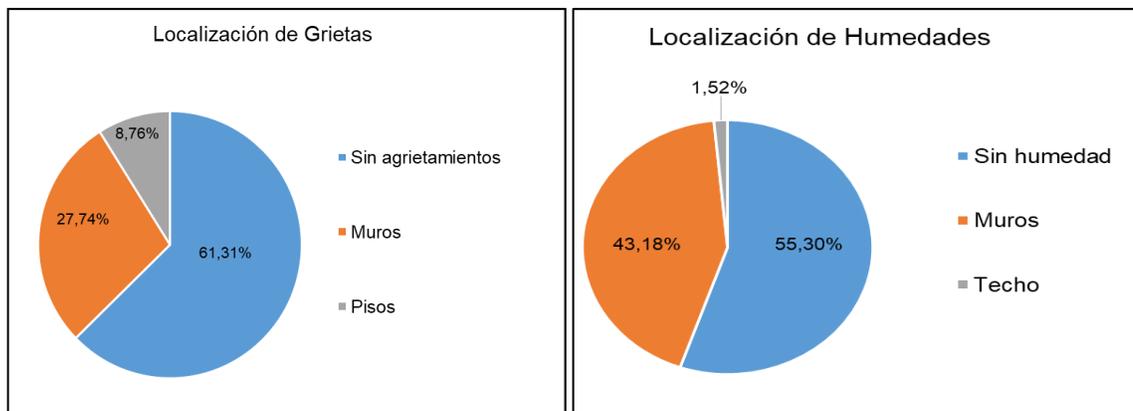


Ilustración 222. Distribución de las edificaciones encuestadas.

Fuente: Geocing SAS.

### • Severidad de Daños en toda la construcción

En la inspección y revisión de los predios se identifican los signos de daños presentes en las estructuras tales como fisuras, grietas, desprendimientos y niveles de humedad, los cuales evidencian los cambios en las condiciones y estabilidad de las estructuras. De acuerdo a lo anterior se determinó la siguiente calificación para evaluar las severidades medias y altas que presentan los inmuebles de acuerdo con el número aproximado de grietas que se observaron en su estructura.

Tabla 119. Pesos - Parámetro: Severidad de Daños.

Parámetro	Calificación
Bajo	0,2
Medio	0,5
Alto	0,8

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

Fuente: Geocing SAS.

Según la información recolectada de las edificaciones que presentan daños, se observa que el 85,88% de las edificaciones presentan daños con severidad baja, el 13,85% en categoría media y el 0,77% restante presentan severidad media. En la siguiente ilustración se presenta la distribución de esta variable.

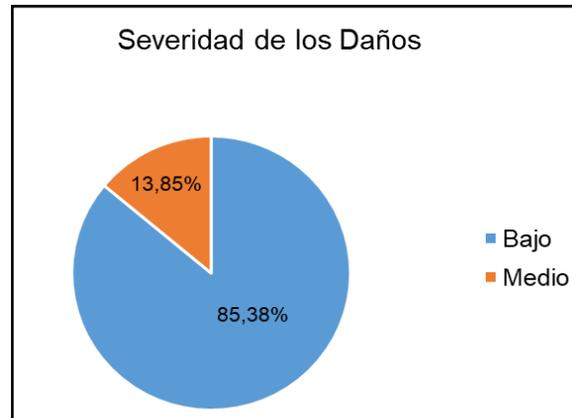


Ilustración 223 Distribución de las edificaciones encuestadas según la severidad de daños.

Fuente: Geocing SAS.

### • Tipología de la vivienda

El tipo de vivienda y sus características físicas se analizarán dentro del contexto de la vulnerabilidad física, las construcciones en sí mismas, son indicativos de la calidad de vida de los habitantes, por lo cual se determinó la siguiente calificación para cada uno de los parámetros de acuerdo a su influencia en la condición de vulnerabilidad:

Tabla 120. Pesos - Parámetro: Tipología de la vivienda.

Parámetro	Calificación
B1	1
B2 (mampostería)	0,7
B2 (prefabricado)	0,6
B3	0,4
B4	0,2

Fuente: Geocing SAS

A continuación se presentan algunas imágenes de las tipologías encontradas en el presente estudio.



**Ilustración 224. Vivienda Tipología B1 (Vivienda en materia reciclaje).**  
Fuente: Geocing SAS.

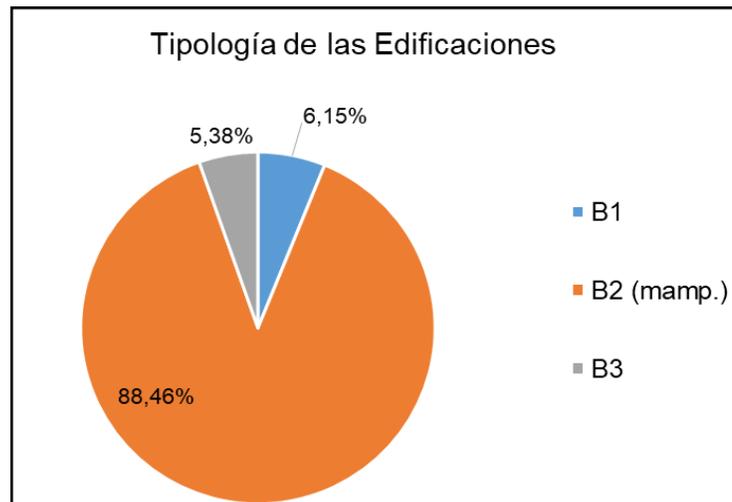


**Ilustración 225. Vivienda Tipología B2 (Vivienda en mampostería sin estructura).**  
Fuente: Geocing SAS.



**Ilustración 226. Vivienda Tipología B3 (Edificaciones hasta de dos (02) niveles de buena calidad de construcción (con estructura).  
Fuente: Geocing SAS.**

En la Ilustración 227 se presenta la tipología de la infraestructura de la zona de estudio; información que fue obtenida a partir de las encuestas realizadas en campo.



**Ilustración 227. Tipología de Viviendas.  
Fuente: Geocing SAS.**

Como se puede observar la tipología con mayor porcentaje es la B2 Mampostería (88,46%) correspondiente a 115 viviendas, tipología B1 (6,15%) se identificaron 8 viviendas y finalmente B3 (5,38%) con 7 viviendas.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

### • Cálculo del Índice de Daño Actual

Una vez se tiene la calificación de cada uno de los parámetros considerados, se les asigna un peso de importancia con la metodología AHP y se realiza una suma ponderada de estos valores para calcular el índice de daño potencial. En la Tabla 121 se presenta los pesos ponderados calculados para las variables evaluadas en la vulnerabilidad física por inundaciones.

**Tabla 121. Pesos de los parámetros evaluados para calcular el índice de daño actual.**

Vector de pesos finales	Vector de pesos
No. De Pisos	0,026
Forma de Construcción	0,055
Tipo de Entrepiso	0,040
Cubierta	0,041
Sistema Estructural	0,241
Estado del inmueble	0,082
Daños en toda la construcción	0,142
Severidad de daños	0,181
Tipo de Vivienda	0,192

Fuente: Geocing SAS.

### • Categorización del Índice de vulnerabilidad física (IVF)

Para la categorización del IVF se proponen tres (3) niveles de gravedad relativa o consecuencias del evento sobre el sistema (Nivel I a Nivel III), de acuerdo a la calificación del IVF tal como se puede ver en la Tabla 122.

**Tabla 122. Categorización del índice de vulnerabilidad física.**

GRAVEDAD RELATIVA		IVE <sub>90</sub>	DESCRIPCIÓN
<b>I</b>	<b>Baja</b>	0,00 – 0,35	Las consecuencias no afectan el funcionamiento del sistema; pérdidas o daños despreciables.
<b>II</b>	<b>Media</b>	0,35 – 0,65	Las consecuencias afectan parcialmente al sistema en forma grave; pérdidas o daños moderados.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

GRAVEDAD RELATIVA	IVE <sub>90</sub>	DESCRIPCIÓN
<b>III</b> <b>Alta</b>	0,65 – 1,00	Las consecuencias afectan en forma total al sistema; pérdidas o daños de gran magnitud.
	<b>IVF<sub>90</sub></b>	<b>INDICE DE VULNERABILIDAD FÍSICO</b> <b>CONFIANZA DEL 90%</b>

Fuente: Geocing SAS.

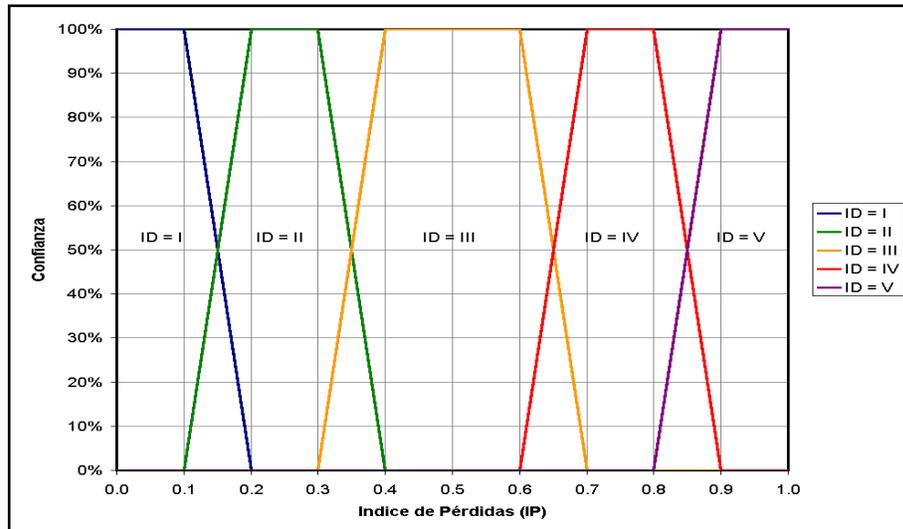
- **Índice de vulnerabilidad física (IVF)**

El índice de vulnerabilidad física refleja la exposición y la sensibilidad que tienen los elementos expuestos a unas condiciones peligrosas y su habilidad, capacidad y resiliencia para afrontar y adaptarse a los efectos de estas condiciones. Las características de la naturaleza de la exposición y el grado en que los elementos expuestos lo experimentan dependen de las características de los eventos y de los mismos elementos expuestos los cuales presentan cierto grado de incertidumbre.

El Índice de Vulnerabilidad Física lo define Soler et al. (2015) como la relación matemática entre el índice de daño actual (IDa) y el índice de daño potencial (IDp) de la siguiente manera:

$$IVF = IDa + IDp - (IDa \times IDp)$$

El índice de daño potencial se describe en las anteriores secciones y debido a que se estudian dos fenómenos amenazantes, existen dos tipos diferentes de índices de daño potencial; el calculado para los movimientos en masa y el calculado para las inundaciones. Por otro lado, el índice de daño actual representa la evaluación del estado actual de la estructura. Ambos índices se calculan por medio de la información obtenida de las encuestas, visitas de campo y modelaciones realizadas.



**Ilustración 228. Valoración del ID (potencial y actual) utilizando conjuntos difusos.**  
**Fuente: Geocing SAS.**

**Tabla 123. Números difusos utilizados para valorar el ID (potencial y actual) con una confianza del 100%**

ID (Actual o Potencial)	Definición Del Número Difuso Trapezoidal			
	Valor Mínimo	Valor Medio Bajo	Valor Medio Alto	Valor Máximo
I	0,00	0,00	0,10	0,20
II	0,10	0,20	0,30	0,40
III	0,30	0,40	0,60	0,70
IV	0,60	0,70	0,80	0,90
V	0,80	0,90	1,00	1,00

**Fuente: Geocing SAS.**

- **Predicción de datos faltantes índice de Vulnerabilidad Física**

Para obtener los resultados que se presentan en las secciones anteriores, se encuestaron un total de 130 predios. Esta muestra es estadísticamente representativa de las edificaciones que se encuentran en la zona crítica de la zona de estudio urbana y su información presenta un nivel de confianza del 90% con un error del 7,2%.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b>

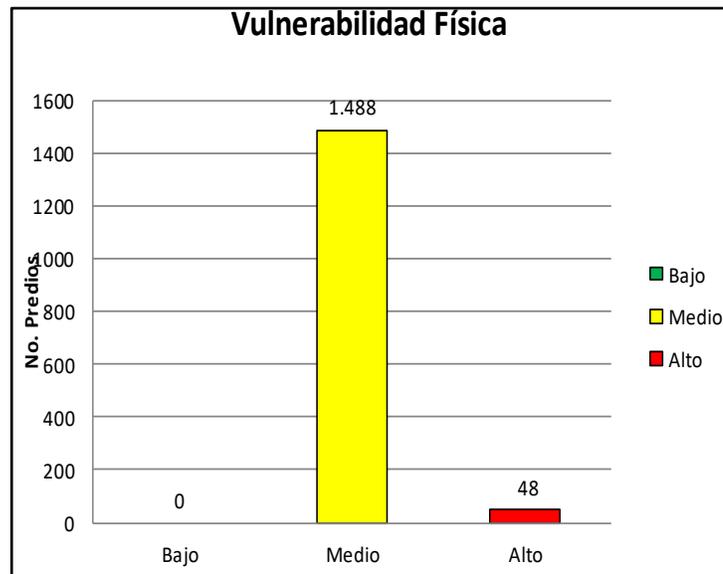
Sin embargo, para obtener un panorama general de la zona de estudio se extrapolaron los datos para hallar la información de los predios faltantes. El procedimiento que se utilizó fue el de asignar el promedio de la vulnerabilidad física de las edificaciones encuestadas a cada predio faltante de la zona de estudio. Esto se realiza suponiendo que los predios en cada barrio poseen un índice de vulnerabilidad muy similar dado que no se presentan grandes diferencias en sus aspectos físicos y estructurales.

#### **15.2.4 Análisis de resultados vulnerabilidad física por movimientos en masa**

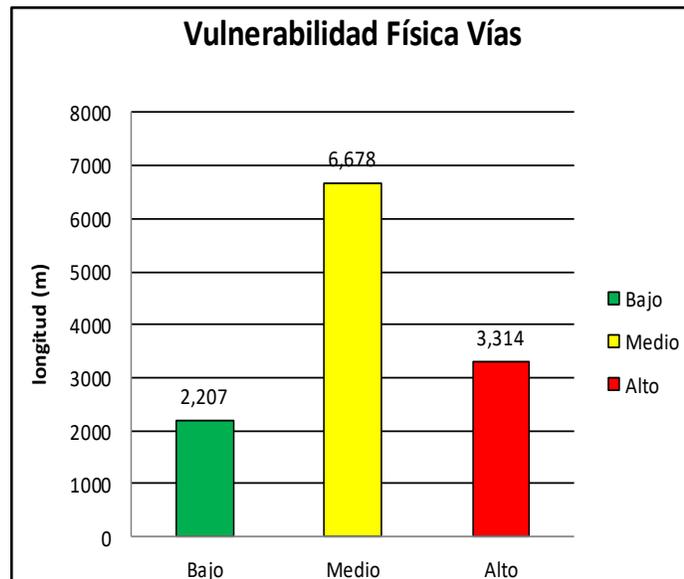
La vulnerabilidad física se estableció a partir de la metodología presentada en el capítulo 15.2.1, según la cual se evaluaron los elementos expuestos ante un movimiento en masa (Viviendas, vías y puentes). Esta metodología se aplica para aquellos elementos expuestos que según el análisis de estabilidad realizado presenta amenaza por este evento y los categoriza con vulnerabilidad baja y alta, por el índice de daño potencial el cual es calculado a partir de la sollicitación y la tipificación de la estructura, y sirve como insumo para calcular la categoría de riesgo correspondiente.

Se encuentran 1.535 predios categorizados ante un movimiento en masa, principalmente en la categoría de vulnerabilidad física media con el 96,9% (1.488 predios) del total de las construcciones, del restante correspondiente al 3,1% (48 predios) se categoriza con vulnerabilidad física alta tal como se logra identificar en la Ilustración 229.

La categorización de los predios se debe principalmente a las condiciones en las cuales fueron construidos, ya que se logró identificar que los predios no presentan daños considerables en su infraestructura que lleven a presentar una alta vulnerabilidad física; mientras que la categoría media se debe a la longevidad y el sistema estructural de los predios, el cual no es sismo resistente y no cumple con la NSR-10.



**Ilustración 229. Vulnerabilidad física predios Teruel- movimientos en Masa.**  
Fuente: Geocing SAS.



**Ilustración 230. Vulnerabilidad Física vías Teruel- movimientos en masa.**  
Fuente: Geocing SAS.

La totalidad de las vías se encuentran categorizadas con vulnerabilidad física por movimientos en masa, lo cual representan una longitud de 12,20 Km de los cuales predomina una categoría media con el 54,7% que corresponde a 6,7 Km, el restante correspondiente al 45,3%, el 27,2% se encuentra en categoría alta (3,3 Km) y el 18,1% en categoría baja (2,2 Km), como se logra identificar en la Ilustración 230.



ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

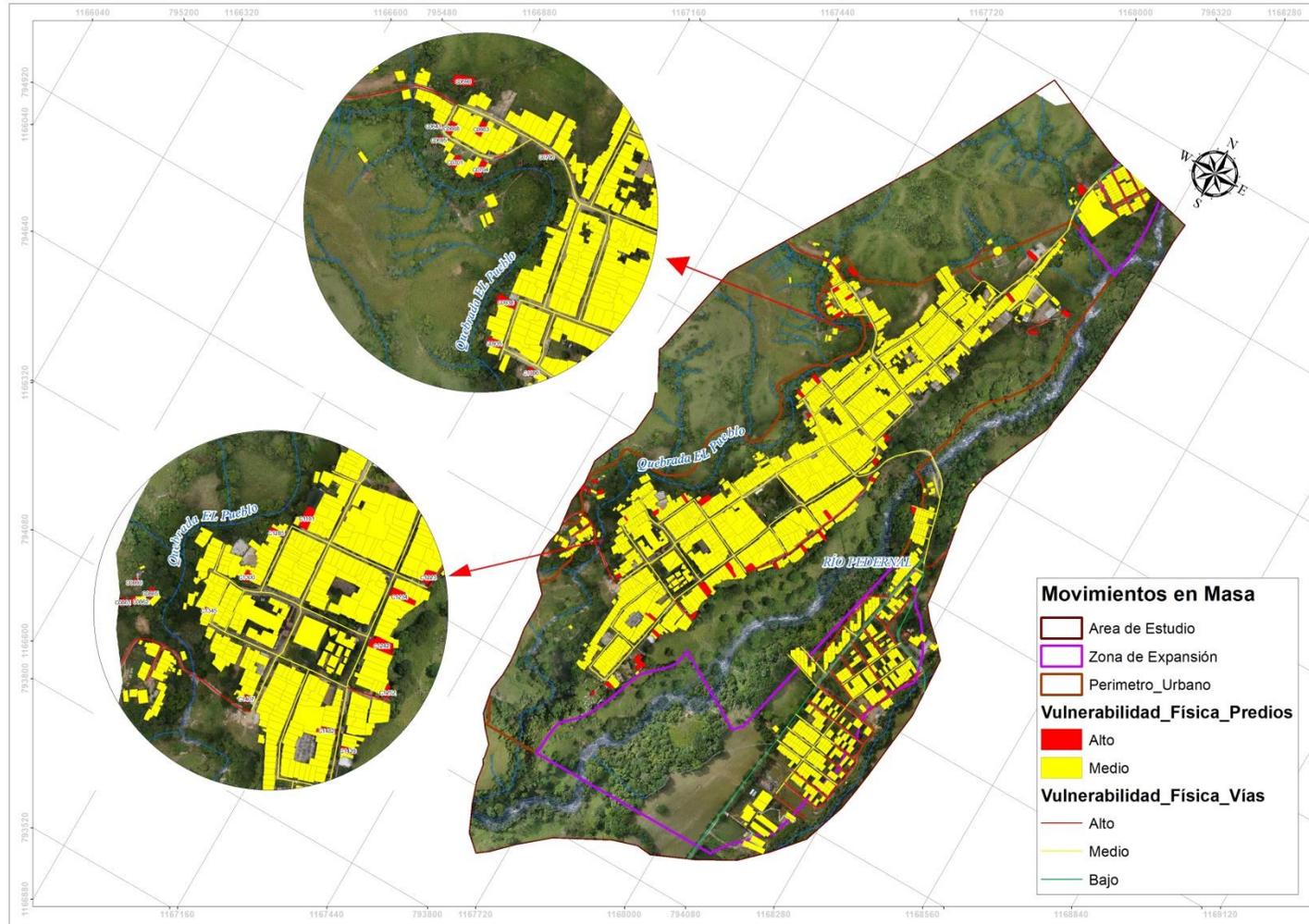
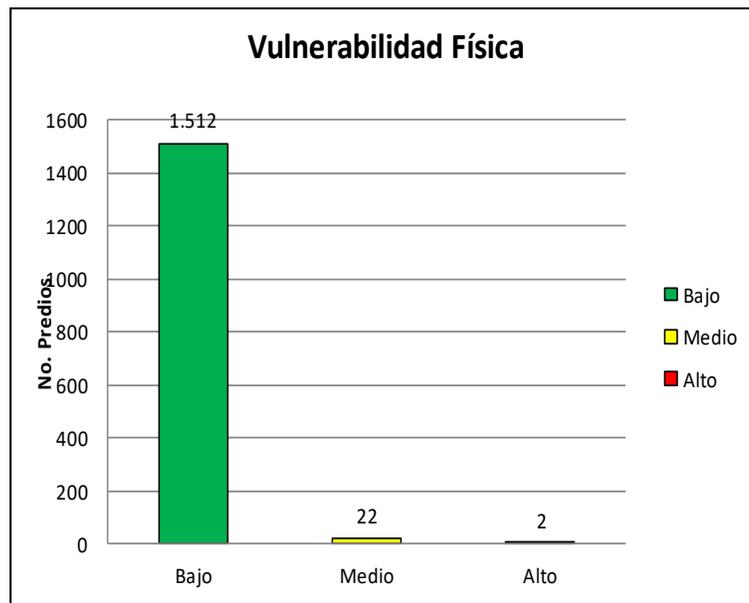


Ilustración 231. Mapa de vulnerabilidad física por movimientos en masa.

Fuente: Geocing SAS.

### 15.2.5 Análisis de resultados vulnerabilidad física por inundaciones

La vulnerabilidad física por inundaciones se obtuvo a partir de la metodología establecida en el capítulo 15.2.2, donde a partir de los valores correspondientes a altura y velocidad del flujo se evaluó la afectación que presentarían los elementos expuestos (Predio, puentes y vías).

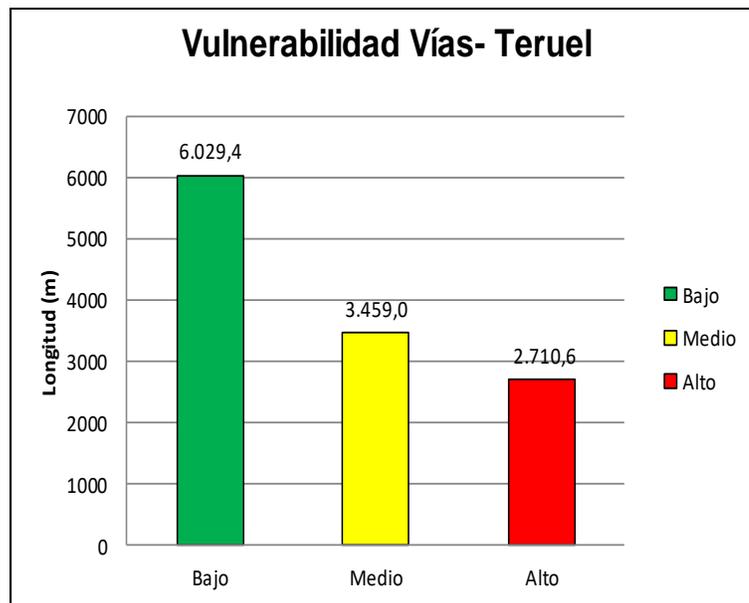


**Ilustración 232. Vulnerabilidad Física predios - Inundación.**  
Fuente: Geocing SAS.

Según los resultados correspondientes a la modelación de la inundación se establecieron aquellos elementos expuestos que presentarían afectación (ver Ilustración 232) estableciendo que los 1.536 predios que se verían afectados; al identificar los elementos expuestos se evaluaron las condiciones en las cuales se encuentran los predios y la forma en la cual fueron construidos, para establecer como se comportaría ante la velocidad y altura del flujo correspondiente a la zona donde se encuentran ubicados; según lo anterior 1.512 predios se categorizaron con vulnerabilidad física baja debido a que se encuentran a más de 20 metros de ronda del río Pedernal, la quebrada El Pueblo, quebrada Las Moyas, y de los 3 metros aledaños a las acequias y canales sin nombre que corresponden a las modelaciones para los periodos de retorno de 100 y 500 años (Amenaza alta y media), donde se presentan las mayores alturas de lámina de agua y velocidades, adicionalmente, el estado de los predios no representaban una condición de mayor vulnerabilidad. De los 24 predios categorizados con vulnerabilidad física

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

media y alta, 22 se encuentran ubicados en las laderas de los drenajes que corresponden a acequias o canales por lo que las alturas de lámina de agua y velocidad representan una vulnerabilidad física media, a diferencia de los 2 predios categorizados con vulnerabilidad física alta los cuales se ubican a menos de 6 metros de la quebrada El Pueblo, que es una zona en la que la altura de la lámina de agua y la velocidad generan una mayor afectación en los predios.



**Ilustración 233. Vulnerabilidad Física vías - Inundación.**  
Fuente: Geocing SAS.

La totalidad de la malla vial se encuentra expuesta ante una inundación (ver Ilustración 233), identificando que predomina la categorización de vulnerabilidad física baja, se identificó 3,46 Km en vulnerabilidad física media (28,3%), en la categoría alta se identificó una longitud de 2,7 Km (22,2%), esto se debe a que en el municipio se presentan vías con un estado actual precario y de tipo VU-4, lo que genera unas condiciones que posibilitan una mayor afectación para las vías en caso de presentarse una inundación. Los 6,03 Km de vías categorizados con vulnerabilidad física baja se caracterizan por ser vías que presentan un estado actual bueno, sin huecos u ondulaciones por lo cual al estar expuestos a una inundación no presentarían afectaciones considerables



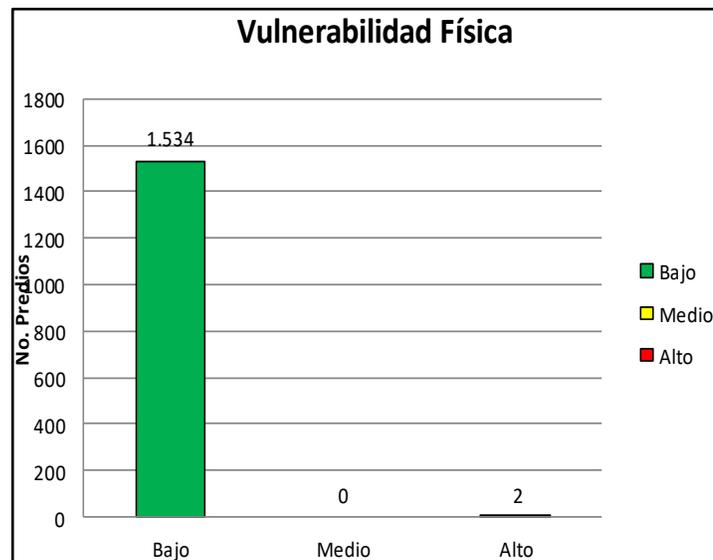
Ilustración 234. Mapa de vulnerabilidad física por inundación municipio de Teruel.

Fuente: Geocing SAS.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

### 15.2.6 Análisis de resultados vulnerabilidad física por avenida torrencial

La vulnerabilidad física por avenidas torrenciales se evaluó a partir de la metodología propuesta en el numeral 0, donde se establecen las diferentes fuerzas que implican una afectación en los elementos expuestos (Predios, puentes y vías), a partir de los resultados de altura y velocidad del flujo; estos son comparados con los datos recopilados sobre las condiciones actuales del predio, donde se evalúa la resistencia que este tendría ante un evento de estos. Los elementos expuestos evaluados fueron aquellos que en el análisis de los resultados correspondientes a la amenaza por avenidas torrenciales se verían afectados ante un evento de estos, debido a que el flujo alcanza una altura en la cual los elementos serían afectados.

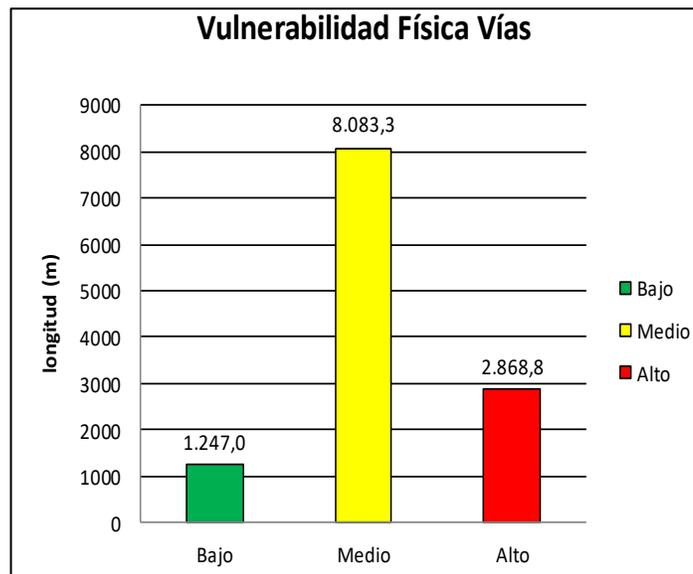


**Ilustración 235. Vulnerabilidad física predios Teruel- Avenida Torrencial.**  
**Fuente: Geocing SAS.**

La totalidad de los predios ubicados en el municipio corresponde a 1.536 los cuales presentan vulnerabilidad física por avenidas torrenciales, del total, 1.534 predios se encuentran categorizados con vulnerabilidad física baja (99,9%), debido a que estos no se ubican en los primeros 6 metros de ronda del río Pedernal y la quebrada El Pueblo que es la zona de mayor afectación en caso de una avenida torrencial, y dado que los predios no presentan daños físicos considerables que conlleven que al estar expuestos a una altura de lámina de agua y la velocidad para un evento de un periodo de retorno de 1000 años se pueda generar un daño considerable. Los 2 predios restantes se encuentran

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

categorizados con vulnerabilidad física alta (0,1%), los cuales se ven principalmente afectados por la proximidad que presentan con la quebrada El Pueblo y el Río Pedernal, ya que es la zona donde el evento alcanza las mayores alturas y velocidades, que en conjunto con los materiales arrastrados (Detritos, palos) y una condición en la cual la longevidad y sistema estructural de las construcciones conllevan a presentar un aumento en la vulnerabilidad física de los mismos (Ver Ilustración 235).



**Ilustración 236. Vulnerabilidad Física vías Teruel- Avenida Torrencial.**  
Fuente: Geocing SAS.

Los 12,20 Km de malla vial ubicados se encuentran categorizados con vulnerabilidad física por avenidas torrenciales, del total el principal tramo se encuentra en la categoría de vulnerabilidad física media con 8,1Km, seguido de vulnerabilidad física alta con una longitud de 2,9 Km y con un tramo de 1,2 Km se estableció un tramo en vulnerabilidad total baja, como se logra identificar en la Ilustración 236, esto debido principalmente al estado y tipo de vía ubicados en el municipio, donde predominan vías terciarias.

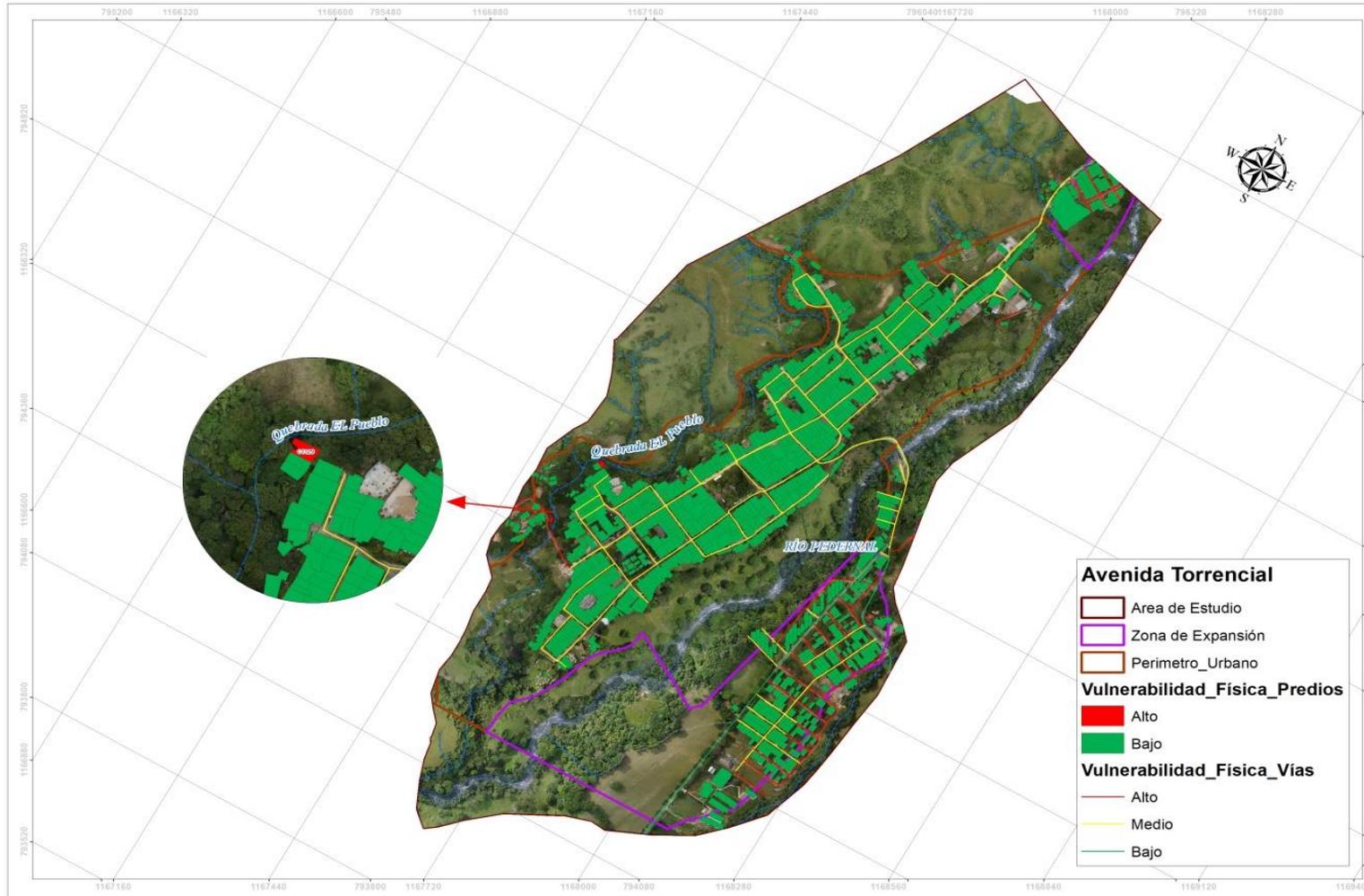


Ilustración 237. Mapa de vulnerabilidad física por avenida torrencial.

Fuente: Geocing SAS.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

### 15.3 ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SOCIAL

Utilizando el método AHP se valoran variables que se consideren aplicables para determinar la vulnerabilidad social como y que midan entre otras variables la resiliencia de la comunidad ante la ocurrencia de eventos desastrosos como el caso de los deslizamientos o inundaciones.

La amenaza está asociada a deslizamientos asociados a la erosión hídrica, inundaciones y eventuales avalanchas, en especial en zonas residenciales que están cerca de quebradas, ríos o taludes, donde las condiciones geotécnicas podrían ser desfavorables y susceptibles de control mediante obras de ingeniería.

Los estudios muestran que el crecimiento acelerado de los asentamientos ubicados junto a fuentes hídricas no permiten garantizar la estabilidad de proyectos de desarrollo urbano por lo tanto, cualquier obra civil ubicada en esta área, podría ser afectada. De igual forma se debe trabajar de la mano con las poblaciones que viven en las zonas afectadas, conocer sus necesidades ya que son los principales actores del entorno e informan sobre las condiciones en las que se encuentran los taludes más cercanos y la zona en general.

El presente capítulo hace referencia a la importancia de los temas sociales y del acompañamiento de la comunidad inmersa en la problemática para buscar soluciones viables y hacerlas parte de ella. Es importante resaltar que en la zona de estudio se llevaron a cabo una serie de encuestas; de las cuales la información social corresponde al 20,51% de un total de 117 encuestas; por lo tanto fue necesario realizar un complemento utilizando la información disponible en el DANE, mediante el Sistema de Consulta Información Censal – Censo General 2005. La información encontrada, presenta como menor unidad geográfica la manzana, por consiguiente, dichos análisis se realizaron para las manzanas que componen el casco urbano. En el  se presenta la base de la información utilizada para el análisis.

#### • Vulnerabilidad Cultural

La vulnerabilidad cultural se encuentra relacionada con los patrones de pensamiento y medidas con los que diferentes grupos de diversidad cultural entienden los fenómenos sociales. Estos patrones generalmente afectan el modo de respuesta de estos grupos ante los riesgos. Los parámetros de evaluación para la vulnerabilidad Cultural utilizados fueron:

- Comunidades étnicas.
- Familias desplazadas.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

La categorización utilizada durante el estudio de estas variables se presenta a continuación:

**Tabla 124. Categorización de los parámetros para la vulnerabilidad cultural.**

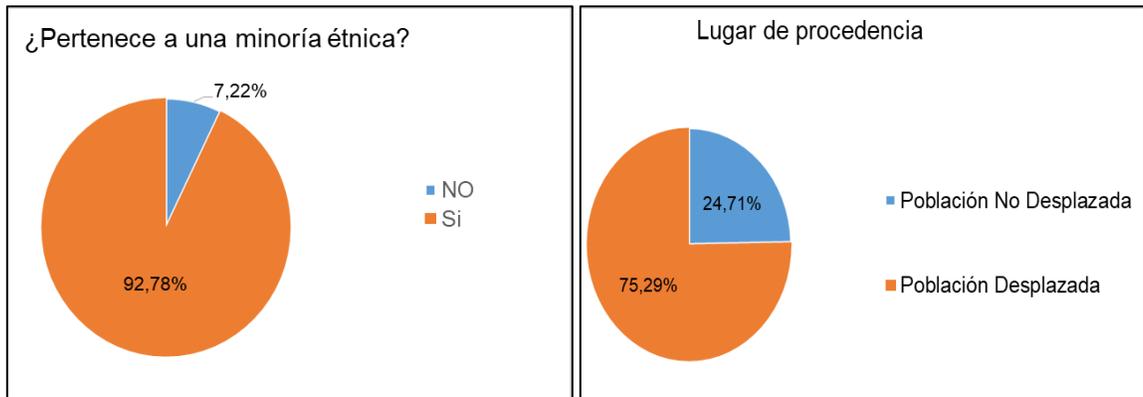
GRAVEDAD RELATIVA		IVC <sub>90</sub>	DESCRIPCIÓN
<b>I</b>	<b>Insignificante</b>	0,00-0,20	No se encuentran personas en las viviendas de grupos de diversidad cultural
<b>II</b>	<b>Marginal</b>	0,20-0,50	Se encuentran pocas personas en las viviendas de grupos de diversidad cultural
<b>III</b>	<b>Grave</b>	0,50-0,70	Se encuentran algunas personas en las viviendas de grupos de diversidad cultural
<b>IV</b>	<b>Critica</b>	0,70-0,90	Se encuentran varias personas en las viviendas de grupos de diversidad cultural
<b>V</b>	<b>Catastrófica</b>	0,90-1,00	La mayoría de integrantes de las viviendas pertenecen a grupos de diversidad cultural
		<b>IVC<sub>90</sub></b>	<b>INDICE DE VULNERABILIDAD CULTURAL CONFIANZA DEL 90%</b>

Fuente: Geocing SAS.

### • Comunidades Étnicas y Lugar De Procedencia

El lugar de procedencia étnica de una población y si pertenece o no a una comunidad, corresponde a un parámetro categórico en donde existen dos únicos valores: si o no. Una población que ha sido desplazada resulta ser vulnerable debido a que ellos presentaron necesidades muy serias en cuanto a alojamiento, acceso a medios de vida, y a menudo a los servicios públicos. Adicionalmente, son vulnerables en cuanto a que son víctimas de la violencia, a su seguridad y situación socioeconómica. En comparación con las personas que no son víctimas del desplazamiento, los desplazados tienen un número de hogares encabezados por mujeres por encima del promedio. Las personas que proceden de comunidades de minoría étnica presentan también una vulnerabilidad alta frente a lo que no lo son, dado que son grupos que tradicionalmente se encuentran en desventaja. Adicionalmente otro factor que suma a la alta vulnerabilidad de las personas provenientes de las minorías étnicas es que algunas de estas personas aceptan correr cualquier riesgo confiando en su buena suerte o explican los desastres naturales y sus consecuencias como la acción de fuerzas dañinas inevitables.

Según las encuestas aplicadas e información recopilada, el 75,29% de la población ha sido desplazada de sus hogares en algún momento de sus vidas, el 92,78% de la población pertenecen a una minoría étnica. En las siguientes ilustraciones se presentan las distribuciones de las variables culturales.



**Ilustración 238 Distribución de la población por Lugar de Procedencia y por Pertenencia a una Minoría Étnica.**

Fuente: Geocing SAS.

Para su análisis, se le asignó un peso de importancia a cada parámetro por persona (Ver Tabla 125). Después se realizó una suma ponderada de estos valores por predio y su producto se categorizó. A continuación, se presenta la categorización asignada a la población de acuerdo con su lugar de procedencia o si pertenecen a una minoría étnica.

**Tabla 125. Valoración de los parámetros Comunidades étnicas y Lugar de Procedencia**

¿PERTENECE USTED A UNA MINORÍA ÉTNICA LEGALMENTE CONSTITUIDA?	
Si	1
No	0
¿USTED O SU FAMILIA, SON PERSONAS DESPLAZADAS POR LA VIOLENCIA?	
Si	1
No	0

Fuente: Geocing SAS.

## • PARÁMETROS DE EVALUACIÓN PARA LA VULNERABILIDAD SOCIOECONÓMICA

La vulnerabilidad socioeconómica comprende los aspectos que se encuentran relacionados con el factor económico y social. La pobreza incrementa la vulnerabilidad, debido a estas las zonas que económicamente son más pobres son más vulnerables. La vulnerabilidad también depende del factor social el cual

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

incluye las actividades, deseos, expectativas y educación de una sociedad determinada. Los aspectos antes mencionados definen la fragilidad de la sociedad para procurarse su propia subsistencia y lograr niveles más altos de bienestar ante cambios originados en su entorno por desastres naturales. Los parámetros de evaluación para la vulnerabilidad socioeconómica utilizados fueron:

- Edad Vulnerable.
- Nivel Educativo.
- Limitación Física (discapacidad).
- Uso actual del Predio.
- Actividad Principal.
- Servicios Públicos (Acueducto, Alcantarillado, Luz, Teléfono, Gas).

La categorización utilizada durante el estudio de estas variables se presenta a continuación:

**Tabla 126. Categorización de los parámetros para la vulnerabilidad socioeconómica.**

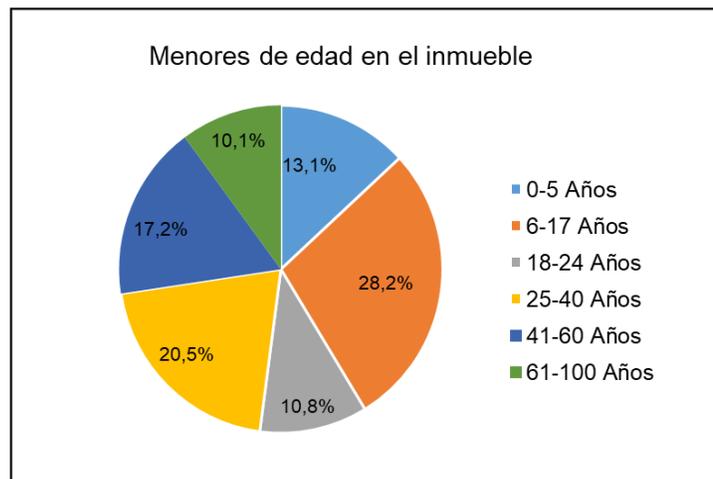
Gravedad Relativa	IVSE <sub>90</sub>	Descripción
I	Baja	0 ,00 – 0 ,35 Las personas que residen en la vivienda tienen capacidad socioeconómica de respuesta ante una situación de emergencia.
II	Media	0 ,35 – 0 ,65 Las personas que residen en la vivienda tienen capacidad media socioeconómica de respuesta ante una situación de emergencia.
III	Alta	0 ,65 – 1 ,00 Las personas que residen en la vivienda no tienen capacidad socioeconómica de respuesta ante una situación de emergencia.
	IVSE <sub>90</sub>	INDICE DE VULNERABILIDAD SOCIOECONÓMICA CONFIANZA DEL 90%

Fuente: Geocing SAS.

### • Edad Vulnerable

Como edad Vulnerable se consideró por la Consultoría, los grupos de edades comprendidos en los rangos de Edad de “0 a 5 años”, de “6 a 17 años”, “18 a 24”, “25 a 40”, “41 a 60” y “61 a 104”. Esta consideración de rango de edades vulnerables se tomó debido a que los rangos menores de 17 años y las personas mayores de 61 años tienen una menor respuesta ante un fenómeno amenazante como lo es un movimiento en masa e inundaciones, además de que las personas menores de 17 años aun no tienen una estabilidad económica, requieren mayor atención y formación debido a que apenas un pequeño porcentaje se encuentra en el rango de edad productiva (mayores de 18 años).

Se encontró un alto porcentaje de población infantil de 1 a 17 años, equivalente al 41,30% constituyendo la mayoría en el sector, seguido por una población en edades de 25 a 40 años equivalente al 20,5%, en edades de 41 a 60 años comprendiendo el 17,2%. Entre tanto habita una minoría de la población comprendida entre 18 y 24 años de la cual hace parte el 10,8% de la población y los adultos mayores en edades superiores a los 60 años, corresponden al 10,1% de la población. En la Ilustración 239 muestra la distribución de la población por rangos de edad.



**Ilustración 239. Distribución de las edificaciones encuestadas según la cantidad de menores de edad que viven en el inmueble.**  
Fuente: Geocing SAS.

Para su análisis, se le asignó un peso de importancia a cada parámetro por persona (ver Tabla 127). Después se realizó una suma ponderada de estos valores por predio.

**Tabla 127. Valoración del parámetro edad vulnerable.**

Edad Vulnerable	
0-5 años	1
6-17 años	0,6
18-24 años	0,2
25-40 años	0,3
41-60 años	0,5
61-104 años	1

Fuente: Geocing SAS.

### • Nivel Educativo

La educación de la población se considera como un parámetro clave frente a la vulnerabilidad. Una población que se encuentre bien informada sabe anticiparse al

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>

peligro y por lo tanto sabe reaccionar ante una situación de emergencia. Adicionalmente, pueden proporcionar ayuda y guía a las personas que se encuentran más vulnerables. Por otro lado, el nivel de educación proporciona una menor o mayor oportunidad para competir en el mercado de trabajo. La interrupción de la escolarización por lo tanto dificulta la salida de esta población de situaciones de pobreza y como consecuencia los vuelve menos resilientes ante los efectos que puede traer un desastre natural como lo son los fenómenos de remoción en masa.

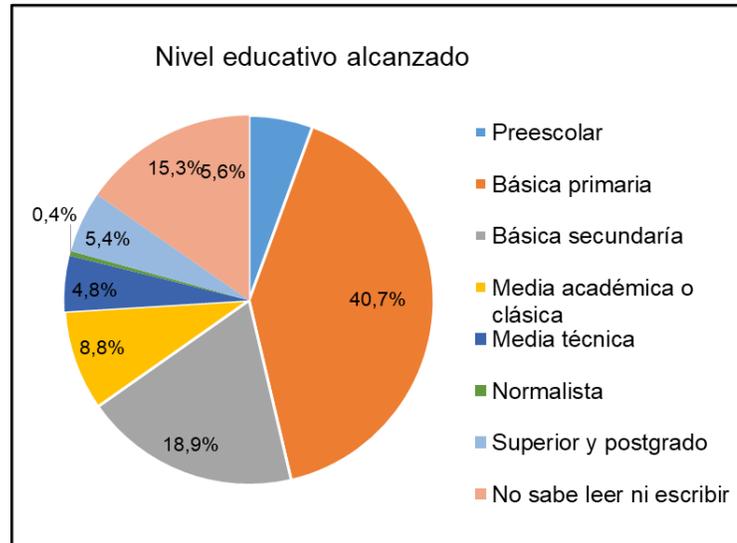
Se determinó el nivel educativo alcanzado de la población dentro de la zona de estudio mediante las encuestas y se realizó la categorización de los pesos de importancia dependiendo del grado de escolaridad de la forma que se presenta en la Tabla 128.

**Tabla 128. Valoración del parámetro educación.**

<b>Nivel Educativo Alcanzado</b>	
No sabe leer ni escribir	<b>1</b>
Jardín o preescolar	<b>0,9</b>
Primaria completa	<b>0,6</b>
Primaria incompleta	<b>0,7</b>
Bachillerato completo	<b>0,5</b>
Bachillerato incompleto	<b>0,6</b>
Técnico	<b>0,3</b>
Tecnológico	<b>0,2</b>
Universitario	<b>0,1</b>
Postgrado	<b>0</b>

**Fuente: Geocing SAS.**

En la distribución del nivel educativo alcanzado se evidenció que una población equivalente a un 40,7% logró completar los estudios de básica primaria, seguido por una población que superó los estudios básica secundaria equivalente al 18,9%, en contraste existe una población que se identificó como no saber leer ni escribir equivalente al 15,3%, el 13,6% de la población realizó estudios de media (el 8,8% media académica y el 4,4% media técnica). El 5,6% de la población han realizado estudios de preescolar y el 5,4% de la población ha realizado estudios de educación superior entre técnicos, tecnólogos y profesionales equivalentes. Adicionalmente el 0,4% de la población únicamente tomo estudios enfocados para ser normalista. La Ilustración 240, muestra la distribución del nivel educativo en la población.

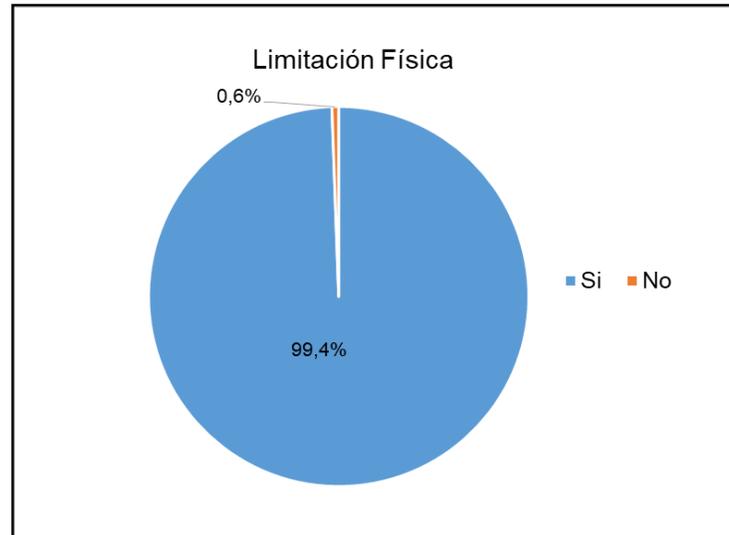


**Ilustración 240. Nivel educativo.**  
Fuente: Geocing SAS.

### • Limitación Física

La limitación física “son las dificultades que un individuo puede tener para realizar actividades. Una limitación en la actividad abarca desde una desviación leve hasta una grave en términos de cantidad o calidad, en la realización de la actividad, comparándola con la manera, extensión o intensidad en que se espera que la realizase una persona sin esa condición de salud. El término discapacidad como componente es sustituido a partir de 2001 por el de limitaciones según CIF (Clasificación Internacional del funcionamiento de la discapacidad y de la salud)”

Uno de los principales factores para tener en cuenta a la hora de realizar la Vulnerabilidad social de una comunidad, es la que involucra las limitaciones físicas de las personas que habitan una comunidad, para este caso en particular se evaluó el porcentaje de personas, que padecen de alguna limitación física dentro de nuestra zona de estudio. Se identificó que el 99,4% de la población presenta algún tipo de limitación física. La siguiente ilustración muestra la distribución de la población frente a si presentan o no limitaciones físicas.



**Ilustración 241. Limitación física.**  
Fuente: Geocing SAS.

A continuación, se presenta la categorización de la vulnerabilidad de la población por predio dependiendo de la suma ponderada de los pesos de importancia de las personas con limitaciones dentro de cada predio como se muestra en la Tabla 129.

**Tabla 129. Valoración del parámetro Limitación Física.**

Tiene alguna limitación física	
Si	1
Ninguna	0

Fuente: Geocing SAS.

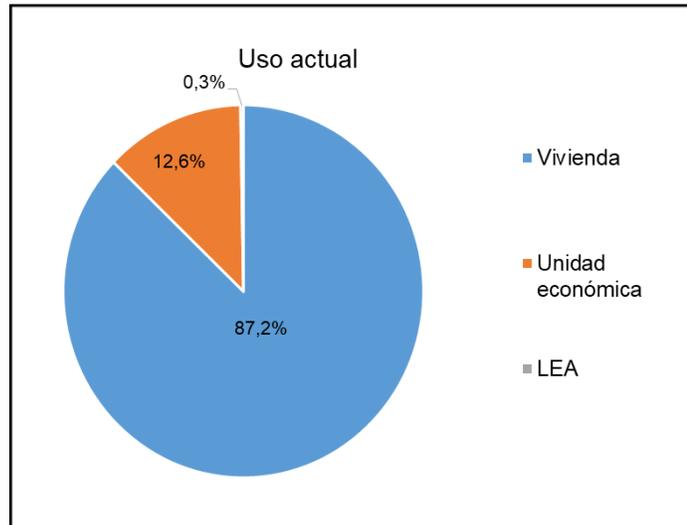
• **Uso Actual**

Las actividades presentadas en un predio no se limitan al uso como vivienda, por esta razón, también se considero la posibilidad de que se utilizaran para distintas actividades. Los predios que por ejemplo se encuentran utilizados como centros educativos, comerciales, industriales, cuentan durante el día, de forma casi continua con la presencia de grupos numerosos de personas cuya capacidad de respuesta ante una potencial situación de emergencia es limitada.

De acuerdo con la información recolectada, se presentan tres tipos de usos en el área de estudio: vivienda, unidad económica y LEA<sup>16</sup>. El 87,2% de los predios se utilizan como viviendas mientras que el 12,6% restante se les da uso económico y

<sup>16</sup> Lugar Especial de Alojamiento – L.E.A. Es una institución en la cual viven (duermen) colectivamente un grupo de personas generalmente no parientes

al 0,3% se les da uso de LEA. La Ilustración 242 muestra la distribución del uso actual de los predios en la población.



**Ilustración 242. Uso Actual de los Predios.**  
Fuente: Geocing SAS.

En este orden de ideas, los lugares que cuentan con la presencia de forma casi continua de un gran número de personas fueron clasificados con una mayor vulnerabilidad que los predios utilizados para actividades recreacionales, los cuales presentan con la presencia de personas en unos periodos de tiempo cortos. La clasificación de los pesos de importancia asignados se presentan en la Tabla 130.

**Tabla 130. Valoración del parámetro Uso Actual.**

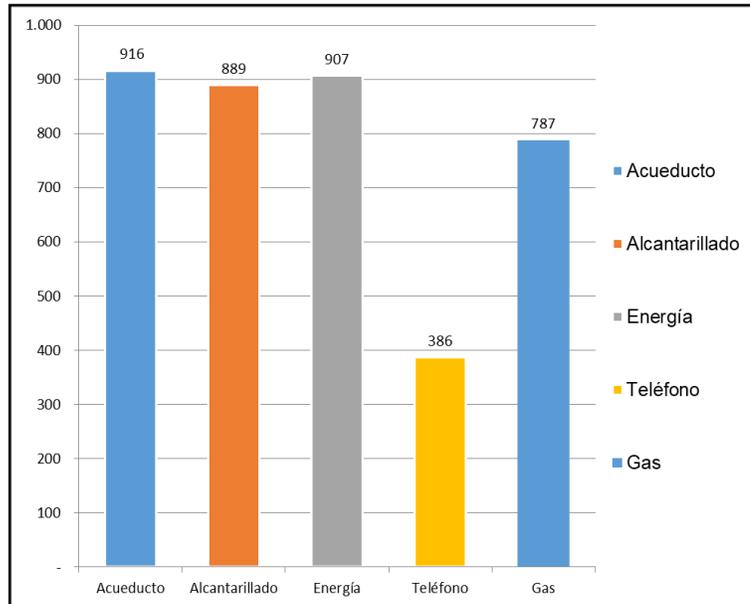
Uso Actual	
Vivienda	0,9
Comercial	0,8
LEA	1

Fuente: Geocing SAS.

• **Servicios públicos (Acueducto, Alcantarillado, Gas, Luz, Teléfono)**

Dentro de los análisis de Vulnerabilidad social, uno de los ítems más importantes es el referente a la tenencia de servicios públicos en un predio, lo cual garantiza y mejora la calidad de vida de los habitantes de las viviendas.

Se evidenció que la mayor parte de la población cuenta con los servicios públicos de alcantarillado, acueducto y energía eléctrica. La población cuenta con servicio telefónico y gas natural.



**Ilustración 243. Servicios Públicos.**

Fuente: Geocing SAS.

Para la calificación de los servicios públicos, se le asignó un peso de importancia a cada tipo de servicio, tomando como servicios más importantes los servicios de Acueducto y Alcantarillado. Se asignó esta importancia en cuanto a que el agua potable en las cantidades necesarias y los servicios de saneamiento resultan ser factores esenciales para la calidad de vida de una persona.

En la Tabla 131, se presenta una calificación de cada uno de los servicios, donde se asigna el valor 0 al predio que cuenta con determinado servicio y el valor de la tabla en los casos en que no. La categorización se realizó siguiendo los valores de la Tabla 131

**Tabla 131. Valoración de Servicios Públicos.**

Servicios Públicos	Peso Difuso
Acueducto	0,39
Alcantarillado	0,35
Energía Eléctrica	0,14
Gas Natural	0,04
Teléfono	0,09

Fuente: Geocing SAS.

Si la población cuenta o no acueducto influye en la vulnerabilidad en cuanto a que el abastecimiento adecuado de agua de calidad para el consumo humano es importante para evitar casos de morbilidad por enfermedades como el cólera y la diarrea. Adicionalmente a la calidad del agua, una población es vulnerable cuando

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

no tiene el acceso a una mínima cantidad de agua potable en el día. En promedio una persona debe consumir entre 1.5 y 6 litros de agua al día dependiendo del peso y en caso contrario se pueden presentar problemas de salud.

Por otro lado, el modo de evacuación de las aguas residuales es otro factor importante en la salud y calidad de vida de la población, en especial la de los niños quienes tienen derecho de disfrutar de un ambiente sano. Este factor genera vulnerabilidad en cuanto a que cuando no se tiene el servicio de saneamiento básico, aumenta el riesgo de morbilidad y mortalidad de la población por enfermedades relacionadas con el contacto con las aguas residuales como infecciones y hongos. El 99,0% de la población cuenta con servicio de acueducto y el 96,1% con servicio de alcantarillado. Las siguientes ilustraciones indican la distribución de las viviendas que cuentan o no con el servicio de alcantarillado y acueducto en la zona de estudio.

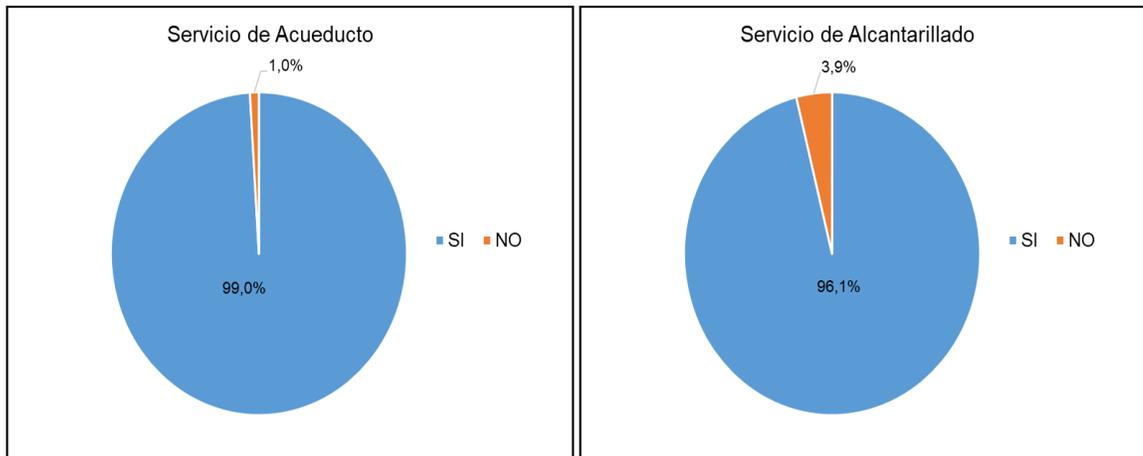


Ilustración 244. Distribución Servicio de Alcantarillado y Acueducto. Fuente: Geocing SAS.

### • Ponderación De Variables Vulnerabilidad Social

Se calificaron las variables con el método de estimación por el Análisis de Procesos Jerárquicos (AHP por sus siglas en inglés), que consiste en utilizar el juicio de expertos, para ayuda en la toma de decisiones debido a que se basa en múltiples criterios de decisión.

Una vez construido el Modelo Jerárquico, se realizan comparaciones por pares entredichos elementos (criterios y alternativas) y se atribuyen valores numéricos a las preferencias señaladas por las personas, entregando una síntesis de las mismas mediante la agregación de esos juicios parciales. El fundamento del proceso de Saaty descansa en el hecho que permite dar valores numéricos a los juicios dados por las personas, logrando medir cómo contribuye cada elemento de la jerarquía al nivel inmediatamente superior del cual se desprende. A continuación

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

se presenta la descripción de los procesos AHP. A continuación, se presenta la matriz de comparaciones entre las variables que se tomaron en consideración.

**Tabla 132. Matriz de Comparación para la evaluación de las variables de la Vulnerabilidad Socioeconómica**

<i>Elemento C \ Elementos R</i>	Uso Actual	Vías de Acceso	Estrato	Número de Personas	Número de Menores de Edad	Minoría Étnica	Desplazados
Uso Actual	1	3	1	1/3	1/5	1/3	1/5
Vías de Acceso	1/3	1	1	1/5	1/7	1/3	1/5
Estrato	1	1	1	1/3	1/7	1/3	1/5
Número de Personas	3	5	3	1	1/5	1	1/3
Número de Menores de Edad	5	7	7	5	1	1	1/3
Minoría Étnica	3	3	3	1	1	1	1/3
Desplazados	5	5	5	3	3	3	1

Fuente: Geocing SAS.

De acuerdo a los valores obtenidos en la anterior matriz, se calculó el vector de pesos utilizando el promedio aritmético, cuyos resultados se presentan en la Tabla 133.

**Tabla 133. Pesos ponderados de las variables obtenidos por el método AHP para la Vulnerabilidad Socioeconómica.**

Variable	Peso
Uso Actual	0,059
Vías de Acceso	0,039
Estrato	0,046
Número de Personas	0,129
Número de Menores de Edad	0,256
Minoría Étnica	0,138
Desplazados	0,333

Fuente: Geocing SAS.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>

Así mismo, se calculó la razón de consistencia que expresa un valor relativo de la inconsistencia.

$$RC = \frac{IC}{IA} = \frac{0,192}{1,62} = 0,091$$

Donde el valor del índice de Aleatoriedad fue tomado de Ormazábal (2002). El coeficiente RC toma un valor cercano a cero lo cual indica que el juicio emitido es coherente y ha sido una buena ponderación.

Una vez se conoce la matriz de comparación por pares, y se obtiene un valor del RC entre los límites de confiabilidad permitidos se procede con el método de la lógica difusa.

#### • **Lógica Difusa Vulnerabilidad Socioeconómica y Cultural**

La lógica difusa es un método que permite trabajar con información que no es exacta para poder definir evaluaciones convencionales y que en muchos casos incluye juicios subjetivos. Se le llama difusa a este tipo de información porque presenta un tipo de incertidumbre la cual no es del tipo de medición.

Para tener en cuenta la variabilidad en la de la valoración de la matriz de comparaciones, se utilizaron los números borrosos de tipo triangular. Se asignaron los números difusos y se obtuvo la matriz de comparación borrosa de comparaciones (ver Tabla 134).

	<b>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</b>
	<b>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</b>

**Tabla 134 Matriz de Comparación Borrosa para el cálculo de pesos difusos de las variables de la Vulnerabilidad Socioeconómica.**

variable	Uso Actual			Vías de Acceso			Estrato			Número de Personas			Número de Menores de Edad		
	Uso Actual	0,50	1,00	2,00	2,00	3,00	4,00	0,50	1,00	2,00	0,25	0,33	0,50	0,17	0,33
Vías de Acceso	0,25	0,33	0,50	0,50	1,00	2,00	0,50	1,00	2,00	0,17	0,33	0,25	0,13	0,14	0,17
Estrato	0,50	1,00	2,00	0,50	1,00	2,00	0,50	1,00	2,00	0,25	0,33	0,50	0,13	0,14	0,17
Número de Personas	2,00	3,00	4,00	4,00	5,00	6,00	2,00	3,00	4,00	0,50	1,00	2,00	0,17	0,33	0,25
Número de Menores de Edad	4,00	5,00	6,00	6,00	7,00	8,00	6,00	7,00	8,00	4,00	5,00	6,00	0,50	1,00	2,00
Minoría Étnica	2,00	3,00	4,00	2,00	3,00	4,00	2,00	3,00	4,00	0,50	1,00	2,00	0,50	1,00	2,00
Desplazados	4,00	5,00	6,00	4,00	5,00	6,00	4,00	5,00	6,00	2,00	3,00	4,00	2,00	3,00	4,00
Limitación Física	6,00	7,00	8,00	4,00	5,00	6,00	6,00	7,00	8,00	6,00	7,00	8,00	2,00	3,00	4,00
Mujeres en Embarazo	4,00	5,00	6,00	4,00	5,00	6,00	6,00	7,00	8,00	2,00	3,00	4,00	0,50	1,00	2,00
Simulacros	0,17	0,33	0,25	0,13	0,14	0,17	0,50	1,00	2,00	0,17	0,33	0,25	0,13	0,14	0,17
Capacitaciones	0,17	0,33	0,25	0,13	0,14	0,17	0,50	1,00	2,00	0,17	0,33	0,25	0,13	0,14	0,17

variable	Minoría Étnica			Desplazados			Limitación Física			Mujeres en Embarazo			Simulacros			Capacitaciones		
Uso Actual	0,25	0,33	0,50	0,17	0,33	0,25	0,13	0,14	0,17	0,17	0,33	0,25	4,00	5,00	6,00	4,00	5,00	6,00
Vías de Acceso	0,25	0,33	0,50	0,17	0,33	0,25	0,17	0,33	0,25	0,17	0,33	0,25	6,00	7,00	8,00	6,00	7,00	8,00
Estrato	0,25	0,33	0,50	0,17	0,33	0,25	0,13	0,14	0,17	0,13	0,14	0,17	0,50	1,00	2,00	0,50	1,00	2,00
Número de Personas	0,50	1,00	2,00	0,25	0,33	0,50	0,13	0,14	0,17	0,25	0,33	0,50	4,00	5,00	6,00	4,00	5,00	6,00
Número de Menores de Edad	0,50	1,00	2,00	0,25	0,33	0,50	0,25	0,33	0,50	0,50	1,00	2,00	6,00	7,00	8,00	6,00	7,00	8,00
Minoría Étnica	0,50	1,00	2,00	0,25	0,33	0,50	0,25	0,33	0,50	0,25	0,33	0,50	4,00	5,00	6,00	4,00	5,00	6,00
Desplazados	2,00	3,00	4,00	0,50	1,00	2,00	0,25	0,33	0,50	0,25	0,33	0,50	6,00	7,00	8,00	6,00	7,00	8,00
Limitación Física	2,00	3,00	4,00	2,00	3,00	4,00	0,50	1,00	2,00	2,00	3,00	4,00	6,00	7,00	8,00	6,00	7,00	8,00
Mujeres en Embarazo	2,00	3,00	4,00	2,00	3,00	4,00	0,25	0,33	0,50	0,50	1,00	2,00	6,00	7,00	8,00	6,00	7,00	8,00
Simulacros	0,17	0,33	0,25	0,13	0,14	0,17	0,13	0,14	0,17	0,13	0,14	0,17	0,50	1,00	2,00	0,50	1,00	2,00
Capacitaciones	0,17	0,33	0,25	0,13	0,14	0,17	0,13	0,14	0,17	0,13	0,14	0,17	0,50	1,00	2,00	0,50	1,00	2,00

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

Con base en la matriz de comparaciones borrosa, se obtiene el vector de pesos borrosos o difusos. Esta significa una gran diferencia con el método AHP convencional, ya que en vez de obtener un único valor correspondiente al peso de la variable, se obtienen tres valores. Esto es debido a que el método de lógica difusa crea un rango que encierra la incertidumbre de las decisiones que se tomaron. A partir de este rango se puede tomar una decisión respecto al nivel de confianza que se tiene con la posibilidad de ser optimista, moderado o pesimista. La actitud optimista la representa el valor con mayor magnitud, la actitud moderada la representa el valor que se encuentra en la mitad del rango, mientras la actitud pesimista la representa el valor con la menor magnitud dentro del rango, tal cual se muestra en la Tabla 135.

**Tabla 135. Vector de pesos difusos para las variables evaluadas en la Vulnerabilidad Socioeconómica.**

Variable	$W_i$	$W_m$	$W_u$
Uso Actual	0,044	0,046	0,048
Vías de Acceso	0,041	0,043	0,047
Estrato	0,023	0,025	0,029
Número de Personas	0,069	0,071	0,074
Número de Menores de Edad	0,135	0,139	0,139
Minoría Étnica	0,072	0,077	0,087
Desplazados	0,143	0,146	0,150
Limitación Física	0,236	0,245	0,256
Mujeres en Embarazo	0,161	0,163	0,163
Simulacros	0,019	0,019	0,019
Capacitaciones	0,019	0,019	0,019

Fuente: Geocing SAS.

Con el fin de realizar la desfuzzificación o desborrificación del vector de pesos borroso, se utilizará el proceso sugerido por Lee Hua-Jie et al. (2006), en el cual se selecciona el alfa corte (valor de  $\alpha = 0.5$ ) según la certeza en el rango borroso seleccionado, encontrándose los siguientes rangos para cada uno de los pesos determinados.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

**Tabla 136. Intervalos izquierdo y derecho ( $P_{\alpha}$ -left y  $P_{\alpha}$ -right respectivamente) del vector de pesos para la Vulnerabilidad Socioeconómica.**

Variable	$P_{\alpha l}$	$P_{\alpha r}$
Uso Actual	0,045	0,047
Vías de Acceso	0,042	0,045
Estrato	0,024	0,027
Número de Personas	0,070	0,073
Número de Menores de Edad	0,137	0,139
Minoría Étnica	0,074	0,082
Desplazados	0,145	0,148
Limitación Física	0,241	0,250
Mujeres en Embarazo	0,162	0,163
Simulacros	0,019	0,019
Capacitaciones	0,019	0,019

Fuente: Geocing SAS.

Posteriormente se selecciona el valor kappa (valor de  $\kappa=0.5$ ), según el optimismo de la calificación (se escogió un valor intermedio entre los valores optimista (1) y pesimista (0)), lo cual normaliza la calificación y de esta forma se obtiene el vector de pesos normalizados. Los valores de este vector serán directamente utilizados para el cálculo de la vulnerabilidad social.

**Tabla 137. Pesos Normalizados de las Variables para la evaluación de la Vulnerabilidad Socioeconómica.**

Variable	Peso
Uso Actual	0,046
Vías de Acceso	0,044
Estrato	0,026
Número de Personas	0,072
Número de Menores de Edad	0,139
Minoría Étnica	0,079
Desplazados	0,147
Limitación Física	0,247
Mujeres en Embarazo	0,163
Simulacros	0,019
Capacitaciones	0,019

Fuente: Geocing SAS.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

### • Categorización Vulnerabilidad Social Total

Los rangos que se utilizaron para la categorización del índice de vulnerabilidad social se muestran en la siguiente tabla:

**Tabla 138. Categorización de los parámetros para la vulnerabilidad social.**

GRAVEDAD RELATIVA		IVS <sub>90</sub>	DESCRIPCIÓN
I	Baja	0,00-0,40	Las personas que habitan en la construcción tienen condiciones muy altas socioeconómicas, culturales y se encuentran muy cerca a las instituciones de atención de desastres
II	Media	0,40-0,75	Las personas que habitan en la construcción tienen condiciones medianamente bajas socioeconómicas, culturales y se encuentran medio cerca a las instituciones de atención de desastres
III	Alta	0,75-1,00	Las personas que habitan en la construcción tienen condiciones muy bajas socioeconómicas, culturales y se encuentran muy lejos a las instituciones de atención de desastres
		IVS <sub>90</sub>	ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SOCIAL CONFIANZA DEL 90%

Fuente: Geocing SAS.

### • Predicción de datos faltantes Vulnerabilidad Social Total

Las encuestas sociales recogieron la información perteneciente a las personas que se encontraban disponibles en los predios de la zona de estudio a la hora de la realización de la encuesta. Dado que la encuesta dependía de la disponibilidad de las personas a atender al encuestador no fue posible la realización del 100% de las encuestas. Las encuestas sociales recogieron la información perteneciente a 130 personas en la zona de estudio. El análisis estadístico de la muestra representativa de los aspectos sociales, presentado en el documento de diagnóstico social, presenta en que el número de encuestados por el consorcio corresponde a una muestra representativa con confiabilidad del 85% y en error del 7,2% de los aspectos sociales. Sin embargo, para obtener un panorama general de la zona de estudio se extrapolaron los datos para hallar la información de los predios faltantes. El procedimiento que se utilizó fue el de asignar el promedio del índice de vulnerabilidad social y cultural del barrio a cada predio faltante que se

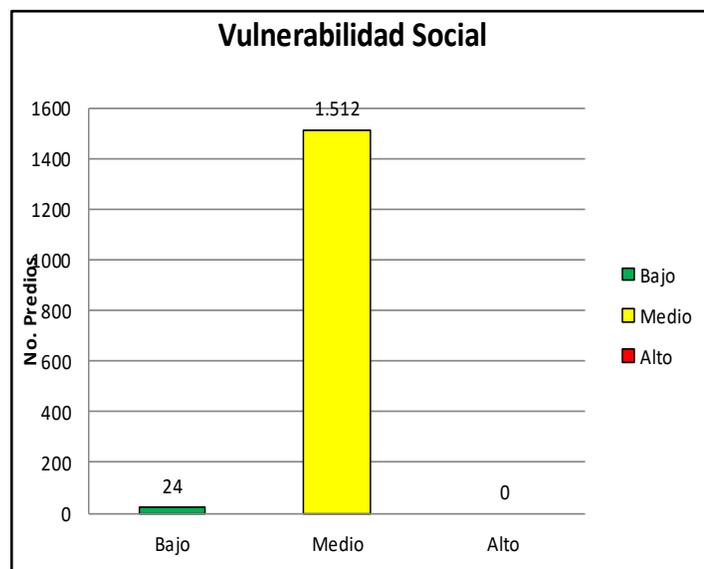
	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

encontrara localizado en ese mismo barrio. Esto se realiza suponiendo que los predios en cada barrio poseen un índice de vulnerabilidad muy similar dado que no se presentan grandes diferencias en sus aspectos socioeconómicos y culturales.

### 15.3.1 Análisis de resultados vulnerabilidad social

Según los parámetros de evaluación de la vulnerabilidad social se categorizaron los predios de Teruel que se encuentran expuestos ante alguna amenaza por movimientos en masa, inundación y avenida torrencial se estableció que de la totalidad de los predios correspondientes a 1.536 se encuentran afectados por vulnerabilidad social por movimientos en masa, inundación y avenida torrencial.

La vulnerabilidad social media predomina debido a que el grueso de la población presenta unas características socioeconómicas homogéneas, lo cual se ve reflejado en el nivel de escolaridad donde solo una pequeña proporción supera la educación básica secundaria, lo cual se ve reflejado en una vulnerabilidad socioeconómica media, mientras que la vulnerabilidad cultural es baja, ya que el grueso de la población no pertenece a una minoría étnica o un grupo de personas desplazadas por la violencia. 1.512 predios correspondientes al 98,4% se encuentran en vulnerabilidad social media, seguido de 24 predios en vulnerabilidad social baja (1,6%).



**Ilustración 245. Vulnerabilidad Social predios.**  
Fuente: Geocing SAS.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



**Ilustración 246. Mapa de vulnerabilidad social.**  
**Fuente: Geocing SAS.**

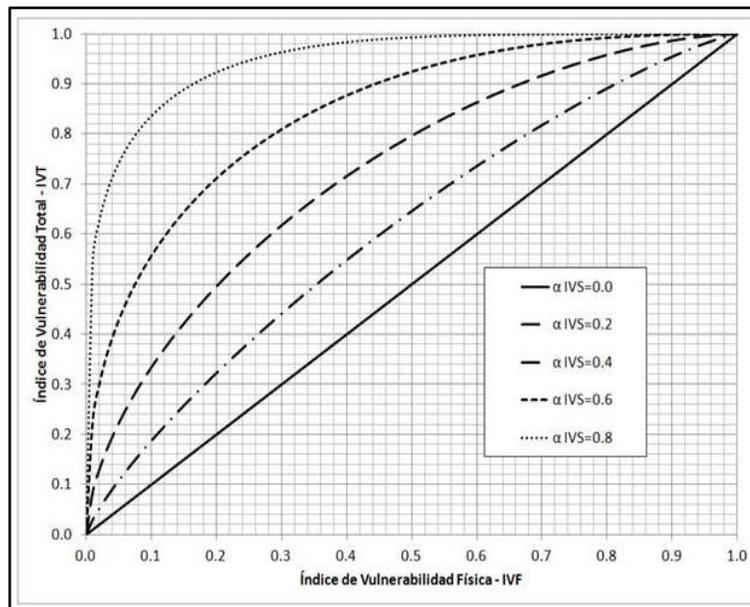
## 15.4 VULNERABILIDAD TOTAL

Una vez obtenido el Índice de Vulnerabilidad Físico (IVF) y el Índice de Vulnerabilidad Social (IVS), definidos ambos como un número difuso, se obtiene el IVT (también como un número difuso), utilizando para ello la propuesta de Soler et al (1999):

$$IVT = \left[ 1 - (1 - IVF)^{\frac{1}{1-\alpha IVS}} \right]^{1-\alpha IVS}$$

Para la vulnerabilidad total de la zona, tomando como unidad fundamental cada predio, se realiza la evaluación de la zona, basados en cada uno de las variables que se involucraron en el estudio de vulnerabilidad (física y social).

A continuación en la Ilustración 247, se presentan los elementos involucrados en la evaluación de la vulnerabilidad de la zona. Esta ilustración indica el comportamiento que toma el índice de vulnerabilidad total al ser función del índice de vulnerabilidad física y del índice de vulnerabilidad social.



**Ilustración 247. Relación entre el índice de vulnerabilidad total con los índices de vulnerabilidad física y social.**

La gráfica muestra que cuando el valor del coeficiente de importancia de la vulnerabilidad social ( $\alpha$ ) es cero, la vulnerabilidad total será igual a la vulnerabilidad física (línea continua en la Ilustración 247). Por otro lado, a medida en que el valor del  $\alpha$  aumenta, el comportamiento entre la vulnerabilidad total y la

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

vulnerabilidad física deja de ser lineal y empieza a describir una curva cada vez con mayor pendiente.

Siguiendo este orden de ideas, los elementos expuestos tales como las vías de conducción presentan una vulnerabilidad física que es igual a la total, mientras que las construcciones o edificaciones presentan una vulnerabilidad total producto de la combinación de la vulnerabilidad física de las estructuras y la vulnerabilidad social de las personas que habitan los elementos mencionados.

#### **15.4.1 Categorización de la vulnerabilidad total**

Para la categorización de la vulnerabilidad se proponen tres (3) niveles de gravedad relativa o consecuencias del evento sobre el sistema (Nivel I a Nivel III), de acuerdo con la calificación del IVT con una confianza del 90% (IVT<sub>90</sub>), tal como se puede ver en la Tabla 139. Para la generación del mapa de vulnerabilidad global se consideró el escenario donde el índice de importancia social es de 0,4, por esta razón en la Tabla 139 se colocó el símbolo de A=0.4.

**Tabla 139. Categorización de la vulnerabilidad Total.**

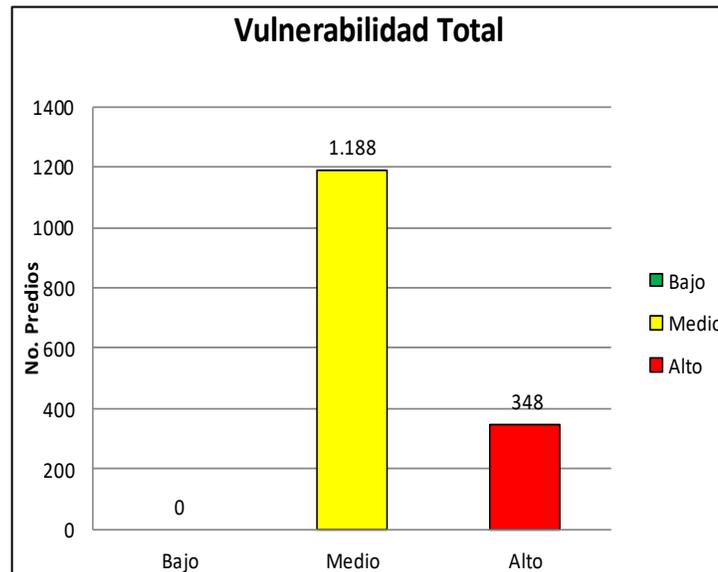
GRAVEDAD RELATIVA		IVT <sub>90</sub>	DESCRIPCIÓN
<b>I</b>	<b>Bajo</b>	0 – 0,35	La construcción y las personas que habitan en ella, son muy poco vulnerables ante cualquier escenario de desastre, dado a que tienen condiciones óptimas
<b>II</b>	<b>Medio</b>	0,35 – 0,65	La construcción y las personas que habitan en ella, son medianamente vulnerables ante cualquier escenario de desastre, dado a que tienen condiciones medianamente óptimas
<b>III</b>	<b>Alto</b>	0,65 – 1	La construcción y las personas que habitan en ella, son vulnerables ante cualquier escenario de desastre, dado a que tienen condiciones malas
		<b>IVT A=0,4<sub>90</sub></b>	<b>ÍNDICE DE VULNERABILIDAD GLOBAL ALFA = 0.4 CONFIANZA DEL 90%</b>

Fuente: Geocing SAS.

#### **15.4.2 Análisis de resultados vulnerabilidad total por movimientos en masa**

La vulnerabilidad total es calculada en función de los resultados obtenidos para la vulnerabilidad física y social, a partir de la ecuación propuesta por Soler et al (1999) en la cual la vulnerabilidad física tiene un comportamiento lineal siempre que la vulnerabilidad social sea igual a cero, y en medida que la vulnerabilidad

social aumenta, la vulnerabilidad física presentara un comportamiento exponencial, lo cual determinara el valor correspondiente a la vulnerabilidad total.



**Ilustración 248. Vulnerabilidad Total predios Teruel- movimiento en Masa.**  
Fuente: Geocing SAS.

Un total de los predios 1.535 se encuentran categorizados con vulnerabilidad total ante movimientos en masa, de los cuales ninguno presenta vulnerabilidad total baja, debido a que la vulnerabilidad física y social en la mayoría de los predios fue de categoría media, y se empleó un  $\alpha=0,4$ , estableciendo que el 77,3% de las construcciones presentan vulnerabilidad total media (1.188 predios) y el restante 22,7% se categoriza con vulnerabilidad total alta (348 predios), como se logra identificar en la Ilustración 248.

Los resultados correspondientes a vulnerabilidad total se encuentran de manera detallada en el Anexo 6 Mapas. GE426-TRL-PSIG-VTM-001-00, donde se presentan los valores y la categorización de la vulnerabilidad para cada uno de los predios expuestos ante un movimiento masa.



ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

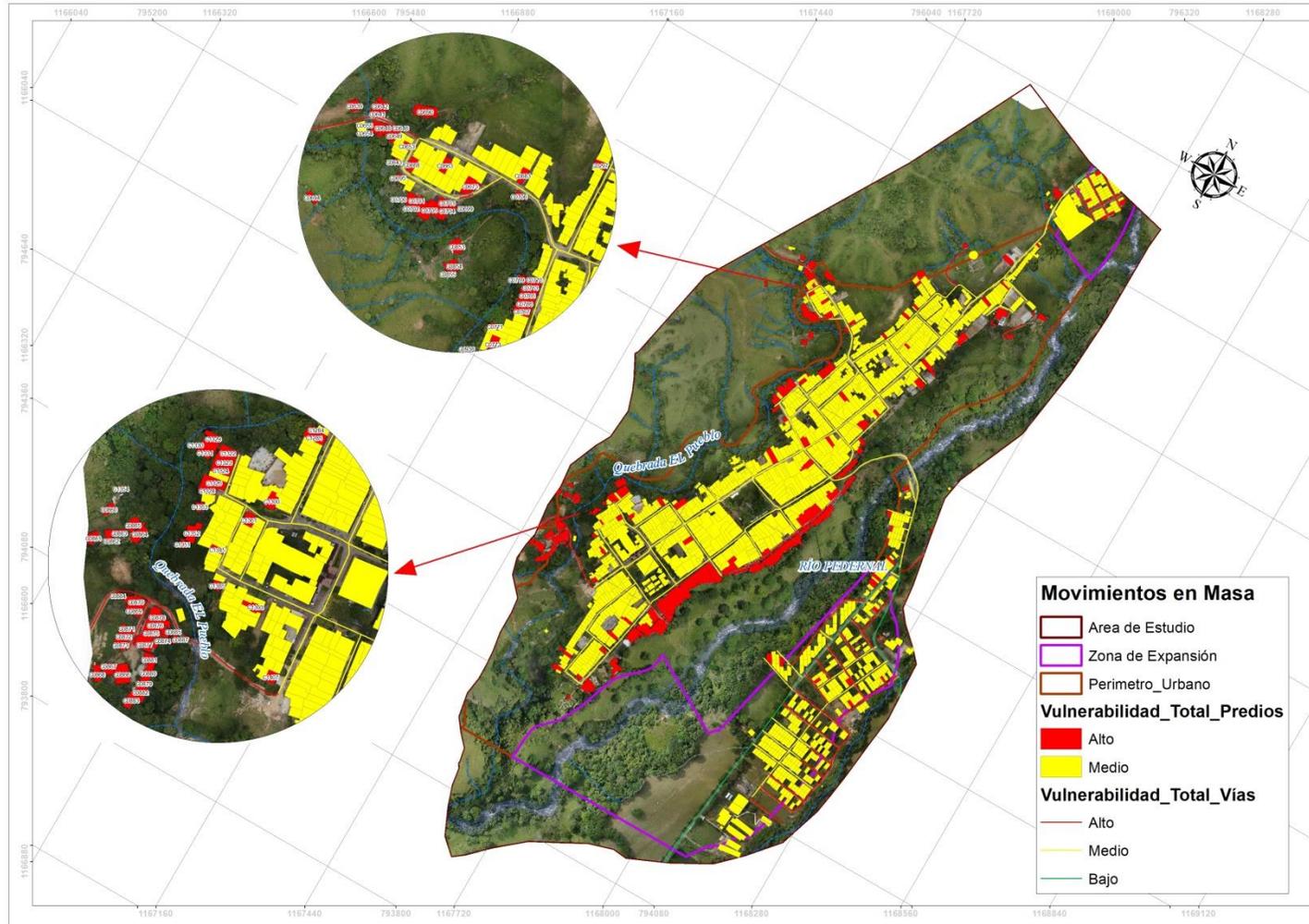


Ilustración 249. Mapa de vulnerabilidad total por movimientos en masa.  
Fuente: Geocing SAS

### 15.4.3 Análisis de resultados vulnerabilidad total por inundaciones

El cálculo de la vulnerabilidad total se da por la ecuación propuesta por Soler et al (1999), la cual se da en función de los resultados de la vulnerabilidad física y social presentada en los capítulos 14.2 y 14.3. Según los resultados presentados en la Ilustración 250, se logra identificar que el 98,4% de los predios ubicados se encuentran categorizados con vulnerabilidad total baja con un total de 1.511 predios, el restante 1,6% presenta vulnerabilidad media y alta debido a que se encuentran aledaños a las quebradas El Pueblo y las Moyas, el río Pedernal, y los caños y acequias que presentaban amenaza por inundación. Para la categoría de vulnerabilidad total media se identificó 13 predios (0,85%) y para vulnerabilidad total alta existe se identificaron 12 predios (0,78%).

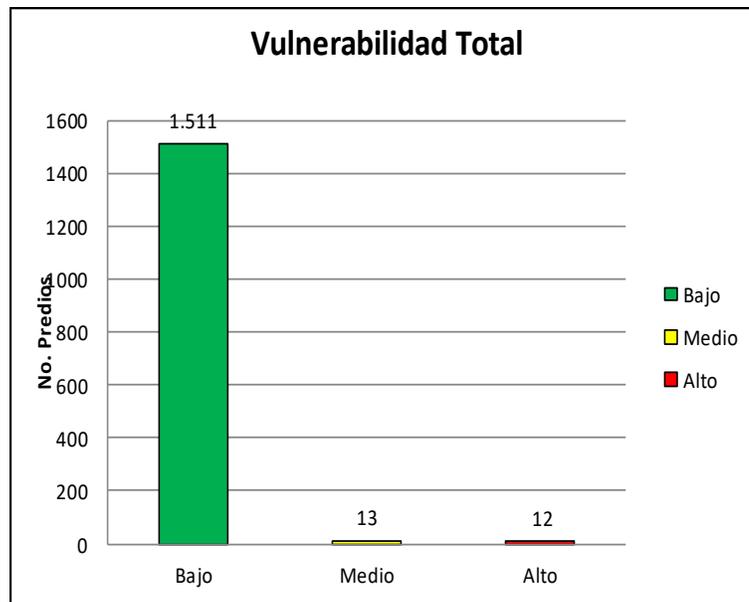


Ilustración 250. Vulnerabilidad Total predios - Inundación.  
Fuente: Geocing SAS.

El plano correspondiente a vulnerabilidad total encuentra en el Anexo 6. Mapas, el mapa GE426-TRL-PSIG-VTI-001-00



ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

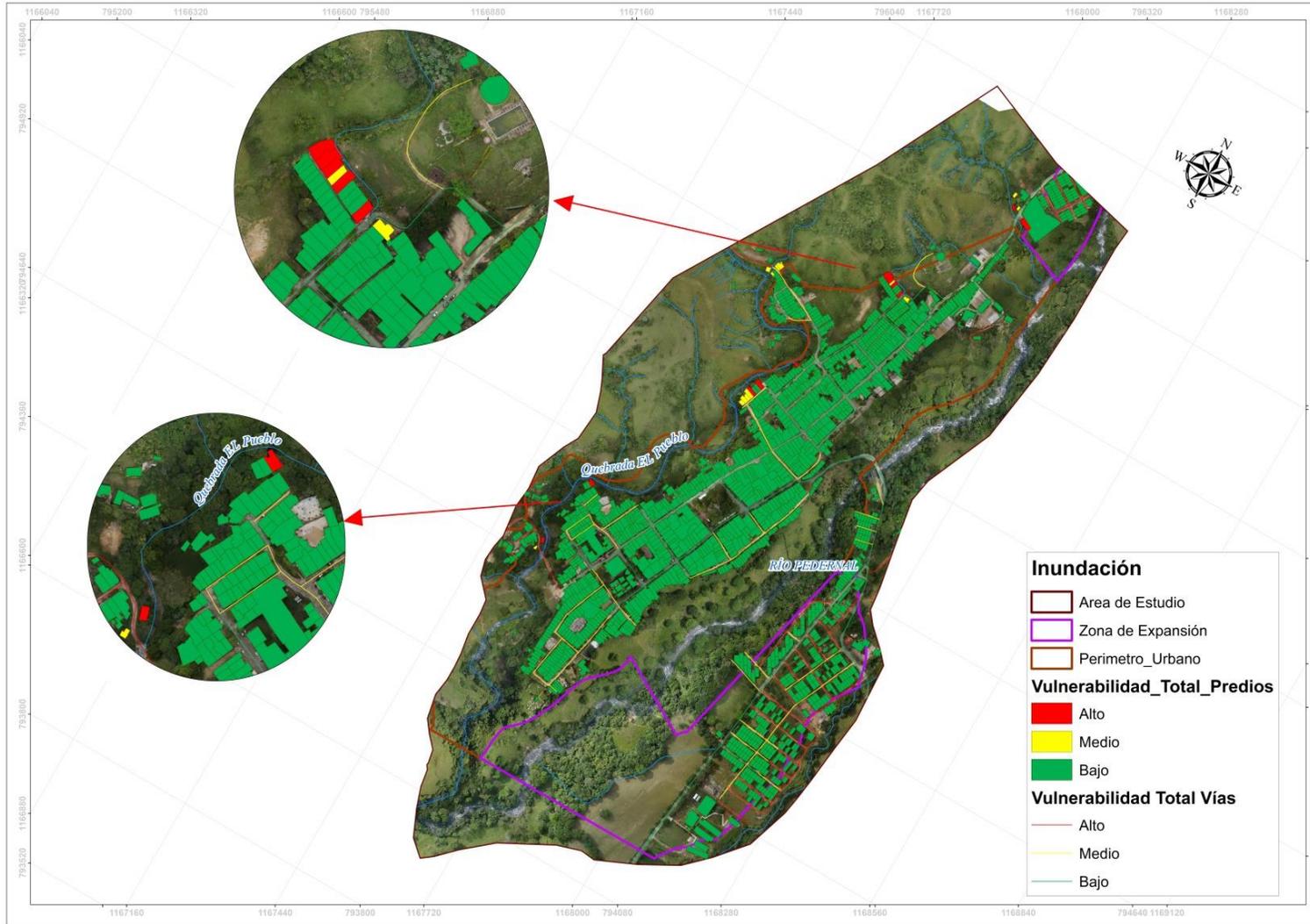


Ilustración 251. Mapa de vulnerabilidad total por inundación.

Fuente: Geocing SAS.

#### 15.4.4 Análisis de resultados vulnerabilidad total por avenida torrencial

Se establece el valor correspondiente a la vulnerabilidad total, según la ecuación propuesta por Soler et al (1999).

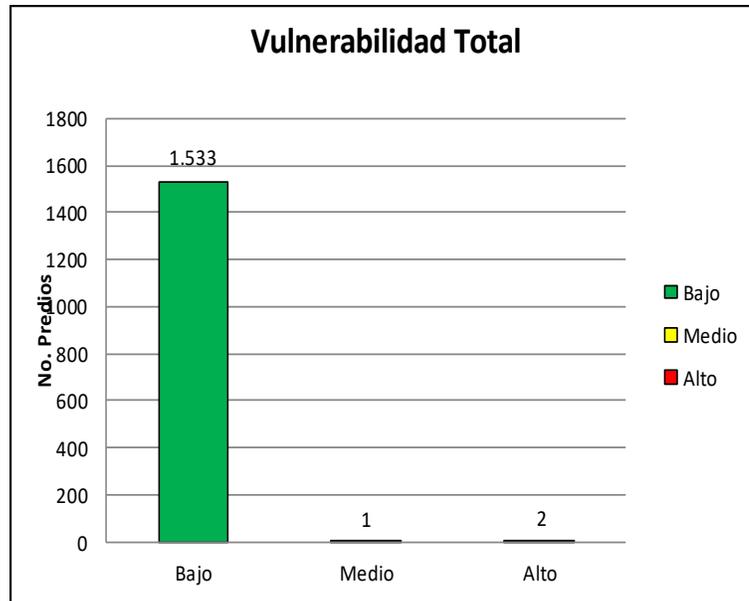
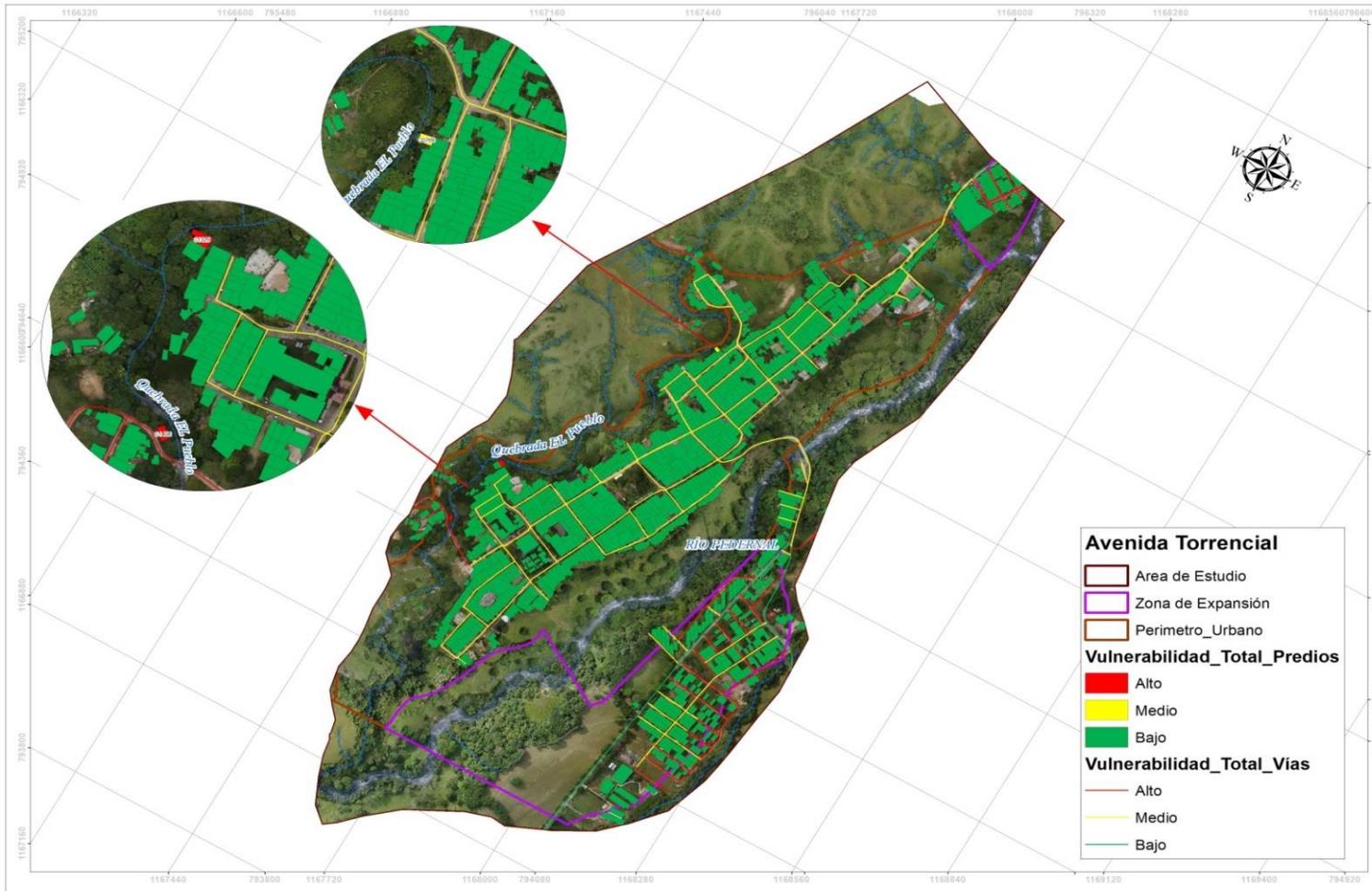


Ilustración 252. Vulnerabilidad Total predios Total- Avenida Torrencial.  
Fuente: Geocing SAS.

Como se logra identificar en la Ilustración 252 predominan los predios con vulnerabilidad total baja con el 99,8% del total ubicado en el municipio, esto debido a los resultados correspondientes a vulnerabilidad física donde predominó esta categorización dada la ubicación de los predios respecto a la quebrada El Pueblo y el río Pedernal, y que dentro de la categorización de vulnerabilidad social no se presentan cambios representativos. El restante 0,1% corresponde a 2 predios que se ubican en los 6 metros aledaños a la quebrada El Pueblo y dadas las condiciones estructurales de la construcción son vulnerables a verse afectados ante una avenida torrencial, los cuales se encuentran en categoría de riesgo alta y el 0,07% se encuentra en riesgo medio (1 predio).



**Ilustración 253. Mapa de vulnerabilidad total por avenida torrencial.**

Fuente: Geocing SAS.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>

## 16 RIESGO

### 16.1 GENERALIDADES

El riesgo es el grado de pérdidas de toda índole (pérdidas humanas, heridos, daños a las propiedades y afectación a la economía) debido a la ocurrencia de un desastre en un sitio específico vulnerable con una amenaza particular. Igualmente, Cardona O.D. (1993) escribe que el riesgo “es la probabilidad de exceder un valor específico de consecuencias económicas, sociales o ambientales en un sitio particular y durante un tiempo de exposición determinado”.

### 16.2 COSTO DIRECTO DE LOS ELEMENTOS EN RIESGO

Como se mencionó y desarrolló anteriormente en el capítulo de Vulnerabilidad, existen elementos en riesgo (elementos expuestos) los cuales se podrán ver afectados en el momento en que se materializara una amenaza tanto por movimientos en masa como de inundación.

Resumiendo lo presentado en el capítulo de vulnerabilidad física, se identificaron 2 tipos de elementos expuestos:

- Edificios o construcciones de diferentes categorías y tipologías.
- Infraestructura Vial.

Siguiendo este orden de ideas y con el objetivo de calcular el riesgo económico directo (valor de las pérdidas económicas esperadas), se hace necesario calcular el valor o costo de los elementos expuestos. En las siguientes secciones se presenta la metodología utilizada.

#### 16.2.1 Costo por Construcción

Para calcular el costo de las construcciones se parte del inventario de predios obtenido por la consultoría por medio de las encuestas realizadas en la zona de estudio y de esta información se extrae el número de pisos y estrato que poseen las viviendas. Por otro lado, por medio del programa ArcGIS se calculó el área que le correspondía a cada construcción.

Para el cálculo del costo estimado de la construcción se obtuvo el valor del metro cuadrado de la edificación y del terreno por medio del método de mercado de la zona de estudio en el cual se indagaron tipologías, áreas, números de pisos y localización. De la información antes mencionada, se obtuvo un valor por metro cuadrado y este fue el que se empleó para el cálculo del costo por cada construcción.

La fórmula del costo de la construcción se muestra a continuación:

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

$$\text{Costo Construcción} = x * A * \text{pisos}$$

Donde

**x** = precio del metro cuadrado (pesos/ m<sup>2</sup>)

**A** = área de la construcción (m<sup>2</sup>)

**Pisos** = número de pisos que tiene la construcción

### **16.2.2 Costo por infraestructura Vial**

El costo de la infraestructura vial es una variable que tiene en cuenta la característica de construcción de la estructura, ya que es diferente el método de construcción de una vía nacional (VU1-Primer Orden) a una vía interveredal (VU3-Tercer Orden), la cual no cuenta con todas las características y especificaciones de una vía Nacional, de acuerdo a su importancia.

El sistema de infraestructura Nacional está constituido por la interconexión de cuatro mallas clasificadas de acuerdo a su centralidad, volumen de tránsito y conectividad entre las mismas. La siguiente tabla indica las especificaciones para cada tipo de sistema vial:

A continuación se establecen las especificaciones para el sistema vial primario municipal, el cual está conformado por el conjunto de vías o malla que permite la intercomunicación vial al interior y exterior del municipio, hacen parte de este sistema las siguientes vías nacionales, departamentales y municipales.

Para la zona urbana se tiene la siguiente clasificación:

**VÍA URBANA DE PRIMER ORDEN (VU-1):** Interconecta los centros donde discurren las principales actividades urbanas con los diferentes barrios.

- ✓ Ancho total: 15 metros mínimos.
- ✓ Ancho y número de calzadas: 2 calzadas de 7 metros cada una.
- ✓ Ancho separador central: 1 metro.
- ✓ Ancho de andenes: 3 metros mínimo en las zonas centrales y comerciales; 2 metros en zona de vivienda.
- ✓ Radio mínimo de empate: 5 metros.
- ✓ Retrocesos: en zonas comerciales 2 metros mínimo.
- ✓ En zonas de Vivienda: 5 metros a partir del paramento propuesto para ante jardín.
- ✓ Se permite estacionamiento en un solo costado.

**VÍA URBANA DE SEGUNDO ORDEN (VU-2):** Penetra en los diferentes sectores urbanos y los límites de comunidades.

- ✓ Ancho total: 10 metros mínimos.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

- ✓ Ancho y número de calzadas: 1 calzadas de 7 metros.
- ✓ Ancho de andenes: 1.50 metros mínimo.
- ✓ Radio mínimo de empate: 5 metros.
- ✓ Retrocesos: en zonas comerciales 2 metros mínimo.
- ✓ Se permite estacionamiento en un solo costado.

**VÍA URBANA DE TERCER ORDEN (VU-3):** Interconecta los barrios entre sí.

- ✓ Ancho total: 9 metros mínimos.
- ✓ Ancho y número de calzadas: 1 calzada de 6 metros.
- ✓ Ancho de andenes: 1.50 metros.
- ✓ Radio mínimo de empate: 5 metros.
- ✓ Retrocesos: 2 metros mínimo a partir del paramento.
- ✓ Se permite estacionamiento en un solo costado.

**VÍA URBANA PEATONAL (VU-4):** Cuya función es permitir el desplazamiento peatonal dentro de las diferentes zonas de un mismo barrio.

- ✓ Ancho total: 6 metros mínimos.
- ✓ Ancho de andenes: 1.50 metros.
- ✓ Radio mínimo de empate: 5 metros.
- ✓ Retrocesos: en zonas comerciales 2 metros para voladizos.
- ✓ No se permite estacionamientos.

Así mismo, el tipo de pavimento de la vía también influye en el costo de la misma dado que el costo de construcción de una misma clase de vía por ejemplo, malla de vía local, es diferente para una vía en pavimento flexible que una en pavimento rígido. Los tipos de pavimentos considerados son: flexible, rígido y sin pavimento. Finalmente, la estimación de los costos también incluyó la clasificación y especificaciones establecidas por la normatividad colombiana vigente y la importancia de cada uno de los tipos de vías. En la Tabla 140 se presentan los costos estimados por metro para cada tipo de vía identificado en la zona de estudio.

**Tabla 140. Costo estimado para las vías (Valor en m/l)**

SISTEMA VIAL PRIMARIO	TIPO DE VÍA	CONVENCIÓN	COSTO ESTIMADO POR M/L
Vías nacionales	Vías de primer orden	VU1	\$ 2,500,000.00
Vías departamentales	Vías de segundo orden	VU2	\$ 1,500,000.00

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

SISTEMA VIAL PRIMARIO	TIPO DE VÍA	CONVENCIÓN	COSTO ESTIMADO POR M/L
Vías municipales interveredales	Vías de tercer orden	VU3	\$ 1,000,000.00
Vías urbanas	Vías de cuarto orden	VU4	\$ 500,000.00
Vías veredales o ramales	Vías de quinto orden	VU5	\$ 400,000.00

Fuente: INVIAS (2015)

Los costos de la Tabla 140 muestran valores aproximados de los costos de los diferentes tipos de vías que se encuentran en la zona de estudio y fueron estimados con base en los costos públicos por kilómetro lineal de las vías construidas suministrados por el Instituto Nacional de Vías (INVIAS) y por medio de investigación de diferentes proyectos de licitación tipo INVIAS.

### 16.3 MÉTODO DE ANÁLISIS

La calificación del riesgo se realiza mediante una evaluación cualitativa que tiene en cuenta el índice de riesgo total de los elementos expuestos y lo clasifica en las categorías de riesgo aceptable, tolerable o inaceptable. En esta sección se presenta la metodología y análisis del cálculo del índice de riesgo, riesgo económico directo y su categorización.

El denominado riesgo (económico, social o ambiental, según sea el sector que represente al usuario) se puede simular mediante el modelo dinámico del tipo integral (Rivera, 2001):

$$R_{E, S, A} = \int P(e) P_{(E, S, A)}$$

En donde,

$R_{E, S, A}$	Es el riesgo, sea económico (E), social (S) o ambiental (A).
$P(e)$	Es la probabilidad cuantitativa del evento que se pronostica; se denomina también amenaza (H).
$P_{(E, S, A)}$	Es la pérdida en el sector, sea económico (E), social (S) o ambiental (A), que se relaciona con el evento natural que se predice; también se suele denominar vulnerabilidad (V).

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

Para el caso en estudio, y una vez obtenida la amenaza y la vulnerabilidad, se puede estimar el riesgo físico individual de cada elemento expuesto definiendo el índice de riesgo (IR) para el escenario actual como:

$$IR = P(Dz)_{50} \cdot IVT$$

La probabilidad de ocurrencia acumulada a 50 años,  $P(Dz)_{50}$ , de la anterior fórmula se encuentra definida por la siguiente ecuación:

$$P(Dz)_{50} = 1 - \left(1 - \frac{1}{T_r}\right)^{T_D}$$

Donde

$\frac{1}{T_r}$  = probabilidad de ocurrencia de determinado evento/desastre natural, o amenaza bajo la que se encuentra el elemento expuesto ( $P_f$ ).

$T_D$  = periodo de diseño que para cuestión de este estudio corresponde a 50 años

Finalmente, el riesgo económico directo (R) se encuentra definido como el producto de la vulnerabilidad física por la probabilidad de ocurrencia y por el costo de los elementos expuestos.

$$R = \sum_{i=1}^n (P_f \times IVF_i \times C_i)$$

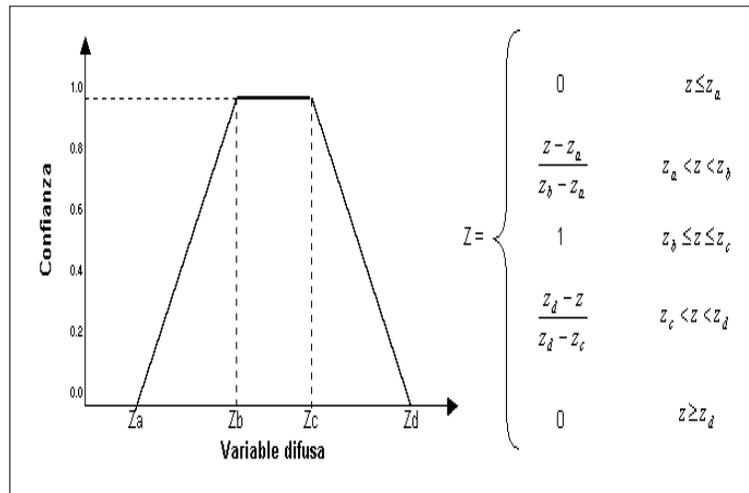
Dónde:

$P_f$ : Probabilidad de falla

$IVF_i$ : Índice de Vulnerabilidad Física del elemento expuesto

$C_i$ : Costo del elemento expuesto

Teniendo en cuenta que la amenaza se definió como la probabilidad de ocurrencia del fenómeno y la vulnerabilidad como un índice de pérdidas, representado como un conjunto difuso, el índice de riesgo también es un conjunto difuso que, para el caso utilizado de conjuntos difusos trapezoidales, se puede representar por la función presentada en la Ilustración 254.



**Ilustración 254. Conjuntos difusos trapezoidales.**

Los números difusos trapezoidales (Ver Ilustración 254) presentan algunas de las siguientes ventajas sobre otros tipos de números lineales o no lineales. En primer lugar, los números difusos trapezoidales constituyen la familia más general de números difusos que presentan una función de pertenencia lineal. Esta característica implica que tiene propiedades más generales y por lo tanto tiene mayor aplicación en la modelación de incertidumbre lineal. Su forma ( $z_a, z_b, z_c, z_d$ ) es mejor que cualquier otra forma como ( $z_a, z_b, z_\alpha, z_\beta$ ) debido a que es operacional y conceptualmente simple (Bansal, 2011). De igual manera, se puede observar que cuando  $z_b = z_c$ , el número trapezoidal se transforma en el número difuso triangular.

El índice de riesgo representado como una variable difusa no se puede utilizar, ni interpretar directamente por lo que primero se debe convertir en un número real. Con el fin de realizar este proceso, se sigue la metodología que permite el cálculo de la media y desviación estándar, tal y como se muestra a continuación:

Se puede determinar la esperanza y la varianza del factor de seguridad como el primer momento y el radio de giro con respecto a la media de la función difusa, respectivamente.

- Media

$$\mu = \int_{-\infty}^{\infty} z \cdot f(z) dz, \quad \text{para la esperanza o media.}$$

Para el conjunto difuso trapezoidal se tiene que:

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

$$\mu = z_a + \frac{1}{A} \left[ \frac{4A_1^2}{3} + A_2 \left( \frac{A_2}{2} + 2A_1 \right) + A_3 \left( A_2 + 2A_1 + \frac{2A_3}{3} \right) \right]$$

Donde,

$$A_1 = \frac{z_b - z_a}{2}$$

$$A_2 = z_c - z_b$$

$$A_3 = \frac{z_d - z_c}{2}$$

$$A = A_1 + A_2 + A_3$$

- Varianza

$$V(z) = \sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (z - \mu)^2 \cdot f(z) dz$$

Para el conjunto difuso trapezoidal

$$\sigma^2 = \frac{I_{\mu}}{A} = \frac{I_1 + I_2 + I_3}{A}$$

Donde,

$$I_1 = \frac{(z_b - z_a)^3}{36} + A_1 \left[ \mu - \left( \frac{2z_b + z_a}{3} \right) \right]^2$$

$$I_2 = \frac{(z_c - z_b)^3}{12} + A_2 \left[ \mu - \left( \frac{z_c + z_b}{2} \right) \right]^2$$

$$I_3 = \frac{(z_d - z_c)^3}{36} + A_3 \left[ \mu - \left( \frac{z_d + 2z_c}{3} \right) \right]^2$$

Con la esperanza (o media) y la desviación estándar del IR, se puede calcular el valor del índice de riesgo para un nivel de confianza del 90%, al ser ajustado a una

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

función de distribución de probabilidad (se debe a la de mejor ajuste, ya bien sea normal, log-normal, beta, etc).

## 16.4 CÁLCULO DEL RIESGO GLOBAL POR ZONA

Para poder realizar el análisis es necesario el cálculo del índice de riesgo ( $IR_z$ ) por zona de estudio. Este cálculo se realiza mediante la utilización de un promedio ponderado del índice de riesgo ( $IR$ ) de los elementos expuestos que se encuentran en dicha zona. La fórmula se muestra a continuación:

$$IR_z = \frac{\sum IR_i * Ce_i}{\sum Ce_i}$$

Donde,

$IR_i$  = índice de riesgo de los diferentes elementos expuestos

$Ce_i$  = costo de cada elemento expuesto

Con la anterior fórmula es posible asignarle una categoría de riesgo a la zona, sin embargo, para asignar la categoría lingüística es necesario contar también con el índice de vulnerabilidad total ( $IVT$ ) y la amenaza total (probabilidad de ocurrencia acumulada total a 50 años,  $[P(Dz)_{50}]_T$ ) de dicha zona.

El índice de vulnerabilidad total ( $IVT_z$ ) se halla de manera similar que el  $IR_z$ . La fórmula utilizada es la siguiente:

$$IVT_z = \frac{\sum IVT_i * Ce_i}{\sum Ce_i}$$

Donde,

$IVT_i$  = índice de vulnerabilidad total de los diferentes elementos expuestos

$Ce_i$  = costo de cada elemento expuesto

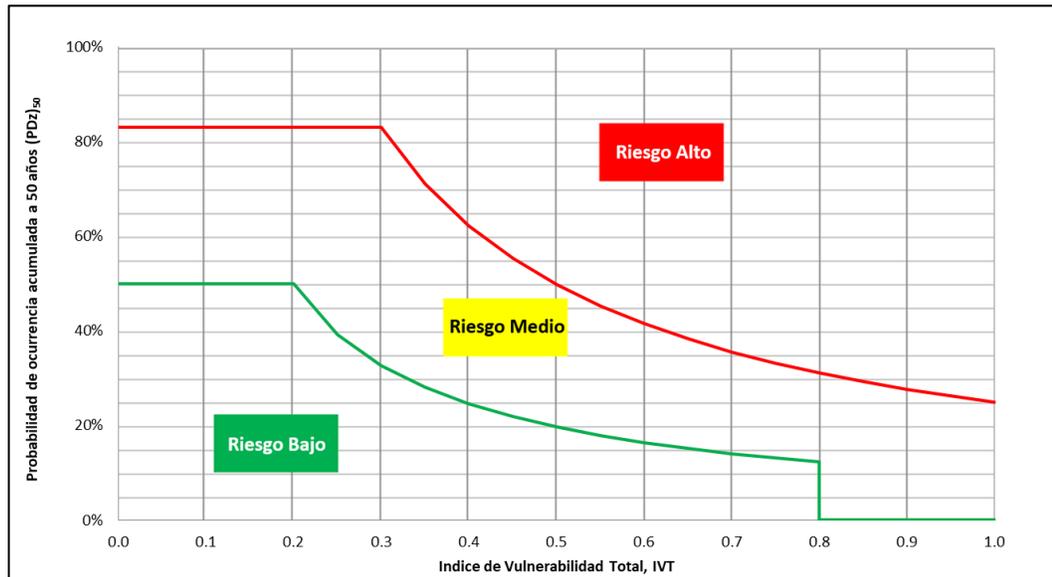
Una vez se conocen los valores del  $IVT_z$  e  $IR_z$  se despeja la probabilidad de ocurrencia acumulada total a 50 años  $[P(Dz)_{50}]_z$  para la zona de la fórmula para el cálculo del índice de riesgo.

$$P(Dz)_{50z} = \frac{IR_z}{IVT_z}$$

## 16.5 CRITERIOS APLICADOS

Para la categorización del  $IR$  se utiliza la Ilustración 255. Esta gráfica enseña de forma visual el criterio de decisión adoptado para asignar el nivel de riesgo.

Asimismo, la Tabla 141 muestra el nivel de riesgo, su descripción y los rangos que encierran cada criterio de decisión.



**Ilustración 255. Categorización del nivel de riesgo el cual depende del índice de vulnerabilidad total en el eje x y la probabilidad de ocurrencia acumulada a 50 años en el eje y. Fuente: Geocing SAS.**

Como se observa en la Ilustración 255, el índice de vulnerabilidad física (IVF) se ubica en el eje  $x$  y la probabilidad de ocurrencia acumulada a 50 años ( $P(Dz)_{50}$ ) en el eje  $y$ .

**Tabla 141. Categorización del riesgo.**

NIVEL DE RIESGO	DESCRIPCIÓN	CRITERIO
<b>Alto</b>	Situación que requiere desarrollar acciones prioritarias e inmediatas para su gestión debido al alto impacto que tendría. Se deben estudiar medidas tanto estructurales (disminución de la amenaza mediante obras de control) como no estructurales (disminución de la vulnerabilidad).	<p><math>Si IVF &lt; 0.30</math> y <math>P(DZ)_{50} \geq 83\%</math></p> <p><math>Si IRT \geq 0.25</math>, para <math>IVF \geq 0.30</math></p>

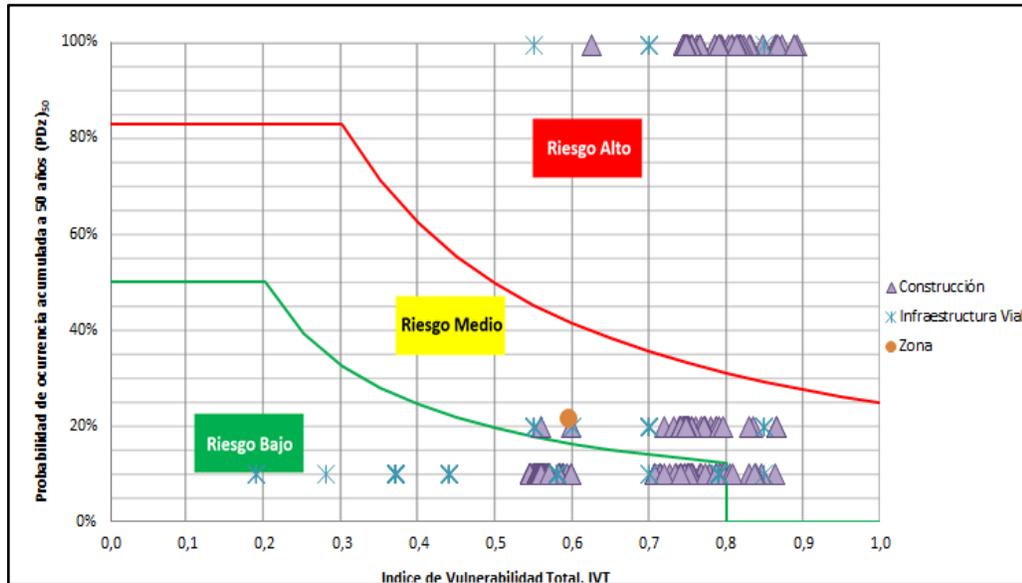
	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

NIVEL DE RIESGO	DESCRIPCIÓN	CRITERIO
<p><b>Medio o Tolerable</b></p>	<p>Se deben desarrollar actividades para la gestión sobre el riesgo con una prioridad de segundo nivel. Puede encaminarse a medidas no estructurales (disminución de vulnerabilidad), sin descartar medidas preventivas para disminución de la amenaza (obras); se deben contemplar medidas de instrumentación geotécnica periódicas (inclinómetros, piezómetros, etc.) que puedan determinar la activación de un fenómeno.</p>	<p><math>Si 50\% \leq P(Dz)_{50} &lt; 80\%</math> y <math>IVF &lt; 0.20</math>  <math>Si 0.10 \leq IRT &lt; 0.25</math>, para <math>0.125 \leq IVF &lt; 0.85</math>    <math>Si IRT \leq 0.25</math>, para <math>IVF \geq 0.85</math></p>
<p><b>Bajo o Aceptable</b></p>	<p>Zonas en este nivel significa que la convolución amenaza - vulnerabilidad no representa un peligro significativo, por lo que no amerita la inversión inmediata en acciones específicas para la gestión sobre el riesgo.</p>	<p><math>Si P(Dz)_{50} &lt; 50\%</math> y <math>IVF &lt; 0.20</math>  <math>Si IRT &lt; 0.10</math>, para <math>0.20 \leq IVF &lt; 0.80</math>    <math>N. A.</math>, para <math>IVF \geq 0.80</math></p>

Fuente: Geocing SAS.

### 16.5.1 Resultados por movimientos en masa

De acuerdo a la distribución de los índices de riesgo de los elementos expuestos presentados en la Ilustración 256 se logra identificar que las construcciones y vías se encuentran categorizadas en las tres categorías de riesgo (Bajo, medio y alto), esto sirve como referencia visual de la distribución de los elementos, pero no es un complemento que permita establecer de manera cuantitativa los elementos por cada categoría, ya que algunos elementos pueden presentar el mismo valor de riesgo lo cual se ilustraría como un único punto. De manera detallada se pueden observar la categorización del riesgo para cada elemento expuesto en el Anexo 5.



**Ilustración 256. Categorización del nivel de riesgo por movimientos en masa de los elementos expuestos para el escenario actual. Fuente: Geocing SAS.**

A partir de los resultados correspondientes a amenaza, vulnerabilidad y riesgo obtenidos para los elementos expuestos fueron calculados los valores de  $IVT_z$ ,  $(P(Dz)_{50})_z$  e  $IR_z$ , los cuales representan el valor total para el municipio y permiten estimar el riesgo total del mismo, como se logra identificar en la Tabla 142.

**Tabla 142. Valores de los índices de vulnerabilidad, amenaza y riesgo por movimientos**

Zona de Estudio	$IVT_z$	$(P(Dz)_{50})_z$	$IR_z$
Municipio de Teruel	0,59	0,22	0,13

Fuente: Geocing SAS.

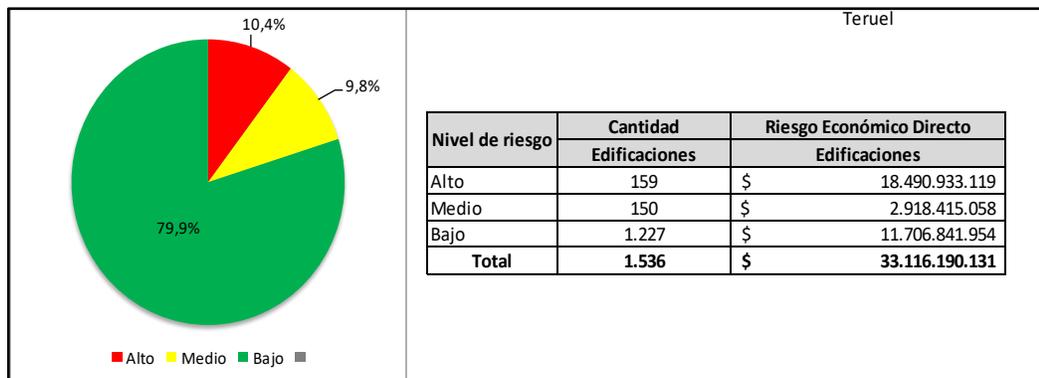
Según la Ilustración 256 y la Tabla 142, se establece que se encuentra categorizado con riesgo bajo por movimientos en masa, debido a que la mayor parte de los elementos expuestos se encuentran en la misma categoría de riesgo. El nivel de riesgo bajo implica que para el municipio no se requieren acciones de manera inmediata pero si es necesario evaluar de manera prioritaria y puntual los elemento expuestos respecto al riesgo correspondiente ante movimientos en masa y las correspondientes perdidas económicas que implicarían.

Respecto al riesgo económico que representan las construcciones categorizadas con riesgo por movimientos en masa, se establecen unas posibles pérdidas de \$33.116´190.131, como se logra identificar en la Ilustración 257. Cabe resaltar que a pesar que los predios en riesgo alto representan el 10,4 % (159 predios) del total

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

de predios en riesgo y el 54,7% del riesgo económico directo en el municipio de Teruel, esta diferencia en los porcentajes se debe a que en medida que el riesgo es mayor se esperan pérdidas superiores ya que las construcciones presentaran una mayor afectación; el restante 89,6% del riesgo económico se encuentra distribuido en el riesgo bajo y medio con \$14.625´257.012(1.377 predios).

El total de las vías se encuentra categorizado con riesgo ante movimientos en masa; se identificó que la totalidad de las vías correspondiente a 12,20 Km se encuentran asociadas al riesgo con unas pérdidas económicas esperadas de \$ 643´844.186. La mayoría de las vías están asociadas a riesgo bajo correspondiente a 11,04 KM (90,5% del total de las vías del municipio) con unas pérdidas esperadas de \$ 463´811.489. La infraestructura vial restante que corresponde a 1,16 Km, se encuentran distribuidos en categoría de riesgo alto y medio. Para el riesgo medio se categorizaron 1,04 Km de tramo vial las cuales representan unas pérdidas económicas de \$109´803.590 (8,5% del total de las vías del municipio) y finalmente un tramo de vía de 0,12 Km (1,0%) se categoriza en riesgo alto y tiene unas perdidas económico directas de \$70´229.106 (Ver Ilustración 258).



**Ilustración 257. Distribución del número de construcciones y pérdidas económicas esperadas para las categorías de riesgo por movimientos en masa.**

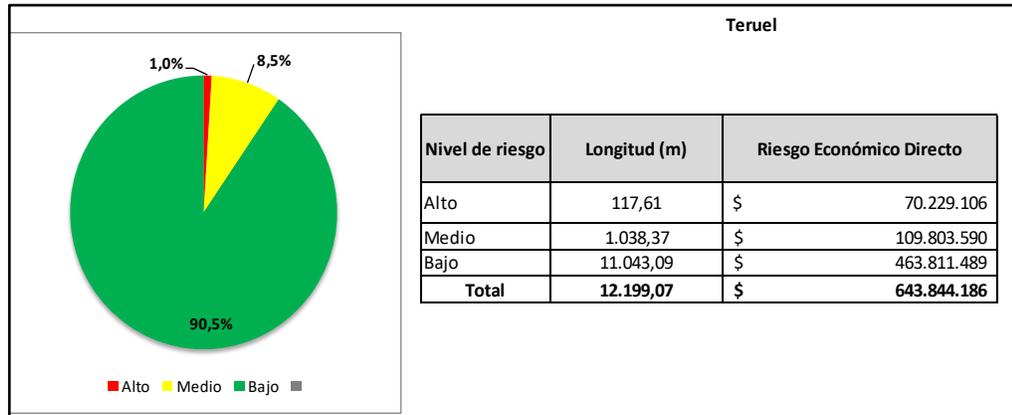
**Fuente: Geocing SAS.**



ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



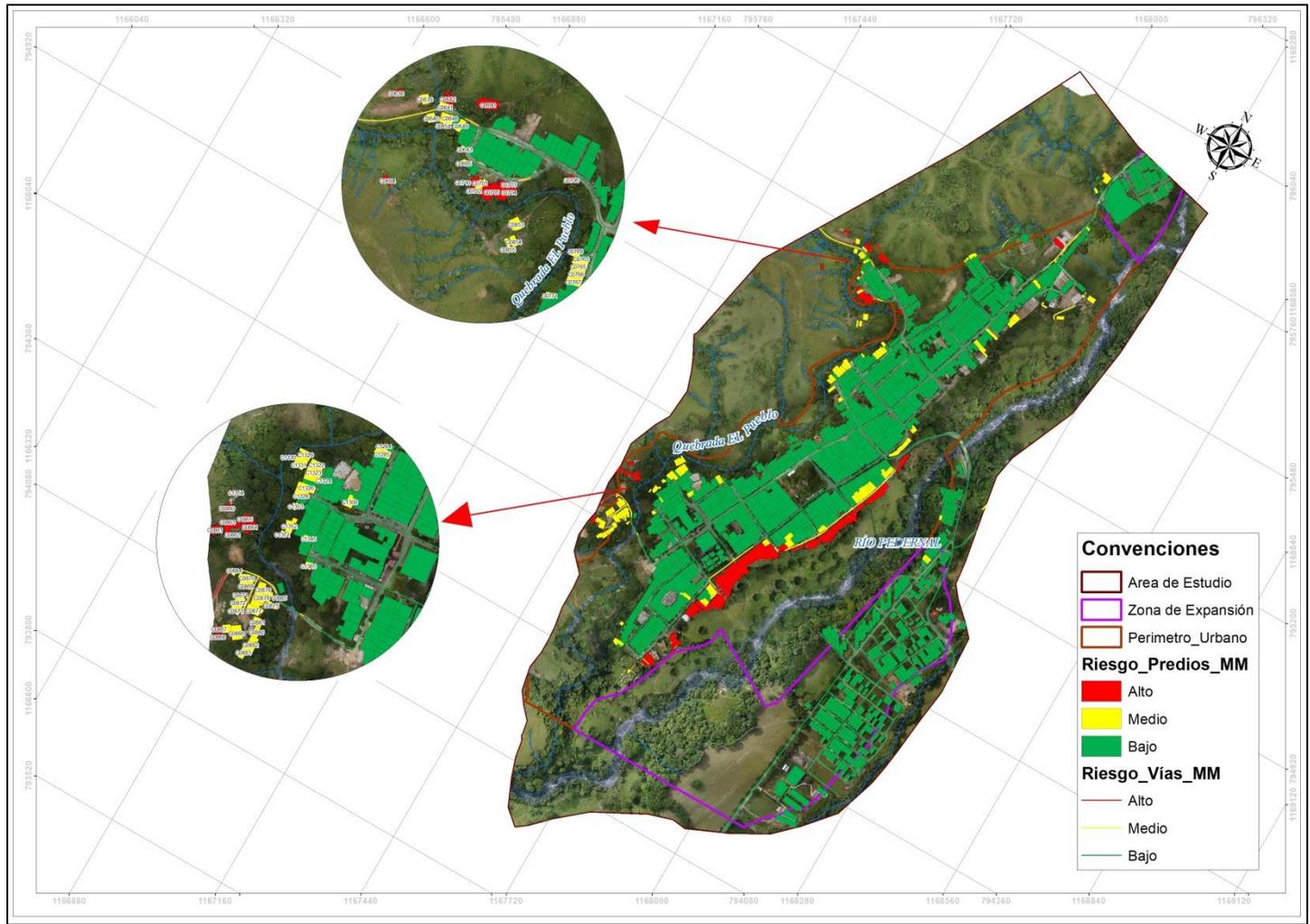
INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL



**Ilustración 258. Distribución de las pérdidas económicas esperadas de la infraestructura vial que se encuentra dentro de las categorías de riesgo por movimientos en masa.**

**Fuente: Geocing SAS.**

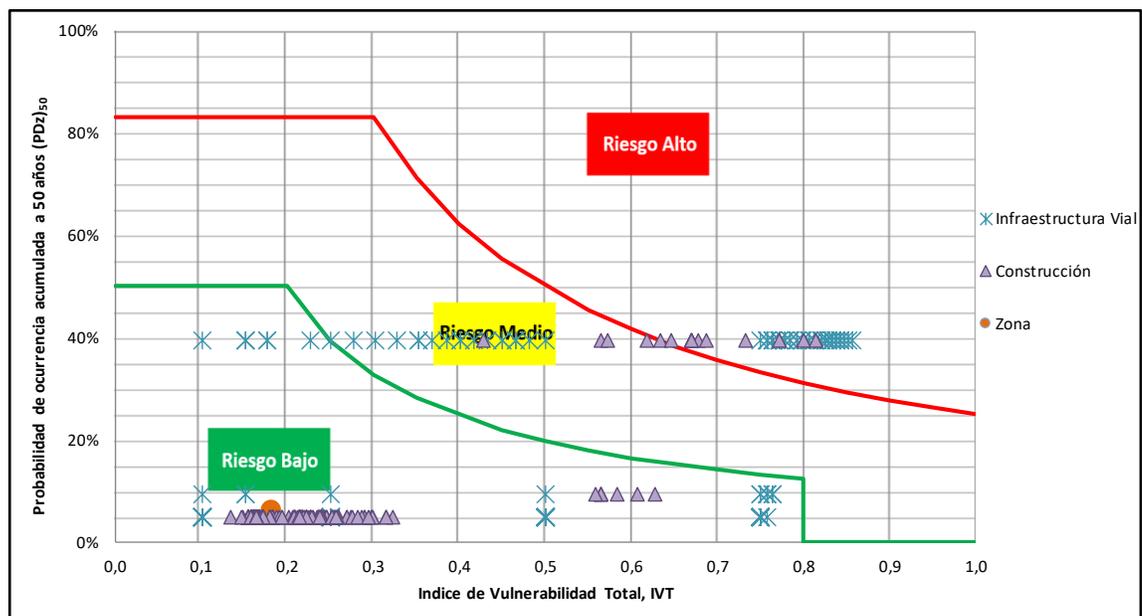
	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



**Ilustración 259. Mapa de riesgo por movimientos en masa municipio de Teruel.**  
Fuente: Geocing SAS.

### 16.5.2 Resultados por inundación

Como se logra identificar en la Ilustración 260 se presenta la distribución de los predios y vías ubicados dentro de las diferentes categorías de riesgo por inundación, esto a partir de los resultados obtenidos por amenaza y vulnerabilidad total, estableciendo que la distribución de estos elementos expuestos no es homogénea debido a que todos presentan una diferente categorización por amenaza, las diferentes características físicas de los predios, las condiciones socioeconómicas y características culturales de la población. Esta distribución no representa cuantitativamente los elementos expuestos en cada categoría de riesgo debido a que algunos de estos presentan el mismo índice.



**Ilustración 260. Categorización del nivel de riesgo por inundación de los elementos expuestos para el escenario actual.**

**Fuente: Geocing SAS.**

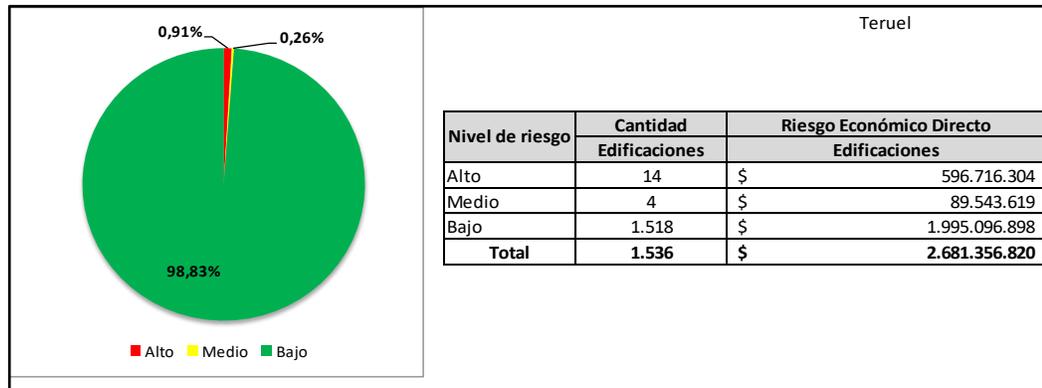
A partir de los resultados obtenidos para los elementos expuestos se categoriza el riesgo según los resultados correspondientes a IVT y  $(P(D_z)_{50})_z$ , obteniendo un índice de riesgo igual a 0,05 lo que categoriza al municipio con un riesgo bajo, tal como se presenta en la Tabla 143, y de manera gráfica en la Ilustración 260 como zona.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

**Tabla 143. Valores de los índices de vulnerabilidad, amenaza y riesgo por inundación**

Zona de Estudio	IVT <sub>Z</sub>	(P(Dz) <sub>50</sub> ) <sub>Z</sub>	IR <sub>Z</sub>
Municipio de Teruel	0,18	0,1	0,01

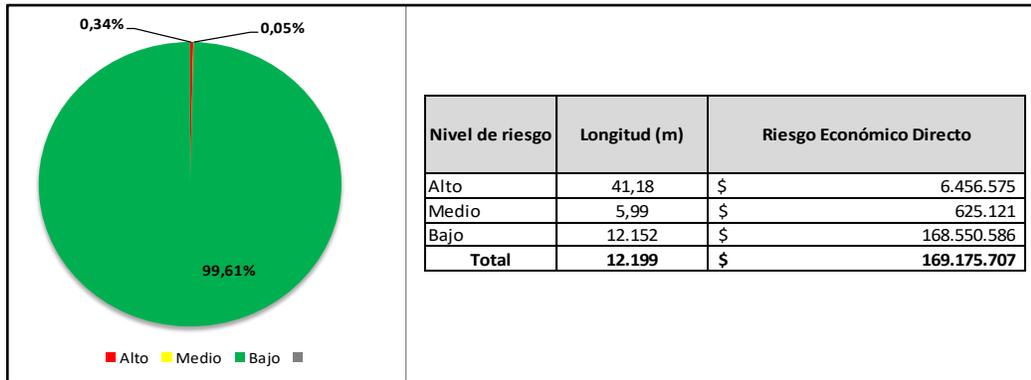
Fuente: Geocing SAS.



**Ilustración 261. Distribución del número de construcciones y pérdidas económicas esperadas para las categorías de riesgo por inundación.**

Fuente: Geocing SAS.

En la Ilustración 261 se presentan las pérdidas económicas y cantidad de predios correspondiente a cada categoría de riesgo por inundación, estableciendo que el 98,8% corresponde a riesgo bajo con 1.518 predios y unas pérdidas esperadas de \$ 1.995.096.898, seguido de los predios que presentan riesgo alto (0,91%) 14 predios con unas pérdidas esperadas de \$ 596.716.304, el restante correspondiente al 0,26% se identificaron predios en riesgo medio con un total de 4 predios unas pérdida esperadas de \$ 89.543.619. Las vías en riesgo presentan un riesgo económico total de \$ 171.368.406 como se presenta en la Ilustración 262, del total de estas pérdidas el riesgo bajo representa el 99,5% con pérdidas económicas esperadas de \$ 168.837.416 (12,14 Km), seguido del 0,3% correspondiente a los tramos viales del municipio categorizados con el riesgo alto con unas pérdidas esperadas de \$ 6.462.050 (0,04 Km) y el riesgo medio con el 0,14% representando unas pérdidas esperadas de \$ 2.530.990 correspondiente a 0,02 Km. Al igual que con los predios la relación de longitud contra pérdidas, es más representativa en el riesgo alto, debido a que la afectación en estos es mayor y el riesgo económico es directamente proporcional.



**Ilustración 262. Distribución de las pérdidas económicas esperadas de la infraestructura vial que se encuentra dentro de las categorías de riesgo por Inundación.**

**Fuente: Geocing SAS.**



ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

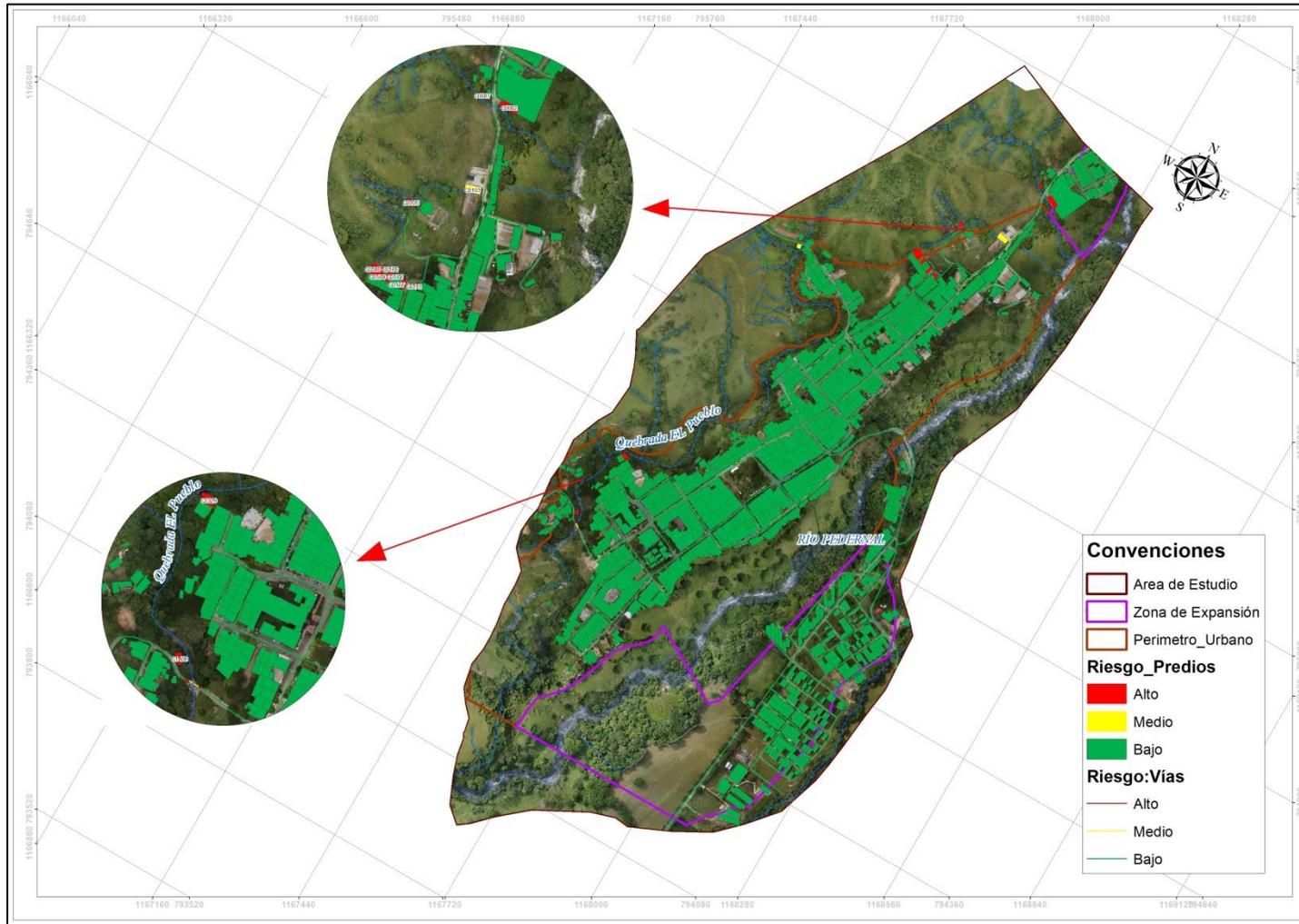
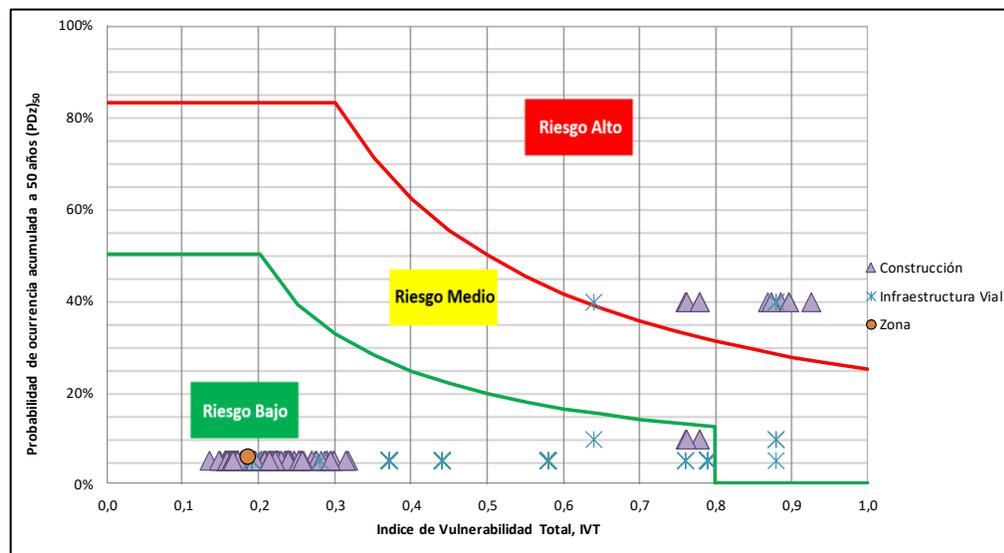


Ilustración 263. Mapa de riesgo por inundación municipio de Teruel.

Fuente: Geocing SAS.

### 16.5.3 Resultados por avenida torrencial

En la Ilustración 264 se presenta el comportamiento de los elementos expuestos dentro de las tres categorías de riesgo por avenida torrencial (Baja, media y alta), identificando que estos presentan todas las categorizaciones posibles, esto debido a que no se presenta un comportamiento homogéneo entre la distribución de la amenaza, las condiciones socioeconómicas y características culturales de la población, las características estructurales de los predios y características de la malla vial. Esta ilustración sirve para identificar de manera visual la distribución de los elementos expuestos en las categorías de riesgo, ya que cuantitativamente no es posible establecer el número de valores ubicados en cada categorización, ya que hay elementos expuestos que presentan el mismo IR.



**Ilustración 264. Categorización del nivel de riesgo por avenida torrencial de los elementos expuestos para el escenario actual.**

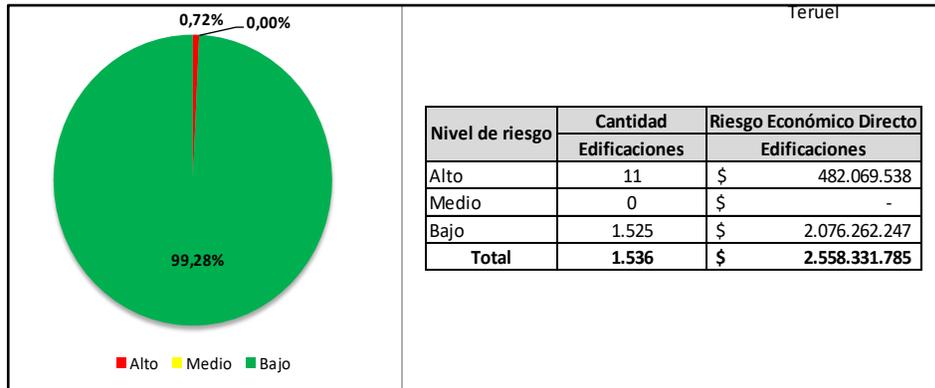
Fuente: Geocing SAS.

**Tabla 144. Valores de los índices de vulnerabilidad, amenaza y riesgo por avenida torrencial del municipio de Teruel.**

Zona de Estudio	IVT <sub>Z</sub>	(P(Dz) <sub>50</sub> ) <sub>Z</sub>	IR <sub>Z</sub>
Municipio de Teruel	0,19	0.06	0,01

Fuente: Geocing SAS.

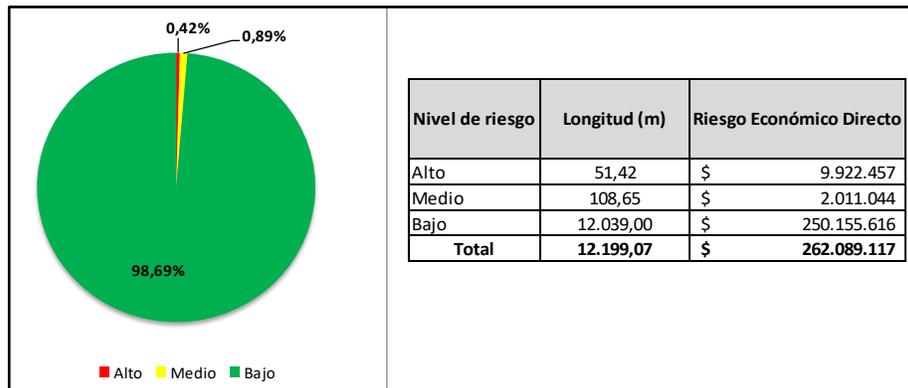
En la Ilustración 264 se representan el valor correspondiente al riesgo del municipio de Teruel el cual se encuentra en la Tabla 144, según los cuales Teruel se encuentra categorizado con riesgo alto, medio y bajo.



**Ilustración 265. Distribución del número de construcciones y pérdidas económicas.**

**Fuente: Geocing SAS.**

Las pérdidas económicas esperadas para los predios son de \$2.558'331.785 como se logra identificar en la Ilustración 265, estableciendo que las pérdidas que se presenta en los predios con riesgo alto (11 predios) son de \$482'069.538 lo cual representa el 19 % de las perdidas; las pérdidas esperadas para los predios que se encuentran en riesgo bajo (1.525) \$ 2.076'262.247 que corresponde al 99,25% del total de los predios. Es importante destacar que las pérdidas esperadas para el riesgo alto son mayores dado a que en esta categoría se presentarían mayores afectaciones a la infraestructura lo que implica una pérdida mayor a comparación del riesgo bajo.



**Ilustración 266. Distribución de las pérdidas económicas esperadas de la infraestructura vial que se encuentra dentro de las categorías de riesgo por Avenida Torrencial.**

**Fuente: Geocing SAS.**

El riesgo económico para las vías en el municipio de Teruel es igual a \$ 262'089.117 los cuales se distribuyen en las categorías de riesgo bajo, alto y media. Las vías en riesgo alto corresponden a un tramo de 0,05 Km los cuales representan el 0,42% del total de las vías y unas pérdidas económicas de \$9'922.457, para los tramos categorizados en riesgo bajo se identificaron 12,04 Km con unas pérdidas de \$250'155.616 y para el riesgo medio se identificó 0,108 Km (0,89%) con unas pérdidas esperadas de \$2'011.044. (Anexo 6. MAPAS).



ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

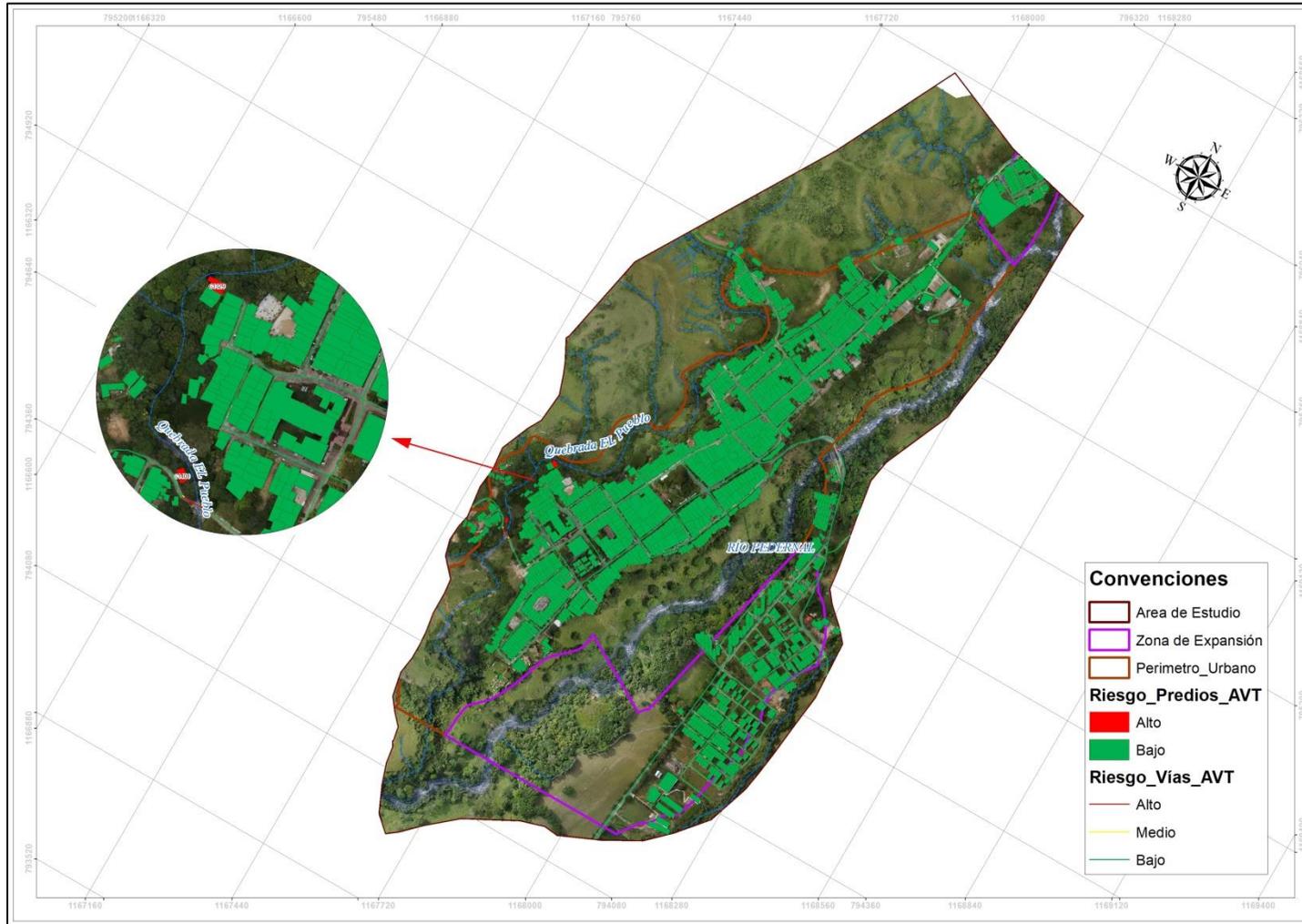


Ilustración 267. Mapa de riesgo por avenida torrencial municipio de Teruel.

Fuente: Geocing SAS.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

## 16.6 MITIGABILIDAD DEL RIESGO ALTO

### 16.6.1 Mitigabilidad por Movimientos en masa

De acuerdo a los análisis de riesgo realizados para este estudio de acuerdo con la amenaza por movimientos en masa, junto con el análisis de riesgo por movimientos en masa, se identificó que el riesgo alto de los predios ubicados en el taludes marginales de la quebrada el Pueblo DEBE reubicarse, razón por la cual el riesgo alto identificado para estos predios es No mitigable ya que, ninguna medida estructural garantiza la estabilidad de los taludes marginales y por ende la conservación de las viviendas. Las demás viviendas / construcciones del municipio no se ven afectadas por procesos de inestabilidad. En la Ilustración 268 se logra ubicar la vivienda que presentan riesgo alto no mitigable. Y en la Tabla 145 se enlistan los predios a reubicar.

**Tabla 145 Predios No mitigables por Movimientos en Masa**

PREDIO	Área m2	PREDIO	Área m2	Mitigabilidad
C1171	90.604021	C1329	137.546255	No Mitigable
C1174	242.475145	C1330	90.944076	No Mitigable
C1180	77.329582	C1331	93.867468	No Mitigable
C1181	355.290408	C1332	57.925926	No Mitigable
C1283	77.395411	C1335	70.696043	No Mitigable
C1284	67.370827	C1336	140.899231	No Mitigable
C1285	129.283391	C1341	80.910852	No Mitigable
C1286	99.633022	C1343	49.032436	No Mitigable
C1287	132.244948	C1344	38.483799	No Mitigable
C1288	71.251172	C1347	106.927044	No Mitigable
C1289	131.507049	C1348	62.483793	No Mitigable
C1290	121.243955	C1349	69.447494	No Mitigable
C1302	84.797301	C1350	39.132148	No Mitigable
C1322	149.829269	C1351	32.586929	No Mitigable
C1323	167.181307	C1352	154.393537	No Mitigable
C1324	124.181549	C1353	56.564248	No Mitigable
C1325	91.819208	C1384	60.971359	No Mitigable
C1326	174.098613	C1385	66.472082	No Mitigable
C1327	99.759146	C1394	120.98857	No Mitigable
C1328	129.720712	C1397	253.338203	No Mitigable

Fuente: Geocing SAS.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

**Tabla 146 Presupuesto de reubicación de 40 Construcciones bajo riesgo NO mitigable por Mov. En masa**

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ACEVEDO EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015</p>				
<p>PRESUPUESTO REUBICACIÓN 40 VIVIENDAS- RIESGO NO MITIGABLE</p>					
<p><b>ÍTEM</b></p>	<p><b>DESCRIPCIÓN</b></p>	<p><b>UNIDAD</b></p>	<p><b>CANTIDAD</b></p>	<p><b>VALOR UNITARIO</b></p>	<p><b>VALOR TOTAL ÍTEM</b></p>
<p>1</p>	<p><b>GENERALIDADES</b></p>				
<p>1.1</p>	<p>Localización y replanteo con equipo de topografía (amarrado a coordenadas reales IGAC)</p>	<p>m<sup>2</sup></p>	<p>6629</p>	<p>\$ 2,076</p>	<p>\$ 13,758,380</p>
<p>2</p>	<p><b>EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL</b></p>				
<p>2.1</p>	<p>Demolición de Estructuras</p>	<p>m<sup>3</sup></p>	<p>17676</p>	<p>\$ 130,958</p>	<p>\$ 2,314,806,361</p>
<p>2.2</p>	<p>Excavación mecánica en material común (incluye cargue)</p>	<p>m<sup>3</sup></p>	<p>21211</p>	<p>\$ 13,177</p>	<p>\$ 279,506,414</p>
<p>2.3</p>	<p>Transporte y disposición final de escombros en sitio autorizado (distancia de transporte 28 km)</p>	<p>m<sup>3</sup></p>	<p>58331</p>	<p>\$ 19,934</p>	<p>\$ 1,162,766,167</p>
<p><b>VALOR OBRAS DE ADECUACIÓN Y DEMOLICIÓN</b></p>					<p>\$ 3,770,837,322</p>
<p><b>AIU 30%</b></p>					<p>\$ 1,131,251,197</p>
<p><b>VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS DE ADECUACIÓN Y DEMOLICIÓN</b></p>					<p>\$ 4,902,088,518</p>
<p>3</p>	<p><b>Compra de Viviendas</b></p>				
<p>3.1</p>	<p>Viviendas de la zona de estudio</p>	<p>m<sup>2</sup></p>	<p>4419</p>	<p>\$ 450,000</p>	<p>\$ 1,988,550,000</p>
<p><b>VALOR REPRESENTATIVO ADQUISICIÓN DE VIVIENDAS</b></p>					<p>\$ 1,988,550,000</p>
<p><b>VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO REUBICACIÓN 40 VIVIENDAS- RIESGO NO MITIGABLE</b></p>					<p>\$ 6,890,638,518</p>

Fuente: Geocing SAS.

### 16.6.2 Mitigabilidad por Inundación

Según los análisis de riesgo realizados para este estudio de acuerdo con la amenaza de Inundación, se identificó que los predios con riesgo alto son mitigables ante la amenaza por Inundación, en la Ilustración 269 se identifica que todos lo predios afectados por un eventos de inundación son mitigables.

### 16.6.3 Mitigabilidad por Avenida Torrencial

Por los análisis de riesgo realizados para este estudio de acuerdo con la amenaza de Inundación, se identificaron 3 predios con riesgo alto No mitigable ante la amenaza por Inundación, en razón que no existe alguna medida estructural que mitigue este riesgo sin verse afectado el predio. Las viviendas se encuentran inmersa en la ronda hidráulica de la quebrada El Pueblo y por lo tanto se ven afectada por el incremento de la lámina de agua en temporada invernal, por lo cual se considera un sitio crítico y se debe reubicar con el propósito de proteger las vidas humanas que día a día se encuentran expuestas a la amenaza por inundación. En la Ilustración 270 se logra ubicar la vivienda que presentan riesgo alto no mitigable. Y en la Tabla 146 se enlistan los predios a reubicar.

	<b>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</b>
	<b>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</b>

**Tabla 147 Predios No mitigables por Avenida Torrencial**

PREDIO	Área m2	Mitigabilidad
C0887	34.727578	No Mitigable
C1329	137.546255	No Mitigable
C1408	71.690489	No Mitigable

Fuente: Geocing SAS.

**Tabla 148 Presupuesto de reubicación de 3 Construcciones bajo riesgo NO mitigable por Av. Torrencial**

	<b>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE ACEVEDO EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015</b>				
<b>PRESUPUESTO REUBICACIÓN 3 VIVIENDAS- RIESGO NO MITIGABLE</b>					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL ÍTEM
<b>1</b>	<b>GENERALIDADES</b>				
1.1	Localización y replanteo con equipo de topografía(amarrado a coordenadas reales (GAC)	m <sup>2</sup>	368	\$ 2,076	\$ 762,798
<b>2</b>	<b>EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL</b>				
2.1	Demolición de Estructuras	m <sup>3</sup>	980	\$ 130,958	\$ 128,338,438
2.2	Excavación mecánica en material común (incluye cargue)	m <sup>3</sup>	1176	\$ 13,177	\$ 15,496,509
2.3	Transporte y disposición final de escombros en sitio autorizado (distancia de transporte 28 km)	m <sup>3</sup>	3234	\$ 19,934	\$ 64,466,556
<b>VALOR OBRAS DE ADECUACIÓN Y DEMOLICIÓN</b>					<b>\$ 209,064,300</b>
<b>AIU 30%</b>					<b>\$ 62,719,290</b>
<b>VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS DE ADECUACIÓN Y DEMOLICIÓN</b>					<b>\$ 271,783,591</b>
<b>3</b>	<b>Compra de Viviendas</b>				
3.1	Viviendas de la zona de estudio	m <sup>2</sup>	245	\$ 450,000	\$ 110,250,000
<b>VALOR REPRESENTATIVO ADQUISICIÓN DE VIVIENDAS</b>					<b>\$ 110,250,000</b>
<b>VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO REUBICACIÓN 3 VIVIENDAS- RIESGO NO MITIGABLE</b>					<b>\$ 382,033,591</b>

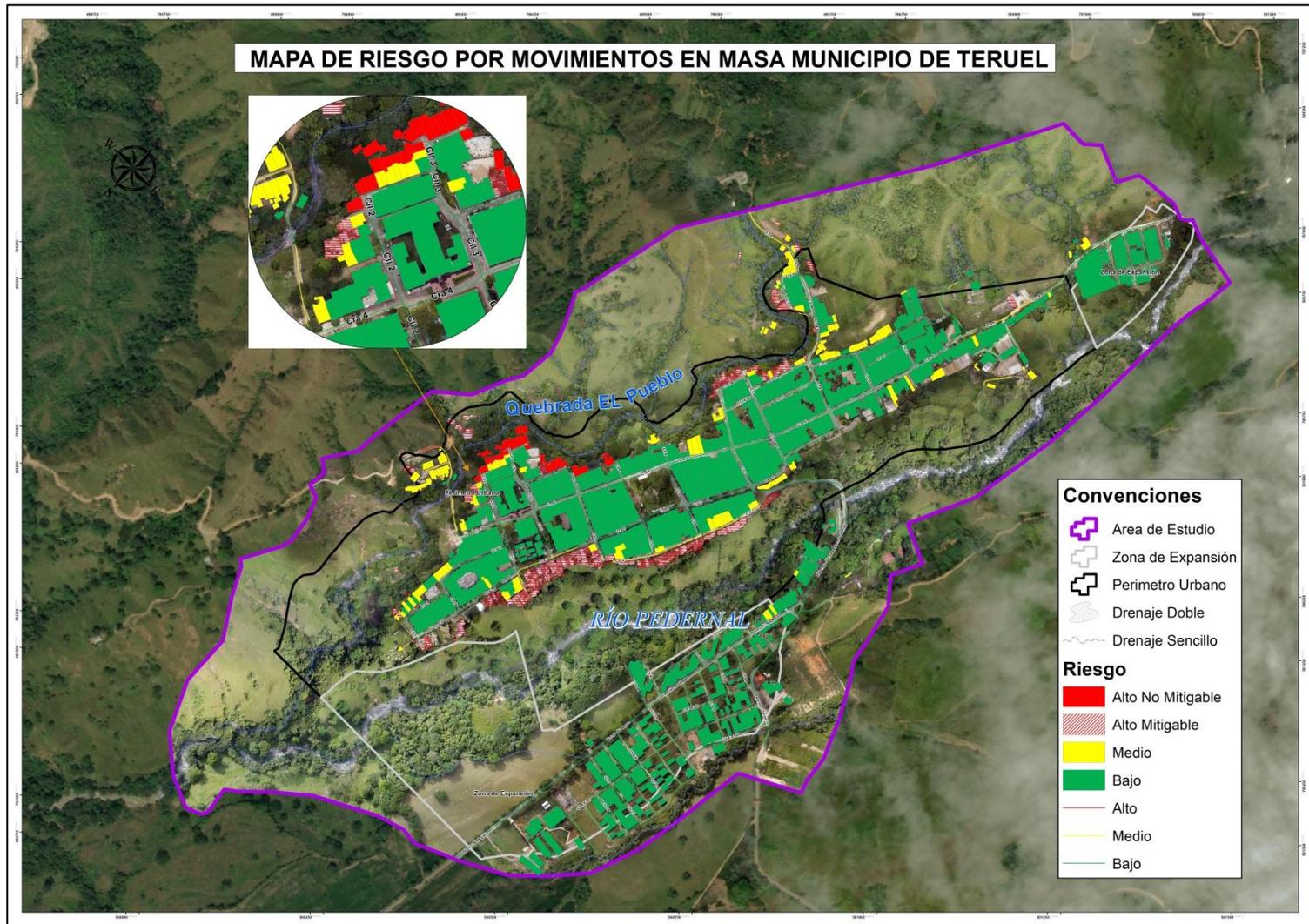
Fuente: Geocing SAS.



ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL



**Ilustración 268 Mapa de riesgo por Movimientos en masa**  
**Fuente: Geocing S.A.S.**

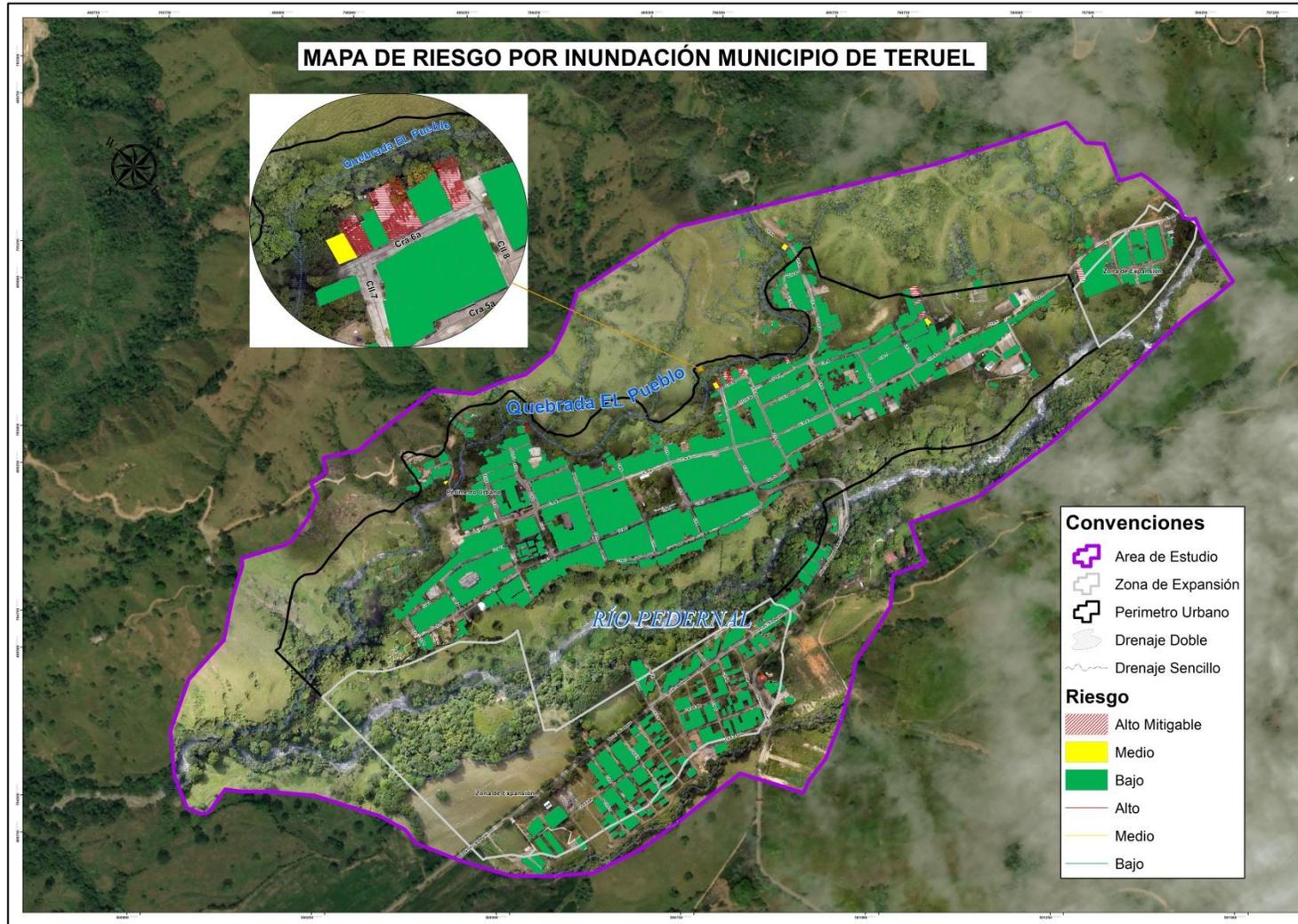


Ilustración 269 Mapa de riesgo por Inundación  
Fuente: Geocing S.A.S.

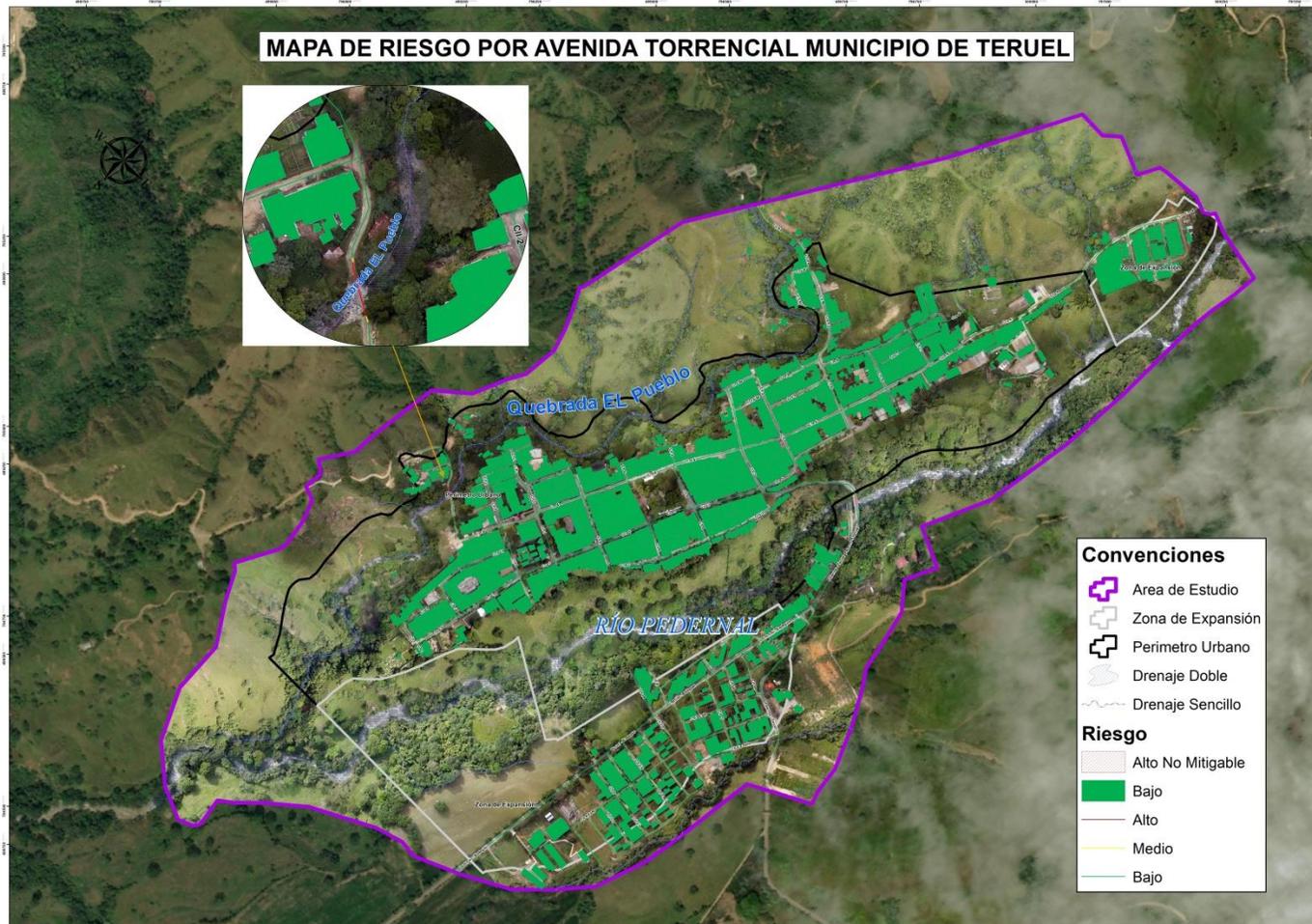


Ilustración 270 Mapa de riesgo por Avenida Torrencial  
Fuente: Geocing S.A.S

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

## 17 RONDA HÍDRICA Y ZONIFICACIÓN AMBIENTAL

### 17.1 RONDA HÍDRICA

De acuerdo con el artículo 206 (Rondas Hídricas) de la Ley 1450 de 2011 - Plan Sostenible, los Grandes Centros Urbanos y los Establecimientos Públicos Ambientales Nacional de Desarrollo 2010-2014 “Prosperidad para Todos”, establece que “Corresponde a las Corporaciones Autónomas Regionales y de Desarrollo efectuar, en el área de su jurisdicción y en el marco de sus competencias, el acotamiento de la faja paralela a los cuerpos de agua (rondas hídricas) y el área de protección o conservación aferente”.

Po lo cual en el presente capítulo contiene los resultados de la Zonificación de Manejo Ambiental y ronda de protección de drenajes para el municipio de Teruel. El enfoque está planteado para ser desarrollado en diferentes fases, entre ellas definición del límite funcional y su caracterización socio-cultural, así como la definición de medidas de manejo ambiental.

Se deberá considerar el resultado de la delimitación física de la ronda hídrica, así como su grado de ocupación y uso de la tierra identificando las zonas urbanas y rurales. Se deberán involucrar las proyecciones que se tienen desde los actores como posibles escenarios de aprovechamiento sostenible de los recursos naturales renovables dentro de la ronda hídrica haciendo una distinción entre sus dos elementos constituyentes debido a que éstos tienen diferentes grados de condicionamientos para el manejo ambiental. El primer elemento de la ronda hídrica será el más restrictivo desde el punto de vista de la ocupación antrópica, ya que es la zona que se inunda periódicamente y en la que está la vegetación de ribera por lo que la estrategia fundamental será la de preservación, y cuando aplique la de restauración. En los casos particulares de ríos de montaña, donde la estabilidad geotécnica sea un factor detonante de riesgos en personas, bienes y servicios ya expuestos y susceptibles de ser dañados por la ocurrencia de movimientos en masa, tales tramos deben incluirse dentro del primer elemento.

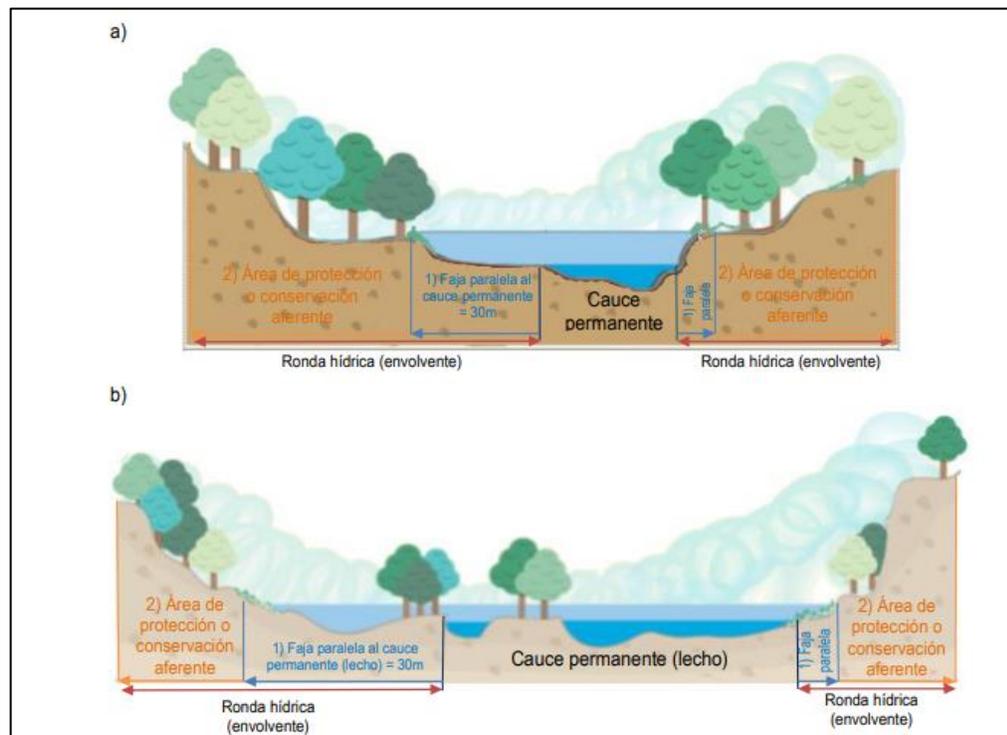
La metodología general se fundamenta en la identificación de áreas que ofrecen diversos niveles de sensibilidad en función de sus propiedades intrínsecas asociadas con la oferta ambiental y la prestación de servicios de orden social y ambiental; es así como, se tienen en cuenta los siguientes criterios, orientados a la identificación y definición de dichas unidades.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

Este nivel de sensibilidad de la oferta ambiental, permite definir entonces el nivel de intervención de tal manera que se garantice la sostenibilidad ambiental, en función de los requerimientos de las diferentes actividades proyectadas. Es importante señalar que de forma general, la sensibilidad presenta un comportamiento inverso a la aptitud del área frente al desarrollo de proyectos, esto es que a mayor sensibilidad menor aptitud, y a menor sensibilidad mayor aptitud.

### 17.1.1 Elementos constituyentes de la ronda hídrica

Dentro del límite físico de la ronda hídrica se encuentran sus dos elementos constituyentes establecidos en el artículo 206 de la Ley 1450 de 2011: i) “la faja paralela a los cuerpos de agua a que se refiere el literal d) del artículo 83 del Decreto Ley 2811 de 1974”, ii) “y el área de protección o conservación aferente” (Ilustración 272). La delimitación de dichos elementos y sus atributos definidos desde las estrategias para su manejo ambiental se representarán cartográficamente y se deberán tener en cuenta por parte de las entidades competentes en las actuaciones a que haya lugar. En la Ilustración 273, se presenta la delimitación de la ronda hídrica.



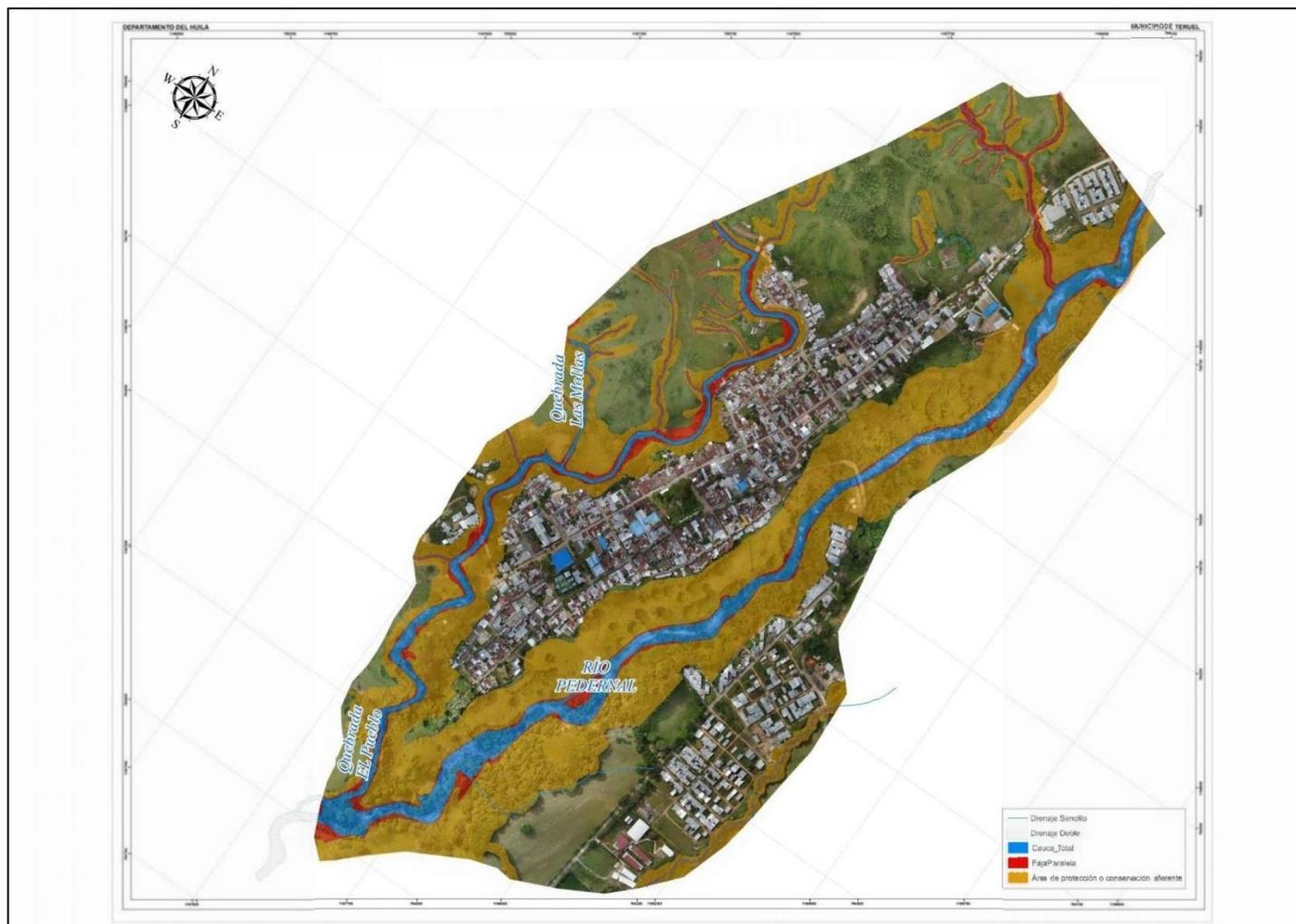
**Ilustración 271** Identificación de los elementos constituyentes de la ronda hídrica (flecha roja) cuando el primero (flecha azul) es igual a 30 metros y el resto es hasta el límite de la envolvente de los tres componentes. Fuente: GUÍA TÉCNICA DE CRITERIOS PARA EL ACOTAMIENTO DE LAS RONDAS HÍDRICAS EN COLOMBIA, BOGOTÁ 2018.



ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL



**Ilustración 272 Delimitación de la ronda hídrica para los drenajes presentes en el municipio de Teruel.**

**Fuente: Geocing SAS.**

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

### **17.1.2 Estrategias para el manejo ambiental de las rondas hídricas**

De acuerdo con lo establecido en la Política Nacional para la Gestión Integral de la Biodiversidad y sus Servicios Ecosistémicos (Minambiente, 2012), "la conservación es un concepto que trasciende la visión asociada exclusivamente a la preservación de la naturaleza; la conservación debe ser entendida y gestionada como una propiedad emergente, generada a partir del balance entre acciones de *preservación, uso sostenible*, generación de conocimiento y restauración de la biodiversidad, de manera que se mantenga o incremente la resiliencia de los sistemas socio-ecológicos y con ella el suministro de servicios ecosistémicos fundamentales para el bienestar humano". En tal sentido, para el logro del objetivo de conservación se tienen estrategias relacionadas con la preservación, restauración y uso sostenible.

La preservación se refiere a mantener la composición, estructura y función de la biodiversidad, conforme a su dinámica natural y evitando los posibles disturbios que ocasionen las acciones humanas. En estos casos estarían, por ejemplo, aquellas áreas donde se encuentre bosque de ribera nativo (bosque de galería).

La restauración se enfoca en restablecer parcial o totalmente la composición, estructura y función de la biodiversidad, en áreas de la ronda hídrica que hayan sido alteradas o degradadas que contribuyan a la conectividad ecológica.

El establecimiento de áreas para uso sostenible permite actividades que no afectan la funcionalidad de la ronda hídrica, es decir que las actividades que allí se desarrollen no alteren los atributos actuales identificados en sus tres componentes físico-bióticos.

Considerando lo anterior, se debe propender por el desarrollo de los enfoques de adaptación y mitigación basados en ecosistemas. La adaptación basada en ecosistemas es un enfoque para aumentar y mantener la capacidad adaptativa y reducir el riesgo de degradación o colapso de los socio-ecosistemas al cambio ambiental (incluido el cambio climático) integrando el uso sostenible de la biodiversidad y los servicios ecosistémicos en una estrategia global de adaptación (Minambiente, 2012). La mitigación basada en ecosistemas se fundamenta en la capacidad que tienen todos los ecosistemas, para detener o reducir las causas que amenazan la integridad estructural y funcional de los socio-ecosistemas, poniendo en riesgo la resiliencia de la biodiversidad, y por ende la provisión de los servicios derivados de esta (Minambiente, 2012).

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b>

## 17.2 ZONIFICACIÓN AMBIENTAL

La zonificación de manejo ambiental se obtuvo a partir de la categorización de zonas amenaza (alta) y riesgo (alto mitigable y no mitigable), determinación de las rondas hídricas de protección con base en su cota máxima de inundación y protección de la parte superior e inferior de laderas y taludes definida para el presente estudio con base en los resultados de ensayos geotécnicos y análisis de estabilidad de las diferentes laderas que se presentan en los sitios de estudio.

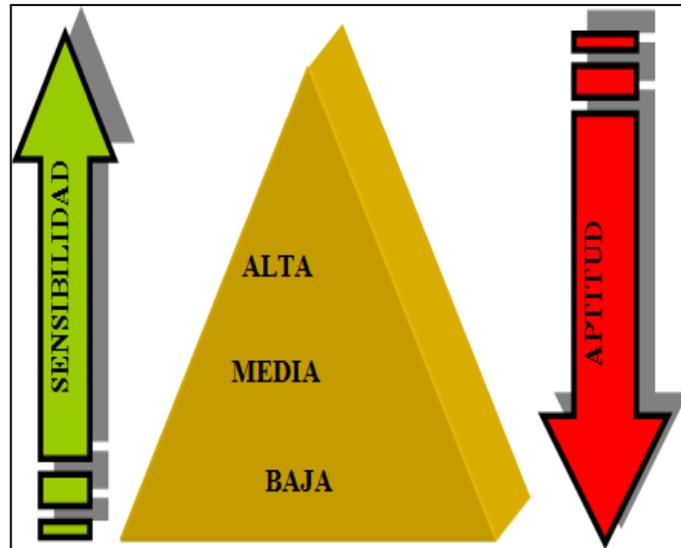
La zonificación de manejo ambiental permitió junto con el análisis del mapa de cobertura vegetal y uso actual del suelo, establecer los usos recomendados y ofrecer herramientas técnicas que permitan la definición de áreas de especial significancia ambiental contenidos en el Plan de Ordenamiento Territorial (POT) de esta forma, constituirá una herramienta de planificación ambiental para su desarrollo, teniendo en cuenta el nivel de intervención antrópica existente y las características de los proyectos y obras a realizar.

### 17.2.1 Metodología de zonificación

La metodología general se fundamenta en la identificación de áreas que ofrecen diversos niveles de sensibilidad en función de sus propiedades intrínsecas asociadas con la oferta ambiental y la prestación de servicios de orden social y ambiental; es así como, se tienen en cuenta los siguientes criterios, orientados a la identificación y definición de dichas unidades.

Este nivel de sensibilidad de la oferta ambiental, permite definir entonces el nivel de intervención de tal manera que se garantice la sostenibilidad ambiental, en función de los requerimientos de las diferentes actividades proyectadas. Es importante señalar que de forma general, la sensibilidad presenta un comportamiento inverso a la aptitud del área frente al desarrollo de proyectos, esto es que a mayor sensibilidad menor aptitud, y a menor sensibilidad mayor aptitud.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL



**Ilustración 273. Relación Entre Sensibilidad y Aptitud Frente a proyectos**

A partir de lo anterior, fueron definidas las siguientes áreas de manejo ambiental:

- Área de exclusión (AE) Sensibilidad muy alta

Son aquellas que ofrecen una sensibilidad ambiental o social elevada impidiendo el desarrollo de ciertas actividades en su interior. Por sus características de vulnerabilidad *no es posible la realización de proyectos*, no solamente desde el punto de vista de ecosistema y social sino desde el punto de vista técnico como construcción de vías de acceso, viviendas; ni como tampoco captaciones de vertimientos. En la Tabla 149 se identifican los diferentes sectores estudiados para la representación final del mapa de zonificación Ambiental.

**Tabla 149. Relación de áreas de exclusión zona de estudio**

Unidad	Sensibilidad	Descripción
Exclusión	Muy Alta	Rondas de protección de drenajes principales y sus tributarios.
		Rondas de protección de manantiales de carácter permanente o intermitente.
		Zonas de amenaza alta por Inundación, Avenida Torrencial y Movimientos en masa
		Zonas que forman parte de corredores ecológicos.

Por otra parte, se incluyen dentro de estas áreas de exclusión aquellas con intenso desarrollo de procesos morfodinámicos referidos a erosión y/o movimientos en masa, procesos morfodinámicos se incluyen las zonas de laderas natural con pendientes superiores a 45°, zonas intervenidas inestables y zonas de

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

laderas naturales o intervenidas potencialmente susceptibles a inestabilidad. De igual forma, se puede incluir en estas zonas, aquellas áreas en las que la intervención antrópica, como la tala y quema de la cobertura vegetal, construcción de viviendas sin normas técnicas, inadecuada captación y manejo de las aguas residuales domésticas y de escorrentía; y disposición de escombros, entre otros, pueden llegar a crear sectores inestables.

- Uso recomendado

Este tipo de área de protección puede ser usada para lo siguiente:

- Pueden ser adecuadas y utilizadas para recreación pasiva o contemplativa mediante la implementación de miradores o senderos ecológicos.
- Obras de servicio público (interceptores de alcantarillado, Sistemas de Tratamiento “PTAR”.
- Obras de control y mitigación de riesgo.
- Parques lineales (malecones), áreas arborizadas, paseos, alamedas)

Todas las anteriores actividades antes de su ejecución deben tener la aprobación por parte de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena - CAM.

- Ronda de protección de drenajes

Estas zonas corresponden a los bordes de ríos y quebradas en cuyas márgenes se asocian los últimos relictos de bosque de galería, conformados por especies arbóreas, mezclados con rastrojo alto en zonas de laderas y que en la actualidad se encuentran altamente intervenidos por actividades antrópica.

Son áreas potencialmente inundables por las corrientes principales y sus tributarios cuya ronda de protección se determinó a partir de las cotas máximas de inundación para periodos de retorno de 100 años, cuyos resultados se relacionan en la siguiente tabla.

**Tabla 2. Relación de ronda de protección de drenajes**

Municipio	Drenaje	Período de retorno de 100 años	Zona de protección (m)	Protección desde la corona del talud (m)
Teruel	Qda. El Pueblo	100	10	5
	Qda. El Putio	100	10	5
	Qda. Tinajas	25	10	5
	Qda. La Pita	25	5	

Fuente: Geocing SAS.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

- Aislamientos mínimos en cauces

Para la determinación de los aislamientos mínimos de cauces, requiere la definición de **Creciente Básica**, la cual corresponde a la creciente que solo tiene 1% de posibilidad de ocurrencia en un año, lo cual equivale a una creciente con periodo de retorno de 100 años, nivel a partir del cual se definieron los aislamientos mínimos entre los proyectos y los cauces de los ríos quebradas o corrientes los cuales se describen a continuación:

#### 1. Cauces principales

Los cauces principales son definidos como aquellos con crecientes básica superior a **100** metros cúbicos por segundo, para el área de estudio está referido No se presentan cauces principales. El aislamiento o zona de protección entre el proyecto y los cauces principales debe ser superior en todos los casos a más de **20 metros** de la línea correspondiente a la cota de inundación de la creciente básica (100 años).

#### 2. Cauces secundarios

Los cauces secundarios son definidos como aquellos con caudales entre **10 y 100** metros cúbicos por segundo. El aislamiento o zona de protección entre los proyectos y los cauces secundarios debe ser superior en todos los casos a más de **10 metros** de la línea correspondiente a la cota de inundación de la creciente básica (100 años).

**3.** Demás cauces para los demás cauces y corrientes *permanentes* o no *permanentes*, con caudales máximos para la creciente básica (Período de retorno de 100 años) inferiores a **10** metros cúbicos por segundo, para el área de estudio no se presentan Cauces. El aislamiento debe ser superior en todos los casos a más de **5 metros** de la línea correspondiente a la cota de inundación de la creciente básica (100 años). Se presenta a continuación la zona de protección para cada uno de los cauces del municipio de Teruel.

#### 4.

Tabla 150 Área de protección para cauces secundarios

Municipio	Drenaje	Período de retorno de 100 años	Cauce promedio (m <sup>3</sup> /seg)	Zona de protección (m)
Teruel	Qda. El Pueblo	100	10 -100	10
	Qda. El Putio	100	11 -100	10
	Qda. Tinajas	100	12 -100	10
	Qda. La Pita	100	13 -100	10

Fuente: Geocing SAS.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>

- Área de Alta restricción (AAR) Sensibilidad alta

Indica las áreas donde se pueden desarrollar proyectos, pero con restricciones, poniendo en práctica las medidas de control ambiental debido a su alta sensibilidad. Corresponden a las franjas de protección de laderas y aquellos sectores localizados entre cotas de inundación para periodos de retorno de 100, 500 y mayores a 500 años, sobre las cuales sólo se permitirá la intervención con obras lineales y puntuales de baja densidad; las cuales requerirán para su desarrollo la realización de una serie de medidas de prevención, control hidrológico y geotécnico.

- Zona de protección de laderas

La definición de esta zona se realiza con base en los aspectos *geomorfológicos* y *geotécnicos*. El primero de ellos establece el grado de inclinación de las laderas y el desarrollo de procesos morfodinámicos y la segunda el comportamiento geomecánico de los materiales que las constituyen, las cuales definen franjas de protección comprendida entre el cambio de la pendiente de estas y la parte horizontal en la parte superior y baja de laderas y taludes.

Las zonas referidas a la parte superior están constituidas de forma general por el depósito no consolidado tipo de abanico aluvial y en algunos sectores por rellenos antrópicos (disposición de escombros); mientras en la parte inferior se registra la presencia de depósitos de planicies aluviales, terrazas, y de ladera (coluviones y derrubios). El comportamiento geomecánico de este tipo de material facilita el desarrollo de procesos morfodinámicos representado por erosión pluvial (calvas de erosión) e hídrica (surcos, cárcavas y zanjas) y movimientos en masa de tipo deslizamiento rotacional, reptación, flujos de detritos y terracetas, desarrollados preferencialmente en el cambio de pendiente hacia las laderas de los drenajes principales, situación favorecida por el régimen pluviométrico, al carácter no consolidado del material, pendiente del terreno y el limitado desarrollo de la cobertura vegetal protectora.

La cobertura vegetal predominante en estas zonas está asociada a bosques y áreas seminaturales, pastos naturales y enmalezados, vegetación herbácea o arbustiva, destacando que su uso está referido en algunos sectores al desarrollo de viviendas de barrios *informalmente* establecidos o de construcciones de diferente tipo que constituyen las zonas de asentamientos del municipio.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

Con base en lo anterior, se determinó para las diferentes zonas que constituyen el área de estudio una zona de protección de ladera mínima de diez **(10)** metros para la parte superior, que puede ser superior en laderas mayores a 15 m de altura y de acuerdo a los resultados de análisis de estabilidad, y de cinco **(5)** metros para la parte inferior.

- Uso recomendado
- Zonas de protección ambiental
- Zonas de recreación activa, pasiva y contemplativa (parques, losas deportivas, parques infantiles áreas arborizadas, paseos, alamedas o equipamiento para actividades culturales aire libre).
- Vías urbanas, obras de servicio publico

Todas las anteriores actividades antes de su ejecución deben tener la aprobación por parte de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena - CAM.

- Aislamiento mínimo de laderas y taludes

De acuerdo a los análisis realizados para determinar la estabilidad de laderas y taludes, se determinó que la superficie de falla se puede presentar a menos de 5 m de la corona del talud en condiciones estáticas o dinámicas, sin embargo, esta distancia lo es para el caso en que ocurra una superficie de falla con el menor factor de seguridad que se establezca para el talud. Esta se ha determinado para alturas que oscilan entre 5 m y 12 m, pero para alturas superiores puede aumentar dicho rango.

Para los suelos y rocas observados en las diferentes zonas que conforman el área de estudio, en los que predominan ángulos de fricción de 30°, excepto algunos sectores, y donde la cohesión es baja, se podría establecer que en promedio un ángulo relativamente estable para un talud o una ladera es de 60° con respecto a la horizontal. Esto no será válido para los sectores en los que la ladera esté conformada por suelos netamente arcillosos o limosos, en los que el ángulo de inclinación del talud tendrá que ser al menos de 45° o menos. Si consideramos un talud hipotético vertical y le calculamos las cuñas de falla a 60°, 45° y 30° (ángulo respecto a la horizontal), se tendrían los siguientes datos, Tabla 142.

Lo anterior es considerando una proyección geométrica, pero los materiales no obedecen a dichas proyecciones, por lo que sólo se puede sugerir unas distancias de protección para laderas que tengan menos de 15 m de altura, porque como lo

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

muestra la proyección geométrica, las distancias posibles para alturas mayores se hacen también muy grandes y esto podría causar conmoción para quienes administran valores de terreno. De acuerdo a la Tabla 142, si se tuviese un talud de 15 m con una inclinación de 45° en materiales blandos y fallaran alcanzando un ángulo de reposo de 30°, la distancia a la cual ocurriría la superficie de falla sería (25.98 – 15), esto es 10.98, sin considerar falla retrogresiva.

**Tabla 151 Cuñas probables de falla para un talud vertical a diferentes alturas**

ÁNGULO VERTICAL	ALTURA TALUD (m)	DH CUÑA	OBSERVACIONES
30°	5	2.88	Aplica para taludes en suelos ligeramente consolidados y rocas blandas
	10	5.77	
	15	8.66	
	20	11.54	
45°	5	5	Aplica a taludes en rocas blandas arcillosas y suelos granulares con cierto contenido de finos
	10	10	
	15	15	
	20	20	
60°	5	8.66	Aplica a taludes con suelos arcillosos y limosos
	10	17.32	
	15	25.98	
	20	34.64	

Fuente: Geocing SAS.

Teniendo en cuenta que en el municipio se tienen laderas con alturas que varían entre los 10 y 15 m de altura, el recomendar una distancia mínima de seguridad de **10 m** se considera aceptable, dado que los suelos y rocas no son tan blandos. Para alturas mayores a 15 m, es conveniente la definición de esta distancia por análisis de estabilidad, la cual muy seguramente será mayor de 10 m.

Al realizar el análisis respectivo para la base del talud es conveniente tener en cuenta que el volumen desplazado, la altura del talud y la presencia de obras de contención, y en ellas su altura y tipo. El recomendar como mínimo una distancia de **5 m** de aislamiento entre el talud y una zona de ropas o de descanso, es conveniente, cuando no se tienen obras de protección; pero en ningún momento se debería tener zonas habitadas como habitaciones o zonas de trabajo a menos de dicha distancia. Sin embargo, esta zona debe aumentar en distancia al aumentar la altura del talud o del corte que se realice.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>

Finalmente, establecer esta distancia, como una receta, no es posible aún, ya que debemos contar con que los suelos y las rocas presentan gran variabilidad tanto en el sentido vertical como en el horizontal, y no podemos por lo tanto, definir su comportamiento de una manera precisa. Las áreas que pueden ser utilizadas para el desarrollo urbanístico condicionadas a lo siguiente:

- Estudios geotécnicos, hidrológicos e hidráulicos detallados
- Previas obras de control y mitigación para las amenazas presentes
- Previa permisos de aprovechamiento forestal
- Cumplimiento a la Norma Sismo resistente y a la normatividad vigente para el desarrollo de proyectos urbanísticos

Todas las anteriores actividades antes de su ejecución deben tener la aprobación por parte de la Corporación Autónoma Regional del Alto Magdalena - CAM. A continuación se presenta el mapa de restricción alta:

- Área de Mediana restricción (AMR) Sensibilidad Media

Esta zona de amenaza media se encuentra dada por inundación, avenida torrenciales y por movimientos en masa y área de cobertura vegetal de importancia ambiental.

Zonas de mediana sensibilidad ambiental, en las cuales es posible el desarrollo de proyectos, siguiendo algunas medidas de manejo ambiental.

Esta unidad se encuentra representada por el color amarillo en el Mapa de Zonificación Ambiental

Dentro de estas zonas de mediana exclusión se recomienda diferentes usos en los cuales pueden ser utilizadas estas áreas:

- Zonas de Protección Ambiental
- Zonas de recreación activa, pasiva y contemplativa (parques, losas deportivas, parques infantiles, áreas arborizadas, paseos, alamedas o equipamiento para actividades culturales al aire libre).
- Vías urbanas, obras de servicio público
- Áreas que pueden ser utilizadas para el desarrollo urbanístico condicionadas a los permisos de aprovechamiento forestal ante la CAM.

- Área de Alta restricción (AAR) Sensibilidad alta

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

Indica las zonas susceptibles de intervención sin restricciones especiales, distintas de las prácticas de buen manejo ambiental favorecidas por su baja sensibilidad.

Este tipo de áreas corresponden a las de mayor distribución en las diferentes zonas evaluadas, sobre la que se presenta el desarrollo de construcciones e infraestructura en los sectores estudiados, y es representada por el color verde en el Mapa de Zonificación Ambiental.

Dentro de estas zonas pueden ser susceptibles de intervención sin restricciones especiales, en donde se presenta compatibilidad con el desarrollo de proyectos urbanísticos, dado que los impactos potenciales se ven reducidos. Sin embargo, lo anterior obliga al cumplimiento de la Norma Sismo Resistente y a la normatividad vigente para el desarrollo de proyectos urbanísticos.

Con base en el análisis de la información de los mapas temáticos de las componentes geoambientales definidas para el presente estudio se agrupan y se definen las áreas que conforman la zonificación ambiental para el área de estudio, las cuales se describen a continuación, relacionando los criterios técnicos que las definen y sus principales usos que se recomiendan con base en la síntesis de resultados de la presente evaluación.

A partir de la diferenciación de las áreas de exclusión se realizó el Mapa de Zonificación Ambiental del municipio de Teruel en escala 1:2.000, en los que se puede apreciar la distribución de las unidades encontradas asignándole a cada unidad un color en función del grado de intervención como se indica en la Tabla 152.

**Tabla 152. Áreas de zonificación ambiental para la zona de estudio.**

COLOR	SÍMBOLO	ÁREA	DESCRIPCIÓN	USOS RECOMENDADOS
	AE	Área de exclusión	Rondas de protección de drenajes principales y sus tributarios. Zonas de amenaza alta por inundación, erosión o movimientos en masa, Zonas que forman parte de los corredores ecológicos, Cobertura forestal asociadas a rondas de protección.	Áreas de protección que pueden ser usadas para lo siguiente:- Pueden ser adecuadas y utilizadas para la recreación pasiva o contemplativa mediante la implementación de miradores o senderos ecológicos.- Obras de servicio público (interceptores de alcantarillado, sistemas de tratamiento PTAR).- Obras de control y mitigación del riesgo, parques lineales, áreas arborizadas. Todas las anteriores actividades antes de su ejecución deben tener la aprobación por parte de la CAM.
	AAR	Área de alta restricción	Zona de protección de ladera mínima de diez (10) metros para la parte superior, que puede ser superior en laderas mayores a 15 m de altura y de acuerdo a los resultados de los análisis y de cinco (5) metros para la parte inferior.	Zonas de protección ambiental. Zonas de recreación activa, pasiva y contemplativa (parques, losas deportivas, parques infantiles, áreas arborizadas, paseos, alamedas o equipamientos para actividades culturales). Vías urbanas, obras de servicio público. Todas las anteriores actividades antes de su ejecución deben tener la aprobación por parte de la CAM.

	<b>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</b>
	<b>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</b>

COLOR	SÍMBOLO	ÁREA	DESCRIPCIÓN	USOS RECOMENDADOS
	AMR	Área de mediana restricción	Zona de amenaza media por inundación, avenidas torrenciales y por movimientos en masa. Área de cobertura vegetal de importancia ambiental	Áreas que pueden ser utilizadas para el desarrollo urbanístico condicionadas a lo siguiente: - Estudios geotécnicos, hidrológicos e hidráulicos detallados. Previa obras de control y mitigación para las amenazas presentes. Previa permisos de aprovechamiento forestal. Cumplimiento a la Norma sismoresistente para el desarrollo de proyectos urbanísticos. Todas las anteriores actividades antes de su ejecución deben tener la aprobación por parte de la CAM.
	ASR	Área sin restricción	Zonas estables ante movimientos en masa e inundaciones y avenidas torrenciales y sin cobertura vegetal que represente importancia ambiental	Áreas susceptibles de intervención sin restricciones especiales, en donde en presente compatibilidad con el desarrollo de proyectos urbanísticos.

**Fuente: Geocing SAS.**

En la Ilustración 274 representa la Zonificación Ambiental final del municipio de Teruel está permitirá tener en un documento cartográfico de los elementos que conforman la síntesis ambiental del área evaluada y a la vez indicará los requerimientos en cuanto a la aplicación de planes de manejo específicos encaminados a evitar, mitigar, corregir, compensar y manejar los posibles impactos ambientales generados por las actividades a ser ejecutadas en los diferentes proyectos.

**Tabla 153 Resumen de área de la zonificación ambiental**

Municipio de Teruel		
Categoría	Area_Ha	Porcentaje Ha
Área de exclusión	80.349677	56.97%
Área de mediana restricción	10.492688	7.44%
Área de sin restricción	50.194821	35.59%
Total	141.037186	100%

**Fuente: Geocing SAS.**



ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

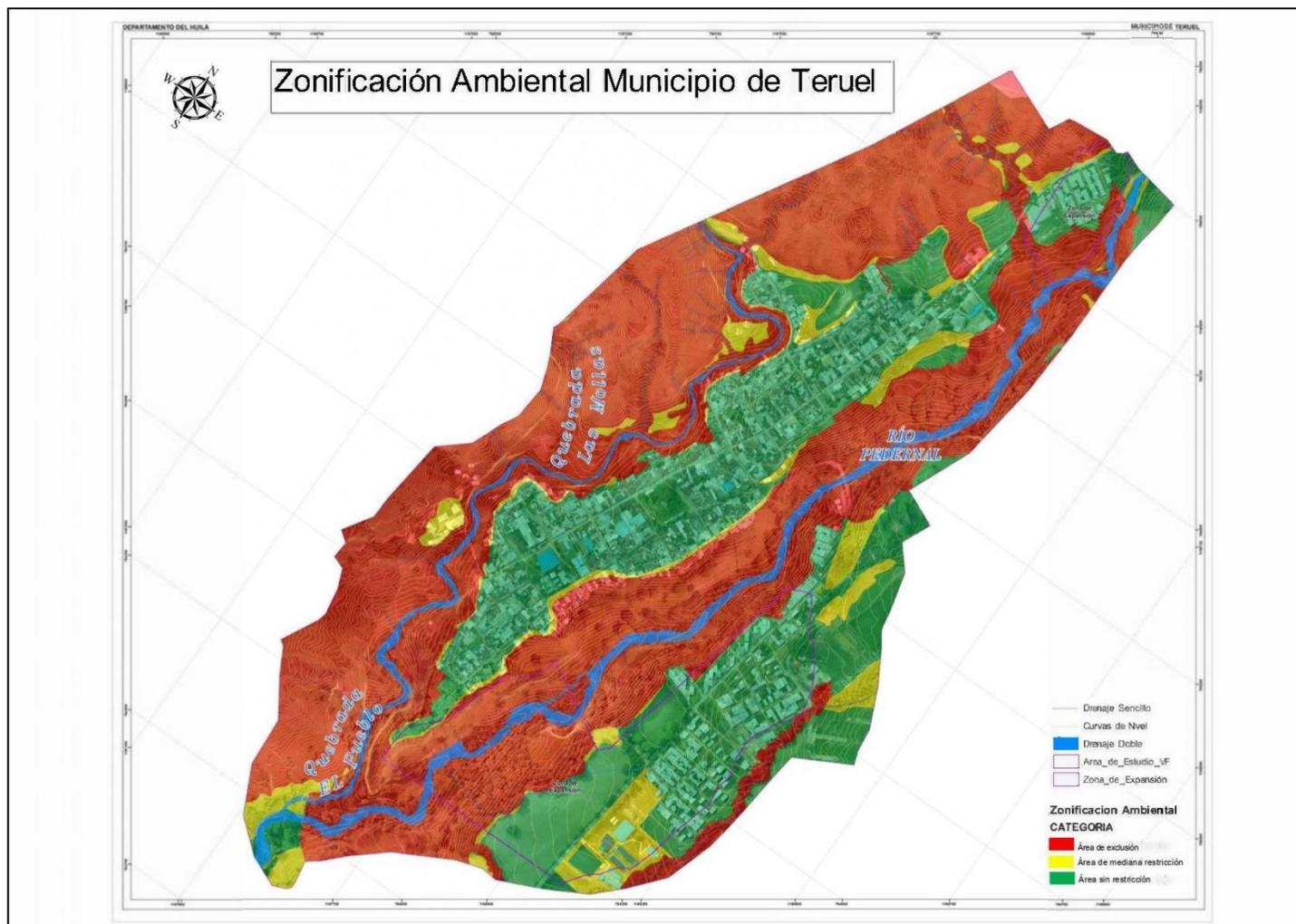


Ilustración 274. Mapa de zonificación Ambiental, municipio de Teruel.

Fuente: Geocing SAS

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

## 18 MEDIDAS DE MITIGACIÓN

Como parte del objetivo de mitigación del riesgo, se tiene que generar la reducción de la categoría de amenaza por movimientos en masa mediante intervenciones en el terreno tendientes a mejorar las condiciones de estabilidad, controlar las variaciones o incremento de humedad del terreno y reducir el efecto de los factores detonantes como el agua, sismo y sobrecargas que actúan en diferentes áreas del municipio.

Por otro lado, está la reducción de la vulnerabilidad de los elementos expuestos en términos de mejorar su resistencia para soportar las acciones que puede genera la amenaza en caso de materializarse. Adicionalmente, está la reducción de la exposición de los elementos mediante el aislamiento con barreras de protección o mediante la modificación de la ubicación de los elementos expuestos con el propósito de alejarlo de la amenaza.

### 18.1 MOVIMIENTOS EN MASA

Con respecto a la reducción de la categoría de amenaza por movimientos en masa, las acciones a seguir están orientadas a mejorar las condiciones de estabilidad mediante el refuerzo del suelo con estructuras de contención, abatimiento de niveles piezométricos, descarga del suelo mediante reconformación geométrica del terreno. Adicionalmente, se requiere mitigar la acción de los factores detonantes, en este caso el agua mediante la implementación de obras de drenaje superficial y subsuperficial, los factores de sismo y sobre cargas se considera en este caso que no son controlables dado que el primero es de origen natural con una acción constante y el segundo obedece a las cargas previstas para el proyecto la cuales son de poca variación.

En cuanto a la reducción de la vulnerabilidad, las acciones son restringidas, por lo tanto, el nivel de vulnerabilidad permanece prácticamente constante, pues la resistencia se genera por los diseños estructurales existentes. La exposición también es mínimamente modificable dado que las estructuras tienen una localización específica, que desde el punto de vista espacial y de funcionalidad es muy poco variable.

Las obras propuestas fueron el producto de realizar los análisis de estabilidad presentados a lo largo del área de estudio para cada una de las secciones, de acuerdo con las consideraciones anteriores, la distribución de amenaza en el área de estudio y la distribución de la infraestructura proyectada y existente las medidas de mitigación del riesgo se dirigen en un Primer Nivel al manejo adecuado del

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>

agua superficial y subsuperficial para evitar incrementos significativos de presión de poros en el suelo y la alteración del suelo expuesto por ciclos de humedecimiento y secado; sumado al posible efecto de reblandecimiento de arcillas de alta plasticidad por incrementos de humedad.

De acuerdo a los resultados de los análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa se logran establecer puntos críticos de inestabilidad, se contextualiza que el municipio de Teruel se encuentra ubicado en el valle que se forma por el paso del río Pedernal, Allí se evidencia, que la ladera occidental del valle del río Pedernal, alcanza una inclinación máxima de 35 %, lo que según Carvajal (2012) corresponde a una pendiente inclinada (10 – 15 ° de inclinación). En contraste, el costado oriental del valle de dicho río, alcanza una inclinación máxima de 17% que según Carvajal corresponde a una pendiente moderadamente inclinada (5-10° de inclinación).

Teruel tiene ladera abrupta de longitud corta a larga, de forma recta a cóncava, con pendiente escarpada a muy escarpada, originado por socavación fluvial lateral como parte del proceso de incisión de los cauces de la quebrada El Pueblo y río Pedernal, o por procesos de erosión y movimientos en masa remontantes a lo largo de un drenaje o de una ladera. Geofoma ocurre sobre el sustrato rocoso de las formaciones Palermo y Seca, que origina pequeños desplomes de roca, generando escarpes de longitud corta y con ángulos de hasta 90°.

De acuerdo con los respectivos análisis de amenaza, vulnerabilidad y riesgo se identificaron puntos críticos de inestabilidad los cuales deben ser controlados para evitar afectaciones a viviendas, personas y cultivos. A continuación se enlistan las medidas estructurales y no estructurales recomendadas para la mitigación del riesgo por movimientos en masa:

### **18.1.1 Medidas no estructurales**

Las zonas que se encuentran en riesgo alto se localizan en zonas de pendiente alta y se ven afectadas por la infiltración de agua de escorrentía y subsuperficial, además de por acciones antrópicas, como el inadecuado uso del suelo; factores que contribuyen a la generación de procesos erosivos tipo reptación que sumados con las lluvias intensas producen movimientos en masa.

De acuerdo a lo descrito, se debe garantizar el control de erosión, mantenimiento de los taludes de cortes para vivienda de mayor magnitud, un adecuado manejo de aguas superficiales y de infiltración, y se debe evitar dejar los taludes expuestos garantizando su vegetalización y de esta forma se mitigar la susceptibilidad a presentarse deslizamientos.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b>

En razón, a que se debe garantizar un sistema de colección de aguas superficiales y de infiltración y un correcto descole de las aguas captadas para evitar la infiltración sobre el talud reconformado, como medida a seguir, se debe garantizar el adecuado uso de suelo, no permitir por parte de las autoridades que la comunidad realice intervenciones antrópicas que afecten la estabilidad del mismo, y todos los taludes que se generen para los cortes de construcción de viviendas de deben revegetalizar con el fin de mitigar la afectación de la erosión hídrica.

De acuerdo con lo que se evidencia en el mapa de amenaza por movimientos en masa, los márgenes / taludes de los cauces se encuentran categorizados como Amenaza Media, razón por la cual se deben proteger los márgenes de las quebradas, evitando la ocupación de las mismas.

De igual, forma en las zonas del área urbana por las cuales discurren las quebradas se deben garantizar que no se altere la dinámica fluvial de las mismas, y en los puntos donde se reduce la sección hidráulica debido a la presencia de obras menores hidráulicas se debe garantizar que estas se encuentren libres de residuos para evitar la colmatación y una posible erosión de los taludes de los márgenes.

En las partes altas por las cuales discurre el cauce de las quebradas, se recomienda realizar campañas de conservación ambiental en las zonas de las laderas de e implementar un plan de manejo de agua y adecuado uso de suelo con el fin de disminuir las afectaciones a los taludes naturales y mantener el equilibrio natural de estabilidad en el cual se encuentran.

### **18.1.2 Medidas estructurales**

A continuación se describen las medidas de mitigación para cada uno de los puntos críticos:

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

- Punto Crítico 1: Calle 10- carrera Cuarta Estación de Servicio**

La zona donde sucede un deslizamiento tipo rotacional que tiene lugar en la parte occidental de la estación de servicio a la entrada del municipio, cuya dirección de movimiento es aproximada de occidente a oriente. Tiene unas dimensiones aproximadas de: longitud de 60 m, un ancho de 40 m y se presenta en una ladera con 30° de inclinación aproximadamente. Este proceso presenta una superficie irregular, con la presencia de tres (3) escarpes perpendiculares al movimiento y en forma semicircular.

Como factores contribuyentes se encuentran la inclinación de la ladera, el cambio de uso en el suelo, la configuración tectónica regional, la naturaleza heterogénea de los materiales involucrados (contacto suelo residual- roca del Batolito de Ibagué) y el corte realizado para la construcción de la estación de servicio.

Posiblemente los factores detonantes son la infiltración y el paso superficial de escorrentía de aguas lluvias, que contribuyeron a la inestabilidad generada por el corte de la ladera. En la parte inferior, se intentó contener el proceso con muro en gaviones, los cuales a la fecha presentan deformaciones (Ilustración 57). Es un proceso con estado de la actividad: activo. Distribución de la actividad: retrogresivo. Estilo de la actividad: Individual o único.



**Ilustración 275. Coordenadas: E=1168050, N=795655, E. Deslizamiento rotacional en la ladera contigua a una estación de gasolina a la entrada del municipio de Teruel.**

**Fuente: Geocing SAS.**



**Ilustración 276. Coordenadas: E=1167803, N=796125, N. Deformación de los gaviones en la parte inferior del deslizamiento, lo que indica el depósito del material desprendido de la parte superior. Fuente: Geocing SAS.**

Como se logra ver en la Ilustración 277 debido al deslizamiento presente en la zona ha deformado la estructura de contención flexible tipo gavión, evidencia de la actividad del movimiento en masa:



**Ilustración 277. Deformación de los gaviones en la parte inferior del deslizamiento. Fuente: Geocing SAS.**

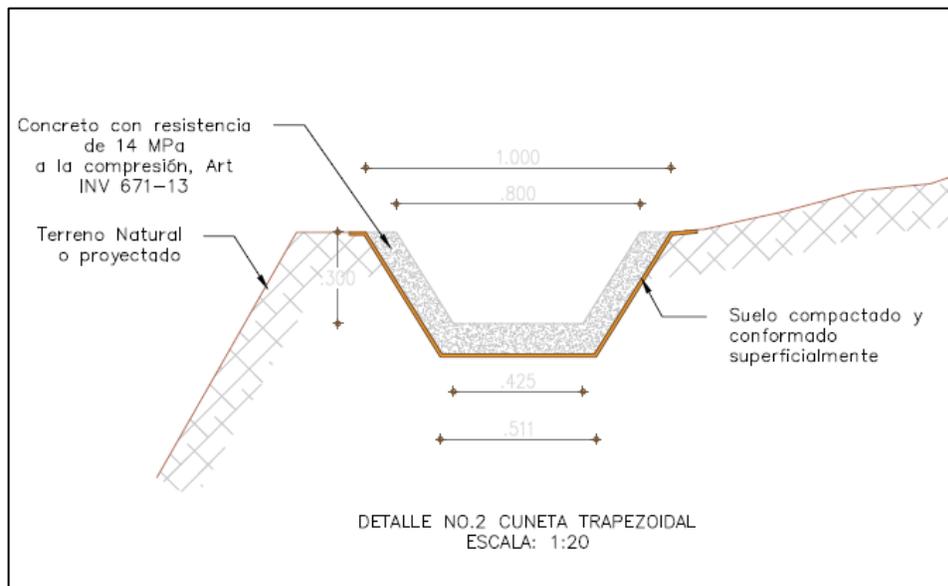
En razón que la problemática de la zona se ven afectado por un inadecuado y muy mal manejo de aguas de infiltración y sub superficiales, razón por la cual se debe

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

realizar un adecuado manejo de esta, para mitigar el riesgo por movimientos en masa, se propone entonces, con el fin de controlar las fluctuaciones del Nivel de agua se debe instalar obras de drenaje superficial, Zanja de coronación trapezoidales con trincheras drenantes de máximo 1.5 m de profundidad, dispuestas en dos filas, a 11.0 m desde el espaldar del muro en gavión y la segunda a 8.50 m de esta, las trincheras deben tener una pendiente de 2 % con el fin de las aguas colectadas, sean descoladas al drenaje aledaño.

• **Zanjas de Coronación trapezoidales**

Las obras de drenaje superficial se proponen para el manejo adecuado del agua superficial y subsuperficial además de servir para recoger las aguas procedentes de las partes altas, con el fin de evitar la infiltración y/o saturación en los taludes y reducir las distancias de viaje del agua superficial reduciendo los procesos erosivos. Los principales criterios de diseño de las zanjas son los siguientes:



**Ilustración 278. Esquema zanja de coronación trapezoidal.**  
Fuente: Geocing SAS.

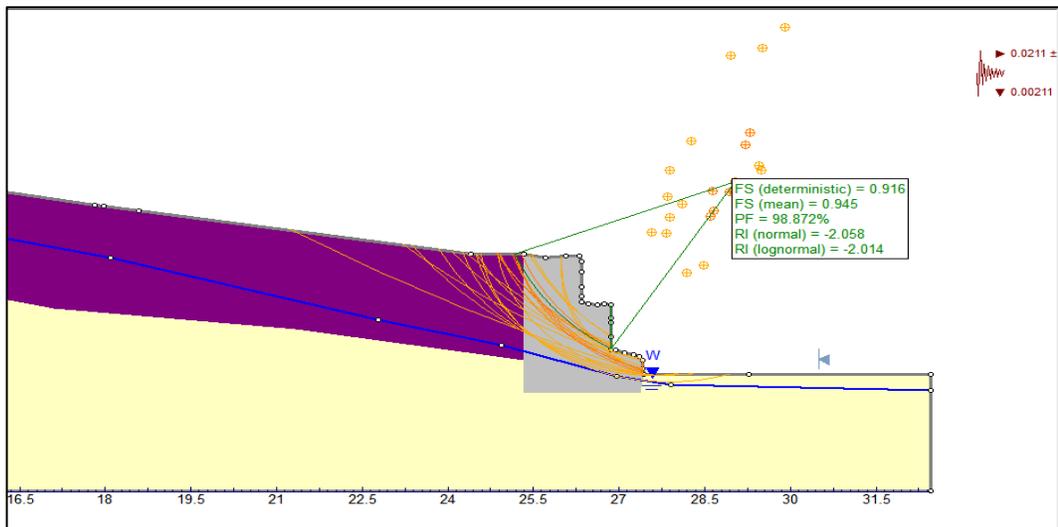
Todas las obras de drenaje superficial proyectadas para el control de escorrentía deben contener sus respectivas obras de descoles y descargar en el sistema de drenaje pluvial. Para tramos de drenajes donde el terreno natural tiene pendientes mayores a las de diseño se deberán generar estructuras de disipación de energía mediante gradas de disipación o resalto de la superficie de los canales.

Todas las estructuras de subdrenaje deben dar cumplimiento con las especificaciones técnicas del Instituto Nacional de vías, especialmente con los Artículos INV-671-13 e INV-6736-13 y sus especificaciones relacionadas.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

- Reconfiguración del muro en gavión H: 3.0 m con los materiales pétreos existentes en la estructura actual, pero con reemplazo de la Malla Triple Torsión; la estructura debe tener como mínimo una altura de 3.0 m. Se debe garantizar la colocación de un geodrén en el tras dos del muro.

A continuación Ilustración 279 se presenta el análisis y diseño de la estructura recomendada para este punto: A continuación se presenta el análisis de estabilidad en condición actual de la estructura, evidenciando la falla del Gavión y un aparente estado de equilibrio.



**Ilustración 279** Vista transversal de la situación actual del gavión. Factor de estabilidad de falla FS. 0.9, en razón que el gavión se encuentra deformado en su línea inferior, la probabilidad de falla es del 3.4%.

Fuente: Geocing SAS.

La proyección del muro debe hacerse adecuándose a la topografía hasta encontrar piso competente colocando geotextil tejido para evitar la filtración de material fino en el gavión. Para el pre dimensionamiento se recomienda utilizar los siguientes parámetros para la construcción del Diagrama de empujes lateral:

1. Diagrama de empujes triangular utilizando la metodología de Coulomb, con:  
 $K_a = (1 - \text{Sen } \emptyset) / (1 + \text{Sen } \emptyset)$ ,  
 $K_p = (1 + \text{Sen } \emptyset) / (1 - \text{Sen } \emptyset)$ .

Un peso unitario efectivo de  $\gamma's = 1.90 \text{ Ton/m}^3$  (Relleno de material Seleccionado Art. 620 Invias compactado  $\emptyset = 32^\circ$ ).

2. Con los siguientes valores de diseño geotécnico:

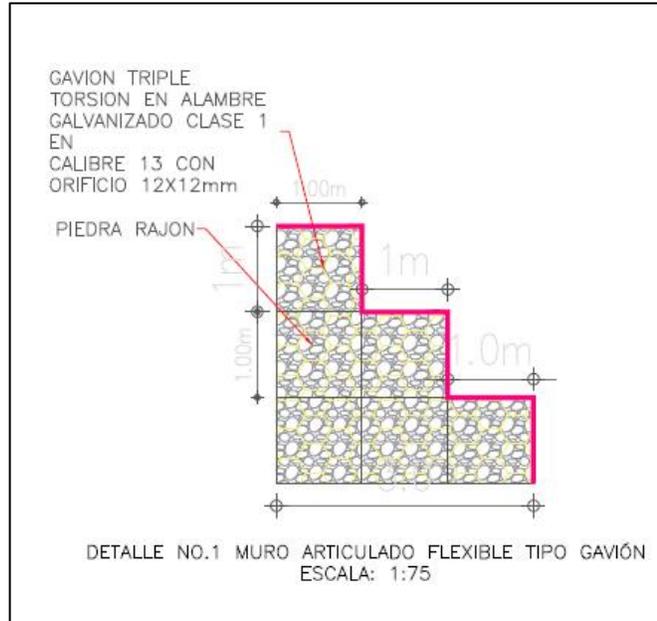
$$K_a = (1 - \text{Sen } 32^\circ) / (1 + \text{Sen } 32^\circ) = 0.31$$

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

$$K_p = (1 + \text{Sen } 32^\circ) / (1 - \text{Sen } 32^\circ) = 3.25$$

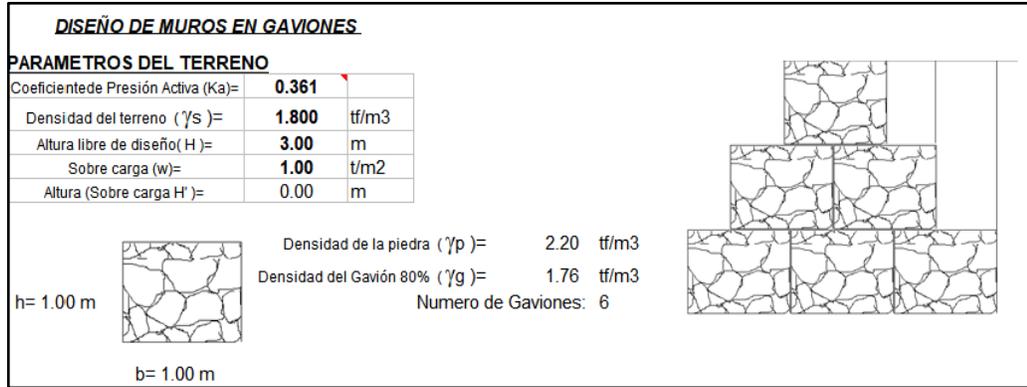
$$K_o = (1 - \text{Sen } 32^\circ) = 0.47$$

$$K_{ae} = 0.42$$



**Ilustración 280** vista transversal tipología de muro tipo gavión de 3.0 m de altura.  
**Fuente: Geocing SAS.**

El pre dimensionamiento de la estructura rígida que cumple con los Factores de Seguridad de acuerdo con el NSR- 10, garantizando que cumpla con la normativa, estabilidad local y estabilidad global. Con base en el pre dimensionamiento, a continuación se presenta la implantación de la estructura en el punto de análisis con el fin de comprobar la estabilidad global.



**Ilustración 281 Pre dimensionamiento del Muro en Gavión de H: 3.0 m.**

**DISTRIBUCION DE PRESIONES**

P=Ka $\gamma_s$ \*H= 1.949 t/m/m  
 P'=Ka $\gamma_s$ \*H'= 0.00 t/m/m

**CALCULO DE EMPUJE ACTIVO**

Ept=H(P/2+P')= 2.924 t/m  
 Brazo=H<sup>2</sup>(P/2+P6)/Ept= 1.00 m

FUERZAS RESISTENTES:	ELEMENTO	FUERZA ( tf/m)	BRAZO ( m )	MOMENTO ( tf <sup>2</sup> m/m)
	Gaviones	11.194	1.500	16.790
	Cuñas de Relleno	2.835	2.583	7.323
	<b><math>\Sigma F_{vo}</math>=</b>	<b>14.029</b>		<b><math>\Sigma M_{vo}</math>= 24.113</b>

**FUERZAS ACTUANTES:**

$\Sigma F_{\gamma} = (E_p - E_a) = 2.924$  t/m

**MOMENTO POR VOLCAMIENTO**

$\Sigma M_{\gamma} = E_{pt} \times \text{brazo} = 2.92$  tf<sup>2</sup>m/m

**FACTOR DE SEGURIDAD A VOLCAMIENTO:** caso de relleno en un solo lado

$\Sigma M_{\gamma} / \Sigma M_{vo} = 8.25 \geq 3.00$  OK

**FACTOR DE SEGURIDAD A DESLIZAMIENTO:** caso de relleno en un solo lado

F = f x  $\Sigma FV$  = 9.82  
 f = 0.7  
 $\beta = F / \Sigma F_h = 3.36 \geq 1.60$  OK

**POSICION DE LA RESULTANTE:**

**PUNTO DE APLICACIÓN DE LA NORMAL**

$x = \Delta \Sigma M_{vo} / \Sigma F_{vo} = 24.113 - \frac{2.924}{14.029} = 1.51$  m

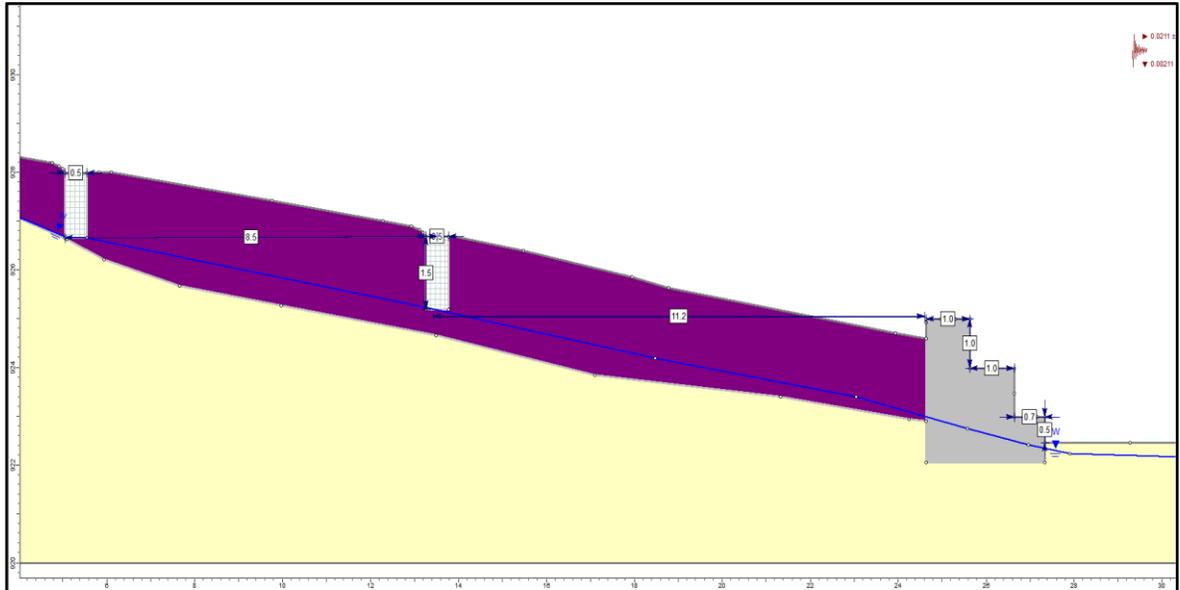
**CALCULO DE EXENTRIDAD**

$e = (L/2) - x = 1.500 - 1.51 = -0.01 < e_{max} = (L/6) = 0.50$  OK

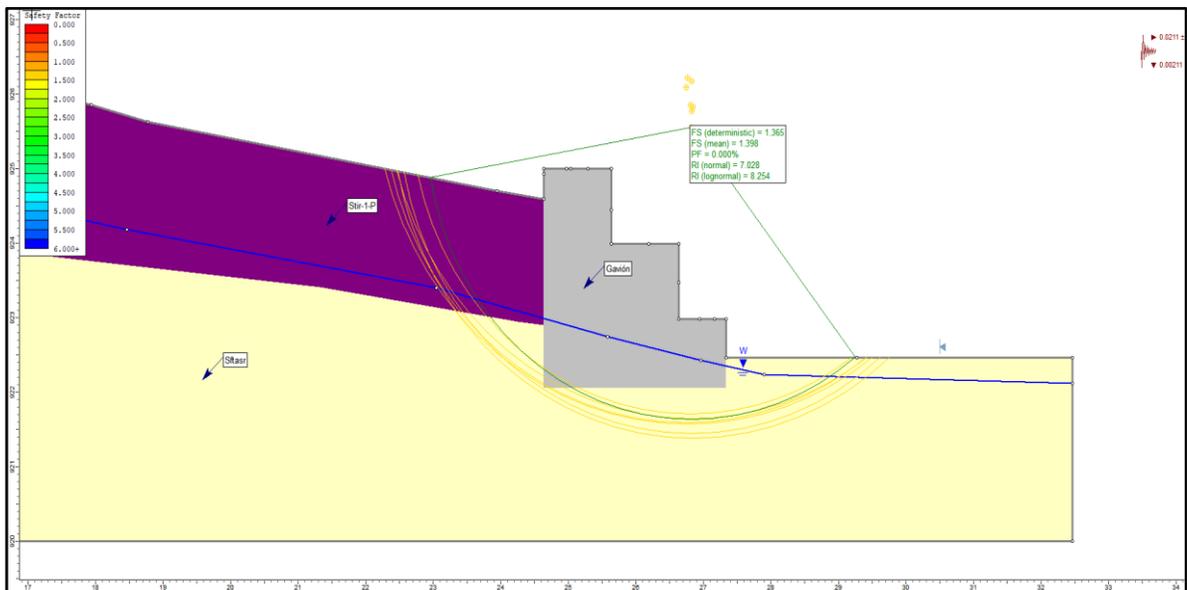
**Ilustración 282 Pre dimensionamiento del Muro en Gavión de H: 3.0 m. Evidencia de Cumplimiento a Capacidad Portante, Deslizamiento, Volcamiento dinámico y estático.**

Fuente: Geocing SAS.

Con base en el pre dimensionamiento, a continuación se presenta la implantación de la estructura en concreto en el punto de análisis con el fin de comprobar la estabilidad global.

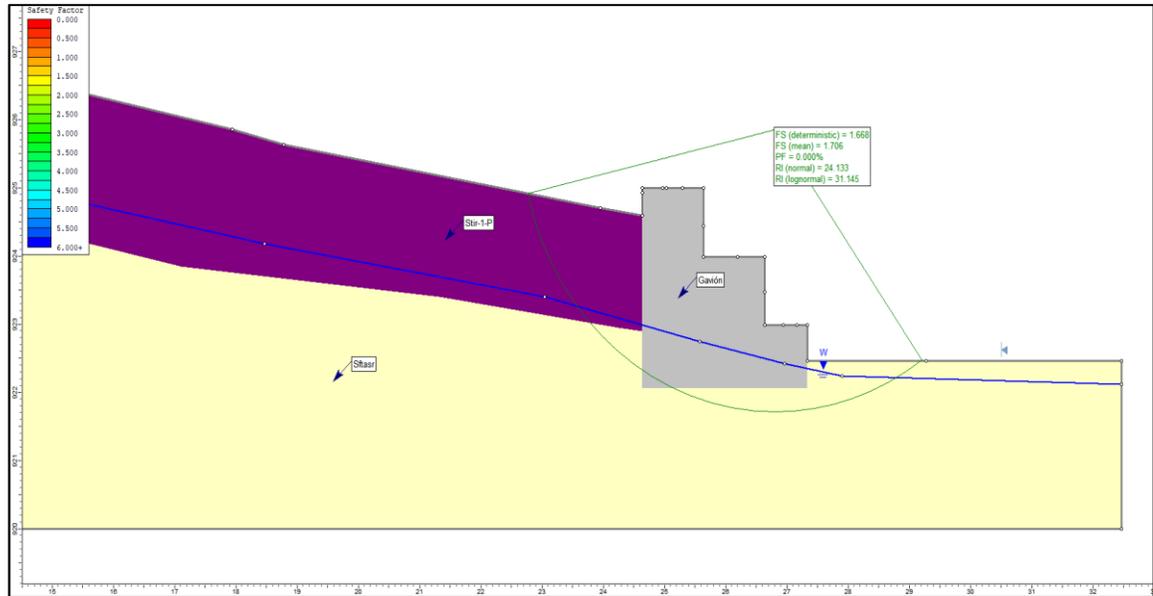


**Ilustración 283** Vista transversal reconfiguración del gavión, con las dos trincheras drenantes de 1.5 m de profundidad.  
Fuente: Geocing SAS.



**Ilustración 284** Factor de estabilidad de falla FS. 1.36, la probabilidad de falla es del 0% en condición pseudoestática.  
Fuente: Geocing SAS.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



**Ilustración 285** Factor de estabilidad de falla FS. 1.66, la probabilidad de falla es del 0 % en condición estática.

Fuente: Geocing SAS.

En la Tabla 154 se presenta el costo de obra propuesta para la estabilización temporal, del deslizamiento aledaño a la estación de servicio, con una longitud 25,0 m.

**Tabla 154. Presupuestos de Obras Alternativa 1 Gavión**

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDAS TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015</p>				
<p>PRESUPUESTO PTO. CRÍTICO 1 ALTERNATIVA 1 GAVIÓN</p>					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL ÍTEM
<b>1 GENERALIDADES</b>					
1.1	Localización y replanteo con equipo de topografía (amarrado a coordenadas reales IGAC)	m <sup>2</sup>	100	\$ 2,076	\$ 207,560
1.2	Aislamiento y protección de la zona a intervenir H= 2,0 m en repisa y lona verde	ml	74	\$ 10,300	\$ 762,216
<b>2 EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL</b>					
2.1	Excavación para construcción de muro	m <sup>3</sup>	75	\$ 13,857.38	\$ 1,039,303
2.2	Transporte y disposición final de escombros en sitio autorizado (distancia de transporte 20 km)	m <sup>3</sup>	98	\$ 19,934	\$ 1,943,565
<b>3 OBRAS DE MITIGACIÓN</b>					
3.5	Gavión de Malla de Alambre de Acero Etrelazado Clase 4; recubrimiento de aleación Zn-5A1-MM y PVC	m <sup>3</sup>	150	\$ 181,964	\$ 27,294,552
3.6	Geotextil tipo no tejido NT-2500	m <sup>2</sup>	200	\$ 6,205	\$ 1,241,069
<b>VALOR REPRESENTATIVO</b>					\$ 32,488,265
<b>AIU 30%</b>					\$ 9,746,480
<b>VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS</b>					\$ 42,234,745

Fuente: Geocing SAS.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

- **Punto crítico 2: Deslizamiento cancha de microfútbol**

En la Ilustración 58 se demarca en rojo la corona del deslizamiento rotacional que tiene lugar en la parte occidental de la cancha de microfútbol, contigua a la estación de servicio, cuya dirección de movimiento es de occidente a oriente. Tiene aproximadamente 50m de longitud, un ancho de 25 m y se presenta en una ladera con 20° de inclinación aproximadamente. La Ilustración 287 muestra como el deslizamiento deformó la placa de la cancha y fracturo el muro de contención en concreto al occidente de la cancha



**Ilustración 286. Escarpe en forma de media luna (corona del deslizamiento)**  
Fuente: Geocing SAS.



**Ilustración 287. Deslizamiento rotacional.**  
Fuente: Geocing SAS.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

El desplazamiento del material generó que el muro se fracturara y se desplazara alrededor de 70 cm, permitiendo el paso de personas a través de él (Ilustración 288). Cabe aclarar que este muro puede tener hasta 50 cm de espesor, pero se observa en la fractura del mismo, que no tiene una buena cantidad de varillas en su estructura.



**Ilustración 288 Separación del muro de contención de la cancha de aproximadamente 70 cm.  
Fuente: Geocing SAS.**



**Ilustración 289. Separación del muro de contención de la cancha de aproximadamente 70 cm.  
Fuente: Geocing SAS.**

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

Según habitantes, este proceso se inició luego del corte contiguo para la construcción de la estación de servicio, en donde el material de corte fue llevado a la parte superior de la ladera (hoy parte alta del proceso), y al parecer el sobrepeso generó la afectación. Actualmente se observan grietas longitudinales y transversales, escarpes, muro roto y la placa de la cancha se encuentra levantada.

Como factores contribuyentes se encuentran: la inclinación de la ladera, el cambio de uso en el suelo, la configuración tectónica regional, la infiltración y el paso de aguas de escorrentía, la naturaleza heterogénea de los materiales involucrados (contacto suelo residual – roca del Batolito de Ibagué), la sobrecarga de material en la parte alta de la ladera y el corte realizado para la construcción de la cancha de microfútbol.

Posiblemente el factor detonante es la infiltración y el paso superficial de escorrentía de aguas lluvias, que contribuyeron a la inestabilidad generada por la sobrecarga de material en la parte superior de la ladera. El vector principal de desplazamiento de este deslizamiento va de occidente a oriente.

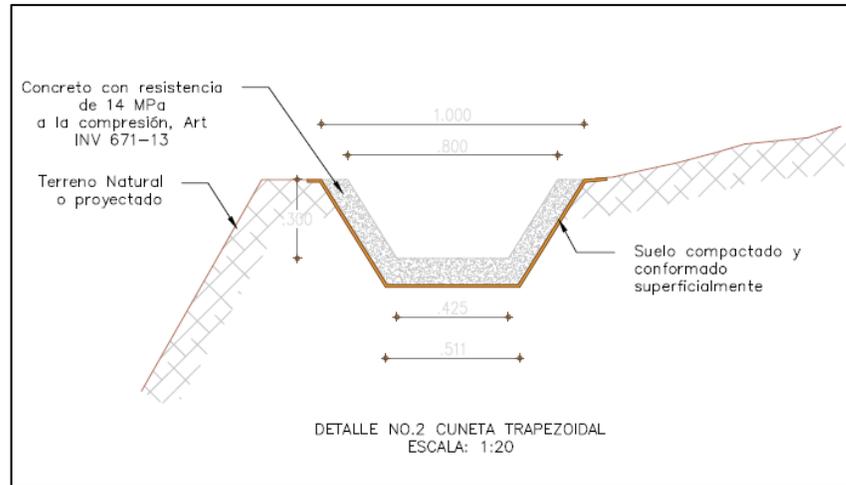
Es un proceso con estado de la actividad: activo. Distribución de la actividad: retrogresivo. Estilo de la actividad: Individual o único.

En razón que la problemática de la zona se ven afectado por un inadecuado y muy mal manejo de aguas de infiltración y sub superficiales, razón por la cual se **debe**, realizar un adecuado manejo de esta problemática para mitigar el riesgo por movimientos en masa, se propone entonces, con el fin de controlar las fluctuaciones del Nivel de agua se debe instalar obras de drenaje superficial, Zanja de coronación trapezoidales con trincheras drenantes de máximo 1.5 m de profundidad, dispuestas en dos filas, a 11.0 m desde el espaldar del muro en gavión y la segunda a 8.50 m de l esta, las trincheras deben tener una pendiente de 2 % con el fin de las aguas colectadas, sean descoladas al drenaje alledaño.

- **Zanjas de Coronación trapezoidales**

Las obras de drenaje superficial se proponen para el manejo adecuado del agua superficial y subsuperficial además de servir para recoger las aguas procedentes de las partes altas, con el fin de evitar la infiltración y/o saturación en los taludes y reducir las distancias de viaje del agua superficial reduciendo los procesos erosivos.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



**Ilustración 290 Esquema zanja de coronación trapezoidal. Fuente: Geocing SAS.**

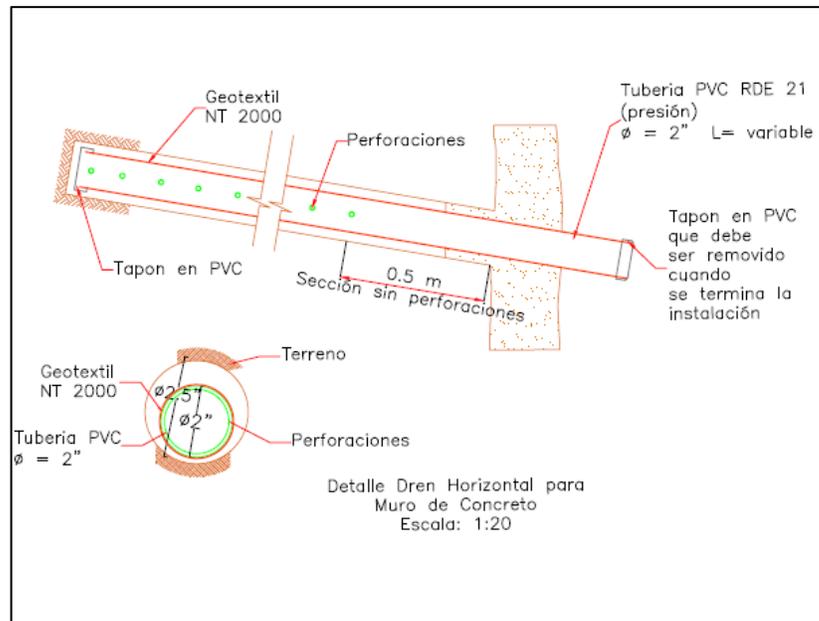
Todas las obras de drenaje superficial proyectadas para el control de escorrentía deben contener sus respectivas obras de descoles y descargar en el sistema de drenaje pluvial. Para tramos de drenajes donde el terreno natural tiene pendientes mayores a las de diseño se deberán generar estructuras de disipación de energía mediante gradas de disipación o resalto de la superficie de los canales.

Todas las estructuras de subdrenaje deben dar cumplimiento con las especificaciones técnicas del Instituto Nacional de vías, especialmente con los Artículos INV-671-13 e INV-6736-13 y sus especificaciones relacionadas.

### • Drenes Horizontales

Los drenes horizontales de penetración transversal constituyen un sistema de subdrenaje, que consiste en la introducción de tuberías ranuradas insertadas transversalmente en los taludes para aliviar la presión de poros; la instalación de estos drenes debe regirse bajo lo estipulado en el Artículo 674-07 de Invias. Este trabajo comprende la perforación de barrenos en los taludes del proyecto, la instalación de tubería perforada en los mismos, con o sin recubrimiento exterior de la tubería perforada con Geotextil, en los sitios establecidos en los planos o en los que indique el Interventor. En la ilustración 291 se presenta un esquema de Dren de Penetración Horizontal.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



**Ilustración 292. Esquema de dren horizontal.**

**Fuente: Geocing SAS.**

La tubería de drenaje será de PVC, con diámetro interior de cincuenta milímetros (50 mm), Los tubos deberán cumplir con la norma ASTM D 2729-96 A “Standard Specifications for Polyvinyl Chloride (PVC) Drainage Pipe” o con la norma AASHTO M 278-02 “Class PS46 Polyvinyl Chloride (PVC) Pipe”. Para la construcción de drenes horizontales, se debe seguir y dar cumplimiento a los indicado en las especificaciones técnicas del INVIAS. Especialmente en el artículo INV-674-13.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente y por lo evidenciado en campo; con el fin de mitigar y controlar este movimiento en masa, se recomiendan a continuación las medidas de intervención estructurales para dicho fin obras de estabilización rígidas con Muros de Contención en Voladizo en concreto deben estar asociadas al sistema/diseño estructural; sin embargo a continuación se presenta el pre dimensionamiento de esta alternativa. En la En la Ilustración 293 se presenta el esquema de la tipología planteada para estos muros.

La proyección de los muros debe hacerse adecuándose a la topografía ascendente o descendente escalonada por terrazas del terreno, y una altura variable con valor máximo del Muro del orden de los 5.0 m, dejando empotramiento de este no menor de 1.0 m, hasta encontrar piso competente colocando un nivel de material de mejoramiento tipo rajón de 40 cm de espesor solado de limpieza mortero de espesor 50 mm, con rellenos de restitución con materiales indicados en los planos de construcción, esta estructura tendrá una longitud de 35.0 m. Para el diseño estructural de los Muros de contención, se

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

recomienda utilizar los siguientes parámetros para la construcción del Diagrama de empujes lateral:

1. Diagrama de empujes triangular utilizando la metodología de Coulomb, con:  
 $K_a = (1 - \text{Sen } \emptyset) / (1 + \text{Sen } \emptyset)$ ,  
 $K_p = (1 + \text{Sen } \emptyset) / (1 - \text{Sen } \emptyset)$ .

Un peso unitario efectivo de  $\gamma's = 1.90 \text{ Ton/m}^3$  (Relleno de material Seleccionado Art. 620 Invias compactado  $\emptyset = 32^\circ$ ).

2. Con los siguientes valores de diseño geotécnico:

$$K_a = (1 - \text{Sen } 32^\circ) / (1 + \text{Sen } 32^\circ) = 0.31$$

$$K_p = (1 + \text{Sen } 32^\circ) / (1 - \text{Sen } 32^\circ) = 3.25$$

$$K_o = (1 - \text{Sen } 32^\circ) = 0.47$$

$$K_{ae} = 0.42$$

El pre dimensionamiento de la estructura rígida que cumple con los Factores de Seguridad de acuerdo con el NSR- 10, Los factores de seguridad exigidos en la Tabla H. 6.9-1 se presenta en Tabla 150 Área de protección para cauces secundarios Tabla 150.

	<b>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</b>
	<b>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</b>

**Tabla 155 Factores de seguridad mínimos exigidos en la NSR-10.**

Condición	Construcción	Estático	Sismo	Seudo estático
<b>Deslizamiento</b>	1.60	1.60	Diseño	1.05
<b>Volcamiento:</b> el que resulte más crítico de Momento Resistente/ Momento Actuante Excentricidad en el sentido del momento (e/B)	$\geq 3.00$ $\leq 1/6$	$\geq 3.00$ $\leq 1/6$	Diseño Diseño	$\geq 2.00$ $\leq 1/4$
<b>Capacidad portante</b>	Iguales a los de la Tabla H.4.1			
<b>Estabilidad Intrínseca materiales térreos</b> (reforzados o no)	Iguales a los de la Tabla H.2.1			
<b>Estabilidad Intrínseca materiales manufacturados</b>	Según material (Concreto-Título C; Madera-Título G; etc.)			
<b>Estabilidad general del sistema:</b> Permanente o de Larga duración (> 6 meses) Temporal o de Corta duración (< 6 meses)	1.20 1.20	1.50 1.30	Diseño 50% de Diseño	1.05 1.00
<b>Laderas adyacentes (Zona de influencia &gt; 2.5H)</b>	1.20	1.50	Diseño	1.05

Fuente: Geocing SAS.

<b>H:4.5 m</b>	<b>MEMORIA DE CÁLCULO MURO EN CONCRETO ARMADO EN VOLADIZO</b>
----------------	---

DATOS GENERALES	
Q (kN/m <sup>2</sup> ) =	0.0 Sobrecarga
$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> ) =	19.0 Peso Unitario del suelo de relleno
$\phi_s$ =	32.0 Angulo de fricción interna del suelo de relleno
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) =	19.00 Peso Unitario del estrato de fundación
$\phi$ =	27.60 Angulo de fricción interna del estrato de fundación
C (kN/m <sup>2</sup> ) =	0.00 Cohesión del estrato de fundación
$\alpha$ (°) =	0 Angulo del terreno delante del muro
$\beta$ (°) =	0 Angulo del terreno detrás del muro
$Ka_1$ =	0.36 $Ka_2$ = 0.37
$Kp_1$ =	2.77 $Kp_2$ = 2.73
$\sigma_{adm}$ (kN/m <sup>2</sup> ) =	109.37 Capacidad portante última
A, $K_{1F}$ =	0.24 Aceleración pico efectiva
$\delta_1$ (°)	21.33 ángulo interacción suelo (relleno) - muro
$\delta_2$ (°)	18.40 ángulo interacción suelo (fundación)- muro

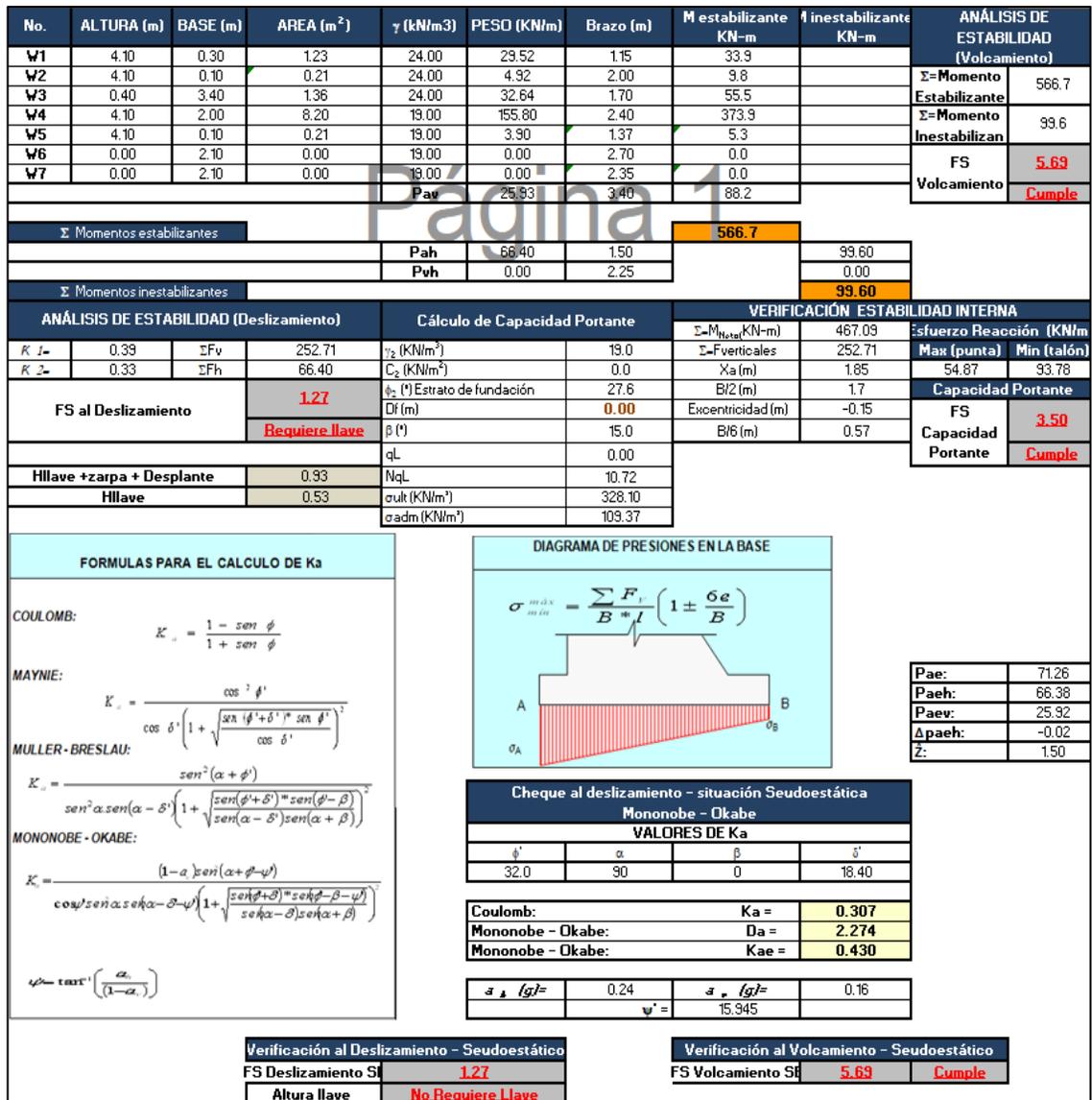
  

PREDIMENSIONAMIENTO	
$H_T$ (m)	4.50 Altura Total del Muro
$H_m$ (m)	4.50 Altura Efectiva Muro
$h_1$ (m)	0.40 Espesor de zarpa
$h_2$ (m)	4.10 Altura del vástago del Muro
B (m)	3.40 Ancho total de zarpa
$b_1$ (m)	1.00 Punta del Muro
$b_2$ (m)	0.40 Ancho del vástago del muro.
$b_3$ (m)	2.00 Talón del muro
$b_4$ (m)	0.30 Corona del muro
$Pa$ (KN/m)	71.28 Empuje activo
$Pav$ (KN/m)	25.93 Componente Vertical del empuje activo
$Pah$ (KN/m)	66.40 Componente horizontal del empuje
$h_r$ (m)	0.00 Altura talud inclinado
$h'$ (m)	0.00 Altura equivalente por sobrecarga aplicada

	<b>NSR-10</b>	<b>OBTENIDO</b>	
FS Capacidad Portante (Mínimo)	3.00	3.50	Cumple
FS <sub>de</sub> Deslizamiento (Mínimo)	1.60	1.27	Llave = 0.53
FS <sub>de</sub> Deslizamiento (Mínimo)	1.05	1.27	Cumple
FS <sub>de</sub> Volcamiento (Mínimo)	3.00	5.69	Cumple
FS <sub>de</sub> Volcamiento (Mínimo)	2.00	5.69	Cumple

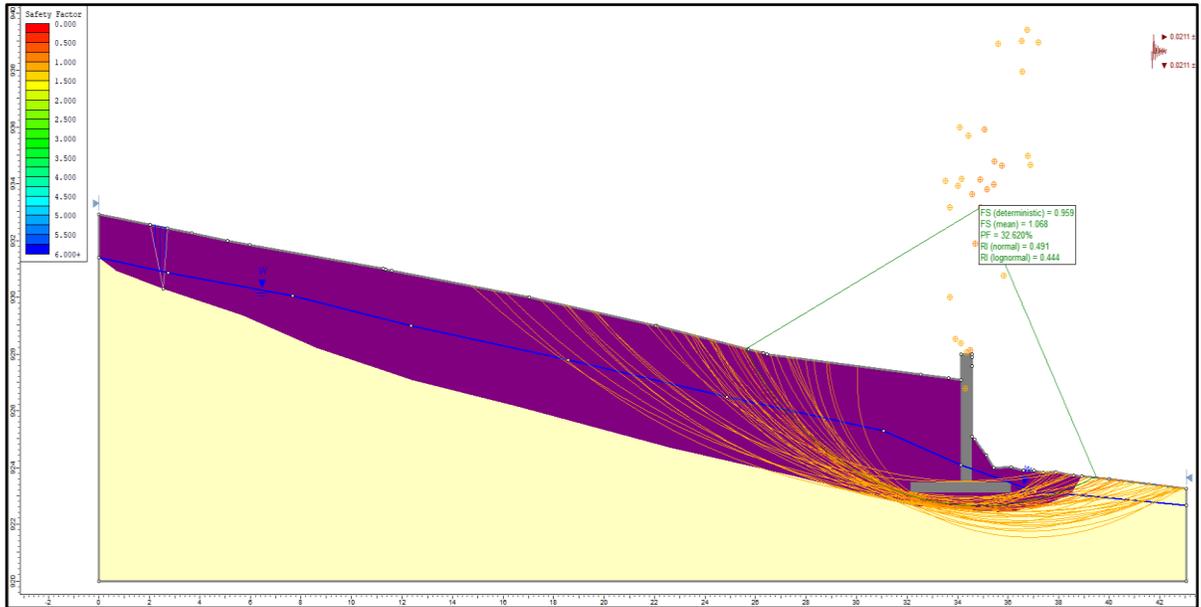
**Ilustración 293 Pre dimensionamiento del Muro en Voladizo de H: 5.0 m.**

Fuente: Geocing SAS.



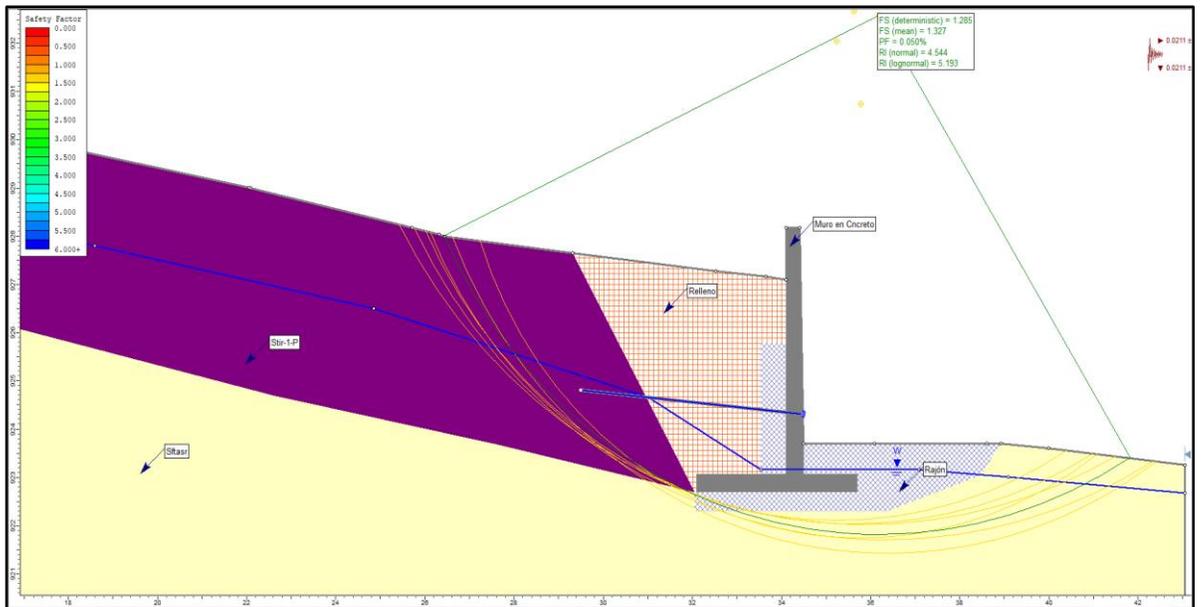
**Ilustración 294** Pre dimensionamiento del Muro en Voladizo de H: 5.0 m. Evidencia de Cumplimiento a Capacidad Portante, Deslizamiento, Volcamiento dinámico y estático.  
**Fuente:** Geocing SAS.

Con base en el pre dimensionamiento, en la Ilustración 295 se presenta la implantación de la estructura en concreto en el punto de análisis con el fin de comprobar la estabilidad global.



**Ilustración 295. Condición de estabilidad actual del muro en la cancha deportiva FS 0.959.**

**Fuente: Geocing SAS.**



**Ilustración 296. Condición de estabilidad con el muro en voladizo en la cancha deportiva FS 1.89.**

**Condición pseudoestática.**

**Fuente: Geocing SAS.**

A continuación se presenta la estimación del presupuesto para la propuesta de obra de estabilización para el punto crítico para el muro de concreto de altura 5.0m y una longitud de 35.0 m.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

**Tabla 156 Presupuestos de Obras Alternativa 1 Muro en Concreto**

PRESUPUESTO PTO. CRÍTICO 2 ALTERNATIVA 1 MURO EN CONCRETO					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL ÍTEM
<b>1</b>	<b>GENERALIDADES</b>				
1.1	Localización y replanteo con equipo de topografía amarrado a coordenadas reales (GAC)	m <sup>2</sup>	175	\$ 2,076	\$ 363,230
1.2	Aislamiento y protección de la zona a intervenir HF 2.0 m en repisa y lona verde	ml	84	\$ 10,300	\$ 865,218
<b>2</b>	<b>EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL</b>				
2.1	Excavación para construcción de muro	m <sup>3</sup>	32.00	\$ 13,857.38	\$ 443,436
2.2	Transporte y disposición final de escombros en sitio autorizado (distancia de transporte 20 km)	m <sup>3</sup>	38.40	\$ 19,934	\$ 765,466
2.3	Rellenos para estructuras con recebo	m <sup>3</sup>	25	\$ 23,237	\$ 580,936
<b>3</b>	<b>OBRAS DE MITIGACIÓN</b>				
3.1	Concreto 4000 psi para muros	m <sup>3</sup>	120.05	\$ 638,037	\$ 76,596,378
3.2	Acero de refuerzo Fy=420 Mpa	kg	16807.00	\$ 4,358	\$ 73,248,772
3.3	Drenes de penetración Horizontal PVC 2 " (12m)	Gb	6.00	\$ 145,687	\$ 874,120
<b>VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO PTO. CRÍTICO 2 ALTERNATIVA 1 MURO EN CONCRETO</b>					<b>\$ 153,737,555</b>
<b>AIU 30%</b>					<b>\$ 46,121,266</b>
<b>VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS</b>					<b>\$ 199,858,821</b>

Fuente: Geocing SAS.

Finalmente, de acuerdo a los resultados de los análisis ante la amenaza por movimientos en masa, dada la problemática ante la afectación de las viviendas además por estar ubicada en el talud marginal se **DEBEN REUBICAR** estas viviendas, dado que no hay espacio topográfico para la implantación de obras y con la cual se garantice la mitigación del riesgo para estas viviendas. A continuación se presenta el presupuesto estimado para la demolición y reubicación de 40 viviendas.

Y en la Tabla 153 se enlistan los predios a reubicar, posteriormente en la ilustración 298 se adjunta el presupuesto estimado de reubicación:



**Ilustración 297 Localización de las viviendas que se DEBE reubicar**  
Fuente: Geocing SAS.

**Tabla 157 Predios No mitigables por Movimientos en Masa**

PREDIO	Área m2	PREDIO	Área m2	Mitigabilidad
C1171	90.604021	C1329	137.546255	No Mitigable
C1174	242.475145	C1330	90.944076	No Mitigable
C1180	77.329582	C1331	93.867468	No Mitigable
C1181	355.290408	C1332	57.925926	No Mitigable
C1283	77.395411	C1335	70.696043	No Mitigable
C1284	67.370827	C1336	140.899231	No Mitigable
C1285	129.283391	C1341	80.910852	No Mitigable
C1286	99.633022	C1343	49.032436	No Mitigable
C1287	132.244948	C1344	38.483799	No Mitigable
C1288	71.251172	C1347	106.927044	No Mitigable
C1289	131.507049	C1348	62.483793	No Mitigable
C1290	121.243955	C1349	69.447494	No Mitigable
C1302	84.797301	C1350	39.132148	No Mitigable
C1322	149.829269	C1351	32.586929	No Mitigable
C1323	167.181307	C1352	154.393537	No Mitigable
C1324	124.181549	C1353	56.564248	No Mitigable
C1325	91.819208	C1384	60.971359	No Mitigable
C1326	174.098613	C1385	66.472082	No Mitigable
C1327	99.759146	C1394	120.98857	No Mitigable
C1328	129.720712	C1397	253.338203	No Mitigable

Fuente: Geocing SAS.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

Se presenta a continuación el presupuesto de reubicación para las 40 viviendas:

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDAS TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015</p>				
<p><b>PRESUPUESTO REUBICACIÓN 40 VIVIENDAS - RIESGO NO MITIGABLE</b></p>					
<p><b>ÍTEM</b></p>	<p><b>DESCRIPCIÓN</b></p>	<p><b>UNIDAD</b></p>	<p><b>CANTIDAD</b></p>	<p><b>VALOR UNITARIO</b></p>	<p><b>VALOR TOTAL ÍTEM</b></p>
<p>1</p>	<p><b>GENERALIDADES</b></p>				
<p>1.1</p>	<p>Localización y replanteo con equipo de topografía (amarrado a coordenadas reales (GAC))</p>	<p>m<sup>2</sup></p>	<p>2698</p>	<p>\$ 2,076</p>	<p>\$ 5,600,077</p>
<p>2</p>	<p><b>EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL</b></p>				
<p>2.1</p>	<p>Demolición de Estructuras</p>	<p>m<sup>3</sup></p>	<p>10792.00</p>	<p>\$ 130,958</p>	<p>\$ 1,413,294,311</p>
<p>2.2</p>	<p>Excavación mecánica en material común (incluye cargue)</p>	<p>m<sup>3</sup></p>	<p>4316.80</p>	<p>\$ 13,177</p>	<p>\$ 56,883,783</p>
<p>2.3</p>	<p>Transporte y disposición final de escombros en sitio autorizado (distancia de transporte 28 km)</p>	<p>m<sup>3</sup></p>	<p>22663</p>	<p>\$ 19,934</p>	<p>\$ 451,768,229</p>
<p><b>VALOR OBRAS DE ADECUACIÓN Y DEMOLICIÓN</b></p>					<p>\$ 1,927,546,399</p>
<p><b>AIU 30%</b></p>					<p>\$ 578,263,920</p>
<p><b>VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS DE ADECUACIÓN Y DEMOLICIÓN</b></p>					<p>\$ 2,505,810,319</p>
<p>3</p>	<p><b>Compra de Viviendas</b></p>				
<p>3.1</p>	<p>Viviendas de la zona de estudio</p>	<p>m<sup>2</sup></p>	<p>5396.00</p>	<p>\$ 450,000</p>	<p>\$ 2,428,200,000</p>
<p><b>VALOR REPRESENTATIVO ADQUISICIÓN DE VIVIENDAS</b></p>					<p>\$ 2,428,200,000</p>
<p><b>VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO REUBICACIÓN 40 VIVIENDAS - RIESGO NO MITIGABLE</b></p>					<p>\$ 4,934,010,319</p>

**Ilustración 298 Presupuesto estimado para la reubicación de 40 viviendas.**

Fuente: Geocing SAS.

## 18.2 INUNDACIÓN

### 18.2.1 Medidas estructurales

#### • Río Pedernal

De acuerdo a los resultados del análisis de amenaza antes la ocurrencia por evento de Inundación, se estableció un punto crítico, localizado en el Puente vehicular de la vía que comunica el municipio de Teruel con el municipio de Palermo ubicado sobre el río Pedernal, como se logra ver en la Ilustración 299.

El punto crítico, como se puede ver en la ilustración anterior existen tres estructuras para dar paso sobre río Pedernal; un puente peatonal metálico, un puente en concreto que no está en uso y el puente vehicular actual; las tres estructuras suman un ancho de 22.6 m con un galibo de 1.61 m; considerando que para un periodo de retorno de 2.33 años el río tiene una lámina de agua de 2.2 m en este punto; para una altura total medida desde el punto máximo de profundidad del cauce hasta la superestructura de 3.81 m.

Con los datos obtenidos por la modelación, para un periodo de retorno a 100 años, presenta rebose lateral en zonas del río con distancias que no superan los 10 m respecto a la ribera del río.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



Ilustración 299 Vista de las estructuras existentes en el punto crítico río pedernal  
Fuente: Geocing SAS.

- **Quebrada El Pueblo**

Como resultado de la modelación en el modelo matemático HEC-RAS, se presenta en la Ilustración 300, la espacialización de la quebrada el Pueblo en un periodo de retorno de 100 años que reporta tres puntos críticos.

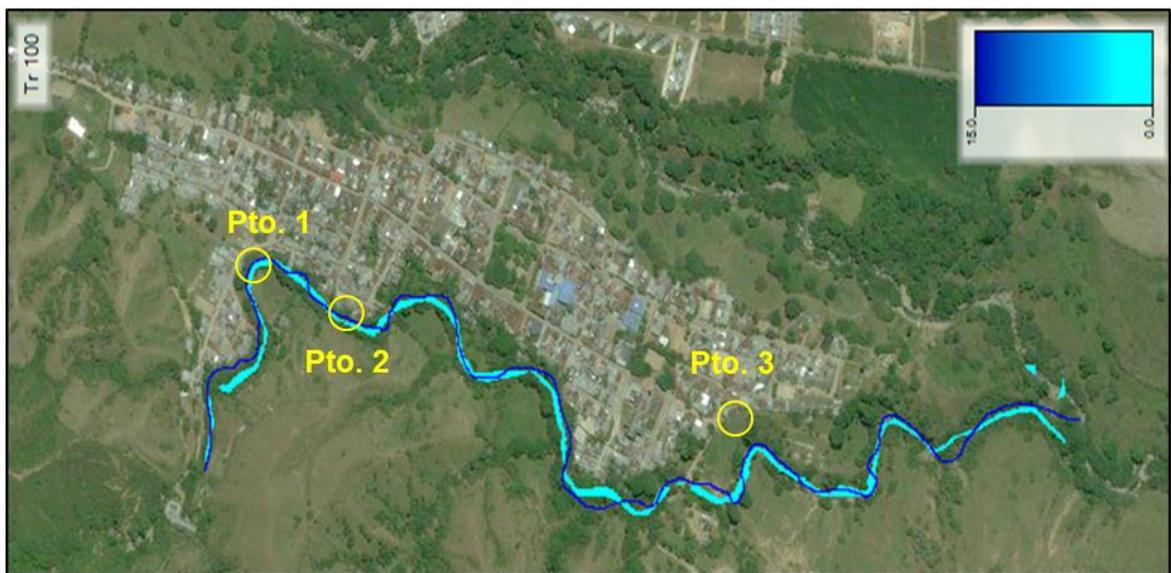


Ilustración 300 Espacialización quebrada El Pueblo para un periodo de retorno de 100 años.  
Fuente: Geocing SAS.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

En el **punto crítico 1** con coordenadas 2°44'40.27"N; 75°34'6.02"O, Por las condiciones topográficas, el cauce de la quebrada presenta una variación en la dirección de flujo que ha ocasionado, debido a la capacidad de transporte de sedimentos los cauces ha generado de socavación en este punto; con el fin de mitigar el avance de la erosión tipo socavación, se proponen medidas de intervención mencionadas a continuación. En la ilustración a continuación se observa el punto crítico.



**Ilustración 301 Vista en planta del punto crítico 1, vista del talud presente.**  
Fuente: Geocing SAS.

Con el fin de presentar medidas de intervención para la mitigación del riesgo alto, se recomienda como medida Estructural,

- Muros articulados flexibles tipo Gavión de 4.0 m de altura localizados en la base de los cortes para la vía.

La alternativa debe contar con un manejo adecuado de las aguas de infiltración y de escorrentía con el fin de evitar las presiones hidrostáticas sobre las obras de contención, además de mitigar y controlar el nivel de agua.

Por otra parte, se evidencia que existen construcciones ubicadas en los márgenes de la quebrada La Guache (2), las cuales se ven afectadas por movimientos en masa con factor detonante para la inestabilidad el agua respecto al inadecuado manejo de las aguas servidas que se vierten al cauce, situación que genera inestabilidad en la capa superficial del talud; razón por la cual se recomienda como medida de intervención estructural:

- Canalización de las aguas servida y un adecuado descole al sistema de alcantarilla.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>

- Construcción de pozos sépticos para un inicial proceso de tratamiento de las aguas servidas.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente y por lo evidenciado en campo; con el fin de mitigar y controlar este movimiento en masa, se recomiendan a continuación las medidas de intervención estructurales para dicho fin:

A continuación se presenta el análisis y diseño de las estructuras recomendadas para este punto:

La proyección de los muros debe hacerse adecuándose a la topografía ascendente o descendente escalonada por terrazas del terreno, y una altura variable con valor máximo del Muro del orden de los 5.0 m, hasta encontrar piso competente colocando geotextil tejido para evitar la filtración de material fino en el gavión. Para el pre dimensionamiento se recomienda utilizar los siguientes parámetros para la construcción del Diagrama de empujes lateral:

1. Diagrama de empujes triangular utilizando la metodología de Coulomb, con:  
 $K_a = (1 - \text{Sen } \emptyset) / (1 + \text{Sen } \emptyset)$ ,  
 $K_p = (1 + \text{Sen } \emptyset) / (1 - \text{Sen } \emptyset)$ .

Un peso unitario efectivo de  $\gamma'_{s} = 1.90 \text{ Ton/m}^3$  (Relleno de material Seleccionado Art. 620 Invias compactado  $\emptyset = 32^\circ$ ).

2. Con los siguientes valores de diseño geotécnico:

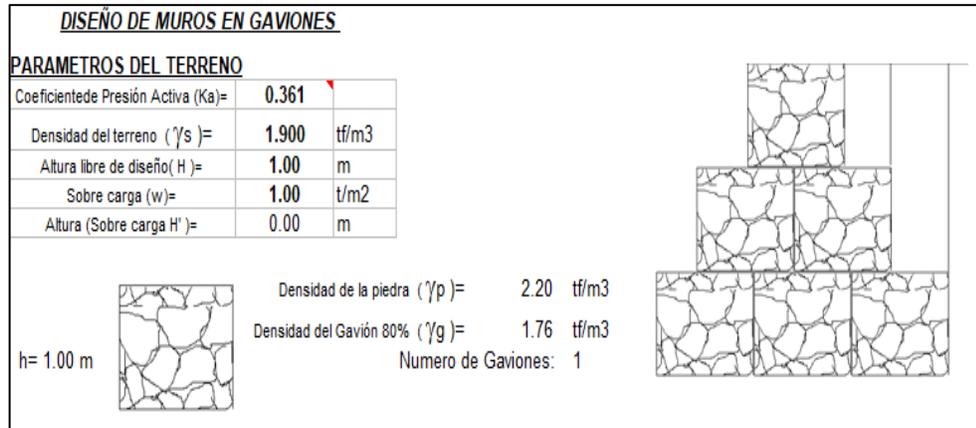
$$K_a = (1 - \text{Sen } 32^\circ) / (1 + \text{Sen } 32^\circ) = 0.31$$

$$K_p = (1 + \text{Sen } 32^\circ) / (1 - \text{Sen } 32^\circ) = 3.25$$

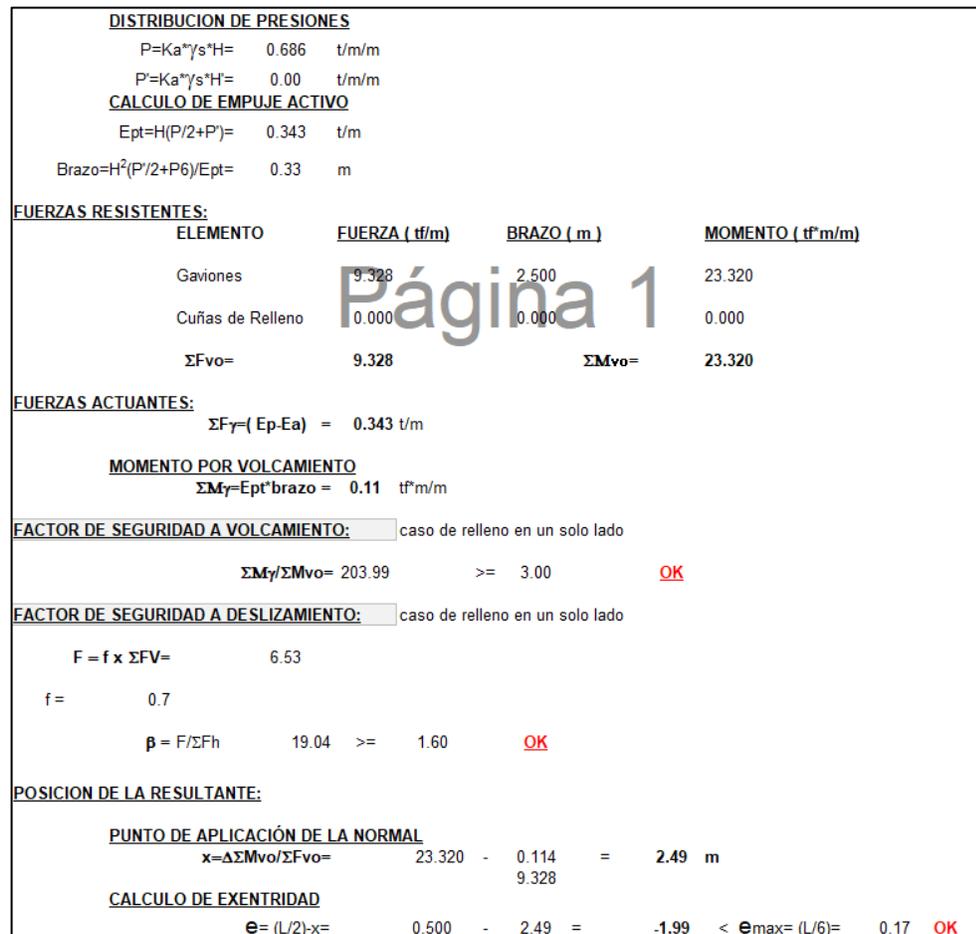
$$K_o = (1 - \text{Sen } 32^\circ) = 0.47$$

$$K_{ae} = 0.42$$

El pre dimensionamiento de la estructura rígida que cumple con los Factores de Seguridad de acuerdo con el NSR- 10, garantizando que cumpla con la normativa, estabilidad local y estabilidad global. Con base en el pre dimensionamiento, a continuación se presenta la implantación de la estructura en el punto de análisis con el fin de comprobar la estabilidad global.

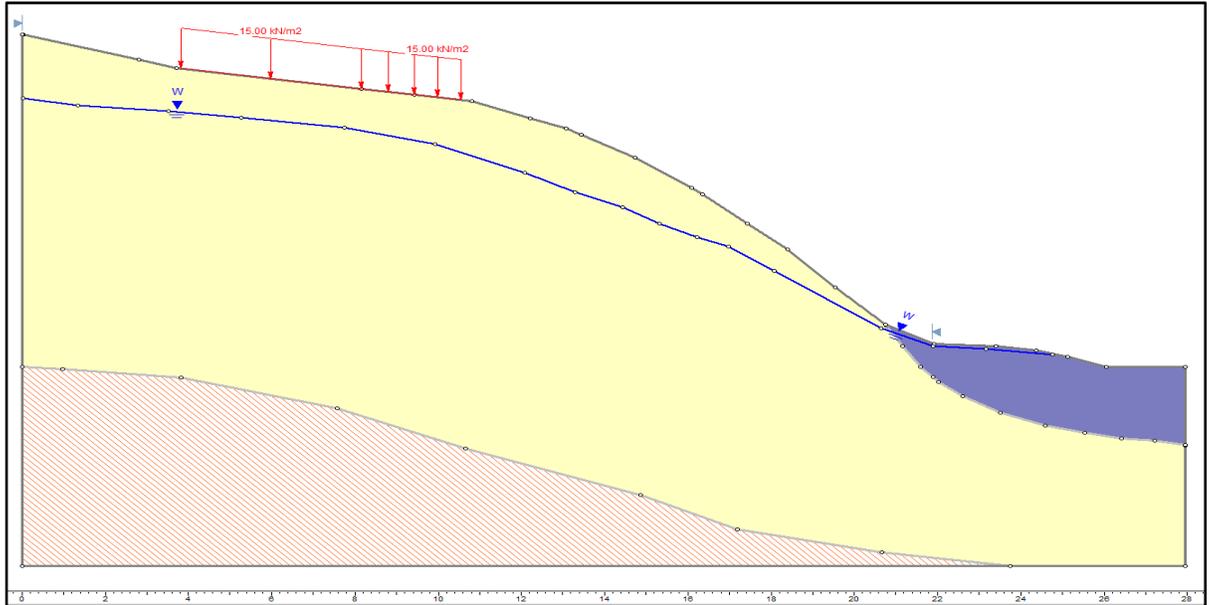


**Ilustración 302 Pre dimensionamiento del Muro en Gavión de H: 4.0 m.  
Fuente: Geocing SAS.**

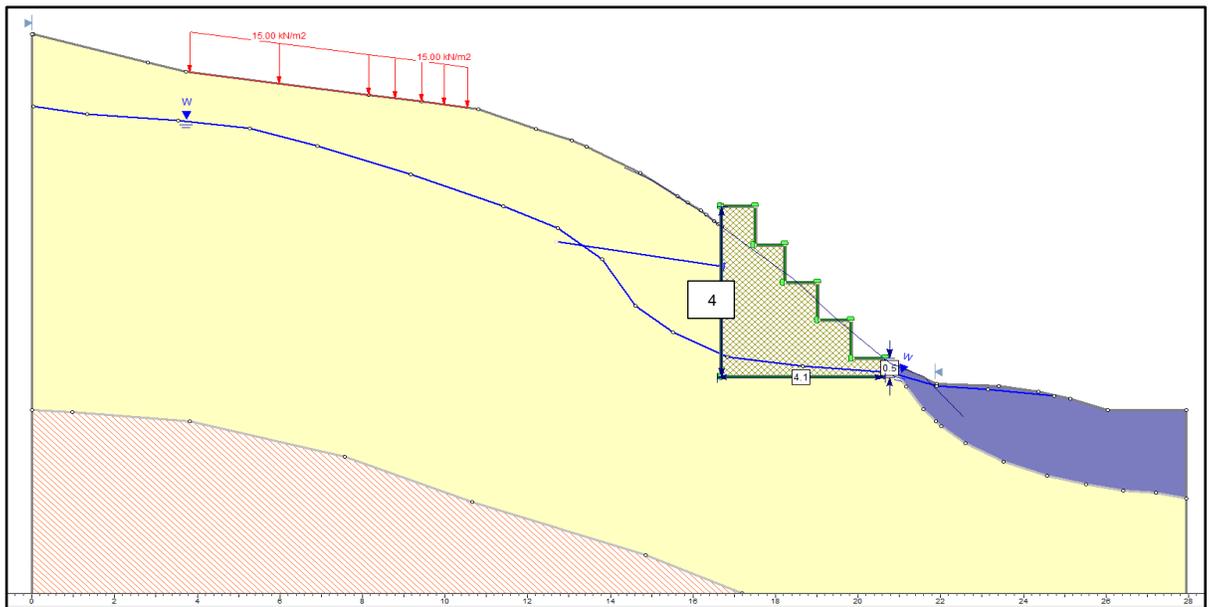


**Ilustración 303 Pre dimensionamiento del Muro en Gavión de H: 4.0 m. Evidencia de Cumplimiento a Capacidad Portante, Deslizamiento, Volcamiento dinámico y estático.  
Fuente: Geocing SAS.**

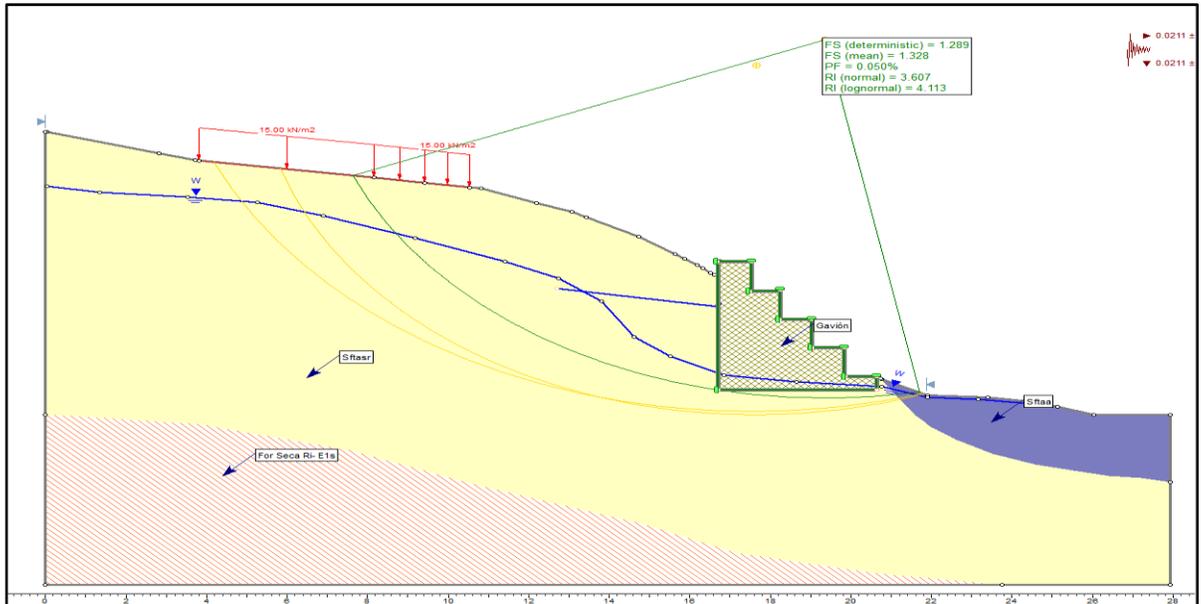
Con base en el pre dimensionamiento, a continuación se presenta la implantación de la estructura en concreto en el punto de análisis con el fin de comprobar la estabilidad global.



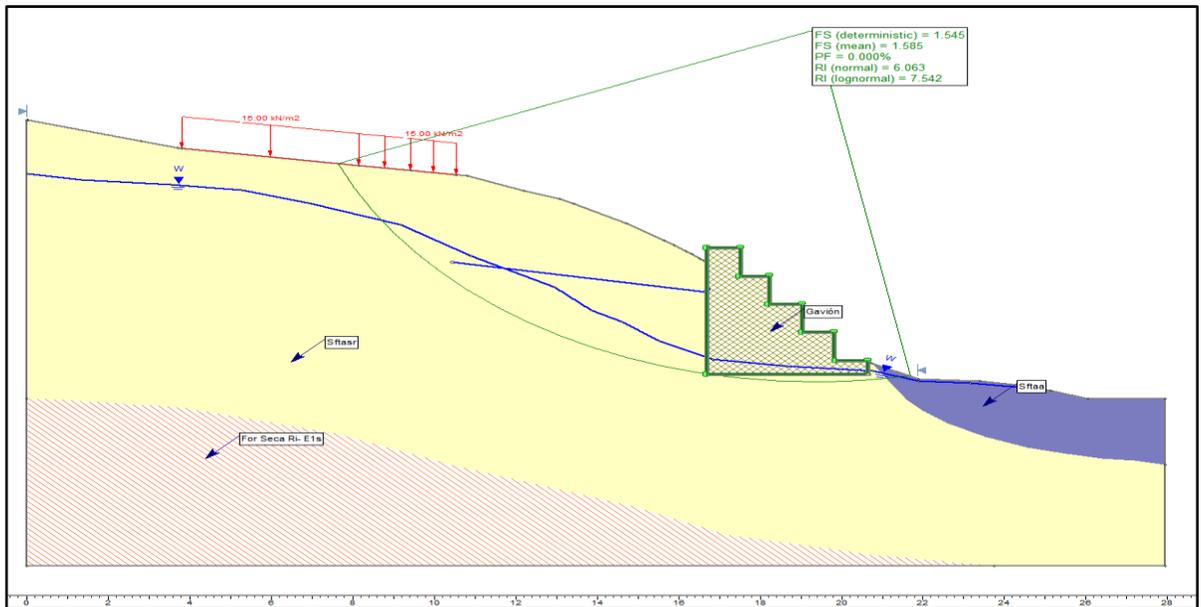
**Ilustración 304. Vista transversal de la situación actual.**  
Fuente: Geocing SAS.



**Ilustración 305. Vista transversal de la implantación del muro en gavión.**  
Fuente: Geocing SAS.



**Ilustración 306. Factor de estabilidad de falla FS. 1.289, la probabilidad de falla es del 0.050% en condición pseudoestática.**  
Fuente: Geocing SAS.



**Ilustración 307. Factor de estabilidad de falla FS. 1.545, la probabilidad de falla es del 0 % en condición estática.**  
Fuente: Geocing SAS.

	<b>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</b>
	<b>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</b>

En la Tabla 158, se presenta el costo de obra propuesta para el punto crítico.

**Tabla 158. Presupuestos de Obras Alternativa 1 Gavión**

	<b>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDAS TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015</b>				
<b>PRESUPUESTO PTO. CRÍTICO 1 ALTERNATIVA 1 GAVIÓN</b>					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL ÍTEM
<b>1</b>	<b>GENERALIDADES</b>				
1.1	Localización y replanteo con equipo de topografía (amarrado a coordenadas reales IGAC)	m <sup>2</sup>	960	\$ 2,076	\$ 1,992,576
1.2	Aislamiento y protección de la zona a intervenir H= 2,0 m en repisa y lona verde	ml	150	\$ 10,300	\$ 1,545,033
<b>2</b>	<b>EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL</b>				
2.1	Excavación en material seleccionado	m <sup>3</sup>	230.00	\$ 13,857	\$ 3,187,196
2.2	Transporte y disposición final de escombros en sitio autorizado (distancia de transporte 20 km)	m <sup>3</sup>	276.00	\$ 19,934	\$ 5,501,784
2.3	Rellenos para estructuras con recebo	m <sup>3</sup>	35	\$ 23,237	\$ 813,310
<b>3</b>	<b>OBRAS DE MITIGACIÓN</b>				
3.1	Drenes de penetración Horizontal PVC 2" (12m)	Gb	18.0	\$ 145,687	\$ 2,622,359
3.2	Gavión de Malla de Alambre de Acero Etrelazado Clase 4; recubrimiento de aleación Zn-5A1-MM y PVC	m <sup>3</sup>	350.0	\$ 181,964	\$ 63,687,288
3.3	Geotextil tipo no tejido NT-2500	m <sup>2</sup>	290.0	\$ 6,205	\$ 1,799,550
<b>VALOR REPRESENTATIVO</b>					<b>\$ 81,149,096</b>
<b>AIU 30%</b>					<b>\$ 24,344,729</b>
<b>VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS</b>					<b>\$ 105,493,825</b>

Fuente: Geocing SAS.

En el **punto crítico 2** con coordenadas 2°44'34.77"N; 75°34'8.18"O, (ver Ilustración 308) en el cual se presenta socavación lateral, en el margen izquierdo del cauce en dirección del flujo, afectando las viviendas que se encuentran muy cerca de la ribera de la quebrada.



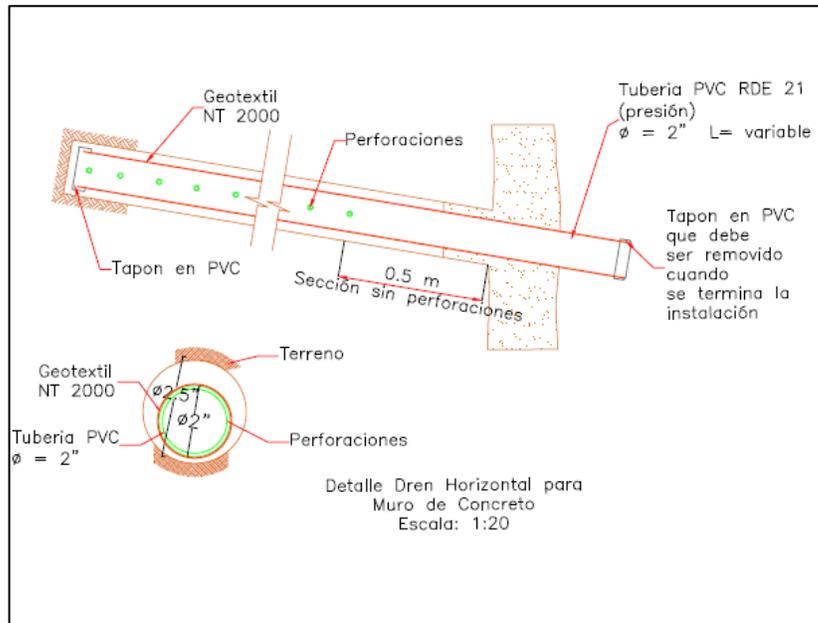
**Ilustración 308 Localización de la medida de mitigación.**

Fuente: Geocing SAS.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

Como alternativa 1, se plantean estructuras de subdrenaje deben dar cumplimiento con las especificaciones técnicas del Instituto Nacional de vías, especialmente con los Artículos INV-671-13 e INV-6736-13 y sus especificaciones relacionadas.

Los drenes horizontales de penetración transversal constituyen un sistema de subdrenaje, que consiste en la introducción de tuberías ranuradas insertadas transversalmente en los taludes para aliviar la presión de poros; la instalación de estos drenes debe regirse bajo lo estipulado en el Artículo 674-07 de Invias. Este trabajo comprende la perforación de barrenos en los taludes del proyecto, la instalación de tubería perforada en los mismos, con o sin recubrimiento exterior de la tubería perforada con Geotextil, en los sitios establecidos en los planos o en los que indique el Interventor. En la ilustración 309 se presenta un esquema de Dren de Penetración Horizontal.



**Ilustración 310. Esquema de dren horizontal.**

**Fuente: Geocing SAS.**

La tubería de drenaje será de PVC, con diámetro interior de cincuenta milímetros (50 mm), Los tubos deberán cumplir con la norma ASTM D 2729-96 A “Standard Specifications for Polyvinyl Chloride (PVC) Drainage Pipe” o con la norma AASHTO M 278-02 “Class PS46 Polyvinyl Chloride (PVC) Pipe”. Para la construcción de drenes horizontales, se debe seguir y dar cumplimiento a los indicado en las especificaciones técnicas del INVIAS. Especialmente en el artículo INV-674-13.

De acuerdo a lo mencionado anteriormente y por lo evidenciado en campo; con el fin controlar las fluctuaciones de nivel freático, se deben instalar drenes

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>

horizontales de 4.0 m de longitud en inclinación de 5°. Se recomiendan a continuación las medidas de intervención estructurales para dicho fin obras de estabilización rígidas con Muros de Contención en Voladizo en concreto deben estar asociadas al sistema/diseño estructural; sin embargo a continuación se presenta el pre dimensionamiento de esta alternativa. En la Ilustración 293 se presenta el esquema de la tipología planteada para estos muros.

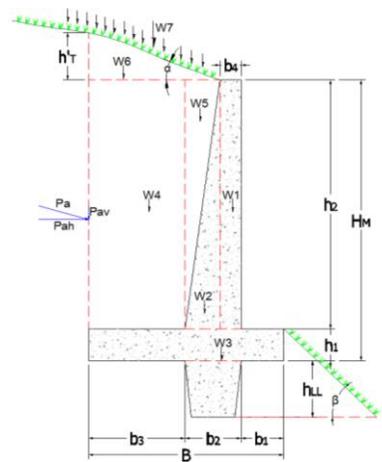
La proyección de los muros debe hacerse adecuándose a la topografía con una altura variable con valor máximo del Muro de 3.0 m, dejando empotramiento de este no menor de 1.0 m, hasta encontrar piso competente colocando un nivel de limpieza mortero de espesor 50 mm, con rellenos de restitución con materiales indicados en los planos de construcción, esta estructura tendrá una longitud de 65.0 m.

El pre dimensionamiento de la estructura rígida que cumple con los Factores de Seguridad de acuerdo con el NSR- 10, Los factores de seguridad exigidos en la Tabla H. 6.9-1 se presenta en Tabla 150 Área de protección para cauces secundarios Tabla 150.

**Tabla 159 Factores de seguridad mínimos exigidos en la NSR-10.**

Condición	Construcción	Estático	Sismo	Seudo estático
<b>Deslizamiento</b>	1.60	1.60	Diseño	1.05
<b>Volcamiento:</b> el que resulte más crítico de Momento Resistente/ Momento Actuante Excentricidad en el sentido del momento (e/B)	$\geq 3.00$ $\leq 1/6$	$\geq 3.00$ $\leq 1/6$	Diseño Diseño	$\geq 2.00$ $\leq 1/4$
<b>Capacidad portante</b>	Iguales a los de la Tabla H.4.1			
<b>Estabilidad Intrínseca materiales térreos (reforzados o no)</b>	Iguales a los de la Tabla H.2.1			
<b>Estabilidad Intrínseca materiales manufacturados</b>	Según material (Concreto-Título C; Madera-Título G; etc.)			
<b>Estabilidad general del sistema:</b>				
Permanente o de Larga duración (> 6 meses)	1.20	1.50	Diseño	1.05
Temporal o de Corta duración (< 6 meses)	1.20	1.30	50% de Diseño	1.00
<b>Laderas adyacentes (Zona de influencia &gt; 2.5H)</b>	1.20	1.50	Diseño	1.05

Fuente: Geocing SAS.

<b>H:3.0 m</b>	<b>MEMORIA DE CÁLCULO</b>																																																																																						
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="background-color: #003366; color: white;">DATOS GENERALES</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>Q (kN/m<sup>2</sup>) =</td><td>20.0 Sobrecarga</td></tr> <tr><td><math>\gamma_s</math> (kN/m<sup>3</sup>) =</td><td>18.0 Peso Unitario del suelo de relleno</td></tr> <tr><td><math>\phi_s</math> =</td><td>27.6 Angulo de fricción interna del suelo de relleno</td></tr> <tr><td><math>\gamma_1</math> (kN/m<sup>3</sup>) =</td><td>18.0 Peso Unitario del material a contener</td></tr> <tr><td><math>\phi_1</math> =</td><td>27.6 Angulo de fricción interna del material a contener</td></tr> <tr><td><math>\gamma</math> (kN/m<sup>3</sup>) =</td><td>18.00 Peso Unitario del estrato de fundación</td></tr> <tr><td><math>\phi</math> =</td><td>27.60 Angulo de fricción interna del estrato de fundación</td></tr> <tr><td>C (kN/m<sup>2</sup>) =</td><td>11.00 Cohesión del estrato de fundación</td></tr> <tr><td><math>\alpha</math> (°) =</td><td>0 Angulo del terreno delante del muro</td></tr> <tr><td><math>\beta</math> (°) =</td><td>0 Angulo del terreno detrás del muro</td></tr> <tr><td>Ka<sub>1</sub> =</td><td>0.37</td></tr> <tr><td>Ka<sub>2</sub> =</td><td>0.37</td></tr> <tr><td>Kp<sub>1</sub> =</td><td>2.73</td></tr> <tr><td>Kp<sub>2</sub> =</td><td>2.73</td></tr> <tr><td><math>\sigma_{adm}</math> (kN/m<sup>2</sup>) =</td><td>248.44 Capacidad portante última</td></tr> <tr><td>A, Kg<sub>z</sub> =</td><td>0.24 Aceleración pico efectiva</td></tr> <tr><td><math>\delta_1</math> (°) =</td><td>18.40 ángulo interacción suelo(relleno) - muro</td></tr> <tr><td><math>\delta_2</math> (°) =</td><td>18.40 ángulo interacción suelo (fundación)- muro</td></tr> </tbody> </table> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th colspan="2" style="background-color: #003366; color: white;">PREDIMENSIONAMIENTO</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>H<sub>T</sub> (m)</td><td>3.00 Altura Total del Muro</td></tr> <tr><td>H<sub>E</sub> (m)</td><td>3.00 Altura Efectiva Muro</td></tr> <tr><td>h<sub>1</sub> (m)</td><td>0.40 Espesor de zarpa</td></tr> <tr><td>H (m)</td><td>2.60 Altura del vástago del Muro</td></tr> <tr><td>B (m)</td><td>2.50 Ancho total de zarpa</td></tr> <tr><td>b<sub>1</sub> (m)</td><td>0.80 Punta del Muro</td></tr> <tr><td>b<sub>2</sub> (m)</td><td>0.30 Ancho del vástago del muro.</td></tr> <tr><td>b<sub>3</sub> (m)</td><td>1.40 Talón del muro</td></tr> <tr><td>b<sub>1</sub> (m)</td><td>0.30 Corona del muro</td></tr> <tr><td>Pa (KN/m)</td><td>55.84 Empuje activo</td></tr> <tr><td>Pav(KN/m)</td><td>17.63 Componente Vertical del empuje activo</td></tr> <tr><td>Pah (KN/m)</td><td>52.99 Componente horizontal del empuje</td></tr> <tr><td>h' (m)</td><td>0.00 Altura talud inclinado</td></tr> <tr><td>h'' (m)</td><td>1.11 Altura equivalente por sobrecarga aplicada</td></tr> </tbody> </table>	DATOS GENERALES		Q (kN/m <sup>2</sup> ) =	20.0 Sobrecarga	$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> ) =	18.0 Peso Unitario del suelo de relleno	$\phi_s$ =	27.6 Angulo de fricción interna del suelo de relleno	$\gamma_1$ (kN/m <sup>3</sup> ) =	18.0 Peso Unitario del material a contener	$\phi_1$ =	27.6 Angulo de fricción interna del material a contener	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) =	18.00 Peso Unitario del estrato de fundación	$\phi$ =	27.60 Angulo de fricción interna del estrato de fundación	C (kN/m <sup>2</sup> ) =	11.00 Cohesión del estrato de fundación	$\alpha$ (°) =	0 Angulo del terreno delante del muro	$\beta$ (°) =	0 Angulo del terreno detrás del muro	Ka <sub>1</sub> =	0.37	Ka <sub>2</sub> =	0.37	Kp <sub>1</sub> =	2.73	Kp <sub>2</sub> =	2.73	$\sigma_{adm}$ (kN/m <sup>2</sup> ) =	248.44 Capacidad portante última	A, Kg <sub>z</sub> =	0.24 Aceleración pico efectiva	$\delta_1$ (°) =	18.40 ángulo interacción suelo(relleno) - muro	$\delta_2$ (°) =	18.40 ángulo interacción suelo (fundación)- muro	PREDIMENSIONAMIENTO		H <sub>T</sub> (m)	3.00 Altura Total del Muro	H <sub>E</sub> (m)	3.00 Altura Efectiva Muro	h <sub>1</sub> (m)	0.40 Espesor de zarpa	H (m)	2.60 Altura del vástago del Muro	B (m)	2.50 Ancho total de zarpa	b <sub>1</sub> (m)	0.80 Punta del Muro	b <sub>2</sub> (m)	0.30 Ancho del vástago del muro.	b <sub>3</sub> (m)	1.40 Talón del muro	b <sub>1</sub> (m)	0.30 Corona del muro	Pa (KN/m)	55.84 Empuje activo	Pav(KN/m)	17.63 Componente Vertical del empuje activo	Pah (KN/m)	52.99 Componente horizontal del empuje	h' (m)	0.00 Altura talud inclinado	h'' (m)	1.11 Altura equivalente por sobrecarga aplicada	 <table style="width: 100%;"> <tr> <td></td> <td style="text-align: right;"><b>NSR-10</b></td> <td></td> </tr> <tr> <td>FS Capacidad Portante (Mínimo)</td> <td style="color: red;">3.00</td> <td style="color: green;">9.44</td> </tr> <tr> <td>FS<sub>D</sub> Deslizamiento (Mínimo)</td> <td style="color: red;">1.60</td> <td style="color: green;">1.31</td> </tr> <tr> <td>FS<sub>SE</sub> Deslizamiento (Mínimo)</td> <td style="color: red;">1.05</td> <td style="color: green;">2.14</td> </tr> <tr> <td>FS<sub>V</sub> Volcamiento (Mínimo)</td> <td style="color: red;">3.00</td> <td style="color: green;">3.03</td> </tr> <tr> <td>FS<sub>SE</sub> Volcamiento (Mínimo)</td> <td style="color: red;">2.00</td> <td style="color: green;">3.96</td> </tr> </table>		<b>NSR-10</b>		FS Capacidad Portante (Mínimo)	3.00	9.44	FS <sub>D</sub> Deslizamiento (Mínimo)	1.60	1.31	FS <sub>SE</sub> Deslizamiento (Mínimo)	1.05	2.14	FS <sub>V</sub> Volcamiento (Mínimo)	3.00	3.03	FS <sub>SE</sub> Volcamiento (Mínimo)	2.00	3.96
DATOS GENERALES																																																																																							
Q (kN/m <sup>2</sup> ) =	20.0 Sobrecarga																																																																																						
$\gamma_s$ (kN/m <sup>3</sup> ) =	18.0 Peso Unitario del suelo de relleno																																																																																						
$\phi_s$ =	27.6 Angulo de fricción interna del suelo de relleno																																																																																						
$\gamma_1$ (kN/m <sup>3</sup> ) =	18.0 Peso Unitario del material a contener																																																																																						
$\phi_1$ =	27.6 Angulo de fricción interna del material a contener																																																																																						
$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> ) =	18.00 Peso Unitario del estrato de fundación																																																																																						
$\phi$ =	27.60 Angulo de fricción interna del estrato de fundación																																																																																						
C (kN/m <sup>2</sup> ) =	11.00 Cohesión del estrato de fundación																																																																																						
$\alpha$ (°) =	0 Angulo del terreno delante del muro																																																																																						
$\beta$ (°) =	0 Angulo del terreno detrás del muro																																																																																						
Ka <sub>1</sub> =	0.37																																																																																						
Ka <sub>2</sub> =	0.37																																																																																						
Kp <sub>1</sub> =	2.73																																																																																						
Kp <sub>2</sub> =	2.73																																																																																						
$\sigma_{adm}$ (kN/m <sup>2</sup> ) =	248.44 Capacidad portante última																																																																																						
A, Kg <sub>z</sub> =	0.24 Aceleración pico efectiva																																																																																						
$\delta_1$ (°) =	18.40 ángulo interacción suelo(relleno) - muro																																																																																						
$\delta_2$ (°) =	18.40 ángulo interacción suelo (fundación)- muro																																																																																						
PREDIMENSIONAMIENTO																																																																																							
H <sub>T</sub> (m)	3.00 Altura Total del Muro																																																																																						
H <sub>E</sub> (m)	3.00 Altura Efectiva Muro																																																																																						
h <sub>1</sub> (m)	0.40 Espesor de zarpa																																																																																						
H (m)	2.60 Altura del vástago del Muro																																																																																						
B (m)	2.50 Ancho total de zarpa																																																																																						
b <sub>1</sub> (m)	0.80 Punta del Muro																																																																																						
b <sub>2</sub> (m)	0.30 Ancho del vástago del muro.																																																																																						
b <sub>3</sub> (m)	1.40 Talón del muro																																																																																						
b <sub>1</sub> (m)	0.30 Corona del muro																																																																																						
Pa (KN/m)	55.84 Empuje activo																																																																																						
Pav(KN/m)	17.63 Componente Vertical del empuje activo																																																																																						
Pah (KN/m)	52.99 Componente horizontal del empuje																																																																																						
h' (m)	0.00 Altura talud inclinado																																																																																						
h'' (m)	1.11 Altura equivalente por sobrecarga aplicada																																																																																						
	<b>NSR-10</b>																																																																																						
FS Capacidad Portante (Mínimo)	3.00	9.44																																																																																					
FS <sub>D</sub> Deslizamiento (Mínimo)	1.60	1.31																																																																																					
FS <sub>SE</sub> Deslizamiento (Mínimo)	1.05	2.14																																																																																					
FS <sub>V</sub> Volcamiento (Mínimo)	3.00	3.03																																																																																					
FS <sub>SE</sub> Volcamiento (Mínimo)	2.00	3.96																																																																																					

**Ilustración 311 Dimensionamiento del Muro en Voladizo de H: 3.0 m.**

Fuente: Geocing SAS.

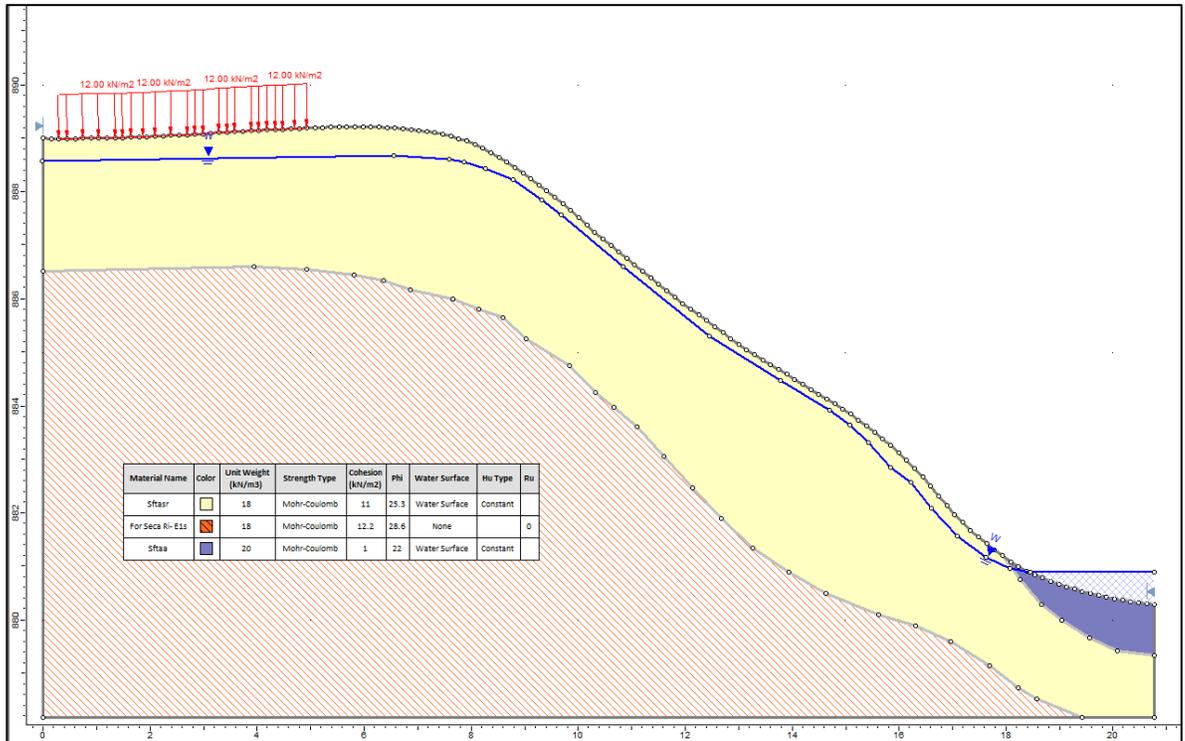
No.	ALTURA (m)	BASE (m)	AREA (m <sup>2</sup> )	γ (kN/m3)	PESO (KN/m)	Brazo (m)	M estabilizante KN-m	M inestabilizante KN-m	ANÁLISIS DE ESTABILIDAD (Volcamiento)	
W1	2.60	0.30	0.78	24.00	18.72	0.95	17.8		Σ=Momento Estabilizante	260.2
W2	2.60	0.00	0.00	24.00	0.00	1.57	0.0			
W3	0.40	2.50	1.00	24.00	24.00	1.25	30.0		Σ=Momento Inestabilizante	86.0
W4	2.60	1.40	3.64	18.00	65.52	1.80	117.9			
W5	2.60	0.00	0.00	18.00	0.00	1.10	0.0		FS Volcamiento	3.03
W6	0.00	1.40	0.00	18.00	0.00	2.03	0.0			
W7	1.11	1.40	1.56	18.00	28.00	1.80	50.4			
				Pav	17.63	2.50	44.1			
Σ Momentos estabilizantes							260.2			
					Pah	52.99	1.00	52.99		
					Pvh	22.01	1.50	33.01		
Σ Momentos inestabilizantes							86.00			
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD (Deslizamiento)				Cálculo de Capacidad Portante			VERIFICACIÓN ESTABILIDAD INTERNA			
K1=	0.33	ΣFv	153.87	γ <sub>2</sub> (KN/m <sup>3</sup> )	18.0	Σ=M <sub>base</sub> KN-m	174.19	Esfuerzo Reacción (KN/m <sup>2</sup> )		
K2=	0.33	ΣFh	52.99	C <sub>2</sub> (KN/m <sup>2</sup> )	11.0	Σ=Fverticales	153.87	Max (punta)	78.96	Min (talón)
FS al Deslizamiento			1.31	φ <sub>s</sub> (°) Estrato de fundación	27.6	Xa (m)	1.13	Capacidad Portante		
			Requiere llave	Df (m)	0.50	Excentricidad (m)	0.12	FS Capacidad Portante	9.44	
				β (°)	0.0	B/6 (m)	0.42		Cumple	
Hilave +zarpa + Desplante			0.84	qL	9.00					
Hilave			0.44	NqL	14.09					
				quL (KN/m <sup>2</sup> )	745.32					
				qadm (KN/m <sup>2</sup> )	248.44					

**Ilustración 312 Dimensionamiento del Muro en Voladizo de H: 3.0 m. Evidencia de Cumplimiento a Capacidad Portante, Deslizamiento, Volcamiento estático.**  
**Fuente: Geocing SAS.**

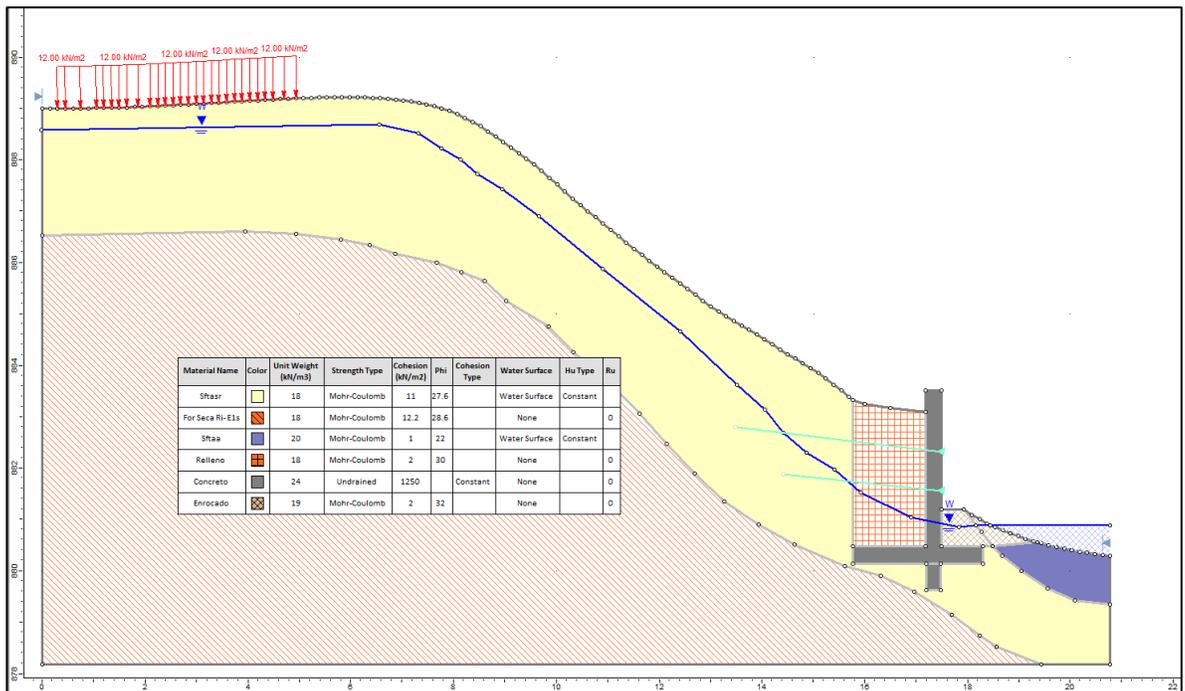
FORMULAS PARA EL CALCULO DE Ka		DIAGRAMA DE PRESIONES EN LA BASE																																													
<b>COULOMB:</b> $K_a = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$																																															
<b>MAYNIE:</b> $K_a = \frac{\cos^2 \phi'}{\cos \phi' \left( 1 + \frac{\sin(\phi' + \delta') \sin \phi'}{\cos \delta'} \right)}$																																															
<b>MULLER - BRESLAU:</b> $K_a = \frac{\sin^2(\alpha + \phi')}{\sin^2 \alpha \sin(\alpha - \delta') \left( 1 + \frac{\sin(\phi' + \delta') \sin(\phi' - \beta)}{\sin(\alpha - \delta') \sin(\alpha + \beta)} \right)}$		<table border="1"> <tr> <td>Pae:</td> <td>34.27</td> </tr> <tr> <td>PaeH:</td> <td>32.52</td> </tr> <tr> <td>PaeV:</td> <td>10.82</td> </tr> <tr> <td>ΔpaeH:</td> <td>-20.47</td> </tr> <tr> <td>Z:</td> <td>0.50</td> </tr> </table>		Pae:	34.27	PaeH:	32.52	PaeV:	10.82	ΔpaeH:	-20.47	Z:	0.50																																		
Pae:	34.27																																														
PaeH:	32.52																																														
PaeV:	10.82																																														
ΔpaeH:	-20.47																																														
Z:	0.50																																														
<b>MONONOBE - OKABE:</b> $K_a = \frac{(1 - a) \sin(\alpha + \phi - \psi)}{\cos \psi \sin \alpha \sin(\alpha - \delta - \psi) \left( 1 + \frac{\sin(\phi + \beta) \sin(\phi - \psi)}{\sin(\alpha - \delta) \sin(\alpha + \beta)} \right)}$		<table border="1"> <tr> <th colspan="4">Cheque al deslizamiento - situación Seudoestática</th> </tr> <tr> <th colspan="4">Mononobe - Okabe</th> </tr> <tr> <th colspan="4">VALORES DE Ka</th> </tr> <tr> <th>φ</th> <th>α</th> <th>β</th> <th>δ'</th> </tr> <tr> <td>27.6</td> <td>90</td> <td>0</td> <td>18.40</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>Coulomb:</b></td> <td>Ka =</td> <td>0.367</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>Mononobe - Okabe:</b></td> <td>Da =</td> <td>2.015</td> </tr> <tr> <td colspan="2"><b>Mononobe - Okabe:</b></td> <td>Kae =</td> <td>0.504</td> </tr> <tr> <td colspan="2">a<sub>n</sub> (g)=</td> <td>0.24</td> <td>a<sub>v</sub> (g)=</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td></td> <td>0.16</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>ψ' =</td> <td>15.945</td> </tr> </table>		Cheque al deslizamiento - situación Seudoestática				Mononobe - Okabe				VALORES DE Ka				φ	α	β	δ'	27.6	90	0	18.40	<b>Coulomb:</b>		Ka =	0.367	<b>Mononobe - Okabe:</b>		Da =	2.015	<b>Mononobe - Okabe:</b>		Kae =	0.504	a <sub>n</sub> (g)=		0.24	a <sub>v</sub> (g)=				0.16			ψ' =	15.945
Cheque al deslizamiento - situación Seudoestática																																															
Mononobe - Okabe																																															
VALORES DE Ka																																															
φ	α	β	δ'																																												
27.6	90	0	18.40																																												
<b>Coulomb:</b>		Ka =	0.367																																												
<b>Mononobe - Okabe:</b>		Da =	2.015																																												
<b>Mononobe - Okabe:</b>		Kae =	0.504																																												
a <sub>n</sub> (g)=		0.24	a <sub>v</sub> (g)=																																												
			0.16																																												
		ψ' =	15.945																																												
<table border="1"> <tr> <th colspan="2">Verificación al Deslizamiento - Seudoestático</th> </tr> <tr> <td>FS Deslizamiento SE</td> <td>2.14</td> </tr> <tr> <td>Altura llave</td> <td>No Requiere Llave</td> </tr> </table>		Verificación al Deslizamiento - Seudoestático		FS Deslizamiento SE	2.14	Altura llave	No Requiere Llave	<table border="1"> <tr> <th colspan="2">Verificación al Volcamiento - Seudoestático</th> </tr> <tr> <td>FS Volcamiento SE</td> <td>3.96</td> </tr> <tr> <td></td> <td>Cumple</td> </tr> </table>		Verificación al Volcamiento - Seudoestático		FS Volcamiento SE	3.96		Cumple																																
Verificación al Deslizamiento - Seudoestático																																															
FS Deslizamiento SE	2.14																																														
Altura llave	No Requiere Llave																																														
Verificación al Volcamiento - Seudoestático																																															
FS Volcamiento SE	3.96																																														
	Cumple																																														

**Ilustración 313 Dimensionamiento del Muro en Voladizo de H: 3.0 m. Evidencia de Cumplimiento a Capacidad Portante, Deslizamiento, Volcamiento dinámico.**  
**Fuente: Geocing SAS.**

Con base en el pre dimensionamiento, en la Ilustración 295 se presenta la implantación de la estructura en concreto en el punto de análisis con el fin de comprobar la estabilidad global.

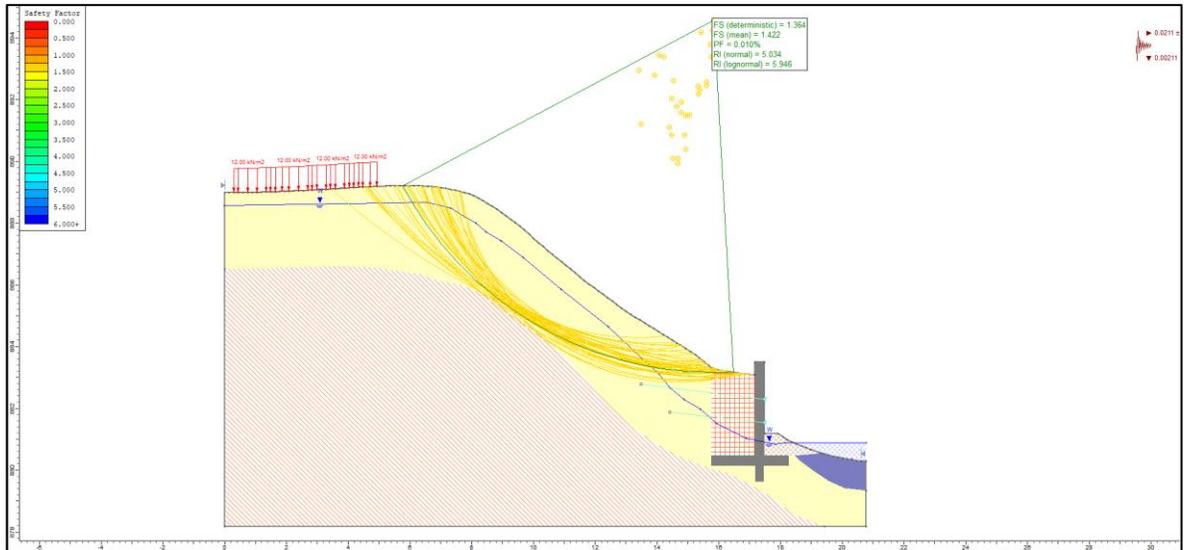


**Ilustración 314. Vista transversal del perfil de análisis.**  
Fuente: Geocing SAS.



**Ilustración 315. Vista transversal implantación Alternativa 1- Muro en concreto.**  
Fuente: Geocing SAS.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



**Ilustración 316. Implantación Alternativa 1- Muro en concreto FS 1.36**  
**Fuente: Geocing SAS.**

Con base en el pre dimensionamiento, en la Ilustración 295 se presenta la estimación de presupuesto para implantación de la estructura en concreto.

**Tabla 160. Presupuestos de Obras Alternativa 1 Muro en concreto**

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>				
<p><b>PRESUPUESTO PTO. CRÍTICO 2 ALTERNATIVA 1 MURO EN CONCRETO</b></p>					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL ÍTEM
<b>1</b>	<b>GENERALIDADES</b>				
1.1	Localización y replanteo con equipo de topografía amarrado a coordenadas reales IGAC	m <sup>2</sup>	279	\$ 2,076	\$ 579,092
1.2	Aislamiento y protección de la zona a intervenir HF= 2.0 m en repisa y lona verde	ml	98	\$ 10,300	\$ 1,009,422
<b>2</b>	<b>EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL</b>				
2.1	Excavación para construcción de muro	m <sup>3</sup>	19.00	\$ 13,857.38	\$ 263,290
2.2	Transporte y disposición final de escombros en sitio autorizado (distancia de transporte 20 km)	m <sup>3</sup>	22.80	\$ 19,934	\$ 454,495
2.3	Rellenos para estructuras con recebo	m <sup>3</sup>	27	\$ 23,237	\$ 627,410
<b>3</b>	<b>OBRAS DE MITIGACIÓN</b>				
3.1	Concreto 4000 psi para muros	m <sup>3</sup>	43.1	\$ 638,037	\$ 27,499,408
3.2	Acero de refuerzo Fy=420 Mpa	kg	6034.00	\$ 4,358	\$ 26,297,560
3.3	Drenes de penetración Horizontal PVC 2" (12m)	Gb	20.00	\$ 145,687	\$ 2,913,732
<b>VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO PTO. CRÍTICO 2 ALTERNATIVA 1 MURO EN CONCRETO</b>					<b>\$ 59,644,409</b>
<b>AIU 30%</b>					<b>\$ 17,893,323</b>
<b>VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS</b>					<b>\$ 77,537,732</b>

**Fuente: Geocing SAS.**

En la Alternativa 2 se proyecta una estructura flexible de altura 3.0 m, hasta encontrar piso competente colocando geotextil tejido para evitar la filtración de material fino en el gavión. El pre dimensionamiento de la estructura rígida que cumple con los Factores de Seguridad de acuerdo con el NSR- 10, garantizando que cumpla con la normativa, estabilidad local y estabilidad global. Con base en el

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>

pre dimensionamiento, a continuación se presenta la implantación de la estructura en el punto de análisis con el fin de comprobar la estabilidad global.



ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.



INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

**DISEÑO DE MUROS EN GAVIONES**

**PARAMETROS DEL TERRENO**

Coefficiente de Presión Activa ( $K_a$ )= 0.504  
 Densidad del terreno ( $\gamma_s$ )= 1.800 tf/m<sup>3</sup>  
 Altura libre de diseño (H)= 3.00 m  
 Sobre carga (w)= 2.00 t/m<sup>2</sup>  
 Altura (Sobre carga H')= 2.00 m

h= 1.00 m



b= 2.00 m

Densidad de la piedra ( $\gamma_p$ )= 2.00 tf/m<sup>3</sup>  
 Densidad del Gavión 80% ( $\gamma_g$ )= 1.6 tf/m<sup>3</sup>  
 Fila de Gaviones: 6

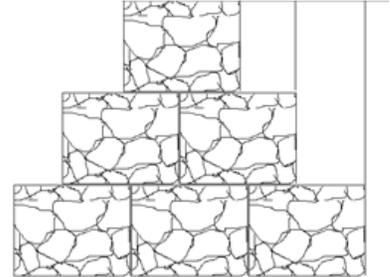


Ilustración 317 Dimensionamiento del Gavión de H: 3.0 m.

Fuente: Geocing SAS.

**DISTRIBUCION DE PRESIONES**

$P=K_a*\gamma_s*H= 4.122$  t/m/m

$P'=K_a*\gamma_s*H'= 1.81$  t/m/m

**CALCULO DE EMPUJE ACTIVO**

$E_{pt}=H*(P/2+P')= 11.626$  t/m

$Brazo=H^2*(P/2+P6)/E_{pt}= 1.23$  m

**FUERZAS RESISTENTES:**

ELEMENTO	FUERZA ( tf/m )	BRAZO ( m )	MOMENTO ( tf*m/m )
Gaviones	20.352	3.000	61.056
Cuñas de Relleno	5.670	5.166	29.291
$\Sigma F_{vo} =$	26.022	$\Sigma M_{vo} =$	90.347

**FUERZAS ACTUANTES:**

$\Sigma F_{\gamma} = (E_p - E_a) = 11.626$  t/m

**MOMENTO POR VOLCAMIENTO**

$\Sigma M_{\gamma} = E_{pt} * brazo = 14.35$  tf\*m/m

**FACTOR DE SEGURIDAD A VOLCAMIENTO:** caso de relleno en un solo lado

$\Sigma M_{\gamma} / \Sigma M_{vo} = 6.30 \geq 3.00$  **OK**

Ilustración 318 Pre dimensionamiento del Muro -Gavión de H: 3.0 m. Evidencia de Cumplimiento Volcamiento estático.

Fuente: Geocing SAS.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

<b>FACTOR DE SEGURIDAD A DESLIZAMIENTO:</b>		caso de relleno en un solo lado	
$F = f \times \Sigma FV =$	20.82		
$f =$	0.8		
$\beta = F/\Sigma Fh$	1.79	$\geq$	1.60 <b>OK</b>
<b>POSICION DE LA RESULTANTE:</b>			
<u>PUNTO DE APLICACIÓN DE LA NORMAL</u>			
$x = \Delta \Sigma M_{vo} / \Sigma F_{vo} =$	$\frac{90.347}{26.022}$	-	$\frac{14.347}{26.022} = 2.92 \text{ m}$
<u>CALCULO DE EXENTRIDAD</u>			
$e = (L/2) - x =$	$1.500$	-	$2.92 = -1.42 < e_{max} = (L/6) = 0.50 \text{ OK}$

**Ilustración 319 Pre dimensionamiento del Muro -Gavion de H: 3.0 m. Evidencia de Cumplimiento Deslizamiento estático.  
Fuente: Geocing SAS.**

Con base en el pre dimensionamiento, en la Ilustración 295 se presenta la implantación de la estructura en concreto en el punto de análisis con el fin de comprobar la estabilidad global.

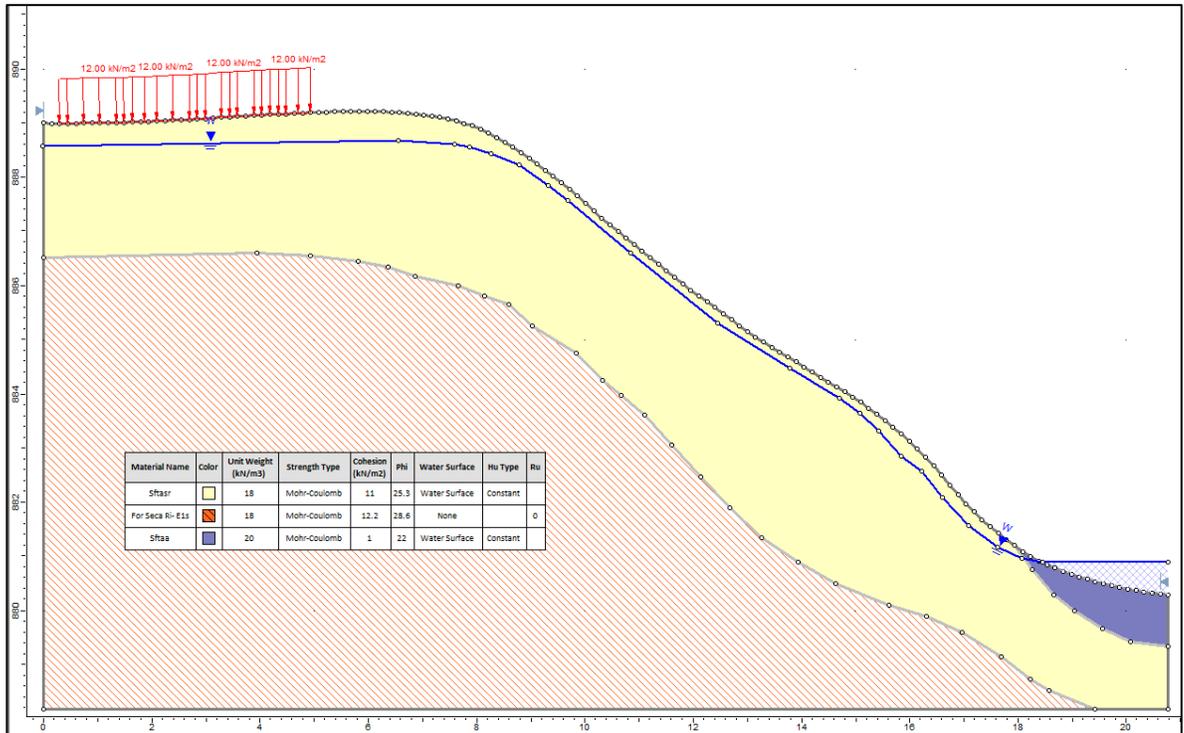


Ilustración 320. Vista transversal del perfil de análisis.

Fuente: Geocing SAS.

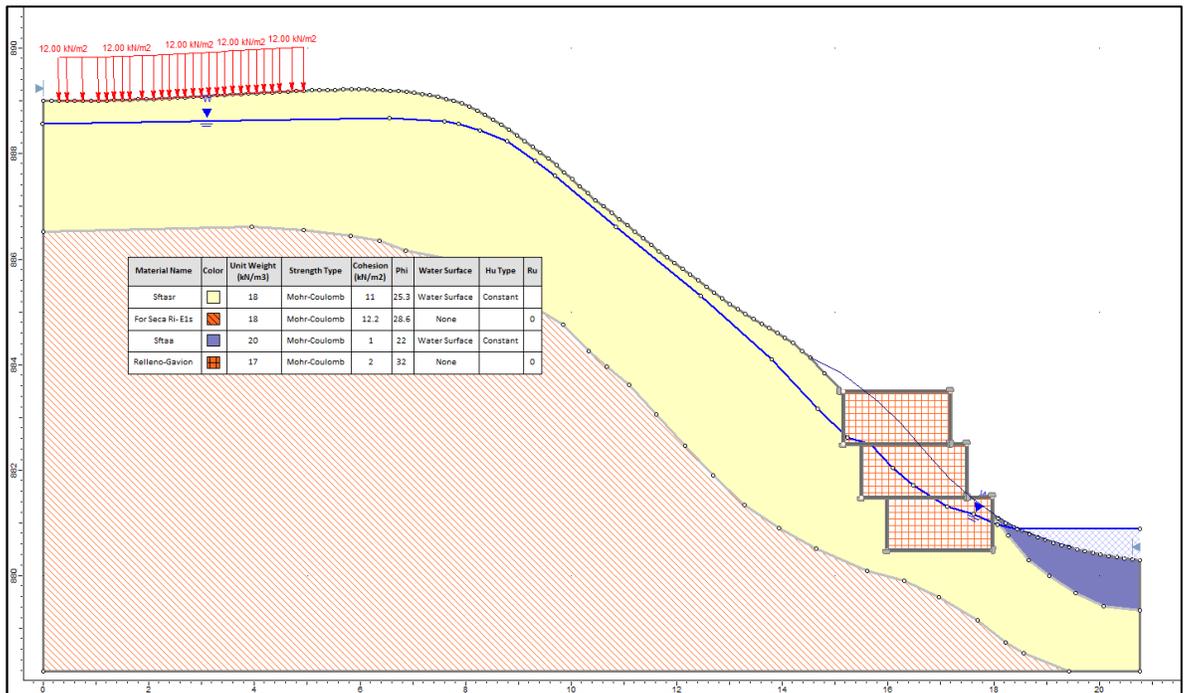
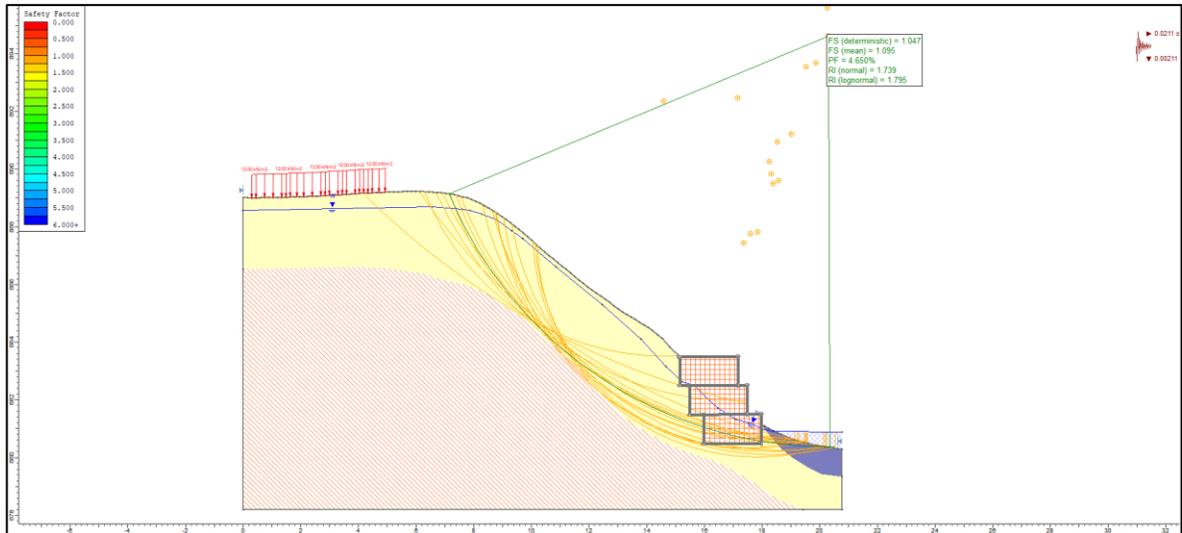


Ilustración 321. Vista transversal implantación Alternativa 2- Muro en Gabion.

Fuente: Geocing SAS.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>



**Ilustración 322. Implantación Alternativa 2- Muro en Gavión 1.05**  
Fuente: Geocing SAS

Con base en el dimensionamiento, en la Ilustración 295 se presenta la estimación de presupuesto para implantación de la estructura en concreto.

**Tabla 161. Presupuestos de Obras Alternativa 2 Gavión**

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDAS TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015</p>				
<p>PRESUPUESTO PTO. CRÍTICO 2 ALTERNATIVA 1 GAVIÓN</p>					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL ÍTEM
1	<b>GENERALIDADES</b>				
1.1	Localización y replanteo con equipo de topografía (amarrado a coordenadas reales IGAC)	m <sup>2</sup>	140	\$ 2,076	\$ 290,584
1.2	Aislamiento y protección de la zona a intervenir H= 2,0 m en repisa y lona verde	ml	98	\$ 10,300	\$ 1,009,422
2	<b>EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL</b>				
2.1	Excavación para construcción de muro	m <sup>3</sup>	23	\$ 13,857.38	\$ 311,791
2.2	Transporte y disposición final de escombros en sitio autorizado (distancia de transporte 20 km)	m <sup>3</sup>	27	\$ 19,934	\$ 538,218
3	<b>OBRAS DE MITIGACIÓN</b>				
3.5	Gavión de Malla de Alambre de Acero Etrelazado Clase 4; recubrimiento de aleación Zn-5A1-MM y PVC	m <sup>3</sup>	240	\$ 181,964	\$ 43,671,283
3.6	Geotextil tipo no tejido NT-2500	m <sup>2</sup>	200	\$ 6,205	\$ 1,241,069
VALOR REPRESENTATIVO					\$ 47,062,367
AIU 30%					\$ 14,118,710
<b>VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS</b>					<b>\$ 61,181,077</b>

Fuente: Geocing SAS

Se evidencia en la visita en campo, que en el **punto crítico 3** 2°44'16.08"N; 75°34'13.51"O, se observa un botadero a cielo abierto, el cual se propone que sea reubicado o tecnificado, para que no caigan residuos a la quebrada. Se propone como medida no estructural, campañas de concientización de respetar y ni invadir las zonas de ronda del río, y de forma paralela realizar campañas de limpieza y forestación de la rivera de la quebrada en este punto.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>



Ilustración 323. Punto crítico 3 coordenadas 2°44'6.94"N; 75°34'12.02"O.  
Fuente: Geocing SAS.

### **18.2.2 Medidas no estructurales**

Como se pudo evidenciar a lo largo del estudio existen ciertas zonas dentro de la cabecera municipal y zona rural que se encuentran en riesgo asociado a inundaciones durante la época invernal, debido principalmente a las ocupaciones que a lo largo del tiempo los pobladores han venido adelantando sobre las zonas de ronda y zonas de inundación y divagación; es por esta razón que a continuación se presenta una serie de medidas de manejo que permitirán de manera progresiva reducir este tipo de riesgos:

1. Durante la época invernal la cabecera municipal y zona rural sufre las mayores afectaciones por las inundaciones y esto se debe a que se presentan procesos de desborde y anegación sobre sus áreas. El desbordamiento natural del río Arauca es producto del aumento del nivel de caudal por la época de lluvias. Es por esto que se recomienda implementar una red de estaciones de medición hidrológicas (limnimétricas, limnigráficas, pluviométrica, y pluviográfica) para el mejoramiento y conocimiento del comportamiento de los ríos y mejorar el conocimiento del riesgo respecto a las inundaciones que se presentan en la cabecera municipal.
2. La asociadas principalmente a la recuperación de las zonas de ronda; para esto es necesario que se afecten en instrumentos públicos del municipio las porciones de los predios inmersos dentro del polígono de ronda del río, aclarando que esta afectación es únicamente frente al uso del suelo en estos predios y no al dominio, para así evitar que se proliferen desarrollos que vayan en contravía con la naturaleza de protección de estos suelos.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

3. Como medida no estructural se propone dar a conocer a la comunidad el resultado de estos estudios y la importancia de las zonas de ronda de ríos, caños y zonas de divagación, además de los peligros que se le asocian cuando se ocupan estos espacios. Por lo anterior, se requiere de jornadas de educación ambiental orientadas tanto por el municipio como por la autoridad ambiental donde se les dé a conocer a las comunidades en primera medida las leyes que contempla la legislación nacional frente a la protección de los recursos naturales y en segunda medida la gran relevancia de evitar el desarrollo en estas zonas y evitar el cambio de los cauces de los ríos.

4. Establecer Sistemas de Alertas Tempranas por inundación en sitios estratégicamente priorizados, los cuales se deberán apoyar en las actividades de monitoreo bien sea instrumental y/o comunitario.

5. Se recomienda que las nuevas construcciones que se proyecten en el área en estudio en las zonas identificadas con amenaza media y alta, presenten estudios completos donde se debe establecer la necesidad de las obras de mitigación y control y se deben presentar sus diseños específicos, adicionalmente la alcaldía por medio de su oficina de planeación deberá verificar la construcción de las obras las cuales deberían hacer parte del plan municipal de gestión del riesgo. Se recomienda desestimar o prohibir la urbanización en terrenos inundables como una de las acciones de planificación más efectivas para evitar pérdida de vidas humanas y daños materiales en bienes.

6. Se recomienda que se prohíba el desarrollo en las zonas de amenaza alta con el fin de evitar afectaciones y pérdidas de vidas humanas como materiales.

### 18.3 AVENIDA TORRENCIAL

#### 18.3.1 Medidas estructurales

De acuerdo a los resultados de los análisis ante la ocurrencia de un evento de Avenida Torrencial para la quebrada el Pueblo y el río Pedernal en un periodo de retorno de 100 años, se presenta 3 puntos críticos, 1 en el río pedernal y 2 sobre la quebrada el Pueblo.

- Quebrada el Pueblo

El **punto crítico 1** se identifica una afectación a los predios ubicados en la zona debido a las alturas de lámina de agua alcanzadas que al costado derecho de la quebrada supera el talud alcanzando alturas de lámina de agua de 0,30 m sobre la cresta del mismo; por lo cual no se requiere medidas de mitigación estructural.

	<b>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</b>
	<b>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</b>

En el **punto crítico 2** se presenta rebose lateral afectando tres predios ubicados esto debido a la reducción en la altura los de taludes marginales en estos puntos y a que se ubican a una distancia menor a dos metros del margen del drenaje.

Dada la problemática ante la afectación de las viviendas por la ocurrencia de una avenida torrencial, se **DEBEN REUBICAR** estas viviendas, dado que no hay espacio topográfico para la implantación de obras y con la cual se garantice la mitigación del riesgo para estas viviendas. A continuación se presenta el presupuesto estimado para la demolición y reubicación de estas viviendas. Y en la Tabla 158 se enlistan los predios a reubicar.

**Tabla 162 Predios No mitigables por Avenida Torrencial**

PREDIO	Área m2	Mitigabilidad
C0887	34.727578	No Mitigable
C1329	137.546255	No Mitigable
C1408	71.690489	No Mitigable

**Fuente: Geocing SAS.**

	<b>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015</b>				
<b>PRESUPUESTO REUBICACIÓN 3 VIVIENDAS- RIESGO NO MITIGABLE</b>					
ÍTEM	DESCRIPCIÓN	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL ÍTEM
<b>1</b>	<b>GENERALIDADES</b>				
1.1	Localización y replanteo con equipo de topografía(amarrado a coordenadas reales IGAC)	m <sup>2</sup>	366	\$ 2,076	\$ 759,684
<b>2</b>	<b>EXCAVACIONES, RETIRO DE MATERIAL</b>				
2.1	Demolición de Estructuras	m <sup>3</sup>	976.00	\$ 130,958	\$ 127,814,608
2.2	Excavación mecánica en material común (incluye cargue)	m <sup>3</sup>	1464.00	\$ 13,177	\$ 19,291,572
2.3	Transporte y disposición final de escombros en sitio autorizado (distancia de transporte 28 km)	m <sup>3</sup>	3660	\$ 19,934	\$ 72,958,440
<b>VALOR OBRAS DE ADECUACIÓN Y DEMOLICIÓN</b>					<b>\$ 220,824,304</b>
<b>AIU 30%</b>					<b>\$ 66,247,291</b>
<b>VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS DE ADECUACIÓN Y DEMOLICIÓN</b>					<b>\$ 287,071,595</b>
<b>3</b>	<b>Compra de Viviendas</b>				
3.1	Viviendas de la zona de estudio	m <sup>2</sup>	244.00	\$ 450,000	\$ 109,800,000
<b>VALOR REPRESENTATIVO ADQUISICIÓN DE VIVIENDAS</b>					<b>\$ 109,800,000</b>
<b>VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO REUBICACIÓN 3 VIVIENDAS- RIESGO NO MITIGABLE</b>					<b>\$ 396,871,595</b>

**Ilustración 324 Presupuesto estimado para la reubicación de 3 viviendas.**

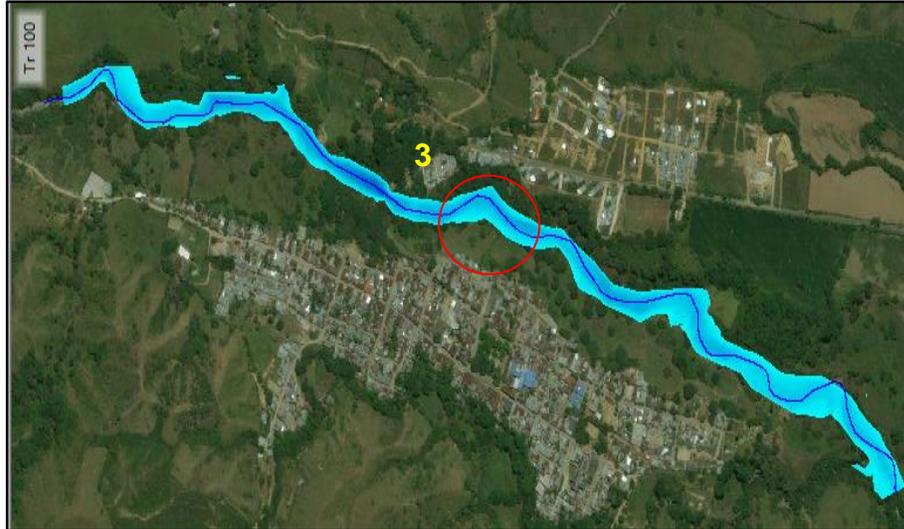
**Fuente: Geocing SAS.**

### • Río Pedernal

**Punto crítico 3**, según la modelación del río Pedernal es el drenaje con mayor caudal en un periodo de retorno de 100 años, estableciendo que únicamente se genera afectación a un puente que comunica al municipio de Teruel con Palermo, por presentar rebose lateral en zonas del río con distancias que no superan los 10

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

m respecto a la ribera del río.



**Ilustración 325. Punto crítico sobre el río Pedernal.  
Fuente: Geocing SAS.**

En razón a lo anterior, a continuación se propone como medida estructural la instalación de *BARRERAS CONTRA FLUJO DE DETRITOS DE ALTA RESISTENCIA*, Este tipo de barreras están diseñadas para retener la gran cantidad de material de detritos, las cuales son las que producen la mayor cantidad de daños a la hora de materializarse una avenida torrencial (Nota: es importante resaltar que la capacidad de este tipo de barreras contra el flujo de detritos varía de acuerdo a las dimensiones de las mismas así como de la morfometría de cada cauce).

Los cables de soporte que soportan son de alta resistencia se sujetan a las paredes del canal mediante anclajes de cable de acero o cabezas de anclaje flexibles que aseguran la transmisión de las tensiones al terreno. Este tipo de estructura es adecuada para cauces de hasta 35 m de ancho y altura de hasta 6 m. Estas tienen la ventaja de proporcionar un ahorro en términos de coste y tiempo de instalación, a comparación de una barrera convencional que requieren grandes movimientos de tierras y labores de hormigonado en zonas de difícil acceso. Las barreras tienen la característica de tener flexibilidad, pues las estructuras de hormigo son susceptibles a daños causados por las sollicitaciones que generan los impactos de bloques rocosos.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

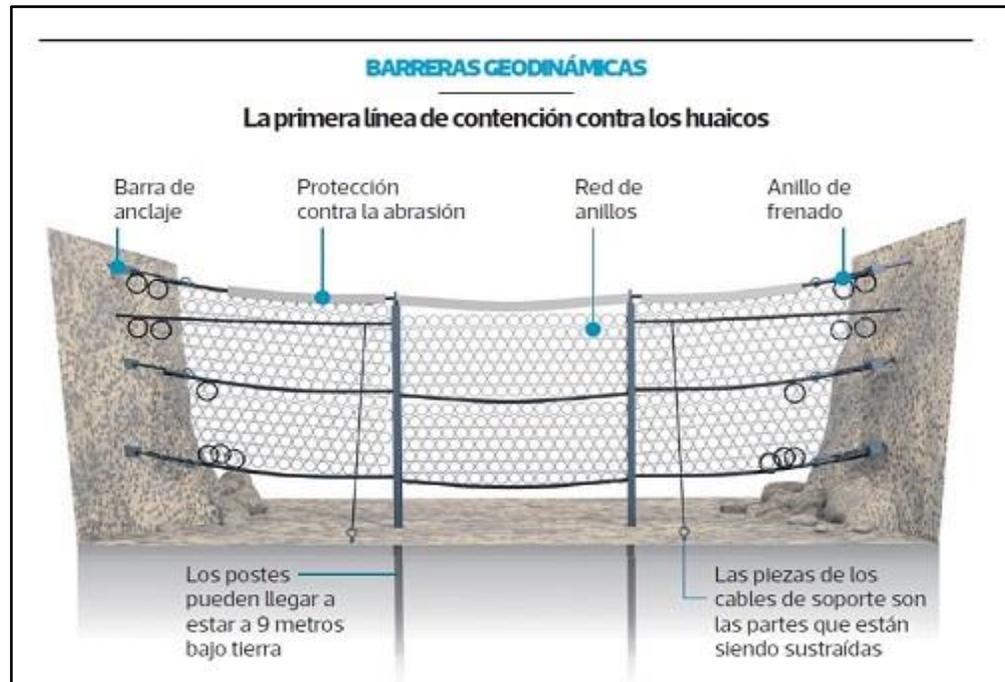


Ilustración 326 Barrera geodinámica.  
Fuente: Perú construye.

- **Barrera dinámica contra caída de roca tipo**

Debe soportar una presión mínima de impacto de 180 kN/m<sup>2</sup>.

- ✓ Capacidad mínima de absorción de energía: 180 kN/m<sup>2</sup> mínimo.
- ✓ Placa de base con postes colocado sobre cimentación de concreto armado en caso de suelo o nivelación de mortero en caso de roca sana (por confirmar).
- ✓ Montaje completo de la barrera dinámica conforme al manual del sistema de parte del fabricante.

- **CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS COMPONENTES DE LA BARRERA DINÁMICA CONTRA FLUJO DE DETRITOS:**

Postes calidad de acero apoyado rígido con placa de base, galvanizado en caliente con espesor de 85 µm.

- Red de anillos:
  - Alambre de acero: diámetro de 3.0 mm, acero de alta resistencia de mínimo 1770 N/mm<sup>2</sup>, con resistencia a tracción de un alambre individual de 12.5 kN.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>

- Protección contra corrosión del alambre: con 95% zinc + 5% aluminio, recubrimiento de 150 g/m<sup>2</sup>.
- Anillos fabricados con vueltas de alambre de 3.00mm, 16 vueltas con un diámetro de 30 cm.
- Cables de soporte superior, intermedio, vertical e inferior:
  - Diámetro 22 mm Criterios de deformación inex, carga mínima de rotura de 400.6 kN, construcción tipo 6x31S - WSC, acero de alta resistencia de mínimo 1770 N/mm<sup>2</sup>.
  - Protección contra corrosión del alambre: con 95% zinc + 5% aluminio, recubrimiento de 150 g/m<sup>2</sup>, teniendo en cuenta, que otro factor es una alta densidad poblacional, lo cual al presentarse algún evento torrencial provocaría una alta afectación en costos materiales y pérdidas humanas, por lo cual además de restringir las áreas de futuras construcciones urbanas e industrial, fuera del área de posible afectación en caso de la generación de una avenida torrencial, se deben identificar estas zonas en el plan de Ordenamiento Territorial para evitar urbanizar en las mismas.

En este sector, donde actualmente se encuentra una estructura que da paso sobre el río Pedernal se genera un represamiento del cauce provocando el aumento de la lámina de agua sobre el Tablero de la súper estructura 3.1 m, razón por la cual se recomienda la instalación de una barrera dinámica con el fin de disminuir la altura de la lámina de agua y la velocidad del cauce (Ver Ilustración 327).



**Ilustración 327. Malla geodinámica**  
Fuente: VIELCA SAS.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL</p>

En la Tabla 163 se presenta el valor presupuesto para la obra propuesta.

**Tabla 163. Presupuestos de Barrera Dinámica Flujo de detritos**

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>				
<b>PRESUPUESTO DE OBRA MALLA TECCO</b>					
<b>ÍTEM</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>UNIDAD</b>	<b>CANTIDAD</b>	<b>VALOR UNITARIO</b>	<b>VALOR TOTAL ÍTEM</b>
<b>1</b>	<b>GENERALIDADES</b>				
1.1	Localización y replanteo con equipo de topografía(amarrado a coordenadas reales IGAC)	m <sup>2</sup>	1084	\$ 2,076	\$ 2,249,9
1.2	Aislamiento y protección de la zona a intervenir H= 2,0 m en repisa y lona verde	ml	348	\$ 10,300	\$ 3,584,4
<b>2</b>	<b>EXCAVACIÓN</b>				
2.1	Excavación en material seleccionado	m3	1150	\$ 13,857	\$ 15,935,9
2.2	Transporte y disposición final de escombros en sitio autorizado (distancia de transporte 20 km)	m3	1400	\$ 19,934	\$ 27,907,6
<b>3</b>	<b>OBRAS DE MITIGACIÓN</b>				
3.1	Malla tipo TECCO 65x2	m2	4950	\$ 253,491	\$ 1,254,779,7
3.2	Perno de anclaje Barra GW PLUS 28mm, incluye perforación e inyección L=4 ,	ml	1400	\$ 232,723	\$ 325,812,7
3.3	Canal en manto de Hormigón e:8mm	ml	305	\$ 186,731	\$ 56,952,8
<b>VALOR REPRESENTATIVO PRESUPUESTO DE OBRA MALLA TECCO</b>					<b>\$ 1,687,223,3</b>
<b>AIU 30%</b>					<b>\$ 506,167,0</b>
<b>VALOR REPRESENTATIVO TOTAL OBRAS</b>					<b>\$ 2,193,390,3</b>

Fuente: Geocing SAS.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

## 19. CONCLUSIONES

### 19.1 AMENAZA

- Amenaza por movimientos en masa

Las zonas de amenaza alta se concentran al oriente en el límite del casco urbano donde se presentan zonas con movimientos superficiales de tipo reptación, con relieve montañoso y pendientes mayores a 45°, además de la presencia de espesores considerables de suelo residual del batolito de Ibagué, los cuales debido a la acción de los factores erosivos son altamente susceptibles a generar procesos de inestabilidad. Adicionalmente, las pendientes de los taludes son altas, situación que potencia el efecto de los principales factores detonantes de los movimientos en masa, como son las lluvias y las fuerzas sísmicas.

Las márgenes de taludes adyacentes del río Pedernal son susceptible a socavación lateral producto del poder erosivo de las corrientes, profundizando los cauces (erosión de fondo) e inestabilizando los taludes aledaños. En épocas de lluvias, el proceso de socavación aumenta por el aumento del caudal de los ríos y aumentando la cantidad de material transportado.

Así mismo, el mapa muestra que las laderas adyacentes a la quebrada El Pueblo tiene una probabilidad de falla alta, especialmente en épocas de invierno cuando la lluvia genera la saturación del suelo y la consecuente reducción de los esfuerzos efectivos y la resistencia al corte del terreno afectan la estabilidad de los taludes de los cauces.

Por otro lado, los taludes dentro de la zona de estudio presentan procesos de inestabilidad superficial, reptación, debido a los cortes que se realizaron con el fin de conformar la infraestructura vial de la zona. Además de esto, también existe una susceptibilidad en los taludes de corte sobre la terraza aluvial subreciente, los cuales presentan laderas muy escarpadas debido a los procesos de erosión, ya que la matriz se pierde y quedan expuestos los bloques a la acción de la gravedad.

Adicionalmente en el la margen derecha de la quebrada El Pueblo, en el extremo suroccidental del casco urbano: los movimientos en masa de tipo rotacional se deben a que es una zona de falla, donde las rocas están fuertemente fracturadas. En el casco urbano algunas viviendas ubicadas en escarpe de la terraza pedernal localizadas en el barrio las Brisas se han visto afectadas por un movimiento en masa complejo que se presenta en el sector y Sobre la margen derecha del río Pedernal, en la calle 6 con carrera 2 se presentan procesos morfodinámicos representados por erosión concentrada (surcos y cárcavas).

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>

Las zonas de amenaza media (áreas amarillas) indican los lugares en los cuales, en caso de generación de un evento de inestabilidad el material movilizado afectaría estas zonas, ubicadas en el pendientes medias- menos de 30° donde el terreno se caracteriza por tener pendientes medias, estas definen sectores compuestos por suelos transportados subreciente, donde es posible la ocurrencia de movimientos en masa, cuando se presentan precipitaciones que elevan los niveles freáticos y en condiciones sísmicas.

En conclusión, las zonas más críticas son las adyacentes a los márgenes de la quebrada El Pueblo y el Río Pedernal, ya que por la topografía abrupta genera grandes escarpes y puntos de socavación expuestos a la intemperie, igual que a la afectación de los procesos erosivos haciendo estos puntos susceptibles a generar movimientos en masa.

- Amenaza por inundación

El municipio de Teruel presenta un régimen pluviométrico de tipo bimodal; típico de la región de estudio, por lo que se presentan dos temporadas lluviosas denominadas de invierno a lo largo del año, la primera comprendida entre los meses de marzo a junio y la segunda de mediados de septiembre a finales de noviembre, originadas por el paso de la ZCIT (Zona de convergencia intertropical) sobre la región Andina colombiana, con el movimiento es de sur a norte de la ZCIT para el primer período húmedo y el desplazamiento descendente de norte a sur para el segundo período; destacando que las temporadas lluviosas están asociadas con las temporadas de caudales altos, intercaladas con períodos secos o de bajas precipitaciones donde normalmente se presentan caudales bajos o de estiaje.

Se puede concluir que para el río pedernal y las quebradas el Pueblo y las Moyas no presentan gran afectación en ningún periodo de retorno de estudio, únicamente en la quebrada el Pueblo tiene ocurrencia de socavación, lo cual es importante tener en cuenta en las medidas de mitigación. La topografía de la zona de estudio se caracteriza por presentar altas elevaciones y encauzamiento del río y de las quebradas presentes en dicha zona de estudio. El flujo del agua transita con velocidades altas por las pendientes que se presentan en los tramos de estudio, teniendo afectaciones de socavación en la mayoría de las curvas de los cauces.

Por lo anteriormente expuesto, se recomienda al municipio de Teruel y la Corporación Autónoma Regional, utilizar los resultados obtenidos de la zonificación de amenaza de inundación por desbordamientos del río Suaza y sus afluentes como lo son la quebrada el Pueblo y las Moyas y el río Pedernal , como instrumento de planeación, para aquellas zonas que presenten afectación y/o

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b>

amenaza de inundación, a fin de minimizar los riesgos, a los cuales puedan estar expuestos la comunidad e infraestructuras de desarrollo y producción.

Finalmente, se resalta, que es posible que se presenten externalidades que no hayan sido contemplados en la presente consultoría, dado que se escapan del alcance del presente estudio, como lo son la estabilidad y continuidad de las márgenes existentes, que conforman las bancas de la red de drenaje rural del municipio de Teruel, las cuales no se consideraron en el presente análisis, puesto que se escapan del alcance del presente análisis.

- Amenaza por avenida torrencial

En el municipio de Teruel se identificó que la quebrada el Pueblo y el río Pedernal se encuentra bajo la amenaza de avenida Torrencial. Es de resaltar que, la lámina de agua en el río pedernal alcanzan una altura de 5 m y sus velocidades alcanzan a 4 m/s y para la quebrada el Pueblo alcanzan 1.6 m y velocidades de 3.2 m/s por lo tanto son de interés para dicho estudio.

Como se observó en el capítulo 14.2.6 se evidencia que se tiene afectación de unas casas ubicadas a menos de 20 m de distancia de la quebrada el Pueblo, por lo que para un evento de avenida torrencial, se ven afectas por lo cual se indica que es importante realizar las medidas de mitigación expuestas en este documento.

La evaluación del riesgo indica que las zonas donde se presenta riesgo alto por avenida torrencial requieren de atención prioritaria, debido a que gran cantidad de sus elementos expuestos se encuentran en riesgo alto, por esta razón, es necesario la disminución de la amenaza, la cual se puede llevar a cabo mediante medidas estructurales expuestas en este documento.

## 19.2 VULNERABILIDAD

- Vulnerabilidad por movimientos en masa

El municipio de Teruel se categoriza con vulnerabilidad media con un valor de 0,59, esto debido a que como se presenta en el capítulo 15.4.1, el 77,3% de los predios presentan vulnerabilidad total media y el 54,7% de la infraestructura vial se encuentran en vulnerabilidad total media, esto debido a que el grueso de la población presenta una vulnerabilidad social y física media debido a las condiciones socioeconómicas de la comunidad, y el sistema estructura y longevidad de las construcciones; las vías presentan esta categorización debido al tipo, ya que predominan las vías terciarias y de carril sencillo (Ver Tabla 164).

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

**Tabla 164. Valor de la vulnerabilidad total por movimientos en masa para el municipio de Teruel.**

Zona de Estudio	IVT <sub>Z</sub>	Categoría Riesgo
Municipio de Teruel	0,59	Media

Fuente: Geocing SAS.

- Vulnerabilidad por inundación

A partir de los resultados correspondientes a la vulnerabilidad total de los elementos expuestos (Predios, puentes y vías) presentados en el capítulo 15.4.3, se obtuvo la vulnerabilidad total correspondiente a todo el municipio de Teruel, la cual indica que este se encuentra valorizado con vulnerabilidad baja, tal como se presentan en la Tabla 165, esto debido a que el 98,4% de los predios se encuentran en vulnerabilidad baja y el 49,4% de las vías se encuentran en vulnerabilidad media.

**Tabla 165. Valor de la vulnerabilidad total por inundación para el municipio de Teruel.**

Zona de Estudio	IVT <sub>Z</sub>	Categoría Riesgo
Municipio de Teruel	0,18	Baja

Fuente: Geocing SAS.

- Vulnerabilidad por avenida torrencial

Como se logra identificar en la Tabla 167 el municipio de Teruel se categoriza con vulnerabilidad baja con un valor de 0,19, esto debido a que como se presenta en el capítulo 15.4.4, los elementos expuestos (vías, predios y puentes) se encuentran categorizados principalmente en la categoría de vulnerabilidad total baja; esto debido a la vulnerabilidad física donde el 99% de los predios se categorizaron con vulnerabilidad baja, por la ubicación de los mismos respecto a la quebrada El pueblo y el río Pedernal, y el 66,3% de las vías se encuentran en vulnerabilidad media.

**Tabla 166. Valor de la vulnerabilidad total por avenida torrencial para el municipio de Teruel.**

Zona de Estudio	IVT <sub>Z</sub>	Categoría Vulnerabilidad
Municipio de Teruel	0,19	Baja

Fuente: Geocing SAS.

### 19.3 RIESGO

- Riesgo por movimientos en masa

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

El municipio de Teruel se encuentra categorizado con riesgo medio por movimientos en masa tal como se presenta en la Tabla 167 y el capítulo 16.5.2, con un índice de 0,13, debido a que los resultados de vulnerabilidad total y amenaza del municipio también se encuentran en categoría media.

**Tabla 167. Valor del riesgo por movimientos en masa para el municipio de Teruel.**

Zona de Estudio	IR	Categoría Riesgo
Municipio de Teruel	0,13	Medio

Fuente: Geocing SAS.

En la Tabla 168 y Tabla 169, se presenta la categorización correspondiente a predios y vías categorizados por riesgo ante movimientos en masa en el municipio de Teruel, identificando que existe un riesgo económico total de \$ 33.760´034.317, de los cuales \$33.116´190.131 corresponden a las pérdidas de predios y \$643´844.186 de vías. De los 1.536 predios ubicados en el municipio, todos presentan riesgo por movimientos en masa; la mayor proporción presenta riesgo bajo, esto debido a que la zona de mayor afectación en caso de un movimiento en masa es al occidente de la quebrada El Pueblo donde se ubican menos construcciones. La malla vial de Teruel corresponde a 12,2 Km de los cuales el 11,04 Km se encuentran identificados en riesgo bajo, seguido de 1,04 Km se encuentran en riesgo medio y finalmente 0,12 Km se encuentran en riesgo alto.

**Tabla 168. Categoría de riesgo por movimientos en masa de las construcciones y sus pérdidas esperadas.**

Zona	Riesgo económico directo total	Riesgo construcciones (N°)		
		Bajo	Medio	Alto
Municipio de Teruel	\$ 33.116´190.131	1.227	150	159

Fuente: Geocing SAS.

**Tabla 169. Categoría de riesgo por movimientos en masa y sus pérdidas esperadas.**

Zona	Riesgo económico directo total	Riesgo vías (m)		
		Bajo	Medio	Alto
Municipio de Teruel	\$643´844.186	11.043,09	1.038,37	117,61

Fuente: Geocing SAS.

A pesar que el municipio no presenta un riesgo algo, es necesario evaluar de manera detallada la situación correspondiente para los 159 predios y los 0,12 Km que se encuentran categorizados con riesgo alto ante movimientos en masa, para desarrollar acciones prioritarias que reduzcan su correspondiente impacto y riesgo económico directo (\$18.561´162.226).

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

- Riesgo por inundación

El municipio de Teruel se encuentra categorizado con riesgo bajo por inundación tal como se presenta en la Tabla 170 y el capítulo 16.5.2, con un índice de 0,01, debido a que los resultados de vulnerabilidad total y amenaza del municipio también se encuentran en categoría baja.

**Tabla 170. Valor del riesgo por Inundación para el municipio de Teruel.**

Zona de Estudio	IR	Categoría Riesgo
Municipio de Teruel	0,01	Baja

Fuente: Geocing SAS.

En las Tabla 170 y Tabla 172, se presenta la categorización correspondiente a predios y vías categorizados por riesgo ante inundación en el municipio de Teruel, identificando que existe un riesgo económico total de \$ 2.852.725.227, de los cuales \$ 2.681.356.820 corresponden a las pérdidas de predios y \$ 171.368.406 de vías. De los 1.536 predios ubicados en el municipio, 1.518 predios se encuentran categorizados con riesgo bajo, 14 predios con riesgo alto es importante resaltar que los predios representan el 20,9% del total de las pérdidas esperadas de consolidarse el riesgo. Adicionalmente del total de la infraestructura vial identificada en el municipio de Teruel la cual corresponde al 12,2 Km, el 99,5% se encuentra en riesgo bajo (12,14 Km), el 0,3% riesgo alto (0,04 Km) y el 0,14% de la malla vial se identificó en riesgo medio (0,02 Km).

**Tabla 171. Categoría de riesgo por Inundación de las construcciones y sus pérdidas esperadas.**

Zona	Riesgo económico directo total	Riesgo construcciones (N°)		
		Bajo	Medio	Alto
Municipio de Teruel	\$ 2.681.356.820	1.518	4	14

Fuente: Geocing SAS.

**Tabla 172. Categoría de riesgo por Inundación de las vías y sus pérdidas esperadas.**

Zona	Riesgo económico directo total	Riesgo vías (m)		
		Bajo	Medio	Alto
Municipio de Teruel	\$ 169.175.707	12.141	17,25	41,18

Fuente: Geocing SAS.

Es importante resaltar que aunque el municipio se encuentra categorizado con riesgo bajo y no se requieren implementar medidas de manera inmediata, es necesario evaluar de manera puntual los 14 predios y los 0,04 Km de infraestructura vial que están categorizados con riesgo alto, para evitar las pérdidas asociadas a estos que corresponden a \$ 603.178.354.

- Riesgo por avenida torrencial

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

Como se logra identificar en la Tabla 173 y el capítulo 16.5.3, el municipio de Teruel presento una categorización de riesgo bajo por avenidas torrenciales con un valor de 0,01, esto debido a los resultados de amenaza y vulnerabilidad para el mismo con valores de 0,06 y 0,19 respectivamente.

**Tabla 173. Valor del riesgo por avenida torrencial para el municipio de Teruel.**

Zona de Estudio	IR	Categoría Riesgo
Municipio de Teruel	0,01	Baja

Fuente: Geocing SAS.

Según los resultados presentados en la Tabla 174 y Tabla 175, se identifican el número de predios y los tramos viales para las correspondientes categorías de riesgo para avenidas torrenciales en el municipio de Teruel y el riesgo económico asociado a este evento; estableciendo que se presenta un riesgo económico total de \$ 2.820'420.902, de los cuales el 91% (\$2.558'331.785) está asociado a las perdidas correspondiente a los 1.536 predios ubicados en el municipio de Teruel, de los cuales 1.525 predios se ubican en riesgo bajo, debido a la ubicación de la amenaza, la cual es mayor al margen de la quebrada El Pueblo y el río Pedernal donde la presencia de construcciones es menor, situación que se repite con las vías donde el mayor tramo esta categorizado con riesgo bajo con 12 Km.

**Tabla 174. Categoría de riesgo por avenida torrencial de las construcciones y sus pérdidas esperadas.**

Zona	Riesgo económico directo total	Riesgo construcciones (N°)		
		Bajo	Medio	Alto
Municipio de Teruel	\$2.129'860.378	1.525	0	11

Fuente: Geocing SAS.

**Tabla 175. Categoría de riesgo por avenida torrencial de las vías y sus pérdidas esperadas.**

Zona	Riesgo económico directo total	Riesgo vías (m)		
		Bajo	Medio	Alto
Municipio de Teruel	\$ 260'835.622	12.039	108,65	51,42

Fuente: Geocing SAS.

A pesar que el municipio no se encuentra categorizado con riesgo alto se hace necesario evaluar de manera puntual los elementos expuestos que presentan riesgo alto con el fin de contemplar medidas para evitar las pérdidas asociadas a estos que corresponden a \$491'991.995, los cuales corresponden a 11 predios y un tramo de 0,05 Km viales.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

## 20 BIBLIOGRAFÍA

- E.A.A.B - Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá. (2009). *Diseño de Alcantarillado. (NS -085)*. Bogotá.
- Hydrologic Engineering Center. (2002). *HEC-RAS River Analysis System. Hydraulic Reference Manual*. Davis, California: US Army Corps of Engineers.
- Abramson, L., Lee, T., Sharma, S., & Boyce, G. (2002). *Slope stability and stabilization methods*. Nueva York: John Wiley and Sons.
- Agencia Catalana del Agua. (2003). *Recomendaciones Técnicas para los Estudios de Inundabilidad Locales*. Cataluña.
- AIS. (2010). *Reglamento Colombiano de construcción sismo resistente NSR-10. Segunda Actualización*. Bogotá: Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial, Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
- Alcaldía Fusagasugá. (2013). *Diagnóstico Municipio de Fusagasuga*. . Recuperado el 06 de 2017, de Generalidades: <http://www.fusagasuga-cundinamarca.gov.co/publicaciones.php?id=37594>
- Andes, U. d., Refugiados, A. C., & Social, A. (2008). *Protegiendo la Población desplazada colombiana: El papel de las Autoridades Locales*. Bogotá, Colombia: El proyecto Brookings-Berna sobre el Desplazamiento Interno.
- Aparicio, J. (2003). *Lluvias e inundaciones*. Obtenido de <http://www.iaem.es/GuiasRiesgos/Lluviaseinundaciones.pdf>
- Ayala, C. (2009). *Metodología para determinar riesgos por inundación debida al desbordamiento de un cauce aluvial*. Santiago de Cali: Universidad del Valle.
- Baecher, G., & Chirstian, J. (2003). *Reliability and Statistics in Geotechnical Engineering*. Londres: John Wiley and Sons.
- Baeza, C. (1994). *Evaluación de las condiciones de rotura y la movilidad de los deslizamientos superficiales mediante el uso de técnicas de análisis multivariante. Tesis Doctoral*. Departamento de Ingeniería del Terreno y Cartografía ETSECCPB-UPC.
- Bansal, A. (2011). Trapezoidal Fuzzy Numbers (a,b,c,d): Arithmetic Behavior. *International Journal of Physical and Mathematical Sciences*, 39-44.
- Bravo Mendoza, Ó., & Sánchez Celis, M. (2012). *Gestión Integral de Riesgos. Cuarta Edición*. Bogotá, D. C.: Bravo y Sánchez, EU.
- Caballero, H., & Mejía, I. (1988). Algunos comentarios acerca del evento torrencial de la quebrada Ayurá (Envigado) del 14-04-1988 y sus implicaciones en la evaluación de la amenaza al municipio. *Memorias 2da Conferencia sobre riesgos geológicos en el Valle de Aburrá*. Medellín.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

- Cardona, O. (1993). Manejo Ambiental y Prevención de Desastres: dos temas asociados. *Anexos, Los desastres no son naturales, La Red*, 75-93.
- Carlsson, C., & Fuller, R. (1997). OWA operators for decisions support. *Proceedings of the Fifth European Congress on Intelligent Techniques and Soft Computing (EUFIT '97)* (págs. 1539-1544). Aachen: 1539-1544.
- Carvajal, H., & INGEOMINAS. (2011). *Propuesta de estandarización de la cartografía Geomorfológica en Colombia*.
- Carvajal, H., Cortes del Valle, R., Romero, F., & Montero, J. (2004). *Proyecto Compilación y Levantamiento de la Información Geomecánica. Propuesta Metodológica para el Desarrollo de la Cartografía Geomorfológica para la zonificación geomecánica*.
- Castro, J. A. (2007). Deslizamientos y Avenidas Torrenciales. *Cosmos*, Año 10, No. 41, p. 3.
- CDMB-Corporación Autónoma Regional Para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga. (2009). *Normas técnicas para el contrl de erosión y para la realización de estudios geológicos, geotécnicos e hidrológicos. Resolución 001294*. Bucaramanga.
- Cerda, J., & Villarroel, L. (2008.). Evaluación de la concordancia inter-observador en investigación pediátrica: Coeficiente de Kappa. *Revista Chil Pediatr. Universidad Católica de Chile.*, Vol. 79. Num. 1. p. 54-58.
- Chardon, A.-C., & González, J. L. (2002). *Amenaza, Vulnerabilidad, Riesgo, Desastre, Mitigación, Prevención: Primer acercamiento a conceptos, características y metodologías de análisis y evaluación*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.
- Chow, V. T. (1959). *Open - Channel Hydraulics*. Tokyo: McGraw - Hill; Kogakusha.
- Chow, V. T. (1984). *Handbook of Applied Hydrology*. McGraw Hill Book Company.
- Chow, V. T., Maidment, D. R., & W, M. L. (1988). *Hidrología Aplicada*. Bogotá DC: McGraw-Hill.
- Chow, V. T., R, M. D., & Mays, L. W. (1988). *Applied Hydrology*. New York, USA: Mc Graw-Hill International Editions, Civil Engineering Series.
- Cifuentes, D. (2011). Modelación de vulnerabilidad física de estructuras de uno o dos pisos, asociada a deslizamientos. *Tesis de Doctorado, Universidad Nacional de Colombia*.
- Cifuentes, D. (2011). *Modelación de vulnerabilidad física de estructuras de uno y dos pisos, asociada a deslizamientos. Tesis de Maestría* . Bogotá DC: Universidad Nacional de Colombia.
- Cionchi, J. L. (1984). Análisis cuantitativo de pendientes en la cuenca superior del arroyo chocori, provincia de buenos aires. *Asociación Geológica Argentina*, XXXIX (1-2) 28-37.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

CONAE Y OES/DSS. (s.f.). *Inundaciones: ¿Ques es susceptibilidad?*

Congreso de Colombia. (24 de Abril de 2012). Ley No. 1523 . *Diario oficial de la República de Colombia* 48411.

CONURBA Consultoría y Gestión Urbana y Ambiental. (s.f.). *Susceptibilidad de inundaciones y deslizamiento de taludes*. Recuperado el Julio de 2016, de CONURBA Consultoría y Gestión Urbana y Ambiental: <http://conurbamx.com/home/susceptibilidad-de-inundaciones-y-deslizamiento-de-taludes/>

Cousot, P. (1996). *Rheology of Debris Flows - Study of Concentrated Dispersions and Suspensions*. Tesis doctoral. Grenobl: INPG.

Cousot, P., & Meunier, M. (1996). Recognition, classification and mechanical description of debris FLOWS. *Earth-Science Reviews* 40, 209-227 .

Cruden, D. M., & Varnes, D. J. (1996). *Landslides Types and Processes*. National Research Council.

CVC y Univalle. (2010). *Proyecto Midas - Zonificación de amenazas y escenarios de riesgo por movimientos en masa, inundaciones y crecientes torrenciales, del área urbana y de expansión de los municipios de Buga, Riofrío, Dagua, el Cairo y la Unión*. Santiago de Cali: Universidad del Valle.

Dane. (2005). *Censo General del Dane*. Obtenido de [http://www.dane.gov.co/censo/files/discapacidad/marco\\_teorico.pdf](http://www.dane.gov.co/censo/files/discapacidad/marco_teorico.pdf)

DANE. (02 de 03 de 2016). *Archivo Nacional de Datos*. Obtenido de Colombia - Índice de Pobreza Multidimensional - IPM- 2015: [http://formularios.dane.gov.co/Anda\\_4\\_1/index.php/catalog/392](http://formularios.dane.gov.co/Anda_4_1/index.php/catalog/392)

Deeb, A., & Diaz-Granados, M. (1988). Balance hídrico en la cuenca media del río Magdalena, modelación de la interacción río, acuífero, suelo, vegetación y atmósfera. *XIII Congreso Latinoamericano de Hidráulica*; . La Habana.

Duque Escobar, G. (2003). *Manual de Geología para Ingenieros - Geomorfología*. Manizales: Universidad Nacional de Colombia.

Durán, J., Elízaga, E., Garzón, G., Lamas, J., Lendínez, A., & Prieto, C. (1985). *Geología y prevención de daños por inundaciones*. Instituto Geológico Minero de España.

Engineers, U. A. (1990). *HEC-HMS, Flood Hydrograph Package, User's Manual*. Hydrologic Engineering Center Generalized Computer Program. CPD-1A, VErision: 4.0, Copyright 1992.

Engineers, U. A. (s.f.). *HEC - RAS for Windows River Analysis System, Hydraulic Reference Manual*. Hydrologic Engineering Center, Generalized Computer Program.

Environmental Systems Research Institute, Inc. (2016). *ArcGIS for Desktop*. Recuperado el 25 de 05 de 2016, de ArcMap:

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

<http://desktop.arcgis.com/es/arcmap/10.3/tools/spatial-analyst-toolbox/how-slope-works.htm>

- Escuder-Bueno, I., Castillo-Rodriguez, J., Zechner, S., Jöbstl, C., Perales-Momparler, S., & Petaccia, G. (2012). A quantitative flood risk analysis methodology for urban areas with integration of social research data. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12, 2843–2863.
- Esri. (2013). *Arcgis Help*. Obtenido de <http://help.arcgis.com/En/Arcgisdesktop>
- Feria Domínguez, J. M. (s.f.). *El riesgo de mercado: su medición y control*. Sevilla, España: Delta Publicaciones.
- Firth, D. (1993). Bias Reduction of Maximum Likelihood. *Biometrika*, Vol 1 No. 1 pp. 27 - 38.
- Flórez, A., & Suavita, M. (1997). Génesis y manifestación de las inundaciones en Colombia. *Cuadernos de Geografía*, Vol. VI, No. 1-2. p. 60-110.
- Fondo de Adaptación. (2014). *Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los Planes de Ordenamiento y Manejo de Cuencas Hidrográficas*.
- Gharari, S., Hrachowitz, M., Fenicia, F., & Savenije, H. (2011). Hydrological landscape classification: investigating the performance of HAND based landscape classifications in a central European meso-scale catchment. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 15, 3275-3291.
- Gharari, S., Hrachowitz, M., Fenicia, F., & Savenije, H. (2011). *Hydrological landscape classification: investigating the performance of HAND based landscape classifications in a central European meso-scale catchment*.
- González de Vallejo, L. I., Ferrer, M., Ortuño, L., & Oteo, C. (2002). *Ingeniería Geológica*. Madrid: PEARSON EDUCACIÓN.
- González G., A. J. (1990). *Conceptos sobre la Evaluación de Riesgo por Deslizamientos. VI Jornadas Geotécnicas*. Bogotá, Colombia: Sociedad Colombiana de Ingenieros.
- Gracia, A., Godé, L., Crego, E. A., Guirado, V., García, G., Lobera, C., & Martínez, E. (2014). Riesgos y Cuantificación de Daños por inundación.
- Gravelius, H. (1985). *Developments in Water Science*. Amsterdam: Elsevier B.V.
- Griffiths, D., & Fenton, G. A. (2004). Probabilistic slope stability analysis by finite elements. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 130(5), 507-518.
- Guzzetti, F. (2005). *Landslide Hazard and Risk Assessment. Erlangung Des Doktorgrads*. Perugia, Italy: Rheinischen Friedrich-Wilhelms-Universität Bonn.
- Hang Chok, Y. (2008). *Modelling the effects of soil variability and vegetation on the stability of natural slopes*. Doctoral Thesis. The University of Adelaide. School of Civil, Environmental and Mining Engineering.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

- Heinze, G. (2014). *Firth's bias reduced logistic regression*. Obtenido de <http://cran.r-project.org/web/packages/logistf/logistf.pdf>
- Hidalgo, J. N. (2015). *Festival de Musica en Colombia*.
- Hjelmfelt, J. A., & Cassidy, J. J. (1976). *Hydrology for Engineers and Planners*. Ames, Iowa: Iowa State University Press.
- Horton, P., Jaboyedoff, M., Rudaz, B., & Zimmermann, M. (2013). Flow-R, a model for susceptibility mapping of debris flows and other gravitational hazards at a regional scale. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 13, 869-885.
- Horton, R. E. (1945). Erosional development of streams and their drainage basins: Hydrophysical approach to. *Geol. Soc. Am. Bull.*, 275-370.
- Hungr, O., Evans, S. G., Bovis, M. J., & Hutchinson, J. N. (2001). A review of the classification of landslides of the flow type. *Environmental & Engineering Geoscience Vol VII No 3*, 221-238.
- Hydrology and Earth System Sciences. (2011). *Hydrological landscape classification: investigating the performance of HAND based landscape classifications in a central European meso-scale catchment*.
- IDEAM - Universidad Nacional de Colombia. (2011). *Zonificación de amenazas por inundación en las cuencas del Bajo Magdalena - Cauca - San Jorge, Sinú y Atrato: Propuesta metodológica y aplicación*. Medellín .
- IDEAM. (1997). *Las coberturas vegetales, uso y ocupación del espacio de Colombia. Escala 1:500.000*.
- IDEAM. (2010). *Leyenda Nacional de Cobertura de la Tierra-Metodología Corine Land Cover Adaptada para Colombia Escala 1:100.000*.
- IDEAM. (2010). *Leyenda Nacional de Coberturas de la Tierra. Metodología CORINE Land Cover adaptada para Colombia. Escala 1:100.000*. Bogotá, D.C.
- IDEAM. (2011). *Protocolo para la Realización de Mapas de Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal Escala 1:100.000*. Bogotá, D.C.
- IDEAM. (2012). *Metodología para la zonificación de susceptibilidad general del terreno a los movimientos en masa*.
- IDEAM. (2013). *Lineamientos Conceptuales y Metodológicos para la Evaluación Regional del Agua-ERA*.
- IDEAM. (2014). *Amenazas Inundación*. Recuperado el 19 de 10 de 2016, de <http://www.ideam.gov.co/web/agua/amenazas-inundacion>
- IDEAM. (2015). Suelos afectados por el mal uso, empiezan a sufrir las consecuencias de la “ola de calor” en Colombia. *Servicio de noticias del Instituto Geográfico Agustín Codazzi*.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

- IDEAM. (06 de 01 de 2016). *Incendios de la Cobertura Vegetal*. Obtenido de Sitio Web del IDEAM: <http://www.ideam.gov.co/web/ecosistemas/incendios-cobertura-vegetal>
- IDEAM Y MINAMBIENTE . (2014). *Estudio Nacional de Agua 2014*.
- IDEAM, & CAR. (2014b). *Memoría Técnica. Mapa Zonificación de Riesgos a Incendios de la Cobertura Vegetal - Escala 1:100.000*. Bogotá D.C: Publicación aprobada por el Comité de Comunicaciones y Publicaciones del IDEAM.
- IDEAM, & IAVH. (2014). *Metodología para la Interpretación de la Capa de Coberturas de la Tierra Escala 1:25000 de 1.400.000 ha de Páramos Priorizados. Versión 2*.
- IDEAM, & UNAL. (2013). *Zonificación de amenazas por inundación en las cuencas del Bajo Magdalena - Cauca - San Jorge, Sinú y Atrato: Propuesta metodológica y aplicación*.
- IDEAM, PNUD, MADS, DNP, & CANCELLERÍA. (2015). *Nuevos Escenarios de Cambio Climático para Colombia 2011-2100 Herramientas Científicas para la Toma de Decisiones - Enfoque Nacional - Departamental: Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático*. Bogotá, Colombia.
- IMA. (2015). *Ingeniería y Medio Ambiente. Metodología para el análisis de fenómenos de remoción en masa*. Bogotá.
- INVIAS. (2009). *Manual de Drenaje para Carreteras*. Instituto Nacional de Vías. Bogotá D. C.: Ministerio de Transporte, Subdirección de Apoyo Técnico.
- Jimeno, C. L., Fariñas de Alba, J. L., Gómez Prieto, R., Mataix González, C., Garcia Bermudez, P., Llopis Trillo, G., & Serrano Pedraza, P. (1999). *Manual de Estabilización y Revegetación de Taludes*. Madrid: Entorno Grafico, S.S.
- Jones, F., Embody, D., & Peterson, W. (1961). Landslides along the Columbia river valley, Northeastern Washington. . *U.S. Geol. Surv. Prof. Paper*, 367, 98.
- Jun, K.-S., Chung, E.-S., Kim, Y.-G., & Kim, Y. (2013). A fuzzy multi-criteria approach to flood risk vulnerability in South Korea by considering climate changes impacts. *Expert Systems with Application*, 40,1003-1013.
- Kelman, I., & Spence, R. (2004). An overview of flood actions on buildings. *Engineering Geology*, (73) 297-309.
- Kim, E. S., & Choi, H. I. (2011). Assessment of Vulnerability to extreme flash floods in Desgin Storms. *Int. J. Environ. Res. Public Health*, 8, 2907-2922.
- Kok, M., Huizinga, H., Vrouwenvelder, A., & Barendregt, A. (2005). *Standaardmethode2004—Schade en Slachtoffers als gevolg van overstromingen. . DWW-2005-005. RWS Dienst Weg- en Waterbouwkunde*.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

- Lee Hua, J., Mak Chee, M., & Chin Wen, C. (2006). Web Based Fuzzy Multicriteria Decision Making Tool. *International Journal of The Computer, the Internet and Managment*, 14 (2) 1-14.
- Lee, H.-J., Mak Chee, M., & Chin Wen, C. (2006). Web Based Fuzzy Multicriteria Decision Making Tool. *International Journal of The Computer, the Internet and Managment*, 14 (2) 1-14.
- Lee, T. Y., Lee, S. Y., & Lee, H. M. (2001). A note on "Evaluating the rate of Aggregative risk in software development using fuzzy set theory. *In Sixth Asia-Pacific Decision Sciences (APDSI) Conf.*
- Leone. (1996). *Concept de Vulnerabilite applique a l'evaluation des risques generes par les phenomenes de mouvements de terrain*. Grenoble: These pour obtenir le titre de Docteur de L'Universite Joseph Fourier.
- Malczewski, J. (2006). A GIS-based approach to multiple criteria group decision-making. *International Journal of Geographical Information Systems*, 10(8):955-971.
- Martínez, D., & Castrillón, D. (2014). *Zonificación de amenazas por inundaciones en las zonas urbanas de expansión del municipio de Jamundí (Valle del Cauca)*. Santiago de Cali: Universidad del Valle.
- MINAMBIENTE, M. F. (2014). *Protocolo para la Incorporación de la Gestión del Riesgo en los Planes de Ordenación y Manejo de Cuencas Hidrográficas*.
- MinDesarrollo. (2000). Reglamento técnico del sector de Agua Potable y Saneamiento Básico. RAS - 2000. Sección II. Título D. Sistemas de Recolección y evacuación de aguas residuales domésticas y pluviales.
- Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible. (2014). *Guia metodológica para la construcción de planes de manejo ambiental de acuíferos*. Bogotá DC.
- Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. (2010). *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente*. Bogotá DC.
- Ministerio de vivienda, ciudad y territorio. (26 de Mayo de 2015). Decreto No. 1077 . *Diario oficial de la República de Colombia*.
- Mockus, V. (1964). Estimation of direct runoff from storm rainfall. SCS, National Engineering Handbook, Section 4, Hydrology,.
- Molina, J. (2014). *Técnica para crear e identificar mapas de susceptibilidad por remoción en masa usando aplicaciones SIG. Trabajo de grado para optar al título de especialista en Geomatica*. Bogotá DC: Universidad Militar Nueva Granada.
- Monsalve Saénz, G. (1999). *Hidrología en la Ingeniería*. Bogotá D.C, Colombia: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería.
- Montoya Jaramillo, L., Silva Arroyave, S. M., & González, J. E. (2009). Evaluación de zonas de amenaza por avenidas torrenciales utilizando metodologías

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

- cualitativas caso de aplicación a la quebrada Doña María . *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, vol 8, No. 15, pp 11-29.
- Mora, R. (1990). *Fundamentos sobre deslizamientos*. Obtenido de Biblioteca virtual de desarrollo sostenible y salud ambiental: <http://www.bvsde.paho.org/bvsade/e/fulltext/uni/conf15.pdf>
- Morilla, A. (2002). *Análisis de Datos difusos*. Curso de Doctorado en Economía Cuantitativa. Universidad de Málaga.
- Moser, M., & HOhensinn, F. (1983). Geotechnical aspects of soils slips in Alpine Regions. *Engineering Geology*, 19: 185-211.
- Moulatlet, G. M., Rennó, C., Costa, F., Emilio, T., & Schietti, J. (2015). *Mapping hydrological environments in central Amazonia: ground validation and surface model based on SRTM DEM data corrected for deforestation*.
- Mulder, H. (1991). Assessment of landslide hazard. Nederlandse Geografische Studies. *PhD Thesis, University of Utrecht*, 150 pp.
- Nadal, N., Zapata, R., Pagán, I., López, R., & Agudelo, J. (2010). Building Damage due to Riverine and Coastal Floods. *J. Water Resour. Plann. Manage.*, 327-336.
- Nobre, A., Cuartas, L., Hodnett, M., Rennó, C., Rodrigues, G., Silveira, A., . . . Saleska, S. (2011). *Height Above the Nearest Drainage – a hydrologically relevant new terrain model*.
- O'Rourke, M., & El Hmadi, K. (1988). Analysis of continuous buried pipelines For seismic wave effects.". *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 16, 917-929.
- O'Hagan, M. (1990). Using maximum entropy-ordered weighted averaging to construct a fuzzy neuron. *Proceedings of the 24th Annual IEEE Asilomar Conference on Signals, Systems and computing*. Pacific Grove, California.
- Ormazabal, G. (2002). *Un nuevo sistema integrado de toma de decisiones para la gestión de proyectos constructivos. Tesis Doctoral*. Barcelona: Universidad Politécnica de Cataluña.
- Ormazábal, Y. (2002). Modelación espacial mediante geomática y evaluación multicriterio para la ordenación territorial. *Revista de la Facultad de Ingeniería*, 14(1):81-89.
- OSSO – La Red. (Diciembre de 2007). *Guía metodológica de DesInventar. Sistema de Inventario de Desastres*. Obtenido de <http://www.desinventar.org/sp/metodologia/DesInventar-MethodologicalGuideSpanish.pdf>.
- Oyagi, N. (1984). Landslides in weathered rocks and residual soils in Japan and surrounding areas: a state-of-the-art report. *Int. Symp. On Landslides, Toronto, 4th.*, vol3, 1-31 pp.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

- Ozelim, L., Cavalcante, A., Pacheco de Assis, A., & Ribeiro, L. (2013). Analytical Slope Stability Analysis Based on Statistical Characterization of soil primary properties. *Int. J. Geomech*, 1943-5622.
- Páramo, G. E. (2007). *Análisis, Diagnóstico y Elaboración del mapa de susceptibilidad a los incendios de la cobertura vegetal en Colombia*. Contrato de Consultoría No. 2062372 (MAVDT-FONADE). Informe Final.
- Parra Lara, Á. d. (2011). *Incendios de la cobertura vegetal en Colombia. Tomo I*. Universidad Autónoma de Occidente.
- Pérez Mesa, G. (2014). *Propuesta Metodológica Para La Estimación De Zonas De Inundación Con Información Escasa Por Medio De Descriptores Geomorfométricos Derivados De Modelos Digitales De Elevación*. Universidad Nacional de Colombia.
- Pérez Mesa, G. J. (2014). *Propuesta metodológica para la estimación de zonas de inundación con información escasa por medio de descriptores geomorfométricos derivados de modelos digitales de elevación*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- Piedrahíta, I. (1996). *Estudio preliminar por eventos torrenciales en la vertiente occidental del Río San Juan, suroeste antioqueño. Trabajo de grado para el título de Geólogo*. Medellín: Universidad EAFIT.
- Pierson, C., & Costa, J. (1987). A rheologic classification of subaerial sediment-water flows. *Geological Society of America. Reviews in Engineering, Volume VII*, 1-12.
- Pierson, T., & Scott, K. (1985). Downstream Dilution of a Lahar: Transition From Debris Flow to Hyperconcentrated Streamflow. *Water Resources Research, Volume 21, Issue 10*, 1511–1524.
- PNN. (2005). *Plan de Manejo Parque Nacional Natural El Cocuy. Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial*. El Cocuy - Sacame - Tame.
- PNUD, & ANH. (2014). *Estrategía Territorial para la Gestión Equitativa y Sostenible del Sector Hidrocarburos. Diagnóstico Socioeconómico del Departamento de Arauca*.
- Ponce, V. M. (1989). *Engineering hydrology, Principles and Practices*. New Jersey, USA: Prentice Hall.
- PROCURADURIA GENERAL DE LA NACIÓN. (2010). *La infancia, el agua y el saneamiento básico en los planes de desarrollo departamentales y Municipales: UNICEF*.
- Qiuping, W., & Daohong, Z. (2008). A new decision making method for fuzzy multiple attribute decision making problem. *Scientia Magna*, Vol 4, No 3, 19-25.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

- RAE. (2006). *Diccionario esencial de la lengua española*. Real Academia Española y Asociación de Academias de la Lengua Española. 1.<sup>a</sup> edición. Madrid: Espasa Calpe.
- Redd, N. T. (5 de 10 de 2015). *Flood Facts, Types of Flooding, Floods in History*. Obtenido de Livescience: <http://www.livescience.com/23913-flood-facts.html>
- Rendón, G. (1997). La Hidráulica Torrencial. *DYNA*, vol. 22. p. 23 -31.
- Retnan, R., & Natarajan, C. (2013). Vulnerability of Reinforced Concrete Structures Subjected to Flood. En *Natural Disasters - Multifaceted Aspects in Management and Impact Assessment* (págs. 1-30).
- Rickson, R., & Morgan, R. (2005). *Slope Stabilization and Erosion Control: A Bioengineering Approach*. Taylor & Francis e-Library.
- Rivas, M., Ovalles de Cabezas, Y., Soto, C., Ramirez, G., Ripanti, F., & González, J. L. (2009). Determinación de niveles de potencialidad torrencial de la cuenca del río Mocotíes Mérida, Venezuela. *Revista Forestal Venezolana*, Volumen 53 (1) pp 33 - 41.
- Rodriguez, E., Godínez, F., Ariza, F., & Reyes, R. (2010). Estimadores ridge en regresión logística cuando hay separación en los datos y colinealidad. *Foro Nacional de Estadística*, 19-23.
- Rodriguez, E., Godínez, F., Ariza, F., & Reyes, R. (2010). Estimadores ridge en regresión logística cuando hay separación en los datos y colinealidad. *Foro Nacional de Estadística*, 19-23.
- Ruiz, G., Medina, E., Alvarado, C., Trejos, G., Sandoval, Montero, J. L., & Ortigón, C. (2012). Mapa nacional de amenaza por movimientos en masa (Escala 1:500.000). *Mapa nacional de amenaza por movimientos en masa (Escala 1:500.000)* (pág. 20). Bogotá DC: Instituto Colombiano de Geología y Minería - INGEOMINAS.
- Saaty, T. L. (1981). *The Analytic Hierarchy Process*. New York: McGraw-Hill.
- SafeLand. (2011). Recommended Procedures for Validating Landslide Hazard and Risk Models and Maps. *Living with landslide risk in Europe*.
- Sagala, S. (2006). *Analysis of flood physical vulnerability in residential areas*, M.Sc. Thesis. International Institute of Geo-Information Science and Earth Observation,.
- Salazar, A. (2012-2013). *Modelos de respuestad discreta en R y aplicación con datos reales*. Granada: Universidad de Granada.
- Santoso, A., Phoon, K.-K., Asce, F., & Quek, S.-T. (2009). Reliability Analysys of infinite Slope using subset simulation. *Contemporary Topicd in Situ testing, Analysis, and Reliability of Foundations*, 278-285.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

- Schmidt, K., Roering, J., Stock, J., Dietrich, W., Montgomery, D., & Schaub, T. (2001). The variability of root cohesion as an influence on shallow landslide susceptibility in the Oregon Coast Range. *Can. Geotech. J.*, 38: 995-1024.
- Servicio Geológico Colombiano. (2015). *Guía Metodológica para estudios de amenaza, Vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa.*
- SGC. (2015). *Guía Metodológica para Estudios de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo por Movimientos en Masa.* Bogotá: Servicio Geológico Colombiano.
- SGC. (2016). *Servicio Geológico Colombiano.* Recuperado el Diciembre de 2016, de Observatorio Vulcanológico y Sismológico Popayán: <http://www2.sgc.gov.co/Popayan/Volcanes/Nevado-del-huila>
- Sierra, E. (2016). Deficiencia de medidas estructurales para mitigar el riesgo por avenidas torrenciales de las quebradas el Chulo y el el Tablón en la zona urbana del municipio de Gachetá, Cundinamarca. *IV Seminario. La gestión del riesgo de desastres hoy vista desde la academia.*
- Smith, K., & Ward, R. (1998). *Floods: Physical Processes and Human Impacts.* Chichester, John & Wiley.
- Soler, F. (2012). *Guía metodológica para evaluación de riesgos por deslizamientos en zonas urbanas a escala de diseño.* Bogotá.
- Soler, F., González, A., & Vesga, L. (1999). *Metodología para el análisis de vulnerabilidad y riesgo por fenómenos de remoción en masa en Santafé de Bogotá, Colombia.* XI CPMSIF. Fox de Iguazú, Brasil.
- Suarez Díaz, J. (2009b). Deslizamientos. En *Análisis Geotécnico Vol. 1 Capítulo 4. Análisis de Estabilidad.* Bucaramanga, Colombia: U.I.S Escuela de Filosofía.
- Suarez, J. (1998). *Deslizamientos y Estabilidad de Taludes en Zonas Tropicales. Capítulo 3. Esfuerzo y Resistencia al Cortante.* Bucaramanga, Colombia.: Ingeniería de Suelos Ltda.
- Suarez, J. (1998). *Deslizamientos: Análisis Geotécnico. Capítulo 5. Los flujos.* Obtenido de <http://www.erosion.com.co/deslizamientos-tomo-i-analisis-geotecnico.html>
- Tae-Heon, M., & Woo-Bae, L. (1999). Construction of Supporting System for Decision Making Process of Zoning Designation and Change that has Fuzziness. *The 6th International Conference Computers in Urban Planning and Urban Management.*
- Takahashi, T. (1981). Debris flow. *Annu. Rev. Fluid Mech*, 13, 57-77.
- Toskano, G. (2005). *El proceso de análisis jerárquico (AHP) como herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores. Trabajo de grado para optar al título de Licenciado en investigación operativa.* Lima: Universidad Mayor de San Marcos.

	ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.
	INFORME FINAL MUNICIPIO DE TERUEL

- UNAL. (2007). *Amenaza, vulnerabilidad y riesgo por movimientos en masa, avenidas torrenciales e inundaciones en el Valle de Aburrá. Formulación de propuestas de gestión*. Medellín.
- UNAL. (2013). *Zonificación de Amenazas por Inundaciones a escala 1:2.000 y 1:5.000 en áreas urbanas para diez municipios del territorio Colombiano*.
- UNAL(a). (2013). *Metodología para la evaluación del riesgo en los POMCA (Informe final inédito)*. Bogotá D.C: Convenio UNAL-MADS.
- UNISDR, E. I. (2009). *Terminología sobre reducción del riesgo de desastre*. Ginebra: UN.
- Urrea, H. y. (1996). *Caracterización, cartografía y estrategias de manejo de las cuencas hidrográficas torrenciales del municipio de Guatapé. Trabajo de grado*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín. .
- Urrea, H., & G, V. (1996). *Caracterización, cartografía y estrategias de manejo de las cuencas hidrográficas torrenciales del municipio de Guatapé. Trabajo de grado*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín.
- USGS. (2016). *U. S. Geological Survey*. Recuperado el Marzo de 2016, de Landsat Missions. Landsat 8.: <http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>
- Vallejo, R., & Valdecantos, A. (s.f.). *Incendios Forestales. Land Care in Desertification Affected Areas. Serie Folletos: B Número 2*. Valencia, España.
- Vargas, R., & Diaz-Granados, M. (1998). *Curvas Sintéticas Regionalizadas de Intensidad - Duración - Frecuencia para Colombia*. Santa Fe de Bogotá D.C.: Departamento de Ingeniería Civil, Universidad de los Andes.
- Vásquez, G. (1993). *El problema constante de las cuencas torrenciales, a propósito del desastre del río Tapartó (Ant.), 26/4/1993*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín, Facultad de Ciencias Agropecuarias.
- Voogd, H. (1983). *Multicriteria evaluation for urban and regional planning*. London: Pion Ltda.
- Vrouwenvelder, A. (1997). *Tweede Waterkeringen Hoeksche Waard. Voorbereiding TA W-advies, Evaluatie schade/slachtofferberekening*.
- Wilches-Chaux, G. (1989). *Desastres, Ecologismo y Formación Profesional: Herramientas para la crisis*. Popayan: Servicio Nacional de Aprendizaje.
- Yager. (1998). Structure of uninorms. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, (04):411-427.
- Yager, R. R. (1988). On ordered weighted averaging aggregation operators in multicriteria decisionmaking. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, 18(1):183-190.

	<p>ESTUDIOS DETALLADOS DE AMENAZA, VULNERABILIDAD Y RIESGO POR MOVIMIENTOS EN MASA, INUNDACIÓN Y AVENIDA TORRENCIAL EN EL ÁREA URBANA DEL MUNICIPIO DE TERUEL, EN EL DEPARTAMENTO DEL HUILA, TENIENDO EN CUENTA LOS LINEAMIENTOS DEL DECRETO 1077 DE 2015.</p>
	<p>INFORME FINAL MUNICIPIO DE <b>TERUEL</b></p>

Yager, R. R. (1993). *Essentials of fuzzy modeling and control*. New York, NY, USA: Wiley-Interscience.

Zadeh, L. (1978). Fuzzy Sets as a Basis for a theory of possibility. *Computer Science Division, Department of Electrical Engineering and Computer Sciences and the Electronics Research Laboratory* , 3-28.